

Regionale Wertschöpfungseffekte von Wärmeversorgungssystemen

Maria Gröger, Theresa Weinsziehr und Thomas Bruckner

Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement, Universität Leipzig, Grimmaische
Straße 12, 04109 Leipzig, Tel: +49 (0)341-97-33522, mgroeger@wifa.uni-leipzig.de,
<http://www.wifa.uni-leipzig.de/iirm/energiemanagement>

Kurzfassung:

Der Transformation kommunaler Energiesysteme zu einer CO₂-neutralen Energieerzeugung stehen verschiedene Wärmeversorgungsmaßnahmen zur Verfügung. Kernelemente dieser Restrukturierung sind der Ausbau der erneuerbaren Energien und eine verbesserte Umwandlungseffizienz, aber auch Wärmenetze spielen in diesem Kontext eine wichtige Rolle. Zur Bewertung dezentraler und zentraler Energieversorgung werden bislang ökonomische und ökologische Kriterien herangezogen. Dabei ist nicht immer offensichtlich, welche Technologie der anderen vorzuziehen ist. Während manche Akteure die Reduzierung des Emissionsausstoßes priorisieren, konzentrieren sich andere auf die Wirtschaftlichkeit des Versorgungssystems. Insbesondere öffentliche Unternehmen wie die kommunalen Energieversorger stehen häufig vor der Herausforderung zwischen ökonomischen, ökologischen und sozialen Zielen abzuwägen. Regionale Wertschöpfungseffekte können dabei als Indikator der sozialen Komponente dienen. Diese Effekte umfassen in diesem Paper die Schaffung und Erhaltung von regionalen Arbeitsplätzen, die kommunalen Steuereinnahmen, die Gewinne lokal ansässiger Unternehmen sowie die lokalen zusätzlichen Einkommen. Das Paper präsentiert einen Forschungsansatz zur Bewertung der Wertschöpfungseffekte von verschiedenen Wärmeversorgungsoptionen. Basierend auf einer Fallstudie für ein Altstadtquartier einer kleinen Mittelstadt werden im Rahmen einer Szenarioanalyse die Wertschöpfungseffekte (1) der flächendeckenden dezentralen Versorgung mittels erdgasbefeuerter Brennwertkesseln, (2) der flächendeckenden Fernwärmeversorgung aus KWK-Anlagen sowie (3) der Mischversorgung des Untersuchungsgebietes bewertet. Im Ergebnis zeigt das Paper, wie regionale Wertschöpfungseffekte gemessen und bewertet werden können, um sie in die Entscheidungsfindungsprozesse städtischer Planungsentscheidungen einzubeziehen. Dabei wird deutlich, dass die Wertschöpfungseffekte in hohem Maße durch unsichere Eingangsgrößen beeinflusst werden, wie die zukünftige Energieträgerpreisentwicklung oder siedlungsstrukturelle Rahmenbedingungen. Weiterhin wird aufgezeigt, dass eine Standardisierung der Wertschöpfungsberechnung zwingenderweise mit starken Vereinfachungen einhergehen muss.

Keywords: Wertschöpfung, Evaluation, Wärmeversorgung

1 Motivation

Die Sicherstellung einer umweltverträglichen sowie zuverlässigen und wirtschaftlichen Energieversorgung zählt zu den größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts und ist zugleich politisches Ziel der deutschen Bundesregierung. Die Umsetzung der nationalen Energie- und Klimaschutzziele erfolgt in den Städten und Kommunen durch die Erstellung von Energie- und Klimaschutzkonzepten als Bestandteil der integrierten Stadtentwicklungsplanung. Zur Realisierung einer energieeffizienten und klimagerechten Stadtentwicklung müssen Städte die verschiedenen Dimensionen kommunaler Restrukturierungsprozesse (sozial-gesellschaftliche, ökonomische und ökologische) adressieren. Vor dem Hintergrund der angestrebten Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 80 % bis 2050 ist vor allem dem strukturellen Wandel der Wärmeversorgung eine zentrale Bedeutung beizumessen. Kernelemente der Umstrukturierung sind der Ausbau der erneuerbaren Energien und eine verbesserte Umwandlungseffizienz – insbesondere durch den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung. Aber auch Wärmenetze spielen in diesem Kontext eine wichtige Rolle.

Die Eignung der verschiedenen Formen der Wärmeversorgung hängt von einer Vielzahl von Parametern ab. Die wichtigsten Einflussparameter sind die Siedlungsstruktur und die Bebauungsdichte, die Investitionskosten der Erzeugungsanlagen (ggf. der Leitungsverlegung) sowie die künftige Entwicklung der Energieträgerpreise. Zur Bewertung der Formen dezentraler und zentraler Wärmeversorgung werden bislang vor allem ökonomische und ökologische Kriterien herangezogen. Dabei ist es nicht immer offensichtlich, welche Technologieauswahl der anderen vorzuziehen ist, denn diese Entscheidung hängt maßgeblich vom Blickwinkel der Akteure ab. Während die einen die Reduzierung des Emissionsausstoßes priorisieren, konzentrieren sich andere vielmehr auf die Wirtschaftlichkeit des Versorgungssystems. Insbesondere öffentliche Unternehmen, wie die kommunalen Energieversorger, stehen häufig vor der Herausforderung zwischen ökonomischen, ökologischen und sozialen Zielen abzuwägen. Während die ökonomische und ökologische Dimension einer Versorgungsoption durch die Quantifizierung der Kosten und der Emissionen bereits standartmäßig abgebildet wird, ist die Darstellung der regionalökonomischen und sozialen Komponente bisher kaum Bestandteil von Analysen. Die regionalen Wertschöpfungseffekte können, zusammen mit den Arbeitsplatzeffekten, hierfür als Indikator dienen. In den vergangenen Jahren wurde eine Vielzahl von Studien zur Wertschöpfungsbestimmung verschiedener erneuerbarer Energien sowie der energetischen Gebäudesanierung erstellt [Blesl und Eikmeier, 2015; Weiß et al., 2014; Finus et al., 2013; Hirschl et al., 2010] und auch im internationalen Kontext rücken die sogenannten positiven und negativen Seiteneffekte (*co-benefits* und *adverse side-effects*) von Klimaschutzmaßnahmen vermehrt ins Zentrum der Aufmerksamkeit [Bruckner et al., 2014; OECD/IEA, 2014; GEA, 2012]. Dennoch ist das Wissen um die kommunale Wertschöpfung bisher stark fall- und technologiebezogen. Wertschöpfungsbewertungen fossiler Energieversorgungssysteme sind bislang kaum erstellt worden. Dieses Paper analysiert fallbezogen die Wertschöpfungseffekte, die durch die Nutzung von Erdgas-Brennwertkesseln und durch die zentrale Wärmeversorgung aus KWK-Anlagen entstehen und stellt sie den Kosten und Emissionen dieser Maßnahmen gegenüber. Somit wird aufgezeigt, wie eine Entscheidungsvorlage für verschiedene Maßnahmenoptionen auf kommunaler Ebene aussehen könnte.

2 Methodik

Die in diesem Paper betrachtete regionale Wertschöpfung umfasst die regional verbleibenden Gewinne, die regional verbleibenden Nettoeinkommen sowie Einnahmen der Kommunen durch Steuern (Gewerbsteuer, Abgeltungssteuer und Einkommenssteuer). Weiter werden die Arbeitsplatzeffekte betrachtet. Es werden lediglich die direkten regionalen Wertschöpfungseffekte quantifiziert; indirekte Effekte, die durch Zuliefererbetriebe und Leistungen durch Drittanbieter entstehen (z. B. durch die Wartung der BHKW-Module) werden nicht in die Analyse einbezogen. Eine Ausnahme bilden die Tiefbauarbeiten, die durch die Leitungsverlegung des Fernwärmenetzes entstehen. Hierfür wurde angenommen, dass das Energieversorgungsunternehmen die anfallenden Kosten für den Leitungsbau zwar auf den Endverbraucherpreis umlegt, der Betrag jedoch direkt an das ausführende Tiefbauunternehmen zu entrichten ist. Die Kosten, die für den Fernwärmeleitungsbau anfallen, wurden somit von den Einnahmen des Energieversorgers subtrahiert und als Einnahme direkt dem Sektor „Tiefbau“ zugeschrieben. Die Wertschöpfungsberechnung erfolgt anhand einer Branchenzuordnung der einzelnen Kostenbestandteile. Es wird angenommen, dass die involvierten Branchen¹ lokal ansässig sind und die anfallenden Aufträge ausführen können. Die regional verbleibenden Gewinne werden anhand des branchenspezifischen umsatzbezogenen Nach-Steuer-Gewinns (EAT) berechnet [Bundesbank, 2014]. Die branchenspezifischen regional verbleibenden Nettoeinkommen werden auf Grundlage der durchschnittlichen Bruttomonatsverdienste 2014 der neuen Bundesländer berechnet [Destatis, 2014]. Die kommunalen Einnahmen, bestehend aus Steuereinnahmen, beziehen sich auf den kommunalen Anteil der unternehmensbezogenen Steuern und der Lohnsteuer. Der kommunale Anteil der Lohnsteuer beträgt 15 % und wird anhand der berechneten Lohnsteuerabgaben ermittelt. Die Unternehmensbesteuerung gliedert sich in die Gewerbesteuer, die Abgeltungssteuer und die Einkommenssteuer. Die Gewerbesteuer wird in Abhängigkeit der Rechtsform der Unternehmen branchenspezifisch berechnet. Es wurde der regional-spezifische Gewerbesteuerhebesatz von 380 % angesetzt. Die spezifische Einkommenssteuer wurde mit Hilfe des Einkommenssteuerrechners des Bundesministeriums der Finanzen berechnet [BMF, 2015]. Bei den Kapitalgesellschaften wird angenommen, dass 25 % ihres Gewinns an Personengesellschaften als Teilhaber ausgezahlt wird und daher Einkommenssteuer anfällt [Weiß et al., 2014]. Die Abgeltungssteuer wird nur für die Gewinne der Kapitalgesellschaften erhoben. Hierbei wird angenommen, dass 50 % des Gewinns an private Teilhaber ausgeschüttet werden. Auf diesen Gewinn wird die Abgeltungssteuer erhoben, welche zu 12 % kommunal verbleibt [Weiß et al., 2014]. Die Arbeitsplatzeffekte werden anhand von statistischen Werten berechnet. Hierfür wurde aus verschiedenen Quellen des statistischen Bundesamtes [Destatis, 2015a; Destatis, 2015b; Destatis, 2015c] die Anzahl der Vollzeitmitarbeiter (VZÄ) pro 1 Million Euro Umsatz berechnet.

Die Grundlage der Wertschöpfungsberechnung bilden die *levelized cost of energy LCOE* (kapital-, betriebs- und bedarfsgebundene Kosten einschließlich Erlösen) der Versorgungsvarianten. Diese werden gebäudescharf für alle Verbraucher im Versorgungsgebiet auf der Basis georeferenzierter Daten mit Hilfe des Software-Tools DESCoM (De-centralized Energy

¹ Die Branchenzuordnung entspricht der statistischen Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft (NACE-Klassifikation).

Supply Conception Model) [Gröger et al., 2014] berechnet. Der detaillierte bottom-up engineering Modellansatz vereint die Anforderungen der Energiesimulation, der ökologischen Bewertung und der Wirtschaftlichkeitsanalyse. DESCoM ermöglicht die Bilanzierung des Nutzwärmebedarfs der Gebäude anhand ihrer baulich-konstruktiven Eigenschaften in Abhängigkeit des Baualters und der Nutzungsart. Die modellinterne Berechnung des Nutzwärmebedarfs basiert auf den Kenndaten der deutschen Gebäudetypologie sowie auf georeferenzierten Gebäudedaten des städtischen Gebäudebestands. Aus dem – gemäß den gültigen DIN-Normen und unter Berücksichtigung des Nutzerverhaltens – simulierten Nutzwärmebedarf wird die Dimensionierung der Versorgungssysteme abgeleitet. Die Auslegung und ökologische Bewertung der Versorgungstechnik basiert auf zeitlich hoch aufgelösten Last- und Bedarfsprofilen unter Heranziehung meteorologischer Daten. Die ökonomische Bewertung folgt der annuitätischen Betrachtungsweise der VDI-Richtlinie 2067. Durch die Verwendung von Kostenfunktionen können die Investitionskosten gebäudescharf nach Höhe der Gebäude-Heizlast berechnet werden. Somit kann die von der Anlagengröße abhängige Degression der spezifischen Investitionskosten in der Modellierung berücksichtigt werden. In die Ermittlung der Investitionskosten der dezentralen Versorgung werden die Systemkomponenten Brennwertkessel, Trinkwasserspeicher und Gasnetzanschlusskosten einbezogen. Bei der zentralen Versorgung werden die Kosten der Hausübergabestationen berücksichtigt. Zusätzlich gehen in die Berechnung der *LCOE* anfallende Planungskosten, Betriebskosten für Instandhaltung bzw. für Wartung und Inspektion sowie Kosten für Brennstoffe (Erdgas- bzw. Fernwärme) und Hilfsenergie ein.

Der Endverbraucherpreis für Fernwärme wird – in Übereinstimmung mit den Vorgaben der Verordnung über die allgemeinen Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme (AVBFernwärmeV) – kostenorientiert gebildet. Als Kostenmaßstab werden die langfristigen Grenzkosten gewählt. Der Fernwärmepreis im Versorgungsgebiet wird durch die Wärmegestehungskosten repräsentiert, die sich auf Basis des Vollkostenansatzes aus den kapital-, betriebs- und bedarfsgebundenen Kosten der Erzeugung (BHKW, Spitzenlastkessel, Umwälzpumpen) und des Wärmenetzes sowie den Erlösen aus dem KWK-Stromverkauf berechnen. Die notwendige technische und wirtschaftliche Modellierung der zentralen Wärmeversorgung erfolgt ebenfalls modellintern. Dabei hängt die Auslegung von BHKW und Spitzenlastkessel von der Gesamtwärmeleistung des Versorgungsnetzes ab; die Dimensionierung der Versorgungstrassen erfolgt für den Auslegungszustand. Das der Fallstudie zugrunde liegende Fernwärmenetz wird als Heißwassernetz mit folgenden Randbedingungen konzipiert:

- monozentrische Wärmeeinspeisung,
- Strahlennetz, Zweileitersystem, kanalfreie Verlegung (Grabenverlegung),
- Kunststoffmantelrohrsystem,
- konstanter Volumenstrom, Temperaturregelung: gleitende Vorlauftemperatur zur Bedarfsanpassung,
- Temperaturspreizung: Vor- und Rücklauftemperatur, $t_V=90\text{ °C}$, $t_R=70\text{ °C}$.

Es ist zu berücksichtigen, dass das Paper eine volkswirtschaftliche Betrachtungsweise unterstellt, d. h. es wird ein politikfreier Vergleich der betrachteten Wärmeversorgungssysteme angestrebt. Potenzielle Förderinstrumente, z. B. der KWK-Zuschlag für KWK-Strom nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz werden nicht berücksichtigt.

3 Beschreibung der Fallstudie

Die Berechnung und Bewertung der regionalen Wertschöpfungseffekte wird basierend auf den Falldaten eines Altstadtquartiers einer kleinen Mittelstadt durchgeführt. Die Fallstudie beruht auf Eingangsdaten der Großen Kreisstadt Delitzsch im Nordwesten des Freistaates Sachsen, die Bevölkerungszahl in Delitzsch betrug zum 31.12.2014 24.911 Einwohner [StaLA Sachsen, 2015]. Unvollständige Eingangsdaten wurden durch eigene Annahmen ergänzt. Die Ergebnisse stellen somit Näherungswerte der Ist-Situation vor Ort dar und haben zugleich repräsentativen Charakter.

Die Berechnung der Wertschöpfungseffekte sowie der Kosten und Emissionen beruht auf gebäudespezifischen Daten. Dazu wurde ein Geographisches Informationssystem (GIS) implementiert, das auf Attributdaten zum Gebäudebestand, z. B. Baujahr und Gebäudenutzung, aus dem Amtlichen Topografisch-Kartografischen Informationssystem (ATKIS), dreidimensionalen LIDAR-Daten² und Orthofotos aufbaut.

4 Szenariendefinition

Im Rahmen einer Szenarioanalyse werden die regionalen Wertschöpfungseffekte für das Untersuchungsgebiet in drei Szenarien berechnet und vergleichend analysiert:

- Szenario 1 (S 1): 100 % dezentrale Wärmeversorgung mit erdgasbefeuerten Brennkesseln (EG BW),
- Szenario 2 (S 2): 100 % zentrale Wärmeversorgung aus BHKW und Spitzenlastkessel (FW),
- Szenario 3 (S 3): Mischversorgung aus 43,2 % Fernwärmeversorgung und 56,8 % dezentrale Wärmeversorgung mit erdgasbefeuerten Brennkesseln.

Die Mischversorgung im Szenario 3 wird anhand des Wirtschaftlichkeitskriteriums für Fernwärmenetze, einer Wärmelinien-dichte von 1,5 MW/km [Wolff & Jagnow, 2011] definiert. Der Wärmebedarf eines Versorgungsgebietes wird durch die Siedlungsstruktur und -dichte, die vorhandene Gebäudetypologie und den energetischen Gebäudezustand bestimmt. Zur Beschreibung der Anschluss- und Wärmeabnahmedichte eines Versorgungsgebietes werden die Wärmedichte in MW/km² und die Wärmelinien-dichte in MW/km herangezogen. Letzterer Kennwert entspricht der Anschlussleistung bezogen auf die Trassenlänge. Somit werden im Szenario 3 nur noch jene Trassen erschlossen, deren Wärmelinien-dichte das Wirtschaftlichkeitskriterium erfüllt (vgl. Abb. 1). Alle anliegenden Gebäude werden über einen Fernwärmeanschluss versorgt, die übrigen Gebäude werden dezentral über erdgasbefeuerte Brennkessel versorgt.

² Entfernungs- bzw. Höhendaten, die bei einem Überflug mithilfe eines laserbasierten LIDAR-Systems (Light detection and ranging) erhoben wurden.

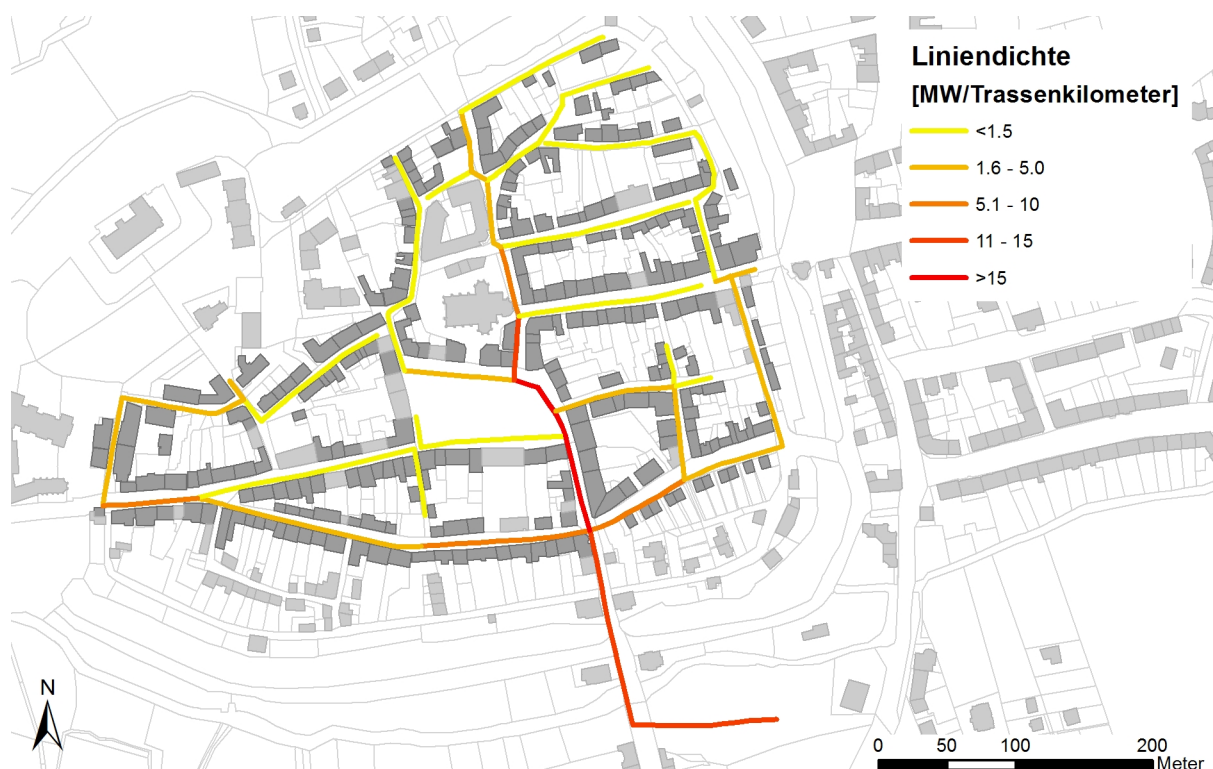


Abbildung 1: Trassenmodell des Altstadtquartiers.

Die *LCOE* werden für einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren (2014-2038) unter Berücksichtigung der in Tabelle 1 angegebenen Rahmenannahmen berechnet. Die zugrunde liegende Preisentwicklung von Erdgas orientiert sich an der BMU-Leitstudie, Preispfad B. Die Haushaltsstrompreise basieren auf einer Projektion der Spotmarktpreise, welche mit dem fundamentalen europäischen Strommarktmodell MICOES-Europe³ ermittelt wurden. Im Rahmen eines gemischt-ganzzahligen Lösungsansatzes liefert das Modell die an der European Energy Exchange zu erwartenden Spotmarktpreise sowie die stündlichen Betriebsprofile der Kraftwerke und deren CO₂-Emissionen.

Tabelle 1: Rahmenannahmen der Szenarioanalyse.

Reale Energiepreise	2014	CAGR (Compound Annual Growth Rate)
Erdgas Haushalte	6,0 ct/kWh _{HS}	1,01 %
Erdgas Großhandelspreis (FW)	26,1 €/MWh _{HS}	1,24 %
Strom Haushalte	31,2 ct/kWh	1,27 %
Strom Großhandelspreis (FW)	41,7 €/MWh	1,33 %
Kalkulationszins (nominal)	6 %	
Inflation	2 %	

³ Eine ausführliche Modellbeschreibung zu MICOES-Europe (Mixed Integer Cost Optimization Electricity System for Europe) findet sich in [Böttger et al., 2015].

5 Analyse

Die in Tabelle 2 dargestellten Kosten umfassen alle Kostenbestandteile, die innerhalb des Betrachtungszeitraums für den Endverbraucher anfallen und dienen der Ableitung der direkten Wertschöpfung.

Tabelle 2: Annuitätische Kosten in €/a der Wärmeversorgungsvarianten im Quartier (NACE-Codes: 35 = Energieversorgung, 42 = Tiefbau, 43 = Bauinstallation).

Kostenart	Kostenposition	S 1	S 2	S 3		NACE-Code	
				EG BW	FW	EG BW	FW
Kapital- gebunden	Erzeugung	107.385	85.338	57.277	38.419	43	35
	Speicherung	23.965	0	12.728	0	43	-
	Anschluss	38.581	0	21.901	0	42	-
	Planung	39.459	20.750	21.298	9.342	43	35
Betriebs- gebunden	Installation	16.971	21.899	9.045	9.859	43	35
	Wartung & Inspektion	23.919	10.949	12.751	4.929	43	35
Bedarfs- gebunden	Brennstoffe	537.021	744.240	264.121	404.012	35	35/42
	Hilfsenergie	80.244	68.342	43.828	31.431	35	35
Summe		867.544	951.518	442.948	497.993		
				940.941			

Die drei untersuchten Szenarien führen zu ähnlich hohen Wertschöpfungseffekten (Abb. 2). Der Haupteffekt entsteht durch die regional verbleibenden Gewinne. Regional verbleibende Nettoeinkommen sowie kommunale Steuereinnahmen machen in etwa gleichen Teilen den verbleibenden Effekt aus. Unterschiede zwischen den Szenarien hinsichtlich der Arbeitsplatzeffekte (ermittelt in Vollzeitäquivalenten, VZÄ) sind vor allem auf entstehende Skaleneffekte bei der zentralen Wärmeversorgung (Szenario 2) zurückzuführen. Der Personalaufwand für Wartungs- und Inspektionsarbeiten ist im Fernwärmesystem deutlich geringer als beim dezentralen Versorgungssystem. Während sich die Wertschöpfungseffekte und Arbeitsplätze der dezentralen Versorgung auf die Branchengruppen 35, 42 und 43.22 (Heizungs-, Lüftungs- und Klimainstallation) verteilen, sind bei der Fernwärmeversorgung lediglich der lokale Energieversorger und der Tiefbau an der regionalen Wertschöpfung beteiligt. Hier ist jedoch zu beachten, dass der lokale Energieversorger, neben den Tiefbauarbeiten, weitere 27 % (S 2) bis 32 % (S 3) seiner Einnahmen an regionale Unternehmen für die Investition der Erzeugungseinheiten (9-1 %), Planung (2 %), Instandhaltung (15-16 %) sowie für Wartung und Inspektion (2 %) weiterreicht. Eine Weitergabe von umfangreichen regionalen Unteraufträgen der Branchen 42 und 43 ist im Normalfall nicht anzunehmen. Die vorliegende Wertschöpfungsbetrachtung kann daher als erster Anhaltspunkt dienen, bedarf aber weiterer Konkretisierung.

Aus der Wertschöpfungs- und Beschäftigungsperspektive sind die Szenarien 1 und 3 am positivsten zu bewerten. Während im Szenario 1 mehr Vollzeitäquivalente entstehen, ist in Szenario 3 die regionale Wertschöpfung etwas höher.

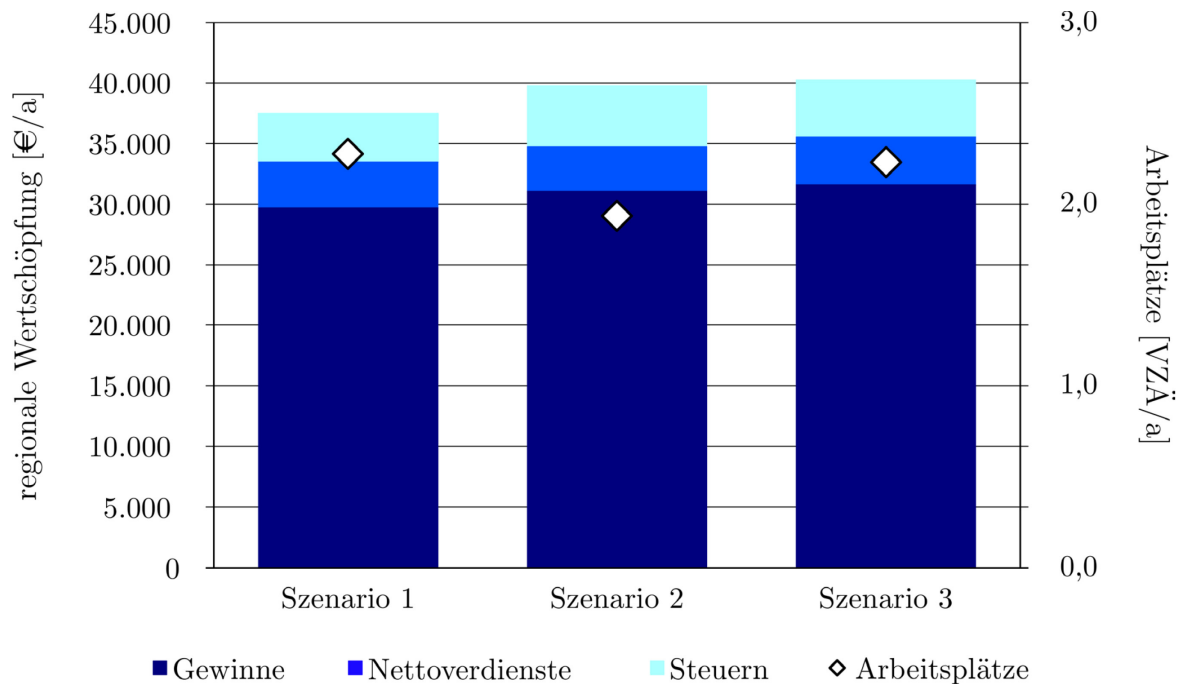


Abbildung 2: Regionale Wertschöpfungseffekte in den Szenarien.

Die Szenarien unterscheiden sich auch hinsichtlich der zeitlichen Komponente. Während in Szenario 2 die jährlich anfallenden direkten Wertschöpfungseffekte durch den Fernwärmebezug überwiegen (91 % der Gesamtwertschöpfung), tragen im Szenario 1 vor allem die Investitionskosten der Heizungssysteme zur regionalen Wertschöpfung bei (61 % der Gesamtwertschöpfung). Zusammenfassend ist zu sagen, dass sich die Ergebnisse der Szenarien hinsichtlich der regionalen Wertschöpfungseffekte nicht substantiell voneinander unterscheiden.

In Abbildung 3 wird die Wertschöpfung den ökonomischen und ökologischen Entscheidungsparametern gegenübergestellt. Der Vergleich der spezifischen Kosten- und Emissionswerte zeigt, dass die flächendeckende Wärmeversorgung mit dezentralen Erdgas-Brennwertkesseln im Szenario 1 die geringsten Kosten (105,18 €/MWh*a) bei gleichzeitig geringstem Emissionsaustoß (253,58 kg/(MWh*a)) generiert. Die flächendeckende Fernwärmeversorgung im Szenario 2 verursacht hingegen die höchsten Kosten und Emissionen pro Megawattstunde Endenergieeinsatz. Im Mittelfeld der Kosten- und Emissionswerte ordnet sich das Szenario 3, die Mischversorgung ein.

Die höheren CO₂-Emissionen der Fernwärme sind auf die Dynamik des Stromreferenzsystems zurückzuführen, die bei der Bewertung von KWK-Anlagen zu beachten ist. Die Allokation der CO₂-Emissionen zu den Koppelprodukten Strom und Wärme, die durch das BHKW erzeugt werden, erfolgt nach der Wärme-Restwertmethode. Die errechneten CO₂-Emissionen des gesamten im KWK-System eingesetzten Brennstoffs werden um eine Stromgutschrift reduziert, deren Höhe den CO₂-Emissionen der Stromerzeugung entspricht, die durch die KWK-Anlage substituiert werden. Weil der Betrieb einer KWK-Anlage einen höheren Brennstoffverbrauch verursacht als die ausschließliche Wärmeerzeugung, führt der – aufgrund

des steigenden Anteils regenerativer Energieträger im deutschen Kraftwerkspark – abnehmende Emissionsfaktor der verdrängten Stromerzeugung⁴ zu höheren CO₂-Emissionen der erdgasbefeuerten Fernwärme ggü. dem Einsatz von Erdgas-Brennwertkesseln.

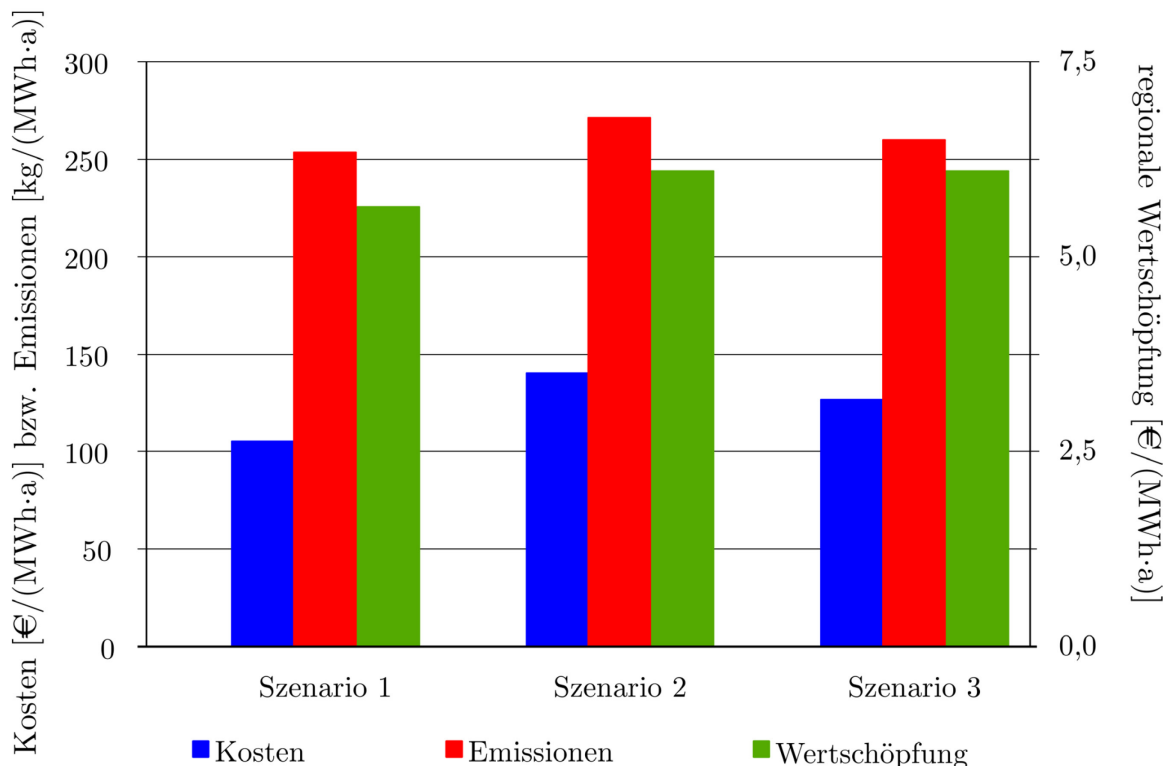


Abbildung 3: Kosten, Emissionen und regionale Wertschöpfungseffekte im Vergleich.

Betrachtet man sowohl die Kosten- und Emissionswerte als auch die spezifische regionale Wertschöpfung, liefert das Szenario 3 die besten Ergebnisse: es führt bei ähnlich hohen Emissionswerten wie das Szenario 1 und geringeren Gesamtkosten als Szenario 2 zu den höchsten Wertschöpfungseffekten.⁵ Das aus Kosten- und Emissionsperspektive beste Szenario 1 schneidet bei der Betrachtung der Wertschöpfungseffekte am schlechtesten ab. Ähnlich wie bei der Betrachtung der Wertschöpfungseffekte fällt auf, dass auch bei Hinzunahme weiterer Entscheidungsparameter, sich die Szenarien nicht stark voneinander unterscheiden.

Sowohl die Emissionen als auch die Kosten und daraus ableitend die ermittelten Wertschöpfungseffekte unterliegen jedoch unsicheren Einflussgrößen. Ein wichtiger Unsicherheitsfaktor ist die zukünftige Preisentwicklung des Energieträgers Erdgas sowie die künftige Entwicklung des konventionellen und erneuerbaren Kraftwerksparks. Siedlungsstrukturelle Rahmenbedingungen üben maßgeblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der zentralen Wärmeversorgung aus. Da insbesondere die Wärmeverteilung einen hohen Fixkostenanteil aufweist, der unabhängig vom Niveau der Wärmenachfrage ist, sinken die spezifischen Verteilungskosten mit zunehmender Wärmedichte. Das hier betrachtete Quartier weist

⁴ Die Berechnung der CO₂-Äquivalente des deutschen Strommix erfolgt mit MICOES-Europe und sinkt im Betrachtungszeitraum von 542 auf 301 g/kWh.

⁵ Die spezifische Wertschöpfung berechnet sich aus der regionalen Wertschöpfung (vgl. Abb. 3) und dem vom Versorgungssystem abhängigen Endenergiebedarf pro Szenario.

aufgrund eines guten energetischen Gebäudezustands⁶ eine relativ geringe Wärmedichte von 18 MW/km² auf. Somit können die Ergebnisse der Fernwärmeversorgung in anderen Städten und Gemeinden aufgrund regionaler Unterschiede der Gebäudestruktur und Wärmedichte stark variieren. Zugleich hängen die ökonomische und insbesondere die ökologische Bewertung der Fernwärme vom Energieträgereinsatz ab. Die Flexibilität der Fernwärmeversorgung hinsichtlich des verwendeten Energieträgers ermöglicht den Wechsel von fossilen zu regenerativen Brennstoffen und kann damit den Beitrag der zentralen Wärmeversorgung zur Dekarbonisierung des Energiesystems deutlich erhöhen. Ein weiterer strategischer Vorteil von Fernwärmesystemen, der sich nicht in den hier betrachteten Bewertungskriterien quantifizieren lässt, resultiert aus der Möglichkeit der Integration der volatilen erneuerbaren Energieeinspeisung in das Erzeugungssystem (z. B. stellen Power-To-Heat-Anwendungen eine Möglichkeit dar, den Überschuss elektrischer Energie aus der fluktuierenden Erzeugung der Erneuerbaren in die Wärmeversorgung zu integrieren).

6 Fazit

Das Paper präsentiert einen Forschungsansatz zur Bewertung der Wertschöpfungseffekte von Wärmeversorgungsoptionen. Anhand einer Fallstudie wurde szenariobasiert die regionale Wertschöpfung ermittelt und den ökonomischen und ökologischen Entscheidungskriterien gegenübergestellt. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Einbeziehung der sozialgesellschaftlichen Dimension die Bewertung von Energieversorgungssystemen um ein zentrales Kriterium erweitert und den Entscheidungsfindungsprozess im Rahmen der energieeffizienten Stadtentwicklungsplanung bereichert. Die Bewertung von kommunalen Wärmeversorgungsoptionen kann, wie in Abbildung 3 sichtbar wurde, durch die Hinzunahme des Indikators Wertschöpfung zu differenzierten Ergebnissen führen. Aufgrund unsicherer Eingangsgrößen muss die Berechnung der Wertschöpfung, wie auch die Ermittlung der standardisierten Kosten- und Emissionskennwerte, regionale Besonderheiten berücksichtigen und sollte stets fallbezogen erfolgen.

Literatur

- [Blesl und Eikmeier, 2015] Blesl, M.; Eikmeier, B.: Die 70/70 Strategie, Konzept und Ergebnisse, AGFW (Hrsg.), Frankfurt am Main.
- [BMF, 2015] Bundesministerium der Finanzen: Lohn- und Einkommensteuerrechner, Steuerberechnung für Einkommensteuerpflichtige für die Jahre 1958 bis 2015, <https://www.bmf-steuerrechner.de/ekst/> [21.07.2015].
- [Böttger et al., 2015] Böttger, D., Götz, M., Theofilidi, M., Bruckner, T.: Control power provision with power-to-heat plants in systems with high shares of renewable energy sources - An illustrative analysis for

⁶ Rund 85 % des Gebäudebestandes im Quartier entsprechen einem Wärmeschutzstandard nach Wärmeschutzverordnung 1995 oder besser.

- Germany based on the use of electric boilers in district heating grids. In: Energy 82 (2015), S. 157–167.
- [Bruckner et al., 2014] Bruckner, T.; Bashmakov, I.A.; Mulugetta, Y.; Chum, H.; De La Vega Navarro, A.; Edmonds, J.; Faaij, A.; Fungtammasan, B.; Garg, A.; Hertwich, E.; Honnery, D.; Infield, D.; Kainuma, M.; Khennas, S.; Kim, S.; Nimir, H.B.; Riahi, K.; Strachan, N.; Wisser, R.; Zhang, X.: Energy Systems. In: Edenhofer, O. Et Al. (Hrsg.): Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [Bundesbank, 2014] Bundesbank: Hochgerechnete Angaben aus Jahresabschlüssen deutscher Unternehmen von 2006 bis 2013. Online verfügbar unter:http://www.bundesbank.de/Navigation/DE/Publikationen/Statistiken/Statistische_Sonderveroeffentlichungen/Statso_5/statistische_sonderveroeffentlichungen_5.html [27.01.2016].
- [Destatis, 2015a] Statistisches Bundesamt: Produzierendes Gewerbe Beschäftigte, Umsatz und Investitionen der Unternehmen und Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden 2014, Fachserie 4 Reihe 4.2.1, Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Industrie/VerarbeitendesGewerbe/Strukturdaten/BeschaeftigteUmsatzInvestitionen2040421107004.pdf?__blob=publicationFile [21.07.2015].
- [Destatis, 2015b] Statistisches Bundesamt, Produzierendes Gewerbe, Tätige Personen und Umsatz der Betriebe im Baugewerbe, Fachserie 4 Reihe 5.1, Wiesbaden. Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/GPStatistik/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft_derivate_00005041/2040510117004.pdf [21.07.2015].
- [Destatis 2015c] Statistisches Bundesamt, Produzierendes Gewerbe Beschäftigung, Umsatz und Investitionen der Unternehmen im Baugewerbe, Fachserie 4 Reihe 5.2, Wiesbaden. Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/BaugewerbeStruktur/BeschaeftigungUmsatzBaugewerbe2040520127004.pdf?__blob=publicationFile [21.07.2015].
- [Destatis, 2014] Destatis, Statistisches Bundesamt, 2014, Verdienste und Arbeitskosten, Arbeitnehmerverdienste, Jahr 2010, Fachserie 16, Reihe 2.3., Wiesbaden.
- [Finus et al., 2013] Finus, O.; Lauerburg, K.; Pietz, C.; Schaubt, M.: Kommunale Investitionen in Erneuerbare Energien – Wirkungen und

- Perspektiven. Wissenschaftlicher Endbericht. Institut für angewandtes Stoffstrommanagement Deutsche Umwelthilfe e.V. (Hrsg.) Birkenfeld, Radolfzell. 2013.
- [GEA, 2012] Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 2012.
- [Gröger et al., 2014] Gröger, M., Verhoog, M., Weinsziehr, T., Buchmann, C., Grunert, P., Bruckner, T.: Integrierte Modellierung urbaner Energiesysteme. In: Christen, G., Hamman, P., Jehling, M., Wintz, M. (Hrsg.): Systèmes énergétiques renouvelables en France et en Allemagne, analyse socio-économique, synergies et divergences. Editions Orizons, Paris, 2014, S. 253–275.
- [Hirschl et al., 2010] Hirschl, B, Aretz, A, Prah, A, Böther, T, Heinbach, K, Pick, D und Funcke, Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien. Schriftenreihe des IÖW, 267 Seiten, 2010. Online verfügbar unter: http://www.ioew.de/uploads/tx_ukioewdb/IOEW_SR_196_Kommunale_Wertschöpfung_durch_Erneuerbare_Energien.pdf [20.01.2016].
- [OECD/IEA, 2014] OECD/IEA: Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency. Paris, France, 2014.
- [StaLA Sachsen, 2015] Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (Hrsg.): Bevölkerungsstand des Freistaates Sachsen nach Kreisfreien Städten und Landkreisen, 2015. https://www.statistik.sachsen.de/download/010_GB-Bev/Bev_Z_Gemeinde_akt.pdf
- [Weiß et al., 2014] Weiß, J, Prah, A, Neumann, A, Schröder, A, Bettgenhäuser, K, Hermelink, A. et al.: kommunale Wertschöpfungseffekte durch energetische Gebäudesanierung (KoWeG). 2014. Online verfügbar unter: https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/article/141028%20Endbericht_KoWeG_final_0.pdf [19.02.2015].
- [Wolff & Jagnow, 2011] Wolff, D. ; Jagnow, K. : Untersuchung von Nah- und Fernwärmenetzen. Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung, 2011. http://www.iwo.de/fileadmin/user_upload/Dateien/Fachwissen/Studie_Untersuchung_Nah- und_Fernwaermenetze.pdf.