

Universität Greifswald
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
- Geographisches Institut -



**„Energie- und Treibhausgasbilanz der Hansestadt Greifswald
als Grundlage einer lokalen Klimaschutzkonzeption“**

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Geograph

vorgelegt am

Lehrstuhl für Wirtschafts- und Sozialgeographie

von

Martin Bartelt

Erstgutachter: Prof. Dr. Wilhelm Steingrube

Zweitgutachter: Dr. Thomas Hamacher

Greifswald, den 03. März 2005

Eine Reise von tausend Meilen

beginnt mit einem einzigen Schritt

chinesisches Sprichwort

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Abkürzungsverzeichnis.....	4
Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis	8
1 Einleitung.....	11
1.1 Hintergrund und Problemstellung.....	11
1.2 Zielstellung der Arbeit.....	13
1.3 Struktur der Arbeit	14
2 Hintergrundinformationen und Rahmenbedingungen	16
2.1 Vorstellung des Untersuchungsgebietes	16
2.2 Treibhausgasereffekt und Klimawandel	18
2.2.1 Strahlungsbilanz und Treibhauseffekt	18
2.2.2 Folgen des Klimawandels.....	21
2.2.3 Die Treibhausgase.....	22
2.3 Der Bilanzbegriff	28
2.4 Bilanzraum.....	30
2.5 Bilanzierungsgegenstand	33
2.6 Bilanzierungszeitraum	33
3 Methodik.....	35
3.1 Herangehensweise	35
3.1.1 Emissionsfaktoren.....	37
3.1.2 CO ₂ -Äquivalente.....	39
3.1.3 Prozeßketten.....	41
3.1.4 Lokale vs. Totale Emissionen	42
3.2 Sektorale Abgrenzung.....	42

3.3	Zuordnung von Brennstoffverbrauch und Emissionen bei der Kraft- Wärme-Kopplung (KWK)	44
3.4	Ermittlung der Emissionsfaktoren	49
3.4.1	Emissionsfaktoren – Strom	49
3.4.2	Emissionsfaktoren – Wärme	50
3.4.3	Emissionsfaktoren des Verkehrssektors	52
3.5	Bottom-up-Vorgehensweise bei der Erstellung einer kommunalen Energie- und Treibhausgasbilanz.....	53
3.5.1	Einführung	53
3.5.2	Datenbeschaffung und -aufbereitung.....	55
3.6	Top-down-Vorgehensweise bei der Erstellung einer kommunalen Energie- und Treibhausgasbilanz.....	58
3.7	Kommunale Klimabilanzen in Deutschland	58
4	Der Sektor der privaten Haushalte	63
4.1	Methodik und Datenlage.....	63
4.2	Ergebnisse	65
5	Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	67
5.1	Methodik und Datenlage.....	67
5.2	Ergebnisse	69
5.2.1	Energieverbrauch und Emissionen städtischer Gebäude und Anlagen	69
5.2.2	Energieverbrauch und Emissionen des Sektors GHD (ohne städtische Einrichtungen)	70
6	Sektor Industrie.....	71
6.1	Methodik und Datenlage.....	71
6.2	Ergebnisse	72
7	Verkehrssektor	73
7.1	Methodik und Datenlage.....	73
7.2	Ergebnisse	74

8	Gesamtemissionen der Hansestadt Greifswald.....	76
9	Fazit und Ausblick.....	79
	Literaturverzeichnis	81
	Anhang A: Verwendete GEMIS-Prozesse.....	88
	Anhang B: Kraft-Wärme-Kopplung	92
	Anhang C: Formeln für die Berechnung des Verkehrssektors	97
	Anhang D: Ergebnisse	99
	Anhang E: Kartenmaterial	113

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
B _{el}	Brennstoffbedarf zur Stromerzeugung
B _Q	Brennstoffbedarf zur Wärmeerzeugung
BHKW	Blockheizkraftwerk
BZE	Bezugseinheit
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ Ä	Kohlendioxid-Äquivalente
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EF	Emissionsfaktor
EW	Einwohner
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
g	Gramm
GEMIS	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme
GIS	Geographisches Informationssystem
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GHG	Green House Gases
GT	Gasturbine
GuD	Gas- und Dampfturbinen (-Heizkraftwerk bzw. -Kraftwerk)
GWh	Gigawattstunden
GWP	Global Warming Potentials
HEL	Heizöl extra leicht
HFC	Wasserstoffhaltige Fluor-Kohlenwasserstoffe
HH	private Haushalte

HKW	Heizkraftwerk
H _o	oberer Heizwert
H _u	unterer Heizwert
HW	Heizwerk
HWE	Heißwassererzeuger
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KEA	Kumulierter Energieaufwand
kg	Kilogramm
km	Kilometer
KW	Kraftwerk
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
l	Liter
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MWh	Megawattstunde
NACE	National Accounts in Europe
NMKW	Nichtmethankohlenwasserstoffe
N ₂ O	Distickstoffoxid
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PFC	Perfluor-Kohlenwasserstoffe
SF ₆	Schwefelhexafluorid
t	Tonne
THG	Treibhausgas
THP	Treibhausgaspotential
UNFCCC	UN Framework Convention on Climate Change
WZ 03	Klassifikation der Wirtschaftszweige von 2003
WZ 93	Klassifikation der Wirtschaftszweige von 1993

σ	Stromkennzahl
ω	Wirkungsgrad/Nutzungsgrad
ω_{el}	elektrischer Wirkungsgrad
ω_Q	thermischer Wirkungsgrad

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebietes.....	16
Abbildung 2: Strahlungsprozesse und Treibhauseffekt	20
Abbildung 3: Bilanzraum der Energie- und Treibhausgasbilanz der Hansestadt Greifswald	32
Abbildung 4: Beispielhafte Prozeßkette aus GEMIS	41
Abbildung 5: Transformation von Einzelgebäuden zu statistischen Bezirken	57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Natürliche und anthropogene Methanquellen.....	23
Tabelle 2: Natürliche und anthropogene Distickstoffoxidquellen.....	24
Tabelle 3: Schwefelhexafluoridquellen	25
Tabelle 4: HFC-Quellen.....	26
Tabelle 5: PFC-Quellen	27
Tabelle 6: Massenbezogene Treibhausgaspotentiale für einen 100-jährigen Betrachtungszeitraum.....	40
Tabelle 7: Bewertungsmöglichkeiten von KWK-Anlagen ohne Verwendung eines Referenzsystems	46
Tabelle 8: Emissionsfaktoren der Stromerzeugung	50
Tabelle 9: Emissionsfaktoren der Wärmeerzeugung	51
Tabelle 10: Emissionsfaktoren des Sektors Verkehr	53
Tabelle 11: Verteilung von Haushalten und Energieverbräuchen auf die verschiedenen Wärmeerzeuger	64
Tabelle 12: Endenergieverbräuche und CO ₂ -Emissionen der privaten Haushalte	66
Tabelle 13: Endenergieverbräuche und CO ₂ -Emissionen städtischer Einrichtungen.....	69
Tabelle 14: Endenergieverbräuche und CO ₂ -Emissionen des Sektors GHD (ohne städtische Einrichtungen).....	70
Tabelle 15: Ermittlung des Endenergieverbrauches des Sektors Industrie.....	72
Tabelle 16: Endenergieverbräuche und CO ₂ -Emissionen des Sektors Industrie	72
Tabelle 17: CO ₂ -Emissionen des Sektors Verkehr	74
Tabelle 18: Gesamt-CO ₂ -Emissionen der Hansestadt Greifswald	76
Tabelle 19: CO ₂ -Emissionen der Hansestadt Greifswald nach Sektoren	77
Tabelle 20: Vergleich der Greifswalder CO ₂ -Emissionen mit dem deutschen Durchschnitt	78
Tabelle 21: GEMIS-Prozesse Verkehr	88

Tabelle 22: GEMIS-Prozesse KWK	88
Tabelle 23: GEMIS-Prozesse KWK-Referenzsysteme	89
Tabelle 24: GEMIS-Prozesse Fernwärmeerzeugung in reinen HWE	89
Tabelle 25: GEMIS-Prozesse für Wärmeerzeugung	90
Tabelle 26: GEMIS-Prozeß für nicht in Greifswald produzierten Strom.....	91
Tabelle 27: Emissionsfaktoren der Referenzsysteme für die KWK-Prozesse und daraus resultierende Aufteilungsparameter.....	92
Tabelle 28: Aufgliederung bereitgestellter Endenergie. Emissionen und Emissionsfaktoren der KWK-Prozesse für CO ₂	93
Tabelle 29: Aufgliederung bereitgestellter Endenergie. Emissionen und Emissionsfaktoren der KWK-Prozesse für CO ₂ Ä.....	95
Tabelle 30: Stromproduktion bzw. -verbrauch und daraus resultierende CO ₂ -Emissionen.....	99
Tabelle 31: Stromproduktion bzw. -verbrauch und daraus resultierende CO ₂ Ä-Emissionen.....	100
Tabelle 32: Stromverbrauch der privaten Haushalte	100
Tabelle 33: Verteilung von Haushalten und Energieverbräuchen auf die verschiedenen Wärmeerzeuger	101
Tabelle 34: Endenergieverbräuche und CO ₂ -Emissionen der privaten Haushalte	101
Tabelle 35: Endenergieverbräuche und CO ₂ Ä-Emissionen der privaten Haushalte	102
Tabelle 36: Stromverbräuche und Stromverbrauchsindikatoren des Sektor GHD (ohne städtische Einrichtungen)	102
Tabelle 37: Brennstoffverbräuche und Brennstoffverbrauchsindikatoren des Sektor GHD (ohne städtische Einrichtungen).....	103
Tabelle 38: Endenergieverbräuche und CO ₂ -Emissionen des Sektors GHD (ohne städtische Einrichtungen).....	104
Tabelle 39: Endenergieverbräuche und CO ₂ Ä-Emissionen des Sektors GHD (ohne städtische Einrichtungen).....	105

Tabelle 40: Energieverbräuche der Wärmerzeugungssysteme städtischer Einrichtungen	105
Tabelle 41: Endenergieverbräuche und CO ₂ -Emissionen städtischer Einrichtungen...	106
Tabelle 42: Endenergieverbräuche und CO ₂ Ä-Emissionen städtischer Einrichtungen	106
Tabelle 43: Ermittlung des Endenergieverbrauches des Sektors Industrie.....	107
Tabelle 44: Endenergieverbräuche und CO ₂ -Emissionen des Sektors Industrie	108
Tabelle 45: Endenergieverbräuche und CO ₂ Ä-Emissionen des Sektors Industrie	108
Tabelle 46: CO ₂ -Emissionen des Sektors Verkehr	109
Tabelle 47: CO ₂ Ä-Emissionen des Sektors Verkehr	109
Tabelle 48: Gesamt-CO ₂ -Emissionen der Hansestadt Greifswald	109
Tabelle 49: CO ₂ -Emissionen der Hansestadt Greifswald nach Sektoren	110
Tabelle 51: CO ₂ Ä-Emissionen der Hansestadt Greifswald nach Sektoren	111
Tabelle 50: Gesamt-CO ₂ Ä-Emissionen der Hansestadt Greifswald.....	112
Tabelle 52: Kartenübersicht.....	113

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Problemstellung

In den letzten Jahren hat das Thema Klimaschutz und Klimawandel wie kaum ein anderes umweltpolitisches Thema Einzug in die öffentliche Wahrnehmung gehalten. Vor allem die großen, internationalen Konferenzen, welche sich mit der Klimaproblematik auseinandersetzten, sorgten für ein verstärktes Interesse.

Den Ausgangspunkt für die heutige Klimaschutzpolitik bildete eine Klimakonferenz in Toronto im Jahr 1988. In den achtziger Jahren mehrten sich in der Wissenschaft die Stimmen, die für die Zukunft eine durch den Menschen verursachte, rapide Veränderung des Weltklimas prognostizierten. Auf der Konferenz in Toronto gingen Wissenschaftler und Vertreter von Nichtregierungsorganisationen der Frage nach, inwieweit der Mensch für eine solche Veränderung des Klimas verantwortlich sein könnte, wie weit die Veränderungen gehen und welche Folgen sie nach sich ziehen könnten. (FABIAN 2002, S. 202) Das aus heutiger Sicht wichtigste Ergebnis der damaligen Konferenz war die Gründung des ‚Intergovernmental Panel on Climate Change‘. Das IPCC ist ein „hochrangiges Gremium von Wissenschaftlern, daß die Vereinten Nationen zu wissenschaftlichen und sozio-ökonomischen Problemen der Klimaveränderungen und ihren Auswirkungen beraten und Lösungsvorschläge erarbeiten soll“. (FABIAN 2002, S. 203)

Auf politischer Ebene beschäftigte sich die internationale Gemeinschaft mit diesen Themen erstmalig auf dem Weltgipfel für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro im Jahr 1992. Als ein Ergebnis dieses Gipfels wurde die ‚UN Framework Convention on Climate Change‘ verabschiedet und von 155 Staaten unterzeichnet. (HAUSER 2002, S322 f.) In diesem Dokument wird gefordert, daß der atmosphärische Anteil der Treibhausgase nur soweit zunehmen darf, daß ein für den Menschen, die Ökosysteme, die Landwirtschaft und die Naturproduktion nicht gefährliches Niveau nicht überschritten werden darf. Somit stellte die UNFCCC von Rio „trotz seines nahezu wirkungslosen Rahmencharakters [...] den ersten Schritt zu einer internationalen Kooperation zur Reduktion der Emission klimawirksamer Substanzen dar“ (FABIAN 2002, S. 204)

Den vorläufigen Höhepunkt der internationalen Zusammenarbeit auf politischer Ebene stellte 1997 die Verabschiedung des Kyoto-Protokoll dar. Hierin sind erstmalig verbindliche Reduktionsverpflichtungen für die Emission von Treibhausgasen festgelegt worden. Es ist vorgesehen, daß die Industriestaaten ihre jährlichen Emissionen um 5,2 %

gegenüber den Emissionen des Basisjahres 1990 verringern. Allerdings benötigte das Kyoto-Protokoll für sein in Kraft treten eine Ratifizierung durch mindestens 55 der Vertragsstaaten, weiterhin müssen diese Staaten mindestens 55 % der weltweiten CO₂-Emissionen im Basisjahr 1990 repräsentieren. Es sollte sich als äußerst schwierig erweisen diese Bedingungen zu erfüllen, vor allem da sich die USA, der Hauptemittent von CO₂, bis heute weigert das Kyoto-Protokoll zu ratifizieren. (HAUSER 2002, S324 f.) Erst durch die Ratifizierung des Vertrages durch Rußland im Jahr 2004, wurde die 55 %-Marke bei den Emissionen überschritten und trat somit im Jahr 2005 in Kraft. Allerdings muß auch in aller Deutlichkeit darauf hingewiesen werden, daß die hier getroffenen Vereinbarungen völlig ungenügend sind, um den bedrohlichen Anstieg der Treibhausgasemissionen zu verringern oder gar den Anteil der Treibhausgase in der Atmosphäre zu senken. Allerdings stellen die bisher erreichten Absichtserklärungen und Selbstverpflichtungen zumindest einen Anfang dar.

Deutschland, als eines der ersten Unterzeichnerländer und einer der vehementesten Verfechter des Kyoto-Protokolls, steht nun in der Pflicht, bis zum Jahr 2012 seine Treibhausgasemissionen um 21 % gegenüber 1990 zu senken. Dieser, im Vergleich zu anderen Staaten, hohe Wert, resultiert aus der Anrechnung der quasi schon geleisteten Einsparungen, die sich durch den Zusammenbruch der ostdeutschen Industrie nach 1990 ergaben. (FABIAN 2002, S. 205)

Nichtsdestotrotz ist dies eine gewaltige Aufgabe und ob die selbstgesteckten Ziele erreicht werden können, ist selbst bei optimistischer Betrachtung der Sachlage ungewiß.

An dieser Stelle soll jedoch betont werden, daß internationale Vereinbarungen nur eine Wirkung entfalten können, wenn eine entsprechende Umsetzung auf lokaler und regionaler Ebene erfolgt. Nur durch die technologischen Verbesserungen oder die Ausnutzung von Einsparpotentialen im kleinräumigen Bereich können die großen Klimaschutzverpflichtungen der Nationalstaaten erreicht werden.

Immer mehr Kommunen, in Deutschland sind sich in den letzten Jahren dieser Verantwortung für den Klimaschutz bewußt geworden. Ein Instrument wie der zu Beginn dieses Jahres eingeführte Handel von CO₂-Zertifikaten schafft natürlich zusätzlichen, über den guten Willen hinausgehenden Druck. CO₂-Emissionen werden in Zukunft einen Preis haben, noch betrifft es nur die großen Emittenten, doch indirekt, als Nachfrager und Verbraucher, ist jeder davon betroffen.

Die Einsparung von Treibhausgasen wird früher oder später zu einem Geschäft werden. Kommunen die sich frühzeitig darauf einstellen, können daraus für ihre Bürger einen Nutzen ziehen.

Angeregt durch Mitarbeiter der Abteilung Energieforschung des Max-Planck-Institutes München, wird auch für die Hansestadt Greifswald die Entwicklung, und vor allem Umsetzung, einer lokalen Klimaschutzkonzeption angestrebt. Diese soll durch das Max-Planck-Institut und durch die Vergabe von entsprechenden Diplomarbeiten an die Universität Greifswald und die Fachhochschule Stralsund wissenschaftlich betreut werden.

Einen ersten Schritt auf diesem Weg stellt die vorliegende Energie- und Treibhausgasbilanz der Hansestadt Greifswald dar. Eine solche Bilanz bildet die Grundlage jeder Klimaschutzkonzeption. Sie soll den Ist-Zustand aufnehmen und später, bei einer entsprechenden Fortschreibung, den Erfolg, oder eben auch Nicht-Erfolg, von Maßnahmen und Veränderungen dokumentieren. Besitzt eine Bilanz einen genügend hohen Detaillierungsgrad, kann sie sogar selbst als Analyseinstrument dienen, um geeignete Maßnahmen und Ansatzpunkte zu ermitteln.

1.2 Zielstellung der Arbeit

Im vorigen Abschnitt wurde schon kurz angesprochen, welche Beweggründe zur Erstellung der hier präsentierten Arbeit geführt haben.

An dieser Stelle erfolgt nun eine Konkretisierung der Zielstellung, anhand der folgenden zwei Zielformulierungen:

- Es soll eine möglichst detaillierte Energie- und Treibhausgasbilanz der Hansestadt Greifswald erstellt werden, die in der Lage ist, eine Grundlage für die Erstellung einer lokalen Klimaschutzkonzeption zu bilden.
- Es sollen Methoden und Arbeitsweisen vorgestellt werden, die es ermöglichen, die aufgestellte Energie- und Treibhausgasbilanz in der Zukunft fortzuschreiben und an eine veränderte Datenlage anzupassen.

Bei der Erstellung dieser Arbeit wurde versucht, sich möglichst nahe an diesen beiden Zielen zu orientieren. Sie bilden somit gleichsam den Rahmen und die Grenzen der Arbeit, bestimmten welche Inhalte aufgenommen, welche Arbeitsschritte unternommen werden mußten.

1.3 Struktur der Arbeit

Im folgenden soll kurz auf den Aufbau der vorliegenden Arbeit eingegangen werden. Es wird versucht, dem Leser einen roten Faden an die Hand zu geben, der ihn durch den Text führt und verdeutlicht, warum die gewählte Struktur verwendet wurde.

Zu Beginn der Arbeit werden kurz die wissenschaftlichen Hintergründe des sogenannten Treibhauseffektes erläutert und es werden die in dieser Energie- und Treibhausgasbilanz zu bilanzierenden Stoffe vorgestellt. Weiterhin soll an dieser Stelle kurz auf die Auswirkungen eines globalen Klimawandels eingegangen werden.

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit der Klärung und Erläuterung einiger Begriffe und Rahmenbedingungen dieser Arbeit, so findet sich hier auch die Vorstellung des Untersuchungsgebietes wieder.

Den dritten Teil der Arbeit bildet die Vorstellung der für die Erarbeitung der Energie- und Treibhausgasbilanz notwendigen Methoden. Diese Aussage muß jedoch auch gleich wieder relativiert werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und Handhabbarkeit der Arbeit wird in diesem Kapitel nur auf allgemeine Aspekte der verwandten Methoden eingegangen. Die detaillierte Beschreibung der den einzelnen Ergebnissen zugrundeliegenden Annahmen und Berechnungen erfolgt jeweils im Zusammenhang mit der Darstellung der erzielten Ergebnisse. Den Abschluß dieses Kapitels bildet eine kurze Übersicht über Herangehensweise und Methodik anderer kommunaler Klimabilanzen¹ in Deutschland.

An dieses Methodenkapitel schließt sich die besagte Vorstellung der erarbeiteten Ergebnisse an. Die Darstellung erfolgt gegliedert nach den verschiedenen Verbrauchssektoren. Dabei wird jeweils auf Herangehensweise, Datenlage und Fehlerquellen eingegangen. Dieser Abschnitt der Arbeit endet mit einer Betrachtung und Auswertung der kumulierten Gesamtergebnisse für die Hansestadt Greifswald.

Das abschließende Fazit der vorliegenden Arbeit geht noch einmal kurz auf die wichtigsten Aspekte ein. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der kritischen Auseinandersetzung mit dem Zielerreichungsgrad der Arbeit. Des weiteren wurde an dieser Stelle die Gelegenheit genutzt, einen Blick in die Zukunft zu werfen und die sich dort

¹ Unter dem Begriff Klimabilanz sollen im folgenden alle Arbeiten, die sich mit der Erfassung von Treibhausgasen beschäftigen subsummiert werden, da sich Inhalte und Namensgebung teilweise erheblich unterscheiden.

ergebenden Möglichkeiten für die Nutzung und Verbesserung der erarbeiteten Energie- und Treibhausgasbilanz aufzuzeigen.

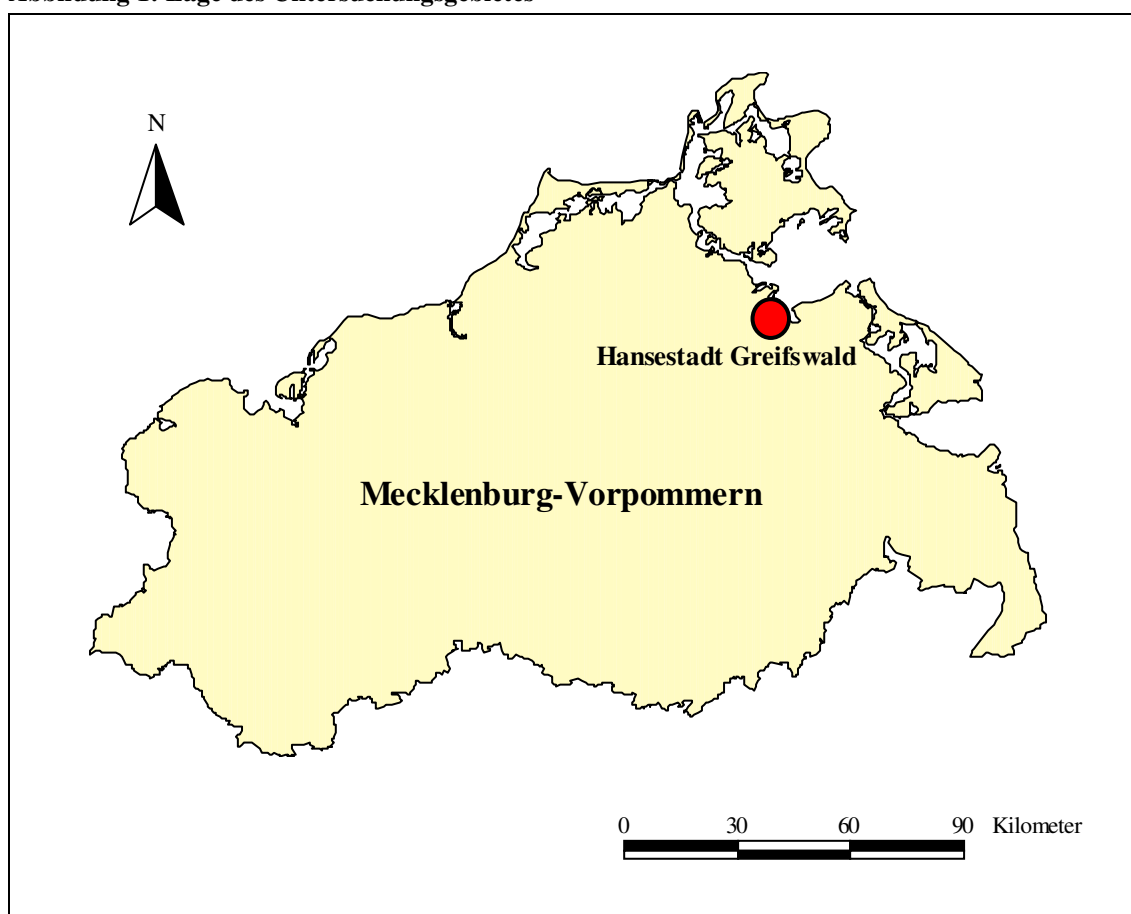
Nicht unerwähnt bleiben sollen die Anhänge und der beigefügte Datenträger, die das recht umfangreiche Zahlenmaterial und das in der Arbeit verwendete „Globale Emissions-Modell Integrierter Systeme“ (GEMIS) enthalten.

2 Hintergrundinformationen und Rahmenbedingungen

2.1 Vorstellung des Untersuchungsgebietes

Die kreisfreie Hansestadt Greifswald liegt im Nordosten Deutschlands bei 54° 05' nördlicher Breite und 13° 23' östlicher Länge. Mit einer Fläche von 50,32 km² und 58.569² Einwohnern ist Greifswald die fünftgrößte Stadt Mecklenburg-Vorpommerns und bildet zusammen mit der Hansestadt Stralsund das raumordnerische Oberzentrum der Planungsregion Vorpommern. (STADT GREIFSWALD 2004)

Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebietes



Quelle: Eigene Darstellung

Wie alle Städte des Landes hat Greifswald seit der Wende mit hoher Arbeitslosigkeit und Bevölkerungsrückgang zu kämpfen. Einen besonderen Rückschlag bedeutete die Schließung des Kernkraftwerkes Lubmin, in dem ca. 10.000 Menschen beschäftigt waren. Zu einem Großteil wohnten sie in den eigens gefertigten Plattenbausiedlungen im

² Stand: 31.13.2003, davon 6.316 nur mit Nebenwohnsitz gemeldet (STADT GREIFSWALD 2004)

Osten Greifswalds, die heute große Leerstände aufweisen und teilweise zurückgebaut werden. (WIKIPEDIA.ORG/WIKI/GREIFSWALD)

Hauptarbeitgeber und mit Abstand wichtigster Wirtschaftsfaktor der Stadt ist heute die Greifswalder Universität, die seit der Wende ein enormes Wachstum zu verzeichnen hat. So stiegen die Studentenzahlen von ca. 3.000 im Jahr 1991 auf inzwischen über 10.000 an. Die durch die Mitglieder der Universität erzeugten Konsumeffekt sind für die lokale Wirtschaft von essentieller Bedeutung. (KLÜTER 2000, S. 527)

Ausgehend von der Universität als wissenschaftlichem Schwerpunkt der Region, wurde in der Vergangenheit mehr oder minder erfolgreich versucht, Greifswald als wirtschaftliches Forschungs- und Technologiezentrum zu etablieren und so moderne und konkurrenzfähige Arbeitsplätze zu schaffen. Beispiele für diese Entwicklung sind das Biotechnikum, das Technologiezentrum Vorpommern, das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik oder das Institut für Niedertemperaturplasmaphysik. (BRUNNER 1996, S. 344) Besonders auf dem Bereich Biotechnologie in Verbindung mit dem Universitätsklinikum liegen große Hoffnungen. So nimmt Greifswald im universitären Bereich des Gesundheitswesens eine führende Position in Mecklenburg-Vorpommern ein. In Verbindung mit einer Reihe von Spezialkliniken entstehen so eine Vielzahl von Multiplikatoreffekten in der regionalen Wirtschaft. (KLÜTER 2000, S. 526)

In den letzten Jahren werden auch verstärkt Bemühungen unternommen, Greifswald als Tourismusstandort zu vermarkten. Vor allem die historische Bausubstanz der Hansezeit und die für eine Stadt dieser Größe reiche Kulturszene bilden Ansatzpunkte.

Die Greifswalder Wirtschaft ist stark durch diese, zum Teil auch historische bedingte Konzentration auf den tertiären Sektor geprägt. Der Anteil der Bruttowertschöpfung des verarbeitenden Gewerbes erreicht weniger als die Hälfte des Wertes der Planungsregion Vorpommern und weniger als 20 % des Durchschnittes der alten Bundesländer. Greifswald ist damit der am schwächsten industrialisierte Kreis in Mecklenburg Vorpommern. (KLÜTER 2000, S. 525)

2.2 Treibhausgaseffekt und Klimawandel

2.2.1 Strahlungsbilanz und Treibhauseffekt

Das Klimasystem der Erde erhält seine Energie von der Sonne. Diese liefert ca. 1370 W/m^2 Strahlungsenergie. Dieser als Solarkonstante bezeichnete Wert drückt die Strahlungsenergie aus, die sekundlich durch einen „senkrecht zur Strahlungsrichtung exponierten Quadratmeter hindurchströmt, der sich in einer mittleren Erddistanz r von der Sonne befindet“ (GASSMANN 1994, S.10).

Diese Energie der Sonne trifft in kurzwelliger Form auf die Erde. Etwa 30 % werden von der planetaren Albedo direkt in den Weltraum zurück reflektiert. Die übrigen 70% erreichen die Erde und werden dort in Wärmeenergie transformiert. Diese langwellige Energieform wird von der Erdoberfläche und der Atmosphäre wiederum als Wärmestrahlung emittiert. Messungen haben ergeben, daß die Erde dieselbe Menge Energie aussendet, die sie von der Sonne empfängt, d.h. sie befindet sich in einem stationären Gleichgewicht. Mit Hilfe der Stefan-Boltzmannkonstante lässt sich aus diesen Angaben die mittlere Oberflächentemperatur der Erde mit -18° C ermitteln. Tatsächlich liegt die mittlere Temperatur der Erdoberfläche mit 15° C um ca. 33° C höher. (vgl. FABIAN 2002, S. 43 f.)

„Die Ursache ist das als Treibhauseffekt bezeichnete Phänomen, das darauf beruht, daß die von der Erdoberfläche ausgestrahlte Energie nicht ungehindert in den Weltraum entweicht, sondern in der Atmosphäre teilweise absorbiert und wieder zurückgestrahlt wird.“ (FABIAN 2002, S. 44) Verantwortlich für diese Absorption sind die sogenannten Treibhausgase. Ihre besondere Fähigkeit besteht darin, daß sie in der Lage sind, die kurzwellige Energieeinstrahlung der Sonne passieren zu lassen, jedoch die langwellige Wärmestrahlung der Erde zu absorbieren und wieder abzustrahlen. Auf Art und Menge dieser Treibhausgase wird im Abschnitt 2.2.3 näher eingegangen.

Abbildung 2 verdeutlicht unter Einbeziehung des Treibhauseffektes die Energieflüsse, die für die Strahlungsbilanz der Erde relevant sind. Die planetare Albedo in Höhe von 30 % der einfallenden Strahlung, setzt sich aus der Reflektion an der Atmosphäre, Reflektion der Wolken und Erdoberflächenreflektion zusammen. Die übrigen 70 % der Energie werden durch die Wolken, die Atmosphäre und vor allem den Boden absorbiert und in Wärmeenergie umgewandelt. Diese Wärmeenergie der Erdoberfläche geht nun teilweise in einen Zustand sogenannter latenter Energie über. Damit wird die Energie-

menge bezeichnet, die zur Verdunstung von Wasser und für die Erwärmung aufsteigender Luft, der sogenannten Konvektion, verwendet wird. (GASSMANN 1994, S.14 f.)

Die noch im Boden befindliche Wärmeenergie wird von der Erde abgestrahlt, wobei jedoch nur ein kleiner Teil, ca. 6% der Ausgangsenergie, direkt in den Weltraum entweichen. Der Rest wird nun durch die in der Atmosphäre befindlichen Treibhausgase absorbiert.

Zusammen mit der latenten Energie und der durch die Wolken und die Atmosphäre direkt absorbierten Energiemenge, setzt ein Prozeß der diffusen Abstrahlung dieser Energien ein, teilweise in den Weltraum, jedoch ebenfalls zurück an die Erdoberfläche. Diese als atmosphärische Gegenstrahlung bezeichnete Erscheinung sorgt somit für eine Temperaturerhöhung auf die heutige mittlere Oberflächentemperatur von ca. 15° C.

Man muß nun allerdings zwischen dem natürlichen und dem anthropogenen Treibhauseffekt unterscheiden. Der natürliche Treibhauseffekt, wie er hier dargestellt wurde, ist für das Leben auf der Erde eine unabdingbare Grundvoraussetzung.

Als anthropogener Treibhauseffekt wird die Anreicherung der Atmosphäre mit natürlichen oder künstlichen Treibhausgasen verstanden. Durch diese Anreicherung kommt es zu einer Verstärkung der beschriebenen Effekte und damit zu einer Erhöhung der mittleren Oberflächentemperatur der Erde.

Quelle: Eigene Darstellung nach GASSMAN 1994, S. 19 und HAUSER 2002, S. 64

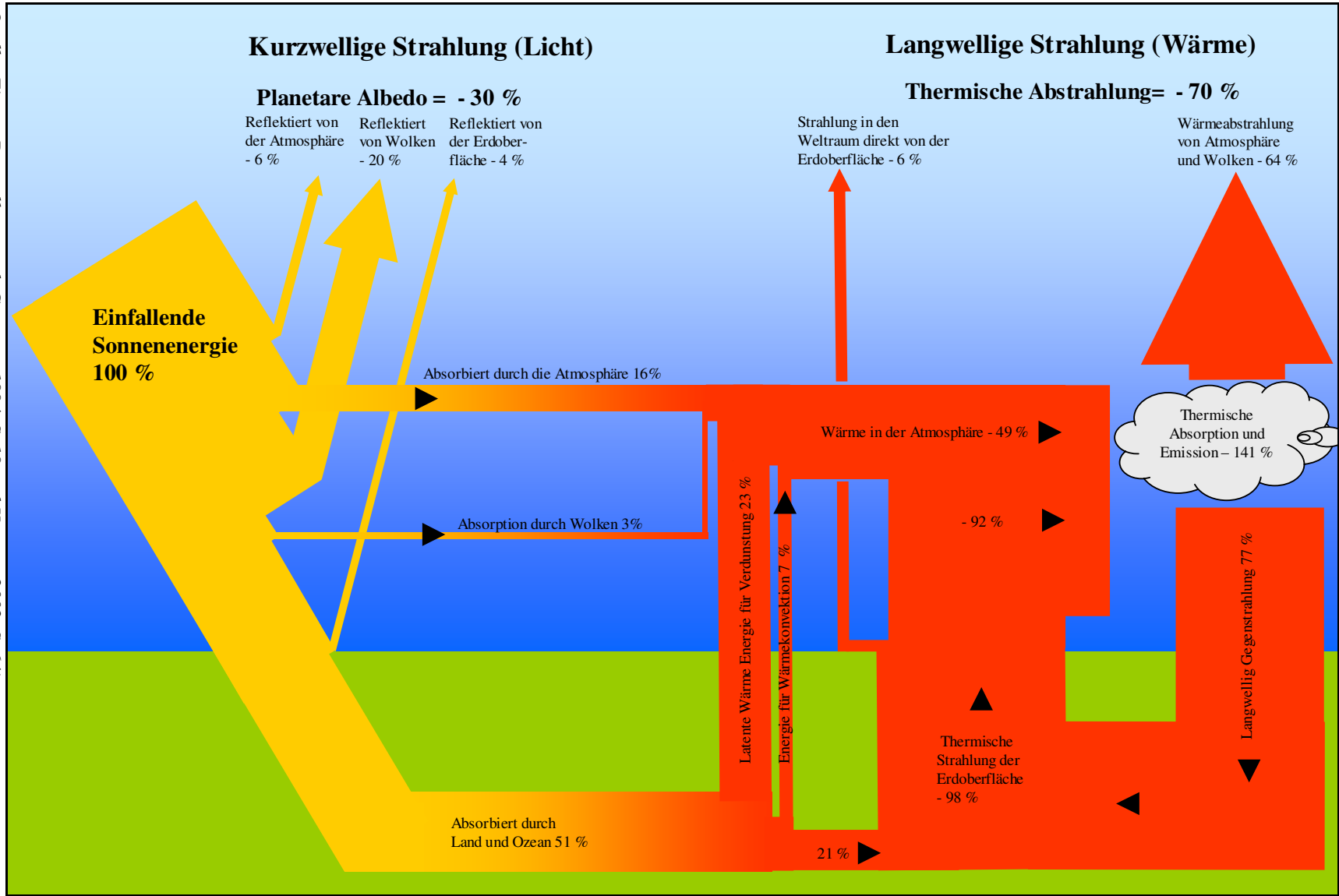


Abbildung 2: Strahlungsprozesse und Treibhauseffekt

2.2.2 Folgen des Klimawandels

Klimaveränderungen sind grundsätzlich weder schlecht noch außergewöhnlich. In der Vergangenheit kam es immer wieder zu mehr oder weniger starken Klimaveränderungen. (GASSMANN 1994, S.73) Das besondere an unserer heutigen Situation sind Stärke und vor allem Geschwindigkeit der zu erwartenden Veränderungen. Es steht zu befürchten, daß ein großer Teil der Biosphäre nicht in der Lage ist, sich in der Kürze der Zeit an neue Lebensbedingungen anzupassen. Ein Aussterben vieler Tier- und Pflanzenarten und damit die Destabilisierung oder Vernichtung einer Vielzahl von Ökosystemen könnten die Folge sein. (WWW.FORUMUE.DE b)

Die Auswirkungen auf den Menschen könnten jedoch noch um ein Vielfaches stärker ausfallen.

Käme es durch die globale Erwärmung zu einer zunehmenden Abschmelzung der Polkappen und einer Volumenausdehnung des Wasserkörpers und in der Folge zu einem Meeresspiegelanstieg, wären die Küstenregionen der Welt massiv bedroht. Gerade die Küsten sind jedoch auch die am dichtesten durch den Menschen besiedelten Gebiete. Ein Ausgleich durch eine erhöhte Mobilität ins Landesinnere, ist in vielen schon heute überbevölkerten Staaten kaum möglich. (WWW.FORUMUE.DE b)

Ein anderes Problem ist die Veränderung der globalen Niederschlagsverteilung. Durch eine Erhöhung der globalen mittleren Oberflächentemperatur kommt es zu einer Erhöhung des Wasserdampfgehaltes in der Atmosphäre und zu einer Intensivierung des Wasserkreislaufes. Wahrscheinlich wird es jedoch nicht zu einem Ausgleich der Niederschläge kommen, sondern zu einer Verstärkung der Extreme. In trockenen Gebieten wird der Niederschlag noch weiter zurückgehen, in ohnehin schon feuchten Regionen zunehmen. Dürren, Fluten und Mißernten wären die Folge. (WWW.FORUMUE.DE b)

Das Aufkommen von Wetterextremen wie Stürmen und Sturmfluten nimmt zu. Der volkswirtschaftliche Schaden solcher Ereignisse und der notwendigen Schutzmaßnahmen geht schon heute in die Milliarden. (WWW.FORUMUE.DE b)

Eine sehr detaillierte Auflistung der möglichen Folgen einer Klimaerwärmung findet sich im Third Synthesis Report des IPCC. (IPCC 2001)

Es soll allerdings nicht verschwiegen werden, daß man sich zwar weitestgehend einig darüber ist, daß es zu einer durch das menschliche Handeln verursachten Klimaerwärmung kommt, die Prognosen über die daraus resultierenden Folgen jedoch noch wenig-

verifiziert sind. Besonders bei der Berechnung der Veränderungen der Niederschlagsverteilung und deren Auswirkungen ist man von einem wirklichen Systemverständnis noch weit entfernt. (FABIAN 2004, S. 191)

2.2.3 Die Treibhausgase

Als Treibhausgase werden alle gasförmigen Stoffe bezeichnet, die direkt oder indirekt zum Treibhauseffekt beitragen. Hierbei muß man zwischen natürlichen und künstlichen Treibhausgasen unterscheiden. Künstliche Treibhausgase kommen so in der Natur nicht vor. Sie entstehen als Koppelprodukte bei industriellen Prozessen oder sind Bestandteile von Produkten.

Im Klimaprotokoll der Kyoto-Konferenz verpflichteten sich die Unterzeichner zu einer Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen. Diese Reduktionsverpflichtung bezog sich jedoch nicht auf alle dieser Gase, sondern auf sechs genauer bestimmte, die im folgenden etwas näher erläutert werden. Diese werden auch als Kyoto-Gase oder Kyoto-Basket bezeichnet.

Kohlendioxid (CO₂)

Kohlendioxid ist nach Wasserdampf das wichtigste natürliche und auch anthropogene Treibhausgas. Dieses Gas macht rund 60% der Verstärkung des Treibhauseffektes aus. Etwa 75 % der Emissionen entstehen durch die Nutzung fossiler Energieträger, die übrigen 25 % durch Brandrodung. Insgesamt werden auf diese Weise durch den Menschen ca. 8 Gt Kohlenstoff in Form von CO₂ ausgestoßen. (WWW.BAYERN.DE/LFU)

Inwieweit das globale Ökosystem den rasanten Anstieg der CO₂-Konzentration seit Beginn der Industrialisierung verkraftet, ist bisher noch kaum geklärt. Kohlendioxid ist ein elementarer Bestandteil des Kohlenstoff-Kreislaufes der Erde. Deren große Speicher sind die Atmosphäre, die Sedimente, die Ozeane und die Biomasse, besonders die Wälder. Zwischen diesen Speichern besteht ein Gleichgewichtszustand. Durch die Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre und die prognostizierte Erhöhung der mittleren Erdoberflächentemperatur kommt es mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer Verschiebung dieses Gleichgewichtszustandes, dessen Folgen noch nicht vollständig abschätzbar sind.

Methan (CH₄)

Methan ist das zweitwichtigste anthropogene Treibhausgas und trägt derzeit ca. 15% zur Verstärkung des Treibhauseffektes bei. Sein Treibhausgaspotential ist etwa 21 mal höher als das von Kohlendioxid. In Tabelle 1 sind die Methanquellen zusammenfassend aufgeführt. Beim Methan unterscheidet man zwischen der direkten und der indirekten Treibhauswirkung. Unter letzterem versteht man, daß Methan als Ausgangsprodukt für andere Treibhausgase, vor allem troposphärischem Ozon dient. (GEMIS Version 4.1, Index)

Die natürlichen Quellen sind die anaerobe Vergärung von Biomasse, wie sie z.B. in Sümpfen und Marschen, aber auch im Verdauungstrakt von Pflanzenfressern, besonders Wiederkäuern, stattfindet. Eine weitere wichtige Quelle stellen Termiten dar. (FABIAN 2004, S. 103 f.)

Die anthropogene Erhöhung des Methan-Ausstoßes speist sich aus der Rinderhaltung, dem Naßfeldreisanbau, der Biomasseverbrennung, ausgasenden Müllhalden sowie der Förderung und Verarbeitung von Kohle und Erdgas. (FABIAN 2004, S. 103 f.)

Es steht zu befürchten, daß die Emission von Methan in der Zukunft noch weiter zunehmen wird und seine Treibhauswirkung sogar die des Kohlendioxids übertrifft. Die stärksten anthropogenen Methanquellen wie Reisanbau, Rinderzucht und Biomasseverbrennung korrelieren nämlich direkt mit der Zunahme der Weltbevölkerung. Selbst die Vergrößerung der globalen Termitenpopulation vergrößert sich durch die Landnutzungsänderungen der Menschen. (GASSMANN 1994, S.32 f.)

Tabelle 1: Natürliche und anthropogene Methanquellen

Natürliche Methanquellen	Bereich in Mt C ³ /a	Mittelwert in Mt C/a
Sümpfe, Marschen	75 – 150	85
Seen	1 – 20	5
Ozeane	5 – 15	10
andere Quellen, z.B. Termiten	10 – 75	30
Summe	91 – 230	130

³ Zur Umrechnung in Mt CH₄: Multiplikation mit 1,33

Anthropogene Quellen		
Rinder	50 - 75	60
Reisfelder	45 – 130	80
Biomasseverbrennung	40 – 75	45
Müllhalden	25 – 50	30
Kohlebergbau	20 – 35	25
Erdgasförderung	20 – 40	35
Summe	200 - 405	275

Quelle: FABIAN 2002, S.104

Distickstoffoxid (N₂O)

Distickstoffoxid, auch als Lachgas bezeichnet, trägt mit etwa 5 % zum anthropogenen Treibhauseffekt bei. Sein Treibhauspotential ist etwa 310 mal höher als beim Kohlendioxid. Die wichtigste natürliche Quelle für N₂O sind mikrobielle Umsetzungen von Stickstoffverbindungen in Böden und Gewässern. (FABIAN 2002, S.100 f.)

Hauptursache für die anthropogenen Emissionen sind die Stickstoffdüngung der Böden und die Brandrodung in den Tropen. Darüber hinaus wird es auch bei der Verbrennung pflanzlicher Biomasse und fossiler Energieträger freigesetzt. In Tabelle 2 findet sich eine Auflistung der wichtigsten N₂O-Quellen.

Tabelle 2: Natürliche und anthropogene Distickstoffoxidquellen

	Bereich in Mt N₂O/a	Mittelwert in Mt N₂O /a
Natürliche Methanquellen		
Emission aus Böden	-	9,4
Emission aus Ozeanen	-	4,7
Summe	-	14,1

Anthropogene Quellen		
Brandrodung, Biomasseverbrennung	0,3 – 4,7	9,4
Stickstoffdünger	0,6 – 4,7	4,7
Fäkalien, Gülle	0,5 – 4,7	14,1
Bewässerung	1,3 – 3,1	2,5
Viehzucht	0,5 – 1,6	1,6
Kraftverkehr	0,2 – 3,1	2,4
Nylon-Herstellung	-	1,3
Globale Erwärmung	0,2 – 1,6	0,8
Landnutzungsänderungen	-	1,1
Summe	7,9 – 15,7	12,6

Quelle: FABIAN 2002, S.101

Schwefelhexafluorid (SF₆)

Schwefelhexafluorid hat ein etwa 23.900 mal höheres Treibhausgaspotential als Kohlendioxid. Damit hat SF₆ innerhalb der Gruppe der klimawirksamen Gase das mit Abstand höchste Treibhausgaspotential. Es ist ein rein anthropogenes Treibhausgas, welches so in der Natur nicht vorkommt. Als sehr inertes Gas wird es u.a. in Hochspannungsanlagen der Schwerindustrie eingesetzt. Weiterhin wird SF₆ seit rund 20 Jahren als Füllgas in Schallschutz-Isolierglasscheiben und Autoreifen verwendet. Die Anwendung von SF₆ als Schutzgas beim Aluminiumgießen und als Ätzgas in der Halbleiterindustrie sind andere, jedoch wesentlich kleinere Emissionsquellen. (WWW.UMWELTDATEN.DE)

Tabelle 3: Schwefelhexafluoridquellen

	in Mt CO₂-Äquivalenten^{4/a}
Schallschutz	3,05

⁴ Die Erläuterung des Konzeptes der CO₂-Äquivalente erfolgt in Abschnitt 3.1.2

Reifen	0,7
Elektroanlagen	0,7
Sonstige	0,55
Summe	5

Quelle: WWW.UMWELTDATEN.DE

Wasserstoffhaltige Fluor-Kohlenwasserstoffe (HFC)

Wasserstoffhaltige Fluor-Kohlenwasserstoffe dienen als Ersatzmittel für FCKW. Sie finden insbesondere in Montageschäumen, in Spraydosen und Hartschäumen Anwendung. Weitere Emissionsquellen sind Kälte- und Klimaanlage sowie die Leckagen bei ihrer Herstellung. Es handelt sich hierbei nicht um einen Stoff, sondern um eine ganze Gruppe, mit teilweise sehr unterschiedlichen Treibhausgaspotentialen. Diese reichen von 120 – 4.300. Ebenso wie SF₆ sind wasserstoffhaltige Fluor-Kohlenwasserstoffe vollständig künstlicher Natur. (WWW.UMWELTDATEN.DE)

Tabelle 4: HFC-Quellen

	in Mt CO ₂ -Äquivalenten/a
Stationäre Klimaanlage	7,5
Mobile Klimaanlage	4,8
Hartschäume	3,0
Montageschäume	2,8
Sonstige	1,8
Summe	19,9

Quelle: WWW.UMWELTDATEN.DE

Perfluor-Kohlenwasserstoffe (PFC)

Perfluorierte Kohlenwasserstoffe stammen zum großen Teil aus der Aluminiumverhüttung und der Halbleiterherstellung. Es handelt sich, ebenso wie bei den wasserstoffhal-

tigen Fluor-Kohlenwasserstoffen, um eine ganze Gruppe von Gasen. Ihr Treibhausgaspotential reicht von 5700 – 11.900. Auch die Perfluor-Kohlenwasserstoffe sind vollständig künstlicher Natur. (WWW.UMWELTDATEN.DE)

Tabelle 5: PFC-Quellen

	in Mt CO ₂ -Äquivalenten/a
Halbleiterproduktion	1,425
Aluminiumproduktion	1,050
Sonstige	0,025
Summe	2,5

QUELLE: WWW.UMWELTDATEN.DE

Andere Treibhausgase

Andere wichtige natürliche oder anthropogene Treibhausgase, die jedoch nicht unter die Reduktionsverpflichtungen des Kyoto-Protokolls fallen, sind Wasserdampf (H₂O), troposphärisches Ozon (O₃), Kohlenmonoxid (CO), die Gruppe der Stickstoffoxide (NO_x) und Nichtmethankohlenwasserstoffe (NMKW).

Wasserdampf ist das wichtigste aller Treibhausgase. Allerdings liegt der menschliche Einfluß auf die in der Atmosphäre vorhandene Menge dieses Gases unter der Wahrnehmungsschwelle. Dort sind die natürlichen Verdunstungsprozesse dominierend. (GASSMANN 1994, S.36)

Das troposphärische Ozon steuert heute etwas 8 % zur anthropogenen Verstärkung des Treibhauseffektes bei. Es entsteht infolge komplexer Reaktionsketten aus Methan, Kohlenmonoxid, Stickstoffoxiden und Nichtmethankohlenwasserstoffe. Diese Stoffe bezeichnet man deshalb auch als indirekte Treibhausgase. (GASSMANN 1994, S.37) Bis auf Methan stammen diese indirekten Treibhausgase fast ausschließlich aus Verbrennungsprozessen, z.B. Hausbrand, Verbrennungsmotoren oder Brandrodung. CO und NMKW sind das Ergebnis einer nicht vollständigen Oxidation des Energieträgers. Je höher die Verbrennungstemperatur, desto weniger dieser Stoffe entstehen, um so mehr Stickoxide werden jedoch produziert. (FABIAN 2004, S.142)

2.3 Der Bilanzbegriff

Der Begriff der Bilanz stammt aus dem Lateinischen und geht auf das Wort ‚bilanx‘, mit den Wortstämmen ‚bi‘, für zweifach, und ‚lanx‘, für Schale, zurück. Es bezeichnet im ursprünglichen Sinne zwei sich im Gleichgewicht befindliche (Waag-)Schalen. Daraus abgeleitet sind die konstitutiven Merkmale einer Bilanz die Betrachtung zweier korrespondierender Größen und deren ausgewogener Zustand. (KANNING 2001, S. 39)

Das heutige Bilanzverständnis kennt drei verschiedene Auffassungen für Zweck und Form einer Bilanz.

Umgangssprachliches Bilanzverständnis

Im alltäglichen Sprachgebrauch wird der Bilanzbegriff sehr weit gefaßt und steht oftmals synonym für Ergebnis oder Fazit. Man spricht in diesem Zusammenhang vielfach von ‚Bilanz ziehen‘. Dabei dient der Bilanzbegriff häufig dazu, über den Erfolg (seltener den Mißerfolg) eines Sachverhalts nach Ablauf eines bestimmten Zeitraums zu berichten. (KANNING 2001, S. 40)

Kaufmännisches Bilanzverständnis

Wesentlich stärker an dem ursprünglichen Sinngehalt orientiert ist das ökonomische Bilanzverständnis. Hierbei läßt sich eine Bilanz als eine „zweiseitige, betragsmäßig ausgeglichene und nach bestimmten Kriterien gegliederte Gegenüberstellung von Vermögens- und Kapitalpositionen (Aktiva/Passiva)“ definieren. (KANNING 2001, S. 40)

Diese Gegenüberstellung erfolgt in Kontenform, d.h. es gibt ein Aktiv- und ein Passivkonto. Die Aktivseite, auch Vermögensseite genannt, zeigt die konkrete Verwendung der eingesetzten finanziellen Mittel, die Passivseite oder Kapitalseite stellt die Ansprüche der Gläubiger und der Unternehmer an das Vermögen dar. Vermögen und Kapital sind somit zwei verschiedene Ausdrucksformen für die Gesamtheit aller betrieblichen Werte, die in der Bilanz zu einem bestimmten Bilanzstichtag gegenübergestellt werden. (GABLER VERLAG 1997, S. 614 ff.)

Wesentliche Aufgaben von Bilanzen bestehen danach in der internen und externen Rechenschaftslegung, der Information verschiedener Adressaten, der Erfolgsermittlung

sowie der Bereitstellung von Informationen für die regelmäßige Kontrolle und Planung der betrieblichen Aktivitäten. (EISELE 1999, S.15 f.)

Es gibt in der Ökonomie eine Vielzahl von Bilanzarten. Die bekanntesten Varianten sind die Handels- und die Steuerbilanz, die zum Jahresabschluß eines Unternehmens gehören. Form und Inhalt dieser Bilanzen sind durch eine Fülle von Normen bis ins Detail geregelt. Allerdings unterscheiden sich diese Regelungen von Land zu Land teils erheblich. Daran erkennt man schon, daß man durchaus nicht von ‚der‘ richtigen Bilanzierungsform ausgehen kann.

Die ökonomische Bilanztheorie beschäftigt sich mit der Suche nach der ‚richtigen‘ Antwort auf die folgenden Grundfragen, aber gleichzeitig auch Grundprinzipien, der ökonomischen Bilanzierung. (GABLER VERLAG 1997, S. 614 ff.)

1. Bilanzierung dem Grunde nach, d.h. welche Objekte sind bilanzierungsfähig.
2. Bilanzierung dem Ausweis nach, d.h. wo wird das Bilanzierungsobjekt bilanziert.
3. Bilanzierung der Höhe nach, d.h. mit welchem Wert geht das Bilanzierungsobjekt in die Bilanz ein.

Naturwissenschaftliches Bilanzverständnis

Auch im naturwissenschaftlichen Bereich finden Bilanzierungsmethoden ihre Anwendung. Im allgemeinen handelt es sich um die, meist mathematische, Beschreibung von Stoff und Energieströmen in Form von Stoff- und Energiebilanzen, man spricht hierbei vom physikalischen oder auch physischen Bilanzprinzip. Die Grundlage für die Erstellung solcher Bilanzen bilden die Grundsätze der Energie- und Massenerhaltung innerhalb eines abgeschlossenen Systems. Energien und Massen können innerhalb eines solchen Systems nur ‚verschoben‘ werden, sie können jedoch nicht verloren gehen. (KANNING 2001, S. 45) „Insofern wird die Stoff- und Energiebilanz nach physikalischem Verständnis definiert als eine zahlenmäßig ausgeglichene Gegenüberstellung von Eingangs- und Ausgangsstoffen (-energien) bezogen auf ein analytisch abgegrenztes System, daß allgemein als Bilanzraum bezeichnet wird.“ (KANNING 2001, S. 46)

Bilanzverständnis der vorliegenden Arbeit

Es stellt sich nun die Frage, was macht eigentlich eine kommunale Energie- und Treibhausgasbilanz zu einer Bilanz? Diese Frage stellt sich um so mehr, als auf nationaler und internationaler Untersuchungsebene selten von einer Bilanz gesprochen wird, sondern vielmehr von einem Inventar (z.B. UBA 2003), während auf kommunaler und regionaler Ebene nahezu ausnahmslos der Bilanzbegriff verwendet wird.

Begründen läßt sich dies unter Hinzuziehung aller drei vorgestellten Bilanzauffassungen. Eine Energie und Treibhausgasbilanz stellt die Grundlage einer Erfolgsmessung der Klimaschutzaktivitäten einer Kommune dar. Sie zieht gleichsam Bilanz über die im Betrachtungszeitraum gemachten Fortschritte oder Rückschläge.

Sie wird nach genau festgelegten Regeln erstellt, die Antwort auf dieselben Grundfragen geben müssen, wie im kaufmännischen Bilanzverständnis. Was wird wo und in welcher Höhe bilanziert oder mit angepaßten Begriffen: welche Emissionen werden bei welchem Verbrauchssektor mit welchem Emissionsfaktor bilanziert? Ebenso ist es wichtig, daß die Bilanzkontinuität gewahrt bleibt, d.h. einmal festgelegte Bewertungsregeln müssen im Zeitablauf beibehalten werden, damit Veränderungen und Trends erkennbar werden.

Auch das naturwissenschaftliche Bilanzverständnis findet sich wieder. Der Energie- und Treibhausgasbilanz liegt ein analytisch abgegrenztes System zugrunde, das Untersuchungsgebiet. Für diesen geographischen Raum sollen möglichst genau alle eingehenden Energieströme und die daraus resultierenden, ausgehenden Stoffströme, in Form von Treibhausgasemissionen bilanziert werden.

2.4 Bilanzraum

Der dieser Energie- und Treibhausgasbilanz zugrunde liegende Bilanzraum wird durch das Gebiet der Hansestadt Greifswald gebildet. Dessen administrative Grenzen stellen die für die Bilanzierung herangezogenen Systemgrenzen dar.

Dem Bilanzraum wird Primärenergie in Form von Erdöl, Erdgas, Kraftstoffen, Flüssiggas und Kohle sowie Endenergie in Form von Strom zugeführt. Mit jeder dieser Energieformen ist auch eine Zuführung von Treibhausgasen in den Bilanzraum verbunden, die bei der Förderung, Veredelung und dem Transport der Energie bzw. der Energieträger entstehen.

Innerhalb des Bilanzraumes kommt es zu Umwandlungs- und Verbrauchsprozessen der Energieträger, in deren Ergebnis Treibhausgase in die Atmosphäre abgegeben werden.

Abbildung 3 stellt die Verknüpfungen innerhalb des betrachteten energetischen Systems dar.

Quelle: Eigene Darstellung

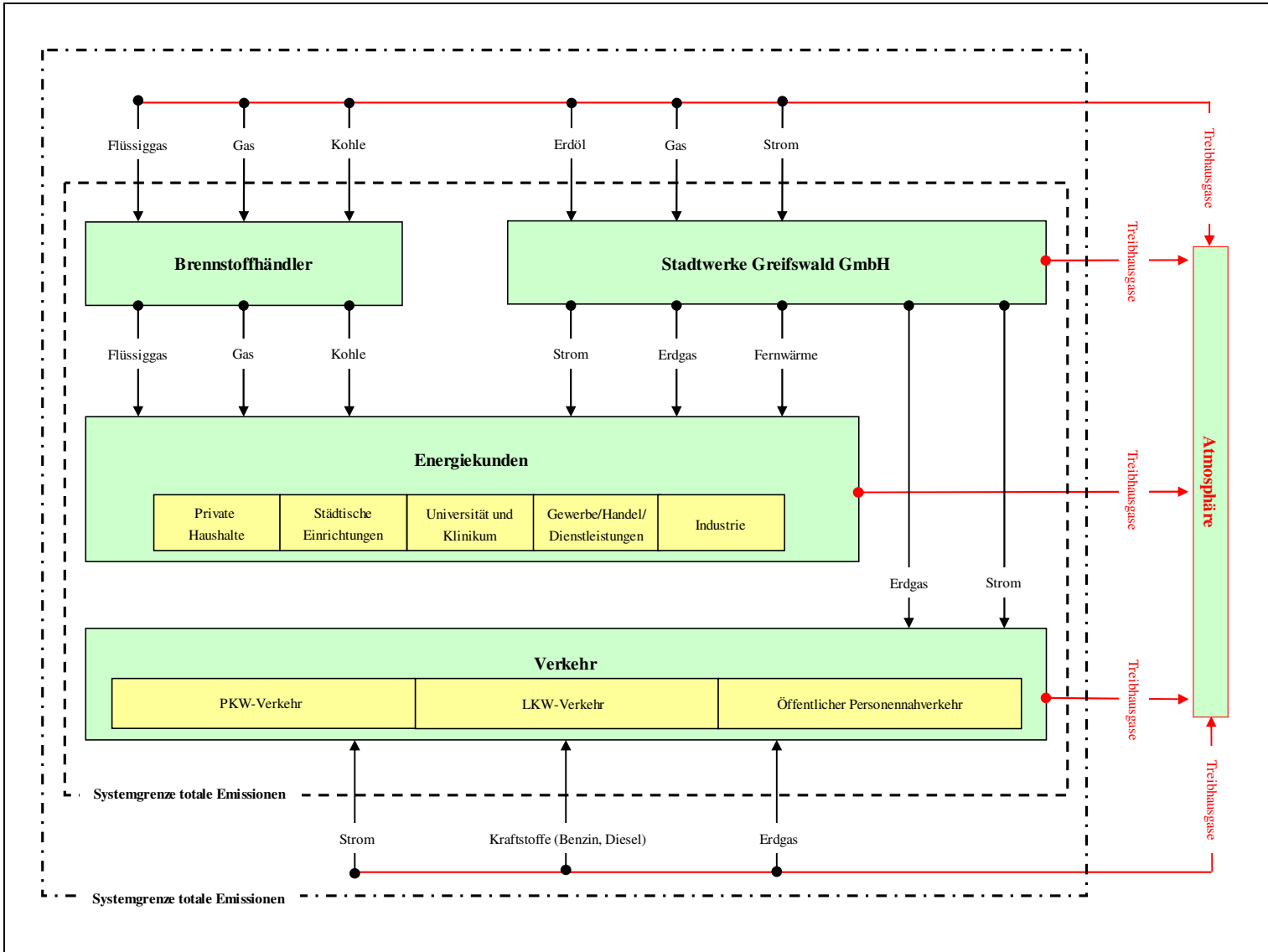


Abbildung 3: Bilanzraum der Energie- und Treibhausgasbilanz der Hansesstadt Greifswald

2.5 Bilanzierungsgegenstand

In der vorliegenden Energie- und Treibhausgasbilanz werden alle Treibhausgasemissionen bilanziert, die bei der Bereitstellung und beim Einsatz von Energieträgern auf verschiedenen Umwandlungsstufen anfallen.

Darüber hinaus gibt es jedoch noch eine Vielzahl von nichtenergetischen Prozessen, bei denen Treibhausgase anfallen. Diese sollen an dieser Stelle kurz genannt werden.

Zum einen sind dies industrielle Produktionsprozesse. So fallen vor allem in der chemischen Industrie und bei der Baustoffindustrie Treibhausgase an. Auch Deponiegasemissionen zählen zu diesen industriellen Prozessen. (IBZ 2002, S.46)

Weiterhin erwähnenswert ist der Biomassebereich. Dieser ist jedoch nicht nur Quelle für Treibhausgasemissionen, genaugenommen nur CO₂ und CH₄, sondern gleichzeitig auch CO₂-Senke. Als Quelle fungieren vorrangig die Produktion von tierischer Biomasse, die Moore und die CO₂-Freisetzung durch die Bevölkerung. Senkenfunktion besitzt die Produktion von pflanzlicher Biomasse, insbesondere die Wälder haben eine große Aufnahmekapazität. (IBZ 2002, S.47)

2.6 Bilanzierungszeitraum

Grundsätzlich steht es natürlich dem Bilanzierenden frei, welche Periodisierung für die Erstellung einer Energie- und Treibhausgasbilanz gewählt wird. Aus Praktikabilitätsgründen wird jedoch in der Regel die Verwendung eines Kalenderjahres herangezogen. Vor allem in Hinblick auf benötigte Daten der amtlichen Statistik bietet sich diese Vorgehensweise an.

Der Bezugszeitraum der vorliegenden Energie- und Treibhausgasbilanz ist das Kalenderjahr 2003. Allerdings muß darauf hingewiesen werden, daß nicht alle verwendeten Daten der vorgenommenen Bilanzierung mit diesem Bezugsjahr übereinstimmen.

Vor allem im Bereich der verwendeten Durchschnittsverbrauchswerte sind die zugrundeliegenden Studien teilweise erheblich älter. Auch die Wirtschaftsdaten und die Daten zum Gebäude- und Wohnflächenbestand der amtlichen Statistik stammen in der Regel aus den Jahren 2001 und 2002.

Die bedeutungsvollsten Daten, also die Energieverbrauchsdaten der Stadtwerke, liegen jedoch für den Bilanzierungszeitraum vor. Auch die demographischen Daten des Bilanzraumes beziehen sich auf das Jahr 2003.

Für eine jährlich wiederkehrende Bilanzierung besonders schwierig zu handhaben ist der Verkehrssektor. Das in Greifswald auftretende Verkehrsaufkommen ist in Form von kleinräumigen Zählungen und Schätzungen zwar sehr detailliert erfaßt, jedoch werden diese Daten aufgrund des sehr hohen Arbeitsaufwandes nicht jährlich neu erhoben, sondern nur stichprobenartig überprüft und aktualisiert. Ausgehend von dieser Datenbasis, muß natürlich ein gewisser Fehler, was die zeitliche Abgrenzung der Ergebnisse angeht, hingenommen werden.

3 Methodik

3.1 Herangehensweise

Grundsätzlich kann bei der Erstellung einer Energie- und Treibhausgasbilanz zwischen zwei Vorgehensweisen unterschieden werden: bottom-up und top-down. Bei der bottom-up-Methode werden die Energieverbräuche der einzelnen Energienutzer zu einer Gesamtbilanz aufkumuliert. Bei der top-down-Methodik betrachtet man dagegen die in den Bilanzraum eingeführten oder dort erzeugten Energieträger und versucht aus deren Emissionswerten eine Gesamtbilanz zu erstellen. (WWW.KLIMABUENDNIS.ORG a)

Nahezu alle bisher erstellten kommunalen Energie- und Treibhausgasbilanzen bedienen sich der top-down-Methode. Diese hat den Vorteil, daß sie mit einer weitaus geringeren Datenmenge auskommt und die benötigten Daten zumindest teilweise in der amtlichen Statistik verfügbar sind oder relativ leicht ermittelt werden können. Damit verbunden ist jedoch auch eine Reihe von Nachteilen. Zum einen ist das Ergebnis natürlich mit gewissen Ungenauigkeiten verbunden. Es ist nicht klar, ob man in der Lage war, alle Energieträger, die in den Bilanzraum eingeführt wurden, zu erfassen. Weiterhin ist es fraglich, ob die Energieträger auch im betrachteten Bilanzzeitraum genutzt wurden und dementsprechend Emissionen verursachten. Allerdings muß man zugeben, daß sich diese Fehler in einer Größenordnung bewegen, die man durchaus als vernachlässigbar klein ansehen kann. Dies um so mehr, als auch ein bottom-up-Ansatz natürlich nicht frei von Meßfehlern ist.

Von geradezu essentieller Bedeutung ist jedoch ein anderes Problem der top-down-Methodik. Bei dieser Vorgehensweise ist es per Definition nicht möglich, eine Zuordnung von Energieverbräuchen und Emissionen zu einzelnen Verbrauchssektoren oder Nutzern durchzuführen. Damit entfällt die Energie- und Treibhausgasbilanz als Informationsquelle über detaillierte Handlungsbereiche. So mag es unter Umständen möglich sein, mit nur relativ geringem Aufwand große Einsparungen zu erreichen, wenn man ineffiziente Bereiche identifizieren kann. Ebenso ist eine Ursachenforschung bestimmter Emissionsspitzen nicht möglich.

Das Problem des bottom-up-Ansatzes ist natürlich der hohe Datenbedarf, Daten die in manchen Kommunen unter Umständen gar nicht vorhanden sind. Sind sie jedoch verfügbar, kann die Energie- und Treibhausgasbilanz ein äußerst effektives Werkzeug zum

Klimaschutz auf kommunaler Ebene sein, vor allem auch in Hinblick auf das praktisch Durchführbare und ebenso das ökonomisch Vertretbare.

Für die vorliegende Energie- und Treibhausgasbilanz der Hansestadt Greifswald wurde versucht, einen solchen bottom-up Ansatz zu verfolgen, ja sogar noch einen Schritt weiterzugehen und die Einzelverbrauchsdaten mittels eines Geographischen Informationssystems räumlich zu visualisieren. Eine solche Visualisierung hat mehrere Vorteile. Ergebnisse sind Handlungsträgern und Öffentlichkeit wesentlich leichter vermittelbar, als es bloße Zahlenkolonnen können. Darüber hinaus bieten Geographische Informationssysteme eine Vielzahl von Analyse- und Abfragemöglichkeiten, die bei der Auswertung der Datenbasis und der Erarbeitung von Handlungsmöglichkeiten neue Richtungen aufzeigen können.

In der Hansestadt Greifswald bietet sich die Verwendung des bottom-up-Ansatzes aufgrund der günstigen Datenlage an. Es gibt mit den Stadtwerken nur einen großen Energieversorger, einen digitalen Gebäudekataster und, im Vergleich zu den meisten anderen Kommunen, gute Verkehrsdaten.

Leider stellte sich im Verlauf der Arbeit heraus, daß die Stadtwerke aufgrund wirtschaftlicher Interessen und Befürchtungen derzeit nicht bereit sind, die Einzelverbrauchsdaten zur Verfügung zu stellen. Daraus ergab sich für die Anfertigung der Energie- und Treibhausgasbilanz nun eine zweigleisige Vorgehensweise.

Zum einen wird der bottom-up-Ansatz erläutert und an fiktiven Beispielen bearbeitet. Damit soll späteren Nutzern bei Fortschreibung der Bilanz ein Werkzeug zur Verfügung gestellt werden, mit dem im Falle einer besseren Datenverfügbarkeit eine entsprechende Energie- und Treibhausgasbilanz erstellt werden kann.

Zum anderen wird eine Energie- und Treibhausgasbilanz gemäß der top-down-Methodik erstellt. Allerdings wird hierbei versucht, so weit es irgendwie möglich ist greifswaldspezifische Indikatoren und Merkmale zu erfassen, um der Bilanz einen größeren Detaillierungsgrad zu geben und so zumindest rudimentäre Analysen möglich zu machen.

In den folgenden Abschnitten dieses Kapitels soll nun auf allgemeine methodische Fragen eingegangen werden, die für beide Ansätze grundsätzlich relevant sind. Eine detaillierte Dokumentation der Bilanzerstellung erfolgt im Anschluß daran.

3.1.1 Emissionsfaktoren

Für die Erstellung der Energie- und Treibhausgasbilanz wird eine Vielzahl von Emissionsfaktoren benötigt. „Emissionsfaktoren beschreiben die spezifische Menge eines Schadstoffes je Aktivität. Im allgemeinen ist dies die Schadstoffmasse je Einheit Energie, Stoffumsatz, Transportleistung oder Wertschöpfung.“ (GEMIS Version 4.1, Index) Im spezifischen Fall einer Energie- und Treibhausgasbilanz geben sie also an, wie viele Einheiten CO₂ bzw. CO₂-Äquivalente je Einheit Energie bzw. je Entfernungseinheit emittiert werden.

Solange man sich in der Anwendung nur auf die reinen Emissionen zurückzieht, die bei der Umwandlung des Energieträgers erzeugt werden, ist die Wahl des Emissionsfaktors unproblematisch, denn die ausgestoßenen Schadstoffe eines Verbrennungsprozesses sind äußerst genau zu bestimmen.

Problematisch wird es, wenn man eine ganzheitlichere Betrachtungsweise zugrunde legt. Man muß sich bewußt machen, daß für jede Einheit eines genutzten Energieträgers wiederum Energie aufgewendet werden mußte, um diesen nutzbar zu machen. Diese Energie verursachte bei Nutzbarmachung, Transport oder Veredelung natürlich wiederum Treibhausgase. Ein triviales Beispiel ist der Treibstoffverbrauch eines Öltankers oder eines Tankwagens.

Darüber hinaus gibt es auch direkte Treibhausgasemissionen in Verbindung mit der Bereitstellung von Energieträgern. So werden bei der Erdgasförderung jährlich etwa 45 Millionen Tonnen Methan freigesetzt. Dies entspricht ca. 10 % der anthropogenen Methanproduktion und trägt damit alleine zu 1,5 % der Verstärkung des Treibhauseffektes bei (FABIAN 2002, S. 104).

Die dritte Quelle, die bei einer holistischen Betrachtung der zu bilanzierenden Emissionen beachtet werden muß, ist noch diffuser und schwerer zu fassen als die vorangegangenen. Für jeden Prozeß der Nutzung und Bereitstellung von Energie sind technische Anlagen und Geräte notwendig. Dies sind z.B. Kraftwerke, Pipelines, Heizungsanlagen oder Transportfahrzeuge. Die Erstellung solcher Anlagen sowie die Förderung und Verarbeitung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen dieser Anlagen sind selbstverständlich wiederum mit Treibhausgasemissionen der einen oder anderen Form verbunden. „Dieser indirekte Bedarf an Energie und die hieraus resultierenden Emissionen werden in nahezu allen Szenariorechnungen vernachlässigt, so daß Windenergiekonverter, Photovoltaik- und Solarkollektoranlagen allgemein als CO₂-freie Energiesysteme gelten. Es

gibt jedoch berechtigte Hinweise darauf, daß der kumulierte Primärenergieaufwand und CO₂-Ausstoß zur Realisierung von Konzepten zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen signifikant ist.“ (DRAKE 1996, S. 11) Diese Aussage aus dem Jahr 1996 ist heute so nicht mehr ganz korrekt. In der Wissenschaft ist man sich dieses Mißstandes der Vernachlässigung der indirekten Emissionen durchaus bewußt, so gibt es eine Vielzahl von Bemühungen durch entsprechende Modellrechnungen alle relevanten Emissionen eines Prozesses zu erfassen.

Aus solchen Modellrechnungen ergeben sich nun Emissionsfaktoren, die sich je nach Datengrundlage und der Anzahl der betrachteten vorgelagerten Prozesse teilweise erheblich unterscheiden können.

Im Bereich der kommunalen Energie- und Treibhausgasbilanzen hat sich die Verwendung von Emissionsfaktoren aus dem Globalen Emissions-Modell Integrierter Systeme des Instituts für angewandte Ökonomie e.V. durchgesetzt. Für die Erstellung der vorliegenden Arbeit wurde ebenfalls auf Emissionsfaktoren aus diesem Modell zurückgegriffen.

Die Verwendung dieses Modells bietet mehrere Vorteile. Es ist kostenlos erhältlich und wird regelmäßig aktualisiert. Dies ist besonders für kleine, finanzschwache Kommunen durchaus von Bedeutung. Es integriert Modellrechnungen aus vielen verschiedenen Quellen und vereint damit auch eine Vielzahl von verschiedenen Ansätzen, so daß der Nutzer in die Lage versetzt wird, den für seine spezifische Situation ‚richtigen‘ auszuwählen. Die angegebenen Emissionsfaktoren stellen außerdem keine Black-Boxes dar, sondern sind in ihrer Entstehung fein aufgegliedert und nachvollziehbar.

Natürlich sind auch die Modellrechnungen, die im GEMIS durchgeführt werden nicht in der Lage die Realität in jedem Fall abzubilden, sie kratzen bestenfalls an der Oberfläche und man wird in der Praxis immer Gegenbeispiele finden. Aber dies stellt ja gerade die grundlegende Eigenschaft eines jeden Modells dar, daß es die Komplexität der Realität auf ein handhabbares Niveau reduziert. Die durch das GEMIS bereitgestellten Emissionsfaktoren gehen in der Erfassung der stattfindenden Prozesse jedoch soweit, daß sie zumindest größenordnungsmäßig als korrekt angesehen werden können und sich für die Erstellung einer kommunalen Energie- und Treibhausgasbilanz eignen.

Im folgenden soll nun auf einige Aspekte dieser Emissionsfaktoren genauer eingegangen werden.

3.1.2 CO₂-Äquivalente

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit im GEMIS die Menge der einzelnen Emissionen eines jeden ausgestoßenen Stoffes anzugeben. Für eine Energie- und Treibhausgasbilanz interessieren natürlich nur die sogenannten Treibhausgase (siehe auch Abschnitt 2.2.3).

Die meisten kommunalen Klimabilanzen thematisieren allerdings nur das emittierte CO₂, sie werden deshalb meist auch nur als CO₂-Bilanzen bezeichnet. In einem entwickelten Industrieland wie Deutschland ist dies zumindest teilweise akzeptabel, denn die CO₂-Emissionen sind hier für etwa 87 % der Verstärkung des Treibhauseffektes verantwortlich. (UBA 2002, S. 14) Der globale Wert liegt zum Vergleich bei nur etwa 60 %. (WWW.BAYERN.DE/LFU). Weiterhin liegt ein Großteil der Emissionen der übrigen Treibhausgase in den Vorketten und indirekten Emissionen, die sich dem kommunalen Handeln weitgehend entziehen. Allerdings muß man auch sehen, daß hierdurch im Durchschnitt etwa 13 % der klimarelevanten Emissionen nicht bilanziert werden.⁵

Will man also die Treibhauswirksamkeit eines Prozesses vollständig darstellen, d.h. vollständig innerhalb der Grenzen des gewählten Modellrahmens, müßte man die einzelnen Anteile der verschiedenen Treibhausgase angeben. Zur Erleichterung der Handhabbarkeit der Ergebnisse und vor allem zum einfachen Vergleich von verschiedenen alternativen Prozessen bedient man sich des Konzeptes der CO₂-Äquivalente. Hierbei wird die Wirkung der Nicht-CO₂-Treibhausgase mit Hilfe von CO₂-Äquivalenzfaktoren bewertet, die auch als Global-Warming-Potentials bzw. Treibhausgaspotentiale, bezeichnet werden. (STEIN; WAGNER 1999, S. 33) Die verschiedenen Treibhausgasemissionen eines Prozesses werden mit ihren jeweiligen Treibhausgaspotentialen multipliziert und aufsummiert. Das Ergebnis ergibt das CO₂-Äquivalent dieses Prozesses. Mit anderen Worten, die bei diesem Prozeß entstandenen Treibhausgase führen zu einer Verstärkung des Treibhauseffektes, als wäre die durch das CO₂-Äquivalent ausgewiesene Menge CO₂ emittiert worden. Die Höhe der „GWP hängt von vielen Parametern und Annahmen wie Verweildauer, Betrachtungszeit und Konzentration anderer Gase in der Atmosphäre ab. Insbesondere die Wahl des Betrachtungszeitraumes hat einen großen Einfluß auf die GWP Faktoren [...]. Kurze Betrachtungszeiträume führen zu beträchtlich höheren GWP-Werten“ (STEIN; WAGNER 1999, S. 33). Wichtig bei der Interpretation

⁵ Wobei sich diese 13 % nicht auf die Menge, sondern auf die Klimawirksamkeit der Emissionen beziehen.

und Verwendung von Treibhausgaspotentialen ist die Beachtung der Bezugsgröße. Die Werte unterscheiden sich erheblich, je nachdem ob man für den Vergleich mit CO₂ die gleiche Masse oder die gleiche Anzahl Moleküle heranzieht. (GASSMAN 1994, S.46) In den meisten Fällen werden jedoch massenbezogene Treibhausgaspotentiale angegeben.

Die Treibhausgaspotentiale entsprechen den derzeit verbindlichen Standards für nationale Treibhausgasinventare gemäß dem Kyoto-Protokoll. Bestimmt werden sie durch das International Panel of Climate Change. Einbezogen in diese Treibhausgaspotentiale sind nur die direkten Wirkungen der Treibhausgase, beim Methan zusätzlich noch die indirekten Effekte aus der troposphärischen Ozon- und Wasserdampfproduktion. Der Betrachtungszeitraum liegt bei 100 Jahren. Das IPCC selbst gibt die Datenqualität der Treibhausgaspotentiale mit +/- 35 % an. (GEMIS Version 4.1, Index) Die nachfolgende Übersicht zeigt die verwendeten Treibhausgaspotentiale im einzelnen.

Tabelle 6: Massenbezogene Treibhausgaspotentiale für einen 100-jährigen Betrachtungszeitraum

Treibhausgas	Treibhausgaspotential
CO ₂	1
CH ₄	23
N ₂ O	296
SF ₆	22.200
HFC	120 – 4.300
PFC	5700 – 11.900

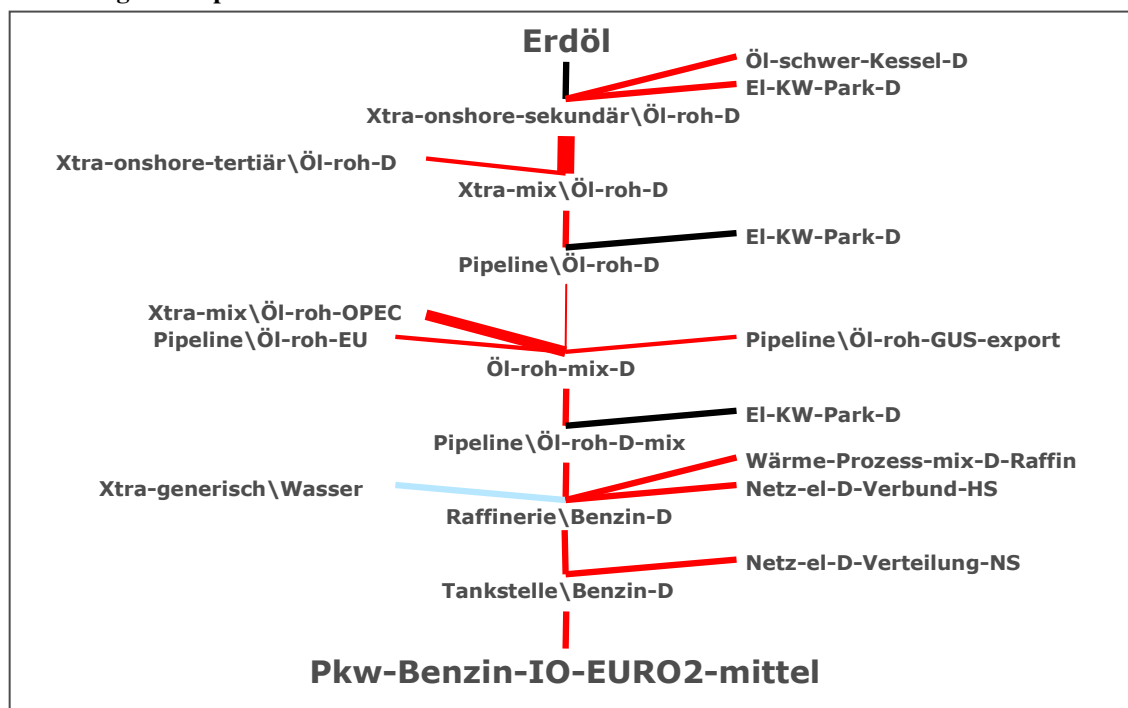
Quelle: GEMIS Version 4.1, Index

In der hier vorliegenden Arbeit werden für alle untersuchten Prozesse sowohl die CO₂-Emissionen als auch die entsprechenden CO₂-Äquivalente angegeben. Um die Lesbarkeit und Übersichtlichkeit bei der Präsentation der Ergebnisse zu wahren, werden innerhalb des Textes jedoch nur die ermittelten CO₂-Emissionen diskutiert. Die entsprechenden CO₂-Äquivalente finden sich im Anhang wieder. Aufgrund der schon erwähnten Dominanz des CO₂ gegenüber den übrigen Treibhausgasen erscheint dieser Kompromiß aus vollständiger Ergebnisdarstellung und Praktikabilität vertretbar.

3.1.3 Prozeßketten

Zu Beginn des Kapitels wurde darauf hingewiesen, daß bei ganzheitlicher Bilanzierung von Emissionen eines Prozesses eine Vielzahl von indirekten bzw. vorgelagerten Emissionen beachtet werden muß. Im GEMIS wird dies über die Hintereinanderschaltung von vielen verschiedenen Einzelprozessen erreicht. Für jeden dieser Einzelprozesse werden wiederum die Emissionen ermittelt, falls nötig unter Einbezug der entsprechend vorgelagerten Prozesse. Diese Emissionen werden nun akkumuliert und ergeben so die Gesamtemissionen bzw. den Emissionsfaktor eines Zielprozesses. Die folgende Grafik soll dies anhand eines Beispiels verdeutlichen.

Abbildung 4: Beispielhafte Prozeßkette aus GEMIS



Quelle: GEMIS

In obiger Abbildung ist ein Teil einer Prozeßkette abgebildet. Jeder der Schriftzüge steht für einen eigenen Prozeß, hinter dem sich wiederum eine Reihe von vorgelagerten Prozessen verbergen kann. Rote Verbindungslinien stehen für Energien, blaue für Stoffe und schwarze für Transporte. Das Ergebnis der abgebildeten Beispielprozeßkette bildet der Emissionsfaktor für einen PKW mit Ottomotor der Abgasnorm EURO-2 und einem Hubraum von 1,4 - 2,0 Litern. Der Mix der Verkehrssituationen und Steigungsklassen entspricht der Konstellation auf Innerortsstraßen. (GEMIS)

In der vorliegenden Arbeit fließen durch die Benutzung der vom GEMIS bereitgestellten Emissionsfaktoren, die in den jeweiligen Prozeßketten vorgelagerten Prozesse vollständig ein.

3.1.4 Lokale vs. Totale Emissionen

Im vorherigen Abschnitt wurde erläutert, daß sich ein Emissionsfaktor im GEMIS durch die Hintereinanderschaltung mehrerer Einzelprozesse ergibt, indem die jeweiligen Emissionen anteilig aufsummiert werden.

Jeder Prozeß im GEMIS ist nun wiederum verortet, d.h. er besitzt eine Angabe darüber wo er stattfindet respektive emittiert. Setzt sich der Prozeß aus mehreren Einzelprozessen zusammen, ergeben sich dementsprechend mehrere verschiedene Emissionsräume. Bei der Untersuchung der Treibhauswirksamkeit eines Prozesses ist diese Information natürlich von eher untergeordneter Bedeutung. Da es sich bei den Treibhausgasen nicht um Luftschadstoffe handelt, also von ihnen keine direkte Gefahr für Lebewesen ausgeht, ist die punktuelle Konzentration in der Regel irrelevant. Auch für den globalen Treibhauseffekt ist es unerheblich, wo die Treibhausgase emittiert werden.

In einer kommunalen Energie- und Treibhausgasbilanz kann es jedoch durchaus von Interesse sein, zwischen den lokalen Emissionen innerhalb der Kommune und den Gesamtemissionen eines Prozesses zu unterscheiden. Diese Gesamtemissionen werden im GEMIS als totale Emissionen bezeichnet. Sie schließen alle vorgelagerten Prozeßketten mit ein. Bei den lokalen Emissionen werden dagegen nur die Prozesse einer Prozeßkette akkumuliert, deren Ortsbezug als lokal eingestuft wird.

In der vorliegenden Arbeit werden die ermittelten Emissionen jeweils als lokale und totale Emissionen angegeben.

3.2 Sektorale Abgrenzung

Bei der sektoralen Abgrenzung, sofern eine solche überhaupt getroffen wurde, folgen alle bisher erstellten Klimabilanzen grundsätzlich der gleichen Untergliederung in die vier Verbrauchssektoren: Private Haushalte, Industrie, Verkehr und Gewerbe, Handel

und Dienstleistungen⁶ (z.B. IFEU o.J., WiRO 2003). Einige Untersuchungen führen darüber hinausgehend den Umwandlungssektor als fünften Sektor auf. (z.B. ÖKO-INSTITUT 2000)

Dieser Gleichklang der Verbrauchssektoren in den meisten Studien darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß die Abgrenzung der Sektoren sich inhaltlich sehr stark unterscheiden kann. Besonders betroffen ist hiervon der Verkehrsbereich.

Für die hier erstellte Energie- und Treibhausgasbilanz der Hansestadt Greifswald wird die zuvor genannte vierteilige Abgrenzung der Verbrauchssektoren zugrundegelegt.

Der Sektor der privaten Haushalte umfaßt die Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen aus der direkten Nutzung von Energieträgern zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser sowie dem Betrieb elektrischer Geräte in Wohnräumen.

Der Sektor Industrie umfaßt die Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen die sich aus der Nutzung von Raum- und Prozeßwärme, Warmwasser und Elektrizität ergeben. Um die Daten der amtlichen Statistik nutzen zu können, erfolgt die Abgrenzung gemäß der Wirtschaftsgliederung des Statistischen Bundesamtes, Ausgabe 1993⁷ (STATISTISCHES BUNDESAMT 2002). Als Industrie wird in der Folge das Verarbeitende Gewerbe, der Bergbau inklusive der Gewinnung von Steinen und Erden sowie die Energie- und Wasserversorgung verstanden. Dies entspricht dem Produzierenden Gewerbe unter Ausschluß des Baugewerbes.

Der Sektor Gewerbe, Handel und Industrie (GHD) umfaßt ebenso wie beim Sektor Industrie die Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen, die sich aus der Nutzung von Raum- und Prozeßwärme, Warmwasser und Elektrizität ergeben. Der Sektor GHD „wird als Restgröße definiert und leidet teilweise unter gravierenden Abgrenzungsproblemen, [...]. [So sind z.B.] beim Energieverbrauch industrielle Kleinbetriebe und Handwerk teil des Sektors, während sie bei den Aktivitätsgrößen Bruttowertschöpfung und Beschäftigte dem Industriesektor zugerechnet werden“ (DIEKMANN 1999, S. 212). Da für die Bestimmung der Treibhausgasemissionen im folgenden wiederholt auf diese

⁶ Entspricht in weiten Teilen der älteren statistischen Abgrenzung der Kleinverbraucher

⁷ Es wird nicht die aktuelle WZ 03 verwendet, da die statistischen Daten der Hansestadt Greifswald für das untersuchte Bezugsjahr noch nach der WZ 93 gegliedert sind. Aufgrund der nur marginalen Veränderungen von WZ 93 auf WZ 03 sind jedoch keine größeren Auswirkungen auf das Untersuchungsergebnis bei einer eventuellen Umstellung der Datenbasis zu erwarten.

Größen zurückgegriffen werden muß, zeigt diese Aussage, daß die Ergebnisse immer mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind.

In der hier vorliegenden Arbeit werden dem Sektor GHD alle Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen zugeordnet, die sich aus den wirtschaftlichen Aktivitäten und öffentlichen Dienstleistungen innerhalb der Hansestadt Greifswald ergeben und nicht industrieller Natur sind.

Als gesonderte Teilbereiche innerhalb des Sektors GHD sollten als größte Einzelverbraucher die Stadtverwaltung mit ihren Liegenschaften und die Ernst-Moritz-Arndt Universität mit dem Universitätsklinikum ausgewiesen werden. Leider war die Universität nicht bereit, entsprechende Verbrauchsdaten zur Verfügung zu stellen, so daß eine entsprechende Bestimmung nur mit Hilfe von Schätzgrößen vorgenommen werden konnte.

Der Sektor Verkehr umfaßt die innerhalb des Stadtgebietes Greifswald durch PKW und LKW/Bus-Verkehr verursachten Treibhausgasemissionen. Der ÖPNV der Hansestadt Greifswald wird mit seinen Emissionen innerhalb dieses Sektors gesondert ausgewiesen. Es erfolgt keine Aufteilung der Emissionen auf Pendler, Durchreisende und Einheimische.

Emissionen aus Bahn- und Flugverkehr, die aus der Benutzung dieser Verkehrsmittel durch Greifswalder herrühren, werden nicht betrachtet. Solche Werte könnten allenfalls anteilig am gesamtdeutschen Bahn- und Flugverkehrsaufkommen ermittelt werden, wobei es jedoch in keiner Weise möglich ist abzuschätzen, wie realistisch diese Annahme ist. Im Rahmen einer kommunalen Klimaschutzkonzeption ist der Einfluß auf diese beiden Verkehrsarten außerdem als äußerst gering einzustufen.

3.3 Zuordnung von Brennstoffverbrauch und Emissionen bei der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Die Greifswalder Fernwärme- und Stromversorgung wird zu einem großen Anteil durch KWK-Anlagen geleistet. Da die Bestimmung von Emissionsfaktoren für solche Anlagen recht umstritten ist, werden im folgenden verschiedene Herangehensweisen vorgestellt.

Unter Kraft-Wärme-Kopplung versteht man gemäß § 3 KWKG die „gleichzeitige Umwandlung von eingesetzter Energie in elektrische Energie und Nutzwärme in einer ortsfesten technischen Anlage“.

Problematisch ist in diesem Zusammenhang die Frage, wie die hierdurch bedingten Primärenergieverbräuche, respektive die verursachten Emissionen, den beiden Produkten Strom und Wärme zugeordnet werden. Von besonderem Interesse ist die Beantwortung dieser Frage, wenn die KWK-Anlage allein in ihrer Eigenschaft als Wärme- oder Stromerzeugungssystem ökologisch bewertet wird und mit entsprechenden alternativen Strom- und Wärmeerzeugern verglichen werden soll. (DIEFENBACH 2002, S. 1)

„Über die Aufteilung des Brennstoffeinsatzes in einem Heizkraftwerk auf die beiden Koppelprodukte gibt es trotz intensiver Diskussion in zahlreichen Veröffentlichungen sehr widersprüchliche Auffassungen“ (DRAKE 1996, S. 123). Dies liegt vor allem daran, daß es ein reines Bewertungsproblem ist, d.h. es gibt keine naturwissenschaftlich begründete Lösung. (DIEFENBACH 2002, S. 3)

Die verschiedenen Methoden lassen sich grundsätzlich in zwei Kategorien einteilen. Eine Gruppe nimmt die Aufteilung mit Bezug auf ein Referenzkraftwerk bzw. Referenzheizwerk vor, also einen konventionellen Wärmeerzeuger und einen konventionellen Stromerzeuger. Die andere Gruppe legt einen Aufteilungsmaßstab zugrunde, der sich aus den Parametern der KWK-Anlage selbst ergibt. (DRAKE 1996, S. 123)

In Tabelle 7 sind einige der bekanntesten Ansätze dieser Gruppe zusammengefaßt. Für jede dieser Methoden läßt sich ein Faktor x berechnen, der den ausgekoppelten Wärmestrom gegenüber der abgegebene elektrische Leistung gewichtet. Mit Hilfe dieses Faktors x und der Stromkennzahl σ des zu untersuchenden Kraftwerkes läßt sich nun nach der Formel

$$\frac{B_{el}}{B_Q} = \frac{\sigma}{x}$$

das Verhältnis von Brennstoffeinsatz für Stromerzeugung (B_{el}) zu Brennstoffeinsatz zur Wärmeerzeugung (B_Q) bestimmen. (DRAKE 1996, S. 124)

Kennt man dieses Verhältnis, kann man nun im selben Verhältnis auch die entstehenden Emissionen den beiden Produkten Wärme und Strom zuordnen.

Das in der Tabelle eingetragene Zahlenbeispiel bezieht sich auf ein Kraft-Wärme-Kopplungs-Kraftwerk mit der Stromkennzahl⁸ $\sigma = 0,6$ und einem Nutzungsgrad von $\omega = 0,85$. Dies entspricht in etwa dem Durchschnitt der vier Greifswalder KWK-Anlagen.

Tabelle 7: Bewertungsmöglichkeiten von KWK-Anlagen ohne Verwendung eines Referenzsystems

Bewertung der Wärme	x	$\frac{B_{el}}{B_Q}$	ω_{el}	ω_Q
Strom ist Abfallprodukt	∞	33.865	∞	0,53
Energetische Bewertung	1	0,6	0,85	0,85
Exergetische Bewertung	0,27	2,2	0,46	1,7
Wärme ist Abfallprodukt	0	∞	0,32	∞

Quelle: DRAKE 1996, S. 123

Wie man an doch sehr unterschiedlichen Zahlenwerten erkennt, stehen hinter diesen Bewertungsmethoden völlig verschiedene Ansätze, welche hier nur kurz angesprochen werden sollen.

Die Werte $x = 0$ und $x = \infty$ stellen die Extreme dar, bei denen entweder die Wärme oder der Strom als Abfallprodukt interpretiert werden. Dieser Interpretation kann man nur schwerlich folgen. Wären es Abfallprodukte, könnte man auch gleich das jeweils andere Produkt alleine produzieren, was eigentlich immer effizienter ist als eine KWK-Produktion. Außerdem wird das Abfallprodukt somit kosten- und emissionsneutral gerechnet, was z.B. in einer Energie- und Treibhausgasbilanz zu starken Verzerrungen führen würde.

Bei der energetischen Bewertung erfolgt die Aufteilung gemäß der Stromkennzahl, da Strom und Wärme als energetisch gleichwertige Produkte angesehen werden. Die Wirkungsgrade von Strom und Wärme sind damit identisch und entsprechen dem Gesamtwirkungsgrad. (DRAKE 1996, S. 125)

Die exergetische Betrachtung bezieht sich gezielt auf die unterschiedliche Wertigkeit von Energie, d.h. sie bewertet, wie effizient eine Energieform noch in eine andere Ener-

⁸ Verhältnis der KWK-Nettostromerzeugung zur KWK-Nutzwärmeerzeugung in einem bestimmten Zeitraum (ASUE o. J., S. 4)

gieform umgewandelt werden kann. Hier schneidet Strom als ‚universelle‘ Energieform natürlich wesentlich besser ab als Wärme. Diese wird mit Hilfe eines Carnot-Faktors bewertet, welcher von der Temperatur der Wärme und dem Temperaturniveau der Umgebung abhängt. (WWW.TSB.FH-BINGEN.DE)

Wesentlich stärker hat sich in Literatur und Praxis dagegen die Aufteilung der Primärenergieverbräuche, und damit der Emissionen, anhand eines Referenzkraftwerkes durchgesetzt. Dieses Verfahren wird in der Regel auch als Gutschrift-Methode bezeichnet.

Die Gutschrift-Methode vereinfacht das gekoppelte System je nach Ausprägung, d.h. Strom- oder Wärmegutschrift, auf ein rein wärmebereitstellendes oder ein rein strombereitstellendes System. Das jeweils andere Produkt wird als reines Koppelprodukt betrachtet. Die Primärenergie, die notwendig wäre, um dieses Koppelprodukt in einer konventionellen Anlage bereitzustellen, wird von der für den KWK-Prozess benötigten Primärenergie abgezogen. Der übrige Primärenergieverbrauch wird der Erstellung des Hauptproduktes zugerechnet. Die gesamte Primärenergieeinsparung wird auf eines der Produkte verschoben und wird damit der physikalischen Realität nicht gerecht. Je nachdem ob man eine Strom- oder eine Wärmegutschrift betrachtet, wird das jeweils andere Produkt systematisch zu günstig bewertet. (WWW.BHKW-INFOZENTRUM.DE) So kommt es oftmals zu der paradoxen Situation, daß bei Verwendung der Stromgutschriftmethode, der in einer KWK-Anlage gewonnenen Wärmeenergie negative Primärenergieverbräuche bzw. Emissionen zugeordnet werden. Dies ist immer dann der Fall, wenn der elektrische Nutzungsgrad der KWK-Anlage den Nutzungsgrad der alternativen Stromerzeugungstechnik, die für die Berechnung der Gutschrift herangezogen wurde, erreicht oder sogar überschreitet. (DIEFENBACH 2002, S. 2) Bei der Wärmegutschriftmethode tritt dieser Effekt nicht auf, da die Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen regelmäßig weniger effizient ist als in reinen Wärmeerzeugungssystemen.

Analog zum Wichtungsfaktor x der zuvor beschriebenen Methoden, der nicht objektiv, sondern höchstens plausibel gewählt werden kann, wird hierbei das Referenzkraftwerk/-heizwerk willkürlich gewählt und über dessen Wirkungsgrad die Gewichtung von Strom zu Wärme bestimmt. (DRAKE 1996, S. 127)

Allerdings kann man sich natürlich Gedanken darüber machen, welche Referenzwirkungsgrade in Frage kommen. Plausibel erscheinen in diesem Zusammenhang zwei Varianten:

Bei der Bewertung einer neuen, also zusätzlichen KWK-Anlage, sollte der Kraftwerkstyp bzw. Kraftwerksmix als Referenz gewählt werden, der durch die neue Anlage verdrängt wird. Hierdurch erhält man einen Wert für den Beitrag der KWK-Anlage zur Brennstoffeinsparung. (DRAKE 1996, S. 128)

Die zweite Variante der Auswahl eines Referenzkraftwerkes/-heizwerkes ergibt sich aus den derzeit bestmöglichen konventionellen Alternativenanlagen. So ist gewährleistet, daß man auf dem aktuellen Stand der Technik ist und die Brennstoff- sowie Emissionseinsparungen der KWK-Anlage nicht überbewertet.

Da die Gutschrift-Methode wie oben erläutert mit einigen Interpretationsproblemen zu kämpfen hat, wurde für diese Arbeit versucht, einen Ansatz zu finden, der zu nachvollziehbaren und in sich schlüssigen Aussagen kommt, ohne natürlich einen Anspruch auf Allgemeingültigkeit zu erheben.

Statt nur eines Referenzsystems für Wärme- oder Stromerzeugung wie bei der Gutschrift-Methode, wird für beide Produkte ein solches Referenzsystem gewählt. Man ermittelt nun die Summe der benötigten Primärenergie dieser beiden Systeme, um eine bestimmte vorgegebene Menge Strom und Wärme zu erzeugen, die sich an der Strom- und Wärmeausbeute der zu untersuchenden KWK-Anlage orientiert. Zieht man deren Primärenergieverbrauch von dem der Referenzsysteme ab, ergibt sich die durch die KWK-Anlage eingesparte Energie und Emission.

Die Aufteilung der durch die KWK-Anlage verbrauchten Primärenergie, und damit der Emissionen, erfolgte nun im Verhältnis des Primärenergieeinsatzes der beiden konventionellen Referenzsysteme zur Erzeugung der gleichen Menge Strom und Wärme wie in der KWK-Anlage.

Um eine realistische Bewertung der Emissionen der in dieser Arbeit untersuchten KWK-Anlagen zu erreichen, wurden als Referenzsysteme die derzeit modernsten, ökonomisch noch sinnvollen, konventionellen Strom- und Wärmeerzeuger gewählt. Für die Stromerzeugung wurde ein Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerk mit einem Wirkungsgrad von 55 % gewählt. Als Ersatz für die Fernwärmeversorgung wurden erdgasbetrie-

bene Brennwertkessel-Zentralheizungen mit einem Wirkungsgrad von 100 % ausgewählt.

3.4 Ermittlung der Emissionsfaktoren

In den folgenden Abschnitten wird erläutert, wie die in der Energie- und Treibhausgasbilanz verwendeten Emissionsfaktoren berechnet bzw. ausgewählt wurden.

3.4.1 Emissionsfaktoren – Strom

Bei den Emissionsfaktoren für die verbrauchte elektrische Energie muß zwischen dem Emissionsfaktor des in der Stadt produzierten Stroms und dem des durch die Stadtwerke hinzugekauften bzw. durchgeleiteten Stroms unterschieden werden.

Da es auf einem liberalisierten Energiemarkt nahezu unmöglich ist die Erzeugung dieses Stroms nachzuvollziehen, wird hierfür der Emissionsfaktor des bundesdeutschen Kraftwerksmixes angesetzt.

Der durch die Stadtwerke produzierte Strom stammt aus vier KWK-Anlagen mit zusätzlichen Heißwasser-Erzeugern zur Deckung des Fernwärmebedarfes. Drei davon werden ausschließlich mit Erdgas betrieben, das vierte zusätzlich mit einem maximal fünfprozentigen Heizölanteil.

Die Stadtwerke Greifswald GmbH stellten für diese Arbeit freundlicherweise die technischen Daten wie Wirkungsgrade, Primärenergieeinsatz und Stromkennzahlen ihrer Kraftwerke zur Verfügung, so daß diese im GEMIS recht genau modelliert werden konnten.⁹ Dadurch war es möglich, die Gesamtemissionen der einzelnen Kraftwerke zu bestimmen. Diese Emissionen wurden dann nach dem im Abschnitt 3.3 beschriebenen Verfahren auf den erzeugten Strom und die Wärme aufgeteilt. Die Emissionsfaktoren der einzelnen Kraftwerke und des hinzugekauften bzw. durchgeleiteten Stroms wurden daraufhin, nach ihrem Betrag zur Strombereitstellung, zu einem Gesamtemissionsfaktor verschmolzen. Mit diesem Faktor ist es nun möglich, die Emissionen des Strombedarfes der einzelnen Verbrauchssektoren zu bestimmen. Die nachfolgende Tabelle stellt die so ermittelten Emissionsfaktoren dar.

⁹ Allerdings dürfen diese technischen Daten aus wirtschaftlichen Überlegungen heraus nicht veröffentlicht werden und sind deshalb hier nicht näher spezifiziert.

Tabelle 8: Emissionsfaktoren der Stromerzeugung

	Lokaler CO₂- EF [t/GWh]	Totaler CO₂- EF [t/GWh]	Lokaler CO₂Ä- EF [t/GWh]	Totaler CO₂Ä- EF [t/GWh]
Helmshäger Berg	356,2383	389,6707	364,6234	412,2847
Thermoinsel	328,8805	359,8402	337,2512	399,5756
Kapaunenstraße	330,9297	363,1382	338,9796	404,4409
Siemensallee	314,8053	344,7709	322,7107	383,1917
Stadtwerke gesamt	351,3333	384,8305	359,6578	410,5803
Deutscher Kraftwerksmix	0	619,6	0	661,7450
Gesamtemissionsfaktor Strom	186,9405	498,1047	191,3699	531,7588

Quelle: Eigene Berechnungen; GEMIS

3.4.2 Emissionsfaktoren – Wärme

Die Versorgung der Hansestadt Greifswald mit Raum- und Prozeßwärme sowie Warmwasser gliedert sich in eine Vielzahl von verschiedenen Wärmeversorgungssystemen. Dementsprechend viele Emissionsfaktoren gilt es zu bestimmen.

Zum einen gibt es Fernwärmeversorgung auf Grundlage der aus den KWK-Anlagen ausgekoppelten Wärme. Deren Emissionsfaktoren werden wiederum nach dem im Abschnitt 3.3 vorgestellten Verfahren bestimmt. Darüber hinaus verfügt jede dieser Anlagen über zusätzliche Heißwasser-Erzeuger zur Deckung des Fernwärmebedarfes. Diese wurden ebenfalls im GEMIS modelliert und entsprechende Emissionsfaktoren bestimmt. Damit ergeben sich acht Emissionsfaktoren für die Greifswalder Fernwärme, die gemäß ihrem Beitrag zum Gesamtfernwärmeaufkommen zu einem Fernwärme-Emissionsfaktor vereint wurden.

Der zweite große Bereich der Wärmeversorgung innerhalb der Hansestadt Greifswald sind die privaten Erdgas-Zentralheizungen. Deren technische Spezifikationen sind nicht bekannt und können deshalb nur abgeschätzt werden. Unter der Annahme, daß die Brennwertkesseltechnik noch keine breite Verwendung gefunden hat, wird für alle diese Wärmeerzeugungssysteme der GEMIS-Emissionsfaktor einer durchschnittlichen deutschen Erdgas-Zentralheizung mit atmosphärischem Brenner unterstellt.

Ebenso wird für andere möglicherweise vorkommende Brennstoffe wie Kohle, Erdöl, Flüssiggas oder Holz verfahren. Die nachfolgende Tabelle faßt die verwendeten Werte zusammen.

Tabelle 9: Emissionsfaktoren der Wärmeerzeugung

	Lokaler CO₂- EF [t/GWh]	Totaler CO₂- EF [t/GWh]	Lokaler CO₂Ä- EF [t/GWh]	Totaler CO₂Ä- EF [t/GWh]
Helmshäger Berg KWK	344,8	389,8	348,4	427,3
Thermoinsel KWK	323,6	365,9	327,5	421,0
Kapaunenstraße KWK	262,9	262,9	234,4	303,4
Siemensallee KWK	279,1	315,9	282,4	363,8
Helmshäger Berg HWE	222,4	259,8	224,1	290,4
Thermoinsel HWE	209,4	245,4	211,0	274,4
Kapaunenstraße HWE	211,5	247,7	213,1	276,9
Siemensallee HWE	217,6	254,5	219,3	284,6
Fernwärme gesamt	282,2	339,0	419,1	486,7

Atmosphärische Gasheizung	233,6	267,0	234,1	297,5
Atmosphärische Flüssiggasheizung	270,5	315,3	272,9	326,1
Atmosphärische Ölheizung	316,1	362,1	316,9	372,0
Atmosphärische Kohleheizung	522,6	557,0	577,3	681,5
Atmosphärische Holzheizung	8,5	40,4	22,5	58,4
Elektroheizung	186,9	498,1	191,7	531,8

Quelle: Eigene Berechnungen; GEMIS

Auffällig sind die geringen Emissionen der holzbeheizten Anlagen. Die bei der Verbrennung von Holz entstehenden CO₂-Emissionen werden nicht als solche verbucht, da Holz als nachwachsender Rohstoff genau dieselbe Menge an CO₂ in seiner Wachstumsphase wiederum in sich aufnimmt. Die angegebenen Emissionen beruhen demzufolge nicht auf der Verbrennung, sondern stehen für anfallende Energieverbräuche bei Bearbeitung und Transport des Brennstoffs, sowie der Herstellung und dem Betrieb der Heizung. Ebenfalls deutlich wird, daß Elektroheizungen, Kohleheizungen und, in abgeschwächter Form, Ölheizungen und Flüssiggasheizungen vom Umweltgesichtspunkt her sehr viel ungünstiger als erdgasbetriebene Wärmeversorgungssysteme sind.

3.4.3 Emissionsfaktoren des Verkehrssektors

Für die Berechnung der Emissionen des Sektors Verkehr werden entfernungsbezogene Emissionsfaktoren benötigt. Die Verkehrszählungsdaten, auf deren Grundlage die Berechnung der entstandenen Emissionen erfolgt, unterscheiden zwischen PKW und LKW. Da keine Daten darüber vorliegen, ob und inwieweit sich die Fahrzeugstruktur innerhalb Greifswalds vom bundesdeutschen Durchschnitt unterscheidet, wird bei der Auswahl der Emissionsfaktoren der deutsche LKW- bzw. PKW-Mix zugrundegelegt. Hierbei gilt es zu beachten, daß im GEMIS die Emissionsfaktoren für Transportvorgän-

ge in Personen- bzw. Tonnenkilometern angegeben werden. Es muß also eine entsprechende Umrechnung stattfinden.

Die durch den öffentlichen Nahverkehr zurückgelegten Wagenkilometer werden aufgrund des modernen Fahrzeugparks nicht mit dem deutschen Linienbus-Mix bewertet, sondern mit dem Emissionsfaktor für moderne Euro2-Norm Busse.

Tabelle 10 zeigt die für den Sektor Verkehr verwendeten Emissionsfaktoren.

Tabelle 10: Emissionsfaktoren des Sektors Verkehr

	Lokaler CO ₂ - EF [kg/km]	Totaler CO ₂ - EF [kg/km]	Lokaler CO ₂ Ä- EF [kg/km]	Totaler CO ₂ Ä- EF [kg/km]
PKW-Mix	0,2077	0,3028	0,2168	0,3209
LKW-Mix	1,3027	1,5012	1,3140	1,5374
ÖPNV (Bus)	1,1122	1,3837	1,1835	1,3874

Quelle: GEMIS

3.5 Bottom-up-Vorgehensweise bei der Erstellung einer kommunalen Energie- und Treibhausgasbilanz

3.5.1 Einführung

Will man eine Energie- und Treibhausgasbilanz nach dem bottom-up Ansatz, also ‚von unten nach oben‘ oder auch ‚vom kleinen zum großen‘, erstellen, so versucht man „ausgehend von den Energieverbräuchen unzähliger Einzelnutzer eine Gesamtbilanz zu erstellen“ (WWW.KLIMABUENDNIS.ORG a). Ein solches Unterfangen ist natürlich mit einem erheblichen Datenbedarf verbunden. In Abschnitt 3.1 wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Datenlage für die Hansestadt Greifswald als relativ günstig eingestuft werden kann.

Das Schlüsselement stellt dabei der hohe Versorgungsgrad der Greifswalder Einwohner und Unternehmen durch die Stadtwerke Greifswald GmbH dar. Diese versorgen, zumindest physisch, nahezu die gesamte Stadt mit Strom. Auch die Wärmeversorgung erfolgt in Form von Fernwärme- oder Gaslieferungen für einen Großteil der Bevölkerung der Stadt durch die Stadtwerke.

Weitere wichtige Elemente für die Erstellung einer entsprechenden Energie- und Treibhausgasbilanz sind die detaillierte Erfassung des Verkehrsaufkommens innerhalb der Stadt und ein digitaler Gebäudekataster auf Grundlage eines Geographischen Informationssystems.

Das Verkehrsaufkommen innerhalb der Stadt wird straßenabschnittsweise durch Zählungen, Schätzungen und entsprechende Fortschreibungen erfaßt. Dies ermöglicht nicht nur eine Bestimmung des Gesamtverkehrsaufkommens, sondern auch deren räumliche Verteilung aufzuzeigen.

Mit Hilfe des digitalen Gebäudekatasters ist es möglich, auch den Energieverbrauchsdaten eine solche räumliche Komponente zuzuweisen. Stattet man die Kartenobjekte nun zusätzlich mit weiteren Informationen wie z.B. Gebäudeart, Bruttogeschosßfläche, Einwohnerzahl bzw. Nutzungsart aus, lassen sich die visualisierten Energieverbrauchsdaten unter den verschiedensten Aspekten analysieren.

Natürlich wäre es auch hier nicht möglich, jeden Energieverbraucher korrekt zu erfassen. Allerdings würden sich die nicht erfaßten Verbräuche auf einem vernachlässigbar geringen Niveau befinden, zumal man auch diese Erfassungslücken durch entsprechende Abschätzungen teilweise schließen kann.

In Abschnitt 3.1 wurde allerdings schon darauf hingewiesen, daß sich die Stadtwerke aus wirtschaftlichen Überlegungen heraus nicht in der Lage sehen entsprechende Daten zugänglich zu machen. Aus diesem Grund wurde die eigentliche Energie- und Treibhausgasbilanz nach der wesentlich gröberen top-down-Methodik erstellt.

Der folgende Abschnitt soll jedoch einen Eindruck davon vermitteln, welche Schritte zur Erstellung einer Energie- und Treibhausgasbilanz nach der bottom-up Methodik nötig sind.

Diese Ausführungen beziehen sich jedoch nicht auf den Sektor Verkehr. Bei diesem wurde durch die Zugrundelegung der Zahlen zum städtischen Verkehrsaufkommen schon ein Detaillierungsgrad erreicht, der nur noch wenige Verbesserungsmöglichkeiten offenläßt. Hierbei wurde quasi schon der bottom-up Ansatz verfolgt. Die in Anhang E befindlichen Karten 1 bis 3 stellen das räumlich aufgelöst Ergebnis dieses Ansatzes für den Verkehrssektor dar.

3.5.2 Datenbeschaffung und -aufbereitung

Die vorhandene Datenmenge und -qualität stellt den Ausgangspunkt der Untersuchung dar. Die reinen Energieverbrauchsmengen sind natürlicherweise bei den Stadtwerken vorhanden, auch der Ortsbezug ist in Form der entsprechenden Lieferadresse schon gewährleistet.

Eine größere Herausforderung stellt die Untergliederung der Energieverbräuche nach den verschiedenen Verbrauchssektoren dar. Hierbei gibt es zwei Möglichkeiten an die Lösung des Problems heranzugehen.

Möglichkeit eins ist die Nutzung von zusätzlichen Informationen der Stadtwerke. So verfügen oftmals gewerbliche Kunden über speziellere Vertragskonditionen und damit entsprechende Sondertarife. Auch ist es zumindest teilweise möglich, einen Energieverbraucher anhand seiner allgemeinen Kundendaten einem bestimmten Verbrauchssektor zuzuordnen.

Möglichkeit zwei ist die direkte Klassifizierung der Energieverbrauchsadresse. Man weist also die einzelnen Gebäude des digitalen Gebäudekatasters einem oder auch mehreren Verbrauchssektoren zu. In Verbindung mit dem Energieverbrauch der entsprechenden Adresse, läßt sich so eine genaue Aufteilung des Gesamtenergieverbrauches, und damit auch der Emissionen, vornehmen.

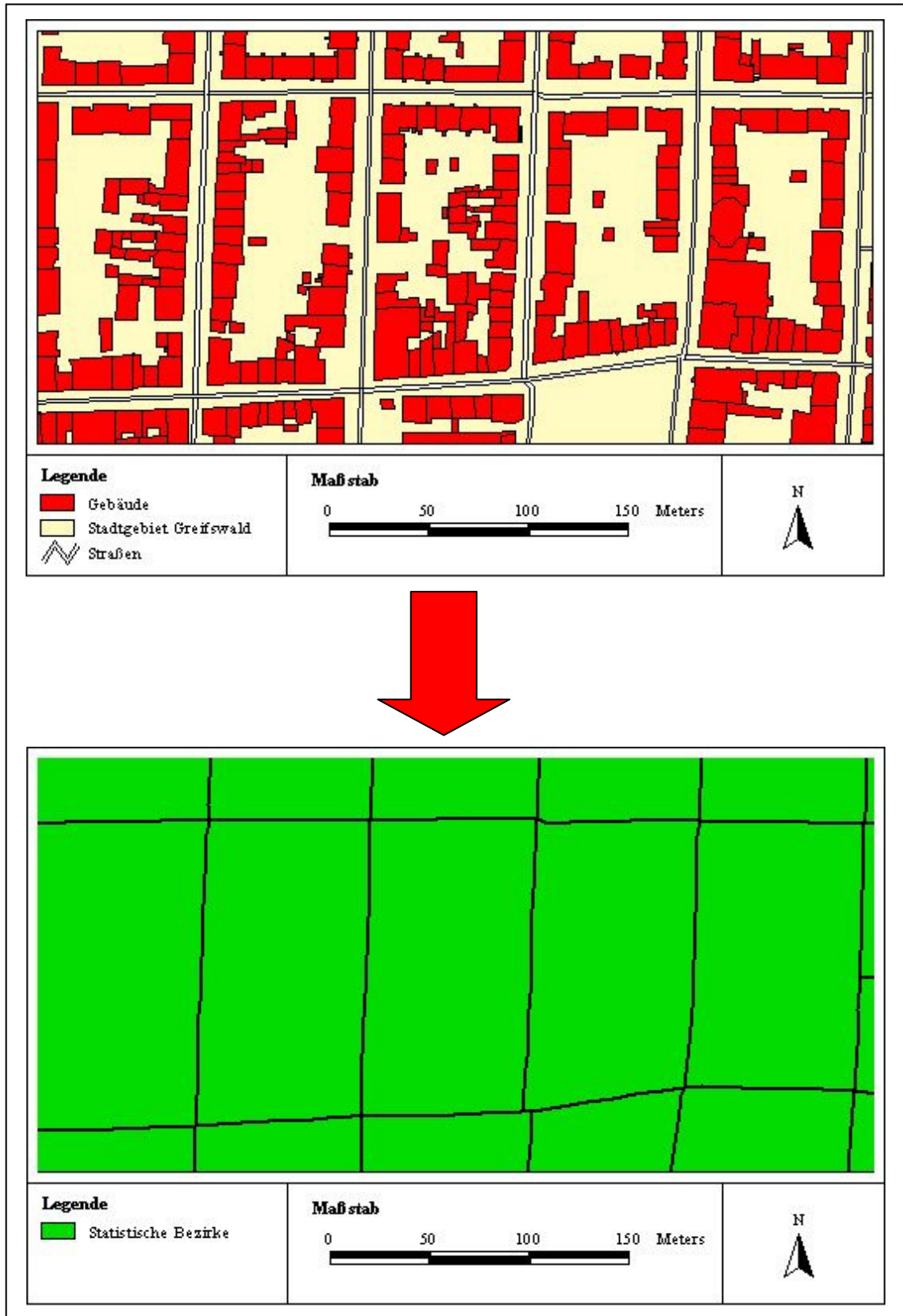
Eine solche Klassifizierung der Gebäude innerhalb der Stadt Greifswald findet derzeit im Rahmen einer Untersuchung des Geographischen Institutes der Universität Greifswald statt. Für die Zukunft wäre also eine entsprechende Datenbasis vorhanden.

Die in Anhang E befindlichen Karten 4 und 5 sind Beispiele für die kartographische Darstellung von auf diesem Wege gewonnenen Informationen. Aufgrund der fehlenden Daten besitzen diese Karten jedoch keinen Aussagegehalt, da durch den Einsatz von durchschnittlichen Verbrauchswerten für die verwendeten Bezugseinheiten Bevölkerung und Bruttogeschoßfläche keine Normierung möglich ist, die Auffälligkeiten deutlich machen könnte.

Um eventuellen Befürchtungen vorzubeugen, soll an dieser Stelle auf das Problem des Datenschutzes eingegangen werden. Wenn an dieser Stelle von Kundendaten die Rede ist, so sind damit selbstverständlich nicht personenbezogene Einzeldaten gemeint, sondern rein adreßbezogene Verbräuche. Bei Mehrfamilienhäusern werden also die Einzelverbräuche der Bewohner kumuliert, bei Einfamilienhäusern werden die Werte durch

Durchschnitte ersetzt. Selbst dieser Detaillierungsgrad sollte selbstredend nur Stellen zur Verfügung stehen, die damit arbeiten und bei denen eine entsprechende Datensicherheit gegeben ist, z.B. den Stadtwerken oder der Stadtverwaltung. Für die Veröffentlichung müßten die Angaben über Energieverbräuche und Emissionen zumindest bis auf die Ebene der statistischen Bezirke herausgezoomt werden. Die Karten in Abbildung 5 stellen diesen Prozeß anhand eines Teiles der Greifswalder Innenstadt beispielhaft dar. Berücksichtigt man darüber hinaus, daß hinter jedem der in der Abbildung dargestellten Gebäude nochmals eine Vielzahl von Einzelverbrauchern steht, sollte deutlich werden, daß ein Rückgriff auf die Daten einzelner Personen weder beabsichtigt noch möglich ist.

Abbildung 5: Transformation von Einzelgebäuden zu statistischen Bezirken



Quelle: Eigene Darstellung nach Daten der Hansestadt Greifswald

3.6 Top-down-Vorgehensweise bei der Erstellung einer kommunalen Energie- und Treibhausgasbilanz

Die top-down-Vorgehensweise bildet das Spiegelbild des zuvor beschriebenen bottom-up-Ansatzes. Hierbei werden die Emissionen „primär aus den Energieverbrauchswerten der Energieträger berechnet, die in die Stadt eingeführt werden“ (WWW.KLIMABUENDNIS.ORG a). Man ermittelt also aus den verbrauchten Mengen an Primärenergieträgern bzw. eingeführter Endenergie die Gesamtemissionen. Diese kann man nun versuchen durch verschiedene Verfeinerungen und Abschätzungen den einzelnen Verbrauchssektoren zuzuordnen.

Die vorliegende Energie- und Treibhausgasbilanz wurde nach diesem Ansatz erstellt. Die detaillierte Vorgehensweise soll an dieser Stelle ausgespart werden, um unnötige Wiederholungen zu vermeiden. Aus methodischen Gründen ist es vorteilhafter, das jeweils verwendete Verfahren bei der Vorstellung der ermittelten Ergebnisse und der zugrundeliegenden Daten zu erläutern.

3.7 Kommunale Klimabilanzen in Deutschland

In den letzten Jahren wurde in einer Vielzahl von Kommunen damit begonnen, sich Gedanken über einen möglichen Beitrag zum Klimaschutz zu machen.

Als erster Schritt und sozusagen Grundlage jeglicher Maßnahmen zur Reduzierung von Treibhausgasen, wurde vielfach begonnen eine CO₂-Bilanz zu erstellen. Diese Konzentration auf die Bilanzierung des ausgestoßenen Kohlendioxides beruht auf der besonderen Bedeutung dieses Treibhausgases. Wie bereits erwähnt, trägt es mit ca. 60 % zum anthropogenen Treibhauseffekt bei, in einem Industrieland wie Deutschland sind es sogar 87 %. Die Erstellung der CO₂-Bilanzen erfolgt hierzulande noch äußerst uneinheitlich. Dies hat verschiedene Ursachen.

Einen Hauptgrund stellt sicherlich die Neuartigkeit des Themas dar. Es gibt keine verbindlichen Vorgaben und nur wenige Quellen, an denen man sich orientieren kann. So stehen die Verwaltungen oftmals vor dem Problem, daß sie zwar gerne eine Klimabilanz erstellen wollen, ihnen das nötige Know-How jedoch fehlt. Für die nationalen Treibhausgasinventare, die von den Nationalstaaten jährlich erstellt und an das Klimasekretariat der Vereinten Nationen gemeldet werden müssen, gibt es genaue Vorschriften über die Berechnung und Bewertung von Emissionen. Auf lokaler Ebene ist dies

bisher nicht der Fall. Folgerichtig unterscheiden sich die kommunalen CO₂-Bilanzen in Umfang und Herangehensweise teilweise erheblich. Im Zeitablauf wird dieses Problem jedoch geringer werden. Um so mehr Klimabilanzen erstellt und veröffentlicht werden, um so mehr Referenzarbeiten stehen den Kommunen zur Orientierung zur Verfügung. In der Folge werden sich wahrscheinlich auch Methoden herausbilden, die sich besonders bewährt haben und die deshalb immer wieder angewendet werden. Auf diese Weise kommt es mit der Zeit sicherlich zu einer gewissen Standardisierung.

Ein eher pragmatisches Hindernis für eine einheitliche Herangehensweise bei der Erstellung von Klimabilanzen ist die von Kommune zu Kommune sehr unterschiedliche Datenlage. Um so mehr relevante Fakten zur Verfügung stehen, desto feiner läßt sich die Bilanz aufgliedern. In Zeiten äußerst knapper Gemeindekassen ist an eine Primärerhebung der benötigten Daten meist nicht zu denken.

Auch die Intention der erstellten Bilanzen ist sehr unterschiedlich und schlägt sich dementsprechend im Inhalt nieder. Die Spannbreite reicht von reinen Inventaren, mit denen die Verwaltung die Öffentlichkeit über den Stand der Dinge unterrichten will, bis zu feingliedrigen Bilanzen mit entsprechenden Handlungsempfehlungen.

An dieser Stelle soll kurz auf ein Beispiel eingegangen werden, bei dem versucht wird eine gewisse Standardisierung zu erreichen. Das Klima-Bündnis ist eine Vereinigung von europäischen Städten, die es sich zur Aufgabe gemacht hat, in einer Partnerschaft mit den indigenen Völkern Südamerikas, aktiv für den Klimaschutz und die Erhaltung des Regenwaldes einzutreten. Diese Organisation hat auf seiner Jahreskonferenz 2004 angeregt, daß alle seine Mitgliedsstädte aufgerufen werden, für das Jahr 2005 eine CO₂-Bilanz zu erstellen. Hierfür wurden gewisse Rahmenbedingungen formuliert, die jede dieser Bilanzen erfüllen sollte. (WWW.KLIMABUENDNIS.ORG a)

Die vom Klima-Bündnis empfohlene, prinzipielle Vorgehensweise muß jedoch kritisch hinterfragt werden. Sie erfüllt ohne Frage den selbstgestellten Anspruch, es jeder Kommune zu ermöglichen, sehr einfach und kostengünstig eine CO₂-Bilanz zu erstellen. Weiterhin sorgt die hohe Standardisierung und Ausblendung lokaler Besonderheiten für eine Vergleichbarkeit selbst über Landesgrenzen hinaus, die ein internationales Projekt wie das Klima-Bündnis benötigt. Allerdings kann die Aussagekraft der auf diese Weise geschaffenen Bilanzen nur als äußerst gering eingeschätzt werden. Im folgenden sollen diese Rahmenvorgaben kurz beschrieben werden.

Wie bereits erwähnt, werden die CO₂-Emissionen primär aus den Energieverbrauchswerten der Primärenergieträger berechnet, die in die Stadt eingeführt werden. Eine Betrachtung der Umwandlungsprozesse sowie eine sektorale Einteilung der Energieverbräuche und Emissionen wird nicht gefordert. Die verwendeten Emissionsfaktoren stammen wie inzwischen allgemein üblich aus dem GEMIS. Für Strom soll der nationale Emissionsfaktor verwendet werden. Anlagen zur Stromerzeugung aus regenerativen Energien werden nicht bilanziert, da die Emissionseinsparungen über das EEG in den bundesweiten Emissionsfaktor eingehen. Dies hat natürlich den Vorteil, daß Unterschiede in der natürlichen Ausstattung einer Kommune nivelliert werden. Doch gerade die Nutzung solcher natürlichen Ressourcen zu Emissionsminderungszwecken ist doch gewollt. Warum soll sich eine Gemeinde, die sich für die Installation von Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien einsetzt, nicht auch diese Einsparungen gutschreiben lassen? Die Emissionen des Verkehrssektors werden als Anteil an den nationalen Gesamtverkehrsemissionen im Verhältnis der Einwohner der Kommune zur Gesamtbevölkerung des Landes angegeben. Auch eine Unterscheidung in lokale und totale Emissionen wie sie in Abschnitt 3.1.4 beschrieben wurde erfolgt nicht, ist allerdings, wenn man den Vorgaben des Klima-Bündnisses folgt, auch weder nötig noch machbar.

Erstellt man auf dieser Basis für eine Kommune eine CO₂-Bilanz, lassen sich hieraus jedoch nahezu keine verwertbaren Informationen ableiten. So verändern sich beispielsweise die Verkehrsemissionen einfach linear mit der Bevölkerungsgröße. Hohe Brennstoffverbräuche können ohne sektorale Einteilung sowohl schlecht isolierte Wohngebäude als auch energieintensive Gewerbe oder Industrien sein. Werden lokale Umwandlungsprozesse nicht betrachtet, gehen Effizienzgewinne z.B. durch KWK-Anlagen unter. Sehr treffend wird z.B. in der Düsseldorfer Energie- und CO₂-Bilanz formuliert: „Energie- und CO₂-Bilanzen sind nicht nur zentrale Bestandteile der Nachhaltigkeitspolitik und von Klimaschutzkonzepten, sondern deren Ausgangspunkt. Erst die Kenntnis der Energiemengen und CO₂-Emissionen der verschiedenen Verbrauchssektoren [...] und aufgeschlüsselt nach Anwendungsarten [...] ermöglicht die Ableitung von Maßnahmen zur Erzielung möglichst großer Umweltentlastungseffekte.“ (WiRO 2003, S.3)

Ein Beispiel für eine nach den Rahmenvorgaben des Klima-Bündnisses erstellte CO₂-Bilanz ist die der Stadt Norderstedt. (www.klimabuendnis.org b) Allerdings wurde hier versucht, zumindest den Verkehrssektor genauer zu erfassen, indem die örtlichen Zulassungszahlen und die durchschnittlichen bundesdeutschen Fahrleistungen zugrun-

degelegt wurden. Über das Standardverfahren hinausgehend wurden auch die CO₂-Emissionen bilanziert, die sich aus dem Verbrauch von Konsumgütern durch die Norderstedter Bevölkerung ergeben. Diese Bilanzierung erfolgte wiederum mit höher aggregierten Durchschnittswerten.

Einen sehr interessanten Ansatz stellt die vom Öko-Institut für die Stadt Darmstadt erstellte Klimabilanz dar. (ÖKO-INSTITUT 2000) Für die einzelnen Wirtschaftssektoren werden „... in verschiedenen Näherungen, die jeweils spezieller auf die lokalen Verhältnisse eingehen, dafür jedoch auch einen höheren Aufwand bei der Datenbeschaffung erfordern ...“ Abschätzungen getroffen. (ÖKO-INSTITUT 2000, S.2) Als Beispiel mag der Verkehrssektor angeführt werden. In einer nullten Näherung werden wie in Norderstedt die Emissionsdaten des Bundes bzw. des Landes ins Verhältnis zur jeweiligen Bevölkerung gesetzt und dieser einwohnerspezifische Wert mit der Einwohnerzahl von Darmstadt multipliziert. In der darauffolgenden ersten Näherung versucht man nun einen Quervergleich mit anderen Städten, die von Größe, Lage und Wirtschaftsstruktur ähnlich sind und für die relevante Daten bekannt sind. So ist es möglich, Abschätzungen zu treffen, die wesentlich genauer sind als die hoch aggregierten Bundesdurchschnitte. Eine noch stärkere Verfeinerung stellt nun die Eigenerhebung von Daten bzw. die Recherche nach evtl. schon vorhandenen, darmstadtspezifischen Daten dar. In dieser als zweite Näherung bezeichneten Bilanzierungsstufe werden Verkehrszählungsergebnisse, Zulassungsdaten und Befragungen herangezogen. Ein solches, dreistufiges Vorgehen wurde nicht in allen Sektoren praktiziert, trotzdem ist der Detaillierungsgrad der Bilanz recht hoch. Im Gegensatz zu den meisten anderen Bilanzen werden in der Darmstädter Klimabilanz die CO₂-Äquivalente ausgewiesen und nicht nur das ausgestoßene Kohlendioxid. Ebenfalls erwähnenswert ist die offene Fehlerabschätzung und die Ausweisung der Emissionen mit und ohne Vorketten.

Recht umfangreiche Klimabilanzen sind auch für die Städte Düsseldorf (WiRO 2003) und Münster (STADT MÜNSTER 2003) vorhanden. Eine Schwäche beider Bilanzen stellt jedoch die starke Konzentration auf die Vermittlung von geleisteten oder möglichen CO₂-Einsparungsmaßnahmen dar. Solche Ansätze sind ohne Frage sehr wichtig, wichtiger noch als die CO₂-Bilanz selbst. Diese dient ja nur als Ausgangspunkt und Werkzeug für eine Ableitung entsprechender Handlungsgebiete bzw. dem Aufspüren von Schwachpunkten und Potentialen. Allerdings führt eine Vermischung von Klimaschutzkonzeption und bilanzieller Bestandsaufnahme zu einer Unschärfe im Profil der CO₂-

Bilanz. Diese ist getreu den buchhalterischen Grundsätzen folgend ein neutrales, möglichst präzises Werkzeug.

Die Maßnahmen und Handlungsempfehlungen einer Klimaschutzkonzeption können in ihrer Außendarstellung an Gewicht verlieren, wenn sie periodisch wiederkehrend, sozusagen als Anhang der Bilanz, nur ‚mitveröffentlicht‘ werden. Dies ist ein ganz eigener Problemkreis, der entsprechend gewürdigt werden sollte. Hier eine eindeutige Trennung zu vollziehen ist jedoch zugegebenermaßen schwierig. Natürlich gehören in eine Klimabilanz die Ergebnisse und erreichten Veränderungen im Vergleich zum vorherigen Betrachtungszeitraum.

Diese wenigen Beispiele zeigen wie heterogen Herangehensweise und Umfang von Klimabilanzen sind. Zusammenfassend sollen nun noch einmal die wichtigsten betrachteten Kriterien und Unterschiede dargestellt werden.

- Nahezu alle Klimabilanzen konzentrieren sich auf die Bilanzierung von Kohlendioxid, manchmal werden auch CO₂-Äquivalente angegeben. Eine Einzelaufschlüsselung der Kyoto-Gase erfolgt nicht.
- Als Emissionsfaktoren wurden in nahezu allen betrachteten Arbeiten Werte aus dem GEMIS verwendet. Eine Aufschlüsselung in lokale und totale Emissionen erfolgt nur in Einzelfällen.
- Fast alle Bilanzen versuchen den Energieverbrauch bzw. die Emissionen nach Verbrauchssektoren und Anwendungsarten aufzuschlüsseln. Der Detaillierungsgrad dieser Aufschlüsselung ist allerdings sehr unterschiedlich.
- Eine räumliche Auflösung der erzeugten Emissionen ist bisher nirgends vorgesehen.

4 Der Sektor der privaten Haushalte

Die für die Greifswalder Haushalte bilanzierten CO₂-Emissionen stammen aus der direkten Nutzung von Energieträgern zum Heizen und der Warmwasserbereitstellung sowie der indirekten Energieträgernutzung durch Bereitstellung von Fernwärme und Strom. Der durch die privaten Haushalte ausgelöste Kraftfahrzeugverkehr wird an dieser Stelle nicht bilanziert. Dessen Emissionen finden sich im Sektor Verkehr wieder.

4.1 Methodik und Datenlage

Zur Bilanzierung der Emissionen der privaten Haushalte müssen deren Verbrauchsanteile an den einzelnen Energieträgern bzw. Energienutzungen ermittelt werden. Da die Stadtwerke aus wirtschaftlichen Gründen nicht bereit waren, den Anteil der an Privathaushalte gelieferten Energiemengen offenzulegen, muß hier auf Abschätzungen zurückgegriffen werden. Die hierfür verwendeten Parameter stammen aus der Studie ‚Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen‘ (SCHLOMANN 2004), die im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums erstellt wurde.

Für die Bestimmung des Gesamtstrombedarfes der privaten Haushalte wird die Anzahl der Greifswalder Haushalte mit dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Haushaltes der neuen Bundesländer multipliziert. Eine Fehlerquelle liegt hierbei in der großen Anzahl der Ein-Personen-Haushalte innerhalb Greifswalds, eine Folge des großen Studentenanteils an der Gesamtbevölkerung.

Der Berechnung des Wärmebedarfes der privaten Haushalte liegt folgende Überlegung zugrunde. Die Stadtwerke Greifswald versorgen nach eigenen Angaben 14.312 Greifswalder Bürger mit Erdgas und 41.327 Einwohner mit Fernwärme. Unter der Annahme, daß eine Doppelversorgung mit beiden Energieformen unzweckmäßig wäre, wird dies ausgeschlossen. Bei einer Gesamtbevölkerung von 58.569¹⁰ Personen besteht also eine Versorgungslücke von 2.930 Personen. Dies entspricht bei einer durchschnittlichen Greifswalder Haushaltsgröße von 1,58 Personen etwa 1.854 Haushalten. Welche Arten von Wärmeerzeugungssystemen von diesen Haushalten verwendet werden ist nicht be-

¹⁰ inklusive mit Nebenwohnsitz gemeldeten Personen

kannt. Hierfür wird eine Abschätzung gemäß der durchschnittlichen Verteilung der Wärmeerzeugungssysteme der neuen Bundesländer im Jahr 2002 vorgenommen.

Tabelle 11 zeigt die auf der Basis der Durchschnittswerte der neuen Bundesländer ermittelten wärmeerzeugenden Systeme in Greifswald. Eine Unterscheidung in Zentralheizungssysteme und Einzel- bzw. Etagenanlagen erfolgt aufgrund der ohnehin schwachen Datenlage nicht. In der Regel kann jedoch von Zentralheizungsanlagen ausgegangen werden, dementsprechend wurden auch die Emissionsfaktoren gewählt. Dies führt allerdings regelmäßig zu einer geringfügigen Unterschätzung der Emissionen, da Einzelanlagen etwas höhere Emissionswerte aufweisen.

Tabelle 11: Verteilung von Haushalten und Energieverbräuchen auf die verschiedenen Wärmeerzeuger

	Anzahl Haushalte	Primärenergieverbrauch [MWh/HH*a]	Wirkungsgrad des Wärmeerzeugers	Endenergieverbrauch [MWh/HH*a]	Gesamtendenergieverbrauch [GWh/a]
Fernwärme	26.156	entfällt	Entfällt	5,70	149,09
Gasheizung	9.056	15,00	0,85	12,75	115,46
Ölheizung	908	23,60	0,85	20,06	18,21
Kohleheizung	286	10,80	0,65	7,02	2,01
Elektroheizung	239	entfällt	Entfällt	7,90	1,89
Holzheizung	269	11,30	0,74	8,40	2,26
Flüssiggasheizung	152	14,20	0,85	12,07	1,83

Quelle: STADT GREIFSWALD; SCHLOMANN 2004

Einen Unsicherheitsfaktor bei der Berechnung des Wärmebedarfes stellen kleinere dezentrale Heißwassererzeuger wie Boiler und Durchlauferhitzer dar, die mit Elektrizität oder fossilen Brennstoffen betrieben werden. Der Endenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser muß also geringfügig höher angenommen werden. Für die Gesamtbilanz des Sektors Haushalte ist der Fehler jedoch vernachlässigbar, da fossile Brennstoffe zur dezentralen Heißwasserversorgung kaum noch eingesetzt werden und die verbrauchte Elektrizität sich in den Strombedarfen der Haushalte niederschlägt.

Es ist deutlich zu erkennen, daß die Fernwärme in Greifswald eine dominante Rolle annimmt. An zweiter Stelle liegen erdgasbetriebene Anlagen. Inwieweit die Verteilung der anderen Wärmeversorgungsanlagen die tatsächliche Anlagenstruktur widerspiegelt

ist nicht bekannt. Der Fehler kann hier recht hoch liegen. Mit Hilfe der Daten der Bezirksschornsteinfeger könnte in der Zukunft jedoch eine Verifizierung erfolgen. Derzeit ist dies aus datenschutzrechtlichen Gründen jedoch nicht möglich.

4.2 Ergebnisse

Die nachfolgende Tabelle stellt die Berechnungen für die Ermittlung der im Sektor der privaten Haushalte für die Erzeugung von Wärme und Strom verbrauchten Endenergiemengen und die daraus resultierenden CO₂-Emissionen dar. In Anhang D sind die entsprechenden CO₂-Äquivalente dargestellt.

Die mit Elektrizität betriebenen Anlagen sind hier mit ihren Emissionen ebenfalls aufgeführt worden, schlagen sich in den angegebenen Gesamtenergieverbräuchen und Gesamtemissionen jedoch nicht nieder, da diese bereits beim Strombedarf der Haushalte verbucht wurden.

Tabelle 12: Endenergieverbräuche und CO₂-Emissionen der privaten Haushalte

	Endenergie [GWh]	EF CO ₂ für Endener- gie nach GEMIS – lokal [t/GWh]	Emissionen CO ₂ – lokal [t/a]	EF CO ₂ für Endener- gie nach GEMIS - total [t/GWh]	Emissionen CO ₂ - total [t/a]
Strom	87,1	186,9	16.288,1	498,1	43.399,9
davon Elektroheizung	1,9	186,9	353,3	498,1	941,4
Raumwärme und Warmwasser (ohne E-Heizung)	288,9	261,7	75.604,5	304,8	88.077,2
Fernwärme	149,1	282,2	42.067,1	333,0	49.642,4
Gasheizung	115,5	233,6	26.970,1	266,9	30.821,0
Flüssiggasheizung	18,2	270,5	4.926,8	315,3	5.743,8
Ölheizung	2,0	316,1	634,6	362,1	727,0
Kohleheizung	1,9	522,6	986,7	557,0	1.051,7
Holzheizung	2,6	8,5	19,1	40,4	91,2
Elektroheizung¹¹	1,8	186,9	343,0	498,1	913,8

Quelle: Eigene Berechnungen; GEMIS

¹¹ fließt nicht in die Berechnungen ein, da schon beim Strombedarf erfaßt

5 Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

Die hier für den Sektor GHD bilanzierten Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen ergeben sich aus allen wirtschaftlichen Aktivitäten und öffentlichen Dienstleistungen innerhalb der Hansestadt Greifswald, die nicht industrieller Natur sind. Eine Ausnahme bildet der durch den Sektor GHD ausgelöste Kraftfahrzeugverkehr. Dessen Emissionen finden sich im Sektor Verkehr wieder.

5.1 Methodik und Datenlage

Zur Bestimmung der Endenergieverbräuche des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen wird auf Durchschnittsverbrauchswerte der verschiedenen Branchen dieses Sektors zurückgegriffen. Diese Werte stammen ebenfalls aus der Studie ‚Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen‘

Als Bezugseinheit dienten in der Regel die Beschäftigten. Um die Energieverbräuche und Emissionen dem Bilanzraum entsprechend auszuweisen, wurden die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten am Arbeitsort und nicht am Wohnort als Basis gewählt. Für die Universität stellt die Studentenzahl die verwendete Bezugseinheit dar, bei den Krankenhäusern sind es die Planbetten und beim Freizeitbad die Wasserfläche. Die Mitarbeiter dieser Einrichtungen wurden aus der Statistik zur Berechnung der Energieverbräuche bei den entsprechenden Branchen entfernt.

Für die Einrichtungen und Gebäude der öffentlichen Verwaltung der Stadt Greifswald wurden die genauen Verbrauchswerte zur Verfügung gestellt. Die Mitarbeiter der Stadt wurden dementsprechend von den Beschäftigten im Bereich öffentliche Verwaltung abgezogen.

Durch die Verwendung der Durchschnittsverbrauchswerte aus der genannten Studie, läßt sich für den Raumwärme- und Prozeßwärmebereich nur der Gesamtbrennstoffbedarf bestimmen. Hieraus ergeben sich zwei Probleme. Zum einen ist es nicht möglich, den Prozeßwärmeanteil zu bestimmen. Dieses Problem läßt sich mit den vorhandenen Daten nicht klären, macht jedoch für die Bestimmung der Gesamtemissionen des Sektors GHD keinen Unterschied. Zum anderen ist nicht bekannt, auf welche Art die Wärme erzeugt wird und damit auch nicht, welche Emissionsfaktoren verwendet werden sollten.

Für diese wird eine Abschätzung vorgenommen, der folgende Annahmen zugrunde liegen. Die insgesamt in Greifswald durch Fernwärme und erdgasbetriebene Wärmesysteme zur Verfügung gestellte Endenergiemenge wird um den Anteil der privaten Haushalte reduziert. Das Verhältnis von Fernwärme zu erdgasbetriebenen Wärmesystemen der Restmenge, wird auch als Anteilsverhältnis der durch den Sektor GHD verbrauchten Endenergiemenge zur Wärmeerzeugung aufgefaßt. Allerdings kann davon ausgegangen werden, daß ein gewisser Anteil der Wärmeerzeugung des Sektors GHD nicht durch Fernwärme oder erdgasbetriebene Wärmeerzeugungssysteme gedeckt wird. Besonders im Prozeßwärmebereich spielen Erdöl und Kraftstoffe eine gewisse Rolle. Um dieses Manko etwas auszugleichen, wird den so zu ermittelnden Emissionsfaktoren ein zehnprozentiger Anteil erdölbetriebener Wärmeerzeugungssysteme beigelegt.

Im folgenden soll nun kurz auf die wichtigsten Fehlerquellen eingegangen werden.

Bei der Verwendung der Beschäftigten als Bezugseinheit ergibt sich ein Fehler, da die amtliche Statistik nur die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten ausweist. Selbstständige und Beamte werden so nicht erfaßt. Die Verbrauchsindikatoren gehen hingegen von der ‚realen‘ Beschäftigtenzahl aus.

Da die Branchenklassifizierung der amtlichen Statistik nicht deckungsgleich zur Branchendifferenzierung der Energieverbrauchsstudie ist, enthält die Zuordnung der Bezugseinheiten zu den Branchen einen gewissen subjektiven Faktor.

Besonders im Bereich des Raumwärmeverbrauches der Universität muß von einem erheblichen Fehler ausgegangen werden. Die Universität verfügt über eine Vielzahl von teilweise sehr alten Gebäuden, deren Bausubstanz und Wärmedämmung als beklagenswert eingestuft werden muß. Der Energieverbrauch wird wahrscheinlich weit über dem durch die Durchschnittswerte ermittelten liegen. Leider war die Universitätsverwaltung nicht bereit, ihre Verbrauchsdaten offenzulegen. Dies ist um so bedauerlicher, da die Universität der größte Einzelverbraucher des Bilanzraumes ist und die Genauigkeit des Gesamtergebnisses so erheblich erhöht werden könnte.

Des weiteren muß natürlich auch die Verwendung von Durchschnittswerten selbst kritisch hinterfragt werden. Inwieweit diese Durchschnitte der tatsächlichen Greifswalder Situation nahekommen, läßt sich kaum verifizieren. Ebenso verhält es sich mit den aus der Notwendigkeit heraus getroffenen Annahmen über die Differenzierung der verschiedenen Energieträger im Wärmebereich.

Die angesprochenen Datenlücken könnten jedoch in der Zukunft zumindest teilweise geschlossen werden. Auf Grundlage des Bundesimmissionsschutzgesetzes besteht eine Meldepflicht für die Lagerung von Heizölen und Kraftstoffen, entsprechende Daten liegen der Abteilung Umwelt der Hansestadt Greifswald vor. Aus organisatorischen Gründen konnten diese Daten jedoch innerhalb dieser Energie- und Treibhausgasbilanz nicht verwendet werden. Eine andere Quelle für entsprechende Daten zur Verbesserung der Ergebnisqualität stellen die Bezirksschornsteinfeger dar. Diese verfügen über Informationen über Art und Anzahl von Feuerstätten. Hier stehen jedoch noch datenschutzrechtliche Bedenken entgegen.

5.2 Ergebnisse

Da für die städtischen Gebäude und Anlagen die genauen Energieverbrauchsdaten bekannt sind, werden sie innerhalb dieses Abschnittes gesondert ausgewiesen.

5.2.1 Energieverbrauch und Emissionen städtischer Gebäude und Anlagen

Im hier ausgewiesenen Energieverbrauch der städtischen Gebäude und Anlagen ist der Verbrauch an Elektrizität sowie Raumwärme und Warmwasser aller durch die Gebietskörperschaft Greifswald verwalteten Gebäude bzw. Einrichtungen erfaßt. Hierzu gehören z.B. Schulen, Kindertagesstätten und Verwaltungsgebäude. Weiterhin enthalten ist der Energiebedarf für den Betrieb von Straßenbeleuchtung und Ampelanlagen.

Die folgende Tabelle stellt die Endenergieverbräuche und die daraus resultierenden CO₂-Emissionen dar. In Anhang D sind außerdem die entsprechenden Ergebnisse für die CO₂-Äquivalente sowie die Umrechnungen von Primärenergieträgern in Endenergie aufgeführt.

Tabelle 13: Endenergieverbräuche und CO₂-Emissionen städtischer Einrichtungen

	Endenergie [GWh]	EF CO ₂ für Endenergie nach GEMIS – lokal [t/GWh]	Emissionen CO ₂ – lokal [t/a]	EF CO ₂ für Endenergie nach GEMIS - total [t/GWh]	Emissionen CO ₂ - total [t/a]
Strom	5,8	186,9	1.086,3	498,1	2.894,5
davon Elektroheizung	0,2	186,9	40,9	498,1	108,9
davon Ampeln und Straßenbeleuchtung	3,0	186,9	559,8	498,1	1.491,7

Raumwärme und Warmwasser (ohne E-Heizung)	23,2	271,7	6.298,5	318,7	7.387,1
Fernwärme	18,0	282,2	5.072,2	333,0	5.985,6
Gasheizung	5,1	233,6	1.184,5	266,9	1.353,6
Flüssiggasheizung	0	270,5	0	315,3	0
Ölheizung	0,1	316,1	41,8	362,1	47,9
Kohleheizung	0	522,6	0	557,0	0
Holzheizung	0	8,5	0	40,4	0
Elektroheizung	0,2	186,9	34,7	498,1	92,6

Quelle: Eigene Berechnungen; GEMIS

5.2.2 Energieverbrauch und Emissionen des Sektors GHD (ohne städtische Einrichtungen)

In der nachfolgenden Tabelle werden die errechneten Energiemengen, Emissionsfaktoren und CO₂-Emissionen dargestellt. In Anhang D finden sich die entsprechenden Angaben für die CO₂-Äquivalente. Aufgrund der großen Datenmenge wurden auch die Tabellen, die Auskunft über die Zuordnung der Bezugseinheiten zu den einzelnen Branchen und die entsprechenden Verbrauchsindikatoren geben, in den Anhang D gesetzt.

Tabelle 14: Endenergieverbräuche und CO₂-Emissionen des Sektors GHD (ohne städtische Einrichtungen)

	Endenergie [GWh]	EF CO ₂ für Endenergie nach GEMIS – lokal [t/GWh]	Emissionen CO ₂ – lokal [t/a]	EF CO ₂ für Endenergie nach GEMIS - total [t/GWh]	Emissionen CO ₂ - total [t/a]
Strom	50,1	186,9	9.359,4	498,1	24.938,3
Raumwärme und Warmwasser	116,0	268,8	31.172,0	269,4	31.238,8
Prozeßwärme					

Quelle: Eigene Berechnungen; GEMIS

6 Sektor Industrie

6.1 Methodik und Datenlage

Die Berechnung der Energieverbräuche sowie der Emissionen des industriellen Sektors gestalten sich besonders schwierig. Der Grund ist die große Heterogenität der Energieintensität der verschiedenen Branchen. Bei der Untersuchung eines so kleinen Raumes, wie ihn eine einzelne Stadt darstellt, wäre es in höchstem Maße fahrlässig mit bundesdeutschen Durchschnittswerten zu arbeiten. Da jedoch der integrale Energieverbrauch der Stadt näherungsweise bekannt ist, kann der Energiebedarf des industriellen Sektors als Restgröße bestimmt werden.

Durch Abzug der Endenergieverbräuche für Strom bzw. Wärme der privaten Haushalte und des Sektors GHD vom Gesamtenergieverbrauch der Hansestadt Greifswald, lassen sich entsprechende Strom- und Wärmeverbrauchswerte für den industriellen Sektor bestimmen.

Die so ermittelten Werte unterliegen natürlich einer ganzen Reihe von Unsicherheiten. Zum einen können sie selbstverständlich nur so gut sein, wie es die Abschätzungen für die beiden anderen Sektoren sind. Fehler, die dort gemacht wurden, schlagen sich in diesem Sektor vollständig nieder. Ein anderes Problem, welches schon beim Sektor GHD angesprochen wurde, stellt der Wärmebereich, speziell die Prozeßwärme dar. Diese wird oftmals durch die Verwendung von Heizöl oder Kraftstoffen erzeugt. Daten darüber, inwieweit dieses in Greifswald der Fall ist, liegen derzeit nicht vor. Um einen gewissen Ausgleich für diese unbekannt Menge Energie und Emissionen zu schaffen, wird der durch die Restgrößenbetrachtung ermittelte Energieverbrauchswert für den Wärmebereich um zehn Prozent erhöht.

Zur Berechnung der Emissionen der Wärme werden dieselben Emissionsfaktoren herangezogen, wie für den Sektor GHD.

An dieser Stelle soll auf Abschnitt 5.1 verwiesen werden, in dem bereits darauf eingegangen wurde, inwieweit sich die angesprochenen Datenlücken zumindest teilweise füllen lassen.

6.2 Ergebnisse

Die nachfolgenden Tabellen stellen die Berechnungen für die Ermittlung der im industriellen Sektor für die Erzeugung von Wärme und Strom verbrauchten Endenergiemengen und die daraus resultierenden CO₂-Emissionen dar. In Anhang D sind die entsprechenden CO₂-Äquivalente dargestellt.

Tabelle 15: Ermittlung des Endenergieverbrauches des Sektors Industrie

	Strom [GWh/a]	Raumwärme und Warmwasser sowie Prozeßwärme [GWh/a]
Gesamtendenergieverbrauch	163,00	448,61
Endenergieverbrauch Haushalte	-87,13	-264,55
Endenergieverbrauch GHD	-50,07	-115,95
Endenergieverbrauch Stadt	-5,81	-23,37
+ 10 % für andere Energieträger (vor allem Erdöl)	entfällt	4,47
Endenergieverbrauch Industrie	19,99	49,22

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 16: Endenergieverbräuche und CO₂-Emissionen des Sektors Industrie

	Endenergie [GWh]	EF CO ₂ für Endenergie nach GEMIS – lokal [t/GWh]	Emissionen CO ₂ – lokal [t/a]	EF CO ₂ für Endenergie nach GEMIS - total [t/GWh]	Emissionen CO ₂ - total [t/a]
Strom	19,99	186,9	3.737,4	498,1	9.958,5
Raumwärme und Warmwasser	49,22	268,8	13.232,0	313,2	15.413,6
Prozeßwärme					

Quelle: Eigene Berechnungen; GEMIS

7 Verkehrssektor

7.1 Methodik und Datenlage

Die Berechnung der durch den Straßenverkehr erzeugten CO₂-Emissionen erfolgt auf der Grundlage von Daten des Umweltamtes der Stadt Greifswald.

Das Straßennetz der Stadt ist in 1.587 Abschnitte unterteilt worden. Für die einzelnen Teilstrecken sind folgende Daten bekannt:

Die durchschnittliche Anzahl der Fahrzeuge, die diesen Abschnitt innerhalb eines Tages nutzen, sowie die Fahrzeugmenge, die innerhalb einer Tagstunde und innerhalb einer Nachtstunde die Straße im Durchschnitt befährt. Der Tag wird hierbei mit sechzehn Stunden definiert, eine Nacht hat demzufolge acht Stunden.

Weiterhin bekannt ist der prozentuale Anteil der LKW/Busse am gesamten Verkehrsaufkommen, gegliedert nach Tag- und Nachtstunden, die Länge der einzelnen Straßenabschnitte, direkt ermittelt aus der digitalen Kartengrundlage, sowie die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten und die im Durchschnitt tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten.

Der Datensatz ist allerdings nicht ganz vollständig, so daß an einigen Stellen mit Approximationen gearbeitet werden mußte:

Bei 15 Datensätzen fehlen die LKW/Bus-Anteile am Gesamtfahrzeugaufkommen. Sie wurden für die Berechnungen durch die Tag- und Nacht-Durchschnittswerte der bekannten Straßenabschnitte ersetzt.

Für 98 Datensätze stehen keine Verkehrsmengendaten zur Verfügung. Diese Datensätze repräsentieren 5,64 % des Gesamtwegenetzes. Um diese Abschnitte zumindest näherungsweise zu erfassen, wurde der errechnete CO₂-Ausstoß der übrigen Abschnitte um diesen Anteil des nicht erfaßten Wegenetzes erhöht.

Bei weiteren 471 Datensätzen ist keine Aufgliederung nach Tag- und Nachtverkehr vorhanden. Für diese Straßenabschnitte wurden die Werte näherungsweise aus dem Tagesdurchschnittswert errechnet. Die entsprechenden Formeln finden sich in Anhang C.

Für die Ermittlung der Emissionsfaktoren für den Verkehrssektor wurde die Annahme getroffen, daß die Greifswalder Fahrzeugstruktur dem bundesdeutschen Durchschnitt

entspricht. Eine Anpassung an die tatsächlichen Fahrzeugstrukturdaten ist natürlich bei entsprechender Datenverfügbarkeit möglich.

Für jeden Streckenabschnitt wurde dessen Länge mit der Anzahl der Fahrzeuge, getrennt nach PKW und LKW/Bus, multipliziert. Die so erhaltenen PKW- bzw. LKW/Bus-Kilometer wurden mit dem entsprechenden CO₂-Emissionsfaktor in g/km multipliziert und auf das Jahr hochgerechnet. Durch Aufsummierung der Einzelabschnitte erhält man den Gesamt-CO₂-Ausstoß des in Greifswald anfallenden Straßenverkehrs. Dieser muß nun noch um den Anteil der aus Datenmangel bei den bisherigen Berechnungen nicht berücksichtigten Teilabschnitte erhöht werden, d.h. eine Steigerung um 5.98 %.

Die durch die Busse des ÖPNV der Stadt Greifswald zurückgelegten Fahrzeugkilometer wurden mit den entsprechenden Emissionsfaktoren in Emissionen umgerechnet und gesondert aufgeführt.

7.2 Ergebnisse

Die Emissionen des Verkehrssektors werden wie oben schon angedeutet nun nicht auf der Basis der verbrauchten Energiemengen berechnet, was durchaus möglich wäre, sondern aus Gründen der Anschaulichkeit geben die entsprechenden Emissionsfaktoren die Emissionen je Fahrzeugkilometer an. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse abgebildet.

Tabelle 17: CO₂-Emissionen des Sektors Verkehr

	Fahrzeugkilometer [km]	EF CO ₂ für Endenergie nach GEMIS - lokal [kg/km]	Emissionen CO ₂ – lokal [t/a]	EF CO ₂ für Endenergie nach GEMIS - total [kg/km]	Emissionen CO ₂ - total [t/a]
PKW	263.230.548	0,2077	57.750,5	0,3028	84.196,8
LKW/Busse	20.434.727	1,3027	28.121,4	1,4835	32.025,1
davon ÖPNV	1.100.000	1,1727	1.290,0	1,3416	1.475,7
Summe	-	-	85.871,9	-	116.222,0

Quelle: Eigene Berechnungen; Stadt Greifswald

Aufgrund der guten Datenlage, d.h. der Verfügbarkeit der räumlichen Verteilung des Verkehrsaufkommens, läßt sich für die Emissionsverteilung des Verkehrssektors eine

kartographische Darstellung gemäß der vorgestellten bottom-up-Methodik vornehmen. In Anhang E sind entsprechende Karten der lokalen CO₂-Emissionen für den gesamten Verkehrssektor und aufgliedert nach LKW/Bussen- und PKW-Verkehr aufgeführt.

8 Gesamtemissionen der Hansestadt Greifswald

Im folgenden werden die Gesamtergebnisse der Energie- und Treibhausgasbilanzierung der Hansestadt Greifswald präsentiert.

Die lokal in Greifswald auftretenden energiebedingten CO₂-Emissionen beliefen sich im Jahr 2003 auf ca. 242.650 t. Insgesamt sind für den Energieverbrauch der Stadt Greifswald etwa 341.000 t CO₂ angefallen. In der nachstehenden Tabelle 18 sind darüber hinaus die Ergebnisse zur Einwohnerzahl und der Fläche der Stadt in Beziehung gesetzt.

Tabelle 18: Gesamt-CO₂-Emissionen der Hansestadt Greifswald

	lokal	total
Gesamte jährliche CO₂-Produktion in Greifswald [t/a]	242.650,3	341.005,5
CO₂-Produktion in Greifswald je Einwohner [t/(Ew*a)]	4,1	5,8
CO₂-Produktion in Greifswald je km² [t/(km ² *a)]	4.821,9	6.776,3

Quelle: Eigene Berechnungen

In Tabelle 19 sind werden die Einzelergebnisse der Sektoren zusammengefaßt und deren prozentuale Anteile an den Gesamtemissionen ermittelt. Auffällig ist besonders der geringe Anteil der Emissionen des Sektors Industrie. Wie bereits in Abschnitt 2.1 dargelegt, ist dies eine Folge der nur geringen Bedeutung des verarbeitenden Gewerbes in Greifswald. Die beiden größten Einzelposten bilden der Sektor der privaten Haushalte und der Verkehrssektor.

Im Vergleich zu den Klimabilanzen anderer Städte sind die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs in Greifswald deutlich höher. Dies ist eine Folge der angewandten Methodik. In der Regel werden die Emissionen nur für die im Untersuchungsgebiet zugelassenen PKW und unter Verwendung eines durchschnittlichen Fahrleistungsparameters ermittelt. Pendler, Touristen, Einkaufs-, Liefer- und Durchgangsverkehr werden so nicht erfaßt. Für Greifswald wurden jedoch durch die Nutzung von flächendeckenden Verkehrszählungsdaten auch diese Gruppen und Verkehrsarten erfaßt.

Die Betrachtung der Emissionen nach Endenergieformen zeigt, daß für die Wärmezeugung ca. die doppelte Menge an Emissionen gegenüber der Stromerzeugung anfällt. Dieses Verhältnis ist bei allen drei Sektoren in etwa gleich.

Tabelle 19: CO₂-Emissionen der Hansestadt Greifswald nach Sektoren

	lokal in [t/a]	lokal in [%] des Gesamt CO ₂ - ausstoßes	total in [t/a]	total in [%] des Gesamt CO ₂ - ausstoßes
Haushalte	91.892,7	37,9	131.477,1	38,6
Strom	16.288,1	6,7	43.399,9	12,7
Raumwärme und Warmwasser	75.604,5	31,2	88.077,2	25,8
Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	47.916,2	19,7	66.458,7	19,5
Strom	10.445,7	4,3	27.832,8	8,2
Raumwärme und Warmwasser	37.470,5	15,4	38.625,9	11,3
Prozeßwärme				
Industrie	16.969,4	7,0	25.372,0	7,4
Strom	3.737,4	1,5	9.958,4	2,9
Raumwärme und Warmwasser	13.232,0	5,5	15.413,6	4,5
Prozeßwärme				
Verkehr	85.872,0	35,4	117.697,7	34,5
PKW	57.750,6	23,8	84.196,9	24,7
LKW/Busse	28.121,5	11,6	32.025,1	9,4
davon ÖPNV	1.290,0	0,5	1.475,7	0,4

Quelle: Eigene Berechnungen

In Tabelle 20 wurden ein Vergleich zwischen den totalen Gesamtemissionen der Hansestadt Greifswald und den bundesdeutschen Werten vorgenommen. Als Bezugseinheiten wurden die Einwohner, die Haushalte und die Bruttowertschöpfung gewählt.

Tabelle 20: Vergleich der Greifswalder CO₂-Emissionen mit dem deutschen Durchschnitt

Totaler CO₂-Ausstoß in Tonnen je ...	Greifswald	Deutschland
Einwohner	5,8	10,5
Haushalt	9,2	22,7
1000 € Bruttowertschöpfung	0,36	0,46

Quelle: Eigene Berechnungen, BMWA(2003)

Es ist deutlich zu erkennen, daß die Emissionen der Hansestadt Greifswald deutlich unter dem deutschen Durchschnitt liegen. Hauptsächlich ist dies eine Folge der geringen Stärke des industriellen Sektors und der damit ausbleibenden Emissionen innerhalb des Bilanzraumes.

Eine Vergleichsrechnung mit der Bruttowertschöpfung als Indikator zeigt jedoch, daß innerhalb Greifswalds die Schaffung einer Einheit Bruttowertschöpfung mit deutlich geringeren Emissionen verbunden ist als im bundesdeutschen Durchschnitt. Dies allein ist noch keine hinreichende Analyse, bietet jedoch zumindest einen Anhaltspunkt dafür, daß die Energieeffizienz, in Hinblick auf die verursachten Emissionen, in Greifswald über dem Durchschnitt liegt. Erklären ließe sich diese höhere Energieeffizienz durch den hohen Anteil von KWK-Strom und -Wärme. Weiterhin positiv wirkt sich der hohe Anteil von Erdgas für die Strom und Wärmeproduktion aus.

9 Fazit und Ausblick

Klimaschutz ist eines der wichtigsten Themen unserer Zeit. Schließlich geht es ,überspitzt gesagt, um das Überleben der Biosphäre, zu der auch der Mensch gehört, in seiner uns bekannten Form.

Die Hauptargumente gegen eine restriktivere Emissionsminderungspolitik sind heute vorrangig ökonomischer Natur. Es werden die Kosten gescheut, die mit der Umstellung auf geringer emittierende Technologien und einer Verteuerung des Energieverbrauches einhergehen. Die Drohkulisse von Arbeitsplatzabbau und sinkendem Wirtschaftswachstum verhindert regelmäßig ein effektives Vorgehen im Klimaschutzbereich.

Betrachtet man die sozialen und ökologischen ,Kosten', die sich aus einer gravierenden Klimaveränderung in der Zukunft ergeben könnten, kann man die geäußerten ökonomischen Befürchtungen nur als von untergeordneter Bedeutung einstufen. In der Gesellschaft jedoch, stehen diese zukünftigen, unsicheren Folgen des Klimawandels, den als sicher angenommenen Wohlstandseinbußen gegenüber. Zur Durchsetzung und Vermittlung von Klimaschutzmaßnahmen müssen deshalb deren Auswirkungen möglichst genau analysiert und dargestellt werden. Auf nationaler Ebene gibt es inzwischen eine Vielzahl von Untersuchungen, die die ökonomischen Auswirkungen für das Erreichen bestimmter ökologischer Zielvorgaben quantifizieren. Letztendlich lassen sich die großen Ziele der Einsparung von Treibhausgasen auf internationaler oder nationaler Ebene, jedoch nur durch die Summe der vielen kleinen Schritte und Maßnahmen im lokalen Bereich erreichen.

Die vorliegende Arbeit soll die Grundlage für solche kleinräumigen Ansätze auf lokaler Ebene bilden. Die Erstellung der Energie- und Treibhausgasbilanz für die Hansestadt Greifswald bildet die Basis für eine Klimaschutzkonzeption, mit der aktiv zum Klimaschutz beigetragen werden kann. Idealerweise geschieht dies in einer Form, die die Wirtschaft in diesem ohnehin strukturschwachen Raum so wenig wie möglich belastet.

Der selbst gestellte Anspruch zu diesem Zweck eine Bilanzierung und räumliche Auflöserung der Emissionen in einem so bisher nicht erreichten Detaillierungsgrad durchzuführen und somit ein wirksames Analyseinstrument zu schaffen, konnte, aufgrund der mangelnden Bereitschaft die vorhandenen Daten zur Verfügung zu stellen, leider nicht erreicht werden. Es besteht jedoch die Hoffnung, daß bei einer besseren Datenverfüg-

barkeit, unter Rückgriff auf die hier vorgestellten Methoden, eine später durchzuführende Fortschreibung der Bilanz den gewünschten Detaillierungsgrad erreicht.

Nichtsdestotrotz stellt die nun vorliegende Energie- und Treibhausgasbilanz zumindest eine grobe Arbeitsgrundlage für die nächsten Schritte auf dem Weg zu Klimaschutz in Greifswald dar.

Ziel muß es nun sein, ausgehend von der erarbeiteten Ist-Analyse des Energieverbrauches und der Treibhausgasemissionen, eine tragfähige und vor allem umsetzbare Klimaschutzkonzeption zu entwickeln.

Ein nächster Schritt ist nun die Entwicklung von Wirtschafts- und Energiemodellen, mit deren Hilfe verschiedene Projektionen über die zukünftige Entwicklung der Energienachfrage und des Energieverbrauches gemacht werden können. Diese Modellentwicklung wird in der nächsten Stufe mit den Akteuren innerhalb der Stadt Greifswald diskutiert und modifiziert, um so zu einer möglichst spezifischen Beschreibung des Untersuchungsgebietes zu gelangen.

Ist dies erreicht, können unter Zugrundelegung des Modells Maßnahmen zur Reduzierung von Treibhausgasen entwickelt werden. An dieser Stelle ist die Einbeziehung der örtlichen Akteure von entscheidender Bedeutung, denn eine Umsetzung der Maßnahmen kann nur gelingen, wenn ein breiter Konsens über deren Notwendigkeit besteht.

Mit dem nun folgenden letzten Schritt befinden wir uns wiederum im Bereich der hier vorliegenden Arbeit. Durch eine Fortschreibung der Energie- und Treibhausgasbilanz kann gezeigt werden, ob und inwieweit die ergriffenen Maßnahmen zu Fortschritten geführt haben. Mit den Ergebnissen dieser Analyse kann nun wiederum der Modellrahmen verbessert und stärker an die Realität angepaßt werden, um so noch treffsicherere Maßnahmen zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

- ASUE (ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR SPARSAMEN UND UMWELTFREUNDLICHEN ENERGIEVERBRAUCH E.V.) (Hrsg.) (o. J.). KWK-Gesetz 2002. Grundlagen, Fördermechanismus, praktische Hinweise. Kaiserslautern.
- BACH, Wilfried (1997). Weltbevölkerung. Energieverbrauch und Klimaschutz. In: Spektrum der Wissenschaft – Dossier. Heft 5. S. 24 – 33110.
- BAETGE, Jörg; KIRSCH, Hans-Jürgen; THIELE, Stefan (2003). Bilanz. 7. Auflage. Düsseldorf.
- BMVBW (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN) (Hrsg.) (2003). Mobilität in Deutschland. Kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten. Endbericht. o. O. (Download unter: http://www.mid2002.de/pdf/projektbericht_mid2002_250703.pdf)
- BMVBW (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN) (Hrsg.) (2000). Verkehrsbericht 2000 – Kurzfassung. Berlin
- BMWA (BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ARBEIT) (2003). Energie Daten 2003 – Nationale und Internationale Entwicklung. Berlin.
- BRUNNER, Dieter (1996). Greifswald - Stadtentwicklung, -struktur und -funktion. Eine Universitätsstadt im Spannungsfeld von Tradition und Moderne. In: Zeitschrift für den Erdkundeunterricht. Band 48. Heft Nr. 9. S. 342-347.
- CUBASCH, Ulrich; KASANG, Dieter (2000). Anthropogener Klimawandel. Stuttgart
- DIEFENBACH, Nikolaus (2002). Bewertung der Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen und Biomasse-Heizsystemen. Darmstadt. (Download unter: <http://www.iwu.de/datei/bewertungbiomasse.pdf>)
- DIEKMANN, Jochen et. al. (1999). Energie-Effizienz-Indikatoren. Heidelberg (=Umwelt und Ökonomie; 32).
- DRAKE, Frank-Detlef (1996). Kumulierte Treibhausgasemissionen zukünftiger Energiesysteme. Berlin.
- EISELE, Wolfgang (1999). Technik des betrieblichen Rechnungswesen. 6. Auflage. München.
- FABIAN, Peter (2002). Leben im Treibhaus. Berlin.
- GASSMANN, Fritz (1994). Was ist los mit dem Treibhaus Erde. Zürich.

-
- GABLER VERLAG (Hrsg.) (1997). Gabler Wirtschaftslexikon. 14. Auflage. Wiesbaden.
- GEHR, Peter; GUNTER, Stephan; KOST, Catherine (Hrsg.) (1997). CO₂ – Eine Herausforderung für die Menschheit. Berlin.
- HAKE, Jürgen-Friedrich; STEIN, Gotthard; WAGNER, Hermann.Friedrich (1997): IKARUS – Klimagas-Reduktionsstrategien. In: Spektrum der Wissenschaft – Dossier. Heft 5. S. 88 – 91.
- HAUSER, Walter (Hrsg.) (2002). Klima. Das Experiment mit dem Planeten Erde. Stuttgart.
- HUPFER, Peter (1994). Der Energiehaushalt Heidelbergs unter besonderer Berücksichtigung der städtischen Wärmeinselstruktur. Heidelberg. (= Heidelberger Geographische Arbeiten; 96)
- IBZ (INNOVATIONS- UND BILDUNGSZENTRUM HOHEN LUCKOW E.V.) (Hrsg.) (2002). Klimagasbilanz (CO₂) des Landes Mecklenburg-Vorpommern 2000. Hohen Luckow.
- INSTITUT RAUM UND ENERGIE (Hrsg.) (1996). Schafstoffminderung im Städtebau – Modellvorhaben Greifswald, Ostseeviertel Ryckseite. Greifswald.
- IFEU (INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG GMBH) (Hrsg.) (o. J.). CO₂-Bilanz für Augsburg 1999. Heidelberg.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) (Hrsg.). (2001): Synthesis Report. Cambridge. (Download unter: <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>)
- JACOBY, Henry; PRINN, Roland (1997). Unsicherheiten in der politischen Analyse von Klimaänderungen. In: Spektrum der Wissenschaft – Dossier. Heft 5. S. 34 – 42.
- KANNING, Helga (2001). Umweltbilanzen – Instrumente einer zukunftsfähigen Regionalplanung? Dortmund.
- KLÜTER, Helmut (2000). Greifswald als Wirtschaftsstandort In: Wernicke, H. (Hrsg.). Greifswald. Geschichte der Stadt. Schwerin. S. 525-530
- ÖKO-INSTITUT (Hrsg.) (2000). Klimabilanz für die Stadt Darmstadt. Darmstadt.
- ÖKO-INSTITUT (Hrsg.) (1999). Entwicklung eines Zertifizierungsverfahren für grünen Strom. Darmstadt. (Download unter: <http://www.energiekonsens.de/greene/files/endkurz.pdf>)
- SCHLOMANN, Barbara et. al. (2004). Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD). Karlsruhe.

-
- SCHLOMANN, Barbara et. al. (2000). Erarbeitung kostengünstiger Erhebungsformen zur Erfassung des effektiven Energieverbrauchs im Bereich Haushalte und Kleinverbraucher. Karlsruhe.
- SCHMIDT, Martina (1999). Messung und Bilanzierung anthropogener Treibhausgase in Deutschland. Dissertation. Universität Heidelberg. Heidelberg. (Download unter: <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/volltexte/2000/1072/pdf/kompakt2001.pdf>)
- STADT GREIFSWALD (2004). Greifswald – Jahreszahlen 2003. Greifswald.
- STADT MÜNSTER (Hrsg.) (2003). Energie- und Klimainventur der Stadt Münster. o.O.
- STALA-MV (STATISTISCHES LANDESAMT MECKLENBURG-VORPOMMERN) (Hrsg.) (2003). Umweltökonomische Gesamtrechnungen – Basisdaten und ausgewählte Ergebnisse für Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin (= Statistische Berichte)
- STALA-MV (STATISTISCHES LANDESAMT MECKLENBURG-VORPOMMERN) (Hrsg.) (2004). Statistisches Jahrbuch Mecklenburg-Vorpommern 2003. Schwerin.
- STEIN, Gotthard; WAGNER, Hermann-Friedrich (Hrsg.) (1999). Das IKARUS-Projekt: Klimaschutz in Deutschland. Berlin.
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (Hrsg.) (2003). CO₂ – Minderung im Verkehr. Berlin. (Download unter: <http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-1/2606.pdf>)
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (Hrsg.) (2003). Deutsches Treibhausgasinventar 1990 – 2001. Berlin.
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (Hrsg.) (o.J.). Umweltdaten 2002. Berlin.
- VOß, Alfred (2001). Die Kraft-Wärme-Kopplung. In: Physikalische Blätter. Jg. 57. Heft 11. S. 61 – 64.
- WBGU a (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN) (Hrsg.) (2003). Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit. Berlin.
- WBGU b (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN) (Hrsg.) (2003). Über Kyoto hinausdenken – Klimaschutzstrategien für das 21. Jahrhundert. Berlin.
- WIRO (WIRO ENERGIE & KONNEX CONSULTING GMBH) (Hrsg.) (2003). Energie- und CO₂-Bilanz der Landeshauptstadt Düsseldorf für das Jahr 2001. Aachen.

Internetquellen

WWW.AG-ENERGIEBILANZEN.DE a (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen). Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2002

Unter: <http://www.ag-energiebilanzen.de/daten/gesamt.pdf>

Eingesehen am: 05.01.2005

WWW.AG-ENERGIEBILANZEN.DE b (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen). Endenergieverbrauch in Deutschland 2002

Unter: http://www.ag-energiebilanzen.de/daten/M-19_2003.pdf

Eingesehen am: 05.01.2005

WWW.BAYERN.DE/LFU (Dr. Katharina Stroh). Treibhausgase.

Unter: http://www.bayern.de/lfu/umwberat/data/klima/treibhaus_2004.pdf

Eingesehen am: 25.10.2004

WWW.BHKW-INFOZENTRUM.DE (Markus Gailfuß). Vergleich ASUE-/Gutschrift-Methode.

Unter: http://www.bhkw-infozentrum.de/erlaeuter/bsp_methode.html

Eingesehen am: 10.11.2004

WWW.DESTATIS.DE a (Prof. Dr. Bernd Meyer). Prognose der CO₂ Emissionen in Deutschland bis zum Jahr 2010.

Unter: http://www.destatis.de/presse/deutsch/pk/2002/statem_meyer.pdf

Eingesehen am: 25.10.2004

WWW.DESTATIS.DE b (Walter Adler). Berichtsmodul Verkehr und Umwelt – Kurzfassung.

Unter: <http://www-ec.destatis.de/csp/shop/sfg/vollanzeige.csp?ID=1013856>

Eingesehen am: 25.10.2004

WWW.DESTATIS.DE c (Claire Grobecker). Energieverbrauch und Luftemissionen des Sektors Verkehr – Kurzfassung.

Unter: <http://www.destatis.de/download/d/ugr/ugrband12k.pdf>

Eingesehen am: 25.10.2004

WWW.DESTATIS.DE d (Statistisches Bundesamt). Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2003.

Unter: <http://www.destatis.de/download/d/klassif/wz03.pdf>

Eingesehen am: 29.11.2004

WWW.DESTATIS.DE e (Statistisches Bundesamt). Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 1993.

Unter: <http://www.destatis.de/download/d/klassif/wz93.pdf>

Eingesehen am: 29.11.2004

WWW.FH-MAINZ.DE (Dr. Peter Böhm). Energieverbrauch und CO₂-Emissionen in Rheinland-Pfalz.

Unter: <http://www.fh-mainz.de/institute/forster/energie-analyse2.doc>

Eingesehen am: 11.12.2004

WWW.FH-MESCHEDE.DE (Christoph Kail und Georg Haberberger). Technik und Kosten der Kraft-Wärme-Kopplung bei GUD- und Dampfkraftwerken.

Unter: <http://www.fh-meschede.de/public/kail/pdf/vdi-1495.pdf>

Eingesehen am: 29.11.2004

WWW.FORUMUE.DE a (Forum Umwelt und Entwicklung). Klimaschutz in Deutschland bis 2020" - Antwort von Umwelt- und Entwicklungsverbänden

Unter: <http://www.forumue.de/mehrzumthema/00000021.html>

Eingesehen am: 25.10.2004

WWW.FORUMUE.DE b (Forum Umwelt und Entwicklung). Zusammenfassung des 3. Berichts des Intergovernmental Panel on Climate Change.

Unter: <http://www.forumue.de/pdfs/fu3cbd78cc.pdf>

Eingesehen am: 25.10.2004

WWW.GERMANWATCH.ORG (Germanwatch e.V.). Klimawandel: Neue und stärkere Evidenz.

Unter: <http://www.germanwatch.org/rio/bpipcc01.htm>

Eingesehen am: 25.10.2004

WWW.GREIFSWALD.DE (Hansestadt Greifswald). Verwaltungsbericht 2001.

Unter: <http://www.greifswald.de/pdf-cms/vwb2001.pdf>

Eingesehen am: 05.01.2005

WWW.KAISERSLAUTERN.DE (Referat Umweltschutz der Stadt Kaiserslautern). Treibhausgasbilanz 2002.

Unter: http://www.kaiserslautern.de/leben_in_kl/umwelt/klima_und_luft/treibhausgasbilanz/?!lang=de

Eingesehen am: 11.12.2004

WWW.KLIMABUENDNIS.ORG a (Dr. Werner Neumann). Richtlinien für die Erstellung von CO₂-Bilanzen durch die Mitgliedskommunen im Klima-Bündnis.

Unter: http://www.klimabuendnis.org/download/guidelines_de.pdf

Eingesehen am: 10.11.2004

WWW.KLIMABUENDNIS.ORG b (Birgit Farnsteiner/Herbert Brünning). CO₂-Bilanz für Norderstedt.

Unter: [www.klimabuendnis.org/ download/norderstedt-co2-bilanz.pdf](http://www.klimabuendnis.org/download/norderstedt-co2-bilanz.pdf)

Eingesehen am: 10.11.2004

WWW.KONTIV2002.DE (Infas und DIW). Mobilität in Deutschland. Kontinuierliche Erhebung zum Verkehrsverhalten. Endbericht.

Unter: http://www.kontiv2002.de/pdf/projektbericht_mid2002_250703.pdf

Eingesehen am: 05.01.2005

WWW.REGION-STARKENBURG.DE (Region Starkenburg). Regionales Klimabündnis Region Starkenburg – Endbericht Phase 1

Unter: http://www.region-starkenburg.de/uploads/media/Klima_Starkenburg_Endbericht_Phase1.pdf

Eingesehen am: 03.11.2004

WWW.STADTENTWICKLUNG.BERLIN.DE (Öko-Institut). Klimaschutz in Deutschland bis 2020" - Antwort von Umwelt- und Entwicklungsverbänden

Unter: [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/studie_vermeidungskosten /endberic.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/studie_vermeidungskosten_endberic.pdf)

Eingesehen am: 29.11.2004

WWW.STADTDETMOLD.DE a (Stadt Detmold). Kommunales Energiekonzept für die Stadt Detmold.

Unter: http://www.stadtdetmold.de/uploads/media/Energie-Konzept-kurz_01.pdf

Eingesehen am: 11.12.2004

WWW.STADTDETMOLD.DE b (Stadt Detmold). Bestandsaufnahme Hausbrandemissionen 1995-2003 in Detmold.

Unter: <http://www.stadtdetmold.de/uploads/media/Bericht2003.doc>

Eingesehen am: 11.12.2004

WWW.TOLLE.DE (Dr. Arnold Tolle.). Positionierung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) im Nationalen Allokationsplan zum Emissionshandel.

Unter: http://www.tolle.de/service/download/To_VIK_NAP_KWK.pdf

Eingesehen am: 29.11.2004

WWW.TSB.FH-BINGEN.DE (Prof. Dr. Gunter Schaumann.). Die Effizienzbewertung der Kraft-Wärme-Kopplung.

Unter: http://tsb.fh-bingen.de/service/publikationen/2002/tsb_kwk.pdf

Eingesehen am: 25.10.2004

WWW.UMWELTDATEN.DE (Dr. Winfried Schwarz). 1. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben: „Emissionen und Emissionsprognose von H-FKW, FKW und SF6 in Deutschland - Aktueller Stand und Entwicklung eines Systems zur jährlichen Ermittlung -“

Unter: <http://www.umweltdaten.de/daten/emissprog.pdf>

Eingesehen am: 29.11.2004

WWW.WIKIPEDIA.ORG (Wikimedia Deutschland e.V.). Greifswald.

Unter: <http://de.wikipedia.org/wiki/Greifswald>.

Eingesehen am: 13.01.2004

Software

ÖKO-INSTITUT (Hrsg.). Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme. Version 4.1 (Download unter: <http://www.oeko.de/service/gemis/de/index.htm>)

Anhang A: Verwendete GEMIS-Prozesse

Im folgenden sind die den einzelnen Berechnungen zugrundeliegenden GEMIS – Prozesse aufgeführt, anhand derer es möglich ist, die angewendeten Berechnungen nachzuvollziehen.

Verkehr

Tabelle 21: GEMIS-Prozesse Verkehr

	Zugrundegelegter GEMIS-Prozeß	Bemerkungen
PKW	PKW-D-IO	-
LKW	<ul style="list-style-type: none"> • 20,19 % Lkw-D-Solo-IO • 32,62 % Lkw-D-m. Anh-IO • 47,19 % Lkw-D-Sattelzug-IO 	<ul style="list-style-type: none"> • Prozeß LKW-D-IO war so nicht vorhanden und wurde deshalb aus den Teilprozessen modelliert
ÖPNV	Bus-Linie-IO-EURO2	-

Quelle: GEMIS

Kraft-Wärme-Kopplung

Tabelle 22: GEMIS-Prozesse KWK

	Zugrundegelegter GEMIS-Prozeß	Bemerkungen
Helmshäger Berg (Anteil Erdgas)	Gas-GT-HKW-klein-D/Gas	<ul style="list-style-type: none"> • Leistungsparameter wurden an reale Kraftwerksdaten angepaßt • Ortsbezug des Verbrennungsprozesses wurde auf lokal geändert
Helmshäger Berg (Anteil Erdöl)	Gas-GT-HKW-klein-D/Gas	<ul style="list-style-type: none"> • Leistungsparameter wurden an reale Kraftwerksdaten angepaßt • Ortsbezug des Verbrennungsprozesses wurde auf lokal geändert • Gesamtemissionen wurden um den Mehrbetrag von HEL zu Erdgas erhöht

Siemensallee	Gas-BHKW-Mager-1000/Gas	<ul style="list-style-type: none"> Leistungsparameter wurden an reale Kraftwerksdaten angepaßt
Kapaunenstraße	Gas-BHKW-Mager-1000/Gas	<ul style="list-style-type: none"> Leistungsparameter wurden an reale Kraftwerksdaten angepaßt
Thermoinsel	Gas-BHKW-Mager-1000/Gas	<ul style="list-style-type: none"> Leistungsparameter wurden an reale Kraftwerksdaten angepaßt

Quelle: GEMIS

Die für die Aufteilung des Primärenergieverbrauches und der Emissionen herangezogenen Referenzsysteme:

Tabelle 23: GEMIS-Prozesse KWK-Referenzsysteme

	Zugrundegelegter GEMIS-Prozeß	Bemerkungen
Stromerzeugung	Gas-KW-GuD-D	-
Wärmeerzeugung	Gas-Heizung-Brennwert-D	-

Quelle: GEMIS

Fernwärmeerzeugung (ohne KWK)

Tabelle 24: GEMIS-Prozesse Fernwärmeerzeugung in reinen HWE

	Zugrundegelegter GEMIS-Prozeß	Bemerkungen
Helmshäger Berg	Gas-HW-mittel-D	<ul style="list-style-type: none"> Leistungsparameter wurden an reale Kraftwerksdaten angepaßt Ortsbezug des Verbrennungsprozesses wurde auf lokal geändert

Siemensallee	Gas-HW-klein-D	<ul style="list-style-type: none"> • Leistungsparameter wurden an reale Kraftwerksdaten angepaßt • Ortsbezug des Verbrennungsprozesses wurde auf lokal geändert
Kapaunenstraße	Gas-HW-mittel-D	<ul style="list-style-type: none"> • Leistungsparameter wurden an reale Kraftwerksdaten angepaßt • Ortsbezug des Verbrennungsprozesses wurde auf lokal geändert
Thermoinsel	Gas-HW-klein-D	<ul style="list-style-type: none"> • Leistungsparameter wurden an reale Kraftwerksdaten angepaßt • Ortsbezug des Verbrennungsprozesses wurde auf lokal geändert

Quelle: GEMIS

Wärmeerzeugung (außer Fernwärme)

Tabelle 25: GEMIS-Prozesse für Wärmeerzeugung

	Zugrundegelegter GEMIS-Prozeß	Bemerkungen
Gasheizung	Gas-Heizung-atmosphärisch-D	-
Ölheizung	Öl-Heizung-atmosphärisch-D	-
Kohleheizung	Kohle-Brikett-Heizung-D	-
Holzheizung	<ul style="list-style-type: none"> • 33,33 % Holz-HS-Heizung-D • 33,33 % Holz-Pellet-Heizung-D • 33,33 % Holz-Stücke-Heizung-D 	<ul style="list-style-type: none"> • Prozeß Holzheizung-D war so nicht vorhanden und wurde deshalb aus den Teilprozessen modelliert
Flüssiggasheizung	Flüssiggas-Heizung-atmosphärisch-D	-

Quelle: GEMIS

Strom (ohne KWK)**Tabelle 26: GEMIS-Prozeß für nicht in Greifswald produzierten Strom**

	Zugrundegelegter GEMIS-Prozeß	Bemerkungen
Deutscher Strommix	EL-KW-Park-D	-

Quelle: GEMIS

Anhang B: Kraft-Wärme-Kopplung

Tabelle 27: Emissionsfaktoren der Referenzsysteme für die KWK-Prozesse und daraus resultierende Aufteilungsparameter

	CO ₂ Ä	CO ₂	Anteil Strom an den Gesamt-CO ₂ Ä-Emissionen	Anteil Strom an den Gesamt-CO ₂ -Emissionen
Lokal [kg/MWh]				
Helmshäger Berg			0,5114	0,5081
GuD	366,5000	360,9910		
Brennwertkessel	350,1810	349,4400		
Siemensallee			0,5333	0,5301
GuD	366,5000	360,9910		
Brennwertkessel	320,7300	320,0560		
Thermoinsel			0,5073	0,5041
GuD	366,5000	360,9910		
Brennwertkessel	355,9310	355,1780		
Kapaunenstrasse			0,5912	0,5880
GuD	366,5000	360,9910		
Brennwertkessel	253,4400	252,9000		
Total [kg/MWh]				
Helmshäger Berg			0,4910	0,4999
GuD	432,4000	402,0340		
Brennwertkessel	448,2000	402,1980		
Siemensallee			0,5130	0,5218
GuD	432,4000	402,0340		
Brennwertkessel	410,5100	368,3700		
Thermoinsel			0,4870	0,4958

GuD	432,4000	402,0340		
Brennwertkessel	455,5600	408,8000		
Kapaunenstrasse			0,5714	0,5800
GuD	432,4000	402,0340		
Brennwertkessel	324,3880	291,0900		

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 28: Aufgliederung bereitgestellter Endenergie. Emissionen und Emissionsfaktoren der KWK-Prozesse für CO₂

Kraftwerk	Endenergie [GWh/a]	EF CO₂ für Endenergie nach GEMIS - lokal [t/GWh]	Emissionen CO₂ - lokal [t/a]	EF CO₂ für Endenergie nach GEMIS - total [t/GWh]	Emissionen CO₂ - total [t/a]
Helmshäger Berg	273,2666	312,5513	85.409,81	343,6662	93.912,4861
Gas	273,2650	312,5511	85.409,28	343,6661	93.911,9033
KWK	194,5939	348,9933	67.911,97	377,5879	73.476,2984
Strom	70,9159	356,2381	25.262,94	356,2381	25.262,9472
Wärme	123,6780	344,8392	42.649,02	389,8296	48.213,3512
HWE	78,6711	222,4110	17.497,31	259,7600	20.435,6049
Öl	0,0016	340,2154	0,53	373,8994	0,5827
KWK	0,0007	413,7928	0,27	442,3893	0,2887
Strom	0,0002	421,0381	0,10	421,0381	0,1001
Wärme	0,0004	409,6392	0,16	454,6296	0,1886
HWE	0,0009	287,2110	0,29	324,5600	0,2940
Thermoinsel	9,7730	235,1753	2.298,37	271,6549	2.654,8914
KWK	2,1670	325,5136	705,39	363,6902	788,1280
Strom	0,7893	328,8805	259,59	359,8402	284,0330
Wärme	1,3777	323,5845	445,80	365,8961	504,0950
HWE	7,6060	209,4370	1.866,76	245,4330	1.866,7634

Kapaunenstraße	55,5814	256,5590	14.259,89	280,5731	15.594,6289
KWK	30,7464	292,9273	9.006,44	307,1364	9.443,3223
Strom	13,5640	330,9297	4.488,73	363,1382	4.925,6060
Wärme	17,1824	262,9277	4.517,71	262,9277	4.517,7163
HWE	24,8350	211,5340	6.151,30	247,6870	6.151,3066
Siemensallee	10,8890	243,3066	2.649,36	279,2545	3.040,8020
KWK	3,6993	293,2061	1.084,65	327,3033	1.210,7932
Strom	1,4610	314,8053	459,93	344,7709	503,7103
Wärme	2,2383	279,1076	624,72	315,9018	707,0830
HWE	7,1897	217,6320	1.830,00	254,5320	1.830,0087
Summe (bzw.EF) KWK	231,2072	369,9145	78.708,74	389,2858	84.918,8306
Summe (bzw.EF) HWE	118,3027	219,0035	27.345,65	256,1093	30.283,9777
Summe (bzw.EF) Strom	86,7305	351,3333	30.471,30	357,1124	30.976,3966
Summe (bzw.EF) Wärme	262,7795	282,1611	75.583,09	330,2315	84.226,4117
Summe (bzw.EF) Gas	349,5084	299,3259	104.616,92	331,8529	115.202,2256
Summe (bzw.EF) Öl	0,0016	340,2154	0,53	373,8994	0,5827
Summe (bzw.EF) gesamt	349,5099	299,3261	104.617,45	331,8531	115.202,8083

Quelle: Eigene Berechnungen; GEMIS

Tabelle 29: Aufgliederung bereitgestellter Endenergie. Emissionen und Emissionsfaktoren der KWK-Prozesse für CO₂Ä

	Endenergie [GWh/a]	EF CO ₂ Ä für End- energie nach GEMIS - lokal [t/GWh]	Emissionen CO ₂ Ä - lokal [t/a]	EF CO ₂ Ä für End- energie nach GEMIS - total [t/GWh]	Emissionen CO ₂ Ä - total [t/a]
Helmshäger Berg	273,2666	316,8142	86.574,71	384,0161	104.938,7640
Gas	273,2650	316,8140	86.574,18	384,0160	104.938,1246
KWK	194,5939	354,3044	68.945,48	421,8593	82.091,2504
Strom	70,9159	364,6232	25.857,58	412,2845	29.237,5249
Wärme	123,6780	348,3878	43.087,90	427,3495	52.853,7256
HWE	78,6711	224,0810	17.628,69	290,4100	22.846,8742
Öl	0,0016	343,4100	0,53	410,2528	0,6394
KWK	0,0007	419,1038	0,27	486,6599	0,3176
Strom	0,0002	429,4232	0,10	477,0845	0,1135
Wärme	0,0004	413,1878	0,17	492,1495	0,2041
HWE	0,0009	288,8810	0,32	355,2100	0,3218
Thermoinsel	9,7730	237,6312	2.322,37	305,1402	2.982,1451
KWK	2,1670	331,0682	717,43	413,1820	895,3781
Strom	0,7893	337,2512	266,20	399,5756	315,3974
Wärme	1,3777	327,5257	451,23	420,9775	579,9807
HWE	7,6060	211,0100	2.086,76	274,3580	2.086,7669
Kapaunenstraße	55,5814	250,4173	13.918,53	316,2131	17.575,5485
KWK	30,7464	280,5413	8.625,62	347,9823	10.699,1841
Strom	13,5640	338,9796	4.597,91	404,4409	5.485,8362
Wärme	17,1824	234,4093	4.027,70	303,4130	5.213,3479
HWE	24,8350	213,1230	6.876,36	276,8820	6.876,3645
Siemensallee	10,8890	246,1255	2.680,06	314,0758	3.419,9712
KWK	3,6993	298,3259	1.103,59	371,4542	1.374,1205

Strom	1,4610	322,7107	471,48	383,1917	559,8430
Wärme	2,2383	282,4093	632,11	363,7928	814,2774
HWE	7,1897	219,2670	2.045,85	284,5530	2.045,8507
Summe (bzw.EF) KWK	231,2072	373,0929	79.392,40	436,1226	95.060,2507
Summe (bzw.EF) HWE	118,3027	220,6482	28.638,00	286,3197	33.856,1781
Summe (bzw.EF) Strom	86,7305	359,6578	31.193,28	410,5803	35.598,7149
Summe (bzw.EF) Wärme	262,7795	282,7557	76.837,12	362,5523	93.317,7138
Summe (bzw.EF) Gas	349,5084	301,8387	105.495,15	371,5572	128.915,7894
Summe (bzw.EF) Öl	0,0016	343,4100	0,53	410,2528	0,6394
Summe (bzw.EF) gesamt	349,5099	301,8389	105.495,68	371,5574	128.916,4288

Quelle: Eigene Berechnungen, GEMIS

Anhang C: Formeln für die Berechnung des Verkehrssektors

Formelzeichen

DTV	Durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge pro Tag
MT	Durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge pro Tagstunde
MN	Durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge pro Nachtstunde
PLT	Prozentualer Anteil des LKW-Verkehrs am Tagesfahrzeugaufkommen
PLN	Prozentualer Anteil des LKW-Verkehrs am Nachtfahrzeugaufkommen
L	Länge des Straßenabschnittes

Berechnung der Fahrzeugkilometer:

$$PKW - \text{Kilometer (genau)} \left[\frac{km}{a} \right] = \left(MT \cdot 16 \cdot \frac{(1 - PLT)}{100} + MN \cdot 8 \cdot \frac{(1 - PLN)}{100} \right) \cdot 365 \cdot \frac{L}{1000}$$

$$LKW - \text{Kilometer (genau)} \left[\frac{km}{a} \right] = \left(MT \cdot 16 \cdot \frac{PLT}{100} + MN \cdot 8 \cdot \frac{PLN}{100} \right) \cdot 365 \cdot \frac{L}{1000}$$

Berechnung der Fahrzeugkilometer, falls die Tag-/Nacht- Aufteilung der Verkehrsmengen nicht bekannt ist:

$$PKW - \text{Kilometer (geschätzt)} \left[\frac{km}{a} \right] = \left(DTV \cdot \frac{16}{24} \cdot \frac{(1 - PLT)}{100} + DTV \cdot \frac{8}{24} \cdot \frac{(1 - PLN)}{100} \right) \cdot 365 \cdot \frac{L}{1000}$$

$$LKW - \text{Kilometer (geschätzt)} \left[\frac{km}{a} \right] = \left(DTV \cdot \frac{16}{24} \cdot \frac{PLT}{100} + DTV \cdot \frac{8}{24} \cdot \frac{PLN}{100} \right) \cdot 365 \cdot \frac{L}{1000}$$

Berechnung des CO₂-Ausstoßes des Straßenabschnitt j:

$$CO_2 - \text{Ausstoß}_j \left[\frac{t}{a} \right] = \left(\frac{PKW - \text{Kilometer}_j \cdot \text{Emissionsfaktor}_{PKW} + LKW - \text{Kilometer}_j \cdot \text{Emissionsfaktor}_{LKW}}{1000} \right)$$

Gesamt-CO₂-Ausstoß:

$$\sum_j CO_2 - Ausstoß_j \cdot 1.05979$$

Die Berechnung der Emissionen von CO₂-Äquivalenten erfolgt analog, durch Verwendung der entsprechenden Emissionsfaktoren.

Anhang D: Ergebnisse

Die folgenden Tabellen stellen die den vorgestellten Ergebnissen zugrundeliegenden Energiemengen, Emissionen und Emissionsfaktoren dar.

Strom

Tabelle 30: Stromproduktion bzw. -verbrauch und daraus resultierende CO₂-Emissionen

	Endenergie [GWh]	EF CO ₂ für End- energie nach GEMIS – lokal [t/GWh]	Emissionen CO ₂ – lokal [t/a]	EF CO ₂ für Endener- gie nach GEMIS - total [t/GWh]	Emissionen CO ₂ - total [t/a]
Greifswald gesamt	163,0	186,9	30.471,3	498,1	81.191,1
Stromproduktion Stadtwerke	86,7	351,3	30.471,3	384,8	33.376,5
Helmshäger Berg	70,9	356,2	25.263,0	389,7	27.633,9
Thermoinsel	0,8	328,9	204,9	359,8	284,0
Kapaunenstraße	13,6	330,9	4.488,7	363,1	4.925,6
Siemensallee	1,5	314,8	459,9	344,8	503,7
Stromeinkauf	47,2	0	0	619,6	29.226,5
EDIS	47,2	0	0	619,6	29.226,5
Andere 1	0	0	0	0	0
Andere 2	0	0	0	0	0
Stromdurchleitung	30	0	0	619,6	18.588,0
Andere 1	30	0	0	619,6	18.588,0
Andere 2	0	0	0	0	0
Stromverkauf	0	0	0	0	0

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der Stadtwerke Greifswald

Tabelle 31: Stromproduktion bzw. -verbrauch und daraus resultierende CO₂-Emissionen

	Endenergie [GWh]	EF CO ₂ für End- energie nach GEMIS - lokal [t/GWh]	Emissionen CO ₂ - lokal [t/a]	EF CO ₂ für End- energie nach GEMIS - total [t/GWh]	Emissionen CO ₂ - total [t/a]
Greifswald gesamt	163,0	191,4	31.193,3	531,8	86.676,7
Stromproduktion Stadtwerke	86,7	359,7	31.193,3	410,6	35.609,8
Helmshäger Berg	71,0	364,6	25.857,6	412,3	29.237,5
Thermoinsel	0,8	337,3	266,2	399,5	315,4
Kapaunenstraße	13,6	339,0	4.597,9	404,4	5.485,8
Siemensallee	1,5	322,7	471,5	383,2	559,8
Stromeinkauf	47,2	0	0	661,7	31.214,5
EDIS	47,2	0	0	661,7	31.214,5
Andere 1	0	0	0	0	0
Andere 2	0	0	0	0	0
Stromdurchleitung	30,0	0	0	661,7	19.852,4
Andere 1	30,0	0	0	661,7	19.852,4
Andere 2	0	0	0	0	0
Stromverkauf	0	0	0	0	0

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der Stadtwerke Greifswald

Haushalte

Tabelle 32: Stromverbrauch der privaten Haushalte

	Kenngröße	Einheit
Haushalte in Greifswald	37.061	-
Stromverbrauch je Haushalt (Neue Länder)	2,3	MWh/a
Stromverbrauch Haushalte in Greifswald	85,2	GWh/a
Stromverbrauch Elektroheizsysteme der Haushalte	1,9	GWh/a
Gesamtstromverbrauch der privaten Haushalte in Greifswald	87,1	GWh/a

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle 33: Verteilung von Haushalten und Energieverbräuchen auf die verschiedenen Wärmeerzeuger

	Anzahl Haushalte	Primärenergieverbrauch [MWh/HH*a]	Wirkungsgrad des Wärmeerzeugers	Endenergieverbrauch [MWh/HH*a]	Gesamtendenergieverbrauch [GWh/a]
Fernwärme	26.156	entfällt	Entfällt	5,70	149,09
Gasheizung	9.056	15,00	0,85	12,75	115,46
Ölheizung	908	23,60	0,85	20,06	18,21
Kohleheizung	286	10,80	0,65	7,02	2,01
Elektroheizung	239	entfällt	Entfällt	7,90	1,89
Holzheizung	269	11,30	0,74	8,40	2,26
Flüssiggasheizung	152	14,20	0,85	12,07	1,83

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten von SCHLOMANN 2004, S. 8 ff.

Tabelle 34: Endenergieverbräuche und CO₂-Emissionen der privaten Haushalte

	Endenergie [GWh]	EF CO ₂ für Endenergie nach GEMIS – lokal [t/GWh]	Emissionen CO ₂ – lokal [t/a]	EF CO ₂ für Endenergie nach GEMIS - total [t/GWh]	Emissionen CO ₂ - total [t/a]
Strom	87,1	186,9	16.288,1	498,1	43.399,9
davon Elektroheizung	1,9	186,9	353,3	498,1	941,4
Raumwärme und Warmwasser (ohne E-Heizung)	288,9	261,7	75.604,5	304,8	88.077,2
Fernwärme	149,1	282,2	42.067,2	333,0	49.642,4
Gasheizung	115,5	233,6	26.970,1	266,9	30.821,0
Flüssiggasheizung	18,2	270,5	4.926,8	315,3	5.743,8
Ölheizung	2,0	316,1	634,6	362,1	727,0
Kohleheizung	1,9	522,6	986,7	557,0	1.051,7
Holzheizung	2,3	8,5	19,1	40,4	91,2
Elektroheizung	1,8	186,9	343,0	498,1	913,8

Quelle: Eigene Berechnungen; GEMIS

Tabelle 35: Endenergieverbräuche und CO₂-Emissionen der privaten Haushalte

	Endenergie [GWh]	EF CO ₂ für End- energie nach GEMIS – lokal [t/GWh]	Emissionen CO ₂ – lokal [t/a]	EF CO ₂ für End- energie nach GEMIS - total [t/GWh]	Emissionen CO ₂ – total [t/a]
Strom	87,1	191,4	16.674,1	531,8	46.332,1
davon Elektroheizung	1,9	191,4	361,7	531,8	1.005,0
Raumwärme und Warmwasser (ohne E-Heizung)	288,9	262,8	75.918,5	336,6	97.242,8
Fernwärme	149,1	282,8	42.155,8	367,5	54.783,1
Gasheizung	115,5	234,1	27.026,7	297,5	34.354,9
Flüssiggasheizung	18,2	272,3	4.958,9	326,1	5.939,4
Ölheizung	2,0	316,9	636,2	372,0	746,9
Kohleheizung	1,9	577,3	1.090,1	681,5	1.286,7
Holzheizung	2,3	22,5	50,8	58,4	131,8
Elektroheizung	1,8	191,4	351,1	531,8	975,6

Quelle: Eigene Berechnungen; GEMIS

Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

Tabelle 36: Stromverbräuche und Stromverbrauchsindikatoren des Sektor GHD (ohne städtische Einrichtungen)

	BZE	Stromverbrauch je BZE [MWh/BZE]	Gesamtstromverbrauch [MWh]
Land- und Forstwirtschaft	397	6,4	2.540,8
Baugewerbe	1.325	1,2	1.590,0
Handel	2.617	5,5	14.393,5
Gastgewerbe	659	4,4	2.899,6
Verkehr und Nachrichtenübermittlung	685	2,0	1.370,0
Kreditinstitute und Versicherungsgewerbe	400	2,0	800,0

Grundstücks- und Wohnungswesen, Vermietung, Unternehmensdienstleistungen	3.795	2,0	7.590,0
Öffentliche Verwaltung, Sozialversicherungen, extraterritoriale Organisationen und Körperschaften (Abzug von 1560 Mitarbeitern der Stadt)	560	2,0	312,0
Öffentliche und private Dienstleistungen	2.540	2,0	5.080,0
Freizeitbad (BZE: m² Wasserfläche) (Abzug von 37 Beschäftigten bei Dienstleistungen)	1.300	0,9	1.180,4
Universität (BZE: Studenten) (Abzug von 1938 Beschäftigten bei Dienstleistungen)	10.000	0,3	2.800,0
Krankenhäuser (BZE: Planbetten) (Abzug von 3640 Beschäftigten bei Dienstleistungen)	1.242	7,5	9.510,0

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der Stadt Greifswald und SCHLOMANN 2004, S.99 ff.

Tabelle 37: Brennstoffverbräuche und Brennstoffverbrauchsindikatoren des Sektor GHD (ohne städtische Einrichtungen)

	BZE	Brennstoffverbrauch je BZE [MWh/BZE]	Gesamtbrennstoffverbrauch [MWh]	Endenergieverbrauch [MWh]
Land- und Forstwirtschaft	397	9,7	3.850,9	3.273,3
Baugewerbe	1.325	4,8	6.360,0	5.406,0
Handel	2.617	9,7	25.384,9	21.577,2
Gastgewerbe	659	14,3	9.423,7	8.010,1
Verkehr und Nachrichtenübermittlung	685	6,6	4.521,0	3.842,9
Kreditinstitute und Versicherungsgewerbe	400	6,6	2.640,0	2.244,0

Grundstücks- und Wohnungswesen, Vermietung, Unternehmensdienstleistungen	3.795	6,6	25.047,0	21.290,0
Öffentliche Verwaltung, Sozialversicherungen, exterritoriale Organisationen und Körperschaften (Abzug von 1560 Mitarbeitern der Stadt)	560	6,6	3.696,0	3.141,6
Öffentliche und private Dienstleistungen	2.540	2,2	2.860,0	2.431,0
Freizeitbad (BZE: m² Wasserfläche) (Abzug von 37 Beschäftigten bei Dienstleistungen)	1.300	1,5	15.000,0	12.750,0
Universität (BZE: Studenten) (Abzug von 1938 Beschäftigten bei Dienstleistungen)	10.000	2,2	2.860,0	2.431,0
Krankenhäuser (BZE: Planbetten) (Abzug von 3640 Beschäftigten bei Dienstleistungen)	1.242	16,8	20.865,6	17.735,8

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der Stadt Greifswald und SCHLOMANN 2004, S.99 ff.

Tabelle 38: Endenergieverbräuche und CO₂-Emissionen des Sektors GHD (ohne städtische Einrichtungen)

	Endenergie [GWh]	EF CO₂ für Endenergie nach GEMIS – lokal [t/GWh]	Emissionen CO₂ – lokal [t/a]	EF CO₂ für Endenergie nach GEMIS – total [t/GWh]	Emissionen CO₂ – total [t/a]
Strom	50,07	186,9	9.359,4	498,1	24.938,3
Raumwärme und Warmwasser	115,95	268,8	31.172,0	269,4	31.238,8
Prozeßwärme					

Quelle: Eigene Berechnungen, GEMIS

Tabelle 39: Endenergieverbräuche und CO₂-Emissionen des Sektors GHD (ohne städtische Einrichtungen)

	Endenergie [GWh]	EF CO ₂ Ä für End- energie nach GEMIS – lokal [t/GWh]	Emissionen CO ₂ Ä – lokal [t/a]	EF CO ₂ Ä für End- energie nach GEMIS – total [t/GWh]	Emissionen CO ₂ Ä – total [t/a]
Strom	50,07	191,4	9.581,2	531,8	26.623,2
Raumwärme und Warmwasser	115,95	269,4	31.238,8	343,9	39.870,1
Prozeßwärme					

Quelle: Eigene Berechnungen, GEMIS

Tabelle 40: Energieverbräuche der Wärmeerzeugungssysteme städtischer Einrichtungen

	Primärenergieverbrauch [MWh/a]	Wirkungsgrad des Wär- meerzeugers	Endenergieverbrauch [MWh/a]
Fernwärme	entfällt	entfällt	17,9763
Gasheizung	5,9660	0,85	5,0711
Ölheizung	0,0000	0,85	0,0000
Kohleheizung	0,2034	0,65	0,1322
Elektroheizung	entfällt	entfällt	0,0000
Holzheizung	0,0000	0,74	0,0000
Flüssiggasheizung	0,2187	0,85	0,1859

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der Stadt Greifswald

Tabelle 41: Endenergieverbräuche und CO₂-Emissionen städtischer Einrichtungen

	Endenergie [GWh]	EF CO ₂ für Endenergie nach GEMIS – lokal [t/GWh]	Emissionen CO ₂ – lokal [t/a]	EF CO ₂ für Endenergie nach GEMIS - total [t/GWh]	Emissionen CO ₂ - total [t/a]
Strom	5,8110	186,9	1.086,3	498,1	2.894,5
davon Elektroheizung	0,2187	186,9	40,9	498,1	108,9
davon Ampeln und Straßenbeleuchtung	2,9947	186,9	559,8	498,1	1.491,7
Raumwärme und Warmwasser (ohne E-Heizung)	23,2	271,7	6.298,5	318,7	7.387,1
Fernwärme	18,0	282,2	5.072,2	333,0	5.985,6
Gasheizung	5,1	233,6	1.184,5	266,9	1.353,6
Flüssiggasheizung	0	270,5	0	315,3	0
Ölheizung	0	316,1	41,8	362,1	47,9
Kohleheizung	0	522,6	0	557,0	0
Holzheizung	0	8,5	0	40,4	0
Elektroheizung	0,2	186,9	34,7	498,1	92,6

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der Stadt Greifswald, GEMIS

Tabelle 42: Endenergieverbräuche und CO₂Ä-Emissionen städtischer Einrichtungen

	Endenergie [GWh]	EF CO ₂ Ä für Endenergie nach GEMIS - lokal [t/GWh]	Emissionen CO ₂ Ä – lokal [t/a]	EF CO ₂ Ä für Endenergie nach GEMIS - total [t/GWh]	Emissionen CO ₂ Ä - total [t/a]
Strom	5,8110	191,3699	1.112,05	531,7588	3.090,06
davon Elektroheizung	0,2187	191,3699	41,84	531,7588	116,27
davon Ampeln und Straßenbeleuchtung	2,9947	191,3699	573,09	531,7588	1.592,45
Raumwärme und Warmwasser	23,1796	272,2991	6.311,78	352,1825	8.163,45

(ohne E-Heizung)					
Fernwärme	17,9763	282,7557	5.082,90	367,4517	6.605,43
Gasheizung	5,0711	234,0700	1.186,98	297,5380	1.508,83
Flüssiggasheizung	0,0000	272,2520	0,00	326,0820	0,00
Ölheizung	0,1322	316,8590	41,89	372,0260	49,18
Kohleheizung	0,0000	577,3330	0,00	681,4900	0,00
Holzheizung	0,0000	22,5116	0,00	58,3510	0,00
Elektroheizung	0,1859	191,3699	35,56	511,8059	95,12

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der Stadt Greifswald, GEMIS

Industrie

Tabelle 43: Ermittlung des Endenergieverbrauches des Sektors Industrie

	Strom [GWh/a]	Raumwärme und Warmwasser sowie Prozeßwärme [GWh/a]
Gesamtendenergieverbrauch	163,00	448,61
Endenergieverbrauch Haushalte	-87,13	-264,55
Endenergieverbrauch GHD	-50,07	-115,95
Endenergieverbrauch Stadt	-5,81	-23,37
+ 10 % für andere Energieträger (vor allem Erdöl)	entfällt	4,47
Endenergieverbrauch Industrie	19,99	49,22

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der Stadt Greifswald

Tabelle 44: Endenergieverbräuche und CO₂-Emissionen des Sektors Industrie

	Endenergie [GWh]	EF CO ₂ für Endenergie nach GEMIS – lokal [t/GWh]	Emissionen CO ₂ – lokal [t/a]	EF CO ₂ für Endenergie nach GEMIS - total [t/GWh]	Emissionen CO ₂ - total [t/a]
Strom	19,99	186,9	3.737,4	498,1	9.958,5
Raumwärme und Warmwasser	49,22	268,8	13.232,0	313,2	15.413,6
Prozeßwärme					

Quelle: Eigene Berechnungen; GEMIS

Tabelle 45: Endenergieverbräuche und CO₂Ä-Emissionen des Sektors Industrie

	Endenergie [GWh]	EF CO ₂ Ä für Endenergie nach GEMIS – lokal [t/GWh]	Emissionen CO ₂ Ä – lokal [t/a]	EF CO ₂ Ä für Endenergie nach GEMIS - total [t/GWh]	Emissionen CO ₂ Ä - total [t/a]
Strom	19,99	191,4	3.826,0	531,8	10.631,3
Raumwärme und Warmwasser	49,22	269,4	13.260,3	343,9	16.924,1
Prozeßwärme					

Quelle: Eigene Berechnungen; GEMIS

Verkehr

Tabelle 46: CO₂-Emissionen des Sektors Verkehr

	Fahrzeugkilometer [km]	EF CO ₂ für Endenergie nach GEMIS - lokal [kg/km]	Emissionen CO ₂ – lokal [t/a]	EF CO ₂ für Endenergie nach GEMIS - total [kg/km]	Emissionen CO ₂ - total [t/a]
PKW	263.230.548	0,2077	57.750,5	0,3028	84.196,8
LKW/Busse	20.434.727	1,3027	28.121,4	1,4835	32.025,1
davon ÖPNV	1.100.000	1,1727	1.290,0	1,3416	1.475,7
Summe	-	-	85.871,9	-	116.222,0

Tabelle 47: CO₂Ä-Emissionen des Sektors Verkehr

	Fahrzeugkilometer [km]	EF CO ₂ Ä für Endenergie nach GEMIS - lokal [kg/km]	Emissionen CO ₂ Ä – lokal [t/a]	EF CO ₂ Ä für Endenergie nach GEMIS - total [kg/km]	Emissionen CO ₂ Ä - total [t/a]
PKW	263.230.548	0,2168	60.277,1	0,3209	89.239,4
LKW/Busse	20.434.727	1,3139	28.365,5	1,5374	33.188,9
davon ÖPNV	1.100.000	1,1835	1.301,8	1,3874	1.526,1
Summe	-	-	88.642,7	.	122.428,3

Quelle: Eigene Berechnungen nach Daten der Stadt Greifswald, GEMIS

Gesamtemissionen

Tabelle 48: Gesamt-CO₂-Emissionen der Hansestadt Greifswald

		lokal	total
Gesamte jährliche CO₂-Produktion in Greifswald	[t/a]	242.650,3	341.005,5
CO₂-Produktion in Greifswald je Einwohner	[t/(Ew*a)]	4,1	5,8
CO₂-Produktion in Greifswald je km²	[t/(km ² *a)]	4.821,9	6.776,3

Quelle: Eigene Berechnungen; GEMIS

Tabelle 49: CO₂-Emissionen der Hansestadt Greifswald nach Sektoren

	lokal in [t/a]	lokal in [%] des Gesamt CO ₂ - ausstoßes	total in [t/a]	total in [%] des Gesamt CO ₂ - ausstoßes
Haushalte	91.892,7	37,9	131.477,1	38,6
Strom	16.288,1	6,7	43.399,9	12,7
Raumwärme und Warmwasser	75.604,5	31,2	88.077,2	25,8
Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	47.916,2	19,7	66.458,7	19,5
Strom	10.445,7	4,3	27.832,8	8,2
Raumwärme und Warmwasser	37.470,5	15,4	38.625,9	11,3
Prozeßwärme				
Industrie	16.969,4	7,0	25.372,0	7,4
Strom	3.737,4	1,5	9.958,4	2,9
Raumwärme und Warmwasser	13.232,0	5,5	15.413,6	4,5
Prozeßwärme				
Verkehr	85.872,0	35,4	117.697,7	34,5
PKW	57.750,6	23,8	84.196,9	24,7
LKW/Busse	28.121,5	11,6	32.025,1	9,4
davon ÖPNV	1.290,0	0,5	1.475,7	0,4

Quelle: Eigene Berechnungen; GEMIS

Tabelle 50: CO₂-Emissionen der Hansestadt Greifswald nach Sektoren

	lokal in [t/a]	lokal in [%] des Gesamt CO ₂ - Ausstoßes	total in [t/a]	total in [%] des Gesamt CO ₂ - Ausstoßes
Haushalte	92.592,5	37,6	143.575,0	38,7
Strom	16.674,1	6,8	46.332,1	12,5
Raumwärme und Warmwasser	75.918,5	30,8	97.242,8	26,2
Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	48.243,8	19,6	77.746,8	20,9
Strom	10.693,2	4,3	29.713,3	8,0
Raumwärme und Warmwasser	37.550,6	15,2	48.033,5	12,9
Prozeßwärme				
Industrie	17.086,3	6,9	27.555,4	7,4
Strom	3.826,0	1,6	10.631,3	2,9
Raumwärme und Warmwasser	13.260,3	5,4	16.924,1	4,6
Prozeßwärme				
Verkehr	88.642,7	36,0	122.428,3	33,0
PKW	60.277,1	24,4	89.239,4	24,0
LKW/Busse	28.365,6	11,5	33.188,9	8,9
davon ÖPNV	1.301,9	0,5	1.526,2	0,4

Quelle: Eigene Berechnungen; GEMIS

Tabelle 51: Gesamt-CO₂-Emissionen der Hansestadt Greifswald

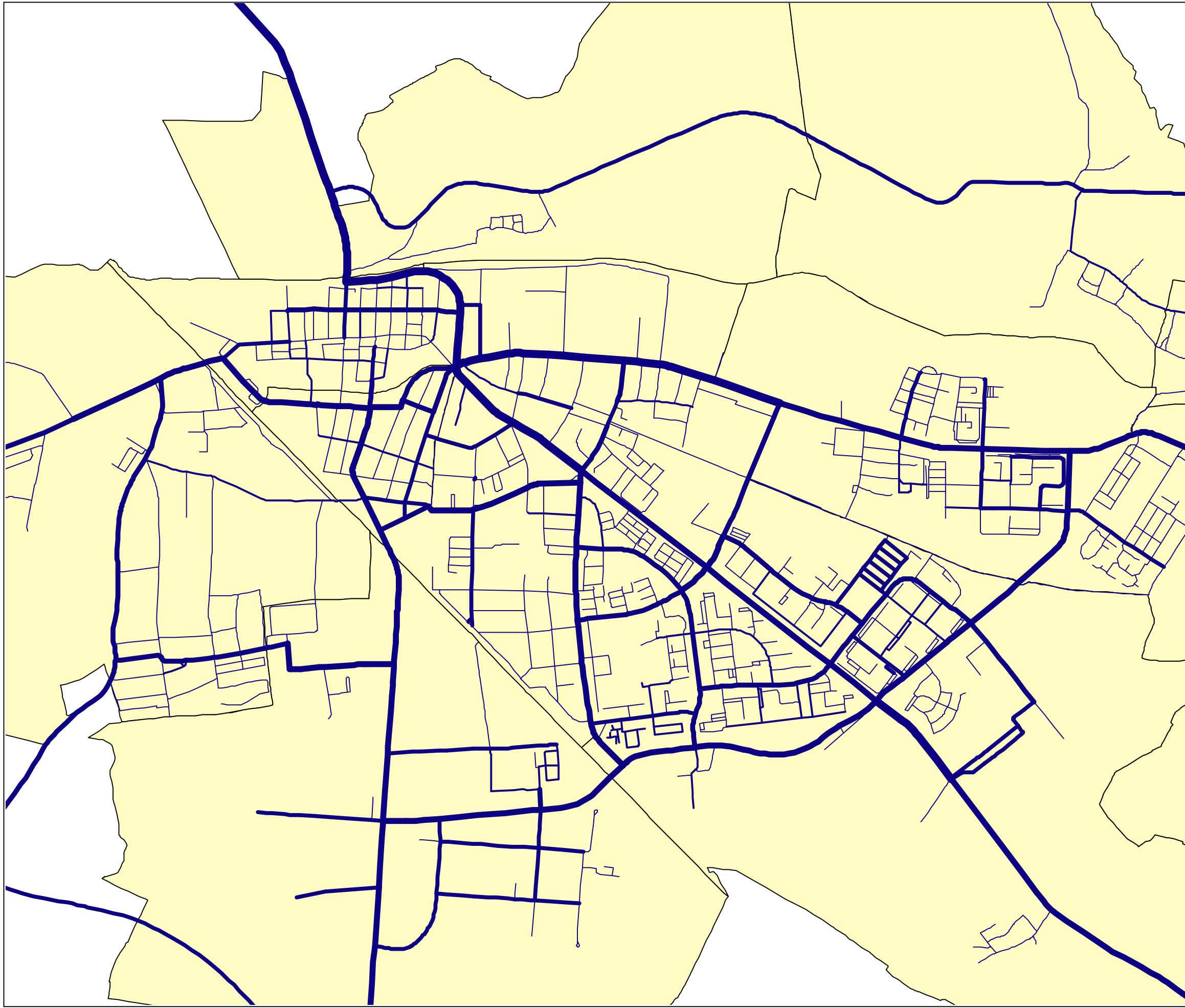
	lokal	total
Gesamte jährliche CO₂-Produktion in Greifswald [t/a]	246.565,4	371.305,5
CO₂-Produktion in Greifswald je Einwohner [t/(Ew*a)]	4,2	6,3
CO₂-Produktion in Greifswald je km² [t/(km ² *a)]	4.899,7	7.378,4








Quelle: Eigene Berechnungen; GEMIS

Anhang E: Kartenmaterial

Tabelle 52: Kartenübersicht


Kartennummer	Beschreibung
1	Durch das gesamte Verkehrsaufkommen bedingte lokale CO ₂ -Emissionen der Hansestadt Greifswald. Emissionen wurden auf die Streckenlängen normiert. Diese Karte befindet sich als DIN A2 – Vorlage auch auf dem beiliegenden Datenträger.
2	Durch den PKW-Verkehr bedingte lokale CO ₂ -Emissionen der Hansestadt Greifswald. Emissionen wurden auf die Streckenlängen normiert. Diese Karte befindet sich als DIN A2 – Vorlage auch auf dem beiliegenden Datenträger.
3	Durch den LKW-Verkehr bedingte lokale CO ₂ -Emissionen der Hansestadt Greifswald. Emissionen wurden auf die Streckenlängen normiert. Diese Karte befindet sich als DIN A2 – Vorlage auch auf dem beiliegenden Datenträger.
4	Darstellung der durch den Stromverbrauch der privaten Haushalte bedingten totalen CO ₂ -Emissionen der Hansestadt Greifswald. Die angegebenen Emissionen sind Absolutwerte, eine Normierung hat nicht stattgefunden, da die Darstellung nur auf Durchschnittswerten beruht. Bezugsgröße sind die Einwohner. Ziel ist nur die Veranschaulichung der kartographischen Möglichkeiten beim Vorhandensein einer entsprechenden Datenbasis. Darstellungsebene sind die statistischen Blöcke.
5	Darstellung der durch den Stromverbrauch der privaten Haushalte bedingten totalen CO ₂ -Emissionen für einen Ausschnitt der Hansestadt Greifswald. Die angegebenen Emissionen sind Absolutwerte, eine Normierung hat nicht stattgefunden, da die Darstellung nur auf Durchschnittswerten beruht. Bezugsgröße ist die Bruttogeschossfläche. Ziel ist nur die Veranschaulichung der kartographischen Möglichkeiten beim Vorhandensein einer entsprechenden Datenbasis. Darstellungsebene sind die Gebäude.



- Legende:**
- CO₂ Ausstoß in Kilogramm pro Jahr und Meter
von ... bis ... unter
-  0 - 100
 -  100 - 250
 -  250 - 500
 -  500 - 1000
 -  1000 - 2000
 -  2000 - 3000
-  Stadtgebiet Greifswald

**Durch den Straßenverkehr bedingter lokaler
CO₂-Ausstoß in Greifswald**

Maßstab: 1 : 20.000

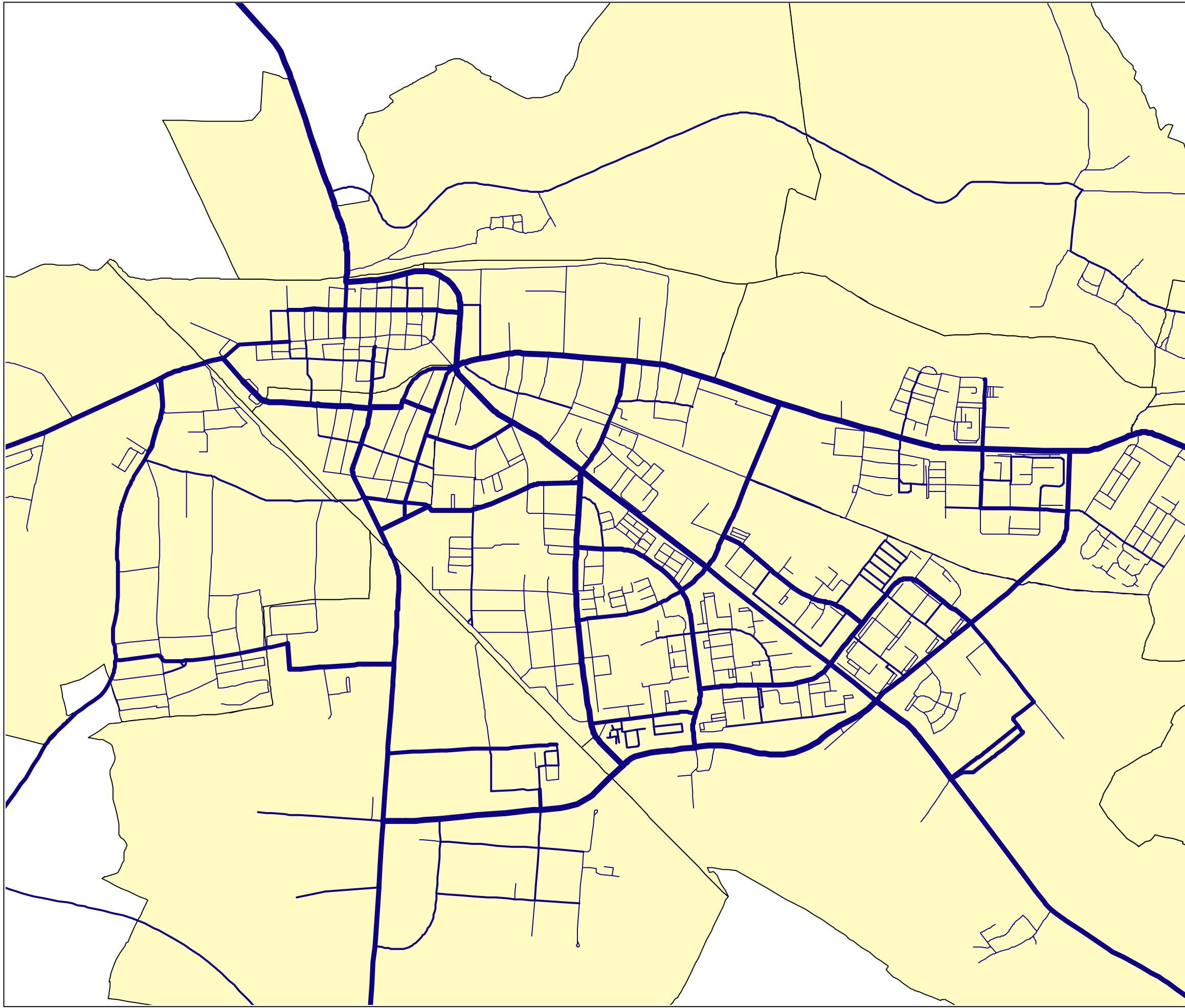









Karten-Nr.: 1

Erstellt: Bartelt



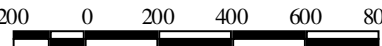
Quelle: Umweltamt Greifswald
Berechnungen nach GEMIS



- Legende:**
- CO2 Ausstoß in Kilogramm pro Jahr und Meter
von ... bis ... unter
-  0 - 100
 -  100 - 250
 -  250 - 500
 -  500 - 1000
 -  1000 - 2000
 -  2000 - 3000
-  Stadtgebiet Greifswald

**Durch PKW bedingter lokaler CO₂-Ausstoß
in Greifswald**

Maßstab: 1 : 20.000

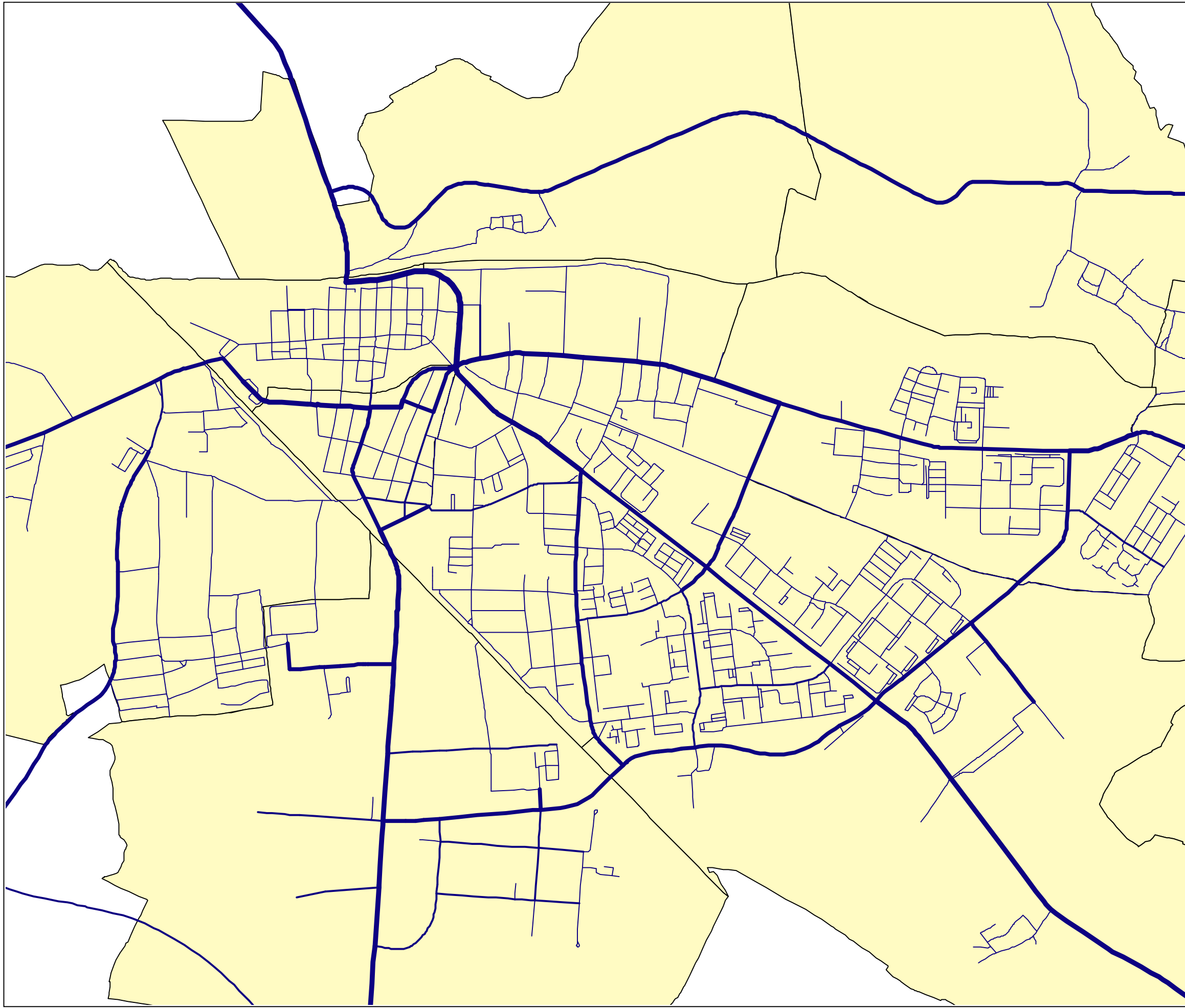


Karten-Nr.: 2

Erstellt: Bartelt










Quelle: Umweltamt Greifswald
Berechnungen nach GEMIS



Legende:


CO₂ Ausstoß in Kilogramm pro Jahr und Meter
von ... bis ... unter

-  0 - 100
-  100 - 250
-  250 - 500
-  500 - 1000
-  1000 - 2000
-  2000 - 3000

 Stadtgebiet Greifswald

**Durch LKWs und Busse bedingter lokaler
CO₂-Ausstoß in Greifswald**

Maßstab: 1 : 20.000

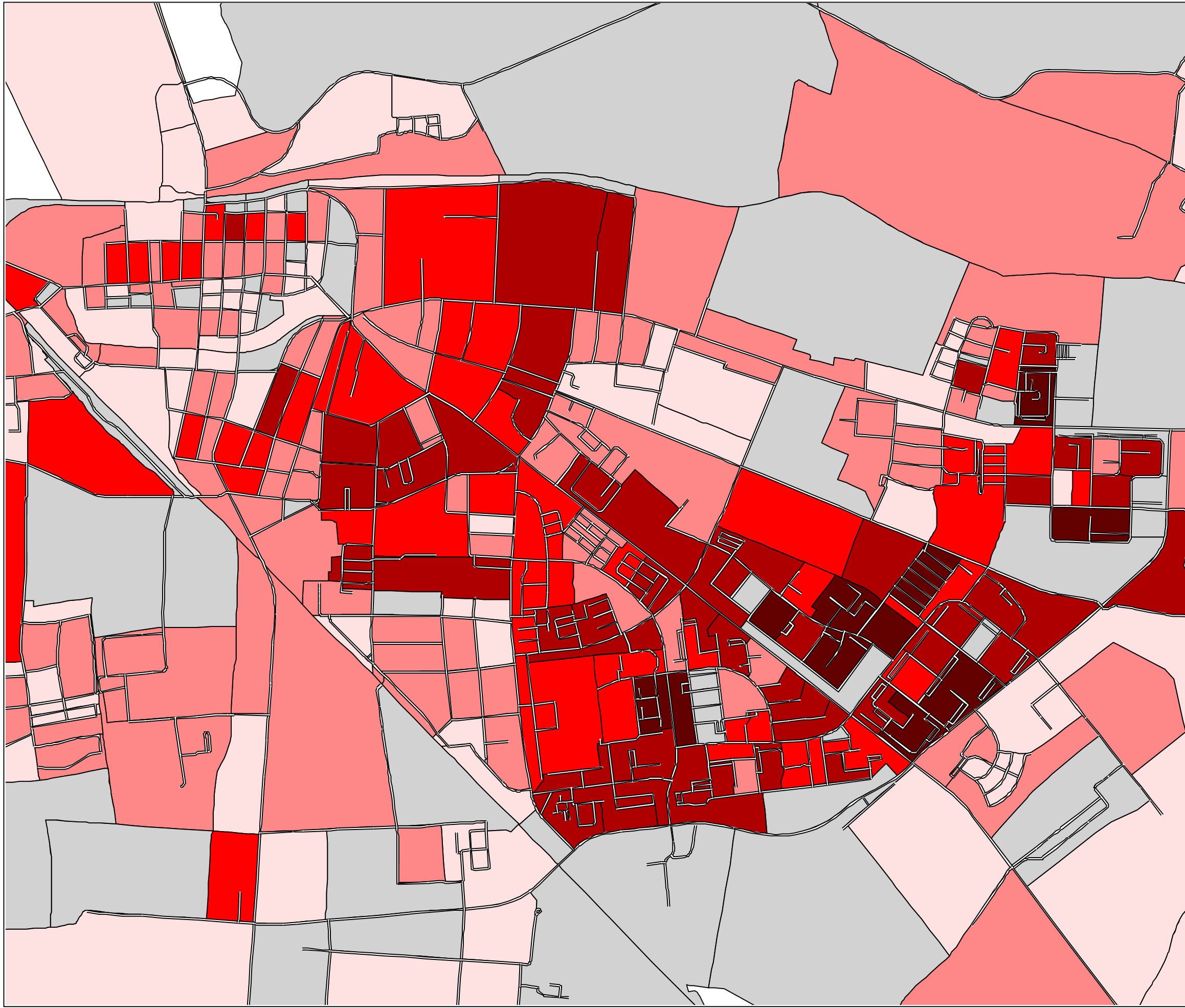


Karten-Nr.: 3

Erstellt: Bartelt



Quelle: Umweltamt Greifswald
Berechnungen nach GEMIS



Legende:

CO₂ Ausstoß in Tonnen pro Jahr
 von ... bis ... unter

- 1 - 50
- 50 - 150
- 150 - 250
- 250 - 500
- 500 - 1000
- 0

Straßen

Totaler CO₂-Ausstoß der privaten Haushalte für Strom auf Ebene der Statistischen Blöcke

Maßstab: 1 : 15.000

Karten-Nr.: 4

Erstellt: Bartelt



Quelle: Umweltamt Greifswald
 Amt für Statistik Greifswald
 Stadtwerke Greifswald GmbH
 Berechnungen nach GEMIS



Legende:

CO₂ Ausstoß in Kilogramm pro Jahr

von ... bis ... unter

1 - 10
10 - 25
25 - 100
100 - 200
200 - 400
0

⚡ Straßen

Totaler CO₂-Ausstoß der privaten Haushalte für Strom auf Gebäudeebene

Maßstab: 1 : 5.000

Karten-Nr.: 5

Erstellt: Bartelt

Quelle: Umweltamt Greifswald
 Amt für Statistik Greifswald
 Stadtwerke Greifswald GmbH
 Berechnungen nach GEMIS

