

# Einzelentscheidungen im Kontext einer kommunalen Wärmeplanung – ein Modellansatz

## *Individual Decisions in the Context of Municipal Heat Planning – A Model Approach*

Jürgen Knies

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

**Zusammenfassung:** Die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung in den Städten wird zu einer tief greifenden Veränderung des Energiesystems führen. Eine kommunale Energieplanung allein kann zu Akzeptanzproblemen führen. Es wird untersucht, inwieweit die Einbeziehung von Einzelentscheidungen auf Gebäudeebene strategische Planungen unterstützen können, um ordnungsrechtliche Maßnahmen zu minimieren.

**Schlüsselwörter:** Wärmeplanung, agentenbasierte Modellierung, Dekarbonisierung, Motivierung

**Abstract:** *The decarbonisation of heat supply in cities will lead to a profound change in the energy system. A municipal energy planning alone can lead to acceptance problems. It is being investigated the extent to which the consideration of individual decisions at building level can support strategic planning to minimize regulatory action.*

**Keywords:** *Heat planning, agent based modeling, decarbonisation, motivation*

## 1 Motivation und Ausgangssituation

Die Erreichung der Klimaschutzziele stellt eine besondere Herausforderung dar, zumal das Problem drängender und dringender wird. Die seitens der Bundesregierung in Deutschland im Klimaschutzplan beschlossenen Zielvorgaben (BMUB, 2016) werden vor dem Hintergrund der bisherigen Reduktionen nicht erreicht (Graichen et al., 2017). Die Anstrengungen werden alle Lebensbereiche betreffen, so auch die Nutzung von Gebäuden und den damit verbundenen Wärmebedarf. In Deutschland beträgt der Anteil 27 % (Raumwärme) bzw. 5 % (Warmwasser) des Energieverbrauchs in Deutschland in 2015 (BMWi, 2017a). Laut Klimaschutzplan soll der Wärmebedarf im Jahre 2050 nahezu klimaneutral gedeckt werden.

### 1.1 Derzeitige Programme und Maßnahmen

Die derzeitigen Maßnahmen können grob in zwei Kategorien unterteilt werden.

- Gebäudebezogene Programme (z. B. Wärmedämmung, Förderung von einzelnen Technologien (Wärmepumpe, Solarthermie, Photovoltaik, Kraft-Wärme-Kopplung etc.).
- Quartiersbezogene Programme (z. B. Energetische Stadtsanierung, Förderung von Wärmenetzen etc.).

Die jeweiligen Fördermöglichkeiten sind sehr unterschiedlich ausgestaltet und sind in unterschiedlichen Gesetzen und Verordnungen verankert, was sehr eindrucksvoll in der „Gesetzeskarte der Energieversorgung“ (BMWi 2017b) dargestellt wird.

## 1.2 Energieplanung

Mithilfe einer kommunalen Energieplanung können Aussagen über die zukünftige Entwicklung getroffen werden, die nicht allein abhängig von aktuellen Fördertatbeständen sind, sondern sowohl städtebauliche Entwicklungen (Siedlungsflächen, Demographie, Mobilität etc.) berücksichtigen als auch die lokalen Potenziale an erneuerbaren Energien im Blick haben. So schlagen Habermann-Nieße et al. (2012) eine Kombination aus Städtebauförderung und energetischer Förderung vor, die eine räumliche Differenzierung erfahren (z. B. in Form von KfW-Vorranggebieten) ohne ihre Breitenwirkung zu verlieren.

Für Kommunen wird die Wärmeplanung als zukünftig wichtiges Handlungsfeld gesehen (Schubert, 2015; Hertle et al., 2012). Allerdings werden die oben erwähnten Förderprogramme als nicht ausreichend angesehen, um eine energetische Transformation ganzer Städte voranzubringen. Ein planerischer Ordnungs- und Gestaltungsrahmen fehlt, der die räumlichen Planungen wie die Bauleitplanung in energetischen Belangen ausgestalten hilft. „Häufig fehlt es auf kommunaler Ebene an der langfristig-strategischen Ausrichtung beim Umbau städtischer Energiesysteme.“ (Riechel et al., 2016, p. 25). Wärmeplanung sollte dabei nicht auf eine Wärmenetzplanung reduziert werden, sondern befasst sich mit lokal passenden Wärmeversorgungsoptionen (z. B. Einzelversorgung von Gebäuden auf Basis von Wärmepumpen, LowEx-Wärmenetze etc.; Definitionen s. Kapitel 2).

Die zu betrachtenden räumlichen Teilbereiche innerhalb einer Stadt können wiederum sehr unterschiedlich abgeleitet werden. Etabliert hat sich die Analyse städtebaulich definierter Quartiere oder Straßenblöcke (Maier, 2016), was zu diskreten Untersuchungs- und Maßnahmenräumen führt. Andere Ansätze gehen davon aus, dass aus Energiedaten heraus die Untersuchungsräume entwickelt werden und die Maßnahmenräume kontinuierliche Übergänge aufweisen (Knies, 2017).

## 1.3 Akzeptanz von Transformationsprozessen

Akzeptanz beruht auf Freiwilligkeit, eine Entscheidung oder eine gesellschaftliche Entwicklung anzunehmen, und gründet auf einem zustimmenden Werturteil. Individuen präferieren dabei kollektiv verbindliche Lösungen (Menges & Traub, 2012; Menges, 2017). Schon das aktuelle EEG berücksichtigt nicht die Leistungsfähigkeit der Haushalte, sodass sich im Stromsektor eine Gerechtigkeitslücke für Haushalte mit niedrigem Einkommen abzeichnet (Menges, 2017). Eine kommunale Energieplanung kann allerdings dazu führen, dass lokal differenzierte Festlegungen hinsichtlich der Wärmeversorgung getroffen werden, die ungerrecht erscheinen können, da Eigentümer vergleichbarer Gebäude in anderen Bereichen zu jeweils anderen Wärmeversorgungsoptionen gelenkt werden. Die Situation kann durch eine Zunahme von EE-Anlagen im städtischen Umfeld (Ausweitung der PV-Anlagen auf Dächern, großflächige Solarthermieanlagen, Baumaßnahmen für Wärmenetz etc.), noch verschärft werden. Mit LULU (Locally Unwanted Land Use)- bzw. NIMBY (Not In My Backyard)-Effekten (Matthiesen, 2002), die innerhalb der Stadt ausgetragen werden, muss verstärkt gerechnet werden.

## 1.4 Fragestellung des Beitrags

Im Beitrag wird angenommen, dass sich eine strategische Energieplanung nach Knies (2017) etabliert hat und Eignungsbereiche für verschiedene Wärmeversorgungsoptionen räumlich

abgegrenzt werden. Nun soll die Perspektive umgekehrt und die Sichtweise der Gebäude eingenommen werden. Vereinfacht werden Entscheidungen einem Gebäude zugeordnet; in der Realität entscheiden nicht Gebäude, sondern Eigentümer, deren Strukturen beliebig komplex sein können. Wichtig ist zu betonen, dass keine monetären, sondern rein energiebezogene Kriterien herangezogen werden.

Folgenden Fragen wird mithilfe einer räumlich expliziten, agentenbasierten Modellierung (ABM) nachgegangen:

- Inwieweit können Einzelentscheidungen auf Gebäudeebene eine strategische Energieplanung unterstützen oder konterkarieren?
- Kann mithilfe der Einzelentscheidung eine Modifizierung der strategischen Planung vorgenommen werden, die kleinräumige Besonderheiten besser berücksichtigt?

Aufgrund des Fehlens empirischer Daten von großdimensionierten energetischen Stadtbauten haben die unten beschriebenen Modellüberlegungen Thesencharakter.

## 2 Material und Methode

Für die Stadt Oldenburg (Oldbg.) in Niedersachsen liegen modellierte Wärmebedarfe (Raumwärme und Warmwasser) der Wohn- und Nichtwohngebäude vor. Die Daten (ca. 55.000 Punktoobjekte) stammen aus einem kommerziellen Datensatz der DBI GUT GmbH. Für die Modellierung werden die Gebäudegeometrien, 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). Dem Beitrag liegen nur die jährlichen Wärmebedarfe und die Gebäudenutzung vor. Auf dieser Basis werden Eignungsbereiche für verschiedene Wärmeversorgungsoptionen ermittelt, die dem heutigen Wissensstand hinsichtlich einer Dekarbonisierungsstrategie in der Wärmeversorgung folgt (Lund et al., 2014). Die Methode wird in Knies (2017) näher beschrieben, wobei in diesem Beitrag zwecks Vereinfachung keine abgestuften Übergänge zwischen den Bereichen dargestellt werden. Die Eignungsbereiche werden in einem  $100 \times 100$  m Raster dargestellt, wobei zusätzlich die Ausprägungen der Nachbarzellen berücksichtigt werden, sodass sich zusammenhängende Eignungsbereiche ergeben.

**Tabelle 1:** Definition der Wärmeversorgungsoptionen

Wärmeliniendichte je Rasterzelle (MWh/(m × a))	Definition
< 0,5	<b>Einzelversorgung:</b> Die Wärmedichte ist so gering, dass in Zukunft die Gebäude eine eigenständige Versorgung bewerkstelligen (Wärmepumpen, Brennstoffzellen etc.) (KfW, 2016).
≥ 0,5 – < 1,5	<b>LowEx-Wärmenetze:</b> Wärmenetze, die saisonal oder ganzjährig ein niedriges Temperaturniveau aufweisen (bis max. 40 Grad Celsius im Sommer, 70-90 Grad Celsius im Winter) oder auch ganzjährig bis max. 40 Grad (NEUMANN, 2014; TFT GMBH, 2015).

Wärmeliniendichte je Rasterzelle (MWh/(m × a))	Definition
≥ 1,5	<b>Klassische Nahwärme:</b> Ganzjährige Bereitstellung von 70 – 90 Grad Celsius über (dezentrale) KWK-Anlagen mit Unterstützung von Wärmepumpen zwecks Integration industrieller Abwärme (Paar et al., 2013), dies kann auch übergehen in Inselfsysteme größerer Liegenschaften (Campus, Kliniken etc.).
indifferent	Die Eignung kann nicht eindeutig den oben beschriebenen Einteilungen zugeordnet werden. Die Bereiche weisen gleichrangig verschiedene Eignungen auf.

Die Eignungsbereiche ersetzen nicht die nachfolgende technische Detailplanung, sondern stellen räumliche „Leitplanken“ einer gewünschten Entwicklungsrichtung dar.

## 2.1 Modellierung

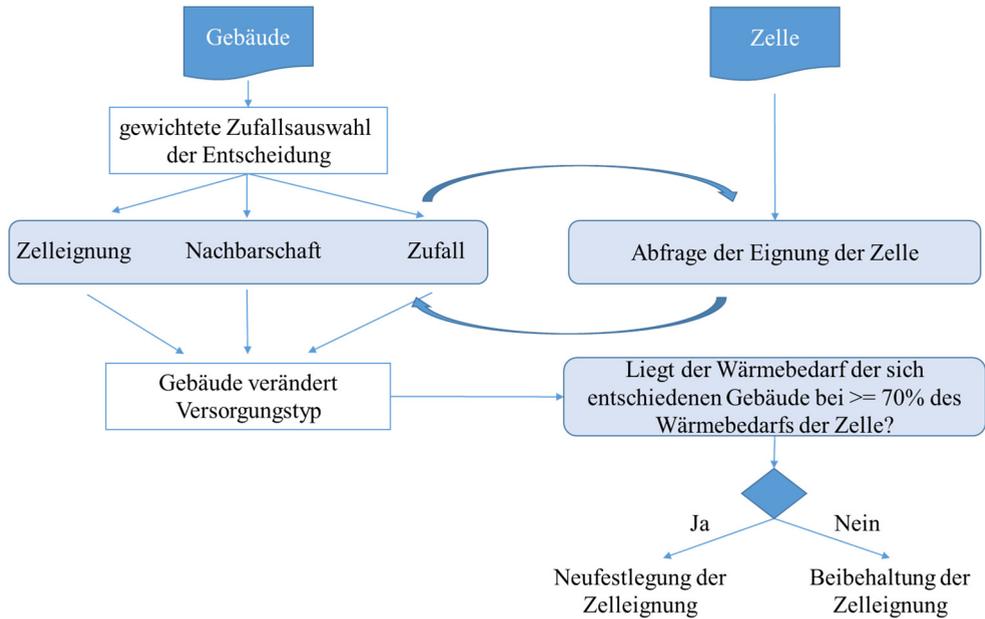
Mithilfe der ABM kann das komplexe Interaktionssystem zwischen Akteuren abgebildet werden, um emergentes Verhalten und dynamische Effekte zu ermitteln. Die Stärke von ABM liegt darin, dass Auswirkungen von Politikänderungen auf das persönliche Verhalten und z. B. auf die Ausbreitung von EE-Anlagen beschrieben und vorhergesagt oder Hinweise für das Design eines Energiesystems abgeleitet werden können (Rai & Henry, 2016). Die räumliche Konzeptualisierung allerdings stellt eine besondere Herausforderung dar, da die Beschreibung z. B. von Nachbarschaftseffekten meist schon daran scheitert, dass Nachbarschaften nicht eindeutig über metrische Distanzen definiert werden können (O’Sullivan, 2009). In diesem Beitrag handelt es sich letztlich um eine Kombination aus einer stationären ABM und einem Zellulären Automaten, da eine Interaktion zwischen einem Gebäude (Punkt) mit der Umgebung (Eignungsbereiche in Form von Zellen und mit weiteren Gebäuden) modelliert wird.

## 2.2 Modell

Das hier vorgestellte Modell simuliert die Auswirkungen von Einzelentscheidungen auf die Ausprägung der Eignungsbereiche und auch auf die Gebäude selbst. Das Modell ist mit Net-Logo 6.02. erstellt worden. Das auskommentierte Modell, die Daten sowie die im nächsten Kapitel aufgeführten Ergebnisse sind online abrufbar (Link siehe Seite 111 unter „Anhang“). Aufgrund lizenzrechtlicher Einschränkungen sind die Wärmebedarfsdaten in ihrer Lage und in den Werten mithilfe von Zufallsgeneratoren stark abgewandelt und zusätzlich ausgedünnt, sodass das Funktionsprinzip nachvollzogen werden kann.

Jedes Gebäude muss sich entscheiden, ob es sich in Bezug auf die Wärmeversorgung nach der Zellenvorgabe (Eignungsbereich), nach der Nachbarschaft oder zufällig entscheidet. Die Gebäude werden zufällig diesen Wahloptionen zugeführt, wobei die Szenarien unterschiedliche Gewichtungen der Wahloptionen Zelle/Nachbarschaft/Zufall vorsehen, um die Auswirkungen der jeweiligen Einzelentscheidungen beobachten zu können.

Der Ablauf ist in Abbildung 1 dargestellt, die Prämissen und Entscheidungsregeln werden in den nachfolgenden Tabellen beschrieben.



**Abb. 1:** Modellübersicht

Eine Prämisse ist die Einteilung der Gebäude in Wärmebedarfsklassen (s. Tabelle 2).

**Tabelle 2:** Einteilung der Wärmebedarfsklassen

Klasse	Begründung
Niedriger Wärmebedarf (niedrig): $\leq 20.000$ kWh/a	Bei einem Endenergiebedarf von ca. 30 kWh/(qm x a) (Bigalke et al., 2016, p. 57) und einer Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe von 3,8 liegt ein Wärmebedarf von 114 kWh / (qm x a). Bei einer durchschnittlichen Wohnflächengröße (EZFH, MFH) in Oldenburg von 180qm (LSN-Online: Tabelle M8051021) beträgt der Wärmebedarf rund 20.000 kWh/a für Gebäude, die noch mit Wärmepumpen versorgt werden könnten.
Mittlerer Wärmebedarf (mittel): $> 20.000 - \leq 50.000$ kWh/a	Bei ca. 50.000 kWh liegt die Grenze, bei der die Summe der Wärmebedarfe 2/3 des Gesamtwärmebedarfs aller Gebäude abdeckt. Eine Ableitung nach EnEV – Vorgaben ist ohne weitere Informationen über die Gebäude derzeit nicht möglich.
Hoher Wärmebedarf (hoch): $> 50.000$ kWh/a	Der Bereich deckt das letzte Drittel des Gesamtwärmebedarfs der Gebäude ab. Eine Ableitung nach EnEV – Vorgaben ist ohne weitere Informationen über die Gebäude derzeit nicht möglich.

Die oben beschriebene Klasseneinteilung wird einer Sensitivitätsanalyse unterzogen, wobei die Ausgangseinteilung (Tabelle 2) als Eingangsparameter für die nachfolgende Entscheidungsfindung verwendet wird:

**Tabelle 3:** Entscheidungsfindung

Auswahl	Annahme	Entscheidungsregel
Zelle	Gebäude orientieren sich nach den Eignungsbereichen, würden sich aber nicht für technisch nur schwer realisierbare Möglichkeiten entscheiden.	Gebäude der Wärmebedarfsklasse „niedrig“ können keine Nahwärme annehmen, Gebäude der Klassen „mittel“ und „hoch“ können keine Einzelversorgung annehmen.
Nachbarschaft	Hier wird ein Nachbarschaftseffekt im Sinne von sozialen Verflechtungen unterstellt. In einem begrenzten Umkreis tauschen sich Eigentümer aus und bestärken sich gegenseitig in ihrer Entscheidungsfindung.	Wenn mehr als 50 % des Wärmebedarfs in der Nachbarschaft (im Umkreis von zwei Zellen) Einzelversorgung aufweist, erhält ein Gebäude der Klasse „niedrig“ ebenfalls Einzelversorgung. Wenn mehr als 50 % des Wärmebedarfs in der Nachbarschaft (2 patches) Nahwärme oder LowEx aufweisen, erhält ein Gebäude mit Wärmebedarf „mittel“ oder „hoch“ zu 50 % Nahwärme oder LowEx.
Zufall	Hier gelten ähnliche Einschränkungen wie bei „Zelle“, wobei die Entscheidung zusätzlich noch mit einer gewichteten Zufälligkeit versehen wird, um Unsicherheiten bei der Entscheidungsfindung abzubilden.	Gebäuden der Klasse „niedrig“ wird der Versorgungstyp zu 70 % Einzelversorgung und zu 30 % LowEx zugeordnet. Gebäuden der Klasse „mittel“ wird der Versorgungstyp zu 70 % LowEx und zu 30 % Nahwärme zugeordnet. Gebäuden der Klasse „hoch“ wird der Versorgungstyp 30 % LowEx und zu 70 % Nahwärme zugeordnet.

Die jeweiligen Entscheidungsfindungen können aktuell nicht mit empirischen Daten über erfolgte Stadtanierungen durchgeführt werden, da die tatsächlichen Beratungs- und Sanierungsfällzahlen im Rahmen von Sanierungsprojekten sehr gering sind (siehe auch [www.energetische-stadtsanierung.info](http://www.energetische-stadtsanierung.info)). Sie haben somit Thesencharakter. Die Regeln der Entscheidungsfindung berücksichtigen, dass aus Perspektive des Gebäudes technisch widersinnige Entscheidungen vermieden und dennoch gewisse Freiheitsgrade bei der Entscheidung ermöglicht werden.

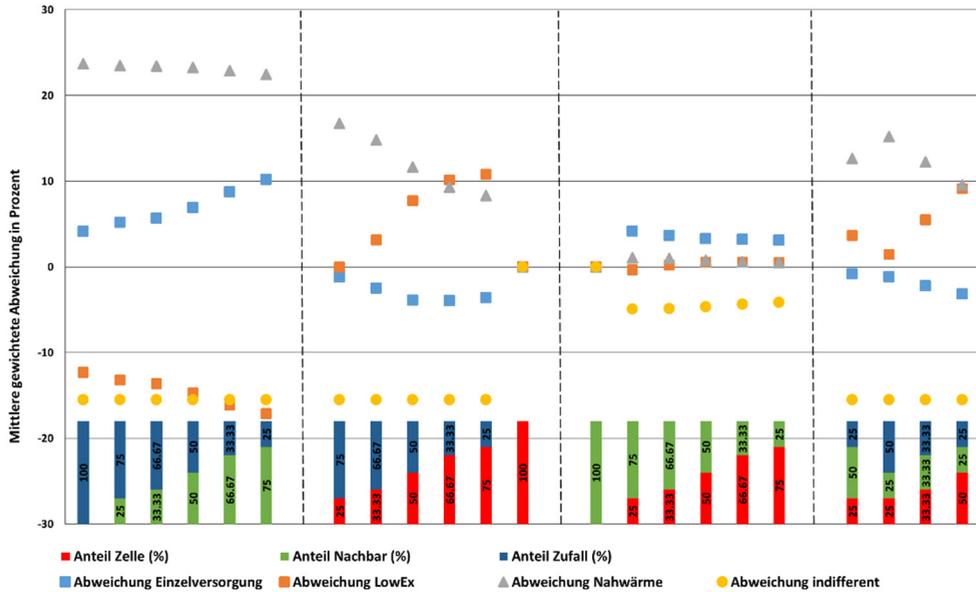
Das Testdesign weist folgende Prämissen auf:

- Ein Gebäude entscheidet sich nicht wieder um.
- Jeder Test erfolgt mit einer neuen Listenreihenfolge der Gebäude.
- Ein Entscheidungszyklus läuft so lange, bis sich alle Gebäude entschieden haben und keine Zellen mehr indifferent sind, wobei der Entscheidungsdurchgang maximal 30 Mal wiederholt wird (30 ticks pro Zyklus).

Erst dann ist ein Entscheidungszyklus abgeschlossen, der als solches keine zeitliche Dimension aufweist. Pro Kombination der prozentualen Anteile (Zelle/Nachbar/Zufall) werden 1000 Entscheidungszyklen durchlaufen. Abschließend erfolgen eine Auswertung der mittleren gewichteten Abweichung vom Startzustand in Prozent und eine beispielhafte grafische Aufbereitung, um die räumlichen Veränderungen zu visualisieren.

### 3 Ergebnisse

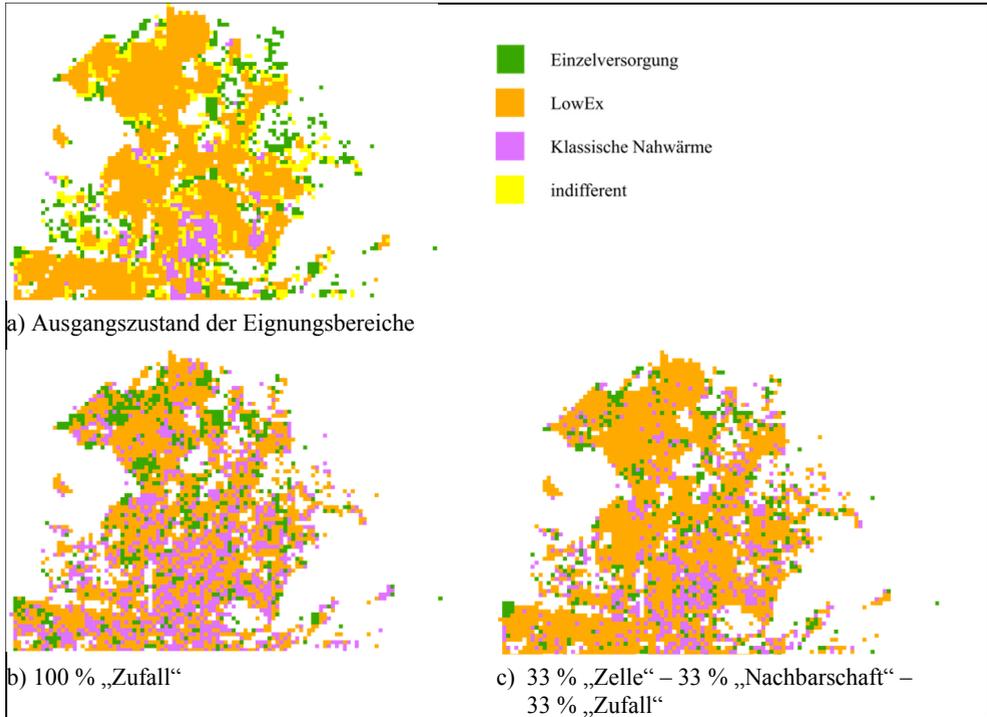
Die folgende Grafik zeigt die mittlere, gewichtete Abweichung der Zelleigenschaften im Verhältnis zum Ausgangszustand (s. auch Abb. 3) in Prozent.



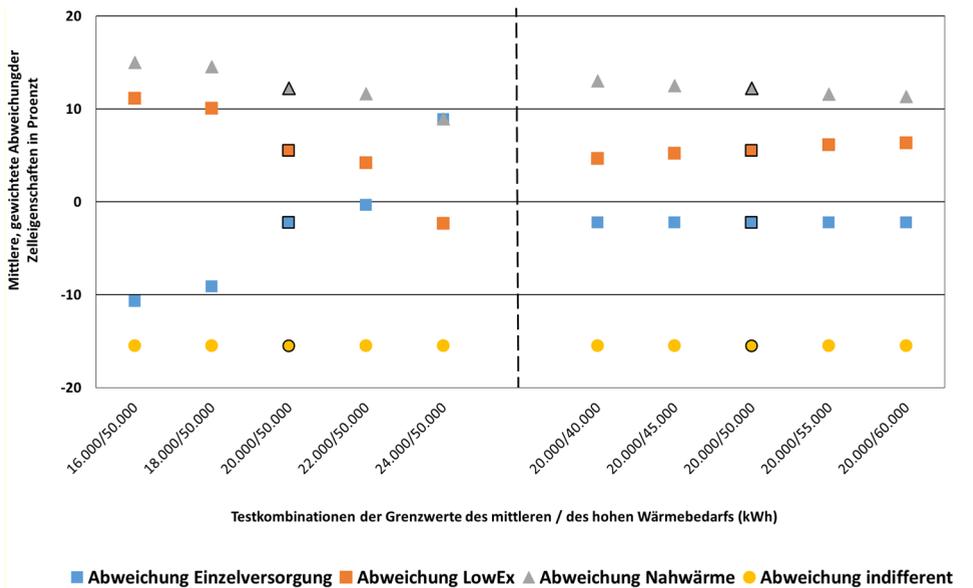
**Abb. 2:** Mittlere, gewichtete Abweichung vom Ausgangszustand in Prozent je getesteter Kombination nach einem Entscheidungszyklus

Bei den Kombinationen, bei denen die „Nachbarschaft“ einen hohen Anteil hat oder nur mit „Zelle“ kombiniert wurde, findet ein Abbruch nach 30 Durchgängen pro Zyklus statt. Bei 100 % „Nachbarschaft“ kann sich kein Gebäude und somit keine Zelle entscheiden, da das Kriterium „entschiedene Gebäude“ in der Nachbarschaft benötigt. Die Veränderung der mittleren, gewichteten Abweichung resultiert nicht nur aus der Besetzung der indifferenten Zellen, sondern auch zuvor definierte Zellen erfahren eine Neuausrichtung. Am stärksten ist das bei 100 % „Zufall“ ausgeprägt. Die vorherige räumliche Clusterung wird stark modifiziert (s. Abb. 3b). Je stärker die Ausrichtung durch „Zelle“ bestimmt wird, desto eher bleiben die Cluster erhalten. Bei der Kombination 33 % „Zelle“ – 33 % „Nachbar“ – 33 % „Zufall“ ist die ursprüngliche Struktur zu sehen, weitere Inseln der klassischen Nahwärme zeichnen sich ab (s. Abb. 3).

Die Abbildung 4 zeigt die mittlere, gewichtete Abweichung der Zelleigenschaften im Verhältnis zum Ausgangszustand in Prozent, hier unter Berücksichtigung der Grenzwerte zwischen einem niedrigen und mittleren bzw. einem mittleren und hohen Wärmebedarf (Startwert: 20.000 kWh bzw. 50.000 kWh). Die Werte werden um jeweils 10 % verschoben, wobei die Kombination 33 % „Zelle“ – 33 % „Nachbarschaft“ – 33 % „Zufall“ zugrunde gelegt wird. Auch dieser Test wurde je Wärmebedarfswertkombination bis zum Ende eines Entscheidungszyklus mit jeweils 1.000 Wiederholungen durchgeführt.



**Abb. 3:** Exemplarische Darstellung der räumlichen Ausprägung der Zelleignungen nach einem Entscheidungszyklus (unskaliert, Ausschnitt)



**Abb. 4:** Mittlere, gewichtete Abweichung der Zelleigenschaften vom Ausgangszustand in Prozent unter Berücksichtigung unterschiedlicher Wärmebedarfs Grenzwerte

Zusätzlich kann die Anzahl der Gebäude ermittelt werden, die sich für den Versorgungstyp „Einzelversorgung“ entscheiden, sich aber nicht innerhalb einer Zelle mit „Einzelversorgung“ befinden (s. 70-%-Kriterium in Abb. 1). Die Anzahl der Gebäude, die eingangs einen Wärmebedarf von  $\leq 20.000$  kWh/a aufweisen, beträgt 23.861.

**Tabelle 4:** Anteil der Gebäude, die sich für „Einzelversorgung“ entschieden haben

	Testkombination Zelle (%) – Nachbarschaft (%) – Zufall (%)			
Gebäude innerhalb von Zellen mit	25 % – 50 % – 25 %	25 % – 25 % – 50 %	33 % – 33 % – 33 %	50 % – 25 % – 25 %
Einzelversorgung	29,3 %	26,8 %	25,6 %	27,6 %
LowEx	53,2 %	56,8 %	57,0 %	52,9 %
Nahwärme	17,5 %	16,4 %	17,3 %	19,4 %
Anteil an Ausgangszahl	45,9 %	55,2 %	44,9 %	34,0 %

## 4 Diskussion und Ausblick

Die Einteilung der Gebäude in Wärmebedarfsklassen ist ein kritischer Aspekt. Während für den Grenzwert zwischen den Klassen „niedrig“ und „mittel“ sowohl eine fachlich begründete Ableitung als auch ein deutlicher Effekt bei den Auswirkungen (Abb. 4) beobachtet werden kann, ist das bei dem Grenzwert zwischen „mittel“ und „hoch“ nicht der Fall. Der Wärmebedarf allein sagt wenig darüber aus, ob sich ein Gebäude für Nahwärme oder für LowEx eignet. Die Entscheidungsfindung „Zufall“ versucht diese Problematik aufzufangen, indem Gebäude der Klassen „niedrig“ und „mittel“ zufällig auf LowEx bzw. Nahwärme verteilt werden. Hier kommt eine grundsätzliche Problematik zum Tragen: Aus Netzsicht können eine Vielzahl von Gebäuden mit einem Wärmebedarf „niedrig“ für LowEx geeignet sein, da die ermittelte Wärmedichte ausreichend ist. Aus Sicht eines Gebäudes ist aber eine Einzelversorgung naheliegender.

Aus Tabelle 4 wird deutlich, dass immer noch Gebäude mit der Entscheidung „Einzelversorgung“ innerhalb von anderen Zellen (Nahwärme/LowEx) verbleiben, ohne dass das 70 % Kriterium verletzt wird. Das bedeutet, dass sich diese Gebäude für die Einzelversorgung entscheiden können, ohne dass die Entscheidung für LowEx bzw. Nahwärme verändert wird. Diese „Ausreißer“ in den Netzverbänden kann also verkraftet werden. Eine technische Detailplanung muss den erforderlichen Anschlussgrad allerdings noch genauer bestimmen.

Bei den Kombinationen „Zelle“/„Nachbarschaft“ sind die Ergebnisse noch nah am Ausgangswert (Abb. 2). Bei der Kombination „Zelle“/„Zufall“ fällt auf, dass in Bezug auf den Anteil der Entscheidungsfindung „Zufall“ die Abweichungen von Nahwärme und LowEx gegenläufig sind. Das bedeutet, dass durch „Zufall“ die Nahwärme begünstigt wird. Trotz der hohen Fallzahl ist von einer hohen Stochastizität auszugehen (Reihenfolgenänderung bei jedem Durchgang, Problematik der Klasseneinteilung, keine Normalverteilung).

Somit kann festgehalten werden, dass in dieser Konstellation nur zwischen Einzelversorgung und einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung, welche Nahwärme und LowEx umfasst, unterschieden werden kann. Je nach Umsetzung sind die technischen Systeme LowEx und Nahwärme nicht weit voneinander entfernt und weisen teilweise nur in der Betriebsführung Unterschiede auf. Letztlich kommt diese Problematik nur zu Tage, wenn von den Vorgaben der Energieplanung abgewichen wird. Der Kern der zukünftigen Diskussion wird sich darum drehen, ob Gebäude an ein Wärmenetz angeschlossen werden oder nicht. Die Modellierung selbst soll die technische Detailplanung nicht ersetzen, sondern prüfen, ob sich räumlich Modifizierungen (s. Abb. 3) bei bestimmten Annahmen ergeben.

Um die Klimaziele zu erreichen, wird ein sehr umfangreicher energetischer Stadtumbau erforderlich sein, der weit über das hinausgeht, was die bisherigen, eher partiellen Förderansätze umfassen. Allerdings würde eine rein ordnungsrechtliche Regelung sehr tief in die Besitzverhältnisse der Bestandsgebäude eingreifen. Die Betrachtung der Auswirkungen von Einzelentscheidungen können als Gegenstromprinzip verstanden werden, um lokale Besonderheiten, einzelne Motivationen sowie Akzeptanzbereitschaft zu berücksichtigen und zu fördern. Dieser Beitrag stellt einen ersten Versuch dar, dieses Spannungsfeld zu thematisieren und ein möglicherweise paralleles Vorgehen von Energieplanung (in Kombination mit Ordnungsrecht) und Eigenmotivation (Einzelentscheidung) vorzustellen. Leider fehlen empirische Daten, da solch umfassende Stadtumbauten bisher noch nicht angegangen worden sind. Eine rein empirische Analyse ist allerdings fraglich, da dynamische Effekte (Emergenzen) bei einem Systemumbau kaum vorherzusagen sind (Menges & Traub, 2012), sodass das Grundproblem der fehlenden externen Validität bleibt.

In geplanten Folgeprojekten ist eine Ergänzung der Gebäudedaten und eine Berücksichtigung soziologischer Daten vorgesehen, um das Modell zu verbessern.

## Danksagung

Herr Tomas Fresenborg hat als studentischer Mitarbeiter bei der Modellentwicklung tatkräftig mitgewirkt.

## Anhang

[https://gispoint.de/fileadmin/user\\_upload/paper\\_gis\\_open/AGIT\\_2018/additional/Anhang\\_AGIT\\_Journal\\_4-2018\\_Beitrag\\_Knies.zip](https://gispoint.de/fileadmin/user_upload/paper_gis_open/AGIT_2018/additional/Anhang_AGIT_Journal_4-2018_Beitrag_Knies.zip)

## Literatur

- Bigalke, U., Armbruster, A., Lukas, F., Krieger, O., Schuch, C., & Kunde, J. (2016). *dena-Gebäudereport 2016: Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand*. Berlin: DENA.
- 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](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf).

- BMWi (2017a). *Energiedaten: Gesamtausgabe*. Berlin: BMWi. Retrieved from <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energiestatistiken-grafiken,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>.
- BMWi (2017b). *Gesetzeskarte für das Energieversorgungssystem*. Berlin: BMWi. Retrieved from [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/gesetzeskarte.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=33](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/gesetzeskarte.pdf?__blob=publicationFile&v=33).
- Graichen, P., Peter, F., & Litz, P. (2017). *Das Klimaschutzziel von -40 Prozent bis 2020: Wo landen wir ohne weitere Maßnahmen?* Berlin: Agora Energiewende. Retrieved from [https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2015/Kohlekonsens/Agora\\_Analyse\\_Klimaschutzziel\\_2020\\_07092016.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2015/Kohlekonsens/Agora_Analyse_Klimaschutzziel_2020_07092016.pdf).
- Habermann-Nieße, K., Jütting, L., Klehn, K., & Schlomka, B. (2012). Strategien zur Modernisierung: Mit EKO-Quartieren zu mehr Energieeffizienz; eine Studie. *Schriftenreihe Ökologie*, 24. Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung. Retrieved from [http://www.boell.de/downloads/Endf\\_Strategien\\_zur\\_Moderisierung\\_2\\_kommentierbar.pdf%5Cnhttp://opus.kobv.de/zlb/volltexte/2012/15001/](http://www.boell.de/downloads/Endf_Strategien_zur_Moderisierung_2_kommentierbar.pdf%5Cnhttp://opus.kobv.de/zlb/volltexte/2012/15001/).
- Hertle, H., Eisenmann, L., Brasche, J., Sager, C., & Schurig, M. (2012). *Die Nutzung von Exergieströmen in kommunalen Strom-Wärme- Systemen zur Erreichung der CO<sub>2</sub>-Neutralität von Kommunen bis zum Jahr 2050* (April).
- Knies, J. (2017). Räumliche Integration industrieller Abwärme in zukünftige Wärmeversorgungsoptionen. *AGIT – Journal Für Angewandte Geoinformatik*, 3-2017, 98–108. <http://doi.org/10.14627/537633011>.
- 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).
- Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J. E., Hvelplund, F., & Mathiesen, B. V. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*, 68, 1–11. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089>.
- Maier, M. (2016). Die kommunale Wärmeplanung. *Renews Spezial*. Berlin: AEE. Retrieved from [https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/531.79\\_Renews\\_Spezial\\_Waermeplanung\\_Nov2016.pdf](https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/531.79_Renews_Spezial_Waermeplanung_Nov2016.pdf).
- Mathiesen, U. (2002). NIMBY und LULU am Stadtrand – Bürgergesellschaftliche Streitformen um lokale Raumnutzungen und Raumkodierungen im engeren Verflechtungsraum. In: U. Mathiesen (Ed.), *An den Rändern der deutschen Hauptstadt: Suburbanisierungsprozesse, Milieubildungen und biographische Muster in der Metropolregion Berlin-Brandenburg* (pp. 173–185). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. [http://doi.org/10.1007/978-3-322-92261-8\\_13](http://doi.org/10.1007/978-3-322-92261-8_13).
- Menges, R. (2017, November). *Die gesellschaftliche Akzeptanz der Sozialhilfe*. Hannover: EFZN. Retrieved from [https://www.efzn.de/fileadmin/Veranstaltungen/NET/2017/Vortrag/26\\_Menges.pdf](https://www.efzn.de/fileadmin/Veranstaltungen/NET/2017/Vortrag/26_Menges.pdf).
- Menges, R., & Traub, S. (2012). Sozialpolitik im Klimawandel: Konfliktlinien zwischen sozialer und ökologischer Nachhaltigkeit. *Zeitschrift Für Sozialreform*, 58(2012).
- Neumann, C. (2014, May). *Effizienz von Nahwärmenetzen im ländlichen Raum, Ergebnisse verschiedener Studien*. Stuttgart: Energieagentur Regio Freiburg GmbH. Retrieved from

- bw.de/fileadmin/user\_upload/pdf/veranstaltungen/Nahwaerme\_kompakt\_2014/16.45\_EffizienzVonNahwaermenetzen\_ChristianNeumann.pdf.
- O'Sullivan, D. (2009). Changing Neighborhoods – Neighborhoods Changing. *Sociological Methods & Research*, 37(4), 498–530. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1177/0049124109334793>.
- 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* (Forschung). Frankfurt a. M.: AGFW.
- Rai, V., & Henry, A. D. (2016). Agent-based modelling of consumer energy choices. *Nature Climate Change*, 6(6), 556–562. <http://doi.org/10.1038/nclimate2967>.
- 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>.
- 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.