IPP-Report

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik

Michael Busch

Analyse des Wärmebedarfs der Universitäts- und Hansestadt Greifswald mit Hilfe Geographischer Informationssysteme

Analysing the heat requirement for the city of Greifswald using geographical information systems

IPP 16/19
September, 2009

Universität Greifswald
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
- Geographisches Institut –

ANALYSE DES WÄRMEBEDARFS DER UNIVERSITÄTS- UND HANSESTADT GREIFSWALD MIT HILFE GEOGRAPHISCHER INFORMATIONSSYSTEME

Diplomarbeit
zur
Erlangung des akademischen Grades
Diplom - Geograph
vorgelegt am
Lehrstuhl für Kartographie und GIS
von

Michael Busch

Erstgutachter: Prof. Dr. Reinhard Zölitz
Zweitgutachter: Dr. Thomas Hamacher

Greifswald, den 02. März 2009

„Wenn sich meine Informationen ändern,
ändere ich meine Meinung.“

(John Maynard Keynes)

Verteidigung der Diplomarbeit: April 2009

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis IV
Abbildungsverzeichnis VII
Tabellenverzeichnis IX

1. Einleitung 1
    1.1 Vorbetrachtungen 1
    1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung 4
    1.3 Struktur der Arbeit 5

2. Wärmemarkt 7
    2.1 Erzeugung 7
        2.1.1 Energiequellen 7
        2.1.2 Erzeugungsanlagen 7
    2.2 Verteilung 10
        2.2.1 Netzaufbau 10
        2.2.2 Hausstationen 12
    2.3 Rahmenbedingungen 13
        2.3.1 Wirtschaftlicher Betrieb von Versorgungsnetzen 13
        2.3.2 CO_2 - Minderungspflichten 14

3. Geographische Informationssysteme 17
    3.1 Grundlagen 17
    3.2 Datenhaltung 18
    3.3 Datenerfassung 20
    3.4 Interoperabilität 21
    3.5 Software 23

4. Greifswald als Modellregion 26
    4.1 Rahmendaten 26
        4.1.1 Lage 26
        4.1.2 Klima 27
        4.1.3 Wirtschaft 27
        4.1.4 Bevölkerung 28
        4.1.5 Bau- und Wohnungswesen 29

4.2 Wärmeversorgung 29
4.2.1 Das Heizkraftwerk "Helmshäger Berg“ 30
4.2.2 BHKW – „Siemensallee“ 31
4.2.3 Greifswalder „Thermo - Insel“ 31
4.2.4 BHKW "Altstadt" 31

5. Datenbasis und Methodik 32
5.1 Ermittlung des Wärmebedarfs 32
5.1.1 Ermittlung des Wärmebedarfs von Gebäuden 32
5.1.2 Ermittlung des Wärmebedarf großer Gebäudebestände 35
5.1.3 Anwendung einer Gebäudetypologie 36
5.1.4 Vereinfachtes Berechnungsverfahren 38
5.1.5 Sonstige Möglichkeiten insbes. für Nichtwohngebäude 39
5.2 Datenbasis 40
5.2.1 Anschlussdaten der Energieversorgungsunternehmen 40
5.2.2 Daten der Landesvermessungsverwaltung 41
5.2.3 Hauskoordinaten 42
5.2.4 Daten der Stadtverwaltung 42
5.2.5 Daten der Kartographie 44
5.2.6 Daten der Wohnungsbauunternehmen 45
5.2.7 Daten der BBL 45
5.2.8 Primärerhebung 45
5.2.9 Daten der IHK 46
5.2.10 Schornsteinfegerdaten 46
5.2.11 Sonstige Datenquellen 47
5.3 Modellierung des Gebäudebestandes 48
5.3.1 Datenverarbeitung 49
5.3.2 Wärmebedarfswerte 53
5.4 CO_2 – Emissionen 53
5.5 Fehlerbetrachtung 54

6. Analyse und Ergebnisdarstellung 57
6.1 Einflussfaktoren 57
6.2 Visualisierung 57
6.3 Die Entwicklung des Wärmebedarfs bis Heute 59
6.3.1 Wärmebedarf um 1919 60
6.3.2 Wärmebedarf um 1944 61
6.3.3 Wärmebedarf um 1960 62
6.3.4 Wärmebedarf um 1970 63

6.3.5 Wärmebedarf um 1980 64
6.3.6 Wärmebedarf um 1990 65
6.3.7 Wärmebedarf 2009 66
6.3.8 Zusammenfassung 67
6.4 Die zukünftige Entwicklung des Wärmebedarfs 69
6.4.1 Szenario 1 69
6.4.2 Szenario 2 71
6.4.3 Szenario 3 72
6.4.4 Veränderungen im Bestand 73
6.4.5 Eine Prognose für das Jahr 2050 75

7. Diskussion 78
7.1 Klimaschutzziele 78
7.2 Zukunft der Fernwärme 79
7.3 Übertragbarkeit der Methode 80

8. Zusammenfassung 83

Quellenverzeichnis 84

Erläuterungen zur DVD 89

Eidesstattliche Erklärung 90

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1[Verteilung des Energieverbrauchs] 3
Abbildung 2[CO_2 – Minderungsranking in €/t CO_2] 15
Abbildung 3[Mehr- und Minderbedarf verschiedener Heizungsarten im Vergleich] 16
Abbildung 4[Darstellungsebenen] 18
Abbildung 5[Vektor- und Rasterdaten] 19
Abbildung 6[Übersichtskarte] 26
Abbildung 7[Gewerbetreibende in Greifswald] 27
Abbildung 8[Bevölkerung nach Stadtteilen] 28
Abbildung 9[Relativer Bevölkerungssaldo nach Stadtteilen 2005] 28
Abbildung 10[Anzahl der Wohngebäude 1994 – 2007] 29
Abbildung 11[Anteil der Heizungsarten in Greifswald] 29
Abbildung 12[Versorgungsnetze] 30
Abbildung 13[Bearbeitung von historischem Kartenmaterial 1 Stadtkarte um 1966] 51
Abbildung 14[Bearbeitung von historischem Kartenmaterial 2 Stadtkarte um 1966] 52
Abbildung 15[Bearbeitung von historischem Kartenmaterial 3 Stadtkarte um 1966] 52
Abbildung 16[Vergleich mit realen Verbrauchswerten] 56
Abbildung 17[Berechnete Werte der Rasterzellen] 58
Abbildung 18[Wärmebedarf um 1919 in MWh/a] 60
Abbildung 19[Wärmebedarfsanteile nach Gebäudetypen 1919] 60
Abbildung 20[Wärmebedarf um 1944 in MWh/a] 61
Abbildung 21[Wärmebedarfsanteile nach Gebäudetypen 1944] 61
Abbildung 22[Wärmebedarf um 1960 in MWh/a] 62
Abbildung 23[Wärmebedarfsanteile nach Gebäudetypen 1960] 62
Abbildung 24[Wärmebedarf um 1970 in MWh/a] 63
Abbildung 25[Wärmebedarfsanteile nach Gebäudetypen 1970] 63
Abbildung 26[Wärmebedarf um 1980 in MWh/a] 64
Abbildung 27[Wärmebedarfsanteile nach Gebäudetypen 1980] 64
Abbildung 28[Wärmebedarf um 1990 in MWh/a] 65
Abbildung 29Wärmebedarfsanteile nach Gebäudetypen 1990] 65
Abbildung 30[Wärmebedarf um 2009 in MWh/a] 66
Abbildung 31[Wärmebedarfsanteile nach Gebäudetypen 2009] 66
Abbildung 32[Entwicklung des Wärmebedarfs 1919 - 2009] 67
Abbildung 33[Entwicklung der Bevölkerungszahlen 1919 - 2009] 67
Abbildung 34[Durchschnittlicher Wärmebedarf nach Baualtersklassen] 68
Abbildung 35[Bedarf an Warmwasser auf Grundlage der Bevölkerungsdichte 2008] 68
Abbildung 36[Wärmebedarf Szenario 1 in MWh/a] 69

Abbildung 37[Räumliche Veränderungen des Wärmebedarfs 2009 zu Szenario 1] 70
Abbildung 38[Wärmebedarf Szenario 2 in MWh/a] 71
Abbildung 39[Räumliche Veränderungen des Wärmebedarfs Szenario 1 zu Szenario 2] 72
Abbildung 40[Wärmebedarf Szenario 3 in MWh/a] 72
Abbildung 41[Räumliche Veränderungen des Wärmebedarfs Szenario 2 zu Szenario 3] 73
Abbildung 42[Wohnbauflächen aus F- und B-Plänen] 74
Abbildung 43[Durchschnittlicher Wärmebedarf pro Gebäude in KWh/m²a] 78
Abbildung 44[Einsparpotential an Nutzenergie für Wärme in GWh/a] 78
Abbildung 45[Identifikation kritischer Bereiche] 80

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 [Gradtagszahl - Greifswald] 27
Tabelle 2 [Warmwasserbedarf für Gebäude] 39
Tabelle 3 [Struktur der Gebäudedatenbank] 49
Tabelle 4 [Vollständigkeit der Daten] 54
Tabelle 5 [Geocoding Fehlerbetrachtung] 55

1. Einleitung

1.1 Vorbetrachtungen

Im Jahr 2005 haben sich fast alle industrialisierten Länder im Rahmen des „Kyoto - Protokoll's" verbindlich dazu verpflichtet, den Ausstoß von klimaschädlichen Treibhausgasen zu verringern. Während des Klimagipfels der G8-Staaten im Juni 2007 in Heiligendamm konnten sich die Staats- und Regierungschefs auf eine gemeinsame Linie beim Klimaschutz verständigen. Sie einigten sich, die Halbierung des CO_2 - Ausstoßes bis zum Jahre 2050 „ernsthaft in Erwägung zu ziehen" und gleichzeitig weitere Länder zum Mitmachen zu bewegen.
Ende August 2007 hat sich die Bundesregierung in Meseberg auf gemeinsame Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaprogramm (IEKP) geeinigt. Ziel ist es, unter anderem, den Anteil von Strom aus der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bis 2020 auf 25% und den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromproduktion auf 25 – 30% zu erhöhen.
Hierzu sollen sowohl das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz wie auch das Erneuerbare-Energien-Gesetz kurzfristig novelliert werden. Zur Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien am Wärmeverbrauch auf 14% im Jahr 2020 soll ein Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz beschlossen werden. Im Rahmen dieser Effizienzstrategie will die Bundesregierung die energetischen Anforderungen der Energieeinsparverordnung um durchschnittlich 30% verschärfen und stellt gleichzeitig im Rahmen des CO_2-Gebäudesanierungsprogramms für die energetische Sanierung von Wohngebäuden für 2008 und 2009 jährlich 700 Mio. € zur Verfügung.
Damit Braun- und Steinkohlekraftwerke auch mit den verschärften Reduktionsvorgaben im Rahmen des Emissionshandels mittel- bis langfristig eine Zukunft haben, ist es nach Ansicht der Bundesregierung notwendig, zukunftsfähige Kraftwerke mit hohem Wirkungsgrad und CCS – Technologie[1] zu entwickeln.
Das Bundeswirtschaftsministerium hat, unter anderem auf Grundlage obiger Eckpunkte, im November 2007 einen nationalen Energieeffizienzplan vorgelegt, in dem Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung sowohl bei Privathaushalten und in der Wirtschaft, als auch im öffentlichen Sektor aufgezeigt werden. Anfang Dezember 2007 hat die Bundesregierung ihr Integriertes Klimaschutz- und Energieprogramm vorgelegt, dass zur Umsetzung der oben genannten Ziele ein Gesetzespaket vorsieht.
Ein neues globales Klimaabkommen soll 2009 auf der Klimakonferenz in Kopenhagen beschlossen werden um das 2012 auslaufende Kyoto - Protokoll abzulösen.[2]
Sowohl auf internationaler als auch auf nationaler Ebene findet eine Vielzahl von Bemühungen statt, die letztendlich nur dann Wirkung zeigen können, wenn sie von den verschiedenen Akteuren auf regionaler Ebene auch in die Praxis umgesetzt werden können.

---

[1] CCS = Carbon Capture and Storage (Abtrennung von Kohlendioxid aus Kraftwerken mit fossilen Brennstoffe oder Industrieanlagen und dessen langfristig sichere Lagerung in geologischen Formationen)
[2] Vgl. Energie- und CO_2 Bericht M-V 2007 S. 5 ff.

Folglich sind neben Wirtschaft, Staat und Bevölkerung insbesondere die Kommunen in die Verantwortung zu nehmen. Denn nur sie gestalten die lokale Energie- und Verkehrspolitik, beschließen kommunale Umweltvorschriften und spielen als bürgernahe Politik- und Verwaltungsebene eine herausragende Rolle.
Abseits langwieriger Verhandlungen haben viele Städte und Gemeinden die Tendenzen frühzeitig erkannt und engagieren sich daher schon seit Jahren für den Klimaschutz. So auch die Universitäts- und Hansestadt Greifswald. Die Stadt hat sich eine Klimaschutzkonzeption zur Aufgabe gemacht, die auf einer fundierten Basis von folgenden 10 Grundpfeilern stehen soll.

Energieeffizienz

Der Oberbürgermeister prüft und schlägt Maßnahmen zur effizienten Energienutzung an allen kommunalen Gebäuden vor. Dazu gehören insbesondere Maßnahmen zur Verbesserung der Wärmedämmung, der Einsatz energiesparender technischer Geräte und Leuchtmittel sowie die Erarbeitung einer Fernwärmesatzung.

Solaranlagen

Der Oberbürgermeister prüft, in welchem Umfang unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten auf kommunalen Gebäuden und Gebäuden kommunaler Unternehmen Solaranlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung errichtet werden können. Dies betrifft auch Investitionen Dritter. Eine enge Zusammenarbeit mit den kommunalen Unternehmen, insbesondere den Stadtwerken ist anzustreben.

Investitionen im Baubereich

Bei allen Neubau- und Sanierungsvorhaben haben die Energieeffizienz und die Vermeidung unnötigen Energieverbrauchs unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit oberste Priorität. Die Energiebilanz und die Bewirtschaftungskosten sind bei der Ausschreibung und der Vergabe zu berücksichtigen.

Kommunale Fahrzeuge

Bei der Beschaffung notwendiger kommunaler Fahrzeuge hat unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit ein möglichst geringer Treibstoffverbrauch oberste Priorität, um die CO_2 - Emissionen soweit wie möglich zu reduzieren. Bei Ausschreibungen sind die Lebenszykluskosten zu berücksichtigen.

Kommunale Unternehmen

Alle kommunalen Unternehmen werden gebeten, in ihrem Verantwortungsbereich ebenfalls die vorstehenden Maßnahmen zu prüfen und fortlaufend (jährlich) über das Ergebnis der Prüfung und die Umsetzung von Maßnahmen in Form eines Umweltberichtes zu informieren.

Radverkehr

Der Ausbau und die Instandsetzung des Radwegenetzes sind zu fördern, um eine umweltfreundliche Verkehrsalternative zur Pkw-Nutzung zu bieten und den CO_2 - Ausstoß zu reduzieren. Ein Maßnahmenplan ist vorzulegen.

Stärkung des Umweltbewusstseins

Zur Verbesserung des Umweltbewusstseins wird für alle Schulen in Greifswald ein Umweltwettbewerb angeregt. Ziel des Umweltwettbewerbes ist die Einsparung von

Elektroenergie, Wasser oder Heizaufwand. Den Schulen werden 20 % der erzielten Einsparungen in Form von Zuschüssen für die Schulfreizeitarbeit zur Verfügung gestellt.

Verkehr

Der ÖPNV ist gegenüber dem motorisierten Individualverkehr zu fördern. Dazu werden die Bürgerinnen und Bürger der Universitäts- und Hansestadt Greifswald aufgerufen, insbesondere an jedem ersten Sonntag im Monat (Umwelttag) soweit möglich auf die Benutzung ihrer PKW zu verzichten, um einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Dieser Tag sollte durch Stadt und Vereine in Form von Veranstaltungen, Events und durch einen kostenlosen Busverkehr flankiert werden. Weitere denkbare Maßnahmen wären ein Fischerfestticket oder die Einrichtung von kostengünstigen Schulbussen.

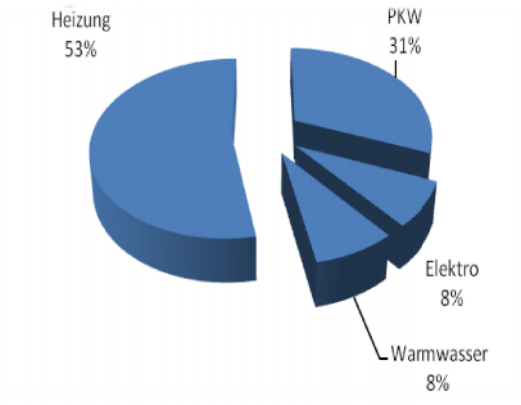
Zusammenarbeit mit der Universität und den Partnerstädten

Dem Oberbürgermeister wird empfohlen, mit den Partnerstädten der Universitäts- und Hansestadt Greifswald (Osnabrück, Lund, Golnow, Newport News, Hamar und Kotka) Informationen über Aktivitäten zum Klimaschutz auszutauschen, um wechselseitig Anregungen für weitere Maßnahmen des Klimaschutzes zu erhalten. Weiterhin wird dem Oberbürgermeister empfohlen, in Gesprächen mit den Verantwortlichen der Ernst-Moritz-Arndt- Universität diese im Rahmen der Möglichkeiten des Kooperationsvertrages mit in den städtischen Klimaschutzprozess einzubinden.

Umweltstadt Greifswald

Greifswald ist Hansestadt, Universitätsstadt, Kulturstadt, Sportstadt, Technologiestadt und sollte sich auch als Umweltstadt profilieren und eine positive Vorreiterrolle bei der unabdingbaren Energiewende übernehmen. Dazu wird ein Klimaschutzbeauftragter als Ansprechpartner und Organisator in Sachen Klimaschutz benannt. Die Zusammenarbeit der Stadt mit dem Max-Planck-Institut zum kommunalen Klimaschutz ist zu intensivieren und zu verstetigen. Jährlich ist ein Umweltbericht vorzulegen.[3]

Energieeffizienz und Investitionen im Baubereich spielen eine wesentliche Rolle im Klimaschutz. Abbildung 1 zeigt die Aufteilung des gesamten Endenergieverbrauchs der Hansestadt und macht deutlich, dass mit Abstand der Großteil für Heizwärme und Warmwasser benötigt wird.



1[Verteilung des Energieverbrauchs; eigene Darstellung; Quelle: Stadtwerke Greifswald GmbH]

Davon ausgehend, dass der Energiepfad mit dem größten Verbrauch auch die höchsten Einsparpotentiale in sich birgt, soll diesem Bereich im Rahmen der oben bereits angesprochenen Klimaschutzziele vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt werden. Es ist nicht schwer zu erahnen, dass der größte Teil der CO_2 - Emissionen demnach ebenfalls aus der Erzeugung von Raumwärme

[3] 10-Punkte-Programm zum Kommunalen Klimaschutz von Greifswald [www.greifswald.de]

stammt.[4]
Für die Reduktion der Emissionen in diesem Bereich ist die thermische Isolierung der Gebäude als mengenmäßig wohl bedeutendste Maßnahme anzusehen[5]. Ein Ziel ist es folglich im Neubau hohe wärmetechnische Standards zu erreichen.
Von weitaus größerer Bedeutung ist jedoch die Sanierung bestehender Gebäude, besonders derjenigen, die schlecht isoliert sind. Es ist davon auszugehen, dass etwa die Hälfte aller Anlagen und Gebäude im Wohn- und Nichtwohnbau der Bundesrepublik Deutschland für eine energetische Modernisierung in Betracht kommen[6]. Diese gilt es für das Stadtgebiet von Greifswald zu identifizieren und das mögliche Einsparpotential zu erfassen.
Die im Rahmen der geschilderten Klimaschutzziele geplanten Energieeinsparkonzepte werden gravierende Auswirkungen auf den Energiebedarf der Gebäude für die kommenden Jahrzehnte haben. Wie noch zu sehen sein wird, sank der Wärmebedarf schon in den letzten Jahren nachweislich und wird auch in Zukunft weiter zurück gehen. Es ist daher fahrlässig großflächige Energieeinsparmaßnahmen zu planen ohne die Konsequenzen auf Seiten der Energieerzeugung mit zu betrachten. Bestehende regionale Versorgungskonzepte sind meist den örtlichen Gegebenheiten angepasst und weitaus komplexer als den meisten bewusst ist. Das gilt insbesondere für leitungsgebundene Versorgungssysteme. An dieser Stelle müssen kommunale Klimaschutzbelange und Interessen der Energieversorgungsunternehmen Hand in Hand gehen!

1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit soll eine Abschätzung der Raumwärmenachfrage und deren weiterer Entwicklung, bezogen auf die Stadt Greifswald, produzieren. Die Besonderheit liegt in dem geographischen Aspekt dieser Untersuchung. Was Abbildung 1 im Kreisdiagramm schemenhaft darstellt, soll in die Fläche projiziert und anhand kartographischer Darstellungen erläutert und analysiert werden.
Diese Fragestellung ist aus zweierlei Sicht interessant. Zum einen gehen mit dem Verbrauch von Energie Emissionen einher, die so ebenfalls auf ihre räumliche Verteilung hin untersucht werden können. Zum anderen existiert, wo immer Energie verbraucht wird, auch eine Infrastruktur, die der Energiebereitstellung bzw. -Versorgung dient. Zur Planung des Ausbaus dieser Infrastruktur, insbesondere der leitungsgebundenen Wärmeversorgung, zur Nutzung neuer Umwandlungstechniken und zur Optimierung der Energieerzeugung und Verteilung, kann eine Karte des räumlich verteilten Energiebedarfs und damit einhergehende GIS-gestützte Analysen einen wesentlichen Beitrag zur Planungssicherheit leisten.

[4] Siehe hierzu: Energie- und Treibhausgasbilanz der Stadt Greifswald (Martin Bartelt ,2005)
[5] Vgl. Ifeu – CO_2 - Minderungskonzept S. 8
[6] Vgl. Ernst, AGFW Leitartikel Heft 5 (2006)

Daraus leitet sich folgende Zielsetzung ab:

Aufbau einer Datenbasis, die es erlaubt die Wärmenachfrage in Greifswald räumlich abzubilden.

Untersuchung verschiedener Datengrundlagen sowie verschiedener Methoden der Darstellung und Analyse.

Vor diesem Hintergrund sollen folgende Fragen beantwortet werden:

Wie ist die Raumwärmenachfrage in der Universitäts- und Hansestadt Greifswald räumlich verteilt?

Lassen sich Veränderungen der Raumwärmenachfrage kartographisch darstellen und welche weiteren Möglichkeiten ergeben sich dadurch?

Welches Einsparpotential an Energie und den damit einhergehenden Emissionen birgt der derzeitige Gebäudebestand der Stadt Greifswald?

Eignet sich die Fernwärme dazu die Stadt Greifswald, jetzt und in der Zukunft, sowohl ökologisch als auch ökonomisch mit Wärme zu versorgen?

1.3 Struktur der Arbeit

Ausgangspunkt der Analyse ist der Gebäudebestand und die tatsächliche Nachfrage nach Fernwärme und Gas. Im Idealfall stehen beide Informationen mit hinreichender Genauigkeit zur Verfügung. Was in der Praxis nur selten erreicht wird, weil die Energieversorgungsunternehmen nicht bereit / in der Lage sind, die entsprechenden Daten in hinreichend detaillierter Form zur Verfügung zu stellen. Die vorliegende Arbeit nimmt diesen Sachverhalt als Voraussetzung und wird deswegen die Analyse auf dem aktuellen Gebäudebestand aufsetzen lassen. Anstatt die realen Verbrauchswerte zu ermitteln und zu analysieren, soll versucht werden, den Wärmebedarf der Stadt Greifswald mit Hilfe standardisierter Methoden abzuschätzen und dessen räumliche Verteilung darzustellen. Es soll eine Methode entwickelt werden, die es ermöglicht den Wärmebedarf einer beliebigen Region mit relativ geringem Aufwand und so genau wie möglich in Erfahrung zu bringen und zu untersuchen.
Die ersten Kapitel befassen sich zunächst mit den theoretischen Hintergründen der Thematik. Kapitel 2 gibt eine grobe Übersicht der Erzeugung und Verteilung von Wärme unter den aktuellen, rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Anschließend wird sozusagen das in der Arbeit verwendete „Werkzeug“, die Geographischen Informationssysteme, von den Grundlagen über die Datenerfassung und –haltung bis hin zur praktischen Anwendung in den unterschiedlichsten Disziplinen erläutert. Kapitel 4 stellt den

Bezug mit der Stadt Greifswald her und beschreibt die Modellregion in seinen wesentlichen, für die Untersuchung des Wärmebedarfs relevanten, Eigenschaften. Als Nächstes werden in Kapitel 5 die einzelnen Schritte zur Schaffung der erforderlichen Datenbasis und deren weiterer Verarbeitung detailliert beschrieben um zur eigentlichen Analyse und Ergebnisdarstellung, sowohl des historischen, des aktuellen als auch des zukünftigen Zustandes in Kapitel 6 hin zu führen.

Untersuchungen dieser Art wurden zwar in der Vergangenheit bereits in ähnlicher Form durchgeführt, hier sei auf die Arbeiten von Martin Bartelt [Energie- und Treibhausgasbilanz der Hansestadt Greifswald (2005)], Alexander Zschirpe [Nachhaltige Energieversorgung der Hansestadt Greifswald – Analyse der zukünftigen Fernwärmeversorgung des Ostseeviertels (2003)] und Ronny Blumenthal [Ermittlung der aktuellen und zukünftigen Wärmenachfrage im Rahmen des Klimaschutzkonzeptes für die Hansestadt Greifswald (2005)] hingewiesen, es wurde auf dieser Maßstabsebene jedoch weder die räumliche Verteilung als solche noch der Einsatz Geographischer Informationssysteme bei derartigen Fragestellungen eingehend untersucht.

Den Abschluss der Arbeit bildet eine ausführliche Diskussion über die verwendete Methode an sich sowie den Nutzen der Ergebnisse und die weiteren Möglichkeiten zur Verbesserung und Weiterführung der Datenbasis.

Eine beigefügte DVD soll anhand von umfangreichem Datenmaterial und zusätzlicher Software die Methodik nachvollziehbar machen, aber auch den ungeübten Nutzer in die Betrachtung und Nutzung von Geodaten einführen und ihn, wenn möglich, dafür begeistern.

2. Wärmemarkt

Das folgende Kapitel befasst sich mit den Hintergründen des Energiepfades Wärme (Raumwärme und Warmwasser). Es soll der notwendige Rahmen geschaffen werden, um die technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Hintergründe der gesamten Prozesskette der Wärmeversorgung zu verstehen. So wird eine ganzheitliche Sichtweise auf die vorliegende Thematik generiert.
Es wird klar strukturiert in Erzeugung, Verteilung und Bedarf. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Betrachtung der Fernwärme, da dieser, wie noch zu sehen sein wird, in Greifswald eine besondere Bedeutung zukommt. Durch die Behandlung der Rahmenbedingungen wird die gedankliche Einordnung der Arbeitsergebnisse veranschaulicht.

2.1 Erzeugung

Bei der Wärmeerzeugung geht es darum umgewandelte Primärenergie aus bestimmten Quellen so gut wie möglich zu nutzen. Dabei ist es egal ob die Wärme als Haupt- oder Nebenprodukt anfällt.

2.1.1 Energiequellen

Auf der Erde treten Energiequellen in ganz verschiedenen Formen als Primärenergie auf. Es kann zum Beispiel nach der Energieart, der Art des Vorkommens, nach der Verfügbarkeit, nach der Konzentration, nach der Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung und nach der Verwertungsmöglichkeit unterschieden werden. Zu nennen sind insbesondere: Fossile Brennstoffe, wie Braunkohle, Steinkohle, Torf, in flüssiger Form als Erdöl und gasförmig als Erdgas und seit einiger Zeit auch regenerative Energien. Diese Energieformen gilt es, unter Einsatz eines möglichst großen Wirkungsgrades, umzuwandeln und zur Wärmeerzeugung zu nutzen.

2.1.2 Erzeugungsanlagen

Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten der Wärmeerzeugung die sich je nach Wirkungsgrad und Verwendungszweck unterscheiden. In dem folgenden Abschnitt sollen die gängigsten Methoden vorgestellt werden. Dabei werden sowohl der derzeitige Stand der Technik als auch althergebrachte Methoden betrachtet.
Greifswald besitzt ein sehr hohes Maß an leitungsgebundener Versorgung[7]. Dieser Umstand soll bei dieser Aufzählung[8] bereits Beachtung finden.

[7] Vgl. Kapitel 4.2
[8] DITTMANN/ZSCHERNIG (Energiewirtschaft) S. 257 ff.

Feuerungen

Feuerungen sind Einrichtungen in denen, die in den zuvor erwähnten Brennstoffen chemisch gebundene Energie durch das Prinzip der Verbrennung freigesetzt wird. In der Regel sind diese in Kesseln zur Wassererwärmung oder Dampferzeugung integriert. Abhängig vom Verwendungszweck der freigesetzten Energie besteht das Ziel darin, einen möglichst großen Heizwert[9] auf einem bestimmten Temperaturniveau zu erzielen. Energieverluste können vermindert werden indem unverbrannter Brennstoff, unvollkommene Verbrennung an sich, Wärmeverluste durch Strahlung, Leitung und Konvektion sowie Abgasverluste möglichst gering gehalten werden. Bedingt durch die unterschiedlichen Brennstoffe, ihre Zusammensetzung und Eigenschaften sowie die Art, Größe und Betriebsweise der mit Feuerungen ausgestatteten Anlagen wurden die unterschiedlichsten Varianten entwickelt.

Warmwasser-, Heißwasser-, Dampferzeuger

Als zusammenfassende Bezeichnung für die Warmwasser-, Heißwasser- und Dampferzeuger wird im allgemeinen Sprachgebrauch der Begriff Kessel verwendet. Sie dienen in der Regel der Erwärmung oder Verdampfung eines flüssigen Mediums. Zumeist handelt es sich dabei um das Medium Wasser. Die Anlage selbst besteht aus einem geschlossenem Gefäß oder Rohrsystem das durch eine Feuerungsanlage erhitzt wird. Wird der Kessel zur Erzeugung von Dampf genutzt, dann spricht man von einem Dampferzeuger. Der Nutzen eines Kessels ist im Gegensatz zur Feuerung nicht der den Energiegehalt des Verbrennungsgases an sich, sondern die Energieerhöhung eines oder mehrere Arbeitsstoffe durch die Verbrennungsgase zu nutzen. So kann Wasser zum Beispiel erwärmt, verdampft oder überhitzt werden. Die Enthalpie[10] der abgeführten Verbrennungsgase wird als Abgasverlust bezeichnet. Dieser nimmt zwar mit sinkender Abgastemperatur ab, kann aber nur bis zu einem bestimmten Punkt reduziert werden da in der Regel kein entsprechender Niedertemperaturbedarf besteht, Säuretaupunktunterschreitung[11] vermieden und der Schornsteinzug gewährleistet werden muss. Eine Besonderheit stellt der Abhitzekessel dar. Hier wird eben diese Enthalpie der Verbrennungsgase, wie sie große technologische Anlagen erzeugen, zur Wassererwärmung genutzt. So kann die Gesamtenergieeffizienz einer Anlage wesentlich gesteigert werden.

Kernreaktoren

Ein Kernreaktor ist eine Anlage, in der eine Kernreaktion kontinuierlich abläuft[12]. Hier wird Wärme aus dem radioaktiven Zerfall des Uranisotops 235 gewonnen. Eine weitere Art von Kernreaktor ist der noch im Entwicklungsstadium befindliche Kernfusionsreaktor, in dem Energie aus der Verschmelzung von Wasserstoffkernen zu Heliumkernen gewonnen wird.

---

[9] Maß für die spezifisch je Bemessungseinheit nutzbare Energie
[10] Maß für die Energie eines thermodynamischen Systems
[11] Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes
[12] www.wikipedia.de (eingesehen am 25.02.09)

Wärmekraftwerke

Gegenwärtig wird elektrische Energie hauptsächlich in Wärmekraftwerken erzeugt. Hier erfolgt die Nutzung thermischer Energie über thermodynamische Kreisprozesse wobei thermische in mechanische Energie umgewandelt wird. Es können dabei mehrere Typen unterschieden werden. Dazu zählen Dampfkraftwerke, Gasturbinenkraftwerke, Kombikraftwerke mit Gas- und Dampfturbine sowie Blockheizkraftwerke. Es wird entweder Wasser und Wasserdampf oder Luft und Verbrennungsgas verwendet. Die bei der Elektroenergieerzeugung in Wärmekraftwerken notwendige Abführung von Wärme aus dem Kreisprozess eröffnet die Möglichkeit neben der elektrischen Energie auch Heizwärme zur Verfügung zu stellen. Diese Verfahrensweise wird als Kraft – Wärme – Kopplung[13] bezeichnet und führt zu einer wesentlich besseren Ausnutzung der eingesetzten Brennstoffenergie wodurch der Wirkungsgrad steigt.

Wärmeübertragung und Transformation

Wärmübertragung und Transformation als Solche finden als Prozess in allen erwähnten und noch zu erwähnenden Anlagen statt. Deshalb soll an dieser Stelle noch einmal genauer auf die Wärmetauscher, Wärmepumpen und Kältemaschinen als eigenständige Gruppe von Wärmegewinnungsanlagen eingegangen werden, da sie in viele bereits vorhandene Wärmesysteme unter Umständen zusätzlich integriert werden können um so den Wirkungsgrad zu steigern. Die Funktion eines Wärmeübertragers besteht darin Wärme aus primärenergetischen Prozessen (Brennkammern etc.) zu entziehen und an Nutz-/Heizkreisläufe zu übertragen.[14] Sie können sowohl in gasförmigen als auch flüssigen Medien angewendet werden und spielen eine wichtige Rolle innerhalb von thermodynamischen Kreisprozessen zum Beispiel als dampfbeheizte Speisewasservorwärmer, interne Wärmeübertrager in Belüftungsanlagen und Abwasserkanälen oder als so genannte Temperaturwechsler in Absorbtionskälteanlagen.

Anlagen zur Nutzung regenerativer Energien

Regenerative Energien gewinnen auf dem Wärmemarkt zunehmend an Bedeutung. Dementsprechend vielfältig sind die bisher entwickelten Methoden zur Nutzung eben dieser. Für die aktive Nutzung der Sonnenenergie sind thermische Solaranlagen zu nennen. Hierbei wird sich durch verschiedenste Arten von Kollektoren der Umstand zu Nutze gemacht, dass Solarstrahlung beim auftreffen auf die Erdoberfläche in thermische Energie umgewandelt wird. Diese kann dann in thermodynamischen Kreisprozessen oder in sekundären Heizkreisläufen verwendet werden. Auf einem ähnlichen Prinzip beruhen Photovoltaikanlagen, auch Solarzellen genannt. Hier wird beim Einfall der ionisierten Sonnenstrahlung Gleichspannung in Folge von Absorption erzeugt. Diese elektrische Energie kann zur Wärmegewinnung genutzt werden.

Wasserkraftwerke und Windkraftanlagen machen sich die potentielle Energie des Wassers bzw. des Windes zu Nutze. Diese wird in thermodynamischen Kreisprozessen meist in

[13] Kurz: KWK

[14] DITTMANN/ZSCHERNIG – Energiewirtschaft S. 312

elektrische Energie umgewandelt. Problematisch gestalten sich die, in den bisher genannten Methoden zur Wärme-/Energiegewinnung auftretenden natürlichen Schwankungen des jeweiligen Mediums. So kann Solare Energie nur genutzt werden wenn die Sonne scheint. Winde treffen nie mit langfristig konstanter Stärke auf ein Windrad und auch das Wasser unterliegt jahreszeitlichen Schwankungen. Diese machen sich vor allem bei Laufwasser- und Gezeitenkraftwerken bemerkbar.
Die neuesten Entwicklungen sind derzeit im Bereich der Geothermie und der Biomassenutzung zu verzeichnen. Bei der Geothermie werden unterirdische Wasser- oder Dampfreservoire in der Lithosphäre nutzbar gemacht. Weiterhin ist es möglich die Eigenwärme der Gesteinsschichten im sogenannten „hot – dry rock“ Verfahren nutzbar zu machen. Insbesondere Gebiete mit geologischen Anomalien bieten oft günstige geothermische Bedingungen, da dort heiße Schichten bzw. Lagerstätten näher an die Oberfläche reichen.[15]
Der regenerative Energieträger Biomasse, welcher meist aus Holz, Stroh, Energiepflanzen, oder sonstigen organischen Reststoffen besteht, verfügt über ein bedeutendes Potential, das über Verbrennungs- oder Vergasungsverfahren für die Wärmegewinnung erschlossen werden kann.[16] Als wichtigste Vertreter seien hier Hackschnitzelfeuerungs- und Biogasanlagen genannt.

2.2 Verteilung

Die Verteilung von Wärme erfolgt entweder indirekt über die Versorgung mit Primärenergie, wie es bei dezentralen Heizungssystemen und beim Gasnetz der Fall ist, oder direkt als Nutzenergie über Nahwärme- bzw. Fernwärmeversorgungssysteme. Eine genaue begriffliche Abgrenzung in Nah- oder Fernwärme ist eher unbestimmt und orientiert sich bestenfalls an der Größe des Versorgungsgebietes. Im weiteren Verlauf der Arbeit soll allein der Begriff Fernwärme verwendet werden.
Es muss dazu gesagt werden, dass sich die vorliegende Arbeit auf den regionalen Betrachtungsmaßstab begrenzt. Sonst müssten internationale Im- und Exportbeziehungen mittels Pipeline oder Schiff bzw. Tanker, zumindest bei der Verteilung von Gas, ebenfalls mit betrachtet werden. Auch überregionale Fernwärmenetze über Entfernungen von mehr als 100 Kilometer wurden schon realisiert, kommen aber nur sehr selten vor.
Fernwärmeversorgungssysteme können als Zwei- (Vor- und Rücklauf), Drei-, oder Vierleitersystem betrieben werden. Wobei die Zweileiter – Ausführung die gängigste Variante darstellt. Als Wärmeträgermedium dient Wasser oder Wasserdampf.[17]

[15] DITTMANN/ZSCHERNIG – Energiewirtschaft S. 360 ff.
[16] FRAUNHOFER – UMSICHT – Leitfaden Nahwärme S. 22 ff.
[17] FRAUNHOFER – UMSICHT – Leitfaden Nahwärme S. 37 ff.

2.2.1 Netzaufbau

Die Struktur bzw. die Netzform von Wärmeverteilungsnetzen ergibt sich vor allem aus städtebaulichen Gegebenheiten, wie der Straßenführung und der räumlichen Anordnung der Häuser, aus der Netzgröße sowie der Einbindung der Wärmeerzeuger. Es haben sich drei Arten von Netzformen etabliert. Das Strahlennetz, das Ringnetz und das Maschennetz. Die Auswahl erfolgt immer aus dem Kompromiss zwischen Kosten und Versorgungssicherheit. Strahlennetze weisen sehr geringe Trassenlängen auf und sind daher meist bei kleinen und mittleren Fernwärmenetzen anzutreffen. Ringnetze ermöglichen die Einbindung mehrerer Erzeuger an unterschiedlichen Standorten, erfordern aber größere Trassenlängen und Nenndurchmesser der Ringleitungen.[18] Maschennetze bieten eine optimale Versorgungssicherheit bei gleichzeitig besseren Erweiterungsmöglichkeiten. Wegen der hohen Investitionskosten werden Maschennetze aber nur bei sehr großen Fernwärmeversorgungssystemen eingesetzt. Die genannten Prinzipien beziehen sich auf die Hauptverteilung.

Etwas komplexer verhalten sich Fernwärmeversorgungssysteme auf der großmaßstäbigeren Stufe der Unterverteilung. Hier werden zunächst wieder drei wesentliche Methoden unterschieden, die sich nach den jeweiligen räumlichen Gegebenheiten richten und auf dem Kompromiss aus Investitionskosten und Erweiterbarkeit beruhen. Die Standardtrassenführung verläuft entlang öffentlicher Wege und bietet die größte Flexibilität bezüglich des Anschlusses weiterer Kunden. Bei dichter Bebauung ergeben sich allerdings aufgrund der vielen Abzweige und Formstücke sehr hohe Investitionskosten.[19] Bei der „Haus-zu-Haus-Trassenführung“ werden Häuser zu Gruppen zusammengefasst und nur jeweils ein Haus an die Verteilerleitung angeschlossen. Von diesem aus werden dann weitere Häuser angebunden so dass insgesamt weniger Abzweige notwendig sind. Meist laufen die Rohrleitungen dann über Privatgrundstücke und nicht selten direkt durch Gebäude hindurch. Dadurch können sich wegerechtliche Probleme ergeben. Häufig wird eine Mischform aus „Standard-„ und „Haus-zu-Haus-Trassenführung“ gewählt. Eher selten wird die „Einschleif-Trassenführung“ angewendet. Sie basiert auf keiner erkennbaren Netzstruktur sondern es werden alle Gebäude von Haus zu Haus erschlossen. Auf erdverlegte Rohrleitungen und Abzweige wird weitestgehend verzichtet. Dadurch sind zum Einen die Kosten sehr gering aber zum Anderen ist eine nachträgliche, nicht eingeplante Erweiterung so gut wie unmöglich. Daher ist diese Methode nur bei kleinen, geschlossenen Fernwärmenetzen vorteilhaft.

Der Vollständigkeit halber soll auch darauf hingewiesen werden, dass je nach Anwendungsgebiet verschiedene Verlegesysteme existieren. Zu nennen sind starre Kunststoffverbundmantelrohre (KMR), flexible Metallmediumohre (MMR) und flexible Kunststoffmediumrohre (PMR). Wobei Kunststoffverbundmantelrohre mit Stahlmediumrohr das meistverlegte Rohrsystem darstellen. Die Verlegung erfolgt entweder als Erdverlegung

[18] FRAUNHOFER – UMSICHT – Leitfaden Nahwärme S. 37
[19] FRAUNHOFER – UMSICHT – Leitfaden Nahwärme S. 38

(Tiefbauarbeiten notwendig), Freileitungen (werden heute nicht mehr genehmigt), Kanalverlegung (zur Querung von Hindernissen) oder als Kellerverlegung.

Beim Erdgasnetz bestehen die Leitungen im Regelfall aus Metall oder speziellen Kunststoffen mit Längen, die je nach Verwendungszweck vom Zentimeterbereich in gasbetriebenen Geräten bis zu mehreren Metern in Wohnungen und hunderte von Kilometern für internationale Energietransporte reichen. Die Versorgung von Gemeinden und Stadtbezirken erfolgt durch unterirdische Leitungen, die bis zu einigen Dezimetern lichter Weite messen und unterhalb der Frostgrenze[20] verlegt werden. Hingegen haben Leitungen in privaten Haushalten meist nur Abmessungen zwischen 0,5 und 2 Zoll. Der Überdruck in Gasleitungen liegt zwischen 800 Millibar in Mitteldruckleitungen bis hinunter zu 50 und 20 Millibar in Straßen bzw. Hausanschlüssen.

2.2.2 Hausstationen

Die Hausstation ist das Bindeglied zwischen dem eben beschrieben Fernwärmenetz und der Heizungsanlage des jeweiligen Gebäudes.[21] Sie besteht aus Übergabestation (meist im Besitz des Wärmelieferanten) und Hauszentrale (Eigentum des Kunden). Während die Übergabestation der vertragsmäßigen Übergabe der Wärme hinsichtlich Druck und Temperatur dient, wird in der Hauszentrale die Wärmelieferung an die thermischen und hydraulischen Gegebenheiten des Hauses angepasst. Übergabestation und Hauszentrale können als Einheit oder baulich voneinander getrennt vorkommen. Eine Anbindung kann entweder direkt oder indirekt erfolgen. Bei der direkten Anbindung werden auch die Anlagenteile der Hausanlage durchströmt, während bei der indirekten Anbindung ein Wärmetauscher zwischen Fernwärmenetz und Hausanlage geschaltet wird. Bei der indirekten Anbindung ist die Hausanlage von den Druck- und Wasserverhältnissen des Fernwärmenetzes unabhängig. Eine direkte Anbindung ist in der Regel kostengünstiger.
Fernwärme kann natürlich nicht nur für den Heizwärmebedarf der Raumluft verwendet, sondern ebenso für die Trinkwassererwärmung genutzt werden. Dazu benötigen die Hausstationen einen zusätzlichen TWE[22]. Dafür existieren derzeit drei verfügbare Techniken, die allerdings die Erwärmung des Trinkwassers über einen Wärmetauscher gemein haben.

Beim Gasnetz dienen die Gasleitungen mit den geringsten Durchmessern im Millimeterbereich zur Versorgung der Zündflamme in Heizkesseln oder Kleingeräten in Labors. Sie sind durch Thermoelemente bzw. andere Ventile gegen Verlöschen der Stichflamme abgesichert, was seit etwa zehn Jahren zunehmend durch Elektronik überwacht wird. Jede Gasleitung ist in einzelne Abschnitte gegliedert, deren verbindende Knoten technische Einrichtungen für die Betriebssicherheit und die Wartung der Leitung besitzen. Je nach der Dimension der Leitung bestehen die letztgenannten Einrichtungen aus einfachen

[20] Ca. 0.5 – 1,2 m unter Flur
[21] FRAUNHOFER – UMSICHT – Leitfaden Nahwärme S. 57
[22] **T**rink**W**asser**E**rwärmer

Gasschiebern, größeren Absperrventilen oder bei länderübergreifenden Erdgassträngen aus kompletten Kühl- bzw. Heiz- und Pumpstationen.

2.3 Rahmenbedingungen

Die Rahmenbedingungen auf dem Wärmemarkt sind durch zwei Standpunkte dominiert. Zum einen müssen Wärmeversorgungssysteme und Wärmeversorgungsnetze im Speziellen wirtschaftlich sinnvoll betrieben werden. Auf der anderen Seite scheinen gerade den Versorgungsnetzen die CO_2 - Minderungsbemühungen von Seiten des Staates entgegen zu stehen. Während dezentrale Systeme davon durchweg positiv beeinflusst werden, ist es bei zentralen Versorgungssystemen durchaus von Belang, wie viel Energie benötigt wird. Denn es ist davon auszugehen, dass großflächige Sanierungsmaßnahmen mit einer Verringerung der Gesamtabsatzmenge einher gehen und die Verteilung der Wärmedichten innerhalb eines Versorgungsgebietes ebenfalls beeinflussen können. Diese Zusammenhänge sollen im Folgenden näher erläutert werden.

2.3.1 Wirtschaftlicher Betrieb von Versorgungsnetzen

Für den wirtschaftlichen Betrieb eines Versorgungsnetzes spielt die Akzeptanz eine wesentliche Rolle[23]. Diese wird nur durch ein Produkt mit hoher Kundenbindung, dem nötigen Komfort, Zukunfts- und Versorgungssicherheit sowie geringen Preisen bei gleichzeitiger Preisstabilität erreicht. Bei leitungsgebundenen Versorgungsystemen lässt sich das nur durch ein effizientes und auf den jeweiligen Versorgungsraum abgestimmtes Versorgungskonzept realisieren.
Bei der Optimierung einzelner Parameter muss die Gesamtwirkung bei ganzheitlicher Betrachtung und entsprechend langer Lebensdauer berücksichtigt werden. Zur Planung einer wirtschaftlichen und sicheren Wärmeversorgung sind daher viele Einflussfaktoren zu beachten. Wobei es Faktoren gibt, die nicht oder nur sehr schwer zu beeinflussen sind. Diese werden vorwiegend von den Prozessparametern der Kunden und den örtlichen bzw. lokalen Bedingungen sowie den Anforderungen und Vorgaben der lokalen Behörden bestimmt. Darüber hinaus hängt die Wirtschaftlichkeit der Fernwärmeversorgung von den Preisen der fossilen Primärenergieträger Gas und Öl ab. Insbesondere wenn diese mit KWK-Anlagen betrieben werden.[24] Wie bereits gezeigt wurde, sind die Kosten der Wärmeverteilung in Verlegekosten und Kosten für den langfristigen Betrieb zu unterteilen. Dadurch ergeben sich folgende Regelungen für den Zugang zu Versorgungsnetzen von Seiten des Endverbrauchers.
Die Regelungen für den Zugang zu den Erdgasnetzen sind in der Gasnetzzugangsverordnung[25] auf Grundlage von § 20 Abs. 1 des Energiewirtschaftsgesetzes spezifiziert. Betreiber von Gasversorgungsnetzen müssen Einspeise- und Ausspeisekapazitäten anbieten, die den Netzzugang ohne Festlegung eines

[23] AGFW Leitartikel – Zukunft der Fernwärme Jg.35 2006
[24] AGFW Leitartikel – Zukunft der Fernwärme Jg.35 2006
[25] GasNZV

transaktionsabhängigen Transportpfades ermöglichen und unabhängig voneinander handelbar sind. Zur Abwicklung des Zugangs sind ein Einspeise- und ein Ausspeisevertrag erforderlich. Die Regelungen zur praktischen Ausgestaltung der Entgeltbestimmung sind in der Gasnetzentgeltverordnung[26] festgelegt. Die Ein- und Ausspeiseentgelte sind Kapazitätsentgelte und beziehen sich in der Regel auf zwölf aufeinanderfolgende Monate.
Darüber hinaus sind die Betreiber verpflichtet, auch unterjährige Verträge für Monat, Quartal, sowie Verträge für unterbrechbare Lieferung anzubieten. Auf den Internetseiten der Betreiber von Fernleitungsnetzen sind die Transportnetze mit den Einspeise- und Ausspeisepunkten abgebildet und Gasqualität, Gasdruck und Kapazitätsentgelt angegeben. Dabei sind die Entgelte an den verschiedenen Stationen durchaus sehr unterschiedlich.[27]

Die Fernwärme unterliegt nicht den Bestimmungen des Energiewirtschaftsgesetzes. Grundlage ist die Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme[28]. Die Verordnung enthält Regelungen u.a. über Baukostenzuschüsse, Hausanschlusskosten, technische Anschlussbedingungen, Preisänderungsklauseln etc. Sie gilt aber nicht für die Versorgung von Industriebetrieben und auch nicht für individuell abgeschlossene Verträge. Die Eigenschaften des Wärmeträgers im Hinblick auf Temperatur, Druck und Fahrweise werden in den Technischen Anschlussbedingungen[29] des jeweiligen Fernwärmeversorgungsunternehmens festgelegt, welche als Anlage ein Bestandteil des Vertrages sind. Die Versorgung mit Fernwärme wird über einen sogenannten Wärmeliefervertrag geregelt, der zwischen dem Fernwärmeversorgungsunternehmen und dem Wärmekunden abgeschlossen wird. Der Wärmepreis setzt sich zusammen aus einem Grundpreis in €/a und oder einem Leistungspreis in €/(kW/a) sowie einem Arbeitspreis in € / kWh und ggf. auch aus einem Jahresmesspreis. Der Leistungspreis kann sich auch auf den maximalen Wassermengendurchsatz in l/s beziehen. Durch Preisänderungsklauseln können Anpassungen an den Preis vergleichbarer Energieträger (meist Öl oder Gas) vorgenommen werden. Die Schwankungsbreite der Fernwärmepreise in Deutschland ist sehr stark.[30]

2.3.2 CO_2 - Minderungspflichten

Wie bereits in der Einleitung erwähnt wurde, hat sich die Bundesregierung Ende August 2007 auf gemeinsame Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaprogramm geeinigt. Es sollen sowohl das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz als auch das Erneuerbare-Energien-Gesetz kurzfristig novelliert und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz beschlossen werden. Im Rahmen der Effizienzstrategie will die Bundesregierung vor allem die energetischen Anforderungen der Energieeinsparverordnung um durchschnittlich 30% verschärfen und stellt gleichzeitig im Rahmen des CO_2 - Gebäudesanierungsprogramms für die energetische Sanierung von Wohngebäuden für 2008 und 2009 jährlich 700 Mio. € zur

[26] GasNEV
[27] Vgl. PANOS – Praxishandbuch Energiewirtschaft S. 58 ff.
[28] Vgl. AVBFernwärmeV
[29] Vgl. TAB der Fernwärme Greifswald GmbH
[30] Vgl. PANOS – Praxishandbuch Energiewirtschaft S. 64 ff.

Verfügung. Um die dadurch entstehenden Aufgaben wahr zu nehmen, haben sich bereits viele Kommunen über Klimaschutzkonzeptionen Gedanken gemacht. Es gilt nun die zur Verfügung gestellten Gelder effektiv zu nutzen und die Planung auf diese Ziele abzustimmen. Die Nutzung von Fördergeldern könnte durch finanzielle Zuschüsse bei der Heizungsumstellung, für Maßnahmen zur Wärmedämmung oder für eine individuelle Beratung sowohl für Private als auch für Kunden aus Industrie, Gewerbe und Verwaltung eingesetzt werden.

Auf Seiten der Planung kann die Bauleitplanung im Speziellen als effektivstes Steuerinstrument der Kommunen für diese Ziele angesehen werden. Aufgabe der Bauleitplanung ist es, die bauliche und sonstige Nutzung der Grundstücke in der Kommune nach Maßgabe des Baugesetzbuches vorzubereiten und zu leiten.[31]

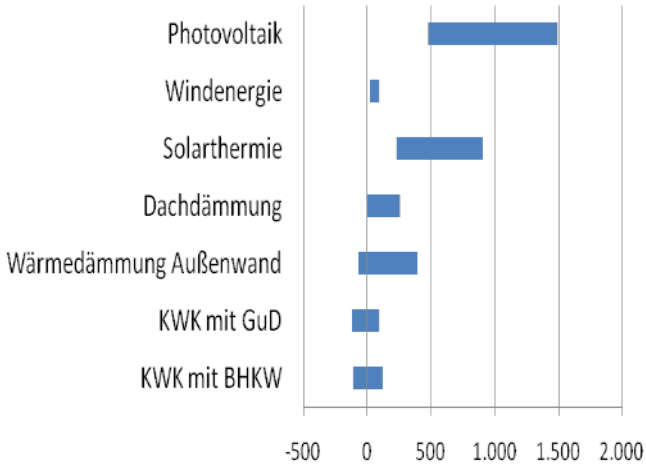


Abbildung 2[CO_2 – Minderungsranking in €/tCO_2; Eigene Darstellung; Quelle: AGFW - Studie "Pluralistische Wärmeversorgung"]

Im Rahmen der kommunalen Energieplanung sollte die Bauleitplanung bereits im Vorfeld baulicher Maßnahmen den künftigen Heizenergiebedarf eines Neubaugebietes durch energiegerechte städtebauliche Lösungen günstig beeinflussen. Eine wesentliche Weichenstellung stellt bereits die Wahl der Siedlungsart dar. Unabhängig vom Dämmstandard wirkt sich auch das vom Gebäudetyp abhängige Oberflächen-/Volumen Verhältnis (A/V) auf den Heizwärmebedarf aus. Je kleiner das A/V-Verhältnis wird, desto geringer ist der Heizwärmebedarf, da bei gleichbleibenden Volumen [V] durch eine kleinere Außenfläche [A] weniger Heizwärme verloren geht. So kann mit den städtebaulichen Festsetzungen über die Gebäudegeometrie (Bauweise, Geschosszahl, First- und Traufhöhe, Dachform, Geschossflächenzahl, Gebäudegrundflächenzahl, Art und Größe zulässiger Dachaufbauten) der spezifische Wärmeverlust der zukünftigen Gebäude so innerhalb einer Spannweite von bis zu 60 kWh/m²a durchaus beeinflusst werden.[32] Energiegewinne durch aktive und passive Solare Einstrahlung durch die Vorgabe von Gebäudeausrichtungen sowie die Möglichkeiten der wirtschaftlichen Erschließung bestimmter Gebiete mit leitungsgebundenen Energieträgern können ebenfalls überwiegend durch städtebauliche Festsetzungen beeinflusst werden.[33]

[31] § 1 Abs. 1 BauGB
[32] BLESL S. 28
[33] Ausweisung von Anschluss- und Benutzerzwängen für Kunden in Fernwärmevorranggebieten (weitere Informationen siehe: AGFW – Leitfaden „Öffentlich- rechtlicher Anschluss- und Benutzerzwang für Fernwärme)

Auf der Erzeugerseite könnte hingegen die Fernwärme ihr volles Potential ausspielen. Durch die Umstellung der Wärmeerzeugungsanlagen und eine Optimierung der Netzstruktur lassen sich binnen kürzester Zeit große Mengen an Treibhausgasemissionen einsparen. Nach einer Studie der Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft e.V. standen die Chancen der Fernwärme im Wettrennen um die Erfüllung von CO_2 -Minderungspflichten noch nie so gut wie heute (siehe Abbildung 2 und 3).

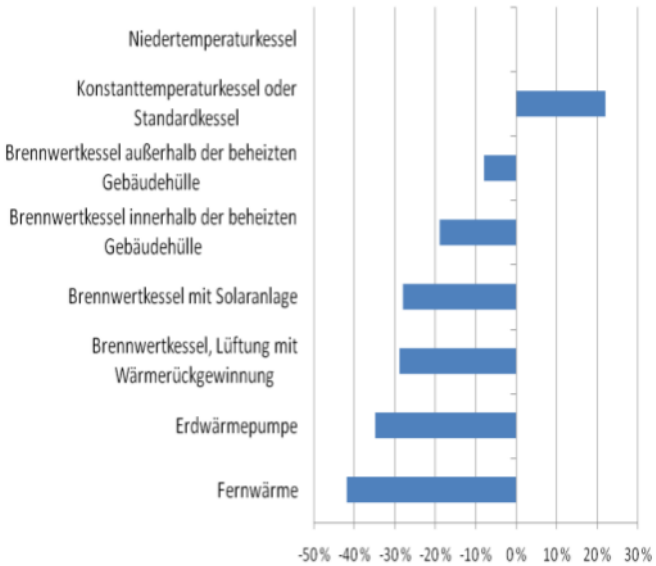


Abbildung 3[Mehr- und Minderbedarf verschiedener Heizungsarten im Vergleich; eigene Darstellung; Quelle: AGFW – Studie „Pluralistische Wärmeversorgung“

Es stellt sich die Frage, inwiefern die CO_2-Minderungsziele durch großflächige Sanierungsmaßnahmen erreicht werden können und welche Rolle die Fernwärme in Greifswald hier einnimmt.

Birgt der Gebäudebestand nicht die nötigen Einsparpotentiale so ist der evtl. erzwungene Austausch alter Heizungsanlagen auf Fernwärme vielleicht ein vielversprechenderer Weg. Ein Aspekt, der im Rahmen dieser Arbeit ebenfalls untersucht werden soll. Denn zurzeit gilt die Fernwärmeversorgung auf der Basis der Kraft-Wärme-Kopplung gegebenenfalls mit zusätzlicher Kälteproduktion als eine sehr effiziente Wärmeerzeugungsart.[34]

[34] Vgl. AGFW Leitartikel „Pluralistische Wärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt“

3. Geographische Informationssysteme

Ein Schwerpunkt der Arbeit liegt in der Möglichkeit den Einsatz von Geographischen Informationssystemen bei Energiewirtschaftlichen Fragestellungen anhand eines Beispiels näher zu bringen. Dabei ist es unerlässlich für das spätere Verständnis, sowohl der Methodik als auch der Analyse und Ergebnisdarstellung, das nötige Hintergrundwissen zu vermitteln.
Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den allgemeinen Grundlagen, der Vorhaltung von Geodaten sowie deren Erfassung und mit der durchaus nicht zu unterschätzenden Frage der Interoperabilität. Es wird außerdem eine Übersicht der verfügbaren Softwareumgebungen auf dem Geoinformationsmarkt gegeben. All das sind Fragestellungen, wie sie so oder in abgewandelter Form bei Thematiken mit einem ausgeprägten Raumbezug immer wieder vorkommen können und daher hier eingehend behandelt werden.

3.1 Grundlagen

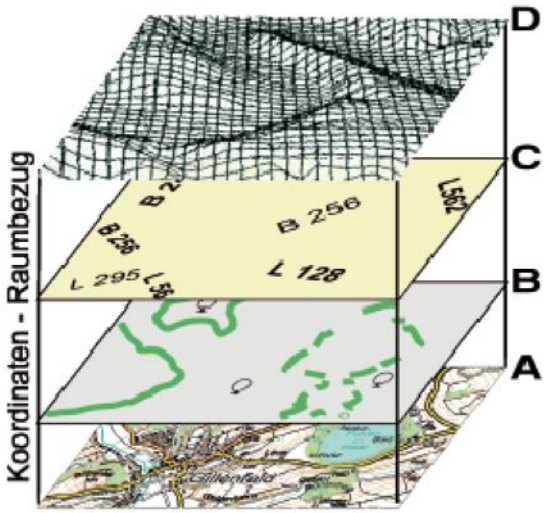
GIS ist eine Abkürzung und bedeutet **G**eographisches **I**nformations**S**ystem. Es handelt es sich dabei um ein rechnergestütztes Werkzeug zur Erfassung, Verwaltung, Analyse, und zur Präsentation von raumbezogenen Daten, zu einem bestimmten Verwendungszweck.
Das Kriterium des Raumbezugs stellt eine Besonderheit dar und ist nichts anderes als eine direkte oder indirekte Verknüpfung zwischen Informationen an sich und einer Position auf der Erde. Geographische Informationssysteme sind in der Lage die reale Umwelt zu beschreiben und eine digitale Interaktion zu ermöglichen.
Ein GIS setzt sich immer aus Hard- und Softwarekomponenten zusammen. Zur Hardware zählt der Arbeitsplatzcomputer/Server, jede Art von Netzwerkkomponenten und Peripheriegeräten wie Drucker, Scanner und mobile z.B. GPS basierende Vermessungstechniken. Wobei der Einsatz verschiedener Hardwarekomponenten stark vom jeweiligen Anwendungsbereich des einzurichtenden GIS abhängt.
Da die Hardware, in Zeiten erschwinglicher Technik für jedermann, sowohl qualitativ als auch quantitativ(finanziell) eine eher untergeordnete Rolle spielt, soll hier der Aufbau schwerpunktmäßig anhand der zu verwendenden Softwarekomponenten erläutert werden.
Zur Software zählen vor allem das Betriebssystem als Benutzeroberfläche, jede Form von Office – Anwendung, ein Datenbank Verwaltungssystem und die professionelle GIS Software im eigentlichen Sinn, mit ihren hersteller- und fachspezifischen Modulen. Um der Software allerdings eine Daseinsberechtigung zu verleihen bedarf es zu verarbeitender Daten. So z.B. Geobasisdaten, Satellitenbilder, digitale Geländemodelle und Sachdaten.
Das sich daraus ergebende Zusammenspiel der zahlreichen Analyse- und Darstellungsfunktionen einer GIS-Software und den raumbezogenen Daten resultiert in einem überaus vielfältigen Anwendungsspektrum. Um eine bessere Vorstellung davon zu bekommen, folgt eine kurze Zusammenstellung von möglichen Fragestellungen bzw. Beispielen für Anforderungen an sog. GIS Funktionalitäten.[35]

[35] Vgl. BILL

Suche (Interpolation; thematische Suche; raumbezogene Suche; Reklassifikation)
Standortanalyse (Puffer; Korridor; Verschneidung)
Geländeanalyse (Hangneigung/Richtung; Einzugsgebiet; Netz; Sichtbarkeit)
Verteilung/Nachbarschaft (Kosten/Diffusion; Nähe; Nächster Nachbar)
Raumbezogene Analyse (Multivariate Analyse; Muster; Zentralität/ Verknüpfung; Form)
Messungen (Abstand; Richtung; Höhe; Flächeninhalt)

3.2 Datenhaltung

Um den Standort eines Objektes in einer elektronischen Datenverarbeitungsanlage zu definieren, gibt es zwei Möglichkeiten. Zum Einen durch Rasterdarstellung und zum Anderen durch die Darstellung als Vektor. Bei dem Prinzip der Rasterdarstellung gelingt die Speicherung der Informationen mit Hilfe von Pixeln. Durch die Folge von benachbarten Pixeln kann so ein Punkt, eine Linie oder eine Fläche dargestellt werden. Den geometrischen Bezug bilden dabei die Eckpunkte. Bei den Vektordaten gilt der Punkt als Träger der geometrischen Information. Durch die spezifische Zuweisung von Koordinaten bzw. Koordinatenfolgen sind dieselben Elemente darstellbar.



D – Digitales Höhenmodell
C – Klassifizierung von Verkehrswegen
B – Schutzgebietsgrenzen
A – Topographische Geobasisdaten

Abbildung 4[Darstellungsebenen; Quelle: IMAGI - Leitfaden]

Geodaten in einem GIS werden zwischen Raster- und Vektordaten unterschieden, wobei der Begriff der Rasterdaten einer genaueren Unterscheidung in Rasterbilddaten und gerasterte Daten (Coverages) bedarf. Rasterbilddaten setzen sich aus einzelnen, gleich großen Bildelementen (Pixel) zusammen, die in Matrixform, d.h. in Zeilen und Spalten vorliegen. Jeder Pixel beinhaltet einen Informationswert, der auf einer Karte mit einer bestimmten Farbe wiedergegeben wird. Diese Information kann beispielsweise eine Höhenangabe, ein Schadstoffwert, ein Temperaturwert oder – wie bei einem digitalen Foto – die numerische Codierung eines Farbwertes sein. Rasterbilddaten entstehen z.B. beim Scannen von Plänen oder Karten und in der Fernerkundung durch Satellitenüberfliegung. Die Darstellung beliebiger Daten auf dem Bildschirm ist nur durch eine vorherige Umwandlung in ein

Rasterformat (Rendering) möglich. Letztlich sind Rasterdaten im GIS-Bereich digitale Kartenbilder, die sich über das Internet einfach transportieren lassen. Im Unterschied zu herkömmlichen Bildern weisen diese allerdings eine Georeferenz (räumliche Referenzinformation zu geodätischem Bezugssystem und Festlegung von Passpunkten[36]) auf, die einmal zugeordnet und zugleich mit dem Kartenbild gespeichert wird. Bekanntestes Format hierfür ist das „GeoTIFF“.

Coverages (gerasterte Daten) sind grundsätzlich Vektordaten. Technisch gesehen sind sie über ein regelmäßiges Gitter (engl. grid) von Punkten definiert. Zu jedem Rasterpunkt können beliebig viele Attribute gespeichert werden, was bei den oben beschriebenen Rasterbilddaten nicht möglich ist. Coverages können für die Bildschirmdarstellung durch ein Programm visualisiert werden. Sie eignen sich ideal für die Speicherung und Auswertung komplexer räumlicher Daten, z.B. für digitale Geländemodelle oder für multispektrale Fernerkundungsdaten. Vektordaten werden häufig als „intelligente Daten“ bezeichnet, da hier nicht das Attribut einem Pixel zugeordnet wird, sondern die Möglichkeit besteht, eine Vielzahl verschiedener Attribute einem Objekt in einer bestimmten geometrischen Ausprägung zuzuordnen. Hierzu gehören auch die nachbarschaftlichen Beziehungen (Topologien) zwischen den einzelnen Objekten. Die Objekte sind, wie in Abbildung 5 dargestellt, entweder punktförmig (z.B. eine Pegelmessstation), linienförmig (z.B. ein Abwasserleitungsnetz) oder flächenförmig (z.B. ein Flurstück). Die digitale Erfassung (Digitalisierung) einer Geometrie kann, soweit sie nicht vermessungstechnisch im Feld erfasst wurde, mittels der Eingabe von Koordinaten in eine Tabelle oder eines graphisch-interaktiven Arbeitsplatzes in Verbindung mit einer GIS-Software oder einer CAD-Anwendung erfolgen. Die erstellten Datensätze bzw. Objekte werden in der Regel in einer Datenbank verwaltet. Hierfür stehen verschiedene Datenbanktechnologien zur Verfügung, die es ermöglichen, raumbezogene Daten abzufragen und zu verknüpfen. Für die Beschreibung und Strukturierung der Objekte ist außerdem ein Datenmodell erforderlich, das u.a. die Inhalte der Objekte, deren Beziehung untereinander und die Art der formellen Beschreibung festlegen. Als ein für verschiedene Anwendungen übergreifendes Datenmodell kann das AAA-Basisschema (AAA = AFIS-ALKIS-ATKIS) der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV) angesehen werden, das entsprechende formelle Regeln, Definitionen und Funktionen einzelner Objektarten enthält. Objektarten sind hierbei

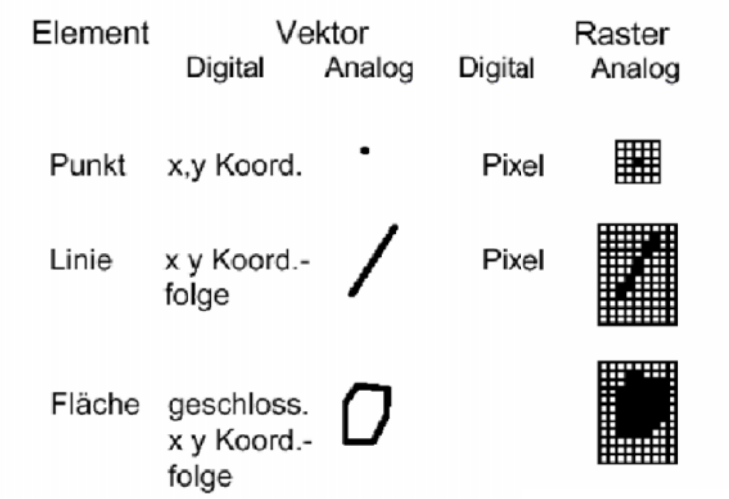


Abbildung5[Vektor- und Rasterdaten; Quelle: BILL/SCHILCHER/SEUß Kommunales GIS S.11]

[36] Vgl. BILL

zusammenfassende Bezeichnungen für thematisch gleichartige Objekte (z.B. Flüsse, Straßen o.ä.). Die so darstellbaren Geodaten sind der Grundbaustein eines jeden GIS.
Nur durch die geometrische Darstellung allein lassen sich allerdings noch keine Aussagen über die Daten, geschweige denn die Beziehungen zwischen ihnen (Entitäten), machen. Es bedarf thematischer Informationen. So genannter Attribute bzw. Sachdaten. Denn erst die eindeutige Zuordnung von Eigenschaften zu den jeweiligen Elementen, lässt den GIS Anwender erkennen ob es sich bei einer Linie z.B. um eine Straße oder bei einem Punkt um ein Gebäude, oder ähnliches, handelt. Die Zeichenvergabe selbst, kann willkürlich oder durch einen amtlichen Objektarten-(OK) und Signaturenkatalog (SK) vorgenommen werden. Die Raster- bzw. Vektordaten nehmen so einen Bezug zum Raum (Realwelt) auf und machen fach- oder anwendungsspezifische Überlegungen erst möglich.
Auch die Sachdaten finden wiederum eine Unterteilung in Basisdaten und Fachdaten, nach der Art der Datenhaltung. Basisdaten werden zentral vorgehalten und stetig fortgeschrieben. Wie topographische Daten zum Beispiel. Fachdaten sind, wie der Name schon sagt, Fachspezifisch und stehen nur unter der Verantwortung des Fachanwenders.

3.3 Datenerfassung

Unter dem Begriff der Datenerfassung werden alle Methoden der Datengewinnung zusammengefasst[37]. Befragungen gehören ebenso dazu, wie Vermessungsmethoden, Auswertungen von Satellitenbildern, das Scannen von Plänen und die manuelle Digitalisierung.
Nicht unerwähnt bleiben soll, dass ein Großteil der Verantwortung bei den Personen liegt, die die Daten erheben. Denn jedes noch so ausgefeilte Geographische Informationssystem ist nur so gut, wie die ihm zu Grunde liegenden Daten. Deshalb sollten folgende Kriterien bei der Datenakquisition erfüllt werden.[38]

Kenntnis über die Art der Daten
Wissen, wer über die erforderlichen Daten verfügt
Fähigkeit, die Qualität der verfügbaren Daten beurteilen zu können

Um diese Kriterien erfüllen zu können, sind jedoch spezifische Informationen über die Daten notwendig. Diese Informationen, in denen die Qualitäten und Eigenschaften der Daten enthalten sind, werden als Metadaten bezeichnet. Neben Aussagen über den Inhalt und die Herkunft der Daten sind außerdem die Positionsgenauigkeit, die Attributgenauigkeit, die Aktualität sowie die Konsistenz und die Vollständigkeit beschrieben.[39] Bezüglich der Art der Metadaten existieren bestimmte Standardisierungsansätze (bspw. CEN/TC 287, 1996). Stehen ausreichend Metadaten zur Verfügung so wird es dem Anwender ermöglicht, gezielte Zugriffe auf bestimmte Datenarten in sog. Metadatenkatalogen vorzunehmen.

[37] Vgl. RESNIK/ BILL
[38] Vgl. BILL, SCHILCHER,SEUß
[39] Vgl. BEHR

3.4 Interoperabilität

Interoperabilität bezeichnet die Möglichkeit, verschiedenartige Daten in einem einzelnen Arbeitsablauf zu integrieren. Dies setzt voraus, dass Syntax und Semantik der Daten dem Anwender in einheitlicher Form zur Verfügung gestellt werden. Interoperabilität erlaubt den transparenten Zugang zu mehreren raumbezogenen Daten- und Verarbeitungsressourcen innerhalb eines einzigen Arbeitsablaufes, ohne sie in einen Datenbestand zu überführen.[40] Ein überaus wichtiger Aspekt, wenn mehrere Akteure - in diesem Fall zum Beispiel Kommune und Energieversorger - effizient mit bereits vorhandenen Geodaten arbeiten wollen.
Durch Spezifikationen und Normen entsteht Interoperabilität und findet auf verschiedenen technologischen Ebenen statt. Die Schaffung von Normen kann in einer „vernetzten Welt“ sehr hilfreich sein, da die meisten Daten für einen langfristigen Zeitraum erfasst und möglichst unabhängig von neuen Softwareentwicklungen vorgehalten werden sollen. Die Schaffung und die Durchsetzung von Normen sind somit von immanenter Wichtigkeit zum Abbau von Hindernissen bei einer späteren Zusammenarbeit.
Die Schaffung von Normen bedeutet die planmäßige, durch interessierte Kreise durchgeführte Vereinheitlichung von materiellen und immateriellen Gegenständen zum Nutzen der Allgemeinheit.[41]
Das Ergebnis einer solchen Vereinheitlichung ist eine technische Vorschrift (Norm) nennt. Allerdings gibt es in dem Bereich noch eine Trennung zwischen einer Norm und einer sog. de facto Norm.[42] Eine Norm wird von nationalen oder internationalen Normverbänden festgelegt. Eine de facto Norm hingegen ist eine allgemeine anerkannte und mehrheitlich genutzte technische Vorschrift, die sich aus der weiten Verbreitung eines Produktes ergibt.
Sowohl Normen als auch de facto Normen sind nur dann verbindlich wenn ihre Einhaltung durch gesetzliche oder vertragliche Regelungen gefordert wird. Deshalb haben sich Organisationen gebildet, deren Aufgabe darin besteht Normung zu unterstützen.
Die Internationale Organisation für Standardisierung (ISO) bspw. ist ein Netzwerk von nationalen Gremien aus 157 Ländern und hat sich den eben angesprochenen Normen verschrieben. Jeweils ein Mitglied pro Land. Der Hauptsitz befindet sich in Geneva in der Schweiz. Die Organisation agiert sowohl für den öffentlichen als auch für den privaten Sektor. Alle Mitglieder können die Normen übernehmen. Bei der ISO arbeiten verschiedene technische Komitees. TC211 z.B. befasst sich ausschließlich mit Geographischen Informationen. Dieses ist u. a. verantwortlich für die oben genannten ISO 19100 Standards.
Im Open Geospatial Consortium (OGC) haben sich führende GIS-Hersteller, Datenproduzenten, Behörden, Organisationen und Forschungseinrichtungen im Jahre 1994 zusammengeschlossen um die Entwicklung von herstellerübergreifenden, offenen Programmschnittstellen, die Standardisierung von GIS-Technologien und deren Förderung voran zu treiben. OGC Spezifikationen sind meist pragmatische Ansätze, die die Funktionstüchtigkeit als Hauptziel haben. Beispiele für OGC Spezifikationen sind: Web Map

[40] Vgl. LAUER
[41] Vgl. Deutsches Institut für Normung e.V.
[42] Vgl. www.gismngt.de (eingesehen am 20.01.09)

Server Specification (WMS), Geographic Markup Language (GML) und Web feature Service Specification (WFS).
Als weitere Organisationen, die sich rund um das Thema Interoperabilität bemühen sind das Europäische Komitee für Standardisierung (CEN), das World Wide Web Consortium (W3C), American National Standards Institute (ANSI), European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) und natürlich das Deutsches Institut für Normung (DIN) zu nennen.
Deutschland ist bestrebt in einem gemeinsamen Vorhaben von Bund, Ländern und Kommunen eine einheitliche Geodateninfrastruktur (GDI – DE) aufzubauen. Dahingehend, dass Geoinformationen in Zukunft stärker in den Entscheidungsprozessen innerhalb der Verwaltung, der Wirtschaft und der Politik zum Einsatz kommen. Der Wunsch ist eine Länder und Ressortübergreifende Nutzung von Daten mit Raumbezug. Es wird zunächst versucht die bereits in Bund, Ländern und Kommunen vorhandenen Geoportale miteinander zu vernetzen und in einem Gemeinsamen Geodatennetzwerk zu betreiben. Alle Geodaten, die zur Erledigung gesetzlich vorgeschriebener Aufgaben benötigt werden, bilden somit die Nationale Geodatenbasis (NGDB).
Das Lenkungsgremium GDI-DE hat die Aufgabe, die Maßnahmen der Länder, Kommunen und des Bundes zur Mitwirkung bei der Entwicklung, Fortführung und Umsetzung der oben erwähnten internationalen Normen und Standards und bei der Gestaltung europäischer und internationaler Geodateninfrastrukturen zu lenken und zu koordinieren und den Bund zu unterstützen, die Normierungsentwicklungen nachhaltig voranzutreiben.[43]
Das Lenkungsgremium hat auf die Einhaltung der Standards hinzuwirken. Neben der GDI – DE existiert die Kommission für Geoinformationswirtschaft (GIW – Kommission). Sie soll als Schaltstelle zwischen Verwaltung und Wirtschaft fungieren und setzt sich aus insgesamt 18 Vertretern der Spitzenverbände der deutschen Wirtschaft zusammen. Ziel ist es, eine bessere wirtschaftliche Nutzung staatlicher Geoinformationen anzustoßen und ist damit der wirtschaftlich orientierte Baustein zum E-Government. Die Kommission erarbeitet Maßnahmen, die eine branchenspezifische und regional übergreifende Nutzung des immensen Marktpotentials von Geodaten ermöglichen. In Projektgruppen mit Mitgliedern aus Industrie und Behörden werden Leitprojekte gemeinschaftlich mit dem GDI-DE umgesetzt.[44]
International Organization for Standardization (ISO) und Open Geospatial Consortium (OGC) - beide Organisationen orientieren sich in ihren Spezifikationen wiederum an den Vorgaben des World-Wide-Web-Consortium (W3C), das für die Entwicklung von WWW-Standards zuständig ist. Im nationalen Maßstab sind die Vorgaben für E-Government Anwendungen wichtig, in denen sich wiederum Spezifikationen aus internationalen Vorgaben wieder finden. An zentraler Stelle beim Bund ist hier die Koordinierungs- und Beratungsstelle der Bundesregierung für Informationstechnik in der Bundesverwaltung (KBSt) zu nennen. Die KBSt ist auch für die Publikation von „Standards und Architekturen für E-Government-Anwendungen“ (SAGA) zuständig. Im Bereich der Länder und Kommunen ist zum einen der

[43] www.gdi-de.de (eingesehen am 23.02.09)
[44] Vgl. IMAGI - Leitfaden

Kooperationsausschuss „Automatisierte Datenverarbeitung“ (KoopA ADV) mit internationaler Interessenvertretung und die OSCI-Leitstelle für die Sicherheitsbelange der Städte und Kommunen im E-Government zu nennen. Im Zeitalter der Internationalisierung haben webbasierte Geo-Dienste auch über die nationalen Grenzen hinaus hohe Bedeutung, was u.a. durch die Gesetzesinitiative INSPIRE (Infrastructure of Spatial Information in Europe) der Europäischen Kommission deutlich wird. INSPIRE soll die Mitgliedsländer verpflichten, nationale Geodateninfrastrukturen aufzubauen und diese in einem interoperablen Netzwerk der Europäischen Union insbesondere zur Unterstützung der Umweltpolitik bereitzustellen. Erst durch die Bereitstellung internetbasierter und standardisierter Geo-Dienste kann eine blattschnittfreie europaweite Gesamtdarstellung eines Fachthemas mit minimalem Zeitaufwand realisiert werden.[45]

3.5 Software

Die GIS – Technologie war in den vergangenen Jahren einer starken Dynamik unterlegen. Aus diesem Grund sind unterschiedliche Konzepte, oft wird auch von unterschiedlichen Generationen gesprochen, auf dem Markt vertreten. Je nach Verwendungszweck und Vorlieben der Anwender unterscheiden sie sich in ihrer Architektur. Es ergeben sich die Kategorien Desktop-GIS, High-End GIS und WebGIS.[46]

Bei einem Desktop-GIS handelt es sich um ein Einzelarbeitsplatzsystem. Es beinhaltet alle für den Anwender notwendigen Funktionalitäten und kann unter Umständen auf spezielle Anwendungen zugeschnitten sein. Diese Systeme werden hauptsächlich für die Datenerfassung, die Datenverwaltung und die Auskunft von eher geringen Datenmengen verwendet. Die Einarbeitungszeiten und der Kostenaufwand sind relativ gering, weswegen derartige Systeme auch gemeinhin als „low-cost/budget-GIS bezeichnet werden.

Bei einem High - End GIS werden die Daten und Anwendungen auf einem Server gespeichert. Auf den Server greifen dann spezielle Arbeitsplatzrechner, sog Clients, zu.

Deshalb wird das Prinzip auch Client-Server Prinzip genannt. Die Clients werden vom Server mit Geodaten und GIS-Funktionalitäten versorgt. Bei den Arbeitsplatzrechnern erfolgt eine Unterscheidung in reine Auskunftsarbeitsplätze und Bearbeitungsarbeitsplätze. Auskunftsarbeitsplätze dienen, wie der Name schon sagt, dem reinen Abrufen von Informationen, während an den Bearbeitungsarbeitsplätzen die Erfassung, Änderung und Aktualisierung der Daten möglich ist. So ergibt sich ein sehr leistungsfähiges und Flexibles System, dass sich vor allem für sehr große Datenmengen eignet und optimale Bedingungen für die funktionsräumliche Arbeitsteilung von Energieversorger und Kommune bereitstellen kann. Einziger Nachteil ist der enorm hohe Administrations- und Einarbeitungsaufwand.

WebGIS Prinzipien ähneln den Strukturen eines High-End-GIS sehr stark. Es gibt hier ebenfalls einen zentralen Server (Map-Server) der die Daten und Anwendungen vorhält, und angeschlossene Clients. Allerdings werden hier die Kommunikationsmöglichkeiten des Internets verwendet. Auch die Arbeitsplatzrechner sind nicht mehr zwangsläufig von

[45] http://inspire.jrc.ec.europa.eu (eingesehen am 20.01.09)
[46] Vgl. BILL

vorinstallierten Programmen abhängig. Im Idealfall genügt ein einfacher Browser. Möglich wird dies durch geeignete Applikationen basierend auf Programmiersprachen wie PHP oder Java. Im Wesentlichen handelt es sich hierbei um die Bereitstellung von internetgestützten elektronischen Dienstleistungen, sog. „Web-Services“. Der Schwerpunkt liegt allerdings auf der technischen Interaktion. Der Nutzer schickt eine standardbasierte Anfrage, welche an mehrere originäre Dienstanbieter weiterleitet wird. Die von den Anbietern auf die Anfrage zurückgegebenen Informationen können systemunabhängig bereitgestellt werden. Die einfachste Form solcher Webdienste beschränkt sich auf die bloße Auskunft und Präsentation oder die Bereitstellung bzw. den Handel mit Rohdaten. Über so genannte Geoportale von sowohl öffentlichen als auch privaten Anbietern ist es z.B. möglich auf Geodaten aus unterschiedlichen Quellen zuzugreifen und plattformunabhängig Auskunft oder sogar Analyseergebnisse zu erhalten. Der Mehrwert besteht darin, aus jedem internetfähigen Rechner weltweit einen quasi Desktop – GIS Arbeitsplatz zu machen, der nicht auf die Vorzüge eines High-End-GIS zu verzichten braucht.

Die technischen Standards des Internet, wie z.B. DSL oder UMTS, erlauben bereits heute die Übertragung von sehr großen Datenmengen in kürzester Zeit, so dass WebGIS-Anwendungen in vollem Maße ausgereizt werden können. So können sogar mobile GIS-Applikationen realisiert werden.

Im Softwarebereich gibt es zwei grundlegend verschiedene Arten von Applikationen. Open Source- und proprietäre Software. Im Folgenden soll dieser Umstand noch einmal kurz erläutert werden.

Als Source Code wird der vom Menschen lesbare/programmierte Teil einer Software bezeichnet. Dieser wird in der Regel kompiliert und kann so von einem Computer ausgeführt werden. Dieser Code wird von den Softwareherstellern meist geheim gehalten indem mit viel Aufwand versucht wird, ihn zu Verschlüsseln und so Nutzungen einzuschränken.

Dieses Vorgehen ist allerdings dahingehend absurd, als dass jeder Käufer der Software eine Kopie des Source Code erwirbt, und somit in der Lage ist ihn zu studieren und gegebenenfalls zu ändern.

Dieses Verhalten ist bei geltenden Lizenzbestimmungen allerdings strafbar.

Das Prinzip des Open Source hingegen sagt explizit, dass die Quellen (engl.: sources) einer Software zugänglich sein müssen. Das bildet die Grundlage für freie Software.

Der Begriff „Freie Software“ wurde von der Free Software Foundation insbesondere von dessen Gründer Richard Stallman im Jahre 1984 initiiert. Neben der Offenheit des Quellcodes kommen hier noch zusätzliche, eher philosophische Fragen bezüglich der Nutzungsrechte zum Tragen.[47] Es müssen folgende Punkte erfüllt sein, um von freier Software sprechen zu können. Frei bedeutet: das Programm darf für jeden Zweck benutzt werden, jeder darf das Programm nach seinen Wünschen ändern, das Programm darf uneingeschränkt kopiert und verbreitet werden, das Programm darf verbessert werden und die Verbesserungen dürfen der Öffentlichkeit uneingeschränkt zu Verfügung gestellt werden. Proprietäre Software ist weder frei noch halbfrei. Veränderungen oder

[47] Vgl. (Adams et. al., 2004)

Weiterverbreitung sind verboten oder verlangen, dass eine Erlaubnis dafür vorliegt. Diese ist aber oft so stark eingeschränkt, dass die Software nicht effektiv verändert oder verbreitet werden darf. Kommerzielle Software hingegen beschreibt Programme, die hauptsächlich dem Zweck dienen Geld zu erwirtschaften, sei es mit der Software an sich oder mit Supportverträgen. Auch freie Software kann zu kommerziellen Zwecken verwendet werden
Open Source bzw. freie Software (OS/FS) entsteht durch das Engagement vieler verschiedener Personen, die in der Regel kein Entgelt dafür erhalten. Einzig das Bestreben nach der Findung einer informationstechnischen Lösung für ein bestimmtes Problem ist der Antrieb dieser Gemeinschaft. Das führt dazu, dass die Software in erster Linie weniger bzw. gar nichts kostet. Es gibt Studien, die zeigen, dass ein solches, eher untypisches Verhalten (im Sinne der freien Marktwirtschaft) durchaus erklärt werden kann. Einer Umfrage bei Software Entwicklern zufolge sind die maßgeblichen Gründe der Aufbau von Know-How und Reputation, erst nachrangig werden altruistische Motive genannt. Zu beachten ist allerdings, auch wenn für die Software an sich kein Geld verlangt wird, ist das bei ergänzenden Dienstleistungen, wie die Zusammenstellung von mehreren Komponenten oder Supportdiensten, durchaus möglich.[48]

[48] Vgl. (Adams et. al., 2004)

4. Greifswald als Modellregion

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über das eigentliche Untersuchungsgebiet. Es wird versucht alle, für das Verständnis der späteren Analyse notwendigen, Fakten so aufzubereiten, dass sie inhaltlich kurz gefasst und verständlich sind.

4.1 Rahmendaten

Greifswald liegt zwischen den Inseln Rügen und Usedom an der Mündung des Flusses Ryck in die Dänische Wieck, eine Bucht des Greifswalder Boddens. Genauer gesagt bei 13°22‘47‘‘ östlicher Länge und 54°05‘46‘‘ nördlicher Breite.

4.1.1 Lage

Abbildung 6[Übersichtskarte; eigene Darstellung; Quelle: SRTM, SWBD, ehem. Landesvermessungsverw., DCW]

Das Gebiet um Greifswald lässt sich physisch geographisch als flache Grundmoränen-landschaft des Jungpleistozäns bezeichnen. Es werden kaum Erhöhungen von mehr als 20 m über NN erreicht. Die höchsten Erhebungen befinden sich im Süden des Stadtgebietes. Als Beispiele seien, der im Naturschutzgebiet Eldena gelegene, Ebertberg (29,5m), der Studentenberg (27,2 m), der Martensberg (24,7m) und der Helmshäger Berg (24,3m) genannt. Die höchsten Erhebungen nördlich des Ryck sind – neben den 10 bis 11 m hohen Hügeln der ehemaligen Mülldeponie, der Dornberg (4,4 m ü. NN) und der Silberberg (4,3 m ü. NN). Innerhalb des bebauten Stadtgebietes ragen der Gorzberg (9,4 m ü. NN) und der Epistelberg (8,4 m ü. NN) am höchsten auf.

Ebenfalls zu Greifswald gehören die, außerhalb des geschlossenen Stadtgebietes gelegenen, vorgelagerten Inseln Koos und Riems sowie ein Teil des, dem Riems gegenüberliegenden Festlandes.[49]

[49] www.wikipedia.de (eingesehen am 14.01.09)

4.1.2 Klima

Greifswald liegt im geographischen Mittelpunkt der Region Vorpommerns[50]. Dieses Gebiet wird durch die gemäßigte Zone und die außertropische Westwindzone mit ihren ostwärts wandernden Tiefdruckgebieten bestimmt. Hinzu kommt die unmittelbare Speicherwirkung der Ostsee welche dazu führt, dass in Greifswald ein kühles Frühjahr und ein relativ warmer Herbst zu verzeichnen sind. Die Tabelle 1 soll diesen Umstand verdeutlichen. Dargestellt sind die Monatsmitteltemperaturen für das Jahr 2007 und im langjährigen Mittel. Es ergibt sich für die Stadt Greifswald eine Gradtagszahl von 3131 (in der Tabelle rot dargestellt). Die Gradtagszahl ist das Produkt aus der Anzahl der Heiztage pro Jahr und dem Unterschied zwischen der mittlere Raumtemperatur (hier 18°C) und der mittleren Außentemperatur (hier 12°C). Wobei ein Heiztag als Tag mit einer mittleren Temperatur unter 12 °C (Heizgrenztemperatur) definiert ist. Die Berechnung erfolgt auf Grundlage der DIN 2067. Diese Werte werden für die spätere Berechnung des Wärmebedarfs benötigt und dienen der Berücksichtigung des Einflusses der spezifischen klimatischen Bedingungen am jeweiligen Standort.

Tabelle 1[Gradtagszahl - Greifswald; Berechnungen nach IWU mit Werten des DWD]

	2007				langjähriges Mittel			
	Gradtagszahl G18/12 [Kd]	Heiztage [d]	Außen-temperatur [°C]	Außentemp. an Heiztagen [°C]	Gradtagszahl G18/12 [Kd]	Heiztage [d]	Außen-temperatur [°C]	Außentemp. an Heiztagen [°C]
Januar	389	30	5,3	5,0	540	31	0,6	0,6
Februar	437	28	2,4	2,4	484	28	0,8	0,8
März	352	31	6,6	6,6	448	31	3,5	3,5
April	240	25	9,4	8,4	310	27	7,3	6,5
Mai	82	11	13,8	10,5	133	16	12,1	9,4
Juni	6	1	17,1	11,6	21	3	15,4	11,1
Juli	0	0	17,6		0	0	17,5	11,8
August	0	0	17,7		2	0	17,3	11,4
September	34	5	13,5	11,1	54	7	13,7	10,5
Oktober	263	28	9,0	8,6	233	24	9,4	8,1
November	401	30	4,6	4,6	400	30	4,6	4,5
Dezember	459	31	3,2	3,2	506	31	1,7	1,7
	2662	220	10,1	5,9	3131	227	8,7	4,2

4.1.3 Wirtschaft

Die ökonomische Entwicklung der Hansestadt Greifswald ist durch einen stetigen Anstieg von Gewerbe-anmeldungen geprägt. Die Aufteilung auf die verschiedenen Wirtschaftszweige zeigt die nebenstehende Abbildung. Es handelt es sich hier nur um absolute Zahlen. Rückschlüsse auf die wirtschaftliche Bedeutung der Betriebe

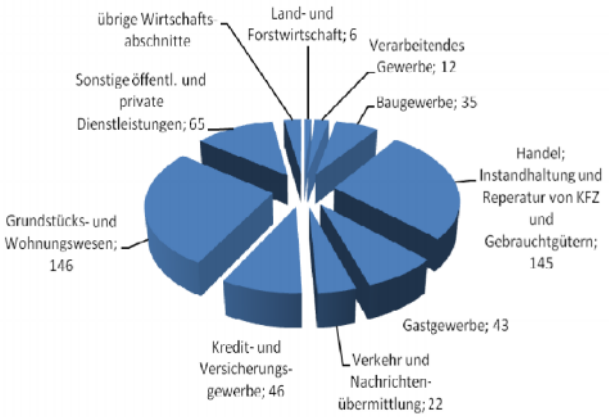


Abbildung 7[Gewerbetreibende in Greifswald; eigene Darstellung; Quelle: (Mutke, 2005)]

[50] Vgl. (Mutke, 2005)

können so nicht gezogen werden. Es zeigt sich aber, dass die Stadt Greifswald ein sehr breites Spektrum an Branchen vorzuweisen hat. Das gilt insbesondere für den hohen Anteil an Dienstleistungsunternehmen. Gleichzeitig sticht aber auch der geringe Anteil des verarbeitenden Gewerbes heraus.

4.1.4 Bevölkerung

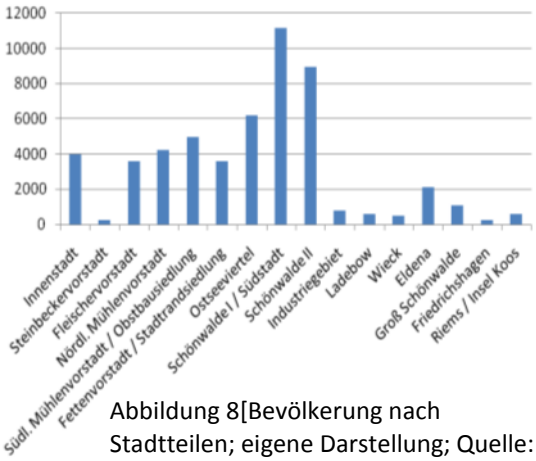


Abbildung 8[Bevölkerung nach Stadtteilen; eigene Darstellung; Quelle: Statistische Jahreszahlen Greifswald 2005]

Die Stadt ist in 16 verschiedene Stadtteile gegliedert mit insgesamt 53283 Einwohnern[51] auf 50 km² Fläche. Das entspricht einer Bevölkerungsdichte von etwa 1055 Einwohnern pro km². Das Durchschnittsalter beträgt etwa 41,5 Jahre maßgeblich beeinflusst durch die Bevölkerungsgruppe der Studenten und Auszubildenden. In den letzten Jahren entwickelte sich der Bevölkerungssaldo insgesamt positiv. Schon jetzt werden die Prognosen des Statistischen Landesamtes für das Jahr 2020 übertroffen[52]. Da sich die vorliegende Arbeit explizit mit dem Stadtgebiet beschäftigt, soll etwas genauer auf die innere Gliederung

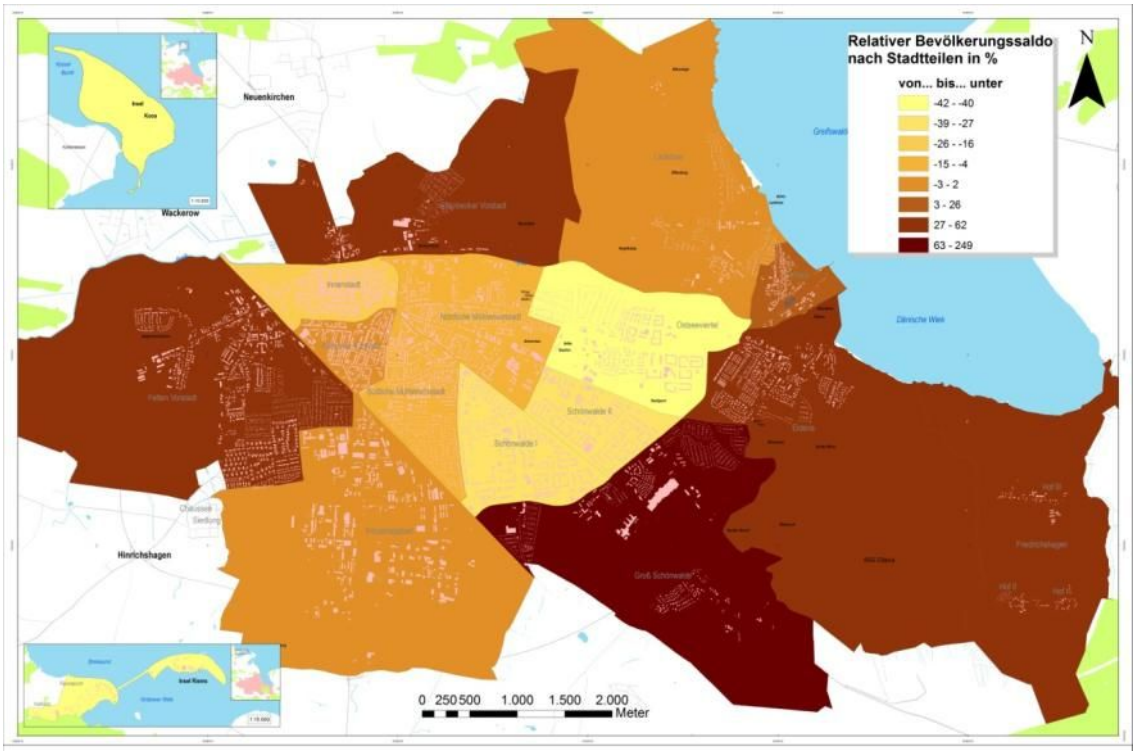


Abbildung 9[Relativer Bevölkerungssaldo nach Stadtteilen 2005 (1992 = 100%), eigene Darstellung; Quelle: Statistische Jahreszahlen Greifswald 2005; digitale Stadtgrundkarte - Greifswald]

[51] Stand: 3. Quartal 2008

[52] Prognosen sind auf der Homepage des Rostocker Zentrums zur Erforschung des demographischen Wandels abrufbar

eingegangen werden. Abbildung 8 zeigt, wie sich die Einwohnerzahl auf die einzelnen Stadtgebiete verteilt. Abbildung 9 verdeutlicht deren relativen Bevölkerungssaldo. Die Stadtteile Schönwalde I, Schönwalde II und das Ostseeviertel beherbergen den Großteil der Bevölkerung, verzeichnen aber auch die höchsten Verluste. Die Kartendarstellung zeigt deutliche Zuwächse in den Randbereichen der Stadt. Insbesondere der Stadtteil Groß Schönwalde liegt mit einem Spitzenwert von 249 % weit vorn.

4.1.5 Bau- und Wohnungswesen

In Greifswald existieren aktuell etwas mehr als 6000 Wohngebäude[53] und etwa die gleiche Anzahl an Nichtwohngebäuden. Jedes Jahr werden durchschnittlich 350 Baugenehmigungen jeglicher Art erteilt.

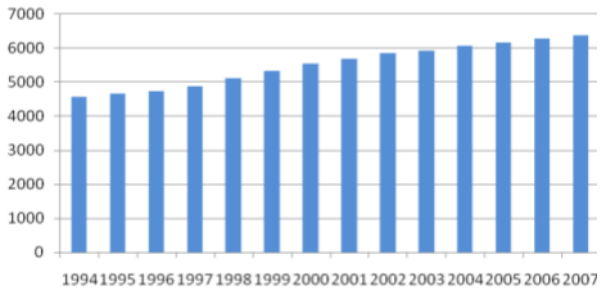


Abbildung10[Anzahl der Wohngebäude 1994 – 2007; Quelle: Statistische Jahreszahlen Greifswald; eigene Darstellung]

Dem gegenüber steht eine verschwindend geringe Anzahl an Abbrüchen.[54] In Abbildung 10 ist deutlich ein kontinuierlicher Anstieg der Gebäudeanzahl zu erkennen, dieser zeugt von einer regen Bautätigkeit. Ein Großteil der Gebäude von Greifswald gehört den Wohnungsbaugenossenschaften WVG und WGG. Die nächstgrößeren Eigentümer sind die Universität Greifswald, das Land Mecklenburg-Vorpommern und die Stadt Greifswald. Der Rest kann sonstigen privaten Eigentümern zugeordnet werden.

4.2 Wärmeversorgung

In Kapitel 2 wurden die einzelnen Möglichkeiten der Wärmebereitstellung eingehend erläutert, doch wie verhält es sich in Greifswald ganz genau?

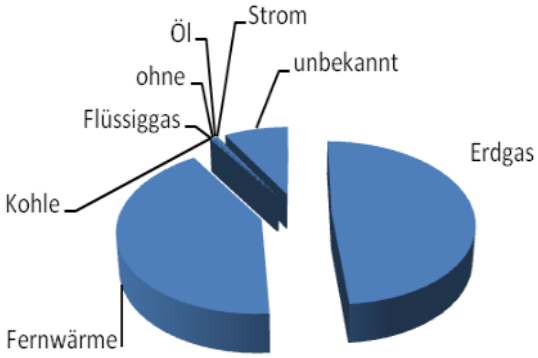


Abbildung11[Anteil der Heizungsarten in Greifswald; eigene Darstellung; Quelle: Stadtwerke Greifswald GmbH]

Die Stadt wird zum größten Teil von der Stadtwerke Greifswald GmbH mit Energie versorgt. Eine Besonderheit ist der hohe Grad an leitungsgebundener Versorgung. Über 80% der Gebäude werden so versorgt. Die nebenstehende Abbildung zeigt eine deutliche Dominanz von Erdgas und Fernwärme. Wobei hier ein noch weitaus geringerer Wert bei der Fernwärme suggeriert wird. Der Grund dafür liegt darin, dass nur die Anzahl der Hausanschlussstationen in das Diagramm mit

[53] Vgl. Statistische Jahreszahlen Greifswald / Stadtbauamt Greifswald
[54] Vgl. Statistische Jahreszahlen Greifswald (2005)

eingeflossen ist. Einer Anschlussstation können aber in diversen Fällen mehrere Gebäude zugeordnet werden.
Aufgrund der beträchtlichen Investitionskosten, dem hohen Sanierungsgrad des Fernwärmenetzes und dessen bereits angesprochenen Potentialen bei der effizienten und damit klimafreundlichen Energieversorgung, soll der Schwerpunkt auf der Betrachtung dieses Versorgungsnetzes liegen.

In den Kraftwerken der Fernwärme Greifswald wird Wärme und Strom durch Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt. Als Brennstoff wird zu 99% Erdgas eingesetzt. Für die Erzeugung von Fernwärme und Strom sorgt ein Heizkraftwerk mit einer Gasturbinenanlage und Abhitzekessel sowie 3 Blockheizkraftwerke mit Verbrennungsmotorenanlagen.[55]

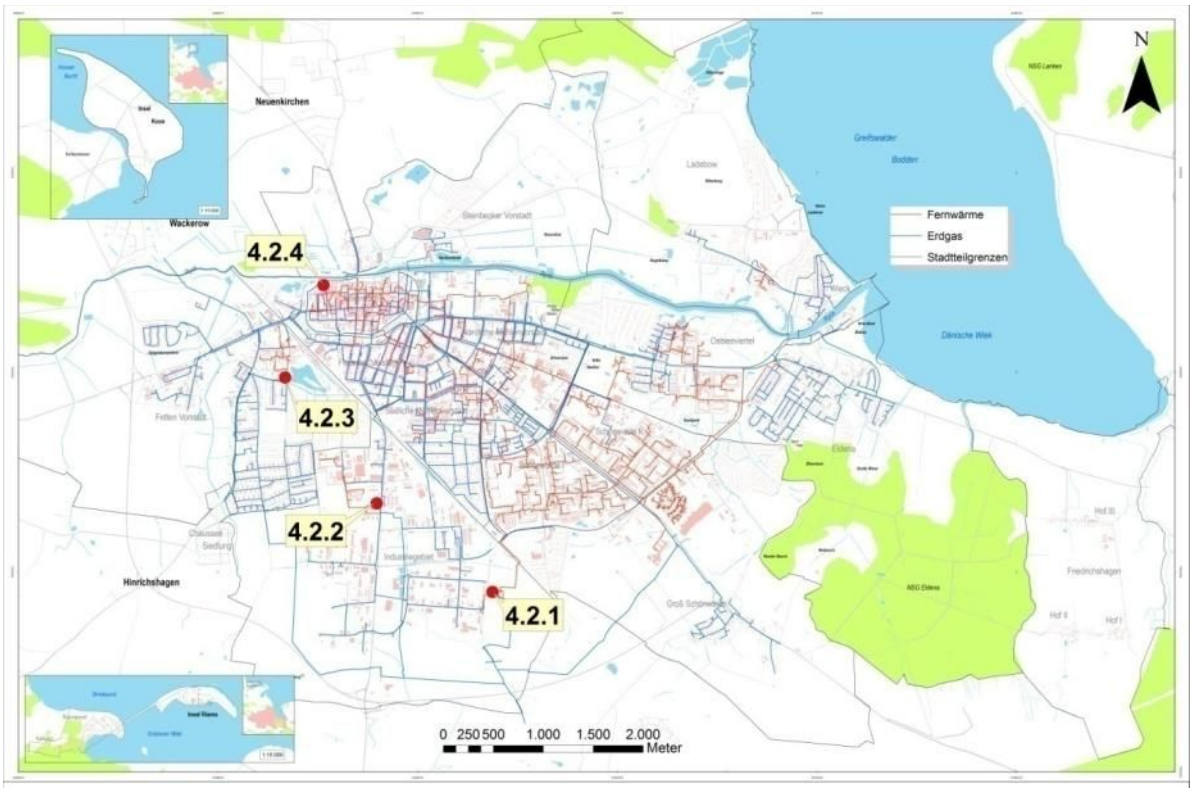


Abbildung 12[Versorgungsnetze; eigene Darstellung; Quelle: Digitale Stadtgrundkarte Greifswald / Stadtwerke Greifswald GmbH]

4.2.1 Das Heizkraftwerk "Helmshäger Berg“

Das HKW-„Helmshäger Berg“ ist der größte Wärme- und Stromerzeuger in Greifswald und versorgt die Wohngebiete in Schönwalde I und II, im Ostseeviertel Ryck- und Parkseite sowie die Mühlen- und Fleischervorstadt. Es hat eine Gesamtleistung von 125,0 MW (thermisch) und 13,8 MW (elektrisch). Es sind fünf Heißwasser-Erzeuger mit einer thermischen Leistung von je 19,4 MW drei Gasturbinen mit einer elektrischen Leistung von je 4,6 MW, drei Abhitze-Kessel mit einer thermischen Leistung von je 9,35 MW, Wärmespeicheranlage und

[55] www.sw-greifswald.de (eingesehen am 12.12.08)

fünf Speicherbehälter mit je 200 m³ Öltank installiert. Für die Elektroenergieerzeugung wird das Kraft-Wärme-Kopplungsverfahren verwendet und es kommt Erdgas (max. 5% Heizöl) als Brennstoff zum Einsatz.

4.2.2 BHKW – „Siemensallee“

Dieser Nahwärmeerzeuger funktioniert im Inselbetrieb. D.h. er ist nicht über Fernwärmeleitungen mit dem restlichen Netz verbunden. Die Anlage sichert so die Wärmeversorgung über ein eigenes Nahwärmenetz im Bereich der Brandteichstraße. Die Gesamtleistung beträgt 11,3 MW (thermisch) und 1,06 MW (elektrisch). Es sind zwei Kessel mit einer thermischen Leistung von je 4,9 MW, ein BHKW-Modul mit einer elektrischen Leistung von je 1,06 MW und einer thermischen Leistung von je 1,53 MW und eine Wärme-Speicheranlage mit zwei Speicherbehältern mit je 10 m³ installiert.

4.2.3 Greifswalder „Thermo - Insel“

Die Thermo-Insel ist ebenfalls ein Nahwärmeerzeuger im Inselbetrieb. Die Anlage sichert die Wärmeversorgung im Bereich der Fettenvorstadt. Die Gesamtleistung beträgt 5,7 MW (thermisch) und 0,66 MW (elektrisch). Hier sind als Hauptaggregate ein Heißwasser-Erzeuger mit einer thermischen Leistung von 4.100 kW, ein BHKW-Modul mit einer elektrischen Leistung von 660 kW und einer thermischen Leistung von 1.0171 kW und eine Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von insgesamt 585 kW installiert. Die Elektroenergie wird mittels Kraft-Wärme-Kopplungsverfahren erzeugt und als Brennstoff kommt Erdgas für den Heizwassererzeuger und das BHKW-Modul zum Einsatz.

4.2.4 BHKW "Altstadt"

Das Blockheizkraftwerk in der Kapaunenstraße ist der Wärme- und Stromerzeuger im Herzen der Stadt und Nahwärmeerzeuger zur Versorgung der Innenstadt und der nördlichen Fleischervorstadt. Es hat eine Gesamtleistung von 26,7 MW (thermisch) und 4,65 MW (elektrisch). Als Hauptaggregate sind zwei Heißwasser-Erzeuger mit einer thermischen Leistung von je 10,5 MW, drei BHKW - Module mit einer elektrischen Leistung von je 1,55 MW und einer thermischen Leistung von je 1,914 MW und eine Wärme Speicheranlage mit zwei Speicherbehältern á 10 m³ installiert. Zur Elektroenergieerzeugung wird das Kraft-Wärme-Kopplungsverfahren unter Einsatz von Erdgas als Brennstoff angewendet.

5 Datenbasis und Methodik

Der Großteil der Arbeit konzentriert sich, ausgehend von einem sogenannten Bottom-up[56] Ansatz, auf die Erstellung einer Gebäudedatenbank. Durch diese wird eine detaillierte Darstellung und Analyse des Wärmebedarfs einer ganzen Stadt im Grunde genommen erst ermöglicht. Dieses Kapitel soll Antworten auf folgende Fragen liefern. Wie lässt sich der Wärmebedarf einzelner Gebäude und vor allem großer Gebäudebestände ermitteln? Welche Anforderungen stellen sich somit an die Datenbasis? Wie lassen sich die nötigen Daten beschaffen? Wie lassen sich diese weiter verarbeiten und letztendlich visualisieren? Welche Software und anderen Hilfsmittel können oder müssen verwendet werden?[57]

5.1 Ermittlung des Wärmebedarfs

Es ist zunächst einmal zu klären, wie der Wärmebedarf eines einzelnen Gebäudes bestimmt werden kann. Dazu wird zwischen Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden unterschieden. In einem weiteren Schritt gilt es den Wärmebedarf räumlich aufgelöst, für eine Vielzahl von Gebäuden zu bestimmbar zu machen.

5.1.1 Ermittlung des Wärmebedarfs von Gebäuden

Um den Bedarf an Raumwärme eines Gebäudes zu ermitteln, ist es sinnvoll ein Bilanzverfahren anzuwenden. D.h. in diesem Fall werden Wärmeverluste und Wärmegewinne miteinander verrechnet. Ein entstehendes Ungleichgewicht kann oder muss dann durch einen entsprechenden Energieaufwand (der eigentliche Wärmebedarf) kompensiert werden.
Verluste entstehen durch Transmission von Wärme durch die Gebäudehülle. Sie werden wesentlich durch deren Aufbau beeinflusst. Das Lüftungsverhalten der Bewohner eines Gebäudes trägt ebenfalls zu Verlust von Raumwärme bei. Dem gegenüber stehen Wärmegewinne durch solare Einstrahlung sowie durch innere Quellen. Zu den inneren Quellen zählt die Köperwärme der Bewohner eines Hauses ebenso wie die Abwärme zahlreicher Elektrogeräte wie Kühlschrank, Toaster, oder Fernseher etc.
Dieses Bilanzierungsverfahren ist die Grundlage gesetzlicher Richtlinien und Verordnungen zur Wärmebedarfsermittlung von Gebäuden zum Zwecke der energetischen Optimierung von Bauvorhaben.[58] Die Berechnungen und Abschätzungen, die in der vorliegenden Arbeit gemacht werden, basieren auf dieser Grundlage und richten sich daher in den Grundzügen nach den Vorgaben der Energie Einsparverordnung 2007[59], kurz ENEV-2007.

[56] Vom Kleinen zum Großen
[57] Eine tabellarische Gesamtschau/Dokumentation der einzelnen Arbeitsschritte befindet sich auf der DVD, siehe „Tools/Dokumentation der einzelnen Arbeitsschritte.xls“
[58] Siehe Kapitel 2.3.2
[59] Die nächste Aktualisierung ist für Mitte 2009 vorgesehen

Die folgenden Darstellungen sind keine vollständige Zusammenschau der vielen Details und Möglichkeiten, die der Gesetzgeber in diesem Zuge bereit gestellt hat, vielmehr soll eine grobe Übersicht über die wesentlichen Bestandteile, aus denen sich der Wärmebedarf eines Gebäudes nach der ENEV 2007 zusammensetzt, gegeben werden. Außerdem wird aufgezeigt, dass viele der benötigten Parameter pauschalisiert werden können und so auch stark vereinfachte Berechnungsverfahren in der Lage sind, belastbare Werte zu liefern.

Anmerkung

Unter dem Begriff der Primärenergie werden die Energiegehalte, der in der Natur vorkommenden Energieträger zusammengefasst, die zum Zweck der anthropogenen Energieumwandlung eingesetzt werden. Durch die Umwandlung der Primärenergie in eine normgerechte Form entsteht Sekundärenergie. Am Ort des Verbrauchs steht somit Endenergie zur Verfügung. Wenn diese Endenergie Ziel einer Nutzung ist, wie zum Beispiel der Umwandlung in einer Heizungsanlage zu Raumwärme, so wird der Begriff Nutzenergie verwendet.

Die Berechnungen der vorliegenden Arbeit beziehen sich ausschließlich auf die Nutzenergie. Ist die Art der Heizungsanlage bekannt (siehe 5.2.10), kann auch der Endenergiebedarf berechnet werden

Wohngebäude

Bei der Ermittlung des Wärmebedarfs von einzelnen Wohngebäuden können allgemeine Daten zum Gebäude an sich und Angaben über die Gebäudehülle zur Berechnung einer Energiekennzahl herangezogen werden. Der so zu errechnende Energiebedarf gibt den Primärenergiebedarf des Gebäudes [Qp] wieder. Dabei wird der Primärenergiebedarf der durch die Wärmeverluste eines Gebäudes entsteht und der Primärenergiebedarf der verbauten Heizanlagentechnik in der Regel einzeln berechnet. Letzterer wird auf den Zeitraum eines Jahres bestimmt und, bezogen auf die Gebäudenutzfläche, in [KWh/m^2a] angegeben. Der Transmissionswärmeverlust berechnet sich in Bezug auf die Umfassungsfläche[60] in[$W/(m^2K)$].

Das beheizte Gebäudevolumen [Ve] der wärmeübertragenden Umfassungsflächen wird zur Ermittlung der Gebäudenutzfläche herangezogen. [$An = 0{,}32 \square Ve$]

Der Primärenergiebedarf setzt sich so aus einer Anlagenaufwandszahl [eP] nach DIN 4701 und dem Jahresheizwärmebedarf [Qh] einschließlich eines Zuschlages für Warmwasser [Qw] zusammen. [$QP = eP\,(Qh + Qw)$]

Als Nutzwärmebedarf für die Warmwasserbereitung [Qw] im Sinne der DIN V 4701 können 12,5 kWh/a angesetzt werden. Dieser Wert wird vorerst nicht verwendet. Es erscheint sinnvoller die vorliegenden Daten über die Bevölkerungsdichte von Greifswald für den Bedarf an Warmwasser heranzuziehen.

[Qh] ist der Heizwärmebedarf und stellt den rechnerisch ermittelten Wärmeeintrag über ein Heizsystem, der zur Aufrechterhaltung einer bestimmten mittleren Raumtemperatur in

[60] Äußere Begrenzung des beheizten Gebäudes bzw. der beheizten Zone

einem Gebäude oder einer Zone des Gebäudes benötigt wird, dar. Dieser Wert wird auch als Netto-Heizenergie - Bedarf bezeichnet[61] und berechnet sich folgendermaßen:

$$[Qh = Gradtagszahl \cdot (Ht + Hv) - 0{,}95\,(Qs + Qi)\,]$$

Die Gradtagszahl ergibt sich nach DIN V 4108 und wurde in Kapitel 4.1.2 bereits für Greifswald festgelegt. Der Wert 0,95 steht für den Ausnutzungsgrad solarer und interner Gewinne ebenfalls nach DIN V 4108. $[Ht]$ steht für den spezifischen Transmissionswärmeverlust und $[Hv]$ gibt den spezifischen Lüftungswärmeverlust wieder. Die Formel für den Transmissionswärmeverlust ist$[Ht \sum (Fxi \cdot Ui \cdot Ai) + A\,\Delta Uwb\,]$.

$[Fxi]$ ist ein Temperaturkorrekturfaktor. $[Ui]$ steht für den Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile des Gebäudes, den sogenannten U – Werten. Die Berechnung dieser erfolgt nach DIN EN ISO 10077 oder nach DIN EN ISO 6946[62], kann aber auch technischen Produktspezifikationen entnommen werden bzw. aus gesicherten Erfahrungswerten für Bauteile bestehen. Zur Berücksichtigung von Wärmebrücken wird pauschal der Wärmebrückenzuschlag $[Uwb]$ von 0,1 W/(m²K) auf die gesamte thermische Hülle $[A]$ summiert. Zur Einbeziehung der Luftdichtigkeit eines Gebäudes wird der spezifische Lüftungswärmeverlust $[Hv]$ bei offensichtlichen Undichtheiten mit $[HV = 0{,}27\,Ve]$ berücksichtigt. Ansonsten gilt: ohne Luftdichtigkeitsprüfung $[Hv = 0{,}19 \cdot Ve]$ und mit Luftdichtigkeitsprüfung $[Hv = 0{,}163\,Ve]$.

Die Solaren Gewinne $[Qs]$ werden als Summe der einzelnen Außenwände nach ihrer Orientierung zur Himmelsrichtung gerechnet$[Qs = \sum(Is)j, Hp \sum 0{,}567 \cdot gi \cdot Ai]$.

$[IS]$ und $[Hp]$ stehen für die solare Einstrahlung in der Heizperiode je Himmelsrichtung [j]. Die Werte für den Gesamtenergiedurchlassgrad $[gi]$ für senkrechte Einstrahlung können ebenfalls technischen Produkt-Spezifikationen entnommen werden.[63]

Nichtwohngebäude

Die Definition für Nichtwohngebäude ist im § 2 des Referentenentwurfs zur EnEV 2007 im Abs. 2 festgeschrieben. Da heißt es: „Nichtwohngebäude sind Gebäude die gemäß Ihrer Zweckbestimmung nicht überwiegend zum Wohnen dienen. Wohn-, Alten-, und Pflegeheime oder ähnliche Einrichtungen werden als Wohngebäude eingestuft.“

Die Grundlage für die Berechnung bzw. Energiebilanzierung bildet der § 4 Abs. 3 des Referentenentwurfs zur EnEV 2006. Der Referentenentwurf bezieht sich bei der Beschreibung des Rechenverfahrens auf die DIN V 18599, die neben den bisher betrachteten Einflussgrößen bei Wohngebäuden (Gebäudehülle, Heizung, Warmwasser und Lüftung) auch die Einflussgrößen Beleuchtung und Klimatisierung (einschließlich Kühlung und Befeuchtung) umfasst. In § 4 wird festgelegt, dass der Jahres- Primärenergiebedarf für Heizung, Kühlung, eingebaute Beleuchtung, Warmwasserbereitung und Lüftung einen bestimmten Höchstwert nicht überschreiten darf. Anders als bei Wohngebäuden muss der Höchstwert bei Nichtwohngebäuden anhand eines Referenzgebäudes berechnet werden. Beim Referenzgebäude werden die energetische Qualität der Gebäudehülle und die

[61] DIN 4108-6
[62] Sonstige Bauteile
[63] Vgl. (Weglage et. al., 2008)

verschiedenen Anlagenkomponenten für ein baugleiches Gebäude festgelegt. Daraus ergibt sich, dass jedes Gebäude sein eigenes Referenzgebäude hat.
Der Begriff des Transmissionswärmeverlustes beschreibt im winterlichen Fall den Wärmeverlust von innen nach außen. Da bei nicht Wohngebäuden in der Regel aber Klimaanlagen eingebaut wurden, die das Gebäude im Sommer innen herunter kühlen, kann hier nicht nur vom winterlichen Fall ausgegangen werden. Es muss ebenfalls der sommerliche Fall, ein Wärmestrom von außen nach innen, mit berücksichtigt werden. Diese Größe, die beide Fälle (winterlich und sommerlich) beschreibt, wird als Transmissionswärmetransferkoeffizient bezeichnet. Die Höchstwerte sind im Anhang 2, Tabelle 2 des Referentenentwurfs zur EnEV 2007 angegeben.[64]
Auf den genauen Ablauf des Gebäudereferenzverfahrens soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden. Die Berechnungen folgen ähnlichen Prinzipien, wie bei Wohngebäuden und sind im Anhang 2 des Referentenentwurfs zur EnEV 2006 genau beschrieben. Einzig die Heterogenität der verschiedenen Nutzungen führt zu einer weit größeren Anzahl von Parametern. Wie sich noch herausstellen wird, ist die Datenlage für große Bestände bei Nichtwohngebäuden meist sehr beschränkt. Was wiederum nur durch eine weitere Pauschalisierung des Berechnungsverfahrens kompensiert werden kann.

5.1.2 Ermittlung des Wärmebedarf großer Gebäudebestände

Für die Bestimmung des Wärmebedarfes eines ganzen Versorgungs- bzw. Einzugsgebietes existieren verschiedene Methoden. Ihre Anwendung ist hauptsächlich von der gegebenen Baustruktur und der jeweils zu beantwortenden Fragestellung abhängig. Die wichtigsten Methoden werden nachfolgend aufgelistet und beschrieben.[65]

Gebäudedatenmethode
Bei der Gebäudedatenmethode wird der Wärmebedarf gebäudescharf bestimmt. D.h. für jedes einzelne Gebäude innerhalb eines Bestandes wird der Wärmebedarf ermittelt. Datenquellen hierfür können Daten der Gebäude- und Wohnungszählung, Hebedaten der Energieversorgungsunternehmen sowie Emissions- und Schornsteinfegerdaten sein.
Der Wärmebedarf kann dann nach den aktuellen gesetzlichen Vorgaben ermittelt werden. Dieses Verfahren erfordert einen sehr hohen Erhebungs- und Berechnungsaufwand.

Gebäudetypmethode
Ziel der Gebäudetypmethode ist ebenfalls eine gebäudescharfe Wärmebedarfsermittlung auf der Grundlage einer Gebäudedatei. Jedoch werden hier lediglich Informationen über die Gebäudegrundfläche und die Zahl der Geschosse bzw. Gebäudevolumen gesammelt und der Wärmebedarf aufgrund von Zuordnungen zu Gebäudetypen ermittelt. Der Erhebungs- und Bearbeitungsaufwand ist so weitaus geringer als bei der Gebäudedatenmethode.

[64] Vgl. (Weglage et. al., 2008)
[65] Vgl. (Roth, 1980)

Siedlungstypmethode
Bei der Siedlungstypmethode wird der Wärmebedarf nicht gebäudescharf, sondern für einzelne Siedlungsgebiete unterschiedlicher Größe ermittelt. Die einzelnen Siedlungstypen sind durch den Zeitpunkt des Baus und dem damit einhergehenden städtebaulichen Erscheinungsbild definiert. Der Zeitpunkt des Baus berücksichtigt, dass, aufgrund der über die Zeit veränderten baulichen Vorschriften, der Wärmebedarf der Gebäude abnimmt und aufgrund von sozialen und wirtschaftlichen Aspekten unterschiedliche Siedlungsstrukturen entstanden sind. Die Siedlungstypmethode fasst somit verschiedene Gebäudetypen in Abhängigkeit von deren Anzahl pro Quadratkilometer Siedlungsfläche und deren geographischen Verteilung entlang von Straßen zu einem Typ zusammen.[66]

Je nach Verwendungszweck und voraussichtlicher Datenlage bieten sich verschiedene Möglichkeiten an. Zur Berechnung der Greifswalder Bedarfswerte wird eine Art modifizierte Gebäudetypmethode verwendet. D.h. es wird versucht so viele Informationen wie möglich über den Gebäudebestand zu sammeln und diese zur Wärmebedarfsbestimmung, sowohl mit Hilfe einer Typologie als auch über die zuvor beschriebenen Berechnungsmethoden zu verarbeiten. Im weiteren Verlauf wird deshalb zum einen detaillierter auf die Anwendung einer Gebäudetypologie und zum anderen auf ein vereinfachtes Berechnungsverfahren, basierend auf den erwähnten Grundlagen der Energie - Einsparverordnung, eingegangen.

5.1.3 Anwendung einer Gebäudetypologie

Die Zuhilfenahme einer Gebäudetypologie ist eine effiziente Methode, den zu ermittelnden Datenbedarf auf ein Minimum zu reduzieren. Es kommen im Wesentlichen zwei Möglichkeiten in Betracht. Es kann eine eigens für Greifswald repräsentative oder eine bereits vorgefertigte Typologie verwendet werden. In der vorliegenden Arbeit wird eine bereits bestehende Typologie verwendet, da sich Typologien anderer Städte bzw. Bundesländer, unabhängig von ihrer geographischen Lage, nur unwesentlich voneinander und von der hier verwendeten unterscheiden[67]. Von daher erscheint die Erstellung einer separaten „Greifswalder Gebäudetypologie“ als nicht angemessen. Aus diesem Grund wird sich an der „Deutschen Gebäudetypologie“ des „Institut für Wohnen und Umwelt GmbH“ (IWU) aus Darmstadt orientiert.
Das IWU hat im Zeitraum von 1989 bis 1993 im Auftrag der Enquete-Kommission des deutschen Bundestages „Schutz der Erdatmosphäre“ das Energiesparpotential durch Wärmeschutzmaßnahmen für den deutschen Gebäudebestand bestimmt.[68] Zur Abbildung der energierelevanten Kriterien des Gebäudebestandes wurden Gebäudetypen gebildet, mit denen die baulich konstruktiven Merkmale des Bestandes an Wohngebäuden repräsentativ dargestellt werden konnten.

[66] Vgl. (Blesl, 2001)
[67] Vgl. Düsseldorf, Ulm, Bayern, Baden-Württemberg, Hessen, Augsburg
[68] Vgl. (IWU, 2003)

Ein Gebäudetyp wird durch die Kombination von Bauform des Gebäudes und zugeordneter Baualtersklasse gebildet. Für die Einschätzung des Raumwärmeeinsparpotentials sind bei jedem Gebäudetyp die Wärmeverluste durch die Außenwand, die Fenster, die Kellerdecke und das Dach bzw. die Dachdecke, jeweils mit Angabe zur Dimensionierung, zum Material und zur Dämmschicht der Bauteile angegeben.

Die Gebäudegeometrie, d. h. das Verhältnis zwischen Oberfläche zu Volumen, wurde durch die Einteilung der Gebäude in Bauformen berücksichtigt. Folgende Bauformen werden unterschieden: EFH = Einfamilienhaus oder Doppelhaushälften, RH = Reihenhaus,
MFH = kleines Mehrfamilienhaus, GMH = großes Mehrfamilienhaus, HH = Hochhaus bzw. Blockbau.
Des Weiteren wird der Gebäudebestand in Baualtersklassen eingeteilt. Wobei diese Einteilung nicht statistischen Merkmalen folgt, sondern sich einerseits an den Verfassungs- und Gebietsänderungen, andererseits an den Zeitpunkten orientiert, zu denen für den Wohnungsbau wichtige Rahmenrichtlinien (z. B. Inkrafttreten der Wärmeschutzverordnung) wirksam wurden. Hieraus ergeben sich folgende mögliche Baualtersklassen:
Baualtersklasse I entspricht den Gebäuden der Entstehungszeit bis 1918. Die Baualtersklasse II umfasst den Entstehungszeitraum 1919 - 1948.
Die Baualtersklasse III beinhaltet den Entstehungszeitraum 1949 - 1957. Der 50‘er Jahre Baustil ist geprägt durch nicht eingehaltenen Mindestanforderungen an den Wärmeschutz aus Gründen der Material- und Geldknappheit. Erst im Jahr 1956 wurde der Wärmeschutz durch die Änderung der DIN 4108 verbessert. So betrug z.B. die vorgeschriebene Mauerwandstärke von da an 17,5 cm statt 11,5 cm. Baualtersklasse IV reicht von 1958 - 1968. In den 60-er Jahren wurde die Mindestanforderung durch die DIN 4108 teilweise sogar übertroffen.
Baualtersklasse V entspricht dem Zeitraum von 1969 - 1977, dem Anwendungszeitraum der DIN 4108. Die Intention dieser Verordnung war es in erster Linie, Bauschäden infolge von Tauwasser, Frostschäden u. ä. zu verhindern, und nicht den Wärmebedarf im Sinne einer Wärmeschutzverordnung zu reduzieren. Vor allem die erste Ölkrise 1973 führte zu einem verbesserten Wärmeschutz bei den Gebäuden.
Baualtersklasse VI umspannt den Zeitraum von 1978 - 1983. Sie ist geprägt durch die Anforderungen der I. Wärmeschutzverordnung von 1977. Die Baualtersklasse VII, 1984 - 1994 ist durch die II. Wärmeschutzverordnung von 1982 vorgegeben, die zum 1.01.1984 in Kraft getreten ist.
Die Baualtersklasse VIII, 1995 bis heute ist geprägt durch die Wärmeschutzverordnung von 1995 und die Heizanlagenverordnung.[69]
Der Anspruch auf Repräsentativität der Gebäudetypen kann aus der Erfahrung abgeleitet werden, dass zu bestimmten Entstehungszeiten, also bei einheitlichen Baujahrgängen, für bestimmte Bauformen auch weitgehende Übereinstimmungen in der Konstruktionsart, der Dimensionierung der Bauelemente und Materialwahl festzustellen sind.[70]

[69] Vgl. (IWU, 2003)
[70] Vgl. (Blesl, 2001)

Wie bereits erwähnt, findet sich dieses Prinzip der Gebäudetypologie so oder in leicht abgewandelter Form in den verschiedensten Anwendungsfällen wieder. Besonders die Baualtersklassen erfahren immer wieder Modifikationen. Auch die vorliegende Thematik setzt eine gewisse Flexibilität, was das Baujahr angeht, voraus. So gilt es bei mehreren Datenquellen mit eventuell unterschiedlicher Altersklassifikation, rational begründete Angleichungen vorzunehmen.

5.1.4 Vereinfachtes Berechnungsverfahren

Beim vereinfachten Berechnungsverfahren sollen die bereits erläuterten Vorgaben der EnEV 2007 als Grundlage dienen. Da es vorerst unmöglich erscheint alle relevanten Merkmale im Gebäudebestand in Erfahrung zu bringen, wird für einen Großteil der Werte von einer Art Referenzgebäude ausgegangen. D.h. dass sich auf die, den Wärmebedarf wesentlich beeinflussenden Parameter (Baukonstruktion, Transmissionswärmeverluste, Lüftungswärmebedarf, interne Wärmegewinne, solare Wärmegewinne, Außentemperatur) konzentriert wird. Dem Lüftungswärmebedarf und den internen Wärmegewinnen werden pauschalisierte Werte zugeordnet. Außentemperatur und solare Gewinne können den klimatischen Bedingungen in Greifswald[71] angepasst werden und die Baukonstruktion lässt sich über die Grundfläche und die Geschosszahl der Gebäude definieren. Den Fenster, Tür und Dachflächen, welche ebenfalls zur Baukonstruktion zählen werden feste Anteilswerte zugeordnet. Für die Ermittlung der Transmissionswärmeverluste muss die Verwendung spezifischer Bauteile mit bekannten Wärmedurchgangskoeffizienten unterstellt werden. Diese werden für eine Einstufung des Sanierungsstandes in unsaniert, teilsaniert und vollsaniert jeweils angepasst. Die einzelnen Sanierungsstufen werden zudem wie folgt definiert:

unsaniert

Fenster, Fassade, Dach und Kellerdecke entsprechen den jeweiligen Anforderungen des Gebäudetyps und der Baualtersklasse (Die U-Werte können dem Berechnungstool auf der DVD entnommen werden).

teilsaniert

Fenster und Fassade werden nach dem derzeitigen Dämmstandard mit U-Werten von 0,8 – 1,3 W/m²K für Fenster und 0,15 W/m²K für die Fassade erneuert.

vollsaniert

Zusätzlich zum teilsanierten Zustand werden die Kellerdecke und das Dach nach dem derzeitigen Dämmstandard mit U-Werten von 0,2 W/m²K für das Dach und 0,06 W/m²K für die Kellerdecke erneuert.

Bei der Berechnung des Wärmebedarfes für jedes einzelne Gebäude einer ganzen Stadt, ist es zwingend nötig eine, zumindest teilautomatisierte Lösung zu finden.

[71] Siehe Kapitel 4

5.1.5 Sonstige Möglichkeiten insbes. für Nichtwohngebäude

Insbesondere bei den Nichtwohngebäuden kann bzw. muss wegen der unter Umständen schlechten Datenlage auf alternative Ermittlungsverfahren zurückgegriffen werden. Denkbar ist hier entweder ein aus der einschlägigen Literatur abgeleiteter Durchschnittswert, eine Siedlungs-typologische Vorgehensweise oder die Zuhilfenahme von gewerbespezifischen Bedarfswerten. Als Durchschnitt ließe sich ein Wert von 191 kWh/m²a ableiten[72].

Eine siedlungstypologische Übersicht gibt ROTH aufgeschlüsselt nach Bezugseinheiten. Für Gewerbespezifische Bedarfswerte wird ein genauer Kenntnisstand über die aktuelle Nutzung der Gebäude vorausgesetzt, er liefert aber dafür gebäudescharfe Ergebnisse.

Tabelle 2[Warmwasserbedarf für Gebäude mit Gewerblicher oder industrieller Nutzung; Quelle: (Blesl, 2001)]

Objekt	Bedarfsmenge [l/BE[1)]]	Brauchwasser-temperatur	Wärmemenge [kWh/ BE[1)]]	Bezugseinheit (BE)
Allg. Wohnungsbau	30-45	45 °C	2,6-4	Person und Tag
Einfamilienhäuser	45-60	45 °C	4-5,4	Person und Tag
Bäckerei Brauerei	100-150 250-300	45 °C 60 °C	4-6 14,5-17,5	Beschäftigter und Tag 100 l gebrautes Bier
Büros und Verwaltungsgebäude	10-40	45 °C	0,5-1,5	Beschäftigter und Tag
Metzgerei (ohne Produktion)	150-200	55 °C	6-8	Beschäftigter und Tag
Metzgerei (mit Produktion)	400-500	45 °C	21-26	Beschäftigter und Tag
Friseursalon Kantinenküchen	150-200 1,5-2,5	45 °C 55 °C	6-8 0,1-0,15	Beschäftigter und Tag Essenportion
Kasernen	30-50	45 °C	1-2	Person und Tag
Kaufhäuser Krankenhäuser	10-40 100-300	45 °C 60 °C	0,5-1,5 6-18	Beschäftigter und Tag Tag und Bett
Molkereien	1-1,5	75 °C	0,1-0,15	Liter Milch
Schlachthäuser Schulen (ohne Duschen)	4500-5000 5-15	60 °C 45 °C	260-290 0,2-0,6	Stunde Schüler und Tag
Schulen (mit Duschen)	30-50	45 °C	1-2	Schüler und Tag
Sportanlagen (mit Duschen)	50-70	40 °C	2-2,5	Sportler und Tag
Wäschereien	250-300	75 °C	19-23	100 kg Trockenwäsche

Für die Betrachtung des Warmwasserverbrauchs bietet sich die Bevölkerungszahl pro Gebäude bzw. Wohneinheit an. Diese Daten sind in der Regel, so auch in Greifswald, adressscharf und aus Gründen des Datenschutzes in anonymisierter Form[73] vorhanden.

Ein legitimer Wert sind 700 kWh pro Person und Jahr.[74] Das entspricht bei einfachen Ansprüchen 10 – 20 l/Tag und Person, bei mittleren Ansprüchen 20 – 40 l/Tag und Person und 40 – 80 l/Tag und Person bei höchsten Ansprüchen[75]. Die PROGNOS AG rechnet zur Bestimmung des bundesweiten Wärmebedarfs mit mittleren Verbräuchen, die gut mit diesen Werten korrespondieren, für Wohnungen mit zentraler Wassererhitzung werden hier 38-43 l/Tag und Person und für Wohnungen mit dezentraler Wassererhitzung 33-34 l/Tag und Person angesetzt.

5.2 Datenbasis

Wie sich bisher herausgestellt hat bedarf es zur genauen Berechnung des Wärmebedarfs nach den geltenden rechtlichen Vorgaben einer komplexen Datenlage. Gleichzeitig konnte gezeigt werden, dass es Mittel gibt die Datenflut zu reduzieren. Der folgende Abschnitt zeigt wie und wo die, für die beschriebenen Methoden, nötigen Parameter zu finden sind.

[72] Vgl. (Diefenbach, 2007)
[73] Werte kleiner als 3 Einwohner pro Adresse werden nicht abgebildet
[74] Vgl. Recknagel/Ladener/Lindner in (Lutsch, et al., 2004)
[75] Vgl. IHLGB Gebäudetypologie

Anfänglich wurde davon ausgegangen, dass die Daten über den Wärmebedarf der Stadt in hinreichender Genauigkeit bei den Energieversorgungsunternehmen zur Verfügung stehen. Im Laufe der Diplomarbeit hat sich aber gezeigt, dass das nicht der Fall ist. Auch bei den zuständigen Baubehörden liegt ein derartiger Bestand an Daten nicht direkt vor.[76] Es müssen also Alternativen gefunden werden, die notwendigen Informationen zu beschaffen.
Eine Befragung der einzelnen Hausbesitzer ist als nicht praktikabel anzusehen. Das ist zum einen darin begründet, dass eine persönliche Befragung allein schon wegen des hohen Zeitaufwandes nicht in Frage käme. Bei einer Befragung mittels Briefzustellung ist die Rücklaufquote, aus Erfahrung, bei etwa 50% anzusetzen und damit für diese Fragestellung nicht ausreicht. Und eine telefonische Ermittlung der Daten wäre mit Kosten verbunden, die im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht aufgebracht werden konnten. Zumal es wahrscheinlich ist, dass benötigte Informationen zu diesem Thema in der heutigen Zeit digital vorhanden sind. Folglich gilt es zu klären, an welcher Stelle und in welcher Form diese vorliegen. Der Form kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Sie entscheidet über die Machbarkeit und den Arbeitsaufwand bei der späteren Zusammenführung. Außerdem bestimmt sie so die zu verwendenden Hilfsmittel für die Bearbeitung.
Bei der Sammlung der Daten wurden diverse Stellen bzw. Personen kontaktiert. So wurde zwangläufig an jede Datenbeschaffung eine Art Expertengespräch geknüpft. Viele Hintergrundinformationen konnten so mit in die Arbeit einfließen und zu einer größtmöglichen Aktualität und Realitätsnähe der Datenbasis beitragen.

5.2.1 Anschlussdaten der Energieversorgungsunternehmen

Der Energieversorger ist gesetzlich dazu verpflichtet die Anschlussleistung an den Wärmebedarf, der der jeweiligen Anschlussstation zukommt, anzupassen. Gegebenenfalls nach einem vereinfachten Verfahren[77]. So liegen für die Anschlussstationen teilweise geschätzte oder auf Erfahrung basierende Wärmebedarfswerte vor. Nach Aussage von Herrn Blank (Prokurist) und Herrn Tulke (Technischer Mitarbeiter) der Stadtwerke Greifswald GmbH wurde vor wenigen Jahren eine, der Fragestellung der vorliegenden Arbeit ähnliche, Untersuchung auf Basis einer Kartierung durchgeführt, vor dem Hintergrund noch vorhandene Potentiale für die Fernwärme im Bestand zu identifizieren. Somit liegt bei den Stadtwerken ein Datensatz vor, der sogar in einem GIS/CAD vorgehalten wird. Es handelt sich dabei um Punktdaten[78] der Anschlussstationen von insgesamt 1994 Objekten mit der dazugehörigen Adresse, der Anschlussleistung in KW (dieser Wert muss für die Darstellung in KWH/a mit den Vollbenutzungsstunden[79] multipliziert werden), dem Sanierungsstand und der Heizungsart. Leider liegen die Daten in dem Sinne, nicht gebäudescharf vor. Der Grund dafür liegt in der komplexen Vertragsstruktur zwischen Endkunde und Energieversorger und dem Aufbau eines Energieversorgungsnetzes an sich. Eine genaue Zuordnung zu den Gebäuden ist deshalb nicht immer möglich, weil es häufig vorkam, dass einer

[76] Mögliche Gründe werden im jeweiligen Abschnitt erläutert
[77] Vgl. TGA – Wärme der Stadtwerke Greifswald GmbH
[78] X,Y – Koordinaten vorhanden
[79] Nach Angaben der Stadtwerke Greifswald GmbH ein Wert zwischen 1006h – 1800h

Anschlussstation mehrere Gebäude zugeordnet sind. Außerdem ist von Seiten der Stadtwerke lediglich die abgenommene Wärmemenge des Endkunden bekannt. Um die Aufschlüsselung der Wärmemenge auf die einzelnen Gebäude in Erfahrung zu bringen, hätten Kontakte mit den Kunden hergestellt werden müssen. Dieser beauftragt in der Regel ein Drittunternehmen, das die Verbrauchswerte der einzelnen Heizkörper in den Wohnungen ermittelt und so Wohnungsscharfe Daten für die Endabrechnung produziert. Beim Gasnetz verhält es sich ähnlich. Die einzelnen Akteure innerhalb der eben beschrieben Kette in Erfahrung zu bringen und Daten zu recherchieren, wird als nicht vertretbarer Aufwand angesehen ist, wenn nicht sogar unmöglich.
Erschwerend kommt hinzu, dass eben jene Tatsache, dass eine Hausstation mehrere Objekte versorgen kann, eine andere Art der Adresskodierung impliziert. Sie müsste unter Umständen angepasst werden. Das wird aber durch die direkte Zuordnung zu Koordinaten (x,y) aus dem GIS kompensiert.

5.2.2 Daten der Landesvermessungsverwaltung

Die Kataster- und Vermessungsämter der Landkreise und kreisfreien Städte sind für die Führung, Auskunft aus den Nachweisen und Datenbereitstellung des Liegenschaftskatasters ihres jeweiligen Amtsgebietes zuständig und geben nähere Informationen zu Auszügen aus dem ALB[80] und der ALK[81]. Das ALB enthält beschreibende Angaben über Flurstücke (Kennzeichen, Fläche, Nutzungsart, Lage, Hinweise zum Flurstück, Gesetzliche Klassifizierung etc.). Die Eigentümer werden in Übereinstimmung mit dem Grundbuch namentlich geführt. In der ALK-Punktdatei werden für die nummerierten Punkte des Liegenschaftskatasters Koordinaten im Gauß-Krüger-3°-Meridianstreifensystem, Krassowski-Ellipsoid (S42/83 (3°)) und Punktart, Qualität, Herkunft sowie Vermarkung geführt. In der ALK-Grundrissdatei werden Flurstücke, politische Grenzen, Gebäude, tatsächliche Nutzung, topographische Objekte, Texte, Punktnummern, digitalisierte Punkte etc. gespeichert. ALK-Grundrissdaten werden als flächen-, linien- oder punktförmige Objekte geführt. Die Datengewinnung erfolgt über vermessungstechnische Berechnungen und/oder durch Digitalisierung großmaßstäbiger Flurkarten. Für viele Gemarkungen liegen die ALK-Grundrissdaten bereits vor. Der Datenbestand existiert vor allem für vermessungsintensive Gebiete und wird regional bedarfs- bzw. kapazitätsorientiert erstellt. Für den Bezug von ALK-Daten fallen Gebühren nach der „Landesverordnung über Gebühren der Vermessungs- und Katasterbehörden sowie anderer Vermessungsstellen an.[82]
Für Greifswald sind die Gebäudegeometrien weitestgehend vorhanden. Diese werden in einer GIS - Datenbank vorgehalten und ständig aktualisiert. Die Gebäude liegen als Flächendaten vor, jeweils unter Angabe der Nutzung und einer dazugehörigen Objektidentifizierung. Hier sei gesagt, dass die Nutzung einer sehr eigenwilligen Einteilung in Gebäude, Öffentliche Gebäude, private Gebäude und Nebengebäude unterliegt. Nach

[80] Amtl. Liegenschaftsbuch
[81] Amtl. Liegenschaftskarte
[82] Vgl. (Amt für Geoinformation, 2006)

Absprache mit Frau Hellwich (Mitarbeiterin des Stadtbauamtes – Abteilung: Vermessung) und Vergleich der absoluten Anzahl der Wohngebäude aus den Statistischen Jahreszahlen von Greifswald wurden Gebäude und private Gebäude zusammen als Wohngebäude klassifiziert. Nebengebäude und Öffentliche Gebäude sind somit Nichtwohngebäude. Eine Stichprobenartige Untersuchung des Datensatzes bestätigt diese Annahme. Die hier verwendeten Gebäudegeometrien entsprechen dem Stand vom 27.12.08. Weiterhin liegen die Geschosszahlen, die Hausnummern und eine Bezeichnung, die auch Aufschluss über die Nutzung liefern kann, für eine Vielzahl der Objekte als Liniendaten vor. Diese Linien liegen weitestgehend innerhalb der Grundflächen der Gebäude und dienten bisher lediglich der Beschriftung in Planwerken. Diese Art der Datenvorhaltung erschwert die weitere Nutzung. Da bei der Verknüpfung Probleme auftreten können und keine Verbindung der Hausnummern zu Straßennamen[83] existiert. Sie kommen deshalb auch für eine spätere Geokodierung nicht in Betracht.

5.2.3 Hauskoordinaten

Eine Hausnummer ist die Bezeichnung, die ein bestimmtes Gebäude in einer Straße oder einem Ort eindeutig identifiziert. Sie dient unter anderem einer eindeutigen Adresszuordnung. In Deutschland, Österreich und in der Schweiz werden die Hausnummern amtlich vergeben. Originäre Rechtsgrundlage ist in Deutschland § 126 Abs. 3 Baugesetzbuch. Im Übrigen gelten Landesrecht bzw. hier die Greifswalder Hausnummernsatzung. Als Hauskoordinaten (georeferenzierte Gebäudeadresse) wird die Verbindung zwischen der Adresse eines Gebäudes und seiner exakten Lage bezeichnet. Derartige Punktkoordinaten werden von den Landesvermessungsverwaltungen zur Verfügung gestellt. Sie sind wegen der Herkunft aus dem Liegenschaftskataster sehr genau und sichern damit die exakte Positionierung der Adresse. Ein Rückschluss auf die Hausbewohner ist nicht möglich. Als Ansprechpartner für den Bezug der Daten diente Herr Dr. Amelang.

5.2.4 Daten der Stadtverwaltung

Anfänglich wurde davon ausgegangen, dass eine Art Gebäudedatei bei der Stadtverwaltung vorliegt. Hier ist dies jedoch nicht der Fall. Die Gründe dafür liegen unter anderem in der fehlenden gesetzlichen Verpflichtung zur Datenerhebung und Pflege. Denn weder die Landesbauordnung (LBauO) noch das Baugesetzbuch (BauGB) oder das Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG) geben Aufschluss darüber inwieweit Daten bei der Errichtung bzw. dem Abriss von Gebäuden erfasst, gespeichert oder aktualisiert werden müssen. Einzig die Baunutzungsverordnung (BauNVO) legt die Datenvorhaltung aus Gründen des Personalmangels in die Hände des Bauherrn. Ein für derartige Fragestellungen nötiges Hochbaustatistikgesetz wurde im Jahre 2008 verabschiedet und könnte in diesem Bereich Besserung bringen. So kann auch die Erneuerbare Energien Verordnung (ENEV) mit der

[83] Diese werden als Attribute der Straßengeometrien vorgehalten

integrierten Forderung zur Erstellung eines Energieausweises für die Zukunft sehr detaillierte Datenbestände induzieren.
Einige wenige Städte verfügen indes über ein Bauarchiv, das in Eigeninitiative erarbeitet und gepflegt wird. Hierbei handelt es sich jedoch um rein analoge Daten, die zudem unvollständig sind. Zum Einen wieder aus Gründen des Personalmangels und zum Anderen, weil bei älteren Datenbeständen Geschosszahlen bspw. nicht von Belang gewesen sind und daher nicht mit aufgenommen wurden.
Auch Finanzämter kommen wegen des Steuergeheimnisses, welches über den ohnehin schon strengen deutschen Datenschutzbestimmungen steht, nicht als potentielle Datenquelle in Betracht.

Daten der Vermessung
Die Vermessungsverwaltungen des Landes, der Kreise sowie der kreisfreien Städte arbeiten gemeinsam, im Rahmen der Zielsetzungen für eine einheitliche Geodateninfrastruktur, am Basisinformationssystem des Liegenschaftskatasters (ALK/ALB). Somit wird hier auf Punkt 5.2.2.verwiesen.

Daten der Statistik
Beim Amt für Statistik der Stadt Greifswald liegen Daten der letzten Gebäude- und Wohnungszählung aus dem Jahre 1995[84] vor. Diese Datenerhebung fand durch eine Ortsbegehung statt, bei der die Adresse und das Baujahr aller Wohngebäude aufgenommen wurden. Dieser Datensatz wurde nach Stadt, Postleitzahl, Straßenschlüssel und Hausnummer kodiert. Mit Hilfe eines amtlichen Straßenverzeichnisses konnten die Daten nach Straßenname, Hausnummer und Hausnummernzusatz sortiert werden und mit Hilfe der Software FoxPro® mit den Hauskoordinaten der Landesvermessungsverwaltung verknüpft werden. An dieser Stelle geht ein besonderer Dank an Frau Gaede von der Statistikstelle Greifswald, die überaus engagiert bei der Bearbeitung der Daten war.
Leider verfügt die Statistikabteilung nicht mehr über die personellen Mittel um diesen Datensatz vollständig fortschreiben zu können. Trotzdem kamen im Laufe der Jahre stellenweise neue Informationen in Form von Bemerkungen dazu. Diese „Bemerkungen“ konnten zu einem sehr großen Teil Aufschluss über fehlende Baujahre seit 1995 liefern. So ist ein Datensatz entstanden, der insgesamt 8386 Adressen umfasst, von denen für 7231 Objekte das Baujahr bekannt ist. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um Adresspunkte handelt. Diese sind nicht gleichbedeutend mit der Anzahl von Gebäuden, da ein Gebäude mehrere Hausnummern haben kann. Es konnten außerdem die Bevölkerungszahlen adressscharf ermittelt werden. Aus Datenschutzgründen sind diese Werte auf eine Mindestangabe von 3 Personen pro Adresse beschränkt.

[84] GWZ‘95

Daten des Immobilienverwaltungsamtes
Hier war es möglich eine einfach strukturierte Tabelle über alle Liegenschaften, die der Stadtverwaltung Greifswald unterliegen, zu bekommen. Es waren Informationen zum Sanierungsstand, der Heizungsart und dem Baujahr enthalten. Außerdem sind Angaben über den Zeitpunkt der Sanierung und zur Bezeichnung der Gebäude gemacht worden. Der Datensatz enthält etwa 124 Objekte. Es muss einzig eine Geokodierung nach Straßenname, Hausnummer, Hausnummernzusatz vorgenommen werden. Als Ansprechpartner diente Herr Kremer.

Daten der Stadtplanung
Das Amt für Stadtplanung verfügt über einen umfassenden Informationspool, der allerdings nur zum Teil digital verfügbar ist. Das gilt zum Beispiel auch für die ca. 107 Bebauungspläne der Stadt, die nur zu einem Bruchteil digitalisiert sind. Ebenso wird mit einer analogen Form des Flächennutzungsplanes gearbeitet. Glücklicherweise liegt zumindest die räumliche Lage aller Bebauungspläne samt deren Nutzung in Form von Vektordaten vor. Diese können in einem GIS direkt weiter verarbeitet werden. Weitergehend liegen für die Sanierungsgebiete sehr detaillierte Rahmenpläne vor. Die meisten Informationen lassen sich jedoch in Textform aus dem Integrierten Stadtentwicklungskonzept[85] gewinnen. Wobei hier die Wohnbauflächenentwicklung auf Grundlage des Flächennutzungsplanes besonders interessant ist.
Für das ISEK finden in regelmäßigen Abständen Monitoring - Maßnahmen statt. Im Dezember 2008 wurde in diesem Rahmen eine Ortsbegehung mit Geographie - Studenten der Universität Greifswald durchgeführt.[86] Als Ansprechpartner diente Herr Imhorst. Weitere Informationen hierzu siehe: „5.2.8 Daten der Primärerhebung.“

5.2.5 Daten der Kartographie

Es wurden die Verfügbaren Kartenmaterialien recherchiert, eingescannt und on screen mit der Software ArcMap® georeferenziert. So können diese in einem GIS projiziert und weiter verarbeitet werden. Es liegen Blattschnitte aus den Jahren 1930, 1960, 1978 und 1990 vor. Sie können als zusätzliches Hilfsmittel zu Bestimmung fehlender Baujahre dienen oder bei der Aufklärung eventueller Unstimmigkeiten hilfreich sein. Die Kartographie hat das Kartenmaterial in digitaler und projizierter[87] Form zurückerhalten. Es steht somit nun zur weiteren Verwendung bereit. Ansprechpartnerin war Frau Sattler. Aktuelle Kartenmaterialien können außerdem eine alternative Quelle zur Ermittlung der Gebäudegrundrisse sein, wenn diese nicht verfügbar sind. Satelliten oder Luftbilder wären hier ebenfalls denkbar. Die Beschaffung und Bearbeitung ist aber meist aufwendiger und mit zusätzlichen Kosten verbunden. Mit Hilfe des GIS und der Extension ArcScan ® ist es möglich die eingescannten Kartenmaterialien zu bearbeiten und so die Gebäudegrundfläche

[85] ISEK
[86] Mehr Informationen siehe Kapitel 5.1.7
[87] im Gauß-Krüger-3°-Meridianstreifensystem, Krassowski-Ellipsoid (S42/83 (3°))

automatisiert zu extrahieren/vektorisieren. Dieser Punkt wird noch einmal gesondert in Kapitel „5.3 Datenverarbeitung“ anhand eines Beispiels erläutert. Generalisierungsgrad, Anzahl der Zeitschnitte und die Bildqualität der Scans sind hier die begrenzenden Faktoren.

5.2.6 Daten der Wohnungsbaugunternehmen

In Greifswald gibt es zwei große Wohnungsbauunternehmen. Die Wohnungsbau- und Verwaltungsgesellschaft mbH (WVG) und die Wohnungsbau-Genossenschaft eG (WGG). Sowohl die WVG als auch die WGG stellten detaillierte Informationen ihrer Liegenschaften zur Verfügung. Sanierungsstand sowie Zeit der Sanierung, Heizungsart und Baujahr sind verfügbar und adressbezogen hinterlegt. Die WGG war sogar bereit, reale Verbrauchswerte der Gebäude zur Verfügung zu stellen. Diese können für die Überprüfung der angewandten Methoden zur Bedarfsberechnung dienen. Ansprechpartner waren Herr Roth und Herr Neumann (WGG) sowie Frau Schierhorn (WVG).

5.2.7 Daten der BBL

Die Gebäude der Universität werden durch den Betrieb für Bau und Liegenschaften M-V verwaltet. Die BBL stellte Daten über die Liegenschaften der Universität zur Verfügung. So konnten z.B. sehr detaillierte Informationen über die einzelnen Fakultäten an sich sowie deren weitere Planung erworben werden. Leider sind die Daten nicht konsequent und detailliert adresskodiert, was die weitere Verarbeitung erschwert. Ansprechpartner war Herr Sander.

5.2.8 Primärerhebung

Im Rahmen einer im Dezember 2008 aktualisierten Leerstandserfassung der Wohngebäude im Auftrag des Amtes für Stadtplanung Greifswald, konnte in Zusammenarbeit mit der ausführenden GEOWARE GmbH[88] aus Neubrandenburg und Studenten der Universität in Greifswald ein gemeinsames Konzept verfolgt werden. Durch die persönliche Teilnahme an den Kartierungsarbeiten konnten Eindrücke über die Qualität der Daten in die Arbeit mit einfließen. Es wurde versucht alle Gebäude, nicht nur die Wohngebäude, zu erfassen und die Aufnahme von Sanierungsstand und Baujahr der Gebäude wurde überarbeitet.[89] Besonderer Dank gilt an dieser Stelle Herrn Imhorst (Stadtplanung) und Herrn Bender (Geoware GmbH) für die gute Zusammenarbeit und überaus schnelle Datenbearbeitung.

5.2.9 Daten der IHK

Um Informationen speziell für die Nichtwohngebäude zu erhalten, bieten sich die Industrie- und Handelskammern der jeweiligen Regionen an. IHK sind eigenverantwortliche Körperschaften des öffentlichen Rechtes zur wirtschaftlichen Selbstverwaltung. Ihre

[88] www.geoware-gmbh.de
[89] Der Kartierungsbogen befindet sich auf der DVD

Aufgaben bestehen in der Vertretung der Interessen ihrer Mitglieder gegenüber Kommunen, Landesregierungen und der Öffentlichkeit. In Deutschland ist jeder Gewerbetreibende verpflichtet, sich bei den Industrie- und Handelskammern anzumelden. Demzufolge handelt es sich hierbei um einen Datenfundus, in dem zumindest die Art des anzutreffenden Gewerbes mit Adressangabe vorhanden ist. Leider war die Industrie und Handelskammer zu Neubrandenburg, nicht bereit Daten im Rahmen dieser Diplomarbeit bereit zu stellen. Ansonsten wären Gewerbetreibende in der Lage sich hier nach einzelnen Branchen Adressbezogen zu informieren. Einschränkend muss dazu gesagt werden, dass die Unternehmen allerdings nicht dazu verpflichtet sind der Datenweitergabe an Dritte zu zustimmen. Es ist damit zu rechnen, dass unter Umständen etwa 70 – 80% der Informationen verfügbar sind.[90] Diese liegen dann digital, meist im xls-Format[91] vor.

5.2.10 Schornsteinfegerdaten

Die Aufgabe eines Schornsteinfegers ist die Reinigung und Überprüfung von Schornsteinen und Abgasanlagen, sowie die Überprüfung von Feuerstätten. Der Schornsteinfeger überprüft unter anderem den Kohlenmonoxidgehalt (CO) im Abgas von Gasfeuerstätten, oder auch den Abgasverlust einer Heizungsanlage.
In Deutschland gibt es eine gesetzlich vorgeschriebene Feuerstättenüberprüfung. Hierbei werden die einzelnen Feuerstätten einer visuellen Kontrolle, hinsichtlich der Zulässigkeit des Aufstellungsortes, des Brennstoffs usw. unterzogen. Auch die Abstände zu brennbaren Bauteilen, Decken, Wänden, Türen und Ähnliches werden überprüft. Die zeitlichen Abstände und die Pflicht der Überprüfung werden in den Landesgesetzen geregelt.[92] In Deutschland ist die Häufigkeit der Prüfung der Abgasanlagen und Feuerstätten in Abhängigkeit von den verwendeten Brennstoffen festgelegt. Sie liegt bei ein- bis sechsmal pro Jahr. Welche Anlagen, wie gemessen werden und welche Grenzwerte dabei einzuhalten sind, bestimmt die erste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (1. BImschV).[93]
In Deutschland gilt das so genannte Kehrmonopol und legt fest, dass Hausbesitzer die gesetzlich vorgeschriebenen Kehrungen, Überprüfungen und Begutachtungen nur durch den jeweiligen Bezirksschornsteinfegermeister durchführen lassen dürfen. Der Bezirksschornsteinfeger wird dabei als öffentlich beliehener Handwerker im Auftrag des Staates tätig. Greifswald und sein Umland ist in 6 Kehrbezirke eingeteilt, wobei 3 Bezirke das Greifswalder Stadtgebiet fast vollständig abdecken. Ansprechpartner für die 3 besagten Bezirke sind der Herr Ziola, der Lissack und Herr Witschow. Jeder Schornsteinfeger verfügt über detaillierte, adresskodierte Informationen über die Heizungsanlage, deren Brennstoffart und die dazugehörigen Messwerte. Der Zugang zu diesen Informationen ist, aus Datenschutzgründen, jedoch nur über das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus des Landes Mecklenburg – Vorpommern möglich. Ansprechpartner war bzw. ist Herr Walber oder Frau Dr. Beatrix Romberg.

---

[90] So bei der Industrie- und Handelskammer Schwaben
[91] Tabellenkalkulationsprogramm Excel®
[92] Kehr- und Überprüfungsordnungen (KüO)
[93] www.schornsteinfeger.de (eingesehen am 12.01.09)

Leider hat der Geschäftsweg der Erlaubnis für die Freigabe der Daten einen sehr langen Zeitraum in Anspruch genommen, weshalb die Informationen zwar erhoben, aber im Zuge dieser Arbeit nicht mehr rechtzeitig verarbeitet werden konnten.

5.2.11 Sonstige Datenquellen

Als zusätzliche Datenquelle kommt natürlich auch die einschlägige Literatur in Frage. Als hilfreich stellten sich heraus:

LUKOSHEK, HANS; Vom Ahornweg zur Wendelsteinstraße: geschichtliche und topographische Bemerkungen zu Greifswalder Straßen, Persönlichkeiten und Gebäuden; Schelzky und Jeep, Berlin 2001.

LISSOK , LICHTNAU; Das steinerne Antlitz der Alma Mater - Die Bauten der Universität Greifswald von 1456 - 2006, Greifswald Haus für Haus; Lukas Verlag, Berlin 2006.

Um weitere Datenlücken zu schließen bieten sich sogenannte Web-Map-Services[94] aus dem Internet an. Diese können für die meisten dicht besiedelten Orte aktuelle Orthofotos und Schrägluftbilder zur Verfügung stellen. So können Datenunstimmigkeiten leichter erkannt und zusätzliche Informationen über die Gebäudebeschaffenheit erlangt werden. Hier hat sich vor allem der Online Kartendienst Microsoft Live-Search®[95] mit vorhandenen Schrägluftbildern, zur Klärung von Geschosszahlen, hervorgetan. Wegen besserer Performance und zum Vergleich kam außerdem Google-maps®[96] zum Einsatz. GAIA–MV® bietet die aktuellsten amtlichen Bildaufnahmen speziell für Mecklenburg Vorpommern und kann zudem problemlos in das verwendete GIS integriert werden.
Nicht unerwähnt bleiben soll, dass zunehmend Laserscanning-Daten in Deutschland erhoben werden. Diese sind beim Amt für Geoinformation und Vermessung der einzelnen Bundesländer erhältlich. Dabei wird mittels einer Überfliegung mit einem Laser ein Punktmodell der Erdoberfläche erstellt, das sowohl horizontal als auch vertikal auf wenige Zentimeter genau ist.[97] So lässt sich die Kubatur der Gebäude sehr genau berechnen und die Form des Daches kann ebenfalls erfasst werden. Für Greifswald bzw. Mecklenburg-Vorpommern sind leider noch keine flächendeckenden Laserscanning-Daten vorhanden.

Es hat sich herausgestellt, dass für manche Fragstellungen ganz unterschiedliche Quellen in Frage kommen. So verwalten die Deutsche Post AG, die Telekom und weitere Geodatenanbieter ebenfalls eigene Datensätze mit Hauskoordinaten.
Für das Layout der späteren Karte ist es außerdem wichtig noch andere Daten zur Verfügung zu haben. So sind Darstellungen von Kreisgrenzen, Waldflächen, Straßenzügen und Ähnlichem für die spätere Orientierung auf der Karte und dessen Interpretation von

[94] Kurz: WMS
[95] http://maps.live.de
[96] www.maps.google.de
[97] Vgl. (Blesl, 2001)

gleichwohl großem Nutzen. Hierfür kann man sich entweder an die Stadtverwaltungen vor Ort wenden oder Open-Source Quellen, wie zum Beispiel Open-Street-Map[98] nutzen.

5.3 Modellierung des Gebäudebestandes

Die Haltung der erhoben 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 zum Einsatz kommt, wird als bevorzugtes Format das „shape-Format“ gewählt. Es ist mit den meisten anderen Softwareumgebungen kompatibel und wird auch von der Stadtverwaltung Greifswald, sowie dem IPP und der Universität Greifswald verwendet.
Das Dateiformat Shapefile (oft Shapedaten oder Shapes genannt) ist ein von ESRI® ursprünglich für ArcView entwickeltes Format für Geodaten. Es hat sich mittlerweile zu einer Art Standard im Desktop-GIS-Umfeld verbreitet, da es ein recht einfaches und bezüglich der Datenqualität nur wenig anspruchsvolles Format ist. Dennoch ist es das Format, in dem am meisten Kartendaten zur Verfügung stehen. Die Unterstützung von freien sowie kommerziellen Tools und Bibliotheken ist bei keinem Format so gut wie bei den Shapefiles. Es ist mit vielen Open Source Tools möglich, Daten von Shapefiles in SQL für raumbezogene Datenbanken umzuwandeln.
Ein Shapefile ist keine einzelne Datei, es besteht aus mindestens drei Elementen.
- *.shp dient zur Speicherung der Geometriedaten, *.shx dient als Index der Geometrie zur Verknüpfung der Sachdaten (auch Attributdaten genannt), *.dbf enthält die eigentlichen Sachdaten im dBASE-Format. Optional können auch *.atx als Attributindex, *.sbx und *.sbn als Index für Tabellenverbindungen (Joins), *.aih und *.ain als Index für Tabellenverknüpfungen (Links) und *.xml als Metadaten zum Shapefile sowie *.prj für die Projektion der Daten auftreten.
In einem Shapefile können jeweils nur Elemente eines Typs, wie Punkte, Linien oder Flächen bzw. Polygone enthalten sein.
Das erstellte Design eines Shapefiles (Linienstärke, Punktsymbolik, Farben, etc.) kann in einer zusätzlichen Legendendatei angelegt werden, da diese Informationen innerhalb eines Shapefiles keine Beachtung finden.[99]
Auf diesem Wege sind die benötigten Sachdaten und Geometriedaten optimal vorgehalten und für die Bearbeitung sowie weitere Analysen verwendbar. Die Geometrien liefert das Landesvermessungsamt in Form der Hauskoordinaten und die Vermessungsabteilung der Stadt Greifswald in Form von Flächendaten. Dieser Punkt ist bei entsprechender Sachkenntnis relativ unproblematisch. Die richtige und vor allem sinnvolle Anbindung von Sachdaten, stellt ein größeres Problem dar. Hier ist darauf zu achten, dass die an den Verwendungszweck angepassten Attribute (Spalten) vorhanden sind und dass die Daten in den Spalten im richtigen Format vorliegen (numerisch, Text, Datum, BLOB etc.).

[98] www.openstreetmap.org
[99] www.wikipedia.de (eingesehen am10.01.09)

Die nachfolgende Tabelle stellt das vorläufige Endergebnis dar. Blau ist die Benennung des jeweiligen Attributfeldes mit der darunter stehende Erklärung. Das Kürzel „Interop“ bedeutet Interoperabilität und findet immer dann Anwendung, wenn die Quelldaten eine oder mehrere Identifikationsnummern enthalten. Die Rückführung ist somit zu jeder Zeit gewährleistet.

Tabelle 3[Struktur der Gebäudedatenbank; eigene Darstellung]

GEB_ID	ADRESSE	ID	FEHL	STRS	BLKSSAVE
Laufende Nummerierung für GIS - Anbindung	Adresskodierung (Rest)	Interop (Statistik)	Interop (Statistik)	Interop (Statistik)	Interop (Statistik)
BLKS	PLZ	OBJECTID	OBJECTID_4	LFDNR	HOEHE
Interop (Statistik)	Postleitzahl	Interop (Vermessung)	Interop (Vermessung)	Interop (Kartierung)	Gebäudehöhe aus GZ berechnet
GZ	Status	GF	PERI	A	V
Geschosszahl	Wohnnutzung	Grundfläche in m²	Umfang der Grundfläche in m	Oberflächeninhalt des Gebäudes in m²	Volumen des Gebäudes in m³
A_V	GEBAEUDETYP	Altersklasse	Baujahr_korrekt	DG_ausbau	Sanierung
Oberflächen / Volumenverhältnis	Gebäudetyp (EFH, RH,MFH,GMH)	Baualterklasse	Baujahr (teilweise aus Baualterklasse abgeleitet)	Dachgeschossausbau (ja/nein)	Sanierungsstand
Bautyp	Info	Nutzung_NWG	Waermebedarf SWG	Versorgungsart	Quelle_korrekt
Bautyp (traditionell/montage)	sonstige Informationen	Nutzungsart bei Nichtwohngebäuden in Anlehnung an die CO2 - Potentialstudie aus Hessen (IWU)	Werte der Stadwerke für Fernwärme in KWH/m²a	Wärmeversorgungsart nach Stadtwerken und Schonrsteinfegerdaten	Angaben der jeweiligen Quelle

5.3.1 Datenverarbeitung

Die Datenverarbeitung erfolgte mit Hilfe der GIS-Software ArcGIS von ESRI® in der aktuellen Version 9.3[100]. Als weitere Hilfsmittel dienten: ArcView 3.3 ebenfalls von ESRI®, das Bildbearbeitungsprogramm Adobe® Photoshop CS2, sowie die Tabellenkalkulationssoftware Microsoft® Excel bzw. das Datenbank Frontend Microsoft® Access, beide in der Version 2007.

In einem ersten Schritt werden die gesammelten Informationen in ein einheitliches Format überführt. Hier ist meist eine Tabellarische Form sinnvoller Weise vorgegeben, da viele der Akteure Ihre Bestände mit Hilfe von Tabellenkalkulationsprogrammen oder in Datenbanken verwalten. In einem zweiten Schritt werden die, für die Fragestellung relevanten Daten extrahiert um den Arbeitsaufwand zu minimieren. Im Laufe der Datenverarbeitung wird oft der Punkt erreicht, an dem ein Kompromiss aus Datenverlust bzw. Funktionalitätsverlust und Arbeitsaufwand gefunden werden muss. Es sei darauf hingewiesen, dass die vorliegende Arbeit nicht die Erstellung einer voll funktionsfähigen und hoch effizienten Gebäudedatenbank mit GIS-Anbindung zum Ziel hat.
An dieser Stelle wird auf eine noch ausstehende Diplomarbeit von Christian Linder (Student der Geographie an der Universität Augsburg) verwiesen.

[100] Auf der DVD befindet sich die kostenfreie Software ArcReader. Diese gehört auch zur ArcGIS Produktfamilie und ermöglicht die Einsicht der relevanten Geodaten.

Ziel und Verwendungszweck dieser Arbeit ist die räumliche Abbildung des Energiebedarfs der Stadt Greifswald am Beispiel der Heizwärme. So ist es beispielsweise legitim bei räumlichen Verknüpfungen oder Adresskodierungen kleine Unstimmigkeiten in Kauf zu nehmen, wenn sie das Endergebnis nur unwesentlich beeinträchtigen. Zumal der Zeitraum für die Bearbeitung einer Diplomarbeit ohnehin nur sehr wenig Spielraum für eine detaillierte Fehlerkontrolle dieser Größenordnung bietet. Ein Ergebnis dieser Diplomarbeit ist somit „nur“ eine Gebäudedatenbank im weitesten Sinne. Diese kann und muss gepflegt, kontrolliert und erweitert werden, um eine Grundlage für weitere Arbeiten zu sein und auch das Ergebnis dieser Arbeit immer aktuell und korrekt zu erhalten.

Einen weiteren Schritt stellt die schon öfter angesprochene Adresskodierung dar. Die Adresskodierung ist das Bindeglied zwischen den erhobenen Daten und dem Raumbezug. Dieser Arbeitsschritt ist eigentlich schon durch die Datenquellen vorgegeben, welche in der Regel irgendeine Form von Adressbezug aufweisen. Es muss also ein einheitlicher Bezug gefunden oder generiert werden. Im Falle von Greifswald gibt die Statistikstelle des Amtes für Wirtschaft und Finanzen in regelmäßigen Abständen ein alphabetisches Straßenverzeichnis heraus. Für die vorliegende Arbeit wurde das Straßenverzeichnis vom Juli 2008 verwendet. Mit dessen Hilfe wurden die Attribute der Hauskoordinaten kontrolliert und angepasst. Die endgültige Kodierung erfolgte nach Name, Hausnummer und Hausnummernzusatz.

Die extrahierten Informationen jeder einzelnen zuvor genannten Datenquelle wurden nun an diese Kodierung 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 vergleichen und zusammenzuführen. Schreibfehler in der Kodierung können so minimiert, gegebenenfalls korrigiert, werden und es wird ein Bericht über die jeweiligen Übereinstimmungen generiert.[101] Diese Funktion ist im Bezug auf den Verwendungszweck flexibel in ihrem Funktionsumfang. Auch für die vorliegende Problematik besteht die Möglichkeit weiterer Verbesserungen, was das automatische Identifizieren und Korrigieren von Schreibfehlern oder schriftlichen Abwandlungen angeht.

Das Ergebnis sind adressscharfe Punkt – Daten mit den jeweiligen Attributen der Datenquellen. Diese stehen nun für die Weiterverarbeitung im GIS bereit.

Im nächsten Schritt erfolgt die Verbindung der Punktdaten mit den Geometrien der Gebäude. Das kann entweder über eine einheitliche Attributierung oder über die räumliche Lage zueinander erfolgen. Wobei zwei Vorgehensweisen möglich sind.

[101] Berichte siehe Kapitel 5.5

Möglichkeit 1
Die Attribute der einzelnen Quelldaten werden alle in einer einheitlichen Form vorgehalten. D.h. jede Attributtabelle muss dieselbe Anzahl an Spalten mit derselben Beschriftung vorweisen. Ebenso die Gebäudegeometrien. Dann kann die Verknüpfung mit dem Befehl „merge“ erfolgen. Das Ergebnis ist eine Hauskoordinatendatei mit einer lückenlosen (sofern die Daten vollständig sind) Attributtabelle. Es ist kein nachträgliches Bearbeiten notwendig. Mit dem Befehl „relate“ ist nun eine relative Verbindung mit der Attributtabelle der Gebäudegeometrien möglich.

Möglichkeit 2
Die Quelldaten werden in ihrer ursprünglichen Form belassen und mit den Befehlen „join by spatial location“ und „join by atribute“ mit den Gebäudegeometrien direkt verknüpft. Bei diesem Verfahren werden die Attributtabellen jeweils hintereinander geschrieben. Ergebnis ist eine Tabelle mit sehr vielen und vor allem mehrfach auftretenden Spalten. Diese muss in einem weiteren Arbeitsgang korrigiert werden. Das kann mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogrammes geschehen.

Durch die nun entstandene Gebäudedatenbank ist es möglich in die Endkontrolle so genannte Entitäten[102] mit einfließen zu lassen. Die Handhabung des Datensatzes, welcher mehrere tausend Objekte enthält, ist so sehr viel benutzerfreundlicher zu handhaben. Nun ist auch eine direkte Verbindung zu den angesprochenen Online – Kartendiensten möglich.
Eine Besonderheit stellt die Verwendung von historischen Kartenmaterialien dar. Für die Stadt Greifswald liegen unterschiedliche Zeitschnitte vor. Diese können für die Ermittlung fehlender Baualtersklassen herangezogen werden, wobei eine manuelle Kontrolle angesichts der Datenmenge auch hier nicht praktikabel erscheint. Anhand der Kartenmaterialien von 1960 soll eine mögliche Herangehensweise näher erläutert werden.

Abbildung 13 [Bearbeitung von historischem Kartenmaterial 1; eigene Darstellung; Stadtkarte um 1966]

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

[102] Räumliche Beziehungen von Objekten, zueinander

Abbildung 14 [Bearbeitung von historischem Kartenmaterial 2; eigene Darstellung; Stadtkarte um 1966]

2. Hit Hilfe der Erweiterung ArcScan für ArcGIS und dem Befehl „erosion“ im Menü „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.

Abbildung 15 [Bearbeitung von historischem Kartenmaterial 3; eigene Darstellung; Stadtkarte um 1966]

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 aber dafür weitgehend lagegenaue Polygone (hier mit der Farbe Rosa dargestellt) enthält.

In einem weiteren Schritt lassen sich aus dem aktuellen Gebäudebestand mit dem Befehl „select by spatial location“ 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 Objekt gemacht werden. Für alle vorhandenen Zeitschnitte angewendet, ließe sich so eine Übersicht über die Altersstruktur der Greifswalder Gebäude gewinnen. Leider konnten diese Informationen zum Abgabetermin noch nicht in die Datenbank übernommen werden.

5.3.2 Wärmebedarfswerte

Typologische Werte
Wenn die Datenstruktur, wie beschrieben besteht, ist es möglich über Datenbankabfragen direkt im GIS oder mittels Filterfunktionen im Tabellenkalkulationsprogramm die jeweiligen Wärmebedarfswerte aus der Gebäudetypologie abzuleiten und zuzuordnen.[103]

Berechnete Werte
Die gesetzlichen Berechnungsgrundlagen aus Kapitel 5.1.1 wurden für die Wohngebäude[104] in einem Excel-Arbeitsblatt[105] übernommen und verarbeitet. Der Zuschlag für Warmwasser wird in der vorliegenden Arbeit nicht in die Berechnung mit einbezogen. Der Warmwasserbedarf soll extra, auf Grundlage der statistischen Daten über die Einwohnerzahl betrachtet werden. Einige Werte wurden wie beschrieben pauschalisiert. Eingelesen werden die Grundfläche in m², die Anzahl der ganzen Stockwerke, und die Baualtersklasse. Aus der Baualtersklasse ergibt sich ein spezifischer Wandaufbau, der sich in den Werten der Transmissionswärmeverluste wiederspiegelt. Den Klimatischen Einflüssen in Greifswald wird mit der bereits in Kapitel 4 angesprochenen Gradtagszahl Rechnung getragen. Mit Hilfe eines mit VBA (visual basic for applikation) programmierten Makro lassen sich die benötigten Werte automatisiert aus der Gebäudedatenbank auslesen, im Tool berechnen und wieder zurückführen. So lassen sich auch unterschiedliche Sanierungsstände berechnen, da die Transmissionswärmeverluste an die Bauteilbeschaffenheiten der Außenhülle gebunden sind und deren Wärmedurchgangskoeffizienten zugrunde liegen.

5.4 CO_2 – Emissionen

Wenn der Wärmebedarf eines Gebäudes oder eines ganzen Gebäudebestandes bekannt ist und die Art der Heizungsanlage ebenfalls, ist es möglich die Emissionen eben dieser zu berechnen. In wie fern auf dieser Datenlage sinnvolle räumliche Darstellungen gemacht werden können und zu welchem Verwendungszweck, steht noch zur Diskussion. Diese könnten dann Grundlage weiterer Immissionsmodellrechnungen sein. Derartige Tools sind für die, in der vorliegenden Arbeit verwendete, Software ArcGIS verfügbar. Als Beispiel sei die Firma IVU aus Freiburg genannt. Diese wäre bereit, die sonst kostenpflichtige GIS – Erweiterung „EMIS“ für weitergehende Untersuchungen zur Verfügung zu stellen.[106] Eine Übersicht der Gesamtemissionen der Wärmeerzeugung ist trotzdem möglich und wird in der Analyse vorgenommen.
Die Berechnungen erfolgten mit dem Globalen Emissions-Modell Integrierter Systeme[107], einer Software, die zur vergleichenden Analyse von Umwelteffekten der Energiebereitstellung und –nutzung vom Öko-Institut und der Gesamthochschule Kassel in

[103] Eine Übersicht der Werte befindet sich auf der DVD
[104] Grund: Es besteht eine weitaus bessere Datenlage als bei Nichtwohngebäuden
[105] Rechenblatt befindet sich auf der beigefügten DVD
[106] Nach Aussage eines Mitarbeiters der Firma IVU - Kontakt unter www.ivu-umwelt.de
[107] Kurz: GEMIS (aktuell in der Version 4.5 frei unter www.oeko.de)

den 80'er Jahren entwickelt und seitdem fortwährend aktualisiert wurde. Selbige fand auch bei der „Energie- und Treibhausgasbilanz der Hansestadt Greifswald"[108] Anwendung. Es wurden die Anteile der Versorgungsarten aus Kapitel 4.2 unterstellt und mit den gleichen, der Treibhausgasbilanz zugrunde liegenden Rahmendaten gerechnet.[109]

5.5 Fehlerbetrachtung

Zur Bewertung der Belastbarkeit der Ergebnisse muss auf die, mit der Modellierung einhergehenden Fehler, eingegangen werden. Einige Ungenauigkeiten wurden ja bereits angesprochen, sollen aber an dieser Stelle noch einmal zusammenfassend erwähnt werden.

Vollständigkeit der Daten

Der Datensatz enthält insgesamt 11461 Gebäude, die eine Grundfläche größer als 30 m² aufweisen. Diese teilen sich in 5427 Wohngebäude und 6037 Nichtwohngebäude.

Tabelle 4[Vollständigkeit der Daten; eigene Darstellung]

		Baualtersklasse	Gebäudetyp	Sanierungsstand	Wärmebedarfswerte	Versorgungsart	Geometrien
Wohngebäude	5427	4543	5427	4496	5414	1650	5427
Nichtwohngebäude	6037	56	0	131	6037	130	6037
zusammen	11464	4599	5427	4627	11451	1780	11464

Baualtersklasse	Gebäudetyp	Sanierungsstand	Wärmebedarfswerte	Versorgungsart	Geometrien
84%	100%	82%	99%	30%	100%
1%	0%	2%	100%	2%	100%

Ungenaue Zuordnungen

Dem Großteil der Nichtwohngebäude wurde der Wert 191 KWh/m²a zugeordnet. Verbesserung durch eine Klassifikation (siehe Kapitel 5.1.5) ist möglich und bisher nur punktuell erfolgt. Gebäude kleiner als 30 m² Grundfläche werden nicht betrachtet. Gebäuden ohne Hausnummernkoordinate können nur manuell Daten zugeweisen werden. Einteilung in Wohn- oder Nichtwohngebäude stellt manchmal einen Kompromiss aus Zuordnungen nach den Daten des Stadtbauamtes und der Primärerhebung dar.

Fehlerrate bei Primärerhebung

Kartierungen müssen im Vorfeld auf die Thematik abgestimmt werden. D.h. es gilt die richtige Anzahl kartierender Personen, spezifische Erhebungsmethoden und korrekte Definitionen zu erarbeiten. Im Rahmen der Diplomarbeit konnten diese Schritte nicht konsequent umgesetzt werden. So ist z. B. der Sanierungsstand eine sehr unbestimmte Variable, die es im Vorfeld genau zu definieren gilt. Das ist bei dieser Primärerhebung eventuell nur unzureichend geschehen. Diese Erkenntnis konnte jedoch erst im Nachhinein erlangt werden, zumal das eigentliche Ziel der Geoware GmbH bzw. des Stadtbauamtes hier ein ganz anderes war und deshalb die Ursache beim Verfasser dieser Arbeit zu suchen ist. Es kann nicht genau nachvollzogen werden, wie groß der entstandene Fehler tatsächlich ist. Es könnte sich ebenso gut um einen verschwindend kleinen Anteil, nicht korrekt zugeordneter,

[108] Vgl. (Bartelt, 2005)
[109] Siehe: CO_2 – Berechnungen.xls auf DVD

Sanierungsstände handeln. Trotzdem sollte dieser Umstand bei der Interpretation der Daten Beachtung finden.

Fehlerrate bei der Adresskodierung

Die „Geocoding – Tools“ der Software ArcGIS erarbeiten bei der Verknüpfung der Daten eine Protokolldatei, durch die genau nachvollzogen werden kann ob und in wie weit die Daten über die Adresse zugeordnet werden konnten. Die nachfolgende Tabelle gibt dazu eine Übersicht. Die Fragezeichen in der Zeile der Schornsteinfegerdaten basieren auf dem Umstand, dass diese zum Abgabezeitpunkt der Diplomarbeit noch nicht vorlagen.

Tabelle 5[Geocoding Fehlerbetrachtung; eigen Darstellung]

Quelle	nicht zugeordnet in % (Anzahl)	mehrfache Zuordnung möglich in % (Anzahl)	zugeordnet in % (Anzahl)
Statistik	1% (115)	5% (447)	94% (7824)
Immo	6% (8)	17% (21)	77% (95)
BBL	15% (9)	0%	85% (52)
Primärerhebung	2% (133)	1% (92)	97% (7568)
WGG	5% (32)	6% (42)	89% (630)
WVG	2% (17)	29% (202)	68% (469)
Daten Imhorst	2% (127)	1% (1004)	97% (7313)
Schornsteinfeger	?	?	?

Fehlende Informationen

Es können keine Aussagen über die Bauart des Dachgeschosses/ Dachform gemacht werden. Alle Betrachtungen beziehen sich ausschließlich auf den aktuellen Gebäudebestand. Detaillierte Aussagen über weitere Zubau- bzw. Abrissmaßnahmen, sind zwar vorhanden, können aber nur mit erheblichem Aufwand für eine Gebäudescharfe Analyse aufbereitet werden. Stadtteilbezogene Aussagen wären aber auch denkbar.

Vergleich mit realen Verbrauchswerten

An dieser Stelle sollen Vergleichsrechnungen aufgestellt werden. Stichprobenartig wurden berechnete Bedarfswerte mit bekannten Verbrauchswerten aus den Daten der WGG miteinander verglichen. Die genaue Darstellung der einzelnen Stichproben ist aus Datenschutzgründen an dieser Stelle nicht möglich aber Abbildung 16 gibt eine Übersicht einiger Stichproben. Es ist zu beachten, dass es sich hier um den Vergleich von Verbrauchswerten mit Bedarfswerten handelt. Der tatsächliche Verbrauch unterliegt unbestimmten Einflussfaktoren, wie der Anzahl der Einwohner und deren Nutzerverhalten. Die Werte können, müssen aber nicht korrelieren. Wenn sich allerdings eine Übereinstimmung innerhalb einer gewissen Spannweite abzeichnet, kann durchaus von der Richtigkeit der berechneten Daten ausgegangen werden.

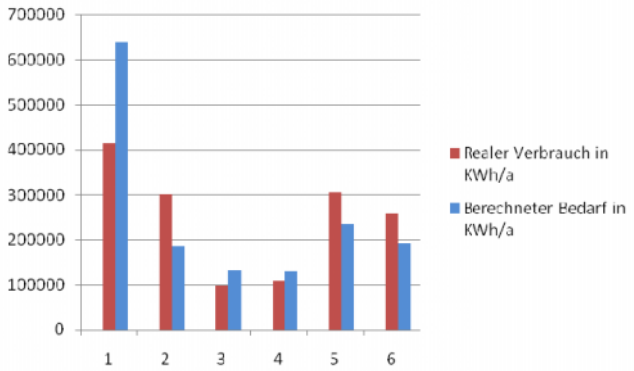


Abbildung 16 [Vergleich mit realen Verbrauchswerten (Stichproben); eigene Darstellung; Quelle: eigene Berechnungen, Verbrauchsdaten der WGG]

Technische Grenzen

Tabellenkalkulationsprogramme sind meist nicht in der Lage mehr als etwa 65000 Zeilen zu verarbeiten. Bei größeren Städten und damit Gebäudebeständen ist daher die Verwendung eines richtigen Datenbankmanagementsystems zwingend erforderlich. Im verwendeten GIS verhält es sich ähnlich. Das Shape – Format besitzt ebenfalls Begrenzungen in der Anzahl der Zeilen und Spalten, zudem lässt mit steigender Datenzahl die Performance merklich nach. Hier empfiehlt es sich eine „File - / Personal Geodatabase“ zu verwenden.

Die Personal-Geodatabase verwendet die Datenbank-Dateistruktur der Microsoft Jet Engine für die Speicherung der Daten unter Microsoft Access. Theoretisch liegt die maximale Speicherkapazität damit bei 2 GB. Die Firma ESRI sieht die maximale Größe, bis zu der noch effektiv mit der Personal Geodatabase gearbeitet werden kann bei 250 bis 500 MB.[110] Durch die Verwendung des Microsoft Access Formates kann die Personal Geodatabase auch mit Microsoft Access geöffnet und gegebenenfalls editiert werden.

Die File Geodatabase hingegen legt die Daten nicht, wie die Personal Geodatabase, in einer einzelnen Datei sondern in separaten Dateien in einem einfachen Dateisystemordner ab. Jede dieser separaten Dateien kann bis zu 1 TB Daten speichern.[111]

[110] http://jabrown.customer.netspace.net.au/approach/webfaq04040210.html (eingesehen am 20.02.09)
[111] http://www.oofile.com.au/oofdoc/Manual/limits.htm (eingesehen am 20.02.09)

6 Analyse und Ergebnisdarstellung

Das nun folgende Kapitel widmet sich der Nutzung der erarbeiteten Datenbasis. Es werden die Faktoren, die wesentlichen Einfluss auf den Wärmebedarf haben noch einmal zusammengefasst. Darauffolgend wird die verwendete Visualisierungsmethode erläutert und die bereits beschriebenen Funktionalitäten des GIS verwendet, um den Wärmebedarf kartographisch dar zu stellen und zu untersuchen. Das geschieht sowohl für die historische Entwicklung, für den aktuellen Zustand, als auch für zukünftige Tendenzen des Wärmebedarfs. Auf dieser Grundlage sollen dann analytische Aussagen getroffen werden. Beginnend mit einer räumlichen Darstellung anhand einer Karte wird diese interpretiert und darauffolgend mit Hilfe von Diagrammen und Zahlenmaterial ausgewertet.

6.1 Einflussfaktoren

Bei der Beschreibung der Wärmebedarfsberechnungen hat sich bereits gezeigt, dass es einige wesentliche Einflussfaktoren gibt. Diese sollen bei der vorliegenden Analyse erneut aufgegriffen und näher betrachtet werden. Nur so lassen sich später die verschiedenen Herangehensweisen an die Thematik untereinander vergleichen und stetig verbessern.
Das Baujahr und der Gebäudetyp, ob es sich um eine Einfamilienhaus, ein Reihenhaus, ein Mehrfamilienhaus oder ein großes Mehrfamilienhaus/Hochhaus handelt, sind die wohl bedeutendsten Parameter überhaupt. Sie geben den Aufbau der Gebäudeaußenhülle und die verwendeten Baumaterialien vor. Diese Aspekte sollen durch die Darstellung der Aufteilung des Gesamtwärmebedarfs auf die einzelnen Gebäudetypen und den durchschnittlichen Wärmebedarf nach Baualtersklassen verdeutlicht werden.

6.2 Visualisierung

Auf der Grundlage der vorliegenden Datenbasis wäre eine Gebäudescharfe Darstellung im großmaßstäbigen Bereich ohne weiteres umsetzbar[112]. Auch dreidimensionale Darstellung sind möglich und können für weitere Analysen und öffentlichkeitswirksame Präsentationen verwendet werden. So wird ein benutzerfreundlicher Umgang mit dem digitalen Gebäudebestand erreicht. Er kann so effizient an dritte vermittelt werden und die weitere Datenpflege wird dadurch unterstützt. Vorstellbar wären WebGIS-Applikationen, die dem Bürger die Möglichkeit bieten, das ihm bekannte Gebiet zu erkunden und gegebenenfalls Informationen zu ändern. Wobei auch hier datenschutzrechtliche Belange beachtet werden müssen. Auch sollten unbestimmte Parameter, wie der Sanierungsstand hiervon unberührt bleiben.
Für kleinmaßstäbige Darstellungen bietet sich eine Einteilung des Stadtgebietes von Greifswald in Rasterzellen von jeweils 100 x 100 m an. So lassen sich die summierten Werte aller in einer Rasterzelle befindlichen Gebäude für jeweils einen Hektar bestimmen, was

[112] Siehe DVD

einen praktikablen Umgang ermöglicht und weitere Berechnungen vereinfacht. So ist es für den Betrachter außerdem überaus leicht, subjektiv Wärmedichten zu bestimmen, auch ohne eine entsprechende Fachkenntnis. Es wird für jeden Zustand ein Raster berechnet. Dazu dient immer der Mittelpunkt eines Gebäudes als Lagereferenz. So wird erreicht, dass die Zellen eines jeden Zustandes (historische, IST, zukünftig) immer genau dieselbe Lage und Ausdehnung haben. Sie lassen sich so unabhängig voneinander bearbeiten (umrechnen, klassifizieren etc.) und miteinander vergleichen. Die Klassen basieren auf natürlichen Gruppierungen der Datenwerte. Klassengrenzen werden mit Hilfe statistischer Berechnungen dort gesetzt, wo ein Sprung in den Werten ist, entsprechend einem größeren Abstand zwischen den Säulen im Häufigkeitsdiagramm. Diese Methode minimiert die Summe der Varianzen innerhalb jeder Klasse so, dass Werte mit großer Ähnlichkeit in einer Klasse zusammengefasst werden. Dieses Verfahren ist bei allen Rasterdarstellungen gleich, soll die Interpretation der Ergebnisdarstellungen nicht verfälscht werden. Es wird eine Farbskala von Grün für niedrige Werte über Gelb hin zu Rot für hohe Werte, eingeteilt in 8 Klassen verwendet. Die Werte sind Angaben in MWh/a und resultieren aus der Summe aller in einer Zelle befindlichen Energieeffizienzwerte in KWh/m²a multipliziert mit der Nutzfläche der jeweiligen Gebäude. Die nebenstehende Abbildung soll das beispielhaft verdeutlichen. Der hier mit einer roten Schraffur gekennzeichneten Rasterzelle wird also ein Wert zugeordnet, der sich aus dem Produkt von 191 KWh/m²a (siehe Abbildung 17) und der dazugehörigen Nutzfläche des hier einzigen Gebäudes ergibt. Die Zuordnung der Lage erfolgt über den Mittelpunkt (siehe Abbildung) der Gebäudegrundflächen.

Abbildung 17[Berechnete Werte der Rasterzellen; eigene Darstellung]

Es ist möglich, dass beim Vergleich zweier unterschiedlicher Kartendarstellungen Interpretationsprobleme auftreten. Diese lassen sich minimieren, indem die Rasterdarstellungen so miteinander verrechnet werden, dass nur die Werte dargestellt sind, die eine Veränderung erfahren haben. Möglich wird dies durch den Befehl „cut/fill“, einer Funktion der ArcGIS – Erweiterung „Spatial Analyst“. Die resultierende Darstellung besteht dann nur noch aus 3 Farbwerten. Rot für eine Erhöhung, Blau für eine Verringerung und Grau für keine Veränderung der Wärmebedarfswerte. Verständlicher Weise ist mit einer Erhöhung der Werte allerdings nicht zu rechnen.

6.3 Die Entwicklung des Wärmebedarfs bis Heute

Der historische Zustand, lässt sich näherungsweise durch das Filtern aller Gebäude einer bestimmten Baualtersklasse und Unterstellung eines unsanierten Zustandes aus der aktuellen Gebäudedatenbank extrahieren. Es werden nur Gebäude mit einbezogen, die auch eine Altersklassenzuordnung erfahren haben und denen ein Gebäudetyp zugeordnet werden konnte[113]. Abgerissene Gebäude können ebenfalls nicht direkt beachtet werden, sollten aber aus Erfahrung nur einen sehr geringen Prozentsatz des Bestandes ausmachen bzw. werden durch Informationen zu den historischen Hintergründen berücksichtigt.
Es können insgesamt 7 Zeitschnitte visualisiert und in Folge dessen miteinander verglichen werden. Die Zeitschnitte entsprechen den bereits bei der Berechnung erläuterten Baualtersklassen.
Zusätzlich zu den Kartendarstellungen werden Informationen zur Verteilung des durchschnittlichen Wärmebedarfs auf die einzelnen Gebäudetypen und zum jeweiligen Gesamtwärmebedarf in GWh/a gegeben. Ab dem Jahr 2009 wird auch eine Aussage über die Menge der Emissionen in CO_2 Äquivalent/a gemacht.

Anmerkung
Es erscheint immer der aktuelle Gebäudebestand in den Kartendarstellungen. Einzig die Rasterdarstellungen verändern sich.

Ab dem Jahr 1990 fließen die Sanierungsmaßnahmen in die Berechnungen mit ein.

Ab dem Jahr 2009 werden Nichtwohngebäude in die Berechnungen mit einbezogen.

[113] Siehe Kapitel 5.5

6.3.1 Wärmebedarf um 1919

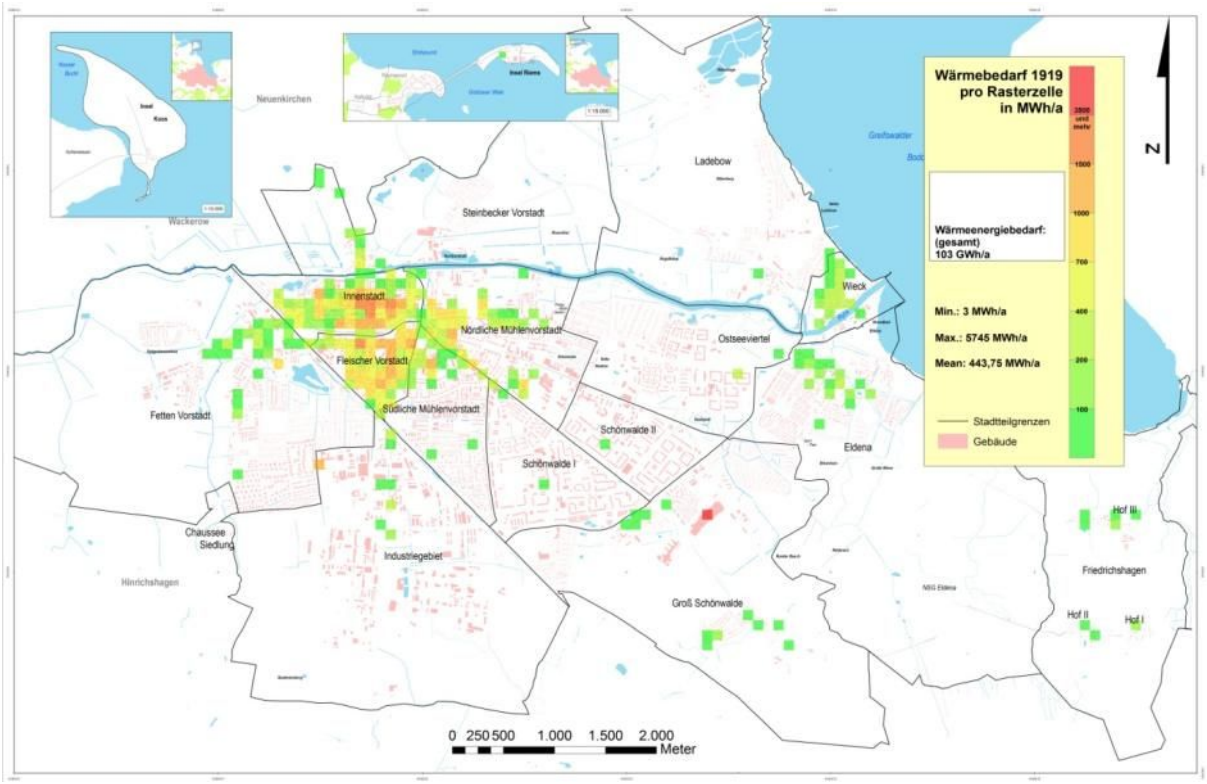


Abbildung 18[Wärmebedarf um 1919 in MWh/a; eigene Darstellung; Quelle: Digitale Stadtgrundkarte, eigene Berechnungen]

Anfang des 20. Jahrhunderts hatte die Stadt Greifswald einen ungefähren Gesamtwärmebedarf von 103 GWh/a. Damals beherbergte die Stadt etwa 35000 Einwohner.

Die Bebauung und somit auch der Wärmebedarf konzentrierten sich auf die heutige Innenstadt, die Fleischer Vorstadt und Teile der Nördlichen Mühlenvorstadt. Desweiteren in Wieck und in Eldena, sowie entlang der Hauptverkehrsachsen Wolgaster Straße, Anklamer Straße und Grimmer Landstraße (Siehe Abbildung 18). Die höchste Wärmedichte ist im Gebiet rund um die Innenstadt zu verzeichnen. Es werden maximale Werte von 5745 MWh/a erreicht. Der durchschnittliche Wärmebedarf der Gebäude liegt bei 271 kWh/m²a.

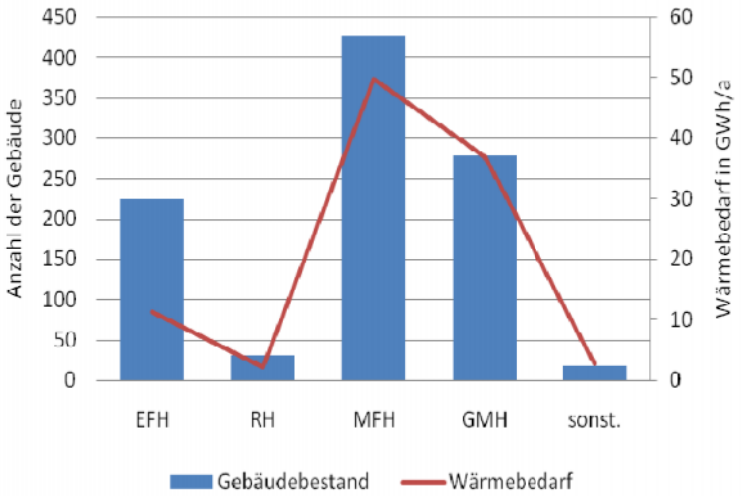


Abbildung 19[Wärmebedarfsanteile nach Gebäudetypen 1919; eigene Darstellung; eigene Berechnung]

Den Großteil des Gebäudebestandes bilden kleine und große Mehrfamilienhäuser, die gleichzeitig den Wärmebedarf dominieren (siehe Abbildung 19).

6.3.2 Wärmebedarf um 1944

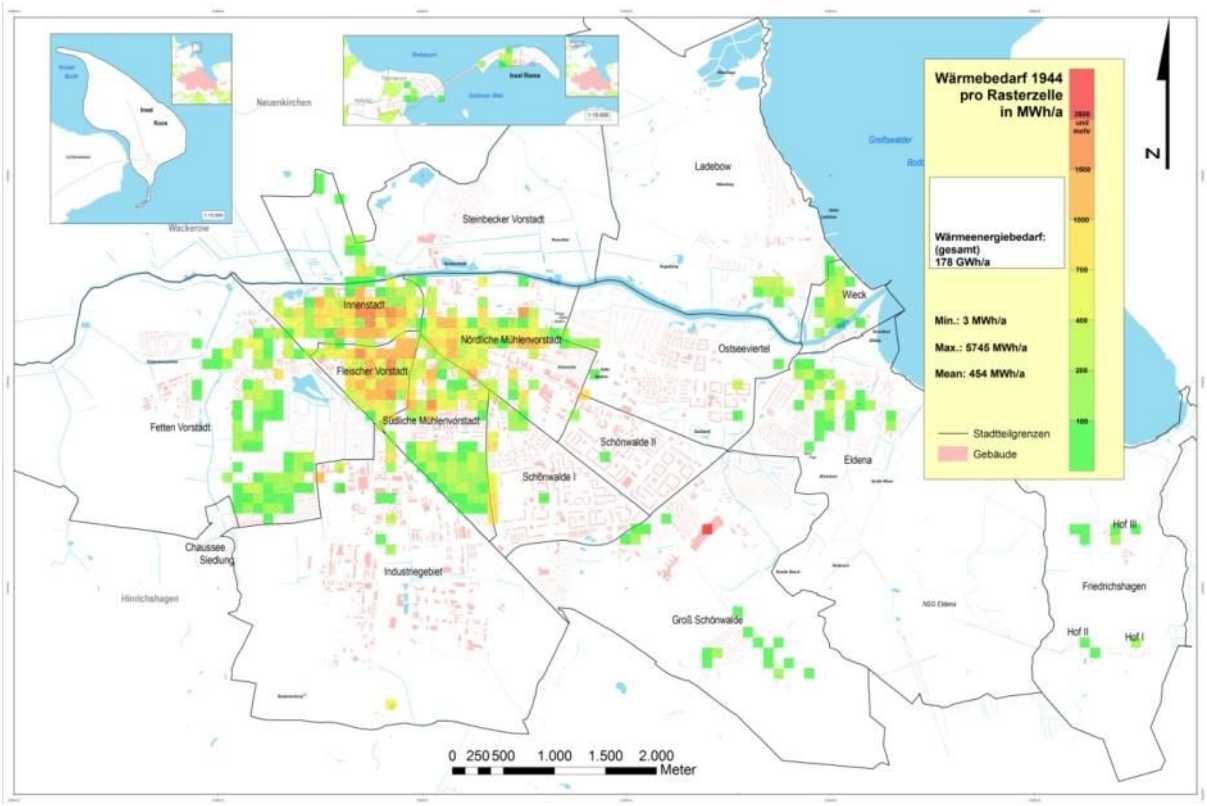


Abbildung 20[Wärmebedarf um 1944 in MWh/a; eigene Darstellung; Quelle: Digitale Stadtgrundkarte, eigene Berechnungen]

Um 1944 ist ein Gesamtbedarf von etwa 178 GWh/a zu verzeichnen bei einer Bevölkerungszahl von etwa 37000 Einwohnern. Es zeigt sich eine Zunahme des Gebäudebestandes im Stadtteil Eldena und in der Nördlichen Mühlen Vortstadt. Im Bereich der Südlichen Mühlenvorstadt und nördlich der Chausseesiedlung wurden neue Gebiete erschlossen. Hierbei handelt es sich um eine lichte Bebauung mit Einfamilienhäusern, was die sich in einer noch relativ geringen Wärmedichte äußert und den Anstieg dieses Gebäudetyps in Abbildung 21 erklärt. Die größten Wärmedichten liegen nach wie vor in der Innenstadt, der Nördlichen Mühlenvorstadt und der Fleischer Vorstadt.

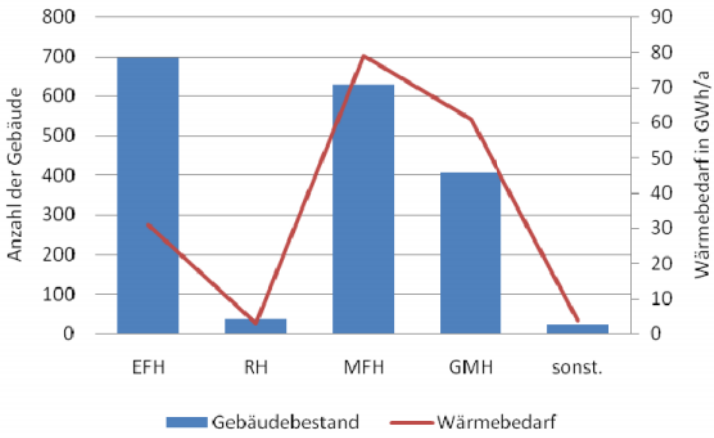


Abbildung 21[Wärmebedarfsanteile nach Gebäudetypen 1944; eigene Darstellung; eigene Berechnung]

Der Großteil der Nutzenergie für Wärme wird von den Mehrfamilienhäusern nachgefragt. Die durchschnittliche Wärmenachfrage pro Gebäude liegt bei etwa 249 MWh/m²a.

6.3.3 Wärmebedarf um 1960

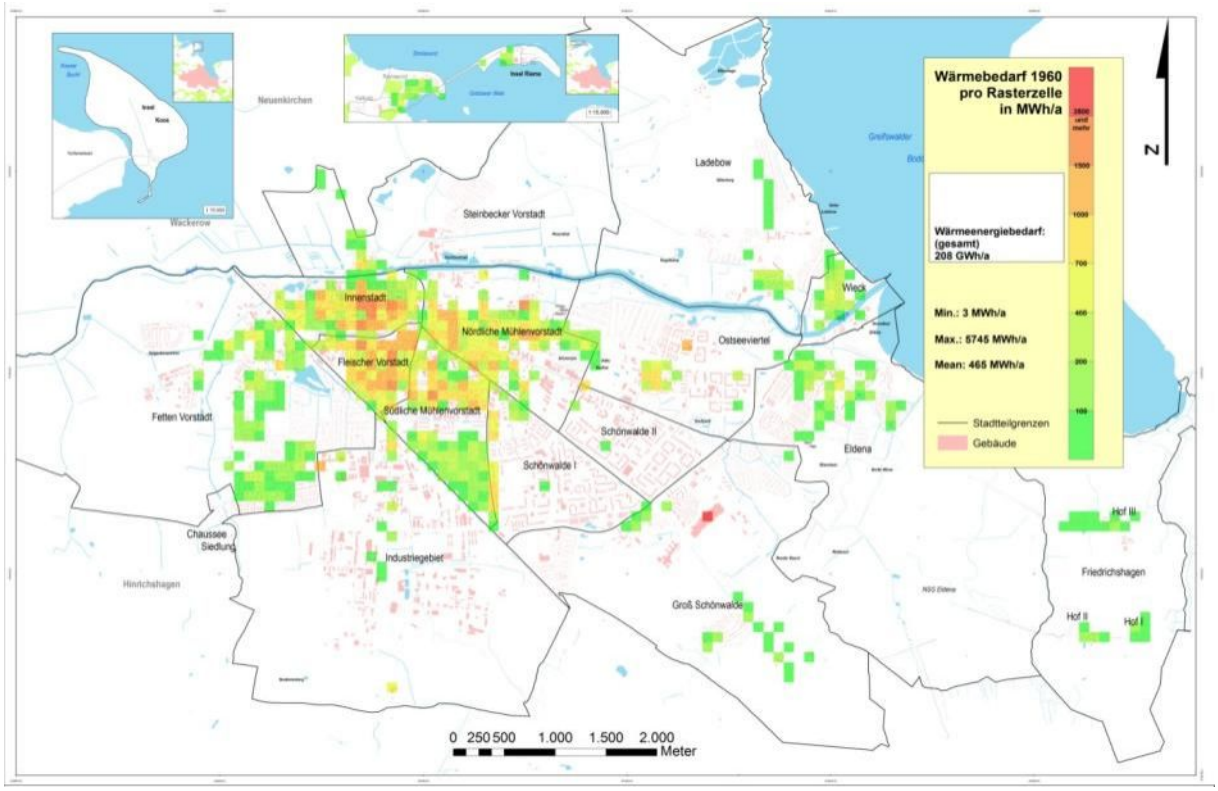


Abbildung 22[Wärmebedarf um 1960 in MWh/a; eigene Darstellung; Quelle: Digitale Stadtgrundkarte, eigene Berechnungen]

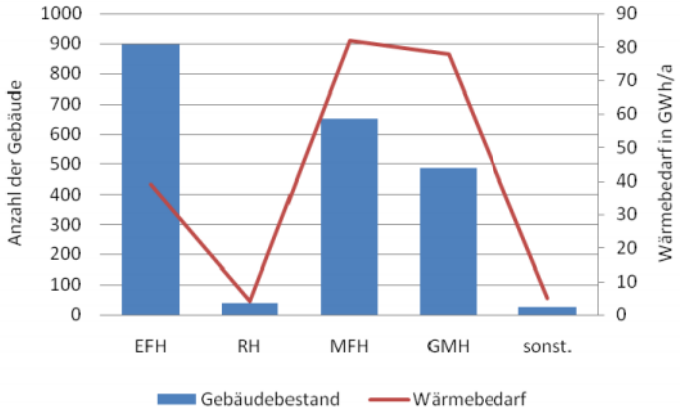


Abbildung 23[Wärmebedarfsanteile nach Gebäudetypen 1960; eigene Darstellung; eigene Berechnung]

Im Jahr 1960 hat die Stadt einen ungefähren Gesamtbedarf von 208 GWh/a. Es leben zu dieser Zeit etwa 46700 Menschen in Greifswald.
Die Bebauung in den drei Wärmebedarfsschwerpunkten Innenstadt, Nördliche Mühlen-vorstadt und Fleischer Vorstadt hat sich weiter verdichtet. Der Bedarf ist folglich weiter angestiegen. Ebenso in den bis dato Umlandgemeinden Riemser Ort, Groß Schönwalde, Friedrichshagen und Ladebow. Im Bereich des Ostseeviertels – Parkseite kam eine große Anzahl an Einfamilienhäusern hinzu. Der durchschnittliche Wärmebedarf pro Gebäude ist auf 301 KWh/m²a angestiegen.

Einer Rasterzelle im Bereich des heutigen Einkaufszentrums „Elisenpark“ im südöstlichen Teil der Stadt wird ein sehr hoher Wärmebedarfswert zugeordnet. Das ist auf einen Fehler in der Gebäudedatenbank zurückzuführen und taucht auch in allen anderen Kartendarstellungen auf.

6.3.4 Wärmebedarf um 1970

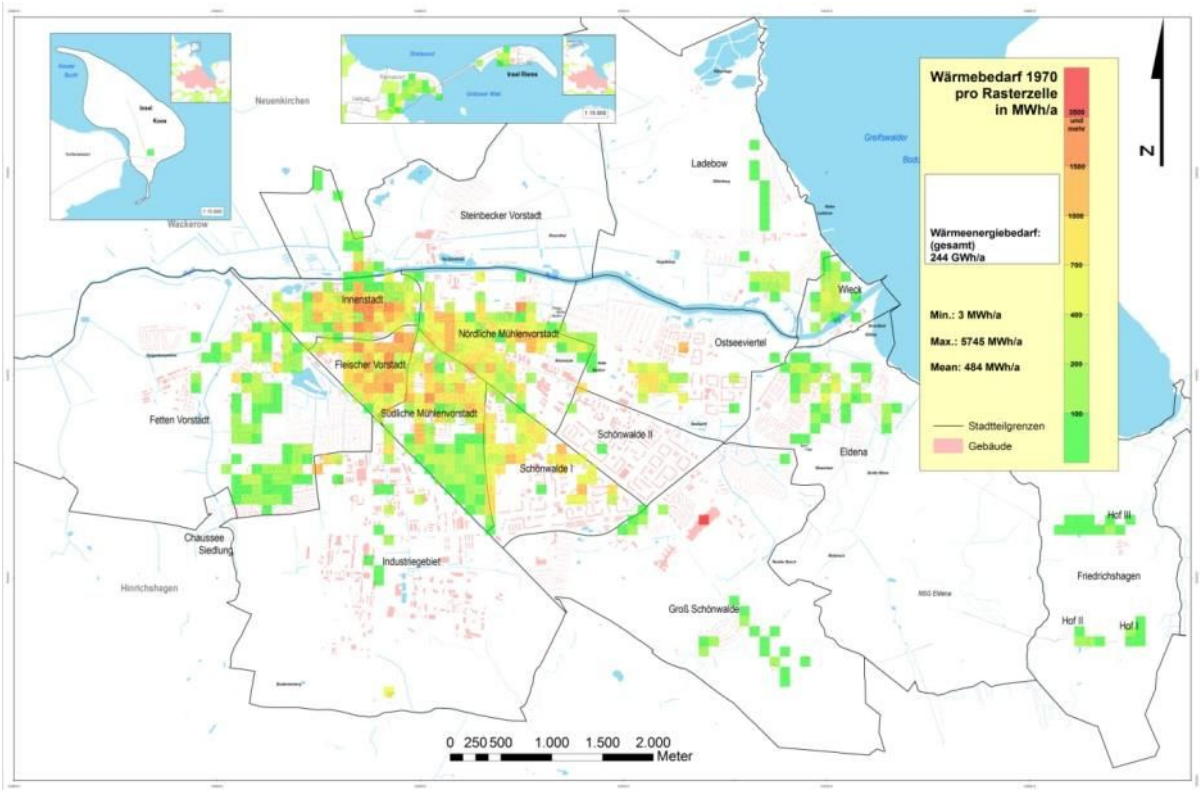


Abbildung 24[Wärmebedarf um 1970 in MWh/a; eigene Darstellung; Quelle: Digitale Stadtgrundkarte, eigene Berechnungen]

1970 entspricht der Gesamtbedarf ca. 244 GWh/a bei etwa 47000 Einwohnern.

Der Bedarf in der Innenstadt, der Nördlichen Mühlenvorstadt und der Fleischer Vorstadt sowie in allen anderen bisherigen Schwerpunkten ist weiter angestiegen. Es gibt erste bauliche Aktivitäten im Stadtteil Schönwalde I entlang der Anklamer Straße.

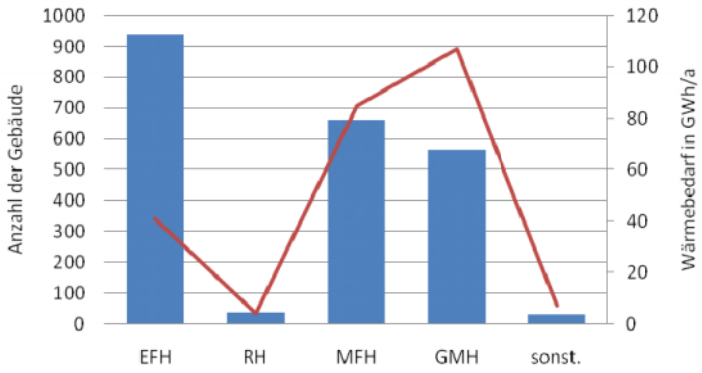


Abbildung 25[Wärmebedarfsanteile nach Gebäudetypen 1970; eigene Darstellung; eigene Berechnung]

Abbildung 25 zeigt einen weiteren Anstieg der Anzahl an Einfamilienhäusern. Das ist auf den weiteren Ausbau des Wohngebietes im Ostseeviertel – Parkseite zurückzuführen. Der durchschnittliche Wärmebedarf pro Gebäude beträgt 297 KWh/m²a.

6.3.5 Wärmebedarf um 1980

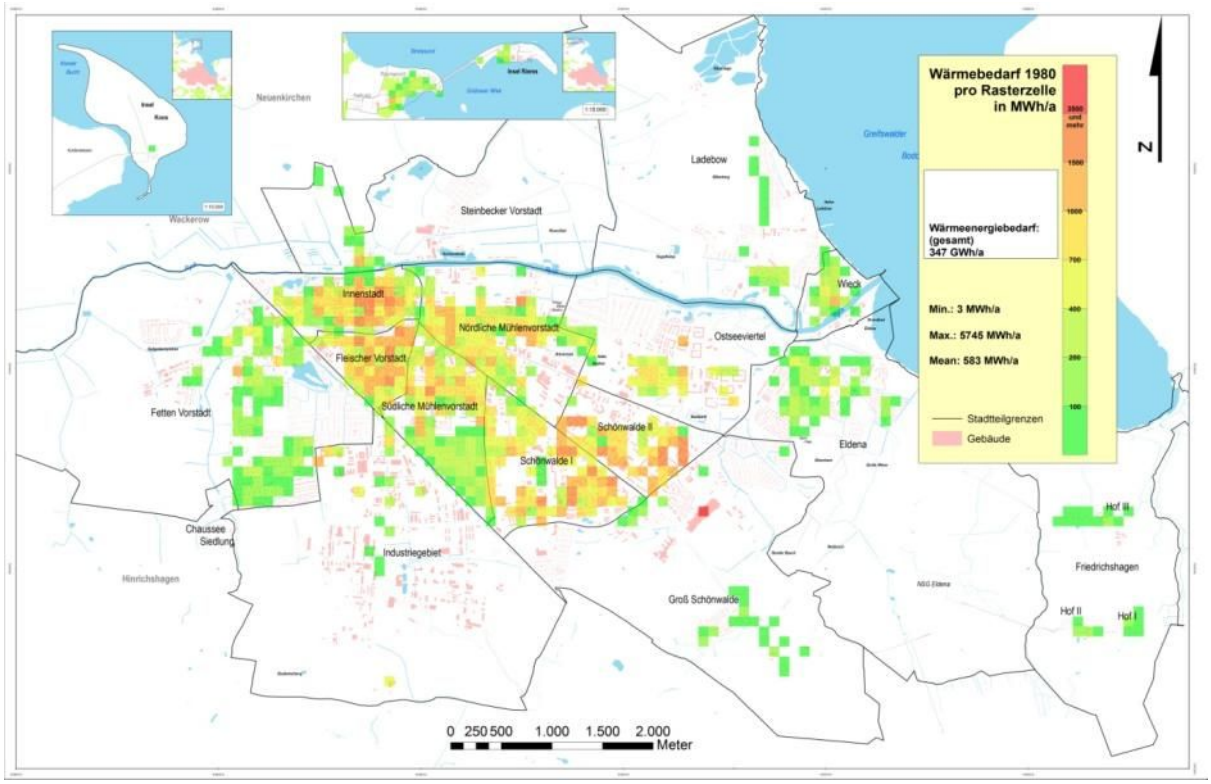


Abbildung 26[Wärmebedarf um 1980 in MWh/a; eigene Darstellung; Quelle: Digitale Stadtgrundkarte, eigene Berechnungen]

Der Zeitschnitt von 1980 ist hauptsächlich durch die Errichtung der großen Wohngebiete Schönwalde I/Südstadt, Schönwalde II , Altes Ostseeviertel, Ostseeviertel - Parkseite und Ostseeviertel - Ryckseite in Plattenbauweise geprägt.

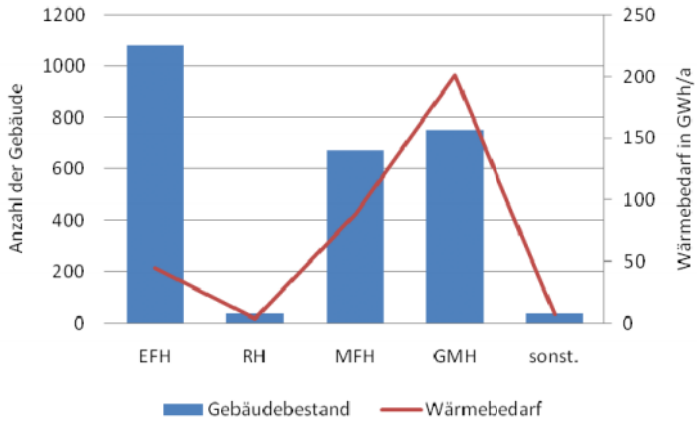


Abbildung 27[Wärmebedarfsanteile nach Gebäudetypen 1980; eigene Darstellung; eigene Berechnung]

Der Gesamtbedarf an Wärme stieg dadurch auf etwa 347 GWh/a an. Die Bevölkerungszahl erfuhr ebenfalls einen Anstieg auf ca. 61000 Einwohner. Der Schwerpunkt der Wärmedichte verlagerte sich so in die genannten Stadtteile. Der Stadtteil Wieck hat die Nachfrage nach Wärme ebenfalls erheblich steigern können.

Der Anteil der Einfamilienhäuser hat weiter zugenommen. Deren Anteil am Gesamtwärmebedarf ist allerdings eher gering (siehe Abbildung 27). Der durchschnittliche Wärmebedarf pro Gebäude liegt bei 289 KWh/m²a.

6.3.6 Wärmebedarf um 1990

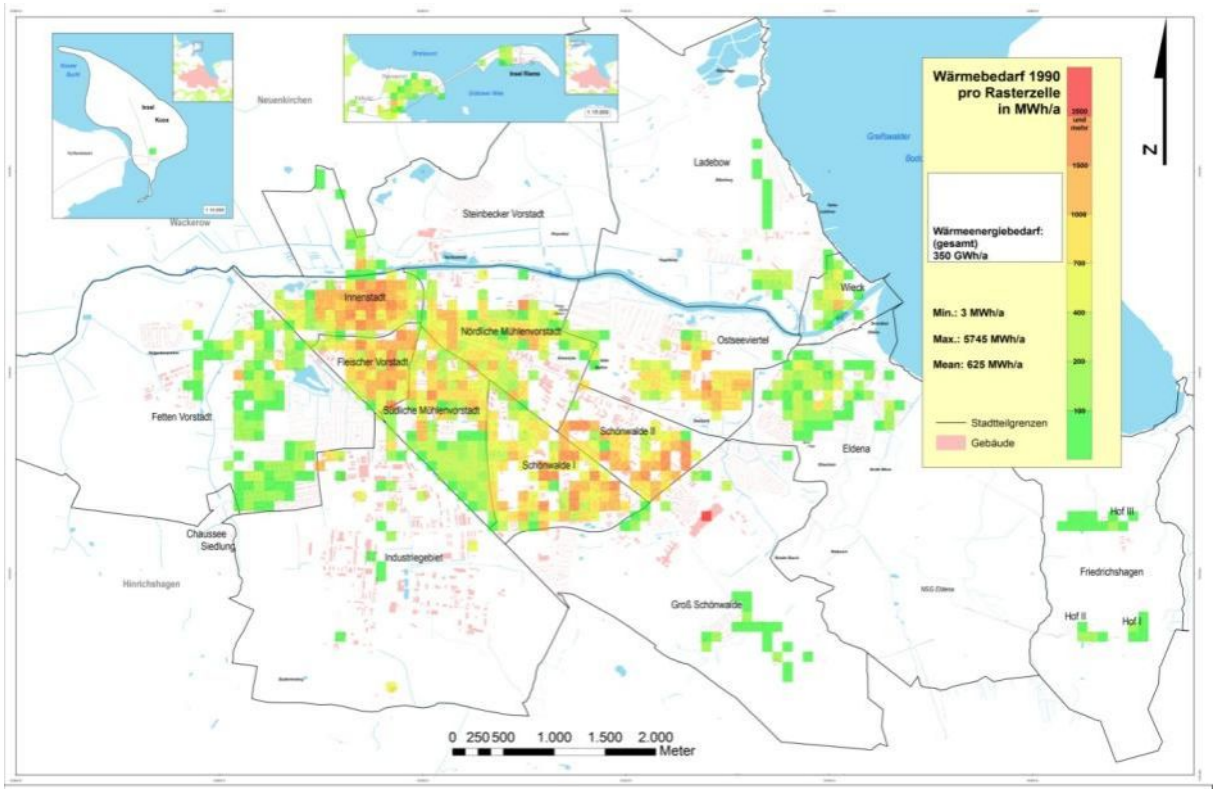


Abbildung 28[Wärmebedarf um 1990 in MWh/a; eigene Darstellung; Quelle: Digitale Stadtgrundkarte, eigene Berechnungen]

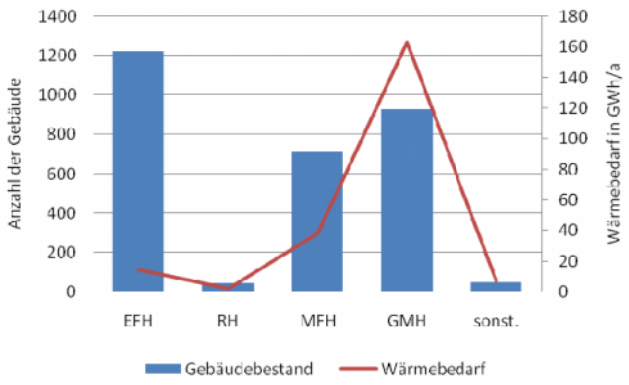


Abbildung 29Wärmebedarfsanteile nach Gebäudetypen 1990; eigene Darstellung; eigene Berechnung]

Ab 1990 fällt der Anstieg des Gesamtwärmebedarfs zunehmend geringer aus. Er beträgt derzeit etwa 350 GWh/a. Das liegt darin begründet, dass der Anstieg der Bevölkerungszahl auf ca. 67000 Einwohner nicht so groß ist wie in den Jahren zuvor. Außerdem werden zunehmend Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand durchgeführt, die den Nutzenergiebedarf an Wärme verringern. Der durchschnittliche Wärmebedarf beträgt 186 KWh/m²a. Diese Zahl wird wesentlich durch den hohen Sanierungsstand bei den Einfamilienhäusern beeinflusst. Abbildung 29 zeigt einen sehr geringen Anteil am Gesamtwärmebedarf bei gleichzeitig sehr hoher Anzahl der Gebäude. Trotzdem haben sich die Schwerpunkte der Wärmedichte noch deutlicher in der Innenstadt, die Fleischer Vorstadt sowie auf das Ostseeviertel und Schönwalde I und II manifestiert. Auch der Riemser Ort hat an Nachfrage zugelegt.

6.3.7 Wärmebedarf 2009

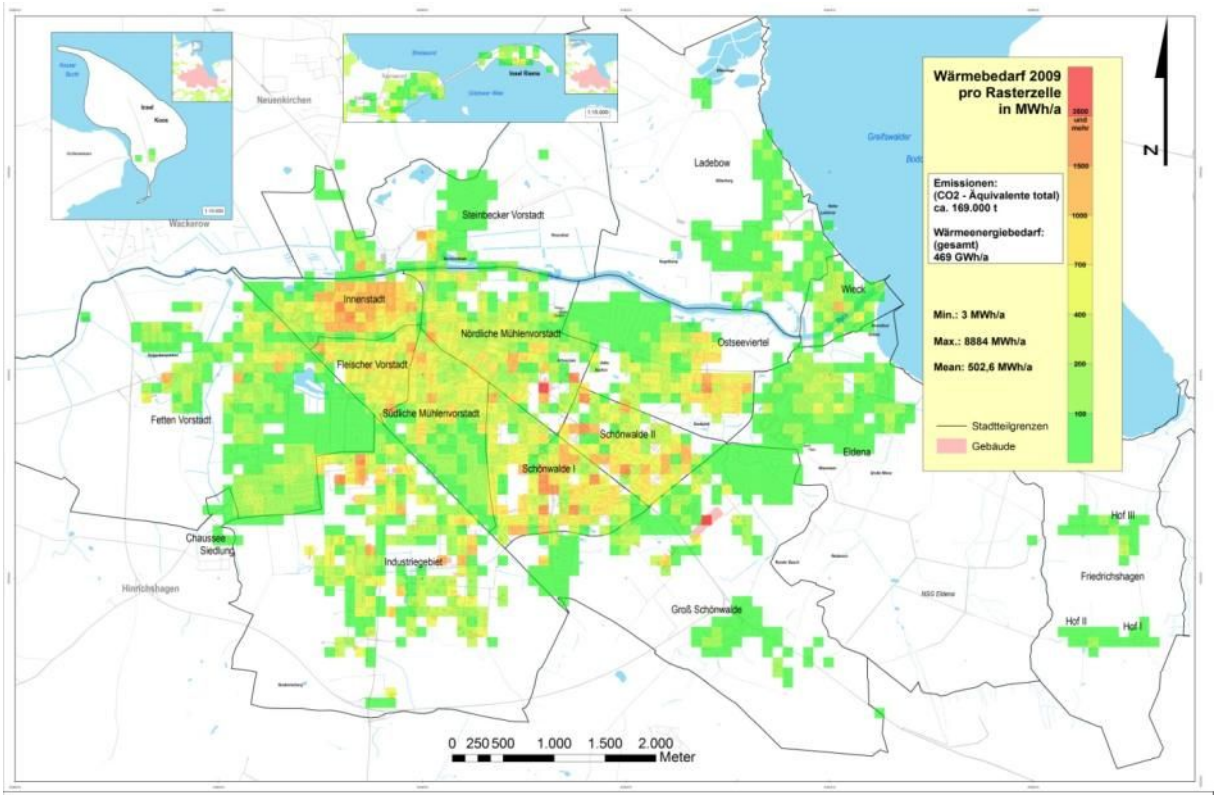


Abbildung 30 [Wärmebedarf um 2009 in MWh/a; eigene Darstellung; Quelle: Digitale Stadtgrundkarte, eigene Berechnungen]

Der aktuelle Gesamtbedarf an Raumwärme beträgt ca. 469 GWh/a bei etwa 53000 Einwohnern.

Unter Annahme einer Wärme-versorgungsstruktur, gemäß Kapitel 4.2 ergeben sich damit einhergehende Emissionen von 169000 t CO_2 Äquivalent/a. Der starke Anstieg der Wärmenachfrage hängt damit zusammen, dass jetzt auch eine Vielzahl von Nichtwohngebäuden (in Abbildung 31 als „sonst.“ Gekennzeichnet) in die Betrachtung mit einfließen. Die Darstellung wirkt dadurch weitaus flächendeckender.

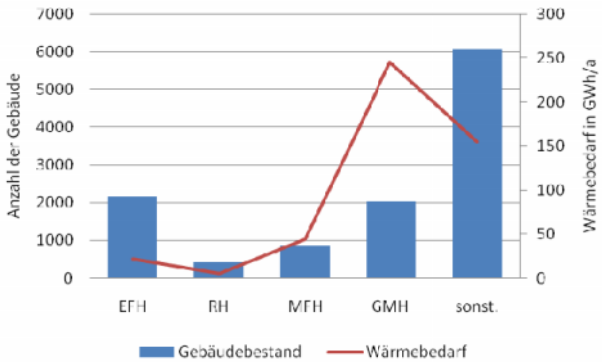


Abbildung 31[Wärmebedarfsanteile nach Gebäudetypen 2009; eigene Darstellung; eigene Berechnung]

Trotz Städtebauförderungsmaßnahmen in der Innenstadt und einer stetigen Umgestaltung und Aufwertung seit 1993 sowie dem Rückbau in den Plattenbausiedlungen seit 2000 im Rahmen von Stadtumbaumaßnahmen, konzentriert sich die Wärmenachfrage nach wie vor auf die Stadtteile Innenstadt, Nördliche Mühlenvorstadt, Fleischer Vorstadt, Südliche Mühlenvorstadt, Schönwalde I und II, Ostseeviertel sowie Wieck und Eldena. Hinzugekommen ist das Industriegebiet als weiterer Großabnehmer. Die Kleingartenanlagen in der Steinbecker Vorstadt, östlich der Fetten Vorstadt sowie westlich des Ostseeviertels und südlich des Stadtparks verfälschen hier den Gesamteindruck der Verbreitung des

Wärmebedarfs. Diese sollten durch die Filterung von Gebäuden mit einer Grundfläche kleiner 30 m² nicht mit in die Untersuchung einfließen, da diese in der Regel keiner ganzjährigen Nutzung unterliegen. Es scheint aber doch eine Gewisse Anzahl an Gebäuden zu geben, die diesen Wert überschreiten und so einen bestimmten Wärmebedarf vortäuschen. Der sich so ergebende Anteil am Gesamtwärmebedarf ist jedoch sehr gering und sollte die in der Arbeit angestellten Berechnungen nur unwesentlich beeinflussen.
Desweiteren ist hinzuzufügen, dass sich die Anzahl der Einfamilienhäuser seit 1990 fast verdoppelt hat. Trotzdem haben die großen Mehrfamilienhäuser mit Abstand den größten Anteil am Gesamtwärmebedarf. Der durchschnittliche Wärmebedarf pro Gebäude beträgt aktuell 174 KWh/m²a.

6.3.8 Zusammenfassung

Beim Vergleich der einzelnen Zeitschnitte hat sich Folgendes gezeigt:
Der Gebäudebestand hat sich im betrachteten Zeitraum stetig vergrößert (siehe Abbildung 32). Der Wärmebedarf folgte diesem Trend zunächst. In den 70'er Jahren gab es einen sehr großen Anstieg bedingt durch eine starke Bevölkerungszunahme und die damit einhergehende Errichtung von Plattenbausiedlungen. Entgegen der Zunahme des Gebäudebestandes zu Anfang des 21. Jahrhundert nimmt der Bedarf an Wärme, bedingt durch effizientere Bauweisen (siehe Abbildung 32), wieder langsam ab.

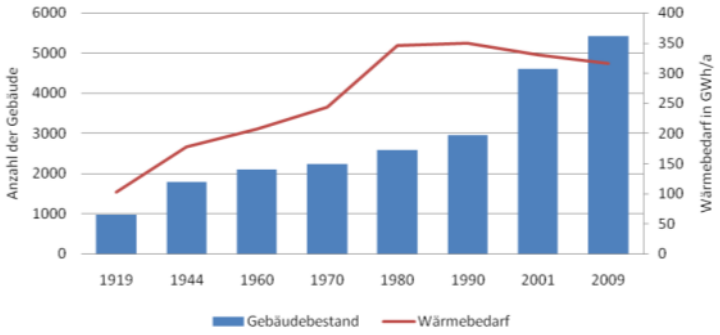


Abbildung 32[Entwicklung des Wärmebedarfs 1919 - 2009; eigene Darstellung; eigene Berechnungen]

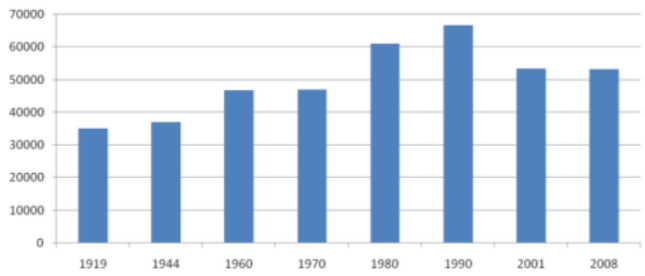


Abbildung 33[Entwicklung der Bevölkerungszahlen 1919 - 2009; eigene Darstellung; Quelle: Statistische Jahreszahlen Greifswald]

Abbildung 33 zeigt die Bevölkerungszahlen der betrachteten Zeitschnitte. Es ist eindeutig zu erkennen, dass die Bevölkerungsentwicklung mit der Wärmebedarfsentwicklung konform geht. Aufgrund einer Zunahme der Wohnfläche pro Person[114], ist der Einbruch beim Wärmebedarf nach 1990 allerdings nicht ganz so deutlich wie bei den Bevölkerungszahlen. Nach dem aktuellen Stand ergibt sich eine Wärmenachfrage von etwa 9 MWh/a pro Person. Das entspricht wiederum einer Wärmenachfrage von etwa 16 MWh/a pro Wohneinheit. Werte, die für Prognosen des zukünftigen Wärmebedarfs verwendet werden können. Diese sind allerdings nur für die Stadt Greifswald repräsentativ, könnten aber mit Ergebnissen aus

[114] Vgl. Statistische Jahreszahlen Greifswald (2005)

anderen Untersuchungsgebieten verglichen werden, um so zum Beispiel einen gesamtdeutschen Wert zu ermitteln.

Es konnte außerdem festgestellt werden, dass die räumliche Verteilung der Wärmenachfrage sich auf bestimmte Stadtteile konzentriert. Es liegt nahe, dass diese Bereiche auch die höchste Bevölkerungsdichte aufweisen. Dieser Umstand zeigt sich bei der Betrachtung des Bedarfs an Warmwasser (Abbildung 35) noch einmal deutlich.

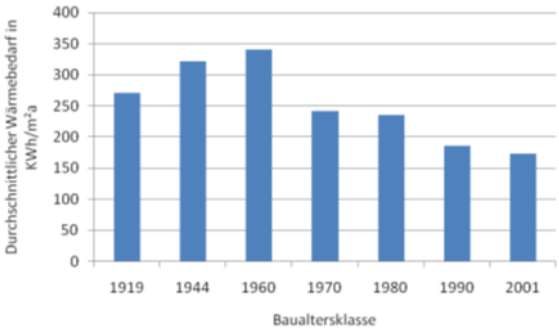


Abbildung 34[Durchschnittlicher Wärmebedarf nach Baualtersklassen; eigene Darstellung; eigene Berechnungen]

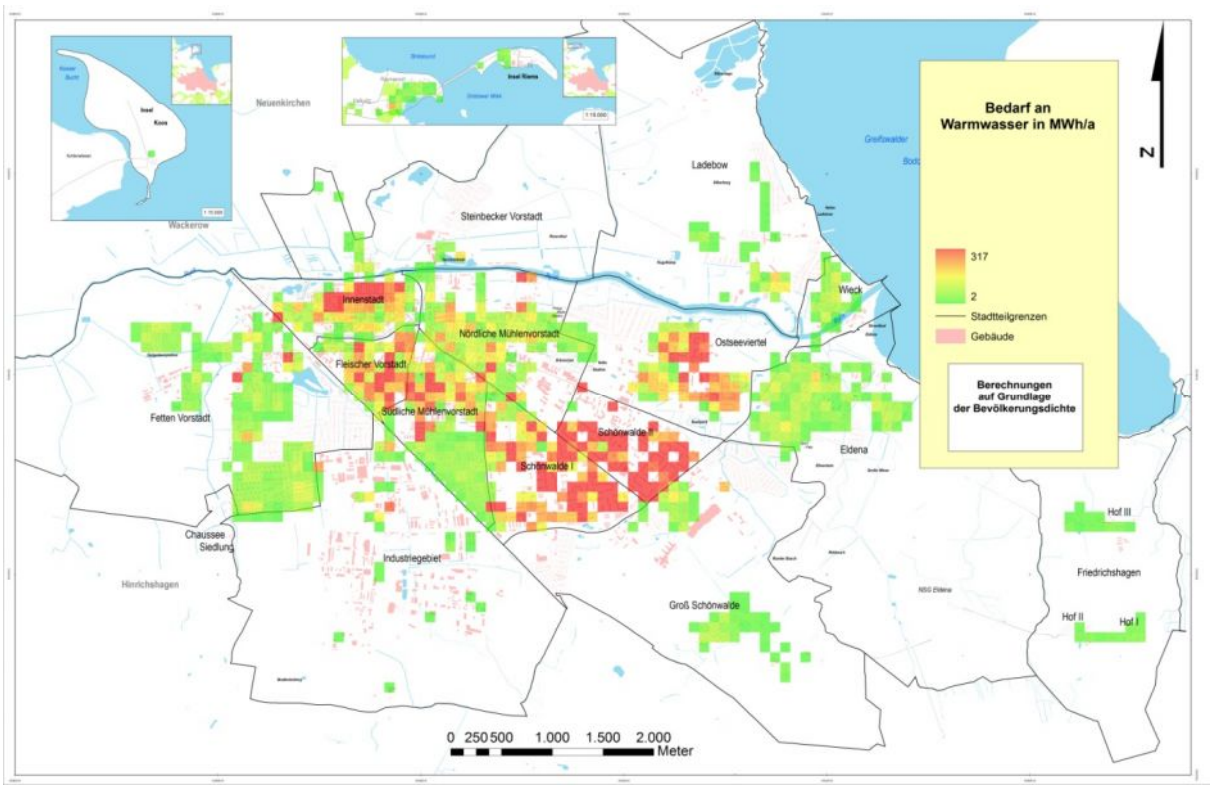


Abbildung 35[Bedarf an Warmwasser auf Grundlage der Bevölkerungsdichte 2008; eigene Darstellung; Quelle: Digitale Stadtgrundkarte, Amt für Wirtschaft und Finanzen – Statistikstelle, eigene Berechnungen]

Der Bedarf an Warmwasser wurde in die bisherigen Betrachtungen nicht mit einbezogen. Das soll an dieser Stelle nachgeholt werden. Die Nachfrage nach Warmwasser lässt sich in der Stadt Greifswald, aufgrund des geringen Anteils an verarbeitendem Gewerbe, hauptsächlich auf die Bevölkerungsdichte zurückführen. Die Statistikstelle Greifswald kann adressscharfe Bevölkerungszahlen bereitstellen, welche für diese Untersuchung genutzt werden sollen. Aus Abbildung 35 geht hervor, dass die Daten zwar lückenhaft sind, aber für Rückschlüsse auf die räumliche Verteilung durchaus verwendet werden können. Die Darstellung ergibt sich aus der aktuellen Einwohnerzahl der Stadt Greifswald multipliziert mit einen, aus der Literatur abgeleiteten Bedarf von 700 KWh/ Person und Jahr. Es ergeben sich

so Maximalwerte von 317 MWh/a pro Rasterzelle. Schwerpunkte des Bedarfs zeichnen sich in Schönwalde I und II, im Ostseeviertel sowie in der Nördlichen Mühlenvorstadt, der Fleischer Vorstadt und der Innenstadt ab.
Der Gesamtbedarf lässt sich nicht direkt aus der Karte ableiten, kann aber sehr wohl über die aktuelle Gesamteinwohnerzahl berechnet werden. Der Bedarf an Warmwasser für die Stadt Greifswald beträgt somit ca. 37 GWh/a. Um diese bereit zu stellen, werden etwa 13000 t CO_2 Äquivalent/a emittiert.

6.4 Die zukünftige Entwicklung des Wärmebedarfs

Die Abschätzung der weiteren Entwicklung des Wärmebedarfs soll auf zweierlei Arten erfolgen. Zum Einen werden die Veränderungen im derzeitigen Bestand betrachtet. Diese werden hauptsächliche durch den Stand der Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen beeinflusst und in drei Szenarien gegliedert. Aufgrund der guten Datenlage können so belastbare Aussagen gemacht werden. Zum Anderen sollen auch zukünftige Veränderungen des Gebäudebestandes Beachtung finden. Dazu wird die städtebauliche Planung auf der Ebene des Flächennutzungsplans und der Bebauungspläne herangezogen.

6.4.1 Szenario 1

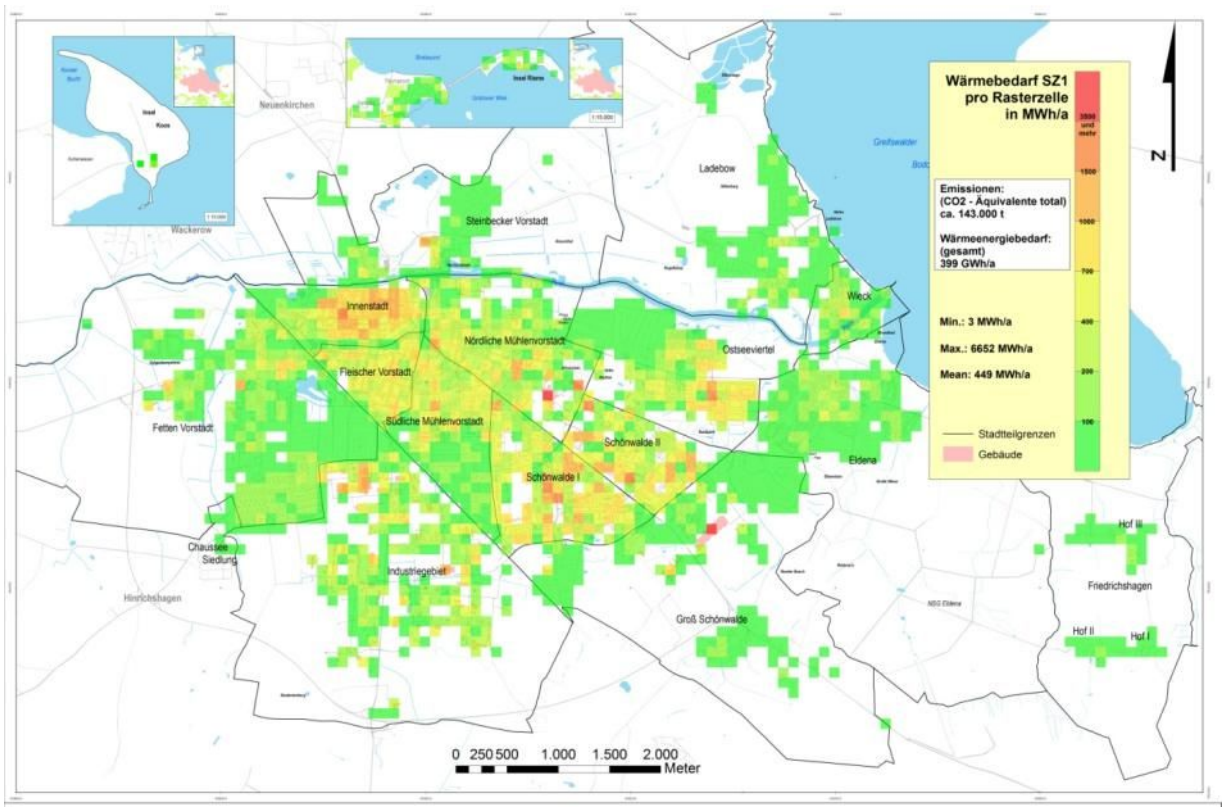


Abbildung 36[Wärmebedarf Szenario 1 in MWh/a; eigene Darstellung; Quelle: Digitale Stadtgrundkarte, eigene Berechnungen]

Das erste Szenario unterstellt folgende Situation bei der Umsetzung von flächendeckenden Sanierungsmaßnahmen: Alle unsanierten Gebäude (unabhängig vom Gebäudetyp) werden in einem ersten Schritt um eine Sanierungsstufe angehoben. D.h. unsanierte Gebäude sind nun

teilsaniert. In Abbildung 36 ist die daraus resultierende Wärmenachfrage dargestellt. Es lassen sich keine wesentlichen räumlichen Veränderungen der Wärmedichte erkennen. Einzig die absoluten Werte der Rasterzellen haben sich verändert und deuten auf einen flächendeckend geringeren Bedarf hin. Abbildung 37 untermauert diese Aussage.

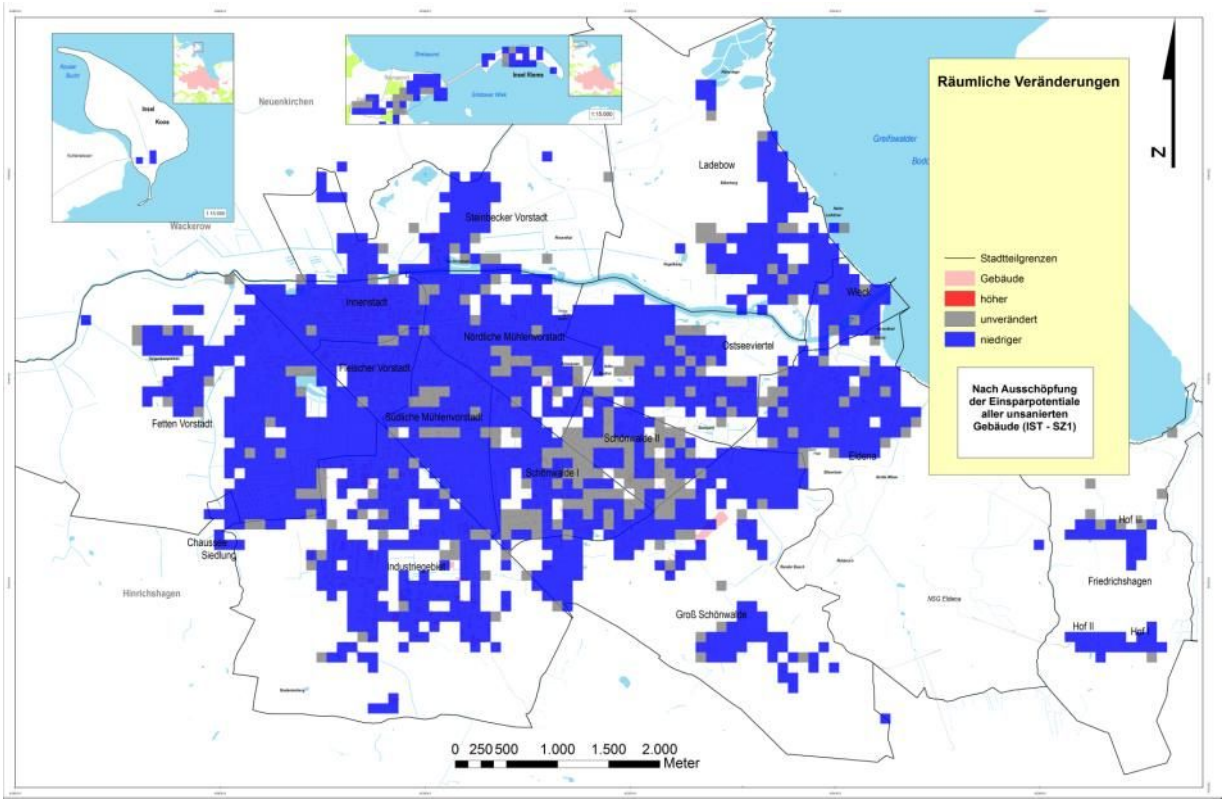


Abbildung 37[Räumliche Veränderungen des Wärmebedarfs 2009 zu Szenario 1; eigene Darstellung; Quelle: Digitale Stadtgrundkarte, eigene Berechnungen]

Der Gesamtbedarf ist jetzt auf ca. 399 GWh/a gesunken, die damit einhergehenden Emissionen auf ca. 143000 t CO_2 Äquivalent/a. Es wird dieselbe Versorgungsstruktur wie im Jahr 2008 unterstellt.

6.4.2 Szenario 2

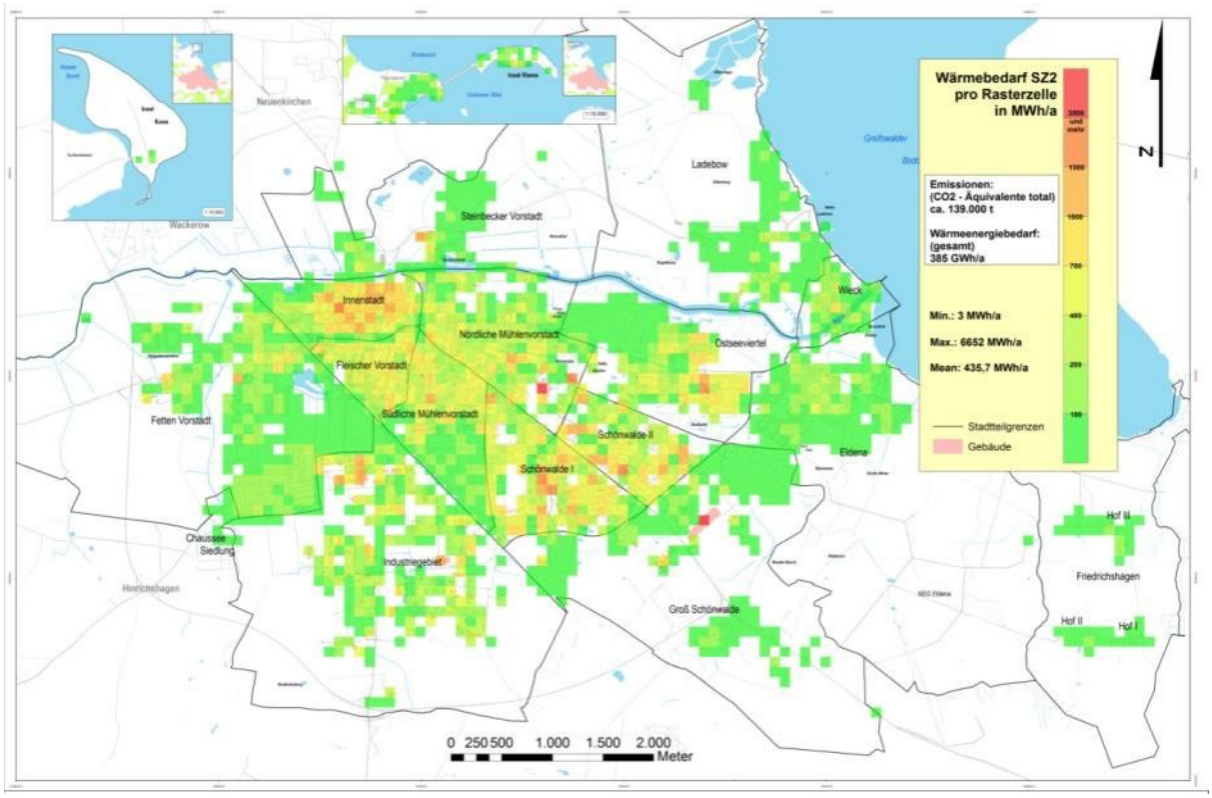


Abbildung 38 [Wärmebedarf Szenario 2 in MWh/a; eigene Darstellung; Quelle: Digitale Stadtgrundkarte, eigene Berechnungen]

Das zweite Szenario (Abbildung 38) geht einen Schritt weiter und unterstellt, dass alle bisher teilsanierten Gebäude voll saniert werden. Daraus ergibt sich eine Verringerung der Wärmedichte in den bisherigen Wärmebedarfsschwerpunkten Innenstadt, Nördliche Mühlen Vorstadt, Fleischer Vorstadt sowie Schönwald I und II und dem Ostseeviertel. Vereinzelt auch in den Stadtteilen Wieck und Eldena. Abbildung 39 soll diesen Umstand besser verdeutlichen.

Der Gesamtwärmebedarf der Stadt sinkt auf etwa 385 GWh/a. Die damit einhergehenden Emissionen belaufen sich auf ca. 139000 t CO_2 Äquivalent/a. Es wird dieselbe Versorgungsstruktur wie 2008 unterstellt.

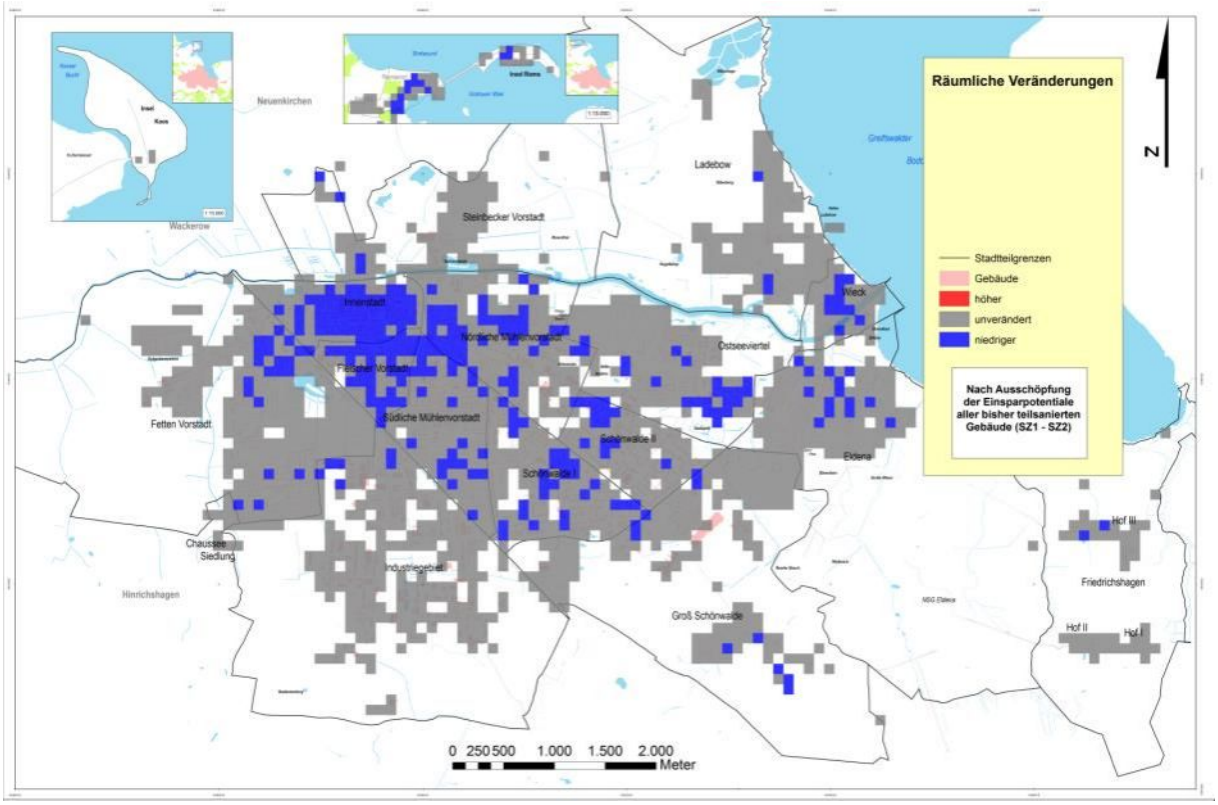


Abbildung 39[Räumliche Veränderungen des Wärmebedarfs Szenario 1 zu Szenario 2; eigene Darstellung; Quelle: Digitale Stadtgrundkarte, eigene Berechnungen]

6.4.3 Szenario 3

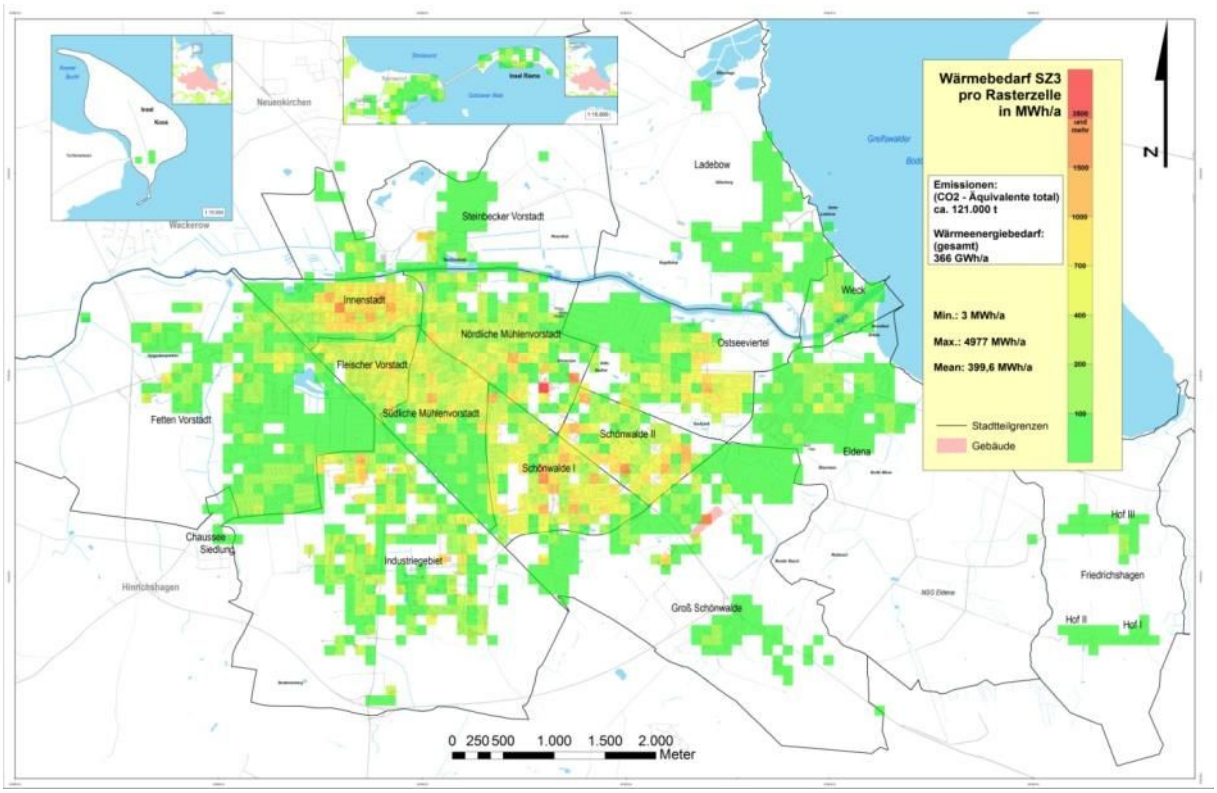


Abbildung 40[Wärmebedarf Szenario 3 in MWh/a; eigene Darstellung; Quelle: Digitale Stadtgrundkarte, eigene Berechnungen]

Das dritte Szenario geht davon aus, dass alle Einsparpotentiale durch Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand voll ausgenutzt werden. Alle Gebäude gelten hier als vollsaniert. Es zeigt sich, dass die maximal erreichten Werte pro Rasterzelle auf unter 5000 MWh/a sinken. Eine räumliche Veränderung der Wärmedichten ist in Abbildung 40 nicht wahrnehmbar. Das liegt daran, dass die Veränderungen flächendeckend nahezu das gesamte Stadtgebiet umfassen (siehe Abbildung 41).

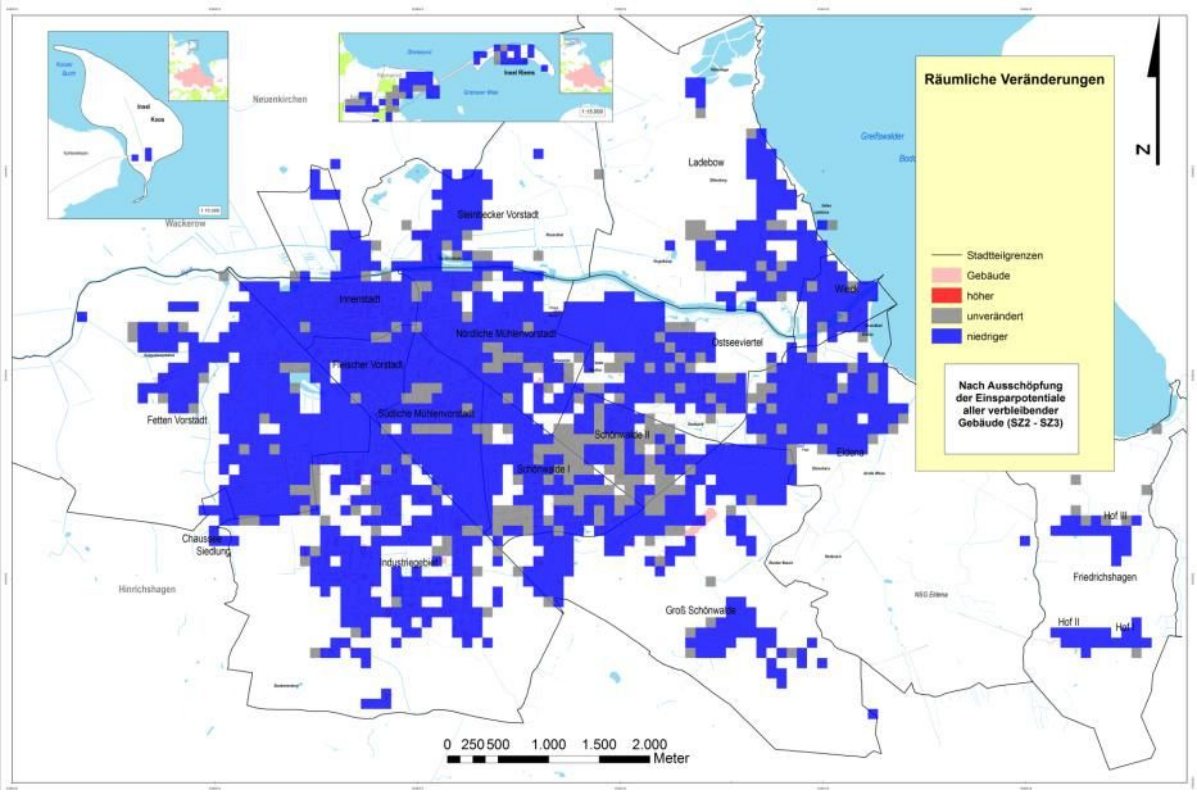


Abbildung 41[Räumliche Veränderungen des Wärmebedarfs Szenario 2 zu Szenario 3; eigene Darstellung; Quelle: Digitale Stadtgrundkarte, eigene Berechnungen]

Der Gesamtwärmebedarf beträgt nun etwa 366 GWh/a. Die damit einhergehenden Emissionen belaufen sich auf ca. 121000 t CO_2 Äquivalent/a. Es wird dieselbe Wärmeversorgungstruktur wie 2008 unterstellt.

6.4.4 Veränderungen im Bestand

Im Flächennutzungsplanplan wurden, ausgehend von der Bevölkerungsentwicklung und gemäß dem Anspruch der Bereitstellung eines möglichst differenzierten Angebotes an Bauflächen, Flächen für Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser ausgewiesen. Eine flächensparende Wohnungs- und Siedlungsentwicklung war dabei ein wichtiges stadtentwicklungspolitisches Ziel.[115]

Der Flächennutzungsplan wurde 1999 erstellt und weist Flächen für insgesamt ca. 9400 Wohneinheiten (WE) aus. Ca. 2700 WE wurden im Innenbereich (nach §34 BauGB) und ca. 1600 WE in Bebauungsplangebieten im Zeitraum von 1990 bis 2004 bereits errichtet.

[115] Vgl. (Greifswald, 2007) (ISEK - Teilfortschreibung)

Zusätzlich wuchs der Wohnungsbestand durch Baumaßnahmen an bestehenden Gebäuden um weitere ca. 2200 WE. Der Abgang belief sich in diesem Zeitraum auf ca. 3200 WE. Dieser resultiert überwiegend aus Baumaßnahmen an bestehenden Gebäuden sowie seit 2004 aus dem Rückbau in den Plattenbaugebieten.

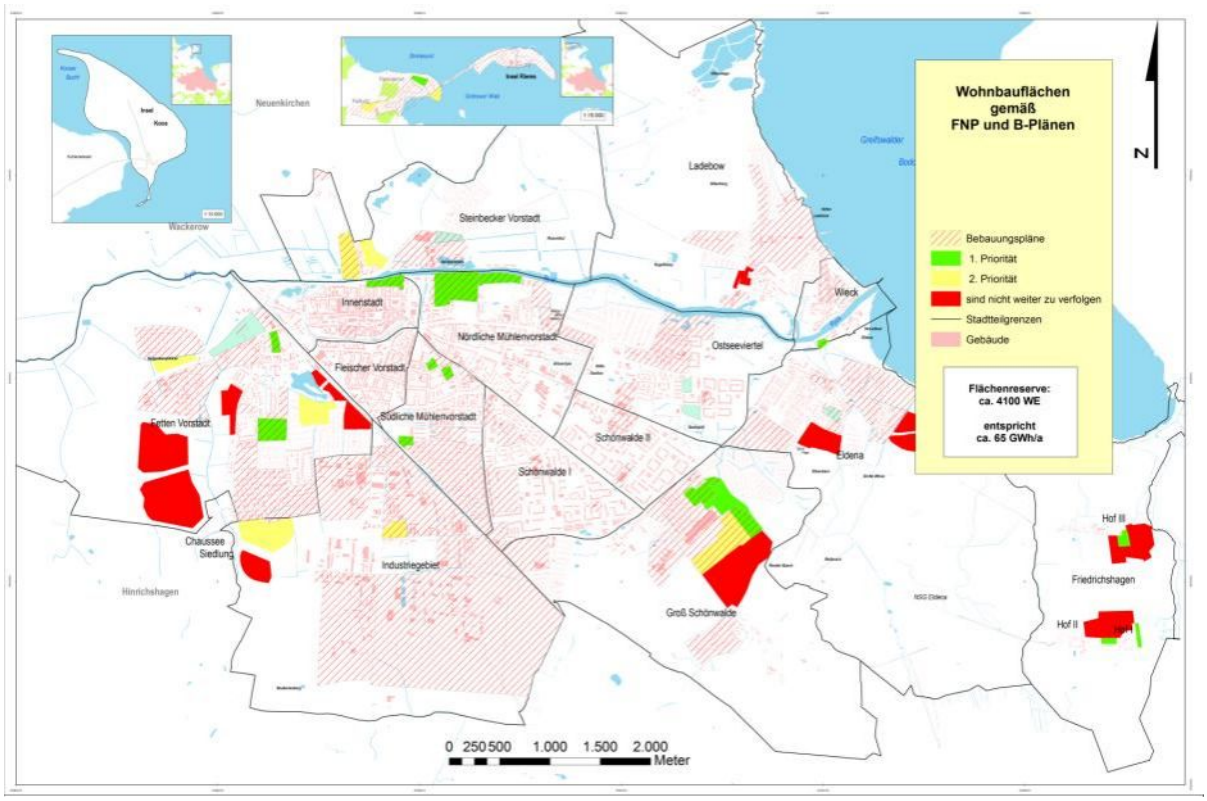


Abbildung 42[Wohnbauflächen aus F- und B-Plänen; eigene Darstellung; Quelle: Digitale Stadtgrundkarte, Stadtplanungsamt Greifswald]

In Abbildung 42 sind Wohnbauflächen dargestellt, die in Bebauungsplänen bzw. im Flächennutzungsplan ausgewiesen sind und noch offene Wohnbaureserven aufweisen. Auch Änderungen der baulichen Nutzung sind mit berücksichtigt[116]

Zukünftig können sich innerhalb des bebauten Stadtgebietes durch die Aufgabe von Nutzungen auch weiterhin zusätzliche Wohnbauflächen für Einfamilienhäuser entwickeln. Hier ist insbesondere das Gewerbegebiet Gorzberg zu nennen.
Aktuell bestehen immerhin noch Flächenreserven für etwa 4100 WE, wobei bis zum Jahr 2015 ein zusätzlicher Wohnflächenbedarf von 1600 - 2240 WE erwartet wird.
Für die weitere Flächeninanspruchnahme wurden Prioritäten festgelegt. Dazu werden die Flächen, für die noch keine vertraglichen bzw. verfahrensmäßigen Bindungen bestehen nach städtebaulichen Kriterien (Entfernung zur Innenstadt, Erreichbarkeit, Siedlungsstruktur, Brachflächenentwicklung, Versorgung, Attraktivität, Erschließungskosten,

[116] Vgl. ISEK – Greifswald 2007 (Teilfortschreibung)

Flächenverfügbarkeit) bewertet. Ergebnis der Bewertung ist eine Klassifizierung in 3 Prioritätsstufen.[117]

1. Priorität sind vorrangig die Wohnbauflächen, die den Leitlinien und Zielen einer nachhaltigen Entwicklung am besten entsprechen.

Wohnbauflächen 2. Priorität können weiter verfolgt werden, soweit zahlreiche Flächen erster Priorität, aus welchen Gründen auch immer, nicht entwickelt werden können bzw. wenn der zukünftige Wohnungsbedarf (weiter) deutlich über den ISEK- Prognoseannahmen liegt.

Für die Flächen, die in die Kategorie „nicht weiterzuverfolgen“ eingestuft werden, besteht aus heutiger Sicht kein Bedarf. Diese Flächen liegen dezentral, weit von der Innenstadt entfernt und erfordern oftmals eine aufwändige Erschließung. Sie weisen eine Größenordnung auf, die einen großen Teil des prognostizierten Bedarfes abdecken und somit innenstadtnahe und städtebaulich sinnvolle Flächen in Frage stellen würden

Der derzeitige Wärmebedarf pro Wohneinheit beläuft sich auf etwa 16 MWH/a. Die ausgewiesenen Flächen 1. Priorität umfassen ca. 1000 WE und einen daraus resultierenden Gesamtbedarf von 16 GWh/a bei voller Erschließung. Die Flächen 2. Priorität verfügen über ca. 800 WE und einen resultierenden Bedarf von 12,8 GWh/a bei voller Erschließung. Die Flächen, die unter heutigen Umständen noch nicht weiter verfolgt werden, enthalten noch einmal 1100 WE. Das entspricht einem zusätzlichen Bedarf von 17,6 GWh/a. Desweiteren existieren noch 1100 WE die bereits verfahrensmäßig oder vertraglich durch bereits bestehende Bebauungspläne gebunden sind. So kommt ein Bedarf von noch einmal 17,6 GWh/a hinzu.
Insgesamt kommt so bei voller Erschließung der bestehenden Reserven an Wohnbaufläche ein Mehrbedarf von 65,6 GWh/a zu erwarten, der sich gemäß Abbildung 42 auf das Stadtgebiet von Greifswald verteilt.

6.4.5 Eine Prognose für das Jahr 2050

Nachdem die räumlichen Aspekte der weiteren Entwicklung des Wärmebedarfs eingehend untersucht wurden, soll an dieser Stelle der Versuch unternommen werden, mit Hilfe des bisherigen Kenntnisstandes, eine Prognose für das Jahr 2050 abzugeben.

Es werden folgende Annahmen getroffen:

Der Wärmebedarf pro Person beträgt 9 MWh/a. Alternativ kann auch auf Basis der Wohneinheiten mit 16MWh/a gerechnet werden. Das entspricht 0,56 Wohneinheiten pro Person. Ein Wert, der sich auch aus den statistischen Jahreszahlen der Stadt Greifswald

[117] Vgl. ISEK – Greifswald 2007 (Teilfortschreibung)

(2005) ableiten lässt. Für die folgende Beispielrechnung werden die Ergebnisse aus Szenario 3 zugrunde gelegt.

Einsparung durch Sanierungsmaßnahmen im Bezug auf das Ausgangsjahr 2009: 140 GWh/a

Angenommener Zeitraum für die Durchsetzung von Szenario 3: 41 Jahre (2009 – 2050)

jährlicher Zuwachs an WE: 40 WE/a[118]

Wohnflächenbedarf (2005): 0,561 WE/Einwohner

Durchschnittlicher Bevölkerungszuwachs der letzten 10 Jahre: ca. 250 Einwohner/a[119] *(zum größten Teil durch Zuzug von Studenten, daher kritisch zu betrachten)*

Die Berechnung setzt sich aus der Bilanzierung von einem Mehrbedarf durch Zuwächse und einem Minderbedarf durch Einsparungen zusammen.
Mehrbedarf:

$$41 \cdot 250 = 10250$$

Ein durchschnittlicher Zuwachs der Bevölkerung von 250 Einwohnern pro Jahr summiert auf einen Zeitraum von 41 Jahren ergibt einen Gesamtbevölkerungszuwachs von 10250 Einwohnern.

$$10250 \cdot 9\frac{MWh}{a} = 92{,}25\frac{GWh}{a}$$

Multipliziert mit dem aktuellen Wärmebedarf pro Person ergibt sich ein Mehrbedarf von insgesamt 92,25GWh/a. Das entspricht etwa 5750 zusätzlichen Wohneinheiten und kann, verglichen mit den Annahmen aus dem Integrierten Stadtkonzept und unter Beachtung der bisherigen Entwicklung von Greifswald, als durchaus realistisch eingestuft werden.

$$92{,}25\frac{GWh}{a} + 7{,}15\,GWh/a = 99{,}15\frac{GWh}{a}$$

Der entstehende Mehrbedarf an Warmwasser von 7,15 GWh/a wird ebenfalls mit betrachtet. So ergibt sich insgesamt ein Mehrbedarf von 99,15 GWh/a.

Minderbedarf
Der Minderbedarf ergibt sich ausschließlich aus den Einsparungen von Szenario 3 gegenüber dem aktuellen Zustand. Dieser wird vom berechneten Mehrbedarf abgezogen.

$$99{,}15\frac{GWh}{a} - 140\frac{GWh}{a} = \mathbf{-40{,}85\frac{GWh}{a}}$$

Es ergibt sich eine Restminderung von 40,85 GWh/a.

[118] Vgl. ISEK 2007
[119] Vgl. Statistische Jahreszahlen Greifswald (2005)

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass bis zum Jahr 2050, bei Ausschöpfung aller Einsparmöglichkeiten durch Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand und unter den oben genannten Voraussetzungen ein Rückgang der Wärmenachfrage im Bereich von etwa 40 GWh/a zu erwarten sein kann.

7 Diskussion

Im folgenden Kapitel sollen, die anfänglich angesprochenen Kernfragen vor dem Hintergrund der vorhergehenden Analyse diskutiert werden. Des Weiteren wird auf die Übertragbarkeit der angewendeten Methode eingegangen und der derzeitige Forschungsstand im Bereich der Wärmebedarfsermittlung und –Analyse mit Hilfe Geographischer Informationssysteme erläutert.

7.1 Klimaschutzziele

Von Seiten der Politik zielen die Bemühungen auf eine Halbierung des CO_2-Ausstoßes bis zum Jahr 2050 ab. Doch wie wahrscheinlich ist es, dass diese Ziele erreicht werden können. Die vorliegende Analyse lässt eine erste Einschätzung dieser Fragestellung, zumindest für die Stadt Greifswald, durchaus zu. Sie hat ergeben, dass sich die Energieeffizienz des Gebäudebestandes der Stadt Greifswald stark verbessert hat (siehe Abbildung 43), was sich seit den 90'er Jahren auch in einem rückläufigen Gesamtwärmebedarf äußert.

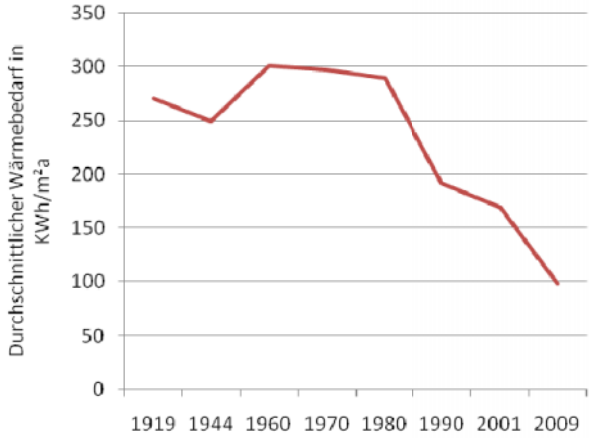


Abbildung 43[Durchschnittlicher Wärmebedarf pro Gebäude in KWh/m²a; eigene Darstellung; eigene Berechnungen]

Die Szenarien haben außerdem gezeigt wie groß die Einsparpotentiale im aktuellen Bestand sind und diese räumlich identifiziert. So können sie schnell und zielgerichtet genutzt werden.

Abbildung 44 zeigt sowohl das bisher erreichte als auch das maximal mögliche Potential an Energieeinsparung durch Sanierungsmaßnahmen im Bestand. Wobei das maximal mögliche nicht statisch betrachtet werden muss, da in Zukunft weitere Technologien auf den Markt kommen können, die andere, noch nicht abschätzbare, Wärme-dämmstandards bei Gebäuden zulassen und so die berechneten Werte weiter nach unten korrigiert werden müssten. Die gleiche Darstellung lässt sich für die Einsparungen an CO_2-Emissionen machen, da diese aus Sicht des Bedarfs direkt mit dem Wärmebedarf korrelieren.

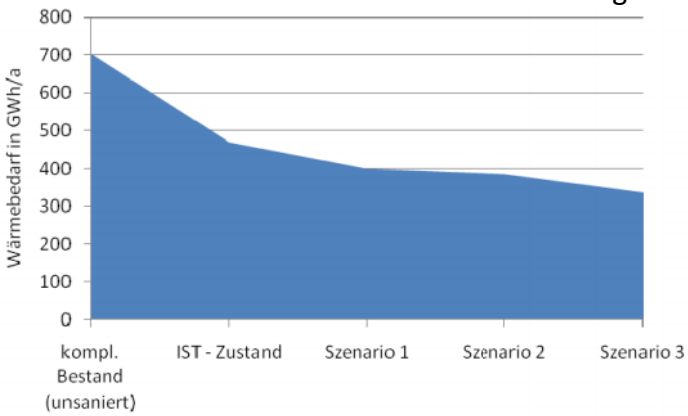


Abbildung 44[Einsparpotential an Nutzenergie für Wärme in GWh/a; eigene Darstellung; eigene Berechnung]

Bei Betrachtung des aktuellen Stands der Dinge als Basis lässt sich allein durch Sanierungen im Bestand, bei voller Ausschöpfung der Potentiale etwa ein Viertel an Nutzenergie

einsparen. Das entspricht, vorausgesetzt einer gleichbleibenden Wärmeversorgungsstruktur ca. 48000t[120] CO_2-Äquivalent im Jahr. Werden die bisherigen Maßnahmen mit eingeschlossen, so ergeben sich sogar etwa 50% Energieersparnis bei gleichzeitiger Reduktion der Treibhausgase um 132000 t CO_2 Äquivalent/a.
Es lässt sich festhalten, dass eine Einschätzung der Klimaschutzbemühungen stark vom betrachteten Ausgangspunkt abhängig ist und nicht ohne weiteres mit ja oder nein beantwortet werden kann.

7.2 Zukunft der Fernwärme

Bei dem großen Anteil an leitungsgebundener Versorgung in Greifswald, stellt sich vor allem bei der vorliegenden Thematik der Arbeit die Frage, ob die Fernwärme auch in der Zukunft in der Lage sein wird die Stadt sowohl ökologisch als auch ökonomisch mit Wärme zu versorgen.
ökologisch
Technisch stellt die Fernwärme Greifswald sehr effiziente Wärmeerzeugungsanlagen bereit (siehe Kapitel 4) und auch die Sanierung des Netzes ist zu über 80% erfolgt, so dass Verluste weitestgehend ausgeschlossen werden können. Unter diesen Umständen liegt es nahe die Fernwärme zu erhalten. Ob sie wirklich die optimale Lösung zur Wärmebereitstellung ist, sei dahingestellt[121]. Viel interessanter aber sind die Einsparpotentiale die sich durch die Fernwärme auf der Wärmeerzeugungsseite bieten. Nur bei der Fernwärme ist es möglich etwa die Hälfte der Wärmeversorgung von Greifswald, zum Beispiel durch die Nutzung regenerativer Energien, ökologisch auf einen Schlag zu optimieren. Ein Vorgang, der bei dezentraler Wärmeversorgung weitaus langwieriger und auch kostenintensiver ist.
Ökonomisch
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.[122] 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 45 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 nichtsdestotrotz schlussfolgern, dass es zahlreiche Gebiete geben wird denen im Zuge des weiteren Netzbetriebes vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

[120] Berechnungen ohne KWK – Bonus (Stromgutschrift)
[121] Zur Beurteilung der CO_2 – Bilanz von KWK – Anlagen sei auf die Ausführungen zur „Gutschrift Methode“ in der Diplomarbeit von Martin Bartelt verwiesen
[122] Vgl. Stadtwerke Greifswald GmbH

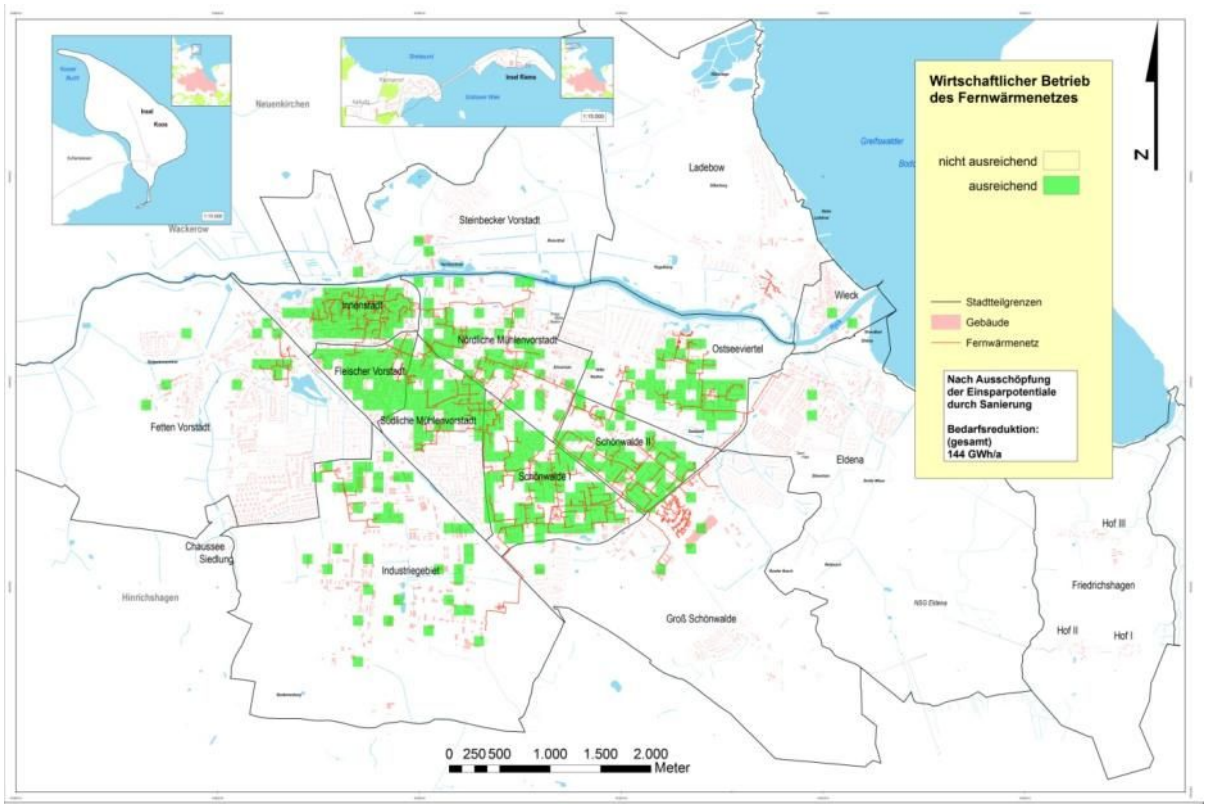


Abbildung 45[Identifikation kritischer Bereiche für den wirtschaftliche Betrieb des Fernwärmenetzes; eigene Darstellung; Digitale Stadtgrundkarte, Stadtwerke Greifswald, eigene Berechnungen]

7.3 Übertragbarkeit der Methode

Vor- und Nachteile

Die hier angewandte Methode folgt dem Bottom-up Prinzip und vereint gleich mehrere Vorteile in sich. Durch die Verwendung eines Wärmekatasters auf Grundlage einer Gebäudedatenbank kann eine, für die Analyse des Wärmebedarfs maximal mögliche räumlich Auflösung und Realitätsnähe erreicht werden. Zudem ist die Datenbasis zu 100% transparent. D.h. sie ist selbst ohne Fachwissen problemlos nachvollziehbar. Sie kann somit von jeder Person, die ein Interesse daran hat kontrolliert und gegebenenfalls erweitert oder korrigiert werden.

Als Nachteile werden der sehr hohe Datenbedarf und eventuell damit einhergehende datenschutzrechtliche Probleme angesehen.

Übertragbarkeit

Die Übertragbarkeit der Methode auf andere Regionen scheint zumindest in Deutschland unproblematisch. Die Einführung geographischer Informationssysteme in Energieversorgungsunternehmen und in der öffentlichen Verwaltung ist schon seit vielen Jahren im vollen Gange. Und auch die verwendeten Datenquellen unterscheiden sich innerdeutsch nur unwesentlich. Als Beispiel sei hier die Stadt Augsburg genannt, die über eine sehr ähnliche und teilweise sogar besser Datenlage verfügt.

Forschungsstand

Der Einsatz geographischer Informationssysteme bei der Analyse des Wärmebedarfs wurde bisher nur sehr vereinzelt thematisiert. Es gibt zwar erste Ansätze für die Verknüpfung von mathematischen Energiesystemmodellen zur Optimierung von Versorgungskonzepten und den Möglichkeiten eines GIS. Die Forschung dahingehend steckt aber noch in den Kinderschuhen und wird derzeit vor allem vom Max – Planck Institut für Plasmaphysik und dem Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart vorangetrieben.

Die Rahmenbedingungen für eine Datenbasis, wie sie in der vorliegenden Arbeit verwendet wurde, sind in Deutschland sehr gut. Viele große Städte haben bereits Energieeffizienzstrategien oder Klimaschutzkonzepte in Angriff genommen und sind im Begriff die Einsparpotentiale genauer zu untersuchen. Der Aufbau eines Gebäudekatasters unter Verwendung einer Typologie, ähnlich der des IWU spielt dabei meist eine herausragende Rolle. Als Beispiele seien die Städte Bremen, Düsseldorf, Augsburg, Darmstadt, Ulm und München genannt. Das Land Baden-Württemberg muss an dieser Stelle besondere Beachtung finden, was die Vorhaltung einer überaus detaillierten Gebäudedatenbank angeht. Ein Werkzeug das bisher seines Gleichen sucht. Ein Student der Geographie an der Universität Augsburg arbeitet derzeit an einem ähnlichen Konzept einer Datenbank für die Stadt Augsburg.

Zudem existieren bereits einige Beispiele an Wärmebedarfskarten auf Basis statistischer Daten, wie Bevölkerungsdichte und Bebauungsdichte. Hier sind die Stadt München und Stadt Salzburg zu nennen. Diese sind jedoch kleinmaßstäbiger und können auf keine so hoch aufgelöste Datenbasis zurückgreifen.

Das Forschungszentrum Jülich hat mit dem IKARUS (Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien) - Projekt eine Datenbasis zur deutschlandweiten Systemanalyse und Technikfolgenabschätzung bereitgestellt. Bestehend aus einer Datenbank mit technischen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Daten zum bundesdeutschen Energiesystem kann diese der Erarbeitung von flexiblen und nutzerfreundlichen Computermodellen verwendet werden. Eine Untersuchung dieser Datenbasis für die Verwendung in Geographischen Informationssystemen für eine nationale Wärmebedarfskarte stellt eine sehr interessante Aufgabe dar und wäre für die Zukunft wünschenswert.

Handlungsempfehlungen

Im Laufe der Arbeit konnte gezeigt werden, dass ein Großteil der benötigten Informationen, selbst bei derartig hochauflösenden Modellierungen, durchaus vorhanden ist. Der Schwachpunkt liegt eher in der fehlenden Kommunikation der Akteure untereinander. Für den Wärmebedarf gilt ein Vorhalten einiger spezifischer Informationen den Gebäudebestand betreffend als Schlüsselelement. D.h. wenn alle Kommunen über eine Gebäudedatenbank verfügen würden, wäre eine detaillierte Analyse des Wärmebedarfs einer Region mit entsprechenden Sachkenntnissen unter relativ geringem Aufwand durchführbar. Der weitere Ausbau einer einheitlichen Geodateninfrastruktur, vor allem auf kommunaler Ebene sollte daher weiter forciert werden. Desweiteren sollten das neue Hochbaustatistikgesetz sowie

die Ausstellungspflicht der Energieausweise als Instrumente der Datenakquisition ausgeschöpft werden um auch für andere Fragestellungen belastbare Grundlagen zur Verfügung stellen zu können.

Für die Stadt Greifswald wäre es nun interessant in einem weiteren Schritt die Potentiale auf der Wärmeerzeugungsseite auszuloten. Denkbar wäre eine GIS-gestützte Identifikation der vorhandenen Stoff- und Energieflüsse zur Optimierung der Wärmeversorgung.

8. Zusammenfassung

Das Ziel der Vorliegenden Arbeit war die Analyse des Wärmebedarfs der Universitäts- und Hansestadt Greifswald unter Anwendung Geographischer Informationssysteme.

Als erster Einstieg in die Thematik diente die Vermittlung der Grundlagen der Wärmeversorgung. Erzeugung, Verteilung und Rahmenbedingungen wurden ausführlich behandelt und bilden zusammen mit der Einführung in den Umgang mit Geographischen Informationssystemen die Grundlage für das weitere Verständnis der Arbeit.

Anschließend erfolgte eine Beschreibung der derzeitigen Situation in Greifswald im Bezug auf die Wärmeversorgung.
In einem weiteren Schritt wurden die Berechnungsgrundlagen für die Ermittlung des Wärmebedarfs einzelner Gebäude auf Grundlage der Energie-Einsparverordnung erläutert und dahingehend vereinfacht, als das diese für den kompletten Gebäudebestand angewendet werden konnten. So war es möglich den Datenbedarf weitestgehend zu reduzieren.
Den Schwerpunkt der Arbeit bildete der Aufbau der Datenbasis in Form eines Wärmekatasters für die gesamte Stadt. Dazu wurde eine Vielzahl von Akteuren kontaktiert und konnte so zur Kooperation bewegt werden. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf der Nachvollziehbarkeit der Methode und einer maximalen Transparenz der Daten.
Auf dieser Grundlage war es möglich den Wärmebedarf für das gesamte Stadtgebiet zu ermitteln und anhand von Kartendarstellungen zu visualisieren. So ergab sich die Möglichkeit einer detaillierten räumlichen Analyse der bisherigen Entwicklung, des aktuellen Zustandes und des zukünftigen Wärmebedarfs.

Mit der entwickelten Methode kann der spezifische Wärmebedarf bzw. der absolute Wärmebedarf eines Siedlungsgebietes detailliert bestimmt werden. Durch die räumliche Darstellung des Wärmebedarfs können sowohl verschiedene Wärmeversorgungskonzepte wirtschaftlich bewertet, als auch die Auswirkungen von verstärkten Sanierungsmaßnahmen detailliert erfasst werden. Die Stadt Greifswald besitzt nun ein Instrument um Einsparpotentiale im Gebäudebestand gezielter und somit auch schneller zu nutzen. Gleichzeitig haben die Stadtwerke Greifswald die Möglichkeit die Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen besser zu beurteilen und können so auf Veränderungen frühzeitig reagieren.

Quellenverzeichnis

[1.] **Adams et. al. Till** Praxishandbuch WebGIS mit Freier Software [Buch]. - Bonn : CCGIS , 2004.

[2.] **AGFW** Öffentlich- rechtlicher Anschluss- und Benutzerzwang für Fernwärme [Bericht]. - [s.l.] : AGFW, 2007.

[3.] **Albrecht Jochen** key concepts and techniques in GIS [Buch]. - London : Sage Verlag, 2007.

[4.] **Amt für Geoinformation Vermessung und Katasterwesen** Geobasisdaten, Karten und Luftbilder [Buch]. - Schwerin : [s.n.], 2006.

[5.] **Amt für Wirtschaft und Finanzen/ Abt. Wirtschaft und Tourismus** Zahlen, Daten, Fakten [Bericht]. - Greifswald : [s.n.], 2004.

[6.] **Amt für Wirtschaft und Finanzen/ Abt.Statistik** Statistische Jahreszahlen [Bericht]. - Greifswald : [s.n.], 2005.

[7.] **Baehr H.D. und Stephan K.** Wärme- und Stoffübertragung [Buch]. - [s.l.] : Springer Verlag, 2009.

[8.] **Bartelme Norbert** Geoinformatik - Modelle, Strukturen, Funktionen [Buch]. - [s.l.] : Springer Verlag, 2005.

[9.] **Bartelt Martin** Energie- und Treibhausgasbilanz der Hansestadt Greifswald als Grundlage einer lokalen Klimaschutzkonzeption [Buch]. - Greifswald : Diplomarbeit, 2005.

[10.] **Bauer C.** Präzisierung von Handlungsfeldern für eine ressourcenorientierte, nachhaltige Gestaltung von Stoffströmen metallischer Rohstoffe mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems [Buch]. - Aachen : Wissenschaftsverlag, 2002.

[11.] **Behr Franz Josef** Strategisches GIS - Management [Buch]. - Heidelberg : Wichmann Verlag, 2000.

[12.] **Bill R.** Kommunale Geo - Informationssysteme [Buch]. - Heidelberg : Wichmann Verlag, 2002.

[13.] **Bill Ralf, Seuß Robert und Schilcher Matthäus** Komunale Geoinfomationssysteme [Buch]. - Heidelberg : Wichmann Verlag, 2002.

[14.] **Blesl Markus** Räumlich hoch aufgelöste Modellierung leitungsgebundener Energieversorgungssysteme zur Deckung des Niedertemperaturbedarfs [Buch]. - Stuttgart : Universität Stuttgart (Dissertation), 2001.

[15.] **Blumenthal Ronny** Ermittlung der aktuellen und zukünftigen Wärmenachfrage im Rahmen des Klimaschutzkonzeptes für die Hansestadt Greifswald [Buch]. - Stralsund : FH - Stralsund, 2005.

[16.] **Botzenhart Florian** Optimale Nutzung von Solarenergie unter thermodynamischen Aspekten und wirtschaftlichem Kalkül [Buch]. - Augsburg : IPP Report 16/17, 2007.

[17.] **Buhmann E. und Wiesel J.** GIS - Report [Buch]. - Karlsruhe : Bernhard Harzer Verlag, 2008.

[18.] **DDGI** GIS und SAP bei Energieversorgungsunternehmen [Artikel] // GEOBIT. - 12 2006.

[19.] **Detzer et. al.** Kommunale Umweltpolitik [Buch]. - Augsburg : Kognos Verlag, 1999.

[20.] **Diefenbach** Potentiale zur Reduzierung der CO2 - Emissionen bei der Wärmeversorgung von Gebäuden in Hessen bis 2012 [Buch]. - [s.l.] : BBR online, 2007.

[21.] **Dittmann A. und Zschernig J.** Energiewirtschaft [Buch]. - Berlin : Teubner Verlag, 1998.

[22.] **Dötsch Christian, Taschenberger Jan und Schönberg Ingo** UMSICHT - Schriftenreihe, Leitfaden Nahwärme [Buch]. - Oberhausen : Fraunhofer IRB, 1998. - Bd. 6.

[23.] **Energieconsulting Heidelberg GmbH** Energieversorgungskonzept Ulm [Buch]. - Ulm : [s.n.], 1996.

[24.] **Erdmann Georg** Energieökonomik [Buch]. - Berlin : Springer Verlag, 2008.

[25.] **Ernst Helmut** Veränderungen in der Wärmebranche [Journal] // EuroHeat&Power. - Heft 5 2006.

[26.] **Fachblatt für technische Gebäudeausrüstunge** TGA - Planer [Buch]. - Stuttgart : Genther Verlag, diverse Jahrgänge.

[27.] **Feist Wolfgang** Passivhaus . Projektierungs - Paket [Buch]. - Darmstadt : Passiv Haus Institut Darmstadt, 2004.

[28.] **Fritsche Uwe R. et. al.** Globales Emissions - Modell integrierter Systeme [Buch]. - [s.l.] : Institut für angewandte Ökologie e.V, 2007.

[29.] **Greifswald Stadt** Integriertes Stadtentwicklungskonzept [Buch]. - 2007.
[30.] **Greifswald Stadt** Verwaltungsbericht [Buch]. - 2007 : [s.n.].

[31.] **Hartmann Ludwig** Ökologie und Technik [Buch]. - Berlin : Springer Verlag, 1992.

[32.] **Heck Peter und Bemmann Ulrich** Praxishandbuch Stoffstrommanagement 2002/2003 [Buch]. - Köln : Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst, 2002.

[33.] **Heinloth Klaus** Energie und Umwelt - Klimaverträgliche Nutzung von Energie [Buch]. - Zürich : vdf Verlag, 1996.

[34.] **Hennicke P.** Das Einsparkraftwerk [Buch]. - Berlin : Birkhäuser Verlag, 1996.

[35.] **Hertle et. al. Hans** CO2 - Minderungskonzept für die Stadt Augsburg [Buch]. - Heidelberg : ifeu, 2004.

[36.] **Hinz Eberhard und Enseling Andreas** Energieffizienz und Bestand - Energetische Sanierung von Gebäuden [Buchabschnitt] // 2. Internationales Anwenderforum / Buchverf. Institut Ostbayrisches Technologie - Transfer -. - Regensburg : [s.n.], 2008. - Bde. S. 224 - 231.

[37.] **IWU** Energieeinsparung durch Verbesserung des Wärmeschutzes und Modernisierung der Heizungsanlage für 31 Musterhäuser der Gebäudetypologie [Bericht]. - Darmstadt : IWU, 2003.

[38.] **k.A.** Mobiles GIS für EVU [Artikel] // GEOBIT. - 07 2005.

[39.] **Klüter [et al.]** Wirtschaftsatlas Vorpommern und Mecklenburgische Seenplatte [Buch]. - Schwerin : Helms Verlag, 2005.

[40.] **Lauer Achim** Untersuchung und Bewertung zur Interoperabilität von Geodaten in räumlichen Datenbanken [Buch]. - 2002.

[41.] **Liesegang D.G.** Industrielle Stoffkreislaufwirtschaft im regionalem Kontext - betriebswirtschaftliche - ökolgische und geographische Betrachtungen in Theorie und Praxis [Buch]. - Heidelberg : Springer Verlag, 2003.

[42.] **Lissok und Lichtnau** Das steinerne Antlitz der alma Mater - Die Bauten der Universität Greifswald von 1456 - 2006 [Buch]. - Berlin : Lukas Verlag, 2006.

[43.] **Lukoshek Hans** Vom Ahornweg zur Wendelsteinstraße : geschichtliche und topographische Bemerkungen zu Greifswalder Straßen, Persönlichkeiten und Gebäuden ; kommentiertes Straßenverzeichnis der Hansestadt Greifswald [Buch]. - Berlin : Schelzky und Jeep, 2001.

[44.] **Lutsch, Neuffer und Witterhold** AGFW Hauptstudie - Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung unter besonderer Berücksichtigung der Kraft - Wärme - Kopplung und regenerativer Energien [Bericht]. - 2004 : [s.n.], 2004.

[45.] **Markewitz P. und Stein G.** Energietechnische Perspektiven für Deutschland [Buch]. - Jülich : Forschungszentrum Jülich, 2003.

[46.] **Ministerium für Wirtschaft Arbeit und Tourismus Mecklenburg - Vorpommern** Energie- und CO2 - Bericht 2007 [Buch]. - Schwerin : Regierung M-V, 2007.

[47.] **Mutke Rainer** Stadt am Meer mit Zukunft - Greifswald 2005 [Buch]. - Greifswald : MV - Verlag, 2005.

[48.] **Neidhart Hauke** Digitale Wärmebedarfskarte aus Laserscanningdaten // DGPF Tagungsband 16. - 2007.

[49.] **Noack C.C., Ehrenstein D.v. und Franke J.** Energie für die Stadt der Zukunft - Das Beispiel Bremen - Abschlußbericht des Bremer Energiebeirats [Bericht]. - Bremen : [s.n.], 1989.

[50.] **Panos Konstantin** Praxishandbuch Energiewirtschaft [Buch]. - Heidelberg : Springer Verlag, 2007.

[51.] **Petermann Jürgen** Sichere Energie im 21. Jahrhundert [Buch]. - Hamburg : Hoffmann und Kampe, 2008.

[52.] **Resnik B. und Bill R.** Vermessungskunde für den Planungs-, Bau- und Umweltbereich [Buch]. - Heidelberg : Wichmann Verlag, 2000.

[53.] **Roth et. al.** Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen [Buch]. - [s.l.] : Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, 1980.

[54.] **Schäfer N.** Fernwärmeversorgung [Buch]. - Berlin : Springer Verlag, 1998.

[55.] **Schlomann et. al.** Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Handel, Gewerbe, Dienstleistung (GHD) [Buch]. - Karlsruhe : Fraunhofer (ISI), 2004.

[56.] **Strobl J. und Griesebner G.** geoGovernment [Buch]. - Heidelberg : Wichmann Verlage, 2003.

[57.] **Strobl Josef** Energie wird räumlicher [Artikel] // GEOBIT. - 01 2006.

[58.] **Tietz Hans - Peter** Systeme der Ver- und Entsorgung [Buch]. - Wiesbaden : Teubner Verlag, 2007.

[59.] **Umweltministerium** Energie- und CO2 Bericht Mecklenburg - Vorpommern [Buch]. - Schwerin : [s.n.], 2007.

[60.] **Usemann Klaus W.** Energieeinsparende Gebäude und Anlagentechnik Grundlagen, Auswirkungen, Probleme und Schwachstellen, Wege und Lösungen bei der Anwendung der EnEV [Buch]. - [s.l.] : Springer Verlag, 2005.

[61.] **Ventz Sebastian** Satatistische Analyse und Prognose von Fernwärmebezügen in der Wohnungswirtschaft, an Plattenbauten mit unterschiedlichem Sanierungsgrad, am Beispiel der Stralsunder Wohnungsbaugesellschaft [Buch]. - Stralsund : FH - Stralsund (Diplomarbeit), 2007.

[62.] **Weglage et. al. Andreas** Energieausweis - das große Kompendium: Grundlagen, Erstellung, Haftung [Buch]. - Wiesbaden : Teubner Verlag, 2008.

[63.] **Winkelmüller** Optimierung der Nachfrage- und Erzeugungsstruktur kommunaler Energiesysteme am Beispiel von Wien [Buch]. - Wien : [s.n.], 2006.

[64.] **Zschirpe Alexander** Nachhaltige Energieversorgung der Hansestadt Greifswald - Analyse der zukünftigen Fernwärmeversorgung im Ostseeviertel. - [s.l.] : FH - Stralsund, 2003.