
Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald; Max-Planck-Institut für Plasmaphysik Garching

GIS-GESTÜTZTE ABBILDUNG DER WÄRMENACHFRAGE AUF KOMMUNALER EBENE AM BEISPIEL DER STADT GREIFSWALD MIT BESONDEREM BLICK AUF DIE FERNWÄRME

Michael Busch, Florian Botzenhart, Thomas Hamacher, Reinhard Zölitz

Zusammenfassung: Dieser Artikel beschreibt eine mögliche Vorgehensweise, den Energiebedarf eines Raumes oder einer Region (hier am Beispiel der Wärmenachfrage) detailliert zu bestimmen. Dabei werden, ausgehend von einem „Bottom-up“ Ansatz, Informationen auf Gebäudeebene akquiriert und verarbeitet. Das Ergebnis ist eine Gebäudedatenbank, die umfangreiche Analysen und kartographische Darstellungen sowohl des historischen als auch des aktuellen und zukünftigen Wärmebedarfs ermöglicht. Die gewonnenen Erkenntnisse werden anschließend verwendet, um Aussagen über die Zukunft des Greifswalder Fernwärmenetzes zu treffen.

Schlüsselwörter: Energie, Geo-Informationssysteme, Gebäudedatenbank, Datenermittlung, Datenaufbereitung, Versorgungssysteme, Fernwärme

// GIS BASED MODELLING OF HEAT REQUIREMENT AT MUNICIPAL SCALE USING THE EXAMPLE OF THE CITY OF GREIFSWALD WITH A SPECIAL VIEW ON DISTRICT HEATING

// Abstract: This paper describes a procedure to detect the requirement of energy (especially the heat demand) for a specified area on a detailed level. Processing geographical data, based on a „bottom-up“ approach, will be the main essence and results in an edificial geodatabase that allows extensive analyses and new possibilities in mapping the historical, recent and future demand. Finally the findings are used to consider the future of the district heating network of Greifswald.

Keywords: energy, geo-information-system, edificial database, data evaluation, data preparation, supply systems, district heating

Anschrift der Autoren

Dipl. Phys. Florian Botzenhart
Dr. Thomas Hamacher
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik
Abteilung für Energie- und Systemstudien
Boltzmannstraße 2
D-85748 Garching
E: florian.botzenhart@web.de; hamacher@ipp.mpg.de

Prof. Dr. rer. nat. Reinhard Zölitz
Dipl. Geogr. Michael Busch
Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald
Institut für Geographie und Geologie
Professur für Kartographie und Geographische Informationssysteme
Friedrich-Ludwig-Jahn-Straße 16
D-17489 Greifswald
E: zoelitz@uni-greifswald.de; michael.busch@uni-greifswald.de

1. EINLEITUNG

Die Stadt Greifswald im Nordosten der Bundesrepublik zwischen den beiden größten deutschen Inseln Rügen und Usedom am Greifswalder Bodden (Seelig 2007) hat es sich zum Ziel gemacht, den Ausstoß von Treibhausgasen insbesondere von CO₂ bis 2020 gegenüber dem Jahr 2005 um 14 % zu reduzieren. Damit übertrifft sie sogar die von der EU angestrebten Reduktionsziele, die sich auf das Jahr 1990 beziehen, und zeigt damit, dass der Klimaschutz hier als lokale Herausforderung verstanden wird. Im Rahmen eines integrierten Klimaschutzkonzeptes werden hier wichtige Vorarbeiten geleistet und der Grundstein für alle nachfolgenden Maßnahmen gelegt, sowie ein kontinuierliches Monitoring vorbereitet. Ein wesentlicher Bestandteil dieses Konzeptes ist eine umfassende Energie- und CO₂-Bilanz der Stadt. Als Dokumentation des gegenwärtigen Zustandes ist diese Bilanz ein Analysewerkzeug um Emissionsquellen zu erfassen und Maßnahmen-schwerpunkte zu bestimmen. Regelmäßig aktualisiert dient sie als Kontrollinstrument um die Effekte von Minderungsmaßnahmen zu bewerten (Bartelt 2005).

Nach der ersten Bilanzierung hat sich gezeigt, dass der Großteil der Emissionen durch die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser für Gebäude erzeugt wird. Ein Beweis dafür, dass der Reduktion und Aufbringung von Heizenergie in allen lokalen Energie- und Klimaschutzkonzepten eine Schlüsselrolle zukommt.

Vor dem Hintergrund, dass Greifswald einen sehr hohen Grad an leitungsgebundenen Versorgungssystemen besitzt, muss dieser Bereich, auch unter dem Aspekt der räumlichen Verteilung, genauer analysiert werden.

2. FORSCHUNGSSTAND

Ansätze für die Bestimmung des Wärmebedarfs ganzer Siedlungsgebiete gibt es bereits seit den 80' er Jahren. Roth (1980) beschreibt unter anderem eine Siedlungs- und eine Gebäudetypmethode. Wobei hier eine entsprechende Datenermittlung auf verschiedenen Maßstabsebenen bis hin zur gebäudescharfen Herangehensweise erklärt wird. Letztere gewinnt spätestens seit der Verfügbarkeit leistungsfähiger Rechner und Geoinformationstechnologien zunehmend an Bedeutung.

So verfolgten das Institut für technische Thermodynamik des DLR und das Institut für

Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER) bereits ähnliche Ziele, wobei die Studien des DLR siedlungstypologisch vorgehen und sich auf die Verwendung von Satellitendaten stützen (Fischedick et al. 2006). Des Weiteren erschließen sich auch neue Datenquellen. So wird z.B. der Einsatz von Laserscanningdaten und Thermographieaufnahmen zur Erstellung eines Wärmekatasters schon seit geraumer Zeit untersucht (Sester et al. 2008). Untersuchungen des IER basieren nahezu vollständig auf Laserscanning und zeigen, dass diese für eine gebäudescharfe Herangehensweise nutzbar sind (Blesl 2001). Diese Daten sind aber nicht immer flächendeckend verfügbar. Auch ist die kommunale Verwaltung nicht immer in der Lage diese Daten zu verarbeiten.

Durch das Annähern auf der Gebäudeebene können relativ konkrete Aussagen getroffen werden, da sich heterogene Gebäudebestände sehr gut differenzieren lassen. Die Vorteile des Einsatzes von Geo-Informationssystemen liegen hier ganz klar auf der Hand. Die Verknüpfung von Sachdaten mit lagegenauen Geometrien von Gebäuden und deren Verwaltung in einer Datenbank, sowie die Möglichkeit der direkten Visualisierung und ggf. weiterer Analyse sind bei Fragestellungen die Energieanwendung bzw. deren Bereitstellung betreffend, von großer Bedeutung.

Im vorliegenden Fall wird der Ansatz verfolgt, bereits vorhandene Datenpools zu nutzen und diese über eine einfache Geokodierung von adressbezogenen Informationen miteinander zu verknüpfen. Es wird davon ausgegangen, dass alle benötigten Daten in irgendeiner Form und in ausreichender Genauigkeit bereits bei den kommunalen Akteuren existieren. Es werden die verschiedenen Informationsquellen aufgezeigt, daraufhin entsprechend angepasste Berechnungen vorgenommen und die resultierenden Daten so für eine detaillierte räumliche Analyse des Wärmebedarfs aufbereitet.

3. WÄRMEBEDARF UND EINSPARPOTENTIALE

Es gilt, das enorme Energieeinsparpotential zu identifizieren, zu nutzen und gegebenenfalls optimierte Versorgungskonzepte zu erarbeiten. Immer vor dem Hintergrund, dass zum einen die Nachfrage nach Raumwärme durch Sanierungen der Gebäude deutlich reduziert wird, zum anderen die Heizenergie aber auch durch nachhaltige

Energieträger und -konzepte, wie Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), Biomasse oder Strom aus erneuerbaren Energiequellen bereitgestellt werden kann. Um eine optimale Mischung aus beiden Maßnahmen zu finden, ist im Vorfeld eine detaillierte Analyse der gegenwärtigen und zukünftigen Nachfrage nach Wärme in einer räumlich hoch aufgelösten Darstellung notwendig. So können z.B. ganz konkret Vorzugsgebiete für verschiedene dezentrale oder zentrale Heiztechniken definiert werden, wobei in Gebieten mit hoher Nachfrage sich leitungsgebundene Energieträger durchsetzen, also insbesondere Fernwärme. Diese kann dann durch effiziente Kraftwerke oder die Nutzung alternativer Brennstoffe zunehmend dekarbonatisiert werden. In Gebieten mit niedriger Nachfrage wäre eine aggressive Sanierungsstrategie zusammen mit einem Ausbau an Solarenergie und Wärmepumpen eine Option.

3.1 DER HEIZWÄRMEBEDARF EINES GEBÄUDES

Die Berechnung des Heizwärmebedarfs eines Gebäudes, also derjenigen Energiemenge, welche das Heizsystem für die Gesamtheit der beheizten Räume in einem Jahr bereitzustellen hat, basiert auf einem bauphysikalischen Ansatz. Dieser Bedarf an Raumwärme (ohne Warmwasserbereitstellung) resultiert aus verschiedenen physikalischen Prozessen, welche rechnerisch bewertet und bilanziert werden können. Standardmäßig werden in physikalischen Gebäude-modellen (Institut für Wohnen und Umwelt 2004) Transmissionsverluste durch die thermische Gebäudehülle, Lüftungsverluste infolge des Austauschs warmer Raumluft mit der Außenluft, solare Gewinne infolge der Sonneneinstrahlung und interne Gewinne infolge anwesender Personen und elektrischer Geräte angesetzt. Der Heizwärmebedarf zur Warmwasserbereitung wird in der Regel durch die Anzahl der im Gebäude lebenden Personen und einen personenspezifischen Standardwert berechnet.

Erste Voraussetzung für eine fundierte Berechnung ist die Verfügbarkeit geometrischer Angaben zum Gebäude. In einem vereinfachten Ansatz kann ein Gebäude als Quader aufgefasst werden, sprich ohne der Dachform und der Nutzung des Dachgeschosses Rechnung zu tragen. Aus den Abmessungen für Länge, Breite und Höhe dieses Quaders können Grundfläche und

Mantelfläche der thermischen Hülle berechnet werden. Länge und Breite können dabei direkt über das Gebäudepolygon oder mit Hilfe eines typischen Streckungsfaktors ermittelt werden. Die Bauhöhe des Gebäudes kann, falls nicht explizit erhoben, über die Etagenzahl abgeschätzt werden.

Weitere Verfeinerungen der Berechnungen sind möglich, aber abhängig von der Verfügbarkeit weiterer Daten. Informationen z.B. über Dachform und Nutzung des Dachgeschosses erlauben eine detaillierte Betrachtung des Daches. Die Kenntnis über Existenz und Nutzung eines Kellergeschosses ermöglicht eine Korrektur des Wertes für die beheizte Geschossfläche des Gebäudes. Ausgehend von dreidimensionalen Gebäudemodellen können baulich unmittelbar an ein Gebäude angrenzende Objekte und damit Fassadenflächen ermittelt werden, welche keine oder eingeschränkte Transmissionsverluste aufweisen.

3.2 ANWENDUNG AUF GROßE GEBÄUDEBESTÄNDE

Die gebäudescharfe Verfügbarkeit der oben angeführten geometrischen Größen ist eine Grundvoraussetzung des hier beschriebenen Berechnungsansatzes. Abhängig von der Verfügbarkeit weiterer energetisch relevanter Einflussgrößen kann der Heizwärmebedarf tatsächlich für jedes Einzelgebäude oder alternativ über den Ansatz einer Gebäudetypisierung berechnet werden.

Um ausgehend von der Gebäudegeometrie den Heizwärmebedarf eines Gebäudes bestimmen zu können, ist Kenntnis über die energetische Qualität der thermischen Hülle erforderlich. Rechnerisch müssen dazu die U-Werte (Wärmedurchgangskoeffizienten) der einzelnen Bauteiltypen der thermischen Hülle wie Fassade, Fenster, Dach oder unterer Gebäudeabschluss angesetzt werden. Dazu macht die Einführung einer Gebäudetypisierung Sinn, da die gebäudescharfe Erhebung und Datenhaltung der U-Werte für einen größeren Gebäudebestand in der Regel nicht machbar ist. Bei der Erstellung einer Gebäudetypologie wird ausgenutzt, dass Gebäude aus einer bestimmten Bauzeit in der Regel ähnliche Baustandards und damit ähnliche thermische Eigenschaften aufweisen. Ausgehend von Veröffentlichungen neuer Wärmeschutzverordnungen, beispielsweise 1977 und 1982, und weiteren sinnvoll gewählten Grenzzahlen, werden Baualterklassen definiert, für

die der Gebäudebestand im Hinblick auf die thermische Qualität als verhältnismäßig homogen angenommen werden kann. Eine für Deutschland anwendbare Gebäudetypisierung wurde vom IWU ausgearbeitet. Die U-Werte pro Bauteil und Baualterklasse sind beispielsweise in (Institut für Wohnen und Umwelt 2003) dokumentiert.

Damit wird die Relevanz des Baujahrs bzw. der Zuordnung eines Gebäudes zu einer Baualterklasse neben den dargestellten geometrischen Größen deutlich. Bisherige Erfahrungen bei der Anwendung der U-Werte aus der deutschen Gebäudetypologie auf konkrete Regionen haben gezeigt, dass der oben zitierte Ansatz zumindest mit den regionalen Gegebenheiten abgeglichen werden sollte. Die Meinung von Energieberatern oder Architekten vor Ort führen an dieser Stelle zu belastbareren Aussagen.

3.3 PRÄZISIERUNG

Die Möglichkeit der Präzisierung der Berechnung eröffnet sich, wenn gebäudescharfe Informationen zum Sanierungszustand verfügbar sind. Dieser lässt sich z.B. durch thermographische Luftbildaufnahmen abschätzen oder durch eine Primärerhebung ermitteln. Abhängig von der Baualterklasse können für die einzelnen Bauteile typische Dämmdicken angegeben werden, welche dann durch eine Einteilung in unsaniert, teilsaniert und vollsaniert zur Anpassung des U-Wertes verwendet werden können.

Neben den angeführten Größen zur Gebäudegeometrie und zur Qualität der thermischen Hülle gehen weitere Parameter in den physikalischen Rechenansatz ein (Temperaturfaktoren, Luftwechselraten, Kennwerte für interne Gewinne). Dafür werden in der Regel Standardwerte angesetzt. Klimatische Einflussgrößen wie der Verlauf der Außentemperatur und der solaren Einstrahlung sind für Deutschland in der Regel in hinreichend feiner regionaler Auflösung verfügbar (IWU 2008).

Der Heizwärmebedarf infolge der Warmwasserbereitung kann über die Anzahl der im Gebäude lebenden Personen und einen personenspezifischen Standardwert berechnet werden. Fehlt eine gebäudescharfe Zuordnung der Einwohner, so kann diese Größe auch über die Wohnfläche abgeschätzt werden.

Der Heizenergiebedarf eines Gebäudes ergibt sich aus dem Heizwärmebedarf und einem Faktor, welcher den Verlusten der

Heizwärmeverteilung und der Heizungsanlage Rechnung trägt. Dieser Faktor, die so genannte Endenergieaufwandszahl, kann abhängig vom Heizungstyp, dem verwendeten Energieträger sowie dem Gebäudetyp angesetzt werden.

Eine Ermittlung des Heizenergiebedarfs auf Ebene einzelner Gebäude eröffnet bei Verfügbarkeit realer Heizenergieverbrauchsdaten die Möglichkeit des Abgleichs und der Analyse etwaiger systematischer Fehler.

Eine Erfahrung bei der physikalischen Gebäudeprojektierung ist die Tatsache, dass der Heizenergiebedarf in der Regel rechnerisch überschätzt wird (Loga et al. 2003). Gründe dafür sind Effekte wie die Nachtabsenkung der Rauminnentemperatur oder eine unvollständige Beheizung der Nutzfläche eines Gebäudes. Es soll an dieser Stelle deutlich gemacht werden, dass das Nutzerverhalten (Anzahl der Warmwasserzapfungen, bevorzugtes Temperaturniveau) im Hinblick auf den Heizenergiebedarf eine Einflussgröße von nicht unerheblichem Stellenwert ist, die allerdings nur bedingt und mit großem Aufwand erhoben werden kann. Liegen Heizenergieverbrauchsdaten zum Abgleich vor, müssen auf Basis der verfügbaren Daten sinnvolle Korrekturmechanismen entwickelt werden.

4. ERMITTLUNG DER DATENBASIS AM BEISPIEL VON GREIFSWALD

Wo sind entsprechende Gebäudedaten verfügbar, in welcher Form liegen diese vor und wie sehen die Zugangsvoraussetzungen aus? Der Form kommt insofern Bedeutung zu, als dass sie über die Machbarkeit und den Arbeitsaufwand bei der späteren Zusammenführung entscheidet. Außerdem bestimmt sie die zu verwendenden Hilfsmittel für die Bearbeitung.

Die folgenden Stellen kommen für eine Informationsbeschaffung in Frage bzw. haben sich bisher als zuverlässig erwiesen:

► *Energieversorgungsunternehmen*

Die lokalen Energieversorger kennen die Verbräuche von Fernwärme, Gas und Strom häuserscharf, wenn nicht sogar für jeden einzelnen Haushalt. Das gilt zumindest für alle im Versorgungsgebiet angeschlossenen Verbraucher. Nur im Falle von großen Mehrfamilienhäusern im Besitz eines Wohnungsbaunternehmens beispielsweise kann es vorkommen, dass eine Vielzahl von Gebäuden an einer Hausanschlussstation angeschlossen ist. Eine Zuordnung zu den

einzelnen Gebäuden ist dann weitaus aufwendiger. Dennoch ließe sich der Großteil aller Verbrauchswerte (keine Bedarfswerte) auf diesem Wege ermitteln, stünden dem nicht der Datenschutz sowie wirtschaftliche Interessen und Befürchtungen der Unternehmen entgegen. So muss doch gesagt werden, dass die Möglichkeit der Datenbeschaffung hier theoretisch entfällt, wenn nicht das ortsansässige Energieversorgungsunternehmen selbst Träger der Untersuchungen ist oder in sonstiger Art und Weise an den Ergebnissen interessiert bzw. involviert ist, ein Umstand, der aber in den meisten Fällen entsprechend kommuniziert werden kann.

► *Landesvermessungsverwaltung*

Die Kataster- und Vermessungsämter der Länder sind für die Führung des Liegenschaftskatasters zuständig. Sie können lagegenaue Grundrisse der Gebäude zu Verfügung stellen. Sie halten außerdem sogenannte Hauskoordinaten vor. Dabei handelt es sich um einen umfangreichen Punktdatensatz, der amtliche Hausnummern und geographische Koordinaten miteinander vereint. Alternativ können Hauskoordinaten auch von kommerziellen Anbietern bezogen werden. Darüber hinaus ist die Landesvermessungsverwaltung zunehmend in der Lage Laserscanningdaten zur Verfügung zu stellen. Aufgrund der hohen Auflösung und der damit einhergehenden Genauigkeit, werden diese zukünftig mehr an Bedeutung gewinnen, wenn es darum geht, gebäudespezifische Höheninformationen zu verwenden. Der Zugang zu den Daten ergibt sich aus § 11 GeoZG i.V.m. § 12 GeoZG (Geodatenzugangsgesetz).

► *Stadtverwaltung*

Die meisten deutschen Städte verfügen bisher nicht über eine detaillierte Gebäudedatei, ein Umstand, der sich möglicherweise mit dem Zensus 2011 ändern wird. Dennoch besteht die Möglichkeit, sehr viele Informationen aus bereits vorhandenen Datenpools zu gewinnen. Beispielhaft seien die Statistikabteilungen genannt. Diese können unter Umständen auf Daten aus vergangenen Gebäude- und Wohnungszählungen zurückgreifen und ein amtliches Straßenverzeichnis liefern. Immobilienämter haben detaillierte Informationen über städtische Gebäude und Stadtplanungsämter und führen, z.B. im Rahmen von Integrierten Stadtentwicklungskonzepten, gelegentlich Leerstandserhebungen durch. Von den Gewerbeämtern können außerdem branchenspezifische Informationen bezogen werden, welche

insbesondere hilfreich für die Typisierung von Nichtwohngebäuden sind. Des Weiteren können die kommunalen Ämter für Statistik gebäudescharfe Einwohnerzahlen bereitstellen. Der Bezug der Daten ist dahingehend unproblematisch als das sie stets ausreichend anonymisiert sind, z.B. durch das Setzen eines Mindestwertes bei den Einwohnern pro Adresse. Auch hier ergeben sich Zugangsvoraussetzungen aus § 11 und § 12 GeoZG.

► *Kartenmaterial*

In vielen Städten liegen historische Kartenmaterialien vor. Diese können in einem GIS georeferenziert und weiter verarbeitet werden. Im vorliegenden Fall von Greifswald lagen Blattschnitte aus den Jahren 1930, 1960, 1978 und 1990 vor. Diese können als zusätzliches Hilfsmittel zur annähernden Bestimmung von Baujahren bzw. Baualterklassen verwendet werden. Eine mögliche Vorgehensweise wird im 5. Abschnitt näher beschrieben.

► *Wohnungsbauunternehmen*

In Greifswald gibt es zwei große Wohnungsbauunternehmen. Beide waren in der Lage detaillierte Informationen ihrer Liegenschaften zur Verfügung zu stellen. Hier bot sich zudem die Möglichkeit, reale Verbrauchswerte in Erfahrung zu bringen. Diese könnten für eine spätere Kontrolle der berechneten Wärmebedarfswerte verwendet werden und lassen Rückschlüsse auf den Zusammenhang zwischen reellem Verbrauch und berechnetem Bedarf zu. Auch hier sind wieder Datenschutzrechtliche Belange zu beachten. Der Zugang zu den Daten erfolgte über die Partnerschaft der Wohnungsbauunternehmen am Klimaschutzbündnis der Stadt Greifswald. Im Zuge dessen galt es für die Unternehmen die CO₂-Einsparpotentiale näher zu bestimmen. Es könnten somit Synergien in diesem Bereich geschaffen werden.

► *Größere Einrichtungen*

Institutionen wie z.B. Hochschulen, Bildungswerke, Kliniken oder ähnliche verwalten ihre Gebäudebestände ebenfalls meist zentral und erstellen zudem zunehmend betriebliche Umweltberichte. So finden sich hier meist sehr umfangreiche Datenpools, die im Einzelfall für weitergehende Analysen genutzt werden können. Für den vorliegenden Fall waren insbesondere die Gebäudebestände der Universität interessant. Der Zugang erfolgte auch hier wieder über die Partnerschaft am Klimaschutzbündnis der Stadt

► *Primärerhebung*

Um den realen energetischen Zustand des Gebäudebestandes zu modellieren, ist es unabdingbar den Sanierungsstand in Erfahrung zu bringen. Nur so lassen sich sichere Aussagen über den derzeitigen Wärmebedarf eines Gebäudes machen und Einsparpotentiale abschätzen. Eine Möglichkeit hier akzeptable Ergebnisse zu bekommen, liegt in einer Kartierung des Untersuchungsgebietes. Dabei muss der Sanierungsstand sowohl hinreichend genau als auch vereinfacht zu bestimmen sein. Gleichzeitig müssen die Kartierungsmaßnahmen in ihrem Ablauf so optimiert werden, dass sehr viele Objekte in sehr kurzer Zeit mit einer möglichst geringen Fehlerrate erfasst werden, d.h. die Kartierung sollte mit möglichst wenigen Personen durchgeführt werden, und es werden keine analogen Erfassungsbögen verwendet, um eine nachträgliche Digitalisierung der Daten zu vermeiden. Mobile GIS-Lösungen bieten hier Vorteile. Zudem sollten für die Beurteilung des Sanierungsstandes im Vorfeld standardisierte Indikatoren erarbeitet werden.

► *Schornsteinfeger*

Der Schornsteinfeger überprüft unter anderem den Kohlenmonoxidgehalt (CO) im Abgas von Feuerstätten, oder auch den Abgasverlust einer Heizungsanlage. Er hat somit detaillierte Informationen über die installierten Heizungssysteme und kennt deren Brennstoffart und Anschlussleistung. Diese Informationen unterliegen strengen Datenschutzbestimmungen und werden zudem von jedem Bezirkschornsteinfeger anders vorgehalten und gepflegt. Eine Nutzung ist deshalb nicht in jedem Fall möglich. Gegebenenfalls müssen ausreichende Anonymisierungsmaßnahmen vorgenommen werden. Das heißt im Einzelnen, dass hier nur auf Ebene von statistischen Blöcken bzw. auf Stadtteilebene gearbeitet werden kann. Ein Zugang zu gebäudescharfen Informationen kann aber dann Aussicht auf Erfolg haben wenn, wie im vorliegenden Fall, durch die Stadt Greifswald als Empfänger der Daten erklärt wird, dass die Nutzung der Daten zur Erfüllung einer in der Zuständigkeit des Empfängers liegenden Aufgabe erforderlich ist (§ 14 DSGVO M-V). Es ist die Aufgabe zu beschreiben, für deren Erledigung die Daten benötigt werden. Es reicht dabei nicht aus, hier allein z.B. das Klimaschutzkonzept zu nennen. Vielmehr muss beschrieben werden, warum diese Daten in welcher Form hierfür benötigt werden. Das Ziel der

Aufgabe ist zu beschreiben. Außerdem ist darzulegen, dass die Aufgabe gem. § 10 Abs. 3 Nr. 9 DSGVO zur Durchführung wissenschaftlicher Forschung erforderlich ist. Zudem ist zu erklären, welche Folgen eintreten, wenn die Daten nicht in der erbetenen Form bereitgestellt werden und lediglich anonymisierte Daten zum Einsatz kämen (wissenschaftliches Interesse gegenüber Schutzinteresse der Betroffenen) (Bülow 2010).

► *Sonstige*

Wie schon bei der Landesvermessungsverwaltung angesprochen sind zunehmend für weite Teile Deutschlands mittlerweile hochauflösende Laserscanningdaten (auch ALS-Daten genannt) vorhanden. Aus diesen dreidimensionalen Punktwolken lassen sich die Außenmaße und dementsprechend auch das Volumen der Gebäude sehr genau bestimmen (Blesl et al. 2008). Eher selten sind Thermographieaufnahmen von Stadtgebieten, die unter Umständen Rückschlüsse auf den Dämmstandard der Gebäude zulassen. Des Weiteren können Online-Kartendienste wie Microsoft Bing (ehem. Live-Search), Google Maps und Open-Street-Map respektive die Web-Map-Services der amtlichen Vermessungsverwaltungen mit vorhandenen Orthophotos und Schrägluftbildern zur manuellen Kontrolle von Gebäudetyp und Geschosszahlen herangezogen werden. Als zusätzliche Datenquelle kommt natürlich auch die einschlägige Literatur in Frage. Nicht selten existieren historische Abhandlungen oder Bildbände, die reichhaltige Informationen über Stadtteile oder einzelne Straßenzüge enthalten, wenn nicht sogar den Zustand großer Teile des Gebäudebestandes dokumentieren.

5. DATENVERARBEITUNG

Die Haltung der erhobenen Daten kann im einfachsten Fall in Textform erfolgen, wobei hier die Struktur einer Tabelle eingehalten werden sollte. So ist es theoretisch möglich, die Daten im Nachhinein in jeder gängigen GIS-Software sowie Office-Anwendung zu verwenden und gegebenenfalls zu bearbeiten. Da hier die Software ArcGIS der Firma ESRI zum Einsatz kam, wurde als bevorzugtes Format das „Shape-Format“ gewählt. Es ist mit den meisten anderen Softwareumgebungen kompatibel und wird auch von der Stadtverwaltung Greifswald sowie dem Institut für Plasmaphysik der Max-Planck-Gesellschaft und der Universität Greifswald verwendet.

In einem ersten Schritt werden die gesammelten Informationen in ein einheitliches Format überführt. Hier ist, wie bereits erwähnt, meist eine tabellarische Form sinnvoll. Außerdem werden lediglich die für die Fragestellung relevanten Daten extrahiert, um den Arbeitsaufwand zu minimieren.

Einen weiteren wesentlichen Schritt stellt die Geocodierung dar. Die Adresscodierung, besser gesagt, die Geocodierung über die Adresse, ist das Bindeglied zwischen den erhobenen Daten und dem Raumbezug. Dieser Arbeitsschritt ist bedingt durch die Datenquellen vorgegeben, welche in der Regel irgendeine Form von Adressbezug aufweisen. Es muss also eine einheitliche Basis gefunden oder generiert werden. Im Falle von Greifswald gibt die Statistikstelle des Amtes für Wirtschaft und Finanzen in regelmäßigen Abständen ein alphabetisches Straßverzeichnis heraus. Dieses wurde als Referenzdatensatz verwendet und daraufhin die Attribute der Hauskoordinaten kontrolliert und angepasst. Die endgültige Geocodierung erfolgte nach Straßennamen, Hausnummer und Hausnummernzusatz.

Die extrahierten Informationen jeder einzelnen zuvor genannten Datenquelle wurden nun an diese Codierung angepasst. Dadurch wird es möglich, die Daten anhand eines „Adress-Locators“ mit den Hauskoordinaten zu verknüpfen und so einen direkten Raumbezug herzustellen. Ein Adress-Locator ist eine Funktion im GIS, um adresskodierte Daten miteinander zu vergleichen und zusammenzuführen. Schreibfehler in der Kodierung werden so minimiert, gegebenenfalls korrigiert, dass auch nicht eindeutige Adressen weitestgehend korrekt zugeordnet werden können. Fehlzugeordnungen werden in einer Log-Datei ausgegeben und können nachträglich von Hand bearbeitet werden. Das Ergebnis dieser Prozedur sind adressscharfe Punktdaten mit den jeweiligen Attributen der Datenquellen. Diese stehen so für die Weiterverarbeitung im GIS bereit.

Im nächsten Schritt erfolgte die Verbindung der Punktdaten mit den Geometrien der Gebäude. Das kann entweder über eine einheitliche Attributierung oder über die räumliche Lage erfolgen. Durch die so generierte Gebäudedatenbank ist es möglich, räumliche Beziehungen zueinander in die Endkontrolle mit einfließen zu lassen. Die Handhabung des Datensatzes, welcher mehrere tausend Objekte enthält, wird so sehr viel benutzerfreundlicher. So ist nun auch eine direkte

Verbindung zu den angesprochenen Online-Kartendiensten möglich.

Eine Besonderheit stellt die Verwendung von historischen Kartenmaterialien dar, welche für die Ermittlung fehlender Baualtersklassen herangezogen werden können, wobei eine manuelle Kontrolle angesichts der Datenmenge nicht praktikabel erscheint. Anhand der Kartenmaterialien von 1960 für das Stadtgebiet von Greifswald soll eine mögliche Herangehensweise näher erläutert werden.

► *Schritt 1:* Das vorhandene Kartenmaterial wird gescannt und z.B. mit Hilfe schon vorhandener Geodaten (Straßenzüge oder aktueller Gebäudebestand) georeferenziert. Bereits vorhandene Straßen sind hier grau dargestellt (siehe Abb. 1). Auf der linken Seite ist außerdem der Rand des hier verwendeten Blattschnittes zu erkennen.



Abbildung 1: Schritt 1, Scannen und Georeferenzieren des Kartenmaterials

► *Schritt 2:* Mit Hilfe der Erweiterung ArcScan für ArcGIS und der Funktion „Raster cleanup“ lässt sich die Karte dahingehend bearbeiten, dass zum Einen nur noch zwei Farbwerte (hier Weiß und Schwarz) zur Verfügung stehen und zum anderen Unregelmäßigkeiten herausgefiltert werden können (siehe Abb. 2).



Abbildung 2.: Schritt 2, Reduzierung der Farbwerte und Eliminierung von Unregelmäßigkeiten

► **Schritt 3:** Nun ist es möglich, die restlichen Rasterinformationen unter der Annahme, dass es sich hierbei um Gebäude handelt, automatisiert in Vektordaten umzuwandeln. Es wird ein Shape generiert, das zwar keine Sachdaten, dafür aber weitgehend lagegenaue Polygone (hier mit der Farbe Rosa dargestellt) enthält (siehe Abb. 3).



Abbildung 3: Schritt 3, Vektorisierung der Gebäudeinformationen

In einem weiteren Schritt lassen sich nun aus dem aktuellen Gebäudebestand über eine räumliche Selektion diejenigen Objekte anzeigen, deren räumliche Lage mit den automatisch generierten Polygonen übereinstimmen. Für diese Objekte kann jetzt festgestellt werden, dass sie vor 1960 erbaut worden sein müssen. Allein am Beispiel dieses

einen Blattschnittes kann eine derartige Aussage für mehrere hundert Objekte gemacht werden. Auf alle vorhandenen Zeitschnitte angewendet, ließe sich so eine Übersicht über die Altersstruktur der Greifswalder Gebäude gewinnen und eine alternative Klassifizierung vornehmen. Sind für alle Gebäude der Stadt das Baujahr bzw. die Baualterklasse und der Sanierungsstand bekannt, so ist es letztendlich auch möglich, die energetische Situation für verschiedene Zeiträume zu visualisieren und miteinander zu vergleichen. Jedoch müssen Ungenauigkeiten bezüglich der Altersklassifikation beim Fehlen ausreichend vieler Zeitschnitte in Kauf genommen werden. Wie groß diese letztendlich sind, müssen weitergehende Untersuchungen zeigen.

6. VISUALISIERUNG

Auf der Grundlage der vorliegenden Datenbasis ist eine gebäudescharfe Darstellung im großmaßstäbigen Bereich ohne Weiteres umsetzbar. Auch dreidimensionale Darstellungen, wie in Abbildung 4 dargestellt, sind möglich und können für weitere Analysen und öffentlichkeitswirksame Präsentationen verwendet werden. Der digitale Gebäudebestand kann so effizient an Dritte vermittelt werden und die weitere Datenpflege wird dadurch unter Umständen unterstützt.

Für kleinmaßstäbige, das gesamte Stadtgebiet umfassende Darstellungen bietet sich eine Einteilung des Stadtgebietes in Rasterzellen von jeweils 100x100m an. So lassen sich die summierten Werte aller in einer Rasterzelle befindlichen Gebäude für jeweils einen Hektar bestimmen, was einen praktikablen Umgang ermöglicht und weitere Berechnungen vereinfacht. Es ist für den Betrachter dadurch außerdem leichter, intuitiv Wärmedichten zu bestimmen, auch ohne eine entsprechende Fachkenntnis zu besitzen. Es wird für jeden Zustand (historische, IST, zukünftig) ein Raster berechnet (Abbildungen 6, 7, 8, 9). Dazu dient immer der Mittelpunkt eines Gebäudes als Lagereferenz.

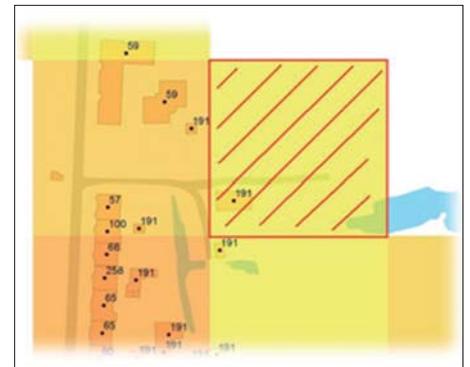


Abbildung 5: Einteilung des Stadtgebietes in Rasterzellen zur verbesserten Visualisierung der Wärmedichte (eigene Darstellung)



Abbildung 4: 3D-Modell (LOD 1) der Stadt Greifswald (eigene Darstellung)

So wird erreicht, dass die Zellen eines jeden Zustandes immer genau dieselbe Lage und Ausdehnung haben. Sie lassen sich so unabhängig voneinander bearbeiten (umrechnen, klassifizieren, etc.) und miteinander vergleichen. Es wird eine Farbskala von Grün für niedrige Werte über Gelb hin zu Rot für hohe Werte, eingeteilt in 8 Klassen, verwendet. Die Klassengrenzen sind manuell festgelegt und werden in jedem Zeitschnitt gleich angewandt.

Die Werte sind Angaben in MWh/a und resultieren aus der Summe aller in einer Zelle befindlichen Energieeffizienzwerte, multipliziert mit der Nutzfläche der jeweiligen Gebäude. Der hier mit einer roten Schraffur (Abb. 5) gekennzeichneten Rasterzelle wird also ein Wert zugeordnet, der sich aus dem Produkt von 191 kWh/(m²a) und der dazugehörigen Nutzfläche des hier einzigen Gebäudes ergibt. Das Ergebnis dieser Prozedur stellt (Abbildung 9) für das gesamte Stadtgebiet von Greifswald dar.

7. ERGEBNISSE

Beruhend auf dieser Datengrundlage und mit den bisher gewonnenen Erkenntnissen wird es möglich, verschiedenste Aussagen darüber zu machen, wie beispielsweise die Chancen für etwaige Klimaschutzmaßnahmen im Wärmebereich aussehen und wie sich diese auf die zukünftige Entwicklung des Fernwärmenetzes auswirken könnten.

► Klimaschutzziele

Wie anfangs erwähnt, hat es sich die Stadt Greifswald zum Ziel gemacht, den Ausstoß von Treibhausgasen insbesondere von CO₂ bis 2020 gegenüber dem Jahr 2005 um 14% zu reduzieren. Doch wie wahrscheinlich ist es, dass diese Ziele erreicht werden? Die vorliegende Analyse lässt eine erste Einschätzung dieser Fragestellung durchaus zu. Sie hat ergeben, dass sich die Energieeffizienz des Gebäudebestandes der Stadt Greifswald stark verbessert hat, was sich seit den 1990'er Jahren auch in einem rückläufigen errechneten Gesamtwärmebedarf äußert (Abbildung 10). Szenariorechnungen (SZ1, 2 und 3 spiegeln unterschiedliche Sanierungsraten und -erfolge im Gebäudebestand wider. Wann diese erreicht werden, bleibt offen.) haben außerdem gezeigt, wie groß die Einsparpotentiale im aktuellen Bestand sind und diese räumlich identifiziert. So können sie schnell und zielgerichtet genutzt werden.

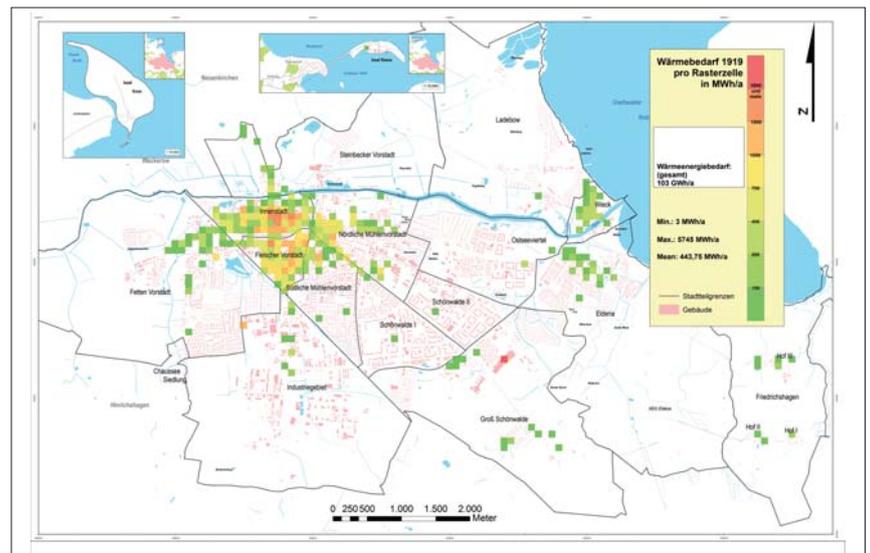


Abbildung 6: Darstellung des historischen Wärmebedarfs von 1919 (eigene Darstellung)

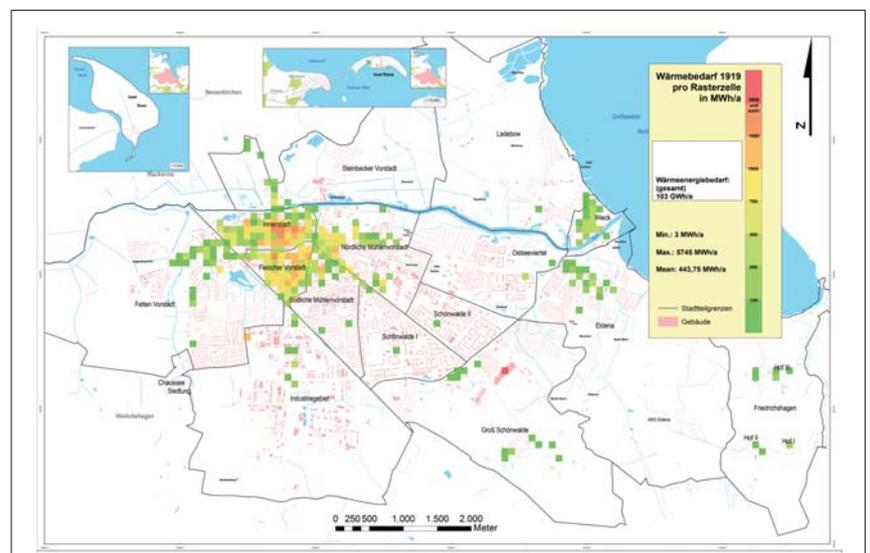


Abbildung 7: Darstellung des Wärmebedarfs von 1960

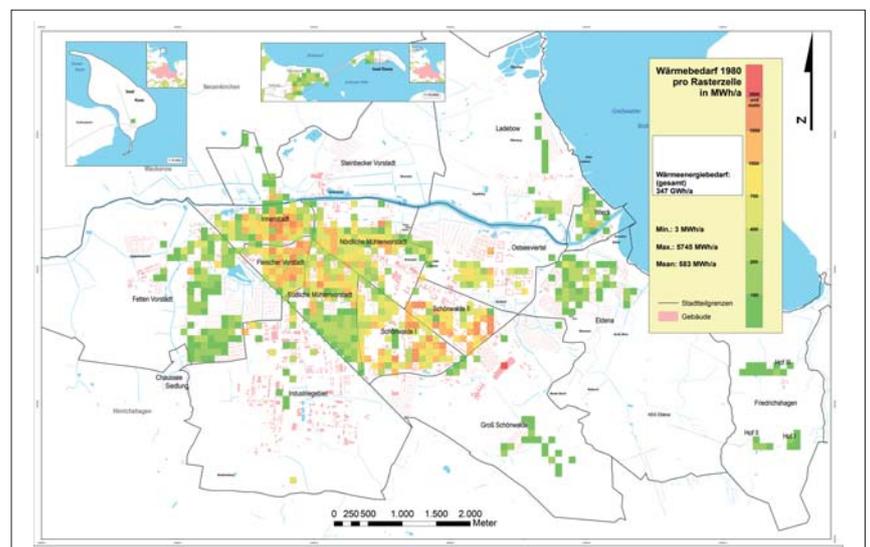


Abbildung 8: Darstellung des Wärmebedarfs von 1980

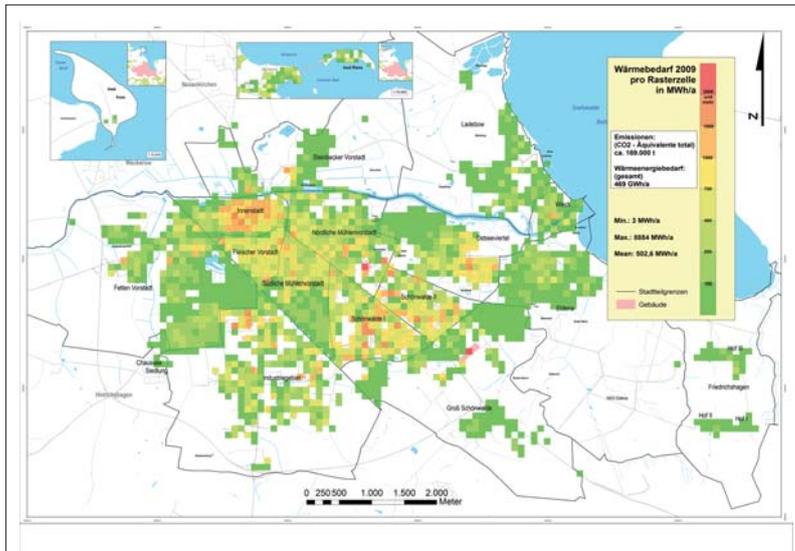


Abbildung 9: Darstellung des aktuellen Wärmebedarfs von 2009

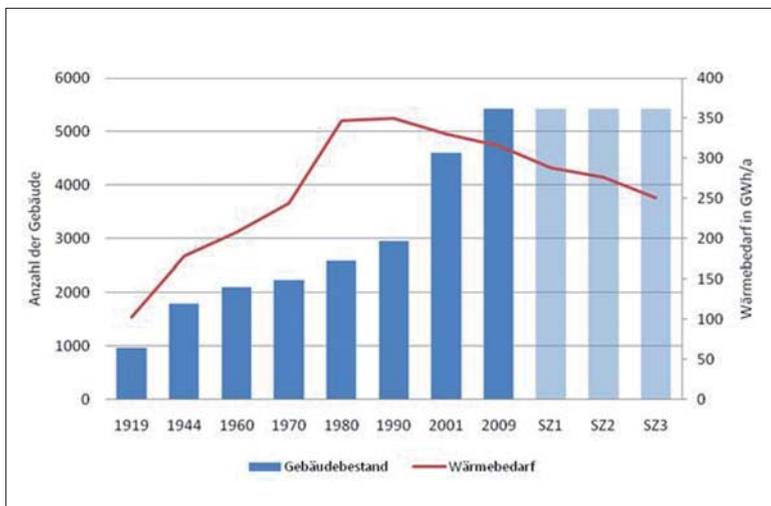


Abbildung 10: Verlauf des Gesamtwärmebedarfs für die Stadt Greifswald seit 1919 inklusive mehrerer zukünftiger Szenarien

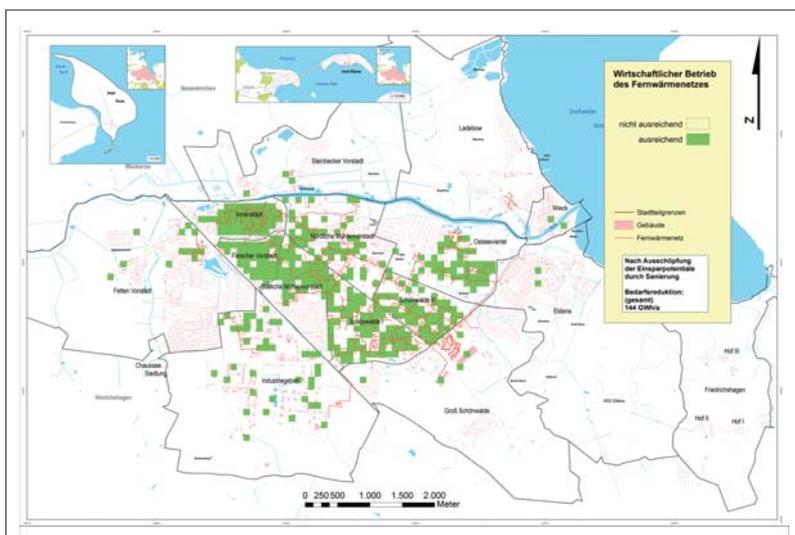


Abbildung 11: Theoretische Darstellung eines wirtschaftlichen Betriebs des Fernwärmenetzes der Stadt Greifswald nach Ausschöpfung der Einsparpotentiale durch eine Sanierung

Bezogen auf den heutigen Bedarf lässt sich allein durch Sanierungen im Bestand bei voller Ausschöpfung der Potentiale eine Reduktion der Nachfrage von etwa 25% errechnen. Das entspricht, eine gleichbleibende Wärmeversorgungsstruktur vorausgesetzt, ca. 27.000t CO₂ im Jahr.

► Zukunft der Fernwärme

Bei dem großen Anteil an leitungsgebundener Versorgung in Greifswald stellt sich die Frage, ob die Fernwärme auch unter den zukünftigen Rahmenbedingungen ökonomisch betrieben werden kann. Die Fernwärme in Greifswald wird in sehr effizienten Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen erzeugt. Als Brennstoff kommt hauptsächlich Erdgas zum Einsatz. Die Sanierung des Netzes ist zu über 80% erfolgt. Große Verluste können somit weitestgehend ausgeschlossen werden. Erste Potenzialstudien zur Biogasnutzung wurden bereits erarbeitet (Krüger 2007) und zeigen zudem CO₂-Reduktionspotentiale auf, deren Erreichen bei dezentraler Wärmeversorgung weitaus langwieriger und auch kostenintensiver wäre.

Für das Fernwärmenetz von Greifswald kann ein Mindestanschlusswert von 14 MW/km² als Richtwert für eine untere Grenze, bis zu der ein wirtschaftlicher Betrieb gewährleistet ist, angesetzt werden (Stadtwerke Greifswald 2009). Dieser Wert wird in Greifswald auch nach der (fiktiven) Sanierung der Gebäude im Kerngebiet der Fernwärme nicht unterschritten.

Für die bisher verwendeten Wärmebedarfskarten bedeutet das, dass Rasterzellen mit einem Wert unter 252 MWh/a für eine Versorgung mit Fernwärme nicht in Betracht kommen. Abbildung 11 soll die räumliche Verteilung all jener Gebiete aufzeigen, die auch nach dem Ausschöpfen aller durch Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand möglichen Einsparpotentiale einen für Fernwärme ausreichenden Wärmebedarf aufweisen.

Unter dem Vorbehalt, dass es eine Vielzahl weiterer Faktoren gibt, die für die Beurteilung der Effizienz eines Versorgungsnetzes von Belang sind, lässt sich daraus dennoch schlussfolgern, dass es zahlreiche Gebiete geben wird, denen im Zuge des weiteren Netzbetriebes vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

8. FAZIT

Der hier vorgestellte Ansatz zur Ermittlung des Wärmebedarfs eines Siedlungsraumes

am Beispiel von Greifswald hat aufgezeigt, wie eine Vielzahl von energetisch relevanten Informationen auf Gebäudeebene akquiriert werden kann. Vor allem wurde deutlich, dass Datenpools existieren, die ohne großen personellen und auch finanziellen Aufwand ermittelt und zusammengeführt werden können. Für Energieversorgungsunternehmen sind derartige Untersuchungen sicher, bei entsprechender Datenlage, unproblematisch umzusetzen. Über die Grenzen des jeweiligen Versorgungsgebietes hinaus muss aber auch hier auf alternative Methoden der Datenerfassung zurückgegriffen werden. Der vorliegende Erfahrungsbericht

bezieht sich zudem eher auf den Handlungsspielraum der öffentlichen Verwaltung, vornehmlich im Bereich des Klimaschutzes. Hier bieten bereits vorhandene Geodaten meist sehr gute Möglichkeiten, um zukünftige Planungen nachvollziehbar zu machen und ggf. in entsprechende Konzepte zu integrieren, so wie es auch in der Universitäts- und Hansestadt Greifswald der Fall war.

Außerdem hat sich gezeigt, dass jeder der Akteure einen Mehrwert aus einem solchen Gebäudedatensatz ziehen kann, sei es zu Planungs-, Verwaltungs- oder zu Präsentationszwecken. Umso mehr rückt die Notwendigkeit der stetigen Laufendhaltung

der Daten in den Mittelpunkt des Interesses. Eine einheitliche Dateninfrastruktur mit zentraler Datenhaltung auf kommunaler Ebene ist hier wünschenswert.

Darüber hinaus gilt es, die Berechnungsmethoden weiter zu spezifizieren und das Ableiten zusätzlicher Informationen aus dem vorhandenen Datensatz weiter zu untersuchen. Als Beispiel sei hier die Ermittlung von gemeinsam genutzten Fassadenflächen aus dem dreidimensionalen Gebäudemodell (LOD1) genannt. Auch wird noch nach Wegen gesucht die Informationsdichte im Bereich der Nicht-Wohngebäude weiter zu erhöhen. ◀

Literatur

Bartelt, M. (2005): Energie- und Treibhausgasbilanz der Hansestadt Greifswald als Grundlage einer lokalen Klimaschutzkonzeption. Diplomarbeit, Universität Greifswald.

Biberacher, M. (2008): GIS-based modeling approach for energy systems. In: International Journal of Energy Sector Management, Issue 3, Vol. 2, S. 368-384.

Blesl, M.; Kempe, S.; Haigis, J. (2008): Digitale Wärmebedarfskarte - Ergebnis einer Pilotanwendung. Bremen.

Blesl, M. (2001): Räumlich hoch aufgelöste Modellierung leitungsgebundener Energieversorgungssysteme zur Deckung des Niedertemperaturbedarfs. Dissertation, Universität Stuttgart.

Botzenhart, F. (2007): Optimale Nutzung von Solarenergie unter thermodynamischen Aspekten und wirtschaftlichem Kalkül. Augsburg, IPP Report 16/17.

Brücher, W. (2009): Energiegeographie - Wechselwirkungen zwischen Ressourcen Raum und Politik. Borntraeger, Bd. 1.

Bülow, B. (2010): Schriftliche Auskunft. Ministerium für Arbeit, Wirtschaft und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern.

Busch, M. (2009): Analyse des Wärmebe-

darfs der Universitäts- und Hansestadt Greifswald mit Hilfe Geographischer Informationssysteme. Diplomarbeit, Universität Greifswald (online: <http://edoc.mpg.de/display.epl?mode=doc&id=435427&col=33&grp=1311>, Zugriff 4/2010).

Fischedick, M. (Hrsg.) (2006): Anforderungen an Nah- und Fernwärmenetze sowie Strategien für Marktakteure in Hinblick auf die Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung bis zum Jahr 2020. (online: http://www.dlr.de/tt/PortalData/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/UBA_Nahwaerme_EB_111206.pdf, Zugriff 4/2010).

Institut für Wohnen und Umwelt (2003): Deutsche Gebäudetypologie, Systematik und Datensätze. Verlag Wohnen und Umwelt.

Institut für Wohnen und Umwelt (2004): Passivhaus Projektierungspaket. Verlag Wohnen und Umwelt.

IWU Institut für Wohnen und Umwelt (2008): Klimadaten deutscher Stationen.

Krüger, M. (2007): Konzept zur Nutzung von Biogas zur Wärme- und Elektroenergieversorgung der Hansestadt Greifswald. Diplomarbeit, Hochschule Wismar.

Loga, T.; Großklos, M.; Knissel, J. (2003): Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten, Konsequenzen für die verbrauchabhängige Abrechnung. Institut für Wohn-

und Umwelt (online: http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/neh_ph/IWU_Viterra__Nutzerverhalten_Heizkostenabrechnung.pdf, Zugriff 4/2010).

Ministerium für Arbeit, Wirtschaft und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern (2007): Energie- und CO₂-Bericht 2007. Regierung M-V.

Roth, U. (1980): Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen. Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau.

Seelig, S. (2007): Stadtbau und Aufwertung - Fallbeispiel: Greifswald. ISR Graue Reihe (online: http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2007/1593/pdf/Graue_eihe_Heft_4_Seelig.pdf, Zugriff 4/2010).

Sester, M.; Neidhart, H. (2008): Reconstruction of Building Ground Plans from Laser Scanner Data. 11th AGILE International Conference on Geographic Information Science 2008, University of Girona, Spain (online: http://plone.itc.nl/agile_old/Conference/2008-Girona/PDF/114_DOC.pdf, Zugriff 4/2010).

Stadwerke Greifswald (2009): Informationen zum Netzbetrieb [Interview].

Zschirpe, A. (2003): Nachhaltige Energieversorgung der Hansestadt Greifswald - Analyse der zukünftigen Fernwärmeversorgung im Ostseeviertel. Diplomarbeit, Fachhochschule Stralsund