

DIGITALE WÄRMEBEDARFSKARTE: EIN INNOVATIVES PLANUNGSWERKZEUG FÜR DIE ERSTELLUNG VON ENERGIEVERSORGUNGSKONZEPTEN

Dr. Bernd Eikmeier

Fraunhofer-Institut IFAM, Energiesystemanalyse (vormals Bremer Energie Institut),
Wiener Straße 12, 28359 Bremen, +49 (0)421 2246 - 7023,
bernd.eikmeier@ifam.fraunhofer.de, www.ifam.fraunhofer.de/energiesystemanalyse

Kurzfassung: Ein digitaler Wärmeatlas bietet den Vorteil einer nach Gebäuden auflösenden Darstellung des Wärmebedarfs und kann eine Vielzahl unterschiedlicher Daten zielgerichtet zusammenführen. Er bietet eine ideale, aktualisierbare Datenbasis für die Erstellung von Energieversorgungskonzepten. Durch die große Funktionsbandbreite moderner GIS-Systeme lassen sich vielfältige Analysen durchführen sowie aussagekräftige Planungs- und Ergebniskarten erstellen. Aus dem Wärmeatlas können sehr einfach die benötigten Mengengerüste für ergänzende Werkzeuge wie bspw. ein Wirtschaftlichkeitsanalysetool bereitgestellt werden.

Keywords: Wärmeatlas, Wärmebedarfsstrukturen, Energieversorgungskonzept, Nah- und Fernwärme

1 Motivation

Aktivitäten im Rahmen von Klimaschutz- und Energieversorgungskonzepten erfordern die Analyse und Bewertung komplexer Fragen mit teilweise divergierenden Zielen (z. B. in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, CO₂- und Verbrauchsreduktion, Kundenbindung und Marktchancen, Ausbauziele KWK und Erneuerbare Energien, Attraktivität von Wohnquartieren). Heutzutage sind zwar umfangreiche Datenmengen verfügbar, allerdings lässt sich feststellen, dass diese nur selten zielführend miteinander verknüpft und anschließend integriert betrachtet und ausgewertet werden. Diese Lücke kann eine digitale Wärmebedarfskarte in gebäudescharfer Auflösung schließen. Sie bietet als aktualisierbare Datenbasis in einem Geografischen Informationssystem (GIS) in Zusammenhang mit einem ankoppelbaren Werkzeug zur Wirtschaftlichkeitsberechnung ein sehr vielfältig einsetzbares Analyse- und Planungswerkzeug. Der Anwendungsnutzen liegt dabei nicht nur beim Energieversorger und Planer, sondern auch bei der Stadt, die solche Werkzeuge braucht, um die eigenen Klimaschutzaktivitäten wie beispielsweise die Sanierung des Gebäudebestandes zu bewerten und zu optimieren. Zudem erlaubt die Nutzung eines GIS aussagekräftige Ergebnisdarstellungen, deren Nutzen für die interne und externe Kommunikation nicht unterschätzt werden sollte.

2 Entwicklung einer digitalen Wärmebedarfskarte

2.1 Datenbasis

Eine digitale Wärmebedarfskarte setzt sich möglichst aus folgenden Grundelementen zusammen (vergleiche Abbildung 1):

- Informationen zu den Gebäuden
- Klimabereinigte Verbrauchsdaten
- Daten vorhandener Gas- und Wärmenetze
- Zusatzdaten (je nach Verfügbarkeit und Anwendungsziel)

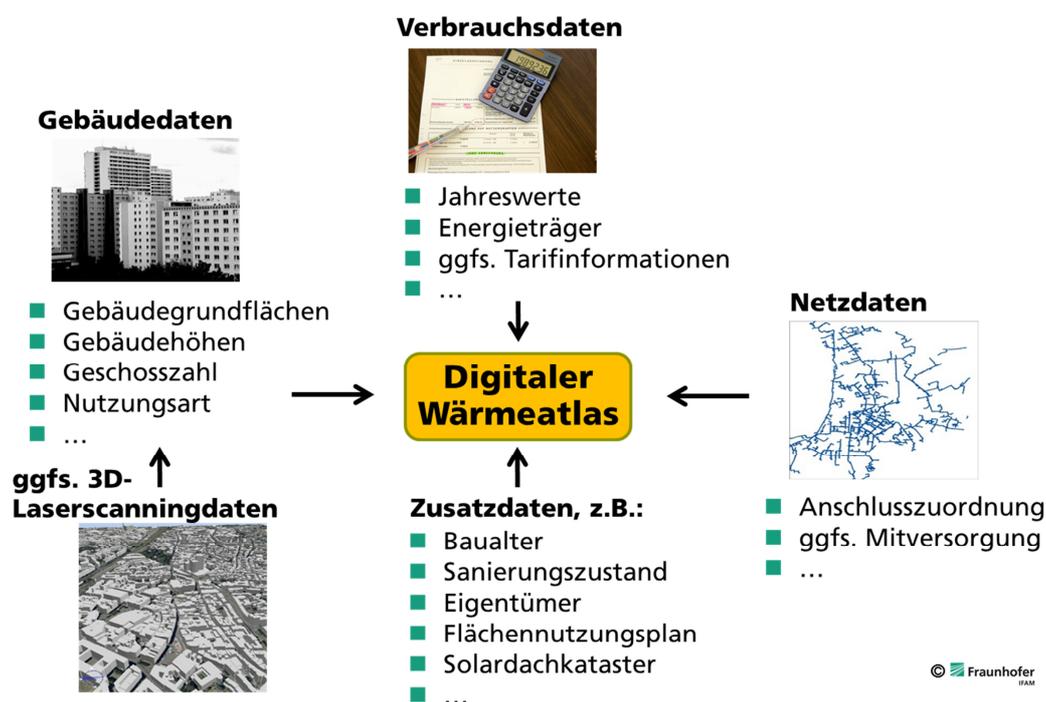


Abbildung 1: Elemente einer digitalen Wärmebedarfskarte

Die Datenquellen / -lieferanten können sehr unterschiedlich sein (Daten vom Energieversorger / Netzbetreiber, von diversen Abteilungen der Stadt bzw. Gemeinde, Informationen von relevanten Akteuren wie Wohnungsbaugesellschaften, Schrägluftaufnahmen, Ergebnisse von Begehungen oder Befragungen, zugekaufte Daten zu Baualterklassen, spezifische Studien und Fachliteratur etc.). Nicht nur die Verfügbarkeit bestimmt die sinnvolle Datenbasis einer Wärmebedarfskarte; auch der Anwendungszweck spielt eine große Rolle. Steht eine Stadtteilanalyse im Vordergrund, lassen sich tendenziell mehr Daten erheben und integrieren als bei der Erstellung der Datenbasis für eine komplette Stadt.

Hervorragend als Gebäudebasis geeignet sind aufbereitete 3D-Laserscanningdaten, welche vom Autor mittlerweile in vielen Städten zur Erstellung eines hoch aufgelösten digitalen Wärmetatlas genutzt wurden, u. a. im Rahmen des Projektes *Potenzialerhebung von Kraft-Wärme-Kopplung in Nordrhein-Westfalen* [1]. Solche zu 3D-Gebäudestrukturen (3D-GS) aufbereitete Daten enthalten rund 150 - 300 wärmerrelevante Objekte pro 1.000 Einwohner und sind für Deutschland nahezu flächendeckend verfügbar. Sie bieten vor allem den Vorteil,

mit einem minimalen Beschaffungs- und Kostenaufwand die Gebäude lagegetreu mit den wichtigsten Angaben (Grundfläche, Höhe, meist Geschosszahl, Nutzungsart) zu erhalten.

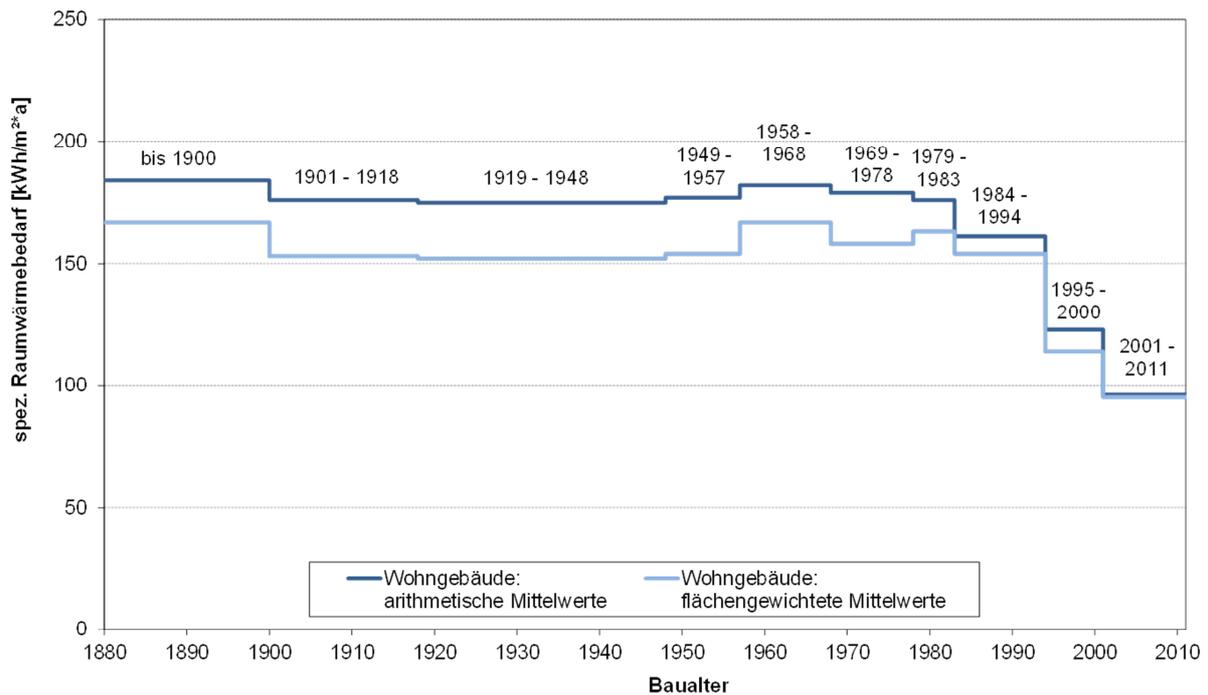
2.2 Wesentliche Arbeitsschritte zur Entwicklung

Alle Grunddaten zum Gebäudebestand müssen zunächst geprüft und ggfs. korrigiert oder ergänzt werden. Wärmerrelevante sind von nicht beheizten Objekten zu separieren. Dann erfolgt die Integration und Zuordnung weiterer Zusatzdaten, entweder adress- oder lagegebunden. Dabei handelt es sich insbesondere um solche, die für den Bedarf eines Gebäudes von zentraler Bedeutung sind.

Eine besondere Qualität bekommen Wärmebedarfskarten, wenn Verbrauchsdaten in größerem Umfang zur Verfügung stehen (Erdgas, Nah-/Fernwärme, Strom); möglichst für mehrere Jahre, um eine kritische Überprüfung von Auffälligkeiten zu ermöglichen. Die Einzelwerte müssen klimakorrigiert und schließlich je Adresse aufsummiert werden. Dabei erfolgt eine energieträgerspezifische Umrechnung von Endenergie (Verbrauch) zu Nutzenergie (Bedarf). Bei der richtigen Zuordnung der Verbrauchssummen zu den Gebäuden im GIS handelt es sich um einen nicht trivialen, arbeitsaufwändiger Prozess. Das liegt einerseits an der Tatsache, dass es zahlreiche Adressfehler und -abweichungen geben kann, unter einer Adresse sind regelmäßig auch mehrere Objekte verzeichnet. Der Abgleich mit Fernwärme- und Gasanschlüssen erleichtert die richtige Zuordnung. Sehr relevant ist auch die Frage nach der Mitversorgung von benachbarten Objekten. Hierzu mangelt es regelmäßig an ausreichenden Informationen. Ein wichtige Hilfe bei der Zuordnung von Verbräuchen zu Gebäuden bzw. der Plausibilitätsprüfung sind die flächenspezifischen Wärmebedarfswerte, differenziert nach Gebäudenutzungsarten, Baualtersklassen und Energieträgern.

Schon diese Zwischenergebnisse sind interessant. In mehreren Projekten hat sich gezeigt, dass die flächenspezifischen Bedarfswerte für Wohngebäude mit Verbrauchszuordnung regelmäßig nicht den klassischen Erwartungen (mit dem Bualter wachsender Wärmebedarf, siehe Abbildung 2) entsprechen – was belegt, wie problematisch die Übertragung allgemeiner Typologiewerte sein kann. Es gibt jedoch einige Gründe, die zur Erklärung herangezogen werden können, z. B. bereits erfolgte Sanierungsmaßnahmen im begehrten Wohnungsmarktsegment „sanierter Altbau“ sowie nicht dauerhaft beheizte Räume bei Gebäuden, die sich im Besitz einer älteren Eigentümergeneration befinden.

Die als plausibel bewerteten, spezifischen Bedarfswerte dienen dazu, allen Objekten ohne Verbrauchswert einen Typologiewert zuzuweisen. Je nach Datenumfang ist es dabei hilfreich bzw. notwendig, weitere Datenquellen zu nutzen. Das IFAM, welches mittlerweile digitale Wärmebedarfskarten für zahlreiche Städte erstellt hat, kann dabei auf einen Bestand von weit mehr als Hunderttausend mit Gebäuden verknüpfte Verbrauchsangaben zurückgreifen.



Quelle: Eigene Berechnungen von Fraunhofer IFAM

Abbildung 2: Verbrauchsdaten basierter, spezifischer Raumwärmebedarf von Wohngebäuden in Abhängigkeit von der Baualtersklasse

Die Typologiebildung erfolgt bei Nichtwohngebäuden vor allem in Abhängigkeit von der Nutzungsart; bei den Wohngebäuden spielt das Baualter eine wichtige Rolle. Ein zweites klassisches Unterscheidungsmerkmal im Rahmen einer Wohngebäudetypologie ist die Gebäudeart (Ein-, Zwei-, Mehrfamilienhaus etc.), welches mit dem Nachteil einer starren Gebäudeeinteilung behaftet ist und das individuelle bauliche Umfeld unberücksichtigt lässt. Die erarbeitete Datenbasis vermeidet eine solche Klassifizierung. Es lässt sich eine sehr individuelle Gebäudetypologie zu erarbeiten, indem für jedes Gebäude im Wärmetlas individuell der Quotient aus Außenfläche (A) zu Volumen (V), welcher die Höhe des Wärmebedarfs maßgeblich beeinflusst, bestimmt wird. Im GIS lässt sich dabei für jedes einzelne Gebäude errechnen, welcher Flächenanteil der Gebäudeaußenfläche entweder Kontakt zur Umgebungstemperatur hat oder an ein beheiztes Gebäude angrenzt und deshalb viel weniger Transmissionsverluste zeigt. So ergibt sich ein modifiziertes A^*/V -Verhältnis, welches die Wärmeverluste eines jeden Gebäudes in der realen Siedlungsstruktur berücksichtigt. Abbildung 3 zeigt das Prinzip (rot dargestellte Außenwände symbolisieren hohe Wärmeverluste, blau dargestellte niedrigere).



Abbildung 3: Berechnung eines modifizierten A*/V-Verhältnisses für jedes Gebäude unter Berücksichtigung der individuellen baulichen Umfeldsituation

3 Darstellungs- und Anwendungsoptionen

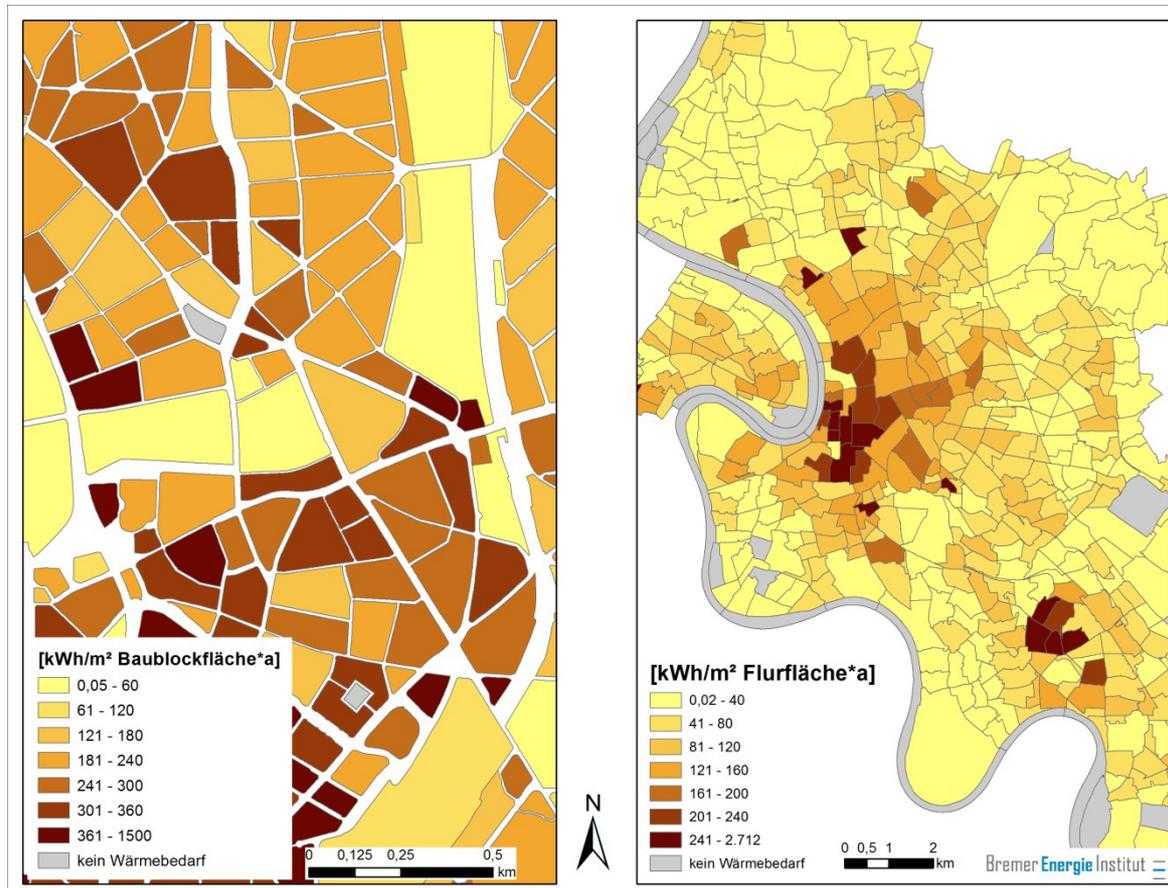
Die Daten des digitalen Wärmetlas erlauben zunächst die gebäudescharfe Darstellung des spezifischen oder absoluten Wärmebedarfs sowie eine beliebige Aggregation. Als Planungswerkzeug kann der Wärmetlas – je nach Fragestellung – für eine große Bandbreite an Anwendungen genutzt bzw. weiterentwickelt werden, die in der Folge exemplarisch aufgezeigt werden. Zu nennen sind insbesondere:

- Darstellung und Filterung nach Gebäudemerkmale bzw. Schwellenwerten oder Kombinationen davon, z. B. nach:
 - Höhe des Wärmebedarfs
 - Höhe des flächenspezifischen Wärmebedarfs
 - Energieträger
 - Gebäudeeigentümer (z. B. Wohnungsbaugesellschaft)
 - Nutzungsart
- Szenarienrechnungen, z. B. Auswirkungen der Gebäudesanierung auf den Bedarf
- Raster- / Dichtekarte-Analysen
- Bufferanalysen zum Netzausbau
- Wärmeliniendichten
- Clusteranalysen (gut geeignet für eine Vorauswahl / Rankingbildung), z. B. nach
 - Höhe des Wärmebedarfs
 - Anteil von Einzelmerkmalen (z. B. Erdgas-Anschlussquote)
 - Wärmedichten / mittlere Wärmeliniendichten
 - Netzlängen(bedarf)
 - Weitergehenden Auswertungen (z. B. KWK-Potenziale)

- Datenübernahme in weitere Tools, z. B. für Wirtschaftlichkeitsanalysen
- Ergebnisvisualisierung und -kommunikation

3.1 Darstellung des Wärmebedarfs

Abbildung 4 zeigt zwei Aggregationsbeispiele (ein gebäudescharfes bietet Abbildung 5).



Quelle: Eigene Berechnungen des Bremer Energie Instituts, aus Datenschutzgründen teilweise auf Basis exemplarischer Werte

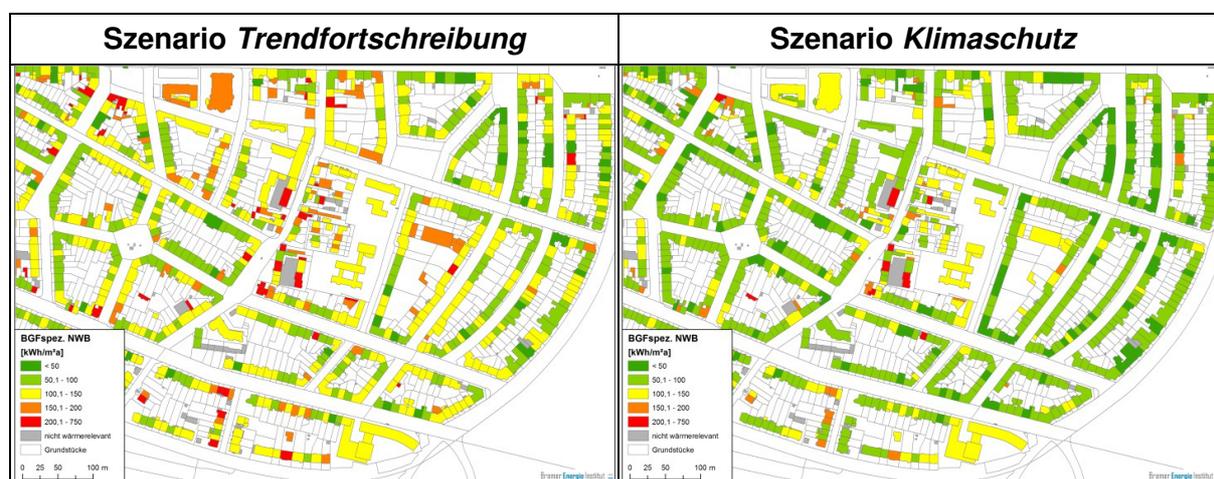
Abbildung 4: Darstellungsbeispiele einer digitalen Wärmebedarfskarte
(links: Auflösung nach Baublöcken, rechts: Auflösung nach Fluren)

Eine Wärmekarte in der Auflösung nach Einzelobjekten kann genutzt werden, um einzelne Elemente nach bestimmten, beliebig kombinierten Merkmalskombinationen herauszufiltern und in Ergebniskarten darzustellen. Das können beispielsweise Objekte sein, die einen bestimmten Schwellenwert beim Wärmebedarf überschreiten und deshalb interessante Anknüpfungspunkte für KWK-Einzelobjektversorgungen oder Nahwärmeinseln sein können. Ebenso lassen sich Gebäude herausfiltern, die durch einen überdurchschnittlich hohen spezifischen Wärmebedarf auffallen und somit für eine Sanierungsmaßnahme besonders interessant sind. Durch die Nutzung der GIS-Funktionalität sind lagebezogene Analysen möglich, bspw. die Ermittlung des Anteils dieser Gebäude in einzelnen Stadtbezirken. Durch die hervorragende Datengrundlage lässt sich dieser Vergleich innerhalb sehr homogenen Teilmengen durchführen (z. B. Erdgas nutzende Gebäude einer spezifischen BAK). Auch Analysen und Ergebnisdarstellungen hinsichtlich aller anderen abgelegten Daten sind möglich, z. B. die räumliche Verteilung der jeweiligen Energieträgeranteile.

3.2 Fortschreibung des Wärmebedarfs / Sanierungsszenarien

Für jedes Objekt oder für eine homogene Teilmenge können individuelle Ansätze in den Datensatz eingerechnet werden (z. B. Sanierungshäufigkeit und -effizienz in Abhängigkeit der Baualtersklasse), auch lagebezogene Differenzierungen (z. B. nach Stadtteilen) sind möglich. Es ergibt sich eine wichtige räumliche Differenzierung von einzelnen Stadtquartieren, denn in fast allen Städten treten ausgeprägte Gebäudebestände auf, die bestimmten Bebauungsabschnitten zuzuordnen sind. Die Kenntnis der räumlichen Unterschiede von Bedarfsentwicklungen ist für die Erarbeitung von Energieversorgungskonzepten, insbesondere für leitungsgebundenen Versorgungslösungen, von erheblicher Bedeutung.

Unterschiedliche Szenarien der Wärmebedarfsentwicklung können später dazu dienen, die Ergebnisabhängigkeit der Wirtschaftlichkeitsanalysen von veränderten Rahmenbedingungen zu bestimmen. In Abbildung 5 sind zwei Rechnungen für den Stadtteil Düsseldorf-Oberkassel visualisiert, links die Fortschreibung der Sanierungseffekte der letzten Jahre, rechts die Umsetzung des politischen Ziels, eine Sanierungsrate von 2 %/a zu erreichen.



NWB: Nutzwärmebedarf Darstellung aus Datenschutzgründen auf Basis exemplarischer Daten

Abbildung 5: Szenarien einer Wärmebedarfsentwicklung für das Jahr 2030

3.3 Wärmelinienichten

Für eine leitungsgebundene Wärmeversorgungsstrategie ist die Darstellung von Wärmelinienichten eine weitere hochinteressante Anwendung. Dabei werden alle Gebäude dem nächstliegenden Straßenabschnitt zugeordnet, der jeweilige Wärmebedarf wird summiert. Nach der Ermittlung aller Straßenabschnittslängen, welche näherungsweise den Verteilnetzlängen entsprechen, kann die Wärmelinienichte als Quotient (Wärmeabsatz pro verlegtem Leitungsmeter) ermittelt werden. Durch geeignete Klassenbildung lassen sich sehr einfach wirtschaftlich interessante Straßenabschnitte und Stadtbereiche herausfiltern. Abbildung 6 zeigt ein Beispiel. Da es im GIS möglich ist, zu jedem Gebäude eine ungefähre Hausanschlusslänge abzuschätzen, können solche Wärmelinienichtekarten auch angefertigt werden für die komplette Verrohrungslänge.



Darstellung aus Datenschutzgründen auf Basis exemplarischer Daten

Abbildung 6: Beispiel einer Wärmeliniendichtekarte

Um Verdichtungsoptionen von bestehenden Netzen zu bewerten, ist es auch sinnvoll, in einer modifizierte Darstellung der Wärmeliniendichten nur diejenigen Gebäude aufzunehmen, die bislang nicht an das bestehende Netz angeschlossen sind, ggfs. unter Einberechnung individueller Anschlusschancen. So lässt sich grafisch mit hoher Aussagekraft auflösen, in welchen Siedlungsbereichen die größten Potenziale vorliegen.

Es besteht stets die Möglichkeit, weitere Aspekte und Randbedingungen zu integrieren. So können Gebäude mit einem zu niedrigen Wärmebedarfswert, ggfs. auch in Bezug auf die erforderliche Hausanschlusslänge, ausgefiltert werden. Auch die Eigentümerstruktur (Gebäude einer Wohnungsbaugesellschaft) kann interessant sein mit Blick auf verringerte Vertriebskosten. Werden Informationen über anstehende Reparaturarbeiten im Verteilnetz dem System hinzugefügt, lassen sich Sanierungsfahrpläne und Vertriebschancen integriert betrachten.

3.4 Wärmedichtekarten, Ausfilterung interessanter Cluster

Für die Ermittlung von Nah- und Fernwärmekonzepten ist weniger der Wärmebedarf eines Einzelgebäudes, sondern die Bedingungen eines Clusters von Bedeutung. Interessante Cluster lassen sich mittels einer Raster- bzw. Dichtekarte, die auf den Einzeldaten aufbaut und diese nach räumlichen Abhängigkeiten verbindet, ermitteln und visualisieren. Über die Ansetzung eines Schwellenwertes ist eine automatische Filterung und Abgrenzung von Clustern möglich. Die Untersuchung kann sich auf beliebig definierte Gebiete beziehen oder

wie im folgenden Beispiel bestehende Netzstrukturen berücksichtigen (siehe Abbildung 7 für den Kernbereich der Stadt Dortmund). Die linke Seite der Abbildung zeigt für diejenigen Siedlungsbereiche, die vom bestehenden Fernwärmenetz maximal einen Kilometer weit entfernt liegen die räumliche Verteilung des Wärmebedarfs, die rechte Seite die gefilterten Cluster (zunächst ohne eine mögliche Einschränkung aufgrund von Netzhydraulik und -auslastung). Sie lassen sich im GIS als zusammenhängende Gebiete erfassen und weiter analysieren. In ähnlicher Weise können interessante Nahwärme-Gebiete in einer Stadt ermittelt werden.

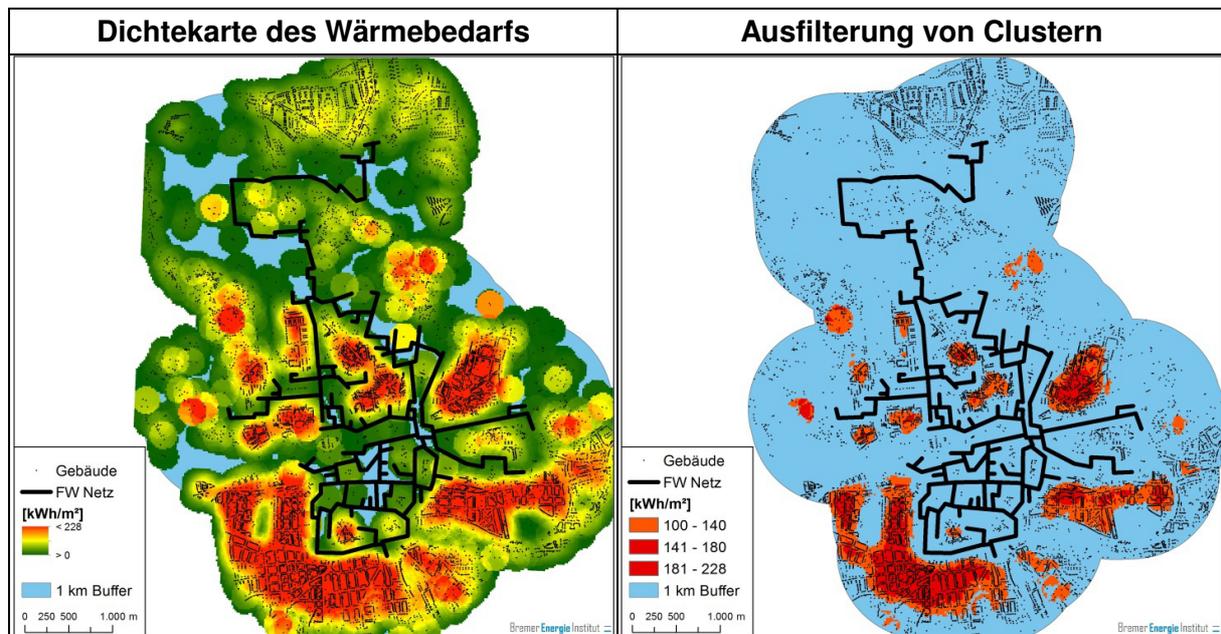
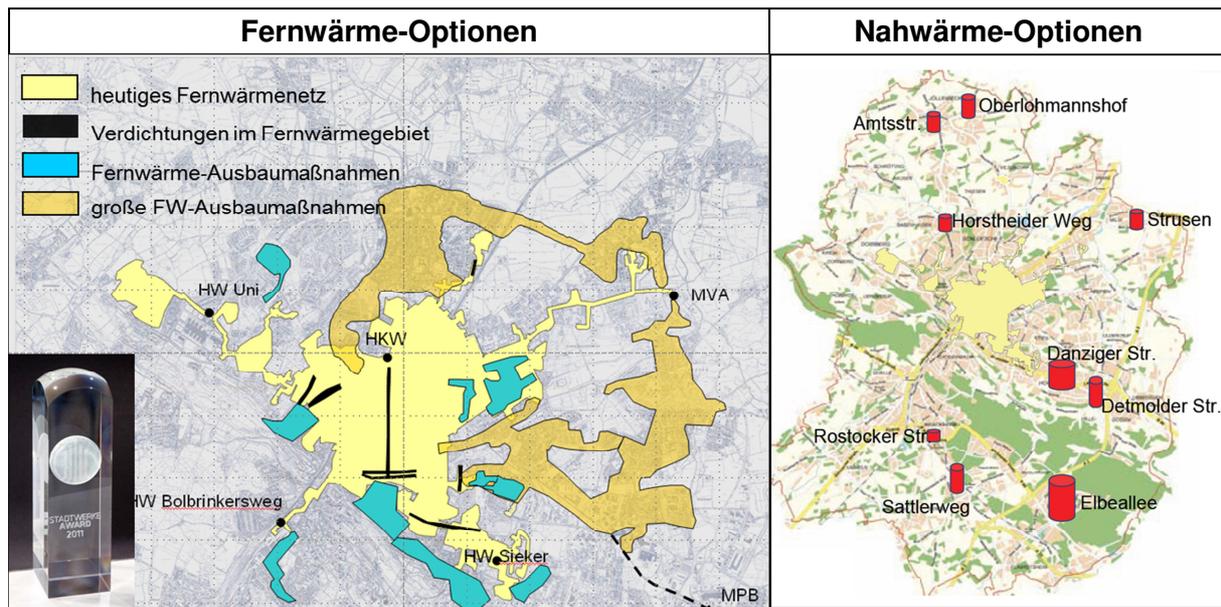


Abbildung 7: Ermittlung von interessanten Fernwärmenetz-Erweiterungsclustern

3.5 Analyse interessanter Cluster und Maßnahmen

Bei der Entwicklung einer Nah- und Fernwärmestrategie schließen sich nach den Analysen des Wärmebedarfs und der vorhandenen Netzstrukturen Wirtschaftlichkeitsrechnungen an, beispielsweise für die im Ranking bestplatzierten Cluster. Dafür können aus dem GIS sehr einfach alle relevanten Daten (Wärmebedarf heute und in Zukunft, Objektzahlen, Verlegelängen etc.) ausgelesen und in ein geeignetes Excel-Tool übertragen werden. Konsequenterweise wurde dies in einem vom Institut begleiteten Projekt der Stadtwerke Bielefeld, die für diese Aktivitäten mit dem *Stadtwerke Award 2011* ausgezeichnet wurden. Abbildung 8 zeigt die Bandbreite der untersuchten Maßnahmen.

Im GIS erarbeitete Cluster können später wieder genutzt werden, um Ergebnisse zu visualisieren. Ein Anwendungsbeispiel zeigt Abbildung 9. Auf Basis einer Wärmebedarfskarte wurden die Potenziale einer KWK-Fernwärmestrategie untersucht [1]. Dargestellt ist die spezifische Wirtschaftlichkeit größerer Cluster.



Quelle: Stadtwerke Bielefeld

Abbildung 8: Entwicklung einer Fern- und Nahwärmeausbaustrategie

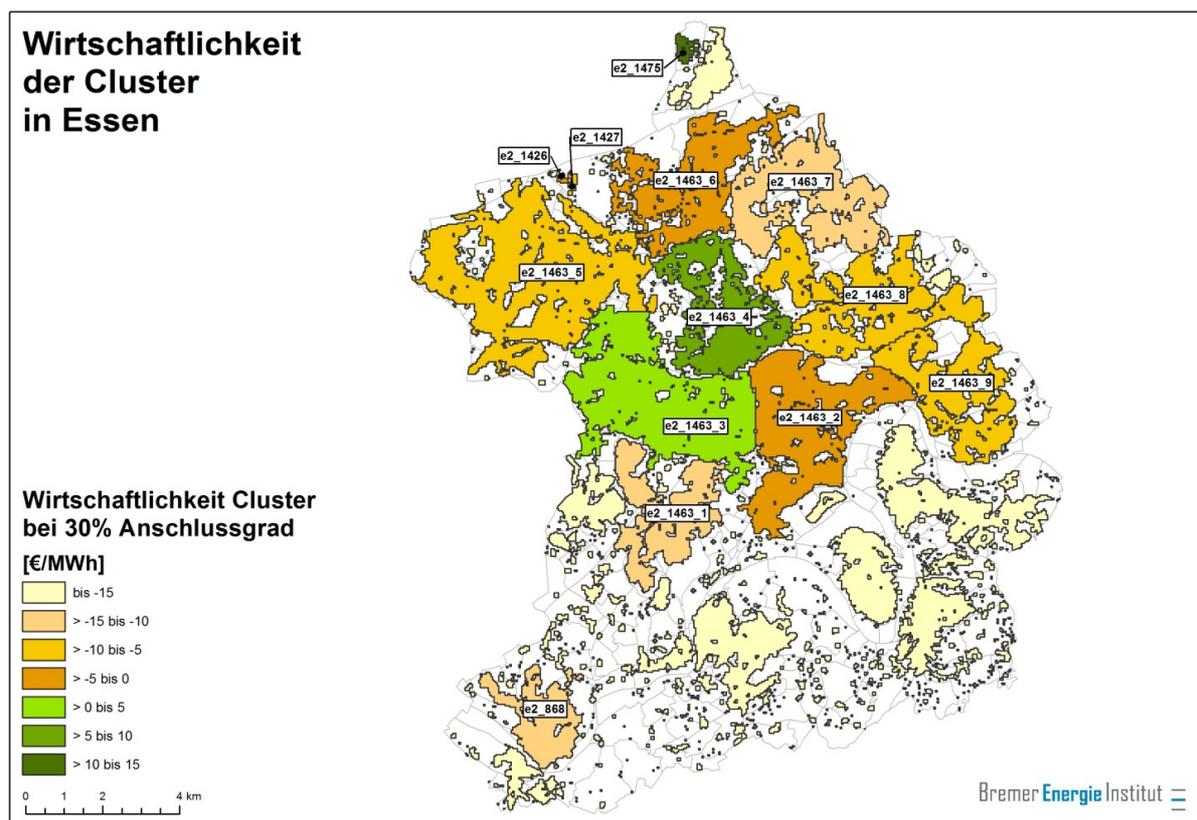


Abbildung 9: Wirtschaftlichkeit einer KWK-Fernwärmestrategie in der Stadt Essen im Falle eines Anschlussgrades von 30 %

Literatur

- [1] Der Abschlussbericht zum Projekt *Potenzialerhebung von Kraft-Wärme-Kopplung in Nordrhein-Westfalen* ist kostenlos als Download verfügbar unter: <http://www.bremer-energieinstitut.de/de/publications/reports>