

Räumliche Integration industrieller Abwärme in zukünftige Wärmeversorgungsoptionen

Spatial Integration of Industrial Waste Heat in Future Heat Supply Options

Jürgen Knies

IAPG, Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth · juergen.knies@jade-hs.de

Zusammenfassung: Der Umbau des Energiesystems umfasst immer stärker die zukünftige Wärmeversorgung. Auch die Nutzung von Abwärme wird an Bedeutung zunehmen, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Für die strategische Planungsebene wird ein generischer Ansatz vorgestellt, unterschiedliche nachhaltige Wärmeversorgungsoptionen räumlich zu ermitteln, sowie die Integration industrieller Abwärme mittels Suchradien um die Abwärmequellen zu skizzieren und erste Deckungsbilanzen zu erstellen.

Schlüsselwörter: Abwärmenutzung; zukünftige Wärmeversorgung; Raumanalyse; Planungsinstrumente

Abstract: *The transition of the energy system contains also the future heat supply. The integration of industrial waste heat becomes very important to achieve the climate protection goals. This contribution presents a generic approach on a strategic planning level: Detecting areas of sustainable heat supply options, integrating of industrial waste heat within a specific search radius around the sources and accounting first balances.*

Keywords: *Heat recovery; future heat supply; spatial analysis; planning instruments*

1 Motivation und Stand der Technik

Die nahezu klimaneutrale Versorgung der Gebäude mit Wärme stellt eine besondere Herausforderung dar. Die Transformation bestehender Wärmeversorgungen muss zukunftssicher und mit einer ausreichenden Flexibilität erfolgen, um auf örtliche Begebenheiten reagieren zu können. Energetische Planungen sind auf Quartiersebene sehr detailliert, ohne dass die Entscheidung für ein Zielsystem transparent dargelegt und die weitere Umgebung einbezogen wird. Aktuelle Förderkulissen für einzelne Technologien sind bei der Entscheidungsfindung in der Regel maßgebend. Auf gesamtkommunaler Ebene sind energetische Planungen – falls vorhanden – meist auf einer allgemeinen Empfehlungsebene zu finden (s. a. Schubert 2015).

Der Beitrag versucht zum einen eine Brücke zwischen programmatischen Zielen und einer quartiersbezogenen Detailplanung zu bauen, und zum anderen einen raumanalytischen Ansatz vorzustellen, um auf dieser Planungsebene industrielle Abwärme in die Wärmeversorgung zu integrieren.

1.1 Klimapolitischer Rahmen

Der Klimaschutzplan 2050 vom 14.11.2016 (BMUB 2016) beschreibt Ziele und Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen. Für den Gebäudesektor wird ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand angestrebt, wobei die „Energie-Effizienz Strategie Gebäude“ der Bundesregierung den Rahmen vorgibt (Thamling et al., 2015). In der Strategie werden die Reduktion des Wärmebedarfs und die Integration Erneuerbarer Energien in die Wärmeversorgung als sich ergänzende Ansätze beschrieben und je nach Szenario mit unterschiedlichen Anteilen versehen. Der dabei entwickelte Korridor sieht eine Reduktion des Wärmebedarfs (Brauchwasser und Raumwärme) auf 40 % bis 60 % im Vergleich zu 2008 für Wohnen, Verwaltung und GHD vor. Die Industrie ist mit einer Reduktion um 20 % vorgesehen. Der Ansatz berücksichtigt gebäude- und planungsrechtliche Hemmnisse bei der Sanierung, den demografischen Wandel und die Reduktion des Wärmebedarfs durch den Klimawandel. Wärmenetzen wird das Potenzial zugesprochen, im besonderen Maße Erneuerbare Energien in die Wärmeversorgung integrieren zu können (ebd.). Der Nutzung industrieller Abwärme kommt eine besondere Bedeutung zu, um CO₂-Reduktionsziele und gesetzliche Vorgaben (EEWärmeG, KWKG) zu erfüllen.

1.2 Bisherige Ansätze der Raumanalyse

Bei der Erstellung energetischer Konzepte wird in der Regel eine Typisierung anhand städtebaulicher Kriterien zwecks Quartiersabgrenzung durchgeführt, um den Wärmebedarf abzuschätzen und Maßnahmen zu planen (Hegger & Dettmar, 2014). So überlässt z. B. das Förderprogramm „Energetische Stadtsanierung“ den Kommunen die Abgrenzung des zu sanierenden Bereichs, sodass städtebauliche Kriterien herangezogen werden (BMU, 2014). Die Identifikation geeigneter Maßnahmen reicht von rein auf die Sanierung bezogene Schritte bis hin zu einer komplexen Kopplung von Energiedomänen (Strom, Wärme/Kälte, Mobilität) mithilfe von Simulationswerkzeugen (Eggers & Stryi-Hipp, 2013; Hegger et al., 2012). Dennoch bleibt die Fokussierung auf das zuvor definierte Projektgebiet ohne Einbindung der übrigen Bereiche. Dabei ist der Begriff des Quartiers im Wandel. Je nach Perspektive kann die räumliche Ausdehnung eines Quartiers ganz unterschiedliche Ausdehnungen und Abgrenzungen annehmen. So decken sich städtebauliche Quartiersabgrenzungen nicht mit sozialen, technischen, infrastrukturellen und weiteren Abgrenzungskriterien (Bläser, 2015).

Trotz aller Förderprogramme lässt sich feststellen: „Auf Seiten der Stadtentwicklung und -planung herrscht eine mehr oder weniger große Unsicherheit zur Frage, wie sich die Energieversorgung (Strom, vor allem aber Wärme) in bestimmten Siedlungsstrukturtypen oder Quartieren ausprägen wird.“ (Beckmann et al., 2013, p. 10) „Häufig fehlt es auf kommunaler Ebene an der langfristige-strategischen Ausrichtung beim Umbau städtischer Energiesysteme“ (Riechel et al., 2016, p. 25).

1.3 Wirkradien industrieller Abwärme

Der Energieatlas Bayerns stellt ein Modell zur Ermittlung von Wirkradien von Abwärme sowie erste Ergebnisse im Landkreis Coburg bereit (Lautenbacher & Wolf, 2010). Als Wirkradius wird der Bereich bezeichnet, in dem technisch und wirtschaftlich die Abwärme sinn-

voll transportiert werden kann (s.a. COPLAN AG, 2012). Die Darstellung erfolgt als Umkreis um die Abwärmequelle.

Die Ermittlung der Wirkradien setzt eine Vielzahl von Annahmen und Parametern voraus, eine genaue Dokumentation findet sich auf der Internetseite <http://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten> (25.11.2016). Neben den technischen Rahmenbedingungen (Druck- und Wärmeverlust, Energieaufwand für die Pumpen etc.) werden die ökonomischen Rahmenbedingungen umfangreich modelliert.

Die im Energieatlas veröffentlichten Daten der Betriebe im Landkreis Coburg (Stand: 28.06.2016) weisen hinsichtlich der ermittelten Wirkradien einen nahezu linearen Zusammenhang zwischen Entfernung und Abwärmemenge auf.

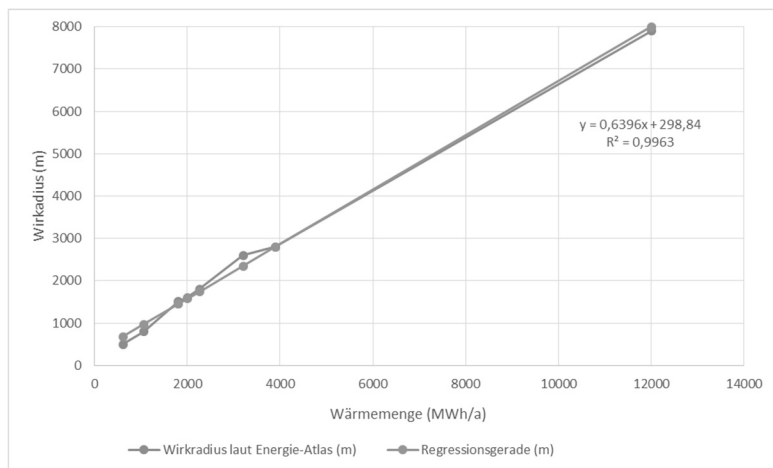


Abb. 1: Im Energie-Atlas veröffentlichte Unternehmensdaten über Abwärmemenge und daraus ermittelte Wirkradien

2 Methode

Die bisherigen raumanalytischen Ansätze reichen nicht aus, um auf die klimapolitischen Herausforderungen adäquat zu reagieren. Die Darstellung von Wärmebedarfsdaten allein genügt nicht, um zu einer Handlungsempfehlung zu gelangen.

Es stellt sich die Frage, welche (Raum-)Analysewerkzeuge herangezogen werden können, um

- szenarienbasiert verschiedene Wärmeversorgungssysteme hinsichtlich ihrer Eignung – ausgehend von Wärmedichten – räumlich detektieren, sowie
- industrielle Abwärmepotenziale ermitteln und in die Wärmeversorgung integrieren zu können.

Am Beispiel zweier Kommunen in Niedersachsen (D) wird ein generischer Ansatz vorgestellt, mit dem es möglich ist, Handlungsempfehlungen auf einer übergeordneten Planungsebene abzuleiten.

2.1 Wärmebedarfsdichte und Wärmeversorgungsoptionen

Für die Städte Bramsche und Wallenhorst werden modellierte Wärmebedarfe für Wohn- und Nichtwohngebäude aus dem Forschungsprojekt PinA (Planungsportal industrieller Abwärme) verwendet (Mezger et al., 2015). Hierzu werden Lage der Gebäude, Baujahr und Bautyp, aber auch statistische Daten z.B. über Einwohner berücksichtigt.

Die Berechnung orientiert sich an den Normvorschriften für die Berechnung des Wärmebedarfs für Wohngebäude (DIN EN 12831 und DIN 4108-6) und für Nichtwohngebäude (DIN V 18599-2). Für die weitere Auswertung wird der ermittelte Jahresheizenergiebedarf pro Jahr verwendet, die Daten liegen in Form von Punktgeometrien (ca. 23.000) vor.

Die längenbezogene Wärmebedarfsdichte stellt einen wichtigen Indikator für die Eignungsbewertung unterschiedlicher Wärmeversorgungsoptionen dar (s. Tabelle 1). Die theoretische Länge eines Wärmenetzes wird auf Grundlage der OSM-Straßenlängen zuzüglich der Entfernung zwischen den Punktgeometrien und den Straßen innerhalb eines 100×100 m Raster ermittelt. Der Prozess vermeidet parallele Leitungsstrukturen und baut Verzweigungen auf. Zusätzlich wird eine räumliche Glättung über den Mittelwert der Netzlängen in der unmittelbaren Zellnachbarschaft durchgeführt, um Extrema zu vermeiden. Der Wärmebedarf innerhalb der Rasterzellen wird aufsummiert und zusammen mit der ermittelten Netzlänge in Form von $\text{MWh}/(\text{m} \times \text{a})$ dargestellt.

Tabelle 1: Definition der Wärmeversorgungsoptionen

Wärmedichte- bereiche $\text{MWh}/(\text{m} \times \text{a})$	Definition
< 0,5	Einzelversorgung: Die Wärmedichte ist so gering, dass in Zukunft die Gebäude eine eigenständige Versorgung bewerkstelligen können (Wärmepumpen, Brennstoffzellen etc.) (KfW, 2016)
0,5 – 1,5	LowEx-Wärmenetze: Wärmenetze, die saisonal oder ganzjährig ein niedriges Temperaturniveau aufweisen (bis max. 40 Grad Celsius im Sommer, 70-90 Grad Celsius im Winter). Über solarstromversorgte Wärmepumpen kann das Brauchwasser im Sommer aufgeheizt werden, sowie Abwärme und Solarthermie integriert werden. Im Winter wird Wärme für Heizung und Brauchwasser über (dezentrale) KWK-Anlagen, industrielle Abwärme etc. bereitgestellt (Neumann, 2014; TFT GmbH, 2015). In Deutschland liegen unterschiedliche Definitionen für Low-Ex-Netze vor, sodass hier auf das Sommer/Winter-Management fokussiert wird.
1,5 – 2,75	Klassische Nahwärme: Ganzjährige Bereitstellung von 70-90 Grad Celsius über (dezentrale) KWK-Anlagen mit Unterstützung von Wärmepumpen zwecks Integration industrieller Abwärme (Paar et al., 2013)
> 2,75	Block- bzw. Liegenschaftsversorgung: Größere Liegenschaften mit eigenständiger Versorgung über KWK-Anlagen, Inselnetz

Die Effizienz von Wärmenetzen ist nicht strikt an die oben genannten Wertebereiche gebunden. Die Betriebserfahrungen und die neuen Entwicklungen hinsichtlich der Integration von Solarthermie und Abwärme, sowie die technischen Entwicklungen bei Wärmepumpen machen deutlich, dass diese Grenzen unscharf sind und sich ständig weiterentwickeln (Schmidt

et al., 2014). Die aus der Analyse resultierende Eignung zwischen den Wärmeversorgungsoptionen weist somit ebenfalls Übergänge auf, die mithilfe der Fuzzy Membership beschrieben werden kann (Ross, 2004). Sie berücksichtigen den aktuellen Stand in der Literatur und können entsprechend der weiteren technischen Entwicklung angepasst werden.

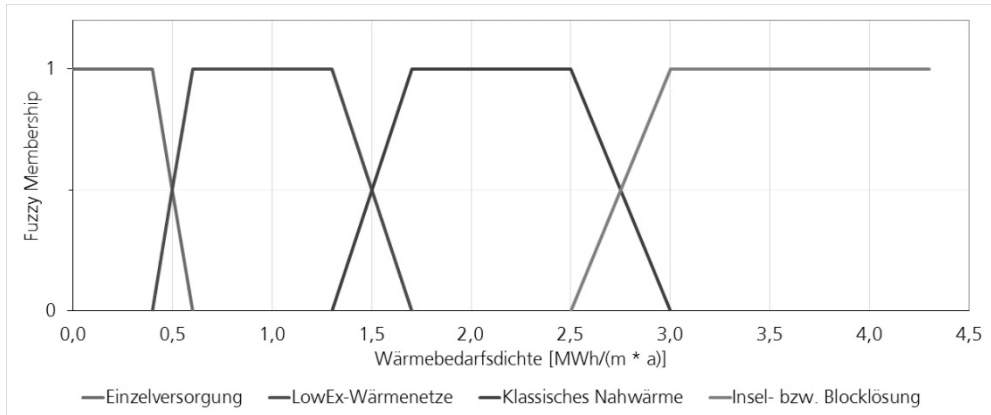


Abb. 2: Fuzzy Membership der Wärmeversorgungsoptionen bezogen auf die Wärmebedarfsdichte

Für jede Rasterzelle wird basierend auf der Wärmebedarfsdichte die Zugehörigkeit zur jeweiligen Wärmeversorgungsoption und eine abgestufte Eignung ermittelt, indem die Fuzzy-Zugehörigkeiten überlagert werden.

Um das Ziel eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands zu erreichen, kann ein Korridor der erforderlichen Reduktion des Wärmebedarfs vorgegeben werden, der eine Reduktion um maximal 60 % (Szenario 2050A) bis mindestens 40 % (Szenario 2050B) beschreibt. Dieser Korridor berücksichtigt den Effekt des Klimawandels, der demografischen Entwicklung, aber auch des sog. „Sanierungssockels“ (Thamling et al., 2015).

2.2 Suchradien für Abwärme

Aufgrund des im Energie-Atlas festgestellten linearen Zusammenhangs zwischen Abwärmemenge und Wirkradius wird in diesem Beitrag ein anderer Ansatz verfolgt. Es wird ein Suchraum um eine Abwärmequelle für die Integration von Abwärme in eine der oben skizzierten Wärmeversorgungsoptionen aufgespannt. Dabei wird die längenbezogene Wärmedichte als Maß genommen und eine Reduktion durch den Wärmeverlust, der auf maximal 20 W/m festgesetzt wird, berücksichtigt.

$$\text{Suchradius (m)} = \frac{\text{Nutzbare Abwärme} \left[\frac{\text{MWh}}{\text{a}} \right]}{0,00002 \frac{\text{MW}}{\text{m}} \times 8760 \left[\frac{\text{h}}{\text{a}} \right] + Y \left[\frac{\text{MWh}}{\text{m} \times \text{a}} \right]}$$

Y: Grenzwerte der Wärmeversorgungsoptionen (s. Tabelle 1), für die weitere Berechnung werden die Werte 0,5 MWh/(m × a) für LowEx-Netze und 1,5 MWh/(m × a) für Nahwärmenetze beispielhaft verwendet.

Ein Vergleich mit den Daten aus dem Energie-Atlas zeigt, dass bei einem Wert von 1,5 MWh/(m × a) die Radien knapp unterhalb derer sind, die im Energie-Atlas ermittelt worden sind.

Im Zuge der PlnA-Erhebung wurde das theoretische Abwärmepotenzial von einigen Industriebetrieben ermittelt. Um die Abwärme einer Nutzung zuzuführen, müssen die Verluste durch den Wärmeübertrager berücksichtigt werden. Hinweise für eine Grobanalyse kann dem Leitfaden „Abwärmenutzung in der Kommune“ (LfU Bayern, 2008, p. 33) entnommen werden. Die Ergebnisse werden in der folgenden Tabelle dargestellt¹. Aus datenschutzrechtlichen Gründen werden die Namen der Unternehmen nicht genannt.

Tabelle 2: Überschlägige Ermittlung der Suchräume

Firma	Abgas- temperatur (°C)	Abwärme- leistung (kW)	Betriebs- dauer (pauschal) h/a	potenzielle Energienmenge (MWh/a)	nutzbare Leistung (kW)	Suchradius (m)	
						Ziel- system LowEx	Ziel- system Nah- wärme
A	240-280	800	6750	5400	70	700	282
B	850	600	6750	4000	75	750	302
C	320-435	530	6750	3500	50	500	201

Im Ergebnis liegen Suchräume für die Integration von Abwärme vor, die das jeweilige Ziel-system berücksichtigen.

2.3 Matching Wärmebedarf und Abwärme

Um die Abwärmequellen wird ein Suchradius aufgespannt, der die umliegende Wärmeversorgungsoption berücksichtigt. Innerhalb des Suchradius werden die Rasterzellen selektiert, die zum einen der Eignung LowEx und zum anderen der Eignung Nahwärme/Blocklösung zugeordnet sind. Die Auswahl berücksichtigt eine nachbarschaftliche Gruppierung (vereinzelte Rasterzellen oder nur über einen Knoten verbundene Rasterzellen werden nicht berücksichtigt) und größere Hindernisse, wie Wasserstraßen, Autobahnen etc.

Auf dieser Grundlage werden die Rasterzellen abgefragt, die den aggregierten Wärmebedarf beinhalten, um so den bilanziellen Deckungsgrad durch die Abwärmequelle im Suchradius ermitteln zu können.

¹ Aufgrund der baulichen Anlagensituation wird die nutzbare Leistung bei der Firma B stark nach unten korrigiert und bei der Firma C sehr konservativ geschätzt.

3 Ergebnisse

3.1 Wärmebedarfsdichte und Wärmeversorgungsoptionen

Mithilfe des Fuzzy-Ansatzes konnte der Grad der Eignung einer Rasterzelle mit einer spezifischen Wärmebedarfsdichte einer Wärmeversorgungsoption zugeordnet werden. Zum größten Teil können die Rasterzellen einer Versorgungsoption zugeordnet werden, wobei hier in drei Stufen unterschieden wird. Die Zuordnung resultiert aus den Kombinationen der Zuordnungsanteile der Fuzzy Membership in jeweils fünf Klassen in Schritten von 0,2. Die jeweiligen Reklassifizierungen werden kombiniert und die Einstufung der überwiegenden Eignung in drei Stufen je nach Gewichtung vorgenommen (geeignet, gut geeignet (+), sehr gut geeignet (++)). Das wiederum bedeutet, dass in jeder Rasterzelle durchaus Anteile anderer Eignungen vorliegen.

Teilweise sind die Eignungen nicht eindeutig, sondern es ergeben sich durchaus indifferente Bereiche, die zu gleichen Teilen zwei verschiedenen Optionen, in wenigen Fällen auch drei Optionen, zugeordnet werden können. Diese Bereiche stellen äußerst interessante Koppelungsbereiche zwischen den Versorgungsoptionen dar. Analog zu Abbildung 3 werden die Auswertungen für die Szenarien 2050A und 2050B erstellt.

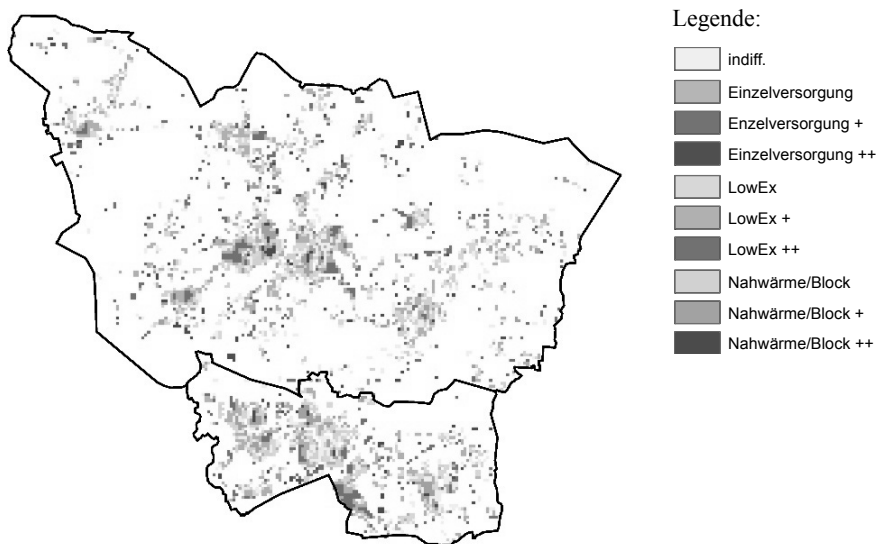


Abb. 3: Eignungsbewertung bezogen auf die Wärmeversorgungsoption (Status quo; unmaßstäblich)

3.2 Matching Wärmebedarf und Abwärme

Die folgenden Abbildungen zeigen die kartografische Darstellung des Matchings von Wärmeversorgungsoptionen (s. Abb. 3) bezogen auf den Status quo, die jeweiligen Szenarien sowie auf die Suchradien um die Abwärmequellen. Aus Gründen des Datenschutzes können

die Standorte und Namen der Betriebe nicht näher bezeichnet werden. Daher wird die Karte ohne Topografie erstellt.

Aufgrund der unterschiedlichen Ausdehnung der Suchradien in Abhängigkeit zur Abwärmequelle und des jeweiligen Zielsystems (s. Tabelle 2) erfolgt das Matching stufenweise. In Abbildung 4 wird das Matching auf Grundlage der Eignungseinschätzung des Status quo zum einen für das Zielsystem Nahwärme, zum anderen für das Zielsystem LowEx-Netz dargestellt. Die Abbildungen 5 und 6 zeigen das Matching analog zur Abbildung 4, hier allerdings für die jeweiligen Szenarien 2050A und 2050B (s. a. Kap. 2.1). In einem weiteren Schritt werden die Matchingbereiche überlagert und die bilanzielle Wärmebedarfsdeckung ermittelt.

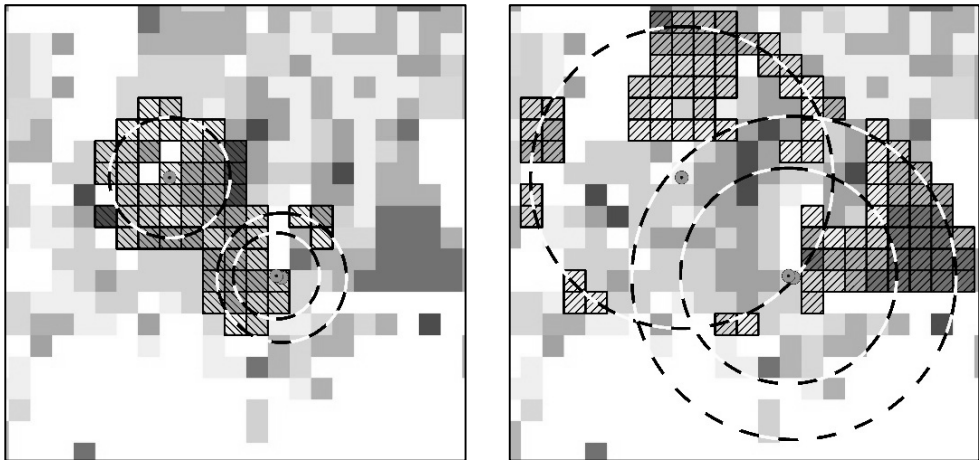


Abb. 4: Matching Wärmeversorgungsoption und Abwärmepotenzial (Status quo); Zielsystem Nahwärme (links), Zielsystem LowEx (rechts); unmaßstäblich

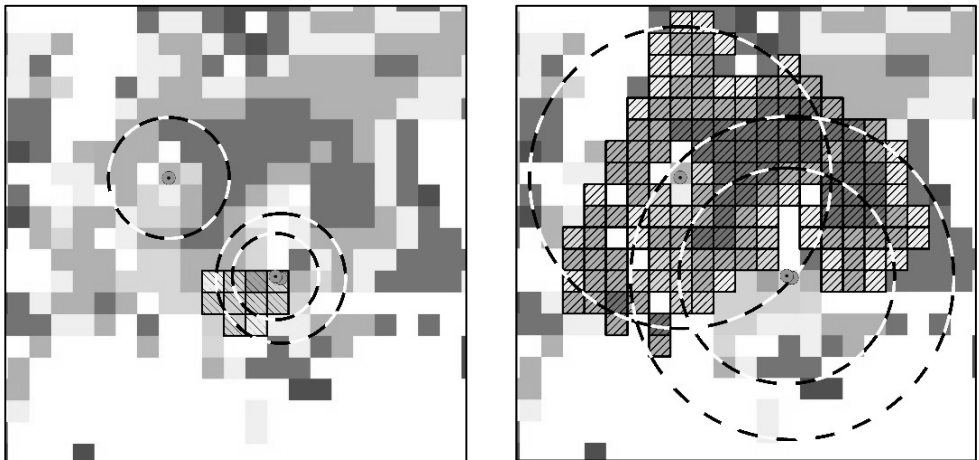


Abb. 5: Matching Wärmeversorgungsoption und Abwärmepotenzial (Szenario 2050A); Zielsystem Nahwärme (links), Zielsystem LowEx (rechts); unmaßstäblich

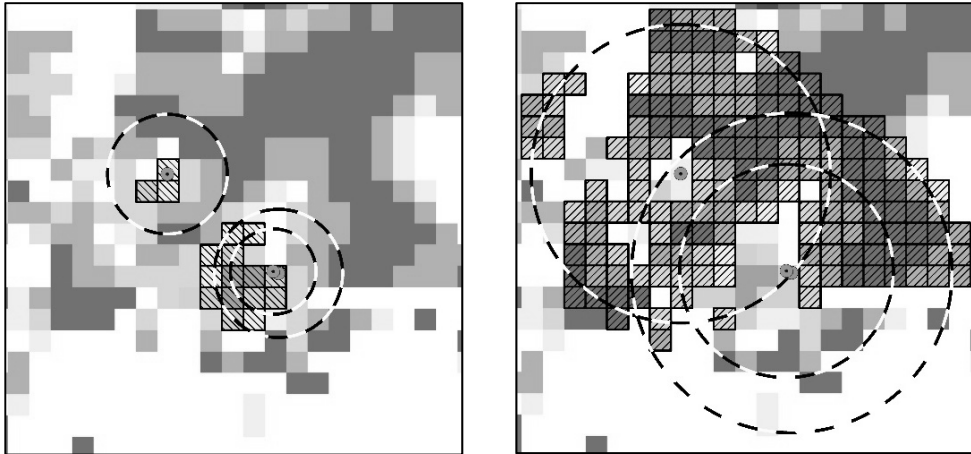


Abb. 6: Matching Wärmeversorgungsoption und Abwärmepotenzial (Szenario 2050B); Zielsystem Nahwärme (links), Zielsystem LowEx (rechts); unmaßstäblich

Die bilanzielle Deckung von Wärmebedarfen durch die Abwärme kann der Tabelle 3 entnommen werden. Hierbei ist zu beachten, dass die oben erwähnten indifferenten Bereiche (s. Abb. 3), der 2-3 Wärmeversorgungsoptionen zugeordnet werden können, mehrfach gezählt werden. Außerdem werden die Zielsysteme getrennt und nicht kumulativ betrachtet.

Tabelle 3: Ermittlung des bilanziellen Deckungsgrades

Firma	Abwärme (MWh/a)	Status quo		2050A		2050B	
		Zielsystem LowEx Deckung	Zielsystem Nahwärme Deckung	Zielsystem LowEx Deckung	Zielsystem Nahwärme Deckung	Zielsystem LowEx Deckung	Zielsystem Nahwärme Deckung
A	5.400	25 %	19 %	21 %	/	14 %	65 %
B	4.000	19 %	21 %	19 %	38 %	13 %	33 %
C	3.500	40 %	26 %	32 %	40 %	23 %	35 %
A/B/C	12.900	35 %	28 %	22 %	72 %	26 %	63 %

4 Diskussion

In Bezug auf den bilanziellen Deckungsgrad zeichnet sich im Status quo keine Präferenz ab. Vor dem Hintergrund der Szenarien wird deutlich, dass eine Integration in die klassische Nahwärme in unmittelbarer Nähe auch langfristig tragbar bleiben wird. Trotz angestrebter Reduktion verbleibt noch ausreichend Wärmebedarf, um schon jetzt in die Integration in die Wärmeversorgung zu investieren. Da es sich hier nur um eine bilanzielle Betrachtung handelt, kann keine Aussage über zusätzliche Anlagen wie Spitzenlastkessel und Speicher und deren Dimensionierung für das zu bauende Wärmenetz getroffen werden. Je nach Betriebs-

weise können die indifferenten Bereiche interessante Kopplungsbereiche zwischen den Wärmeversorgungsoptionen sein. So kann z. B. Überschusswärme im Sommer in das benachbarte LowEx-Netz überführt werden. Letztendlich kann mit dieser ersten Skizze eine Verständigung über die nun folgende Detailplanung erfolgen.

In diesem Beispiel wird angenommen, dass die Abwärmemenge gleichbleibend sein wird. Es kann allerdings von einer Effizienzsteigerung innerhalb der Betriebe ausgegangen werden.

So würde eine Reduktion des Abwärmepotenzials um 30 % zu einem Deckungsgrad von 35 % (Nahwärme/2050A) bzw. von 44 % (Nahwärme/2050B) führen. Zusätzlich ist zu bedenken, dass Betriebe Standorte wechseln oder ihre Produktion grundlegend ändern können. Die Nutzung von industrieller Abwärme kann somit nicht Auslöser für die Wahl einer bestimmten Wärmeversorgungsoption sein, sondern nur eine Ergänzung darstellen. Die grundsätzliche Entscheidung über das zukünftige Wärmeversorgungssystem sollte somit nicht von den Abwärmequellen abhängig gemacht werden, sondern auch ohne diese zu einem nachhaltigen und tragfähigen System führen.

Der Ansatz der Fuzzy Membership in der Energieplanung ermöglicht eine flexible Reaktion auf örtliche Begebenheiten, die in der Detailplanung herausgearbeitet werden. Der Ansatz trägt somit zu einer „stärkeren räumlichen Konkretisierung“ bei (Schubert, 2015, p. 233). Für langfristige Umbaustراتيجien, die über die Planungsgrenzen von einzelnen Sanierungsgebieten hinausgehen und diese erst umreißen, fehlen aktuell ausreichende Planungsinstrumente (ebd.), die Diskussion darüber soll hiermit weiter angeregt werden.

Danksagung: Dank der Datenbereitstellung durch die beteiligten Firmen und des Landkreises Osnabrück und den anregenden Diskussionen mit Herrn Waldhoff vom Kompetenzzentrum Energie in Osnabrück konnte diese Arbeit erstellt werden.

Literatur

- Beckmann, K. J., Gailing, L., Hülz, M., Kemming, H., Leibenath, M., Libbe, J., & Stefansky, A. (2013). *Räumliche Implikationen der Energiewende*. Hannover: ARL, Difu, IÖR, IRS. Retrieved from https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/_difu-paper-positionspapier-r11.pdf.
- Bläser, D. (2015, June). *Landkarte der Energiewende – Kommunale Aktivitäten und Ausstattung im Ruhrgebiet*. Oberhausen: TU Dortmund. Retrieved from http://www.energiewende-ruhr.de/fileadmin/dokumente/Downloads/Vortraege/Vortraege_Zwischenkonferenz/Session_VI/Session_VI_Blaeser_komprimiert.pdf.
- BMU (2014). *Energetische Stadtsanierung in der Praxis*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Retrieved from http://www.energetische-stadtsanierung.info/cms/upload/EnergetischeStadtsanierung_Praxis_2014.pdf.
- BMUB (2016). *Klimaschutzplan 2050 – Kabinettsbeschluss vom 14. November 2016*. Berlin: BMUB. Retrieved from http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf.
- COPLAN AG (2012). *Leitfaden Wärmelandkarte*. München. Retrieved from http://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwivt/Publikationen/2014/PDF_Leitfaden_Waermelandkarte.pdf.

- Eggers, J.-B., & Stryi-Hipp, G. (2013). KomMod as a tool to support municipalities on their way to becoming smart energy cities. In: A. Passer, K. Höfler, & P. Maydl (Eds.), *Sustainable Buildings – Construction Products & Technologies* (pp. 580–591). Graz, Austria: Graz University of Technology. <http://doi.org/10.3217/978-3-85125-301-6>.
- Hegger, M., & Dettmar, J. (2014). *Energetische Stadtraumtypen*. (pro:21 GmbH, Ed.). Bonn: Fraunhofer IRB Verlag.
- Hegger, M., Dettmar, J., & Martin, A. (2012). *UrbanReNet – Schlussbericht (Anlage II)*. Darmstadt: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.
- Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) (2016). *Merkblatt Erneuerbare Energien – KfW-Programm Erneuerbare Energien „Premium“*. Berlin: KfW. Retrieved from [https://www.kfw.de/Download-Center/Förderprogramme-\(Inlandsförderung\)/PDF-Dokumente/6000002700_M_275_Speicher.pdf](https://www.kfw.de/Download-Center/Förderprogramme-(Inlandsförderung)/PDF-Dokumente/6000002700_M_275_Speicher.pdf).
- Lautenbacher, M., & Wolf, A. (2010). *Energie-Atlas Bayern – mehr als nur eine Karte*. München: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit.
- LfU Bayern (2008). *Leitfaden zur Abwärmenutzung in Kommunen*. Augsburg. <http://doi.org/978-3-936385-24-3>.
- Mezger, S., Waldhoff, C., & Reckzügel, M. (2015). *Projekt PlnA – Informations- und Planungsportal Industrielle Abwärme*. Retrieved Jun 23, 2015, from <http://www.kompetenzzentrum-energie.de/149.html>.
- Neumann, C. (2014, May). *Effizienz von Nahwärmenetzen im ländlichen Raum, Ergebnisse verschiedener Studien*. Stuttgart: Energieagentur Regio Freiburg.
- Paar, A., Herbert, F., Pehnt, M., Ochse, S., Richter, S., Maier, S., & Weidlich, I. (2013). *Transformationsstrategien von fossiler zentraler Fernwärmeversorgung zu Netzen mit höheren Anteilen erneuerbarer Energien*. Frankfurt a. M.
- Riechel, R., Koritkowski, S., Libbe, J., & Koziol, M. (2016). *Wärmewende im Quartier – Hemmnisse bei der Umsetzung am Beispiel energetischer Quartierskonzepte*. Berlin: Difu. Retrieved from <http://edoc.difu.de/edoc.php?id=FZRP4QJM>.
- Ross, T. J. (2004). *Fuzzy Logic with Engineering Applications* (3rd Ed.). New Mexico, USA: Wiley & Sons. <http://doi.org/10.1002/9781119994374>.
- Schmidt, D., Kallert, A., Blesl, M., Svendsen, S., Nord, N., & Sipilä, K. (2014). *Low temperature district heating for future energy systems. The 14th Symposium on District Heating and Cooling*. Retrieved from http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Konferenser/DHC14/Proceedings/_1.1_Dietrich_Schmidt_LOW_TEMPERATURE_DISTRICT_HEATING_FOR_FUTURE_ENERGY_SYSTEMS.pdf.
- Schubert, S. (2015). *Die Rolle räumlicher Planung zur Förderung klimaschonender Wärme- und Kälteversorgung in Deutschland und der Schweiz* (Dissertation). Lemgo: Dorothea Rohn.
- TFT GmbH (2015, September). *Kalte Nahwärmenetze – Besonderheiten zu Standard-Nahwärmenetzen (Auszüge)*. Augsburg: TFT GmbH.
- Thamling, N., Pehnt, M., & Kirchner, J. (2015). *Hintergrundpapier zur Energieeffizienzstrategie Gebäude*. Berlin/Heidelberg/Darmstadt: IWU, ifeu, PROGNOSE. Retrieved from <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energieeffizienzstrategie-hintergrund-information-gebäude.pdf>.