

Klimabilanz für die Stadt Darmstadt

Arbeitspapier für die



erarbeitet durch

Volker Lenz, Heinz-Peter Matheis, Atom Mirakyan, Peter Schreiber

betreut durch

Bernd Steinmüller, Institut Wohnen und Umwelt



sowie

Uwe R. Fritsche, Koordinator Bereich Energie & Klimaschutz



Büro Darmstadt

Elisabethenstr. 55-57

D-64283 Darmstadt

Tel. 06151-8191-0

Fax 06151-8191-33

Geschäftsstelle Freiburg

Binzengrün 34 a

D-79114 Freiburg

Tel. 0761-45295-0

Fax 0761-475437

Büro Berlin

Novalisstr. 10

D-10115 Berlin

Tel. 030-280-486-80

Fax 030-280-486-88

email fritsche@oeko.de <http://www.oeko.de/>

Darmstadt, Mai 2000

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	iii
Danksagung.....	vi
Kurzfassung	vii
1 Einleitung	1
2 Vorgehen	2
3 Sektor Haushalte	4
4 Sektoren Industrie und Kleinverbrauch (GHD).....	15
5 Sektor Verkehr	29
6 Umwandlungssektor: Strom, Fernwärme und Abfallwirtschaft	43
7 Ergebnisse der Klimabilanz Darmstadt	46
Literatur	50
Anhang 1: Gebäudedaten für Darmstadt	51
Anhang 2: Verkehrsdaten von Berlin	55

Abbildungsverzeichnis

Bild 1 Lokale Treibhausgasemissionen der Haushalte in Darmstadt	13
Bild 2 Gesamte Treibhausgasemissionen der Haushalte in Darmstadt	13
Bild 3 Gesamte Treibhausgasemissionen der Industrie in Darmstadt	23
Bild 4 Gesamte Treibhausgasemissionen des Sektors GHD in Darmstadt	28
Bild 5 Gesamte Treibhausgasemissionen in Darmstadt	48
Bild 6 Verursacheranteile der Treibhausgasemissionen in Darmstadt	48
Bild 7 Verursacheranteile für Treibhausgasen in Darmstadt – Rolle Energie und Abfall	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Gliederung und Vorgehensweise	2
Tabelle 2 Allgemeine Daten zu Darmstadt.....	3
Tabelle 3 Endenergiebedarf Haushalte in Deutschland und Darmstadt - personenbezogen.....	4
Tabelle 4 Endenergiebedarf Haushalte in Deutschland und Darmstadt - flächenbezogen	4
Tabelle 5 Strombedarf Haushalte 1997	5
Tabelle 6 Gasverbrauch Haushalte 1997	5
Tabelle 7 Fernwärmelieferung an Haushalte, 1992 (BRD-West).....	6
Tabelle 8 Heizölverbrauch der Haushalte, 1992 (BRD-West)	6
Tabelle 9 Endenergielieferung an Haushalte in Darmstadt	6
Tabelle 10 Endenergielieferungen an Haushalte in DA 1998	7
Tabelle 11 Energieträger zum Heizen 1987 und 1998	8
Tabelle 12 Mittlere Heizwärmeleitwert der Gebäudetypen für die alten Bundesländer	8
Tabelle 13 Heizwärmeleitwerte nach Gebäudetypen.....	9

Tabelle 14 Die Wohnfläche in m ² und als prozentualer Anteil der WF von Darmstadt nach Baualter und Typ incl. Anpassung an WF 1998.....	10
Tabelle 15 Spezifischer Heizwärmeverbrauch der verschiedenen Baualtersklassen und Gebäudetypen in kWh und Prozent	10
Tabelle 16 Die Verteilung der Wohnfläche nach Baualter und Gebäudetyp bezogen auf den Heizwärmebedarf.....	11
Tabelle 17 Zusammenstellung der Näherungen	11
Tabelle 18 Gradtagszahlen der letzten Jahre	12
Tabelle 19 Treibhausgasemissionen der Haushalte in Darmstadt	12
Tabelle 20 Gemessene Energiemengen der Versorger	15
Tabelle 21 Sektoreuzuordnung Energiebilanz und Wertschöpfungsrechnung.....	17
Tabelle 22 Industrie und GHD, mit Indikator Endenergieverbrauch pro Mio. DM BWS 17	
Tabelle 23 Branchenindikatoren Energieträger pro Mrd. DM Umsatz	19
Tabelle 24 Industriebranchen Darmstadt, Energieträger mit Indikatoren berechnet	19
Tabelle 25 Energiebedarf in Darmstadt 1998.....	20
Tabelle 26 Darmstadt -Endenergie, Indikator Endenergie pro Beschäftigter	20
Tabelle 27 Darmstadt Endenergie, mit Indikator Endenergie pro Mio. DM Umsatz.....	21
Tabelle 28 Industriebranchen Energiebedarf, korrigiert mit Verbraucherangaben	21
Tabelle 29 Darmstadt, Vergleich berechnete Verbräuche mit Angaben der Versorger	22
Tabelle 30 Lokale Emissionen der Industrie in Darmstadt.....	22
Tabelle 31 Gesamte Emissionen der Industrie in Darmstadt (inkl. Vorketten).....	23
Tabelle 32 Daten für Beschäftigte in 21 Branchen in Darmstadt 1997	24
Tabelle 33 GHD in Darmstadt mit Indikator Endenergieverbrauch pro Beschäftigter	25
Tabelle 34 Strom- und Brennstoffverbrauch für 7 Branchen	25
Tabelle 35 Energiebedarf des Sektors GHD - Abgleich mit Versorgerangaben	26
Tabelle 36 Energiebedarf des Sektors GHD nach Branchen	26

Tabelle 37 Lokale Treibhausgasemissionen des GHD-Sektors in Darmstadt	27
Tabelle 38 Gesamte Treibhausgasemissionen des GHD-Sektors in Darmstadt	27
Tabelle 38 Gliederung des Verkehrssektors	29
Tabelle 39 Nullte Näherung - Bundesdaten auf Darmstadt umgerechnet	31
Tabelle 40 PKW-Bestandsaufteilung für Graz 1995 (Graz, 1995).....	32
Tabelle 41 LKW-Verteilung für Graz 1995	33
Tabelle 42 Quervergleich Graz - Darmstadt.....	33
Tabelle 43 Verteilung der Fahrzeugkilometerleistungen nach Fahrzeugtypen.....	35
Tabelle 44 Aufteilung Verkehrsleistungen auf Basis bundesdeutscher Durchschnittswerte	36
Tabelle 45 Energiebedarf und Emissionen im Individual-Personen- und Güterverkehr	37
Tabelle 46 Wagenkilometer der ÖV-Busse in Darmstadt	38
Tabelle 47 Wagenkilometer der Straßenbahn in Darmstadt.....	38
Tabelle 48 Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen des ÖV	38
Tabelle 49 Abschätzung der Pkm im Schienenverkehr.....	39
Tabelle 50 Schienenverkehrsleistung der Personenzüge im Darmstädter Stadtgebiet	40
Tabelle 51 Energieaufwand und Emissionen im Schienenverkehr (ohne Straßenbahn).....	41
Tabelle 52 Ergebniszusammenfassung Verkehr.....	42
Tabelle 53 Abfallaufkommen von Haushalten und Gewerbe in Darmstadt für 1998	44
Tabelle 54 Entsorgungswege der Darmstädter Abfälle	45
Tabelle 55 Sektoraler Energieverbrauch in Darmstadt.....	46
Tabelle 56 Lokale CO ₂ -Äquivalente in Darmstadt.....	46
Tabelle 57 CO ₂ -Äquivalente in Darmstadt inkl. Vorkette.....	46
Tabelle 58 CO ₂ -Äquivalente mit Vorkette und neuem Strommix der HEAG	47
Tabelle 59 CO ₂ -Äquivalente für alle Sektoren und Betrachtungsfälle.....	47

Danksagung

Die vorgelegte orientierende Klimabilanz wurde durch die freundliche Unterstützung und Zusammenarbeit einer grossen Zahl von Personen und Institutionen ermöglicht.

Unser Dank gilt insbesondere

- Herrn Braun, Baudezernent der Stadt Darmstadt
- Herrn Bachmann, Statistisches Amt der Stadt Darmstadt
- Herrn Schimek, Energiebeauftragter der Stadt Darmstadt
- Herrn Ehl-Theis, Vermessungsamt der Stadt Darmstadt
- Herrn Strauß, Planungsamt Verkehr der Stadt Darmstadt
- Herrn Kusika, Eigenbetrieb Abfallentsorgung Darmstadt
- Herrn Karel, HEAG
- Herrn Rogotzki-Löffler, HEAG Verkehrsbetriebe
- Herrn Schmied, Öko-Institut
- Frau Brohmann, Öko-Institut
- Herrn Kammerer, Hessisches Statistisches Landesamt
- Herrn Eisold, Südhessische Gas- und Wasser AG
- Herrn Kreuz, Südhessische Gas- und Wasser AG
- Herrn Hoffmann, Firma Röhm
- Herrn Gray, Firma Merck
- Frau Strugel, IHK Darmstadt

Die Verantwortung für die vorgelegten Ergebnisse, die zugrundeliegenden Rechnungen sowie alle noch ggf. vorhandenen Fehler liegt allein bei den Autoren.

Darmstadt, Mai 2000

Die Bearbeiter und Projektbetreuer

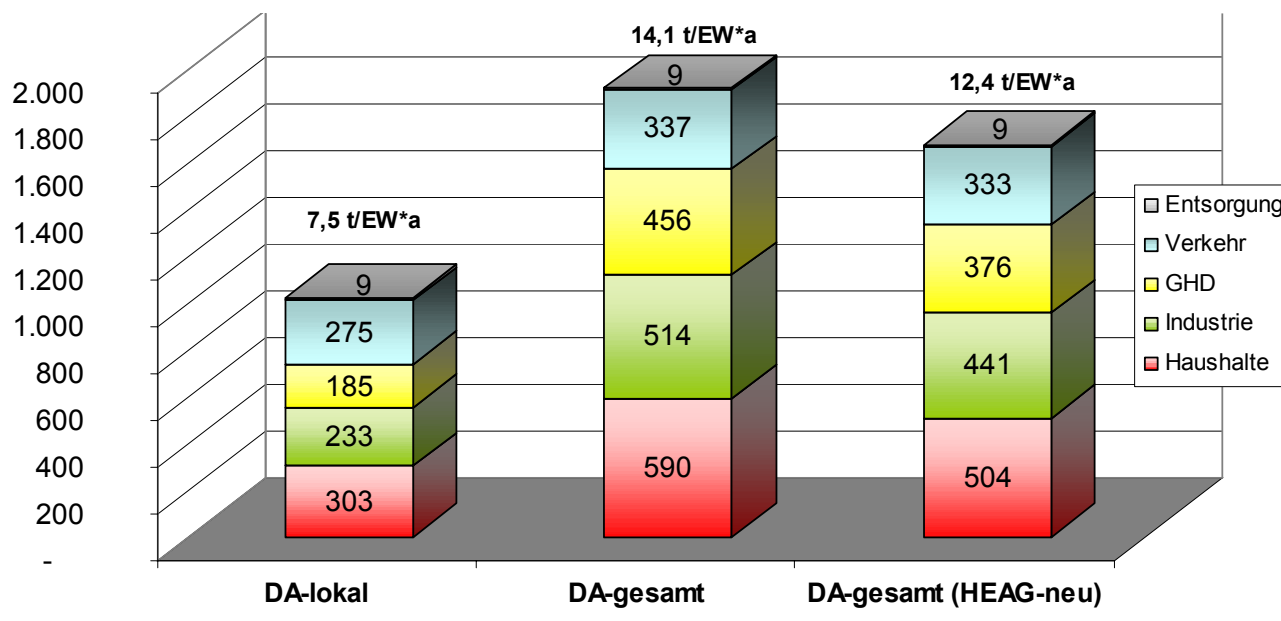
Kurzfassung

Im Rahmen der *Lokalen Agenda 21 Darmstadt* betreut das Öko-Institut die AG Klimaschutz, innerhalb derer u.a. die Themengruppe Energie (vom Institut Wohnen und Umwelt koordiniert) arbeitet. In der Themengruppe entstand die Idee, eine zumindest grobe Klimabilanz für Darmstadt zu erstellen, die eine Orientierung der für verschiedene Lebensbereiche vorgeschlagenen Massnahmen und Agenda-Projekte in Bezug auf ihre Wirksamkeit zum Klimaschutz erlaubt.

Die hier nun vorliegende Klimabilanz basiert auf vorhandenen bzw. gut zugänglichen Daten und wurde mit „Bordmitteln“ erstellt. Eine Gruppe von FH-Studenten recherchierte unter Anleitung von Öko-Institut und IWU diese Daten.

Die Ergebnisse geben ein Bild der klimarelevanten Emissionen, die durch „die Darmstädter“ verursacht werden - und zeigt klare Schwerpunkte für Massnahmen zur Reduktion dieser Emissionen. Die folgende Grafik zeigt die Ergebnisse im Überblick.

Bild I Emissionen an Treibhausgasen in Darmstadt 1998, absolut



Angaben in 1000 t CO₂-Äquivalente; GHD = Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (enthält u.a. öffentliche Hand)

Die Grafik zeigt zuerst die *lokalen* Emissionen, d.h. die im Darmstädter Stadtgebiet entstehenden Treibhausgase¹. Der 2. Balken zeigt die *Gesamte*missionen unter Einrechnung der außerhalb von Darmstadt emittierten Treibhausgase (Stromerzeugung, Raffinerien, Bergbau usw.). Der 3. Balken verdeutlicht, dass Ende 2000 durch Inbetriebnahme des Gemeinschaftskraftwerks Mainz die (strombedingten) Emissionen deutlich sinken werden.

Über den Balken wurden die CO₂-Äquivalente in pro-Kopf-Zahlen umgerechnet.

Mit rd. 1,9 Mio t CO₂-Äquivalenten verursacht Darmstadt knapp 0,2% der bundesdeutschen Emissionen – und liegt mit über 14 t/Kopf weit über dem Bundesdurchschnitt.

¹ In CO₂-Äquivalenten – hierin werden insbesondere CO₂, CH₄ und N₂O nach ihrer Klimawirksamkeit zusammengefasst.

Die folgende Grafik zeigt die prozentualen Anteile der Sektoren in Darmstadt an der Gesamtemission von Treibhausgasen (heutiges Strommix).

Bild II Verursacheranteile für Treibhausgase in Darmstadt - Rolle der Sektoren

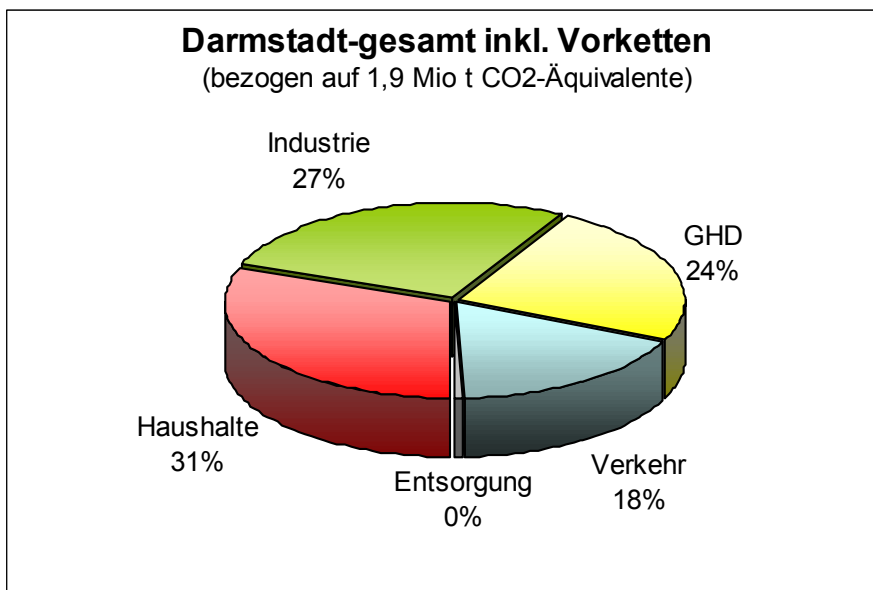
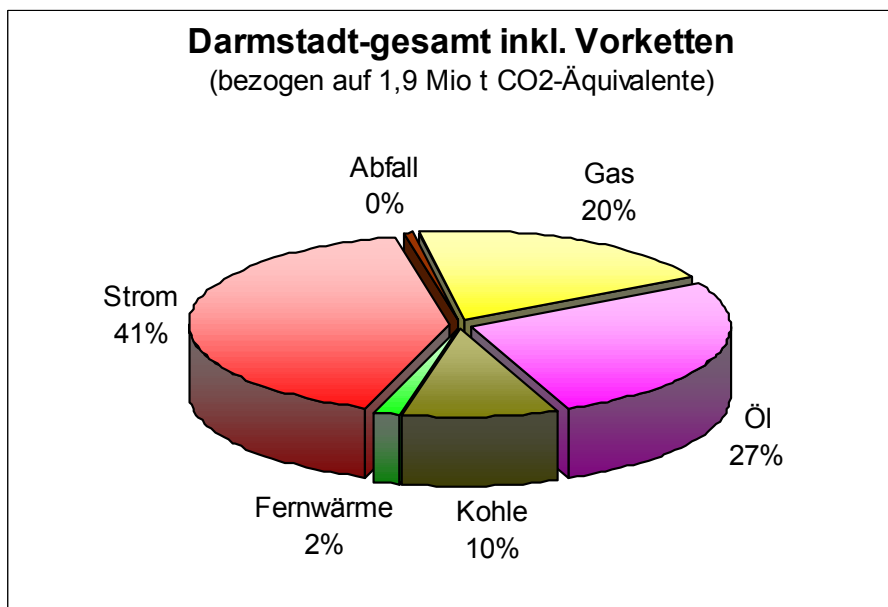


Bild II verdeutlicht, dass die Haushalte in Darmstadt den wichtigsten Verursacher darstellen, gefolgt von der Industrie und dem Sektor Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD genannt) mit jeweils rund ¼ der Gesamtemission. Der Verkehrssektor verursacht knapp 1/5 der Emissionen, während die Abfallentsorgung (Müllverbrennung) unter 1% beiträgt.

Die nächste Grafik zeigt die Verteilung der Treibhausgase auf jeweiligen Verursacher.

Bild III Verursacheranteile für Treibhausgasen in Darmstadt – Rolle Energie und Abfall



Diese Grafik zeigt die dominante Rolle des Stroms, gefolgt von Öl (für Heizen und Verkehr).

Zur Senkung der Treibhausgasemissionen sind somit Schwerpunkte bei dem Strom (Erzeugung und Nachfrage), dem Raumwärmebedarf der Haushalte sowie dem Individualverkehr zu setzen.

1 Einleitung

Im Rahmen der *Lokalen Agenda 21 Darmstadt* betreut das Öko-Institut die AG Klimaschutz, innerhalb derer u.a. die Themengruppe Energie (vom Institut Wohnen und Umwelt koordiniert) arbeitet.

Im Zuge der inhaltlichen Arbeit zu einem „Agenda-Fahrplan“ entstand in der Themengruppe die Idee, eine zumindest grobe Klimabilanz für Darmstadt zu erstellen, die eine Orientierung der für verschiedene Lebensbereiche vorgeschlagenen Maßnahmen und Agenda-Projekte in Bezug auf ihre Wirksamkeit zum Klimaschutz erlaubt:

- Die Klimabilanz soll die Anteile der verschiedenen Verursachergruppen in Darmstadt aufzeigen
- Sie sollte innerhalb der Verursachergruppen (z.B. Verkehr) die einzelnen Aktivitäten und deren Klimawirksamkeit darstellen
- Sie sollte sich auf ein möglichst aktuelles Basisjahr (1997/87) beziehen und fortschreibbar sein.

Da keine eigenen Mittel zur Erstellung einer solchen Klimabilanz von der Stadt Darmstadt vergeben wurden², basiert die nun vorliegende orientierende Klimabilanz vorhandene bzw. gut zugängliche Daten und wurde mit „Bordmitteln“ erstellt. Eine Gruppe von Studenten der FH Darmstadt recherchierte unter Anleitung von Öko-Institut und IWU diese Daten und wurde dabei von vielen Stellen und Personen unterstützt (vgl. Danksagung).

Die orientierende Klimabilanz wurde so angelegt, dass sie prinzipiell auch auf andere Städte und Gemeinden übertragbar ist, wenn die jeweiligen Grunddaten angepasst werden. Außerdem ist sie fortschreibbar und kann in der Detaillierung weiter verbessert werden – sie ist damit die Grundlage für anschließende Folgearbeiten.

Die recherchierten Daten geben ein generelles Bild der klimarelevanten Emissionen, die durch „die Darmstädter“ verursacht werden - und zeigt klare Schwerpunkte für Maßnahmen zur Reduktion dieser Emissionen.

In Ergänzung zu den Recherchen der Studentengruppe erfolgte eine Modellierung der Strom- und Fernwärmebereitstellung in Darmstadt durch das Öko-Institut.

Alle Emissionsbilanzen beruhen auf dem Computermodell GEMIS des Öko-Instituts, dessen aktuellste Version 4.0 verwendet wurde³.

² Dies wäre im Rahmen der für 1990/2000 geplanten Erstellung eines kommunalen Klimaschutz-Konzepts erfolgt. Das Konzept wurde jedoch aufgrund fehlender Förderung durch das Land Hessen nicht ausgeschrieben.

³ GEMIS steht für Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme. Dieses Computermodell ist kostenlos im Internet unter <http://www.oeko.de/service/gemis> erhältlich.

2 Vorgehen

Zur Ermittlung von Größenordnungen für die in Darmstadt freigesetzten bzw. durch Darmstädter Aktivitäten insgesamt verursachten Treibhausgase werden die Emittenten in verschiedene Sektoren und Gruppen eingeteilt, für die Grunddaten und statistische Informationen erhoben werden können.

Danach erfolgen Abschätzungen in verschiedenen Näherungen, die jeweils spezieller auf die lokalen Verhältnisse eingehen, dafür aber auch einen höheren Aufwand bei der Datenbeschaffung erfordern.

Die folgende Tabelle zeigt die Datenquellen unterteilt nach den Näherungsstufen und Sektoren.

Tabelle 1 Gliederung und Vorgehensweise

	Haushalte	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	Industrie	Verkehr	Umwandlungssektor, Abfall
0-te Näherung	Wärmebedarf Wohngebäude: Kennzahlen BRD	Beschäftigte nach Branchen mit EKZ BRD auf DA umgerechnet	Beschäftigte + Umsatz mit EKZ auf DA umgerechnet	BRD- und Hessen-daten über Einwohner umgerechnet	Strommix BRD aus GEMIS
1-te Näherung	Anteile Energieträger: Einzeldaten EVU, GWZ 87	Einzelverbrauch von Verwaltung, Hochschulen, Krankenhäuser	Einzel erfassung Großbetriebe (Röhm, Merk)	Querabschätzung mit vergleichbaren Städten	
2-te Näherung	Wärmebedarf per Gebäudetypologie, Strom/Gas/Fernwärme per EVU-Daten + Einzelermittlung			stadtspezifische Verkehrszählungen, Zulassungsdaten, Befragungen	Strommix nach EVU-Daten, lokale Anlagen in GEMIS modelliert Abfallmengen Darmstadt

Abkürzungen:

- DA = Darmstadt
- EKZ = Energiekennzahl
- EVU = Energieversorgungsunternehmen
- GEMIS = Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (Computerprogramm)
- GWZ = Gebäude- und Wohnungszählung
- IHK = Industrie- und Handelskammer

Bei der Berechnung der Treibhausgasfreisetzung wurden einerseits die direkt in Darmstadt entstehenden Emissionen durch Energieverbrauch und Abfallentsorgung (Verbrennung in Heizungen, Heizwerken, Müllverbrennung usw.) bestimmt und andererseits auch die damit verbundenen, aber außerhalb Darmstadts emittierten Treibhausgase (Stromerzeugung, Raffinerien, Ölförderung usw.) berücksichtigt.

Die „außerorts“-Emissionen wurden mit der aktuellen bundesdeutschen Datenbasis des Computerprogramms GEMIS (vgl. Öko 2000) berechnet.

Die Datenabschätzungen bei der „Nullten Näherung“ (Umrechnung bundesdeutscher Werte) beruhen auf einer Reihe von Kenndaten für Darmstadt, die folgende Tabelle zeigt.

Tabelle 2 Allgemeine Daten zu Darmstadt

Kenngröße	Bezug	Kenndatum	Einheit
Fläche	Stadtfläche DA 1997	12.223	ha
Einwohner	Einwohner DA 1992	140.035	EW
	Einwohner DA 1997	136.256	EW
Gebäude	Wohnungen DA 1987	67.661	WE
	Wohnfläche DA 1987	4.960.499	m ²
	Wohnungen DA 1998	73.702	WE
	Wohnfläche DA 1997	5.421.000	m ²
Kennzahlen	spezifische Wohnfläche 1997 in DA	73	m ² /WE
	Haushaltsgröße 1998 in DA	1,8	Personen/WE
	spezifische Wohnfläche in DA	39,8	m ² /Darmstädter
	spezifische Wohnfläche in der BRD	34,5	m ² /Bundesbürger
	Verhältnis DA zur BRD	+ 15%	WF/Kopf

Abkürzungen:

DA = Darmstadt

EW = EinwohnerIn

ha = Hektar (10.000 m²)

WE = Wohneinheit (Wohnung bzw. Haus)

WF = Wohnfläche

In den folgenden Kapiteln werden die Datenhintergründe und Ergebnisse für die einzelnen Sektoren Haushalte, Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (GHD), Industrie, Verkehr sowie Strom- und Fernwärme (inkl. Müllverbrennung) dargestellt.

3 Sektor Haushalte

Die Treibhausgasemissionen der Haushalte stammen aus der direkten Nutzung von Energieträgern zum Heizen, Warmwasser, Kochen sowie elektrischer Geräte. Als Energieträger kommen Öl, Gas, Fernwärme, Strom und Festbrennstoffe (Kohle, Holz) zum Einsatz. Die Ermittlung des Endenergieverbrauches aller Haushalte in den Stadtgrenzen von Darmstadt wird stufenweise mittels verschiedener Näherungen vorgenommen.

3.1 Haushalte: Nullte Näherung

Die "Nullte Näherung" ermittelt über Kennzahlen des Bundes eine erste Schätzung für den Verbrauch der Haushalte an Endenergie. Im Rahmen der "Nullten Näherung" werden mehrere voneinander unabhängige Wege beschrrieben, um größtmögliche Genauigkeiten zu erreichen.

Zum Einen wird der Verbrauch aller Energiearten auf Personen, die in Darmstadt gemeldet sind und auf die Wohnfläche von Darmstadt bezogen. Zum Anderen werden die verschiedenen Energieträger, die in Deutschland verbraucht werden auf Darmstadt umgerechnet.

Die Nullte Näherung geht von Verbrauchsdaten des Bundes aus und ermittelt über die Wohnbevölkerung den pro-Kopf-Verbrauch in der BRD (vgl. Tabelle 3) bzw. den pro Wohnfläche (vgl. Tabelle 4), um daraus über die Darmstädter Einwohnerzahl bzw. Wohnfläche den Endenergiebedarf für Darmstädter Haushalte zu berechnen.

Tabelle 3 Endenergiebedarf Haushalte in Deutschland und Darmstadt - personenbezogen

	Kenngröße	Einheit
Endenergiebedarf BRD	788.686	GWh
Einwohner BRD	82.060.000	EW
spezifischer Endenergiebedarf BRD	9,61	MWh/EW
Einwohner DA	136.256	EW
Ergebnis: Endenergiebedarf DA	1310	GWh/a

BRD-Daten nach (BMWi 1999)

Tabelle 4 Endenergiebedarf Haushalte in Deutschland und Darmstadt - flächenbezogen

Endenergieverbrauch pro m2 Wohnfläche, BRD für:	Kenngröße	Einheit
Energiebedarf Heizen, Haushalte BRD	200	kWh/m ² *a
Energiebedarf Warmwasser, Haushalte BRD	20	kWh/m ² *a
Strombedarf Haushalte, BRD	30	kWh/m ² *a
Endenergie je qm Wohnfläche, Haushalte BRD	250	kWh/m ² *a
Wohnfläche in DA	5.421.000	m ²
Ergebnis: Endenergieverbrauch DA	1355	GWh/a

BRD-Daten nach (KfW 2000), Wohnfläche in DA nach (DA 1998)

3.1.1 Endenergieeinsatz nach Energieträgern

Des Weiteren wird der Endenergieverbrauch der Haushalte in Darmstadt für die verschiedenen Energieträger personenbezogen ermittelt. Diese Näherung bezieht sich ebenfalls auf Kennzahlen des Bundes und dient zum Vergleich mit dem o.g. Vorgehen. Der Verbrauch von Kohle zu Heizzwecken wird dabei wegen seines sehr geringen Anteils vernachlässigt.

Die Anteile von Heizöl und Fernwärme werden aufgrund der strukturell unterschiedlichen Energieversorgung in den Neuen Bundesländern (Ostdeutschland) mit den Energie-, Bevölkerungs- und Flächendaten für Westdeutschland ermittelt.

Tabelle 5 Strombedarf Haushalte 1997

	Kenngröße	Einheit
Strombedarf Haushalte BRD	130.800	GWh/a
Einwohner BRD	82.060.000	EW
Strombedarf pro Einwohner	1,59	MWh/a*Pers
Einwohner DA 1997	136.256	EW
Ergebnis: Strombedarf der HH in DA	217	GWh/a

BRD-Daten nach (BMWi 1999)

Tabelle 6 Gasverbrauch Haushalte 1997

	Kenngröße	Einheit
Gasverbrauch	294.700	GWh/a
Einwohner	82.060.000	EW
Gasverbrauch / EW	3,59	MWh/a*Pers
Einwohner DA 1997	136.256	EW
Ergebnis: Gasverbrauch der HH in DA	489	GWh/a

BRD-Daten nach (BMWi 1999)

Tabelle 7 Fernwärmelieferung an Haushalte, 1992 (BRD-West)

	Kenngröße	Einheit
Fernwärmebedarf Haushalte, BRD-West 1992	24.420	GWh/a
Einwohner BRD-West 1992	64.860.000	EW
Fernwärme je Einwohner, BRD-West 1992	0,38	MWh/a*Pers
Einwohner DA 1992	140.035	EW
Ergebnis: Fernwärmebedarf der HH in DA	53	GWh/a

BRD-West-Daten nach AGEB

Tabelle 8 Heizölverbrauch der Haushalte, 1992 (BRD-West)

	Kenngröße	Einheit
Ölverbrauch Haushalte BRD-West	225.478	GWh/a
Einwohner BRD-West	64.860.000	EW
Ölverbrauch je Einwohner, BRD-West	3,48	MWh/a*Pers
Einwohner DA 1992	140.035	EW
Ergebnis: Heizölverbrauch der HH in DA	487	GWh/a

BRD-West-Daten nach AGEB

Aus diesen Umrechnungen für die einzelnen Energieträger ergibt sich damit insgesamt folgende Übersicht:

Tabelle 9 Endenergielieferung an Haushalte in Darmstadt

Energieträger	Kenngröße	Einheit
Erdgas	489	GWh
Heizöl	487	GWh
Fernwärme	53	GWh
Strom	217	GWh
Summe Endenergie Haushalte	1246	GWh/a

Quelle: eigene Berechnungen

Der gegenüber der aggregierten Schätzung um rund 15% niedrigere Endenergiebedarf ergibt sich einerseits aus dem älteren Bezugsjahr, andererseits aus der differenzierteren Betrachtung (nur Westdeutschland).

3.2 Haushalte: Erste Näherung

In der 1. und 2. Näherungen werden die Liefer- und Verbraucherseite mit verschiedener Datentiefe betrachtet.

Endenergieeinsatz

Die nächste Näherung ermittelt über Einzelabfragen der Lieferseite den Verbrauch von Strom, Gas und Fernwärme (Südhessische und HEAG). Da Heizöl von einer Vielzahl von privatwirtschaftlichen Unternehmen an die Haushalte geliefert wird, wurde eine Vereinfachung vorgenommen.

In DA erzeugten laut GWZ 1987 29,8% der Haushalte die Raumwärme mit Heizöl. Eine Verschiebung - durch die Modernisierungen der letzten Jahre - in der Wahl der eingesetzten Energieform wurde berücksichtigt (Tabelle 11).

Tabelle 10 Endenergielieferungen an Haushalte in DA 1998

	Haushalte in DA, 1998: 73702 HH	Verbrauch GWh	Zu Heizzwecken GWh	Summe (GWh, bei Gas 89 % von H ₀)	Anteile
Stromverbrauch		278,4	5,0	327,9	21 %
Gasverbrauch (H ₀)	29197 HH			662,1	42 %
Fernwärme	9568 HH			123,8	8 %
Heizöl: 30% des Endenergieverbrauchs (GWZ 1987)				477,4	30 %
Endenergieverbrauch HH, DA				1591,2	100 %

Die Differenz zur Nullten Näherung können unterschiedliche Gründe haben. Zum Einen in den ortsspezifischen Eigenschaften (Gradtagszahlen, Bebauungsstruktur und Wohnfläche je Einwohner) zum Anderen aber auch in dem individuellen Nutzerverhalten. (Haushaltsgrößen - Singlehaushalte, Altersverteilung, Einkommensverhältnisse)

Heizenergieverbrauch nach der Energieträger

Die folgenden Näherungen ermitteln den Endenergieverbrauch nicht wie die vorangegangenen von der Lieferseite aus, sondern betrachten die Verbraucherseite.

Der 1. Schritt ist die Auswertung der Gebäudezählung von 1987, ein zweiter die Klassifizierung des Gebäudebestandes von Darmstadt in bestimmte Gebäudetypen, denen ein spezifischer Heizenergieverbrauch zugeordnet werden kann.

Des weiteren wurden Überlegungen zur Verschiebung des Brennstoffeinsatzes zur Erzeugung von Raumwärme der letzten Jahre gemacht.

Tabelle 11 Energieträger zum Heizen 1987 und 1998

	Gas	Heizöl	Fernwärme	Strom	sonstige (Kohle, Holz)	Summe HH
1987 Raumwärme, Erhebung	30446	19.776	6.254	7.214	2.596	66286
in %	45,9%	29,8%	9,4%	10,8%	3,9%	100%
1998 Raumwärme, geschätzt						73702
Anteile 1998, gerundet	50%	30%	10%	10%	0%	100%

3.3 Haushalte: Zweite Näherung

Um den Heizenergiebedarf von Darmstadt differenzierter beschreiben zu können, wurden in der zweiten Näherung die statistischen Bezirke der Stadt betrachtet.

Die Gebäude der statistischen Bezirke wurden unter Zuhilfenahme von Kartenmaterial des Vermessungsamtes, den Luftbildaufnahmen von 1993 und eigenem Augenschein in verschiedene Baualtersklassen und Gebäudetypen eingeteilt. Als Ausgangspunkt dazu diente die Gebäudetypologie des IWU.

Tabelle 12 Mittlere Heizwärmekennwert der Gebäudetypen für die alten Bundesländer

	A	B	C	D	E	F	G	H	Gesamt
EFH	238	185	204	253	146	141	119	120	171
RH	-	203	166	163	160	156	121	94	156
MFH	190	163	179	184	173	127	98	76	155
GMH	-	161	164	151	153	123	-	-	143
HH	-	-	-	-	105	120	-	-	113
Gesamt	223	177	187	207	157	138	113	102	161

Angaben in kWh/(m²a) nach (IWU 1996)

Dargestellt sind die durchschnittlichen Nutzenergiekennwerte in kWh pro m² Wohnfläche und Jahr unter Berücksichtigung nachträglicher energetischer Sanierung. Unterstellt wurden Standardnutzung und zentrale Beheizung (Standard - Nutzung). In der letzten Zeile und der letzten Spalte sind die nach Wohnflächenanteilen gewichteten Mittel wiedergegeben.

EFH: freistehende Ein/Zwei- Familienhäuser

RH: Reihenhäuser

MFH: Mehrfamilienhäuser bis 4 ½ Geschosse

GMH: Mehrfamilienhäuser 5-8 Geschosse

HH: Hochhäuser über 8 Geschosse

Fachwerk vor 1918: Fachwerkbau bis zum Ende des 1. Weltkrieg

Massivbau vor 1918: Massivbauten bis zum Ende des 1. Weltkriegs

1918 - 1948: Bauten zwischen 1. und 2. Weltkrieg

1949 - 1957: In den Nachkriegsjahren aufgrund Materialmärkte, niedriger Anforderung in Bauvorschriften und des hohen Wohnungsbedarfs qualitativ einfache Baukonstruktion mit geringen Materialstärken; Anforderung an den baulichen Wärmeschutz nach der DIN 4108 nicht immer eingehalten

1958 - 1968: Mindestanforderung nach der DIN 4108 meist eingehalten und gelegentlich übererfüllt; am Ende dieses Zeitraums Gebäude- und Wohnungszählung 1968 mit umfangreichem Datenmaterial zur Gebäudestruktur

1969 - 1978: Ergänzende Bestimmungen zur DIN 4108; erste Ölpreiskrise => erforderlicher Mindestwärmeschutz nach der DIN 4108 meist übertroffen;

1977: I. WSchVO; 1978 1% - Wohnungsstichprobe;

ab 1984: II. WSchVO; jüngste Baujahrgänge; unter den gegenwärtig geltenden Rahmenbedingungen des Wohnungsbaus erfasst.

Um eine Vereinfachung der Klassifizierung des IWU (bestehend aus 30 Gebäudetypen) zu erreichen, wurde vom IWU eine hessische Gebäudetypologie vorgeschlagen. Diese sieht anstelle der Vierteilung in EFH, RH, KMH und GMH durch Zusammenfassung von KMH und GMH eine Dreiteilung vor. Des Weiteren werden die altersabhängigen Typen A bis D, E sowie G und H zusammengefasst, so dass drei Baualtersklassen entstehen.

Den einzelnen Gebäudetypen werden analog der obigen Zusammenfassung spezifische Heizwärmekennwerte in kWh/m² und Jahr, als arithmetisches Mittel der Angaben aus der Quelle (IWU 1996) zugeordnet

Tabelle 13 Heizwärmekennwerte nach Gebäudetypen

Gebäudetypen	Baualtersgruppen		
	-1948	1949 - 1978	1979 - 2000
Freistehende EFH	220	135	120
Reihenhäuser	177	146	94
Mehrfamilienhäuser	170	128	76

Unter Zuhilfenahme von Luftbildern wurde eine Auswertung vorgenommen.

Die einzelnen Gebäude wurden für jeden statistischen Bezirk in die entsprechenden Baualtersklassen und Gebäudetypen eingeteilt. Die Abschätzung bezieht sich auf die Wohnfläche und ist in Prozent der im statistischen Bezirk erfassten Wohnfläche angegeben (siehe hierzu Anhang 1).

Die Wohnfläche wurde der GWZ 87 entnommen, welche die Wohnfläche für jeden statistischen Bezirk ermittelt hat. Der Wohnflächenzuwachs zwischen 1987 und 1998 betrug rund 9% und wurde allen Bezirken gleichermaßen angerechnet.

Eine Zusammenfassung der Auswertung stellt die Wohnfläche und den prozentualen Anteil an der gesamten Wohnfläche in Darmstadt dar.

Tabelle 14 Die Wohnfläche in m² und als prozentualer Anteil der WF von Darmstadt nach Baualter und Typ inkl. Anpassung an WF 1998

Gebäudetypen	Baualtersgruppen					
	-1948		1949 - 1978		1979 - 2000	
Freistehende EFH	379312	7%	597678	11%	131575	2%
Reihenhäuser	5131	0%	442590	8%	132875	2%
Mehrfamilienhäuser	1355672	25%	1918547	35%	457620	8%

Aufgrund der Einschätzung der Wohnflächen in die spezifischen Kategorien für den Heizwärmeverbrauch ergibt sich folgender Verbrauch in kWh.

Tabelle 15 Spezifischer Heizwärmeverbrauch der verschiedenen Baualtersklassen und Gebäudetypen in kWh und Prozent

Gebäudetypen	Baualtersgruppen					
	-1948		1949 - 1978		1979 - 2000	
Freistehende EFH	83448640	11%	80885756	11%	15789000	2%
Reihenhäuser	909897	0%	64470610	8%	12490250	2%
Mehrfamilienhäuser	230851575	30%	246396250	32%	34779120	5%
Summe					770021099	

Um den ermittelten Heizwärmebedarf mit den vorherigen Näherungen vergleichen zu können, wird nach KfW (2000) eine Erhöhung um 20 % vorgenommen, um den Endenergieverbrauch der Haushalte für Raumwärme zu erhalten.

Endenergieverbrauch für Raumwärme	921,6 GWh/a
--	--------------------

Eine direkte Gegenüberstellung von Gebäudetyp und Altersklasse zum Heizwärmebedarf in Prozent zeigt das der spezifisch höhere Verbrauch bei den älteren Einfamilienhäusern liegt.

Tabelle 16 Die Verteilung der Wohnfläche nach Baualter und Gebäudetyp bezogen auf den Heizwärmebedarf

Gebäudetyp		Heizwärmebedarf	
EFH	20%	EFH	23%
RH	11%	RH	10%
MFH	69%	MFH	66%
Baualtersklassen		Heizwärmebedarf	
-1948	32%	-1948	41%
1949-1978	55%	1949-1978	51%
1979-2000	13%	1979-2000	8%

3.4 Haushalte: Die Näherungen in der Übersicht

Im folgenden werden die Ergebnisse der drei Näherungen gegenübergestellt.

Tabelle 17 Zusammenstellung der Näherungen

	Bezug	Betrachtungsraum	Endenergie	
0.-Näherung	Pro Kopf	Bund	1310	GWh/a
	Pro WF		1355	GWh/a
	Pro Kopf	Bund nach Energieträger	1246	GWh/a
1.-Näherung	Nach Lieferung/Heizöl über Abschätzung	Darmstadt	1601	GWh/a
2.-Näherung	nur Raumwärme	Darmstadt	922	GWh/a

Wenn der Energienteil für den Heizwärmebedarf bei Haushalten mit 75% (KfW 2000) des Endenergiebedarfes angenommen wird (25% für Warmwasser, Kochen usw.), ergibt sich ein Endenergieverbrauch der Haushalte in Darmstadt von:

	Bezug	Betrachtungsraum	Endenergie	
2.-Näherung	Zu Heizzwecken	Darmstadt	922	GWh/a
	Gesamt	Darmstadt	1229	GWh/a

Die Diskrepanz zu der 2.Näherung kann sich sowohl aus einer fehlerhaften Einschätzung der Gebäudeeigenschaften als auch aufgrund anderer spezifischer Heizenergieverbrauchsdaten ergeben.

Die Daten wurden nicht temperaturbereinigt, da es sich bei den betrachteten Jahren um durchschnittliche Jahre handelt, wie die Tabelle unten zeigt.

Tabelle 18 Gradtagszahlen der letzten Jahre

	1951-1971	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Deutschland.*	3883						
Darmstadt*	3803						
Riedstadt				3210	3725	3299	3184
Hanau		3145	2875	3180	3648	3064	3058

* Durchschnittswerte, 1951-71. Quelle: VDI 3807, Juni 1994. Landkreis Darmstadt Dieburg, Abt. III/3-Energie

3.5 Umrechnung in CO₂-Äquivalente

Mit Emissionsfaktoren aus GEMIS wurden die Endenergiebedarfe auf die lokalen und über-regionalen Treibhausgasemissionen umgerechnet und dann summiert.

Dies zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 19 Treibhausgasemissionen der Haushalte in Darmstadt

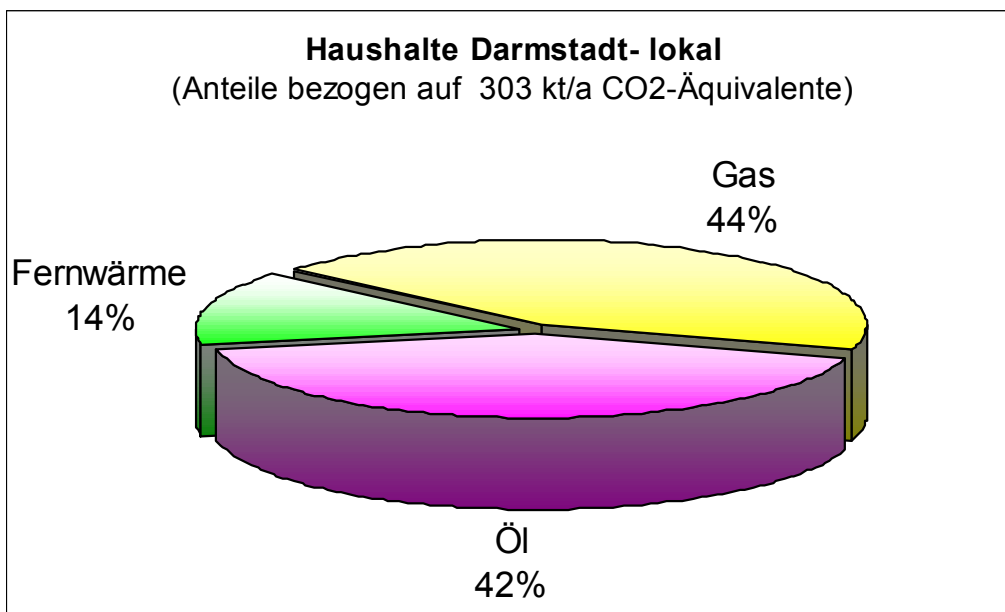
	Endenergie DA 1998, GWh/a	Emissionsfaktor lokal	Emission lokal	Emissionsfaktor Vorketten*	Emission Vorketten	Emission gesamt
		g/kWh	t/a	/kWh	t/a	t/a
Strom	327,9	0	0	848		0
Gas	662,1	200	132.428	20	13.243	145.671
Fernwärme	123,8	344	42.598	-135	-16.717	25.880
Heizöl	477,4	269	128.410	25	11.934	140.344
Summen			303.435		8.460	311.895

Angaben in CO₂-Äquivalenten

*= Die negativen Werte bei der Fernwärme beruhen auf einer Gutschrift für den parallel erzeugten Strom.

Die folgenden Bilder geben diese Resultate in grafischer Form wieder.

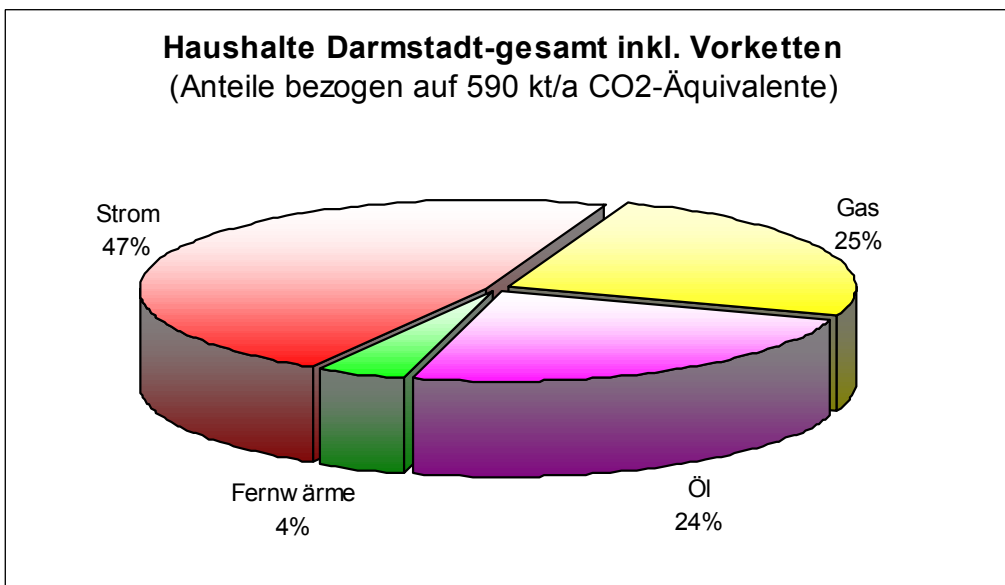
Bild 1 Lokale Treibhausgasemissionen der Haushalte in Darmstadt



In Bild 1 werden die Anteile der Energieträger als Ursachen der Emissionen dargestellt, wobei der Strom aus dem HEAG-Bezug *lokal* praktisch keine Emissionen aufweist.

Werden dagegen die gesamten Emissionen, also auch die außerhalb von Darmstadt freigesetzten Treibhausgase bilanziert, verändert sich das Bild deutlich:

Bild 2 Gesamte Treibhausgasemissionen der Haushalte in Darmstadt



Der wichtigste Verursacher ist nun der Strom, gefolgt von Erdgas und Öl (beides vorwiegend zum Heizen). Durch die Einbeziehung der Vorketten erhöhen sich Emissionen außerdem von rund 0,3 Mio t CO₂-Äquivalente auf knapp 0,6 Mio t – also fast eine Verdopplung.

Wird berücksichtigt, dass sich Ende 2000 das HEAG-Strommix durch die Inbetriebnahme des Gemeinschaftskraftwerks Mainz ändert, so sinken die gesamten Treibhausgasemissionen der Haushalte auf rund 0,5 Mio t CO₂-Äquivalente.

3.6 Fehlerabschätzung

Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Abschätzungen und/oder fehlerhafte Einzelwerte können folgende Ursachen haben:

- Die statistischen Angaben über Wohnflächen weichen von den tatsächlichen WF, aufgrund von Nichtanmeldung oder falscher Angaben in der GWZ 87 ab.
- Die Zuordnung in die Gebäudetypen und Altersklassen ist fehlerhaft.
- Die Verbrauchsdaten der Gebäudetypologie sind nicht zeitgemäß, fehlerhaft oder nicht auf Darmstadt übertragbar
- Die individuelle Nutzerstruktur weicht von der Bundesdurchschnittlichen ab.

Eine weitere Näherung müsste die Lieferseite weiter differenzieren, um eine genauere Zuordnung hinsichtlich der Energieverwendung vornehmen zu können.

Ebenfalls müsste die Verbrauchsseite näher betrachtet werden, vor allem die tatsächliche Wohnfläche und die Nutzerstruktur (Alter, Single-Haushalte, Einkommensverhältnisse) für Darmstadt.

4 Sektoren Industrie und Kleinverbrauch (GHD)

4.1 Vorgehensweise

Bei Industrie und Kleinverbrauch (Gewerbe-Handel-Dienstleistungen, kurz GHD) sind grundsätzlich zwei Ansätze zu unterscheiden:

- Erhebung der Daten bei den Verbrauchern im Betrachtungsgebiet (*bottom-up*)
- Berechnung der Werte für das Betrachtungsgebiet aus vorhandenen Statistiken der größeren Erhebungsgebiete Land oder Bund (*top-down*) mit Hilfe von Kennzahlen oder Indikatoren, die im Betrachtungsgebiet bekannte nichtenergetische Daten (Einwohnerzahl, Beschäftigte Umsatz) mit Verbrauchsdaten verknüpfen. Beispiele für solche Kennzahlen sind Energieverbrauch pro Beschäftigten oder Energieverbrauch pro Mio. DM Umsatz.

Bei der Bearbeitung der Sektoren Industrie und GHD wurde der 2. Ansatz verfolgt, ergänzt durch Einfügen von Einzeldaten von kooperationsbereiten Großverbrauchern. Für die einzelnen Sektoren wurde zuerst ermittelt, welche Datensammlungen vorhanden sind.

Auf der nationalen Ebene werden die umfangreichsten Statistiken, wie die Energiebilanz und die Statistiken von Wirtschaftsdaten erarbeitet, die als Quellen für diese Arbeit herangezogen wurden. Zur Verbrauchsberechnung mit Indikatoren müssen auch für das Erhebungsgebiet wirtschaftliche Daten von statistischen Ämtern von Land und Kommune beschafft werden.

Die verwendeten Statistiken weisen, bestimmt durch ihre hauptsächliche Verwendung, unterschiedliche Aggregate der Wirtschaftszweige auf. Wenn also Indikatoren berechnet werden sollen, müssen Zuordnungen zwischen den in den Statistiken ausgewiesenen Branchen vorgenommen werden.

Die Indikatoren für die verschiedenen Energieträger und Branchen sind Durchschnittswerte für Deutschland oder die alten Bundesländer. Die damit berechneten Verbrauchswerte können die Darmstadt-spezifischen Verhältnisse nur näherungsweise abbilden.

Für die leitungsgebundenen Energieträger Strom, Gas und Fernwärme stellten die Versorger aggregierte Verbrauchsdaten zur Verfügung, die als gemessene Werte eine viel höhere Qualität besitzen als die berechneten.

Tabelle 20 Gemessene Energiemengen der Versorger

Versorgerangaben	GWh	Aggregate Energiebilanz	GWh
<i>Gas (Südhessische 1998)</i>			
- Haushalte	671		
- Handel	211	GHD	458
- Öffentliche Einrichtungen	246		
- Industrie	593	Industrie	593
Summe Gas	1722	Summe Gas	1050

<i>Fernwärme (Südhessische 1998)</i>			
- Haushalte	125		
- GHD	52	GHD	52
- Industrie	40	Industrie	40
- Bauverein	4		
Summe Fernwärme	220	Summe Fernwärme	92
<i>Strom (HEAG 1998)</i>			
- Industrie (Sondervertrag)	204	Industrie	204
- Gewerbe (Sondervertrag)	186	GHD	384
- Tarifkunden (Haushalt, Gewerbe, Sonstige)	313		
- Tarifkunden (nur Haushalt, geschätzt)	278		
- Elektroheizung (95% Haushalte)	50		
- Straßenbeleuchtung	1		
- Sonstige (Handel, öff. Einrichtungen usw.)	160		
Summe Strom	914	Summe Strom	588

Da die Statistiken der Versorger anders aggregiert sind als die in dieser Arbeit zugrundeliegende Energiebilanz sind Verschiebungen von Teilmengen zwischen den Sektoren möglich.

Das Hessische Statistische Landesamt führt für die Industrie eine Energieverbrauchsstatistik, die auf einer Berichtspflicht der Unternehmen aufbaut. Diese weist hohe Qualität auf, enthält aber nicht die verbrauchte Fernwärme. Erfreulicherweise stellten in Darmstadt die größten industriellen Verbraucher Daten zur Verfügung, die ebenfalls einbezogen wurden.

Die mit Indikatoren berechneten Werte wurden nach Berücksichtigung der o.g. sicheren Daten so verändert, dass in der Summe die von den Versorgern gelieferte Energiemenge sinnvoll auf Sektoren und Branchen aufgeteilt ist.

Aus den so ermittelten Energieverbräuchen wurde mit Emissionsfaktoren aus GEMIS die lokalen Treibhausgasemissionen im Darmstädter Stadtgebiet und die Gesamtemissionen unter Berücksichtigung der Vorketten berechnet.

4.2 Industrie und GHD

Für die beiden Sektoren wurden zunächst in 0. Näherung mit den für Deutschland und Darmstadt bekannten Werten der Bruttowertschöpfung und den Deutschlandwerten des Endenergieverbrauchs der Sektoren die Endenergieverbräuche für Darmstadt berechnet.

Die Sektoren der Wertschöpfungsrechnung wurden außer dem Verarbeitenden Gewerbe (=Industrie) und dem Rest des Produzierenden Gewerbes (=Umwandlungssektor) dem GHD-Sektor der Energiebilanz zugeordnet.

Tabelle 21 Sektoreuzuordnung Energiebilanz und Wertschöpfungsrechnung

Energiebilanz	Wertschöpfungssektoren	Anmerkungen
	Energie- und Wasserversorgung, Bergbau	zur Umwandlungsbilanz
Industrie	Verarbeitendes Gewerbe	
GHD	Baugewerbe	
	Land- und Forstwirtschaft	
	Handel und Verkehr	20% Abzug für Verkehr
	Dienstleistungsunternehmen	
	Staat, priv. Org. Haushalte	BWS Haushalte vernachlässigt

Tabelle 22 Industrie und GHD, mit Indikator Endenergieverbrauch pro Mio. DM BWS

Quelle	Darmstadt, 1998 Tab. 17.3	HstLA, 1999 Tab. 4		Darmstadt, 1998 Tab. 17.1	
	BWS 96 in	EEV 1996 in	Indikator	BWS 96 in	EEV in Da
	Deutschland	Deutschland	EEV/BWS	Darmstadt	nach BWS
	Mio DM	PJ	in MJ/DM	Mio DM	PJ
Industrie	764.410	2424	3,17	3451	10,94
GHD	1.917.408	1659	0,87	8016,4	6,94
	Vergleich BMWi, 1999 Tab. 7		3,512 MJ/DM BWS		Industrie BRD

Die Bruttowertschöpfung (BWS) ist als Differenz von Bruttoproduktionswert und Vorleistungen ein besseres Maß für die ausgeführten Tätigkeiten und damit für den Energieverbrauch in einem Betrieb als der Umsatz. Sie ist für Darmstadt nicht nach Branchen disaggregiert verfügbar und findet daher nur für die 0.Näherung Verwendung.

4.3 Industrie

Für den Sektor Industrie wurde mit auf nationaler Ebene erhobenen Statistiken zur Energie (AGEB 1998) und zu „Produktion und Faktoreinsatz“ (Diekmann 1999) die folgende Indikatorenmatrix errechnet.

In beiden Statistiken mussten Branchen zusammengefasst werden um sie kompatibel zu machen.

Hier wird der Umsatz statt BWS verwendet, da er für Darmstadt nach Branchen disaggregiert verfügbar ist.

Tabelle 23 Branchenindikatoren Energieträger pro Mrd. DM Umsatz

	Braunkohle	Steinkohle	Heizöl	Gase	Strom	Fernwärme	Summe
Gewinnung Steine, sonst. Bergbau	61,9	190,4	263,5	800,1	512,6	18,4	1846,9
Ernährung, Tabak	25,3	25,9	231,5	317,4	194,0	24,5	818,6
Papier	61,7	399,3	355,4	1398,2	1223,9	80,2	3518,8
Grundstoffchemie	189,4	369,4	207,3	1808,5	1441,5	175,0	4191,1
Sonst. Chemie	25,6	49,1	260,2	290,0	211,6	25,4	862,1
Gummi, Kunststoff	3,3	9,9	91,7	247,7	405,5	23,6	781,6
Glas, Keramik, Steine, Erden	736,7	881,9	1000,6	1937,7	817,7	31,9	5406,4
Metallerz./bearbeitung	14,3	2829,1	873,1	2813,6	1757,4	37,9	8325,3
Maschinenbau	3,9	4,9	67,0	103,1	114,6	23,2	316,8
Fahrzeugbau	6,2	4,7	21,8	97,3	135,7	31,5	297,2
Sonstige	4,0	7,8	59,0	91,3	134,2	25,5	321,8

Mit obiger Tabelle wird der Energiebedarf der Darmstädter Industrie berechnet.

Tabelle 24 Industriebranchen Darmstadt, Energieträger mit Indikatoren berechnet

	Umsatz	Braunk.	Steink.	Heizöl	Gase	Strom	Fernwärme	Summe
Branchen	Mrd. DM	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ	TJ
sonstige Chem. Industrie	3,378	86,61	165,99	879,08	979,79	714,81	85,83	2912,11
Maschinenbau	0,407	1,59	2,00	27,27	41,97	46,65	9,46	128,95
El.techn., Feinmech. Optik	0,816	3,26	6,39	48,14	74,51	109,51	20,80	262,61
Verlag, Druck	0,439	1,76	3,44	25,90	40,09	58,92	11,19	141,28
Textil, Bekleidung	0,168	0,67	1,31	9,91	15,34	22,55	4,28	54,07
Metallverarbeitung	0,128	0,51	1,00	7,55	11,69	17,18	3,26	41,19
Sonstige	0,11	0,44	0,86	6,49	10,04	14,76	2,80	35,40
Summe	5,4	94,8	181,0	1004,3	1173,4	984,4	137,6	3575,6

Das Statistische Landesamt führt für das Verarbeitende Gewerbe insgesamt eine Energie-statistik (HStLA, 1999, Tab. 5), die nach Energieträgern und Verwaltungsbezirken differenziert ist. Für Darmstadt Stadt wird für 1998 angegeben:

Tabelle 25 Energiebedarf in Darmstadt 1998

	Verbrauch	Einheit	in GJ	in GWh
Kohle	1.508.253	GJ	1.508.253	419
Heizöl, leicht	1.588	t	67.860	19
Heizöl, schwer	36	t	1.460	0
Strom	282.213	MWh	1.015.967	282
Gas; Hu	43.857	1000m ³	1.391.846	387
Summe			3.985.386	1.107

Quelle HstLA 1999, Tab. 5

Aus Statistiken des Hessischen statistischen Landesamtes (HstLA 1999 Tab.1, 3 und 4) wurden Indikatoren Endenergie pro Beschäftigter und Endenergie pro Mio. DM Umsatz errechnet und damit jeweils der Endenergieverbrauch in Darmstadt ermittelt.

Tabelle 26 Darmstadt -Endenergie, Indikator Endenergie pro Beschäftigter

Quelle: HstLA 1999	Beschäftigte	EEV 98 in	EEV/Besch	Beschäftigte	EEV in DA
Branchen	98 in Hessen	Hessen, TJ	TJ/Besch	98 in DA	nach Besch. TJ
Chem. Industrie	61.088	37.164	0,608	12.814	7.796
Kunststoffindustrie	34.893	8.489	0,243		0
Steine-Glas	12.796	11.644	0,910		0
Metallerzeugnisse	37.928	5.230	0,138	466	64
Maschinenbau	63.086	5.476	0,087	1.760	153
El.technik, Feinm., Optik	62.414	5.490	0,088	2.878	253
Verlag, Druck	21.222	1.640	0,077	2.685	207
Textil, Bekleidung	9.904	1.459	0,147	523	77
Nahrung, Genussmittel	29.819	9.301	0,312		0
Summe					8.550
			Angabe in Quelle, Tab 5		3.985

Die Abweichung von über 100% nach oben zeigt, dass im Industriesektor der Indikator Endenergieverbrauch pro Beschäftigter nicht geeignet ist.

Tabelle 27 Darmstadt Endenergie, mit Indikator Endenergie pro Mio. DM Umsatz

	Umsatz 98 in	EEV 98 in	EEV/Umsatz	Umsatz 98	EEV in DA
Branchen	Hessen, Mio DM	Hessen, TJ	TJ/Mio DM	DA, Mio DM	nach Umsatz, TJ
Gesamte Chem. Industrie	21.804	37.164	1,704	2.529	4.311
Kunststoffindustrie	9.112	8.489	0,932		
Steine-Glas	3.392	11.644	3,433		
Metallerzeugnisse	82.43	5.230	0,634	128	81
Maschinenbau	16.223	5.476	0,338	398	134
El.tech., Feinmech., Optik	15.228	5.490	0,361	801	289
Verlag, Druck	5.558	1.640	0,295	439	130
Textil, Bekleidung	2.319	1.458	0,629	168	106
Nahrung, Genussmittel	12.312	9.301	0,755		0
Summe					5.050
			Angabe HStLA 1999, Tab 5		3.985

Die umsatzorientierten Indikatoren ergaben für die gesamte chemische Industrie zwar ebenfalls eine zu große Summe, aber die Abweichung beträgt „nur“ 27%. Werden hingegen Indikatoren für Grundstoffchemie und sonstige chemische Industrie getrennt berechnet und die Darmstädter als sonstige chemische Industrie eingeordnet, ergibt sich ein niedrigerer Wert als nach der Landesstatistik. Das Verfahren erscheint ohne weitere Daten zu unsicher.

Erkennbar ist der überragende Anteil der Chemischen Industrie am Endenergiebedarf. Daher wurde bei den drei größten Betrieben die Brennstoffmengen erfragt und in zwei Fällen auch erhalten. Diese Daten wurden dann in Tabelle 28 anstelle der berechneten Werte für die sonstige Chemische Industrie und die Kunststoffindustrie eingesetzt. Die anderen Branchen wurden so verändert, dass die Summen der einzelnen Brennstoffe den Werten aus Tabelle 25 entsprechen. Die Fernwärme, die in Tabelle 25 nicht aufgeführt ist, stammt vom Versorger. Mit den umgerechneten Daten ergibt für den industriellen Energiebedarfs in Darmstadt:

Tabelle 28 Industriebranchen Energiebedarf, korrigiert mit Verbraucherangaben

	Umsatz	Kohlen	Heizöl	Gase	Strom	Fernwärme	Summe
	Mrd DM	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh
sonstige Chem. Industrie	-	403.33	10.61	223.45	71.11	-	708.50
Kunststoffindustrie	-	-	3.89	91.00	13.50	-	108.39
Maschinenbau	0.407	2.56	1.09	16.50	36.18	7.80	64.13
El.technik, Feinmech., Optik	0.816	6.87	1.93	29.29	84.93	17.15	140.17
Verlag, Druck	0.439	3.70	1.04	15.76	45.69	9.23	75.41
Textil, Bekleidung	0.168	1.42	0.40	6.03	17.49	3.53	28.86
Metallverarbeitung	0.128	1.08	0.30	4.59	13.32	2.69	21.99
Summe	-	419.0	19.3	386.6	282.2	40.4	1147.5

Im Industriesektor wird davon ausgegangen, dass die Zuordnung des Statistischen Landesamtes und nicht die Zuordnung der Versorger für unsere Betrachtung relevant ist. Ohne genauere Abgrenzung ergibt sich folgende Gegenüberstellung der Daten:

Tabelle 29 Darmstadt, Vergleich berechnete Verbräuche mit Angaben der Versorger

	Einheit	Strom	Gas 97	Fernwärme
Versorgerangaben	GWh	204,3	592,9	40,4
Angabe Quelle HstLA, 1999	GWh	282,2	386,7	
Differenz		-77,9	206,2	

Die Differenzen lassen grundsätzlich durch statistische Umbuchungen (z.B. Eigenstromerzeugung/bedarf der Unternehmen) erklären, ohne im Einzelnen nachvollziehbar zu sein.

Emissionsberechnung für die Industrie

Mit den Brennstoffmengen aus Tabelle 28 und den Emissionsfaktoren aus GEMIS wurden die Treibhausgasemissionen der Darmstädter Industrie berechnet.

Tabelle 30 Lokale Emissionen der Industrie in Darmstadt

Branche	Kohlen	Heizöl	Gase	Strom	Fernwärme	Summe
Sonstige Chemie	145.200	2.854	44.689	-	-	192.744
Kunststoffe	-	1.046	18.200	-	-	19.246
Maschinenbau	921	294	3.300	-	2.683	7.198
Elektrotechnik, Feinm., Optik	2.475	518	5.858	-	5.900	14.752
Verlag, Druck	1.332	279	3.152	-	3.174	7.936
Textil, Bekleidung	510	107	1.206	-	1.215	3.037
Metallverarbeitung	388	81	919	-	925	2.314
Summe	150.825	5.180	77.325	-	13.898	247.227

Angaben in t CO₂-Äquivalente

Die grosse Bedeutung der Chemischen Industrie zeigt sich klar bei den lokalen Emissionen, wo sie einen Verursacheranteil von rund 80% aufweist.

Bei den Energieträgern ist die Kohle für rund 60% der lokalen industriellen Emissionen verantwortlich, gefolgt von Erdgas mit rund 30%.

Bei der Beurteilung der Klimarelevanz muss jedoch auch die außerhalb von Darmstadt liegende vorgelagerte Kette (Strom, Raffinerien, Bergbau usw.) mitberücksichtigt werden, die in der folgenden Tabelle einbezogen wurden.

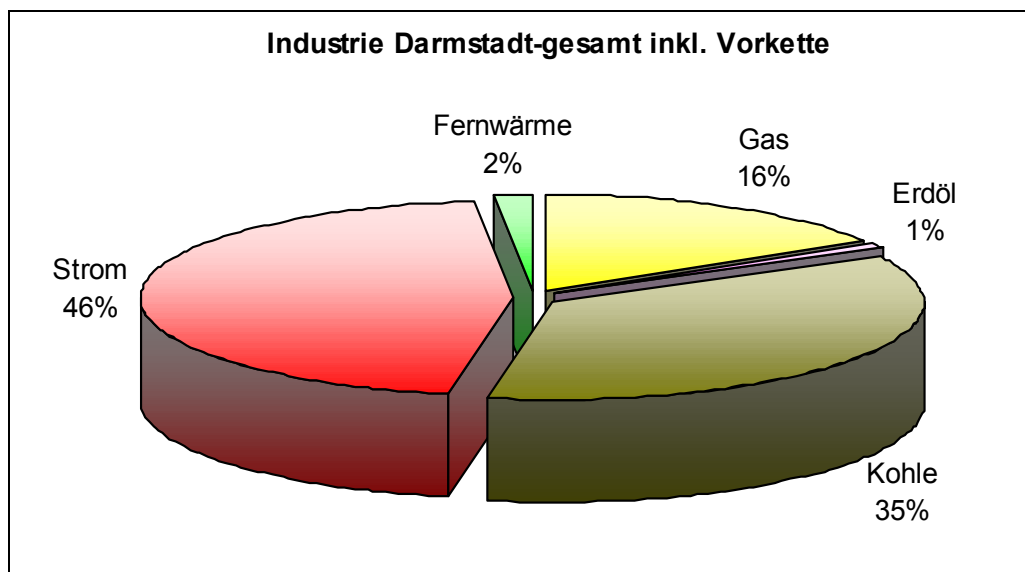
Tabelle 31 Gesamte Emissionen der Industrie in Darmstadt (inkl. Vorketten)

	Kohlen	Heizöl	Erdgas	Strom	Fernwärme	Summe
Sonstige Chemie	177.467	3.120	49.158	60.302	-	290.047
Kunststoffe	-	1.143	20.020	11.448	-	32.611
Maschinenbau	1.126	321	3.630	30.679	1.630	37.386
Elektrot., Feinm., Optik	3.025	567	6.444	72.018	3.585	85.639
Verlag. Druck	1.627	305	3.467	38.745	1.928	46.073
Textil. Bekleidung	623	117	1.327	14.827	738	17.632
Metallverarbeitung	475	89	1.011	11.297	562	13.434
Summe	184.342	5.661	85.057	239.317	8.444	522.821

Angaben in t CO₂-Äquivalente

Bei Berücksichtigung der Vorketten erhöht sich die industrielle Gesamtemission an CO₂-Äquivalenten um rund 100% auf mehr als 0,5 Mio t/a – und Strom ist der dominante Verursacher, wie die folgende Grafik zeigt.

Bild 3 Gesamte Treibhausgasemissionen der Industrie in Darmstadt



Fehlerabschätzung

Da die Branchensummen der Energieträgermengen aus der Statistik des Landesamtes stammen sind die berechneten Emissionen so genau wie diese. Nach Aussage des Amtes sind die Auskünfte der Unternehmen, die der Statistik zugrunde liegen, im wesentlichen korrekt, wobei einzelne Angaben der Unternehmen fehlerhaft sein können.

Auch ist für die Darmstädter Industrie anzunehmen, dass die Unterschiede der Branchen-zuordnung von Landesamtsstatistik und Energiebilanz das Ergebnis nicht verfälschen.

Bei der Aufteilung nach Branchen sind die mit Indikatoren berechneten Werten wegen der inhomogenen brancheninternen Energieträgerverbrauchsstruktur potenziell mit großem Fehler behaftet. Bei Indikatoren gilt: Je weite disaggregiert umso größer der Fehler.

4.3 Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)

Für diesen Sektor wird zur Indikatorenbildung der Endenergieverbrauch auf die Bruttowertschöpfung, die beheizte Fläche oder die Anzahl der Beschäftigten bezogen. Da nur für die letzte Alternative eine lokale Datenbasis vorhanden ist wurde diese hier gewählt. Beschäftigtenzahlen für Darmstadt sind aus der Sozialversicherungsstatistik (Darmstadt 1998) zu entnehmen. In dieser Statistik sind die industriellen Kleinbetriebe (<20 Besch.) und das Handwerk dem verarbeitenden Gewerbe zugeordnet und nicht getrennt ausgewiesen. Es wird geschätzt, dass in Darmstadt 5% der im Verarbeitenden Gewerbe Beschäftigten (1145 Personen) im GHD-Bereich arbeiten. Sie wurden im gleichen Verhältnis wie die Beschäftigten im Industriesektor auf die vier unteren Branchen in der Tabelle verteilt. Die Anzahl der Erwerbstätigen übersteigt die sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten um 10760 Personen. Es wurde angenommen, dass es sich dabei um Beamte und Selbständige handelt, die dem Branchen des GHD-Sektors durch Schätzung zugeordnet wurden. Um Beschäftigte mit den Branchen kompatibel zu machen, waren Zuordnungen und Durchschnitte von Indikatoren erforderlich.

Tabelle 32 Daten für Beschäftigte in 21 Branchen in Darmstadt 1997

	Beamte, Selbstst.	Soz. Vers. Beschäftigte	Beschäftigte
Land- u. Forstwirtschaft		17	17
Gartenbau	60	228	288
Baugewerbe	500	2615	3115
Einzelhandel	200	6248	6448
Großhandel	100	2638	2738
Handelsvermittlung	100	1416	1516
Banken, Versicherungen		2560	2560
Beherbergung, Gaststätten	1000	2848	3848
Org. o. Erwerbscharakter		5776	5776
Gebietskörperschaften	3000	5416	8416
Sozialvers.	1000	1132	2132
Krankenhäuser	500	2337	2837
Bäder		52	52
Post, Telekom, Postbank	1300	2488	3788
Deutsche Bahn	250	577	827
Verkehr	500	790	1290
Übrige Dienstleistung	2000	23433	25433
Metallgewerbe	100	763	863
Holz, Papier, Druck	50	183	233
Nahrung, Genussmittel	50	123	173
Leder, Textil, Bekleidung	50	76	126
Summen GHD Darmstadt	10760	61716	72476

GHD-Endenergiebedarf nach 9 Branchen aufgeteilt

In BMWi (1999) wird für 9 Branchen die Entwicklung des Indikators Endenergieverbrauch pro Beschäftigter von 1978-1992 dargestellt.

Tabelle 33 GHD in Darmstadt mit Indikator Endenergieverbrauch pro Beschäftigter

	Beschäftigte	EEV/Beschäft.	EEV in DA	EEV in DA
	97 DA	TJ/Beschäft.	TJ	GWh
Land- u. Forstwirtschaft	305	0.14	43	12
Baugewerbe	3115	0.03	93	26
Handel	10702	0.057	610	169
Verkehr, Nachrichtenübermittl.	5905	0.085	502	139
Banken, Versicherungen	2560	0.085	218	60
Dienstleistungen	32118	0.085	2730	758
Org. o. Erwerbscharakter	5776	0.035	202	56
Gebietskörp. u. Sozialvers.	10600	0.035	371	103
Kleinindustrie, Handwerk	1395	0.085	119	33
Summe GHD Darmstadt	72476		4887	1358

Differenzierung nach Strom und Brennstoffen

Mit Hilfe der Indikatoren aus Diekmann (1999, Tab. 7.5-1) wurde eine nach Strom und Brennstoffen differenzierte Berechnung mit 21 Branchen durchgeführt. Im nächsten Schritt wurden dann nur noch die 6 Branchen mit dem größten Verbrauch (zusammen 72%) in Darmstadt einzeln dargestellt und die restlichen Branchen unter Übrige GHD zusammengefasst. Den größten Verbrauch hat die Übrige Dienstleistung in der Wissenschaft, Bildung und Kunst, Gesundheitswesen sowie Rechts- und Wirtschaftsberatung enthalten sind. Zur Ermittlung der einzelnen Brennstoffe wurde die berechnete Gesamt-GHD- Brennstoffmenge mit einem für Darmstadt geschätzten Brennstoffmix (80:20)verteilt.

Tabelle 34 Strom- und Brennstoffverbrauch für 7 Branchen

	Beschäftigte	Strom MWh	Brennstoff MWh	80% Gas, GWh	20% Öl, GWh
Übrige Dienstleistung	25433	34.335	149.800	120	30
Beherbergung, Gaststätten	3848	28.937	86.234	69	17
Einzelhandel	6448	27.340	74.668	60	15
Org. o. Erwerbscharakter	5776	14.729	84.330	67	17
Gebietskörperschaften	8416	11.951	64.803	52	13
Post, Telekom, Postbank	3788	22.236	49.699	40	10
Übrige GHD	18767	58059	198871	159	40
Summen GHD Darmstadt	72476	197.586	708.404	567	142

Abgleich mit Versorgerangaben

Um die an den GHD-Sektor gelieferten leitungsgebundenen Energiemengen zu bestimmen wurden zu den in den GHD-Positionen der Statistiken der Versorger noch die Differenzen aus dem Abgleich der Industrie eingerechnet.

Tabelle 35 Energiebedarf des Sektors GHD - Abgleich mit Versorgerangaben

	Strom	Gas
Versorgerangaben GHD	384	458
Differenz Industrie	-78	206
gelieferte Summe	306	664
berechnete Summe	199	567
Differenz	107	97
Differenz in %	35	15

Angaben in GWh

Beim Strom ist eine große Abweichung zu sehen, die mit dem langjährigen Trend zur Steigerung des Stromverbrauchs (1970-1995 Verdreifachung) bei sinkendem Brennstoffverbrauch im GHD-Sektor übereinstimmt.

Die Differenzmengen wurden nun im Verhältnis der berechneten Mengen auf die Branchen verteilt

Tabelle 36 Energiebedarf des Sektors GHD nach Branchen

Angaben in GWh	Strom	Gas	Heizöl	Fernwärme
Übrige Dienstleistung	53	140	30	
Beherbergung, Gaststätten	45	81	17	
Einzelhandel	42	70	15	
Org. o. Erwerbscharakter	23	79	17	
Gebietskörperschaften	18	61	13	
Post, Telekom, Postbank	34	47	10	
Übrige GHD	91	186	40	40
Summe GHD DA	306	664	142	40

Angaben korrigiert nach Versorgerangaben

Emissionsberechnung

Mit den Brennstoffmengen aus Tabelle 36 und den Emissionsfaktoren aus GEMIS können nun die Treibhausgasemissionen berechnet werden. Zuerst sind in folgender Tabelle die lokalen Emissionen aufgeführt.

Tabelle 37 Lokale Treibhausgasemissionen des GHD-Sektors in Darmstadt

	Strom	Gas	Heizöl	Fernwärme	Summe
Übrige Dienstleistung	-	28.082	8.059	-	36.141
Beherbergung, Gaststätten	-	16.166	4.639	-	20.805
Einzelhandel	-	13.998	4.017	-	18.015
Org. o. Erwerbscharakter	-	15.809	4.537	-	20.346
Gebietskörperschaften	-	12.148	3.486	-	15.635
Post, Telekom, Postbank	-	9.317	2.674	-	11.990
Übrige GHD	-	37.281	10.699	13.760	61.740
Summe	-	132.800	38.112	13.760	184.672

Angaben in t CO₂-Äquivalente

Wie in den anderen Sektoren muss zur Beurteilung der Klimarelevanz jedoch auch die außerhalb von Darmstadt liegende vorgelagerte Kette (Strom, Raffinerien, Bergbau usw.) mitberücksichtigt werden, die in der folgenden Tabelle einbezogen wurden.

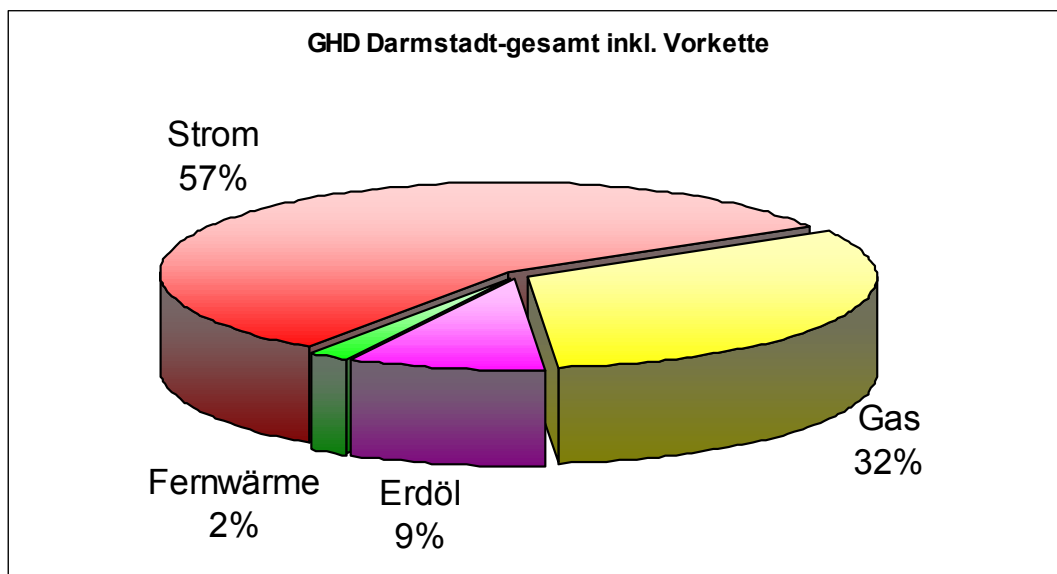
Tabelle 38 Gesamte Treibhausgasemissionen des GHD-Sektors in Darmstadt

in t/a	Strom	Gas	Heizöl	Fernwärme	Summe
Übrige Dienstleistung	44.830	30.890	8.808	0	84.529
Beherbergung, Gaststätten	37.783	17.782	5.071	0	60.636
Einzelhandel	35.697	15.397	4.390	0	55.485
Org. o. Erwerbscharakter	19.231	17.390	4.959	0	41.580
Gebietskörperschaften	15.604	13.363	3.810	0	32.777
Post, Telekom, Postbank	29.033	10.248	2.922	0	42.203
Übrige GHD	77.309	41.009	11.694	8360	138.372
Summe GHD DA	259.488	146.080	41.654	8360	455.582

Angaben in t CO₂-Äquivalente

Im GHD-Sektor verursacht der Strom wiederum über 50% der Gesamtemissionen, wie die folgende Grafik zeigt.

Bild 4 Gesamte Treibhausgasemissionen des Sektors GHD in Darmstadt



Zum GHD-Sektor gehören die öffentlichen Einrichtungen, zu denen neben vielen Behörden auch Schulen und die energieintensiven Bäder und Krankenhäuser zählen. Bei der Betrachtung des gesamten Sektors haben diese jedoch nur einen geringen Anteil am Verbrauch. Sie sind trotzdem für Maßnahmen zur CO₂-Reduktion interessant, da hier kommunale Behörden bessere Handlungsmöglichkeiten haben als in der privaten Wirtschaft und eine Vorbildfunktion übernehmen können.

Im Rahmen dieser Kurzbilanz wird der öffentliche Bereich jedoch nicht detaillierter behandelt, zumal die Daten zwar erhoben, aber der Arbeitsgruppe zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht zur Verfügung stehen.

Fehlerabschätzung

Die energetische Erfassung des GHD-Sektors leidet generell unter einer schlechteren Datenerhebung als die Industrie. Unsicherheiten ergeben sich zusätzlich durch Probleme bei der Zuordnung von Branchen in den verschiedenen Statistiken.

Andererseits ist die brancheninterne Energieträgerverbrauchsstruktur nicht so inhomogen wie in der Industrie da 50-60% des Verbrauchs für Raumwärme aufgewendet wird. Wenn zudem die gemessenen Werte der leitungsgebundenen Energien eingerechnet werden entsteht ein Fehler in der Gesamtemission nur durch die nur geschätzten lagerfähigen Energieträger, also vor allem durch das Heizöl.

Für die Einzelwerte der Energieträger der Branchen gilt das bei der Industrie Gesagte in abgeschwächter Form.

5 Sektor Verkehr

In diesem Abschnitt des Berichts zur Klimakurzbilanz sollen die wesentlichen Ergebnisse der Überlegungen und Datenerhebungen für den Sektor Verkehr im Bezug auf die Stadt Darmstadt vorgestellt werden. Neben den Zahlen, soll deren Beschaffung im Vordergrund stehen und es auch um Verbesserungsmöglichkeiten der angegebenen Abschätzungen gehen.

5.1 Vorüberlegungen

Gliederung des Verkehrs-Sektor

Die Gliederung des Verkehrssektors orientiert sich an den in den Statistiken üblichen Unterteilungen, um eine möglichst leichte Übernahme von Daten sicherzustellen:

Tabelle 39 Gliederung des Verkehrssektors

Hauptgruppe	Kraftfahrzeugverkehr	öff. (Schienen)verkehr – Straßenbahnen	Schienenverkehr	Schiffsverkehr	Luftverkehr
Untergruppen	<p>Personen-Individualverkehr:</p> <p>Motorräder (inkl. Krad, Moped)</p> <p>Otto-PKW (klein, mittel, gross)</p> <p>Diesel-PKW (mittel, gross)</p> <p>Öff. Nah- und Fernverkehr:</p> <p>Linienbus klein/gross, Reisebus</p> <p>Güterverkehr:</p> <p>LNfz (Otto und Diesel)</p> <p>LKW (Solo, Zug, Sattelzüge)</p>	Straßenbahnen	<p>Personenschienenverkehr der DB</p> <p>Güterschienenverkehr</p>	<p>Flussschifffahrt</p> <p>Küstenschifffahrt</p> <p>See- und Hochseeschifffahrt</p>	<p>Inlandsflugverkehr</p> <p>Fernflugverkehr</p>

Ziel der Arbeit ist es zu allen aufgeführten Untergruppen möglichst gute Daten zu den Energieverbräuchen bzw. deren Bestimmungsgrößen (Fahrleistungen) anzugeben, so dass die daraus resultierenden Emissionen möglichst gut abgeschätzt werden können. Dazu können verschiedene Ansätze gewählt werden:

- direkte Abschätzung von Energieverbrauchsdaten über Quervergleiche
- Ermittlung von Verkehrsleistungen und Multiplikation mit spezifischen Energieverbrauchs-/Emissionskennwerten

Vorgehen

In einer Nullten Näherung kann über den Quervergleich von Bundes- bzw. Landesdaten zum Energieverbrauch der einzelnen Bereiche des Verkehrssektors eine grobe Abschätzung gewonnen werden. Dazu werden die statistischen Daten des Bundes, bzw. des Landes in Bezug zur Bevölkerung der BRD bzw. des jeweiligen Bundeslandes gesetzt und dieser einwohnerspezifische Wert dann mit der Einwohnerzahl der zu betrachtenden Stadt multipliziert. Dabei sollte beachtet werden, dass gewisse Verkehrswege aufgrund örtlicher Gegebenheiten ganz wegfallen können (z.B. Schifffahrt, Luftverkehr, Straßenbahnen).

Verglichen werden können diese Werte mit eventuell vorhandenen Daten aus vergleichbaren Städten (Einwohnerzahl, Beschäftigungsstruktur, Industrieanteil). Sie sind in einer ganzen Reihe von Städten im Rahmen von Energiebilanzen, Klimaschutzbilanzen oder Emissionskatastern erhoben worden und zum Teil zugänglich⁴. Daraus kann sich eine erste Näherung ergeben, die die Bundes- bzw. Landesdaten entsprechend der Siedlungsstruktur gewichtet auf die Einwohnerzahl des betrachteten Gebiets (Stadt, Gemeinde) umrechnet.

Im dritten Schritt wird dann versucht mit möglichst geringem zeitlichem Aufwand alle zur Verfügung stehenden Quellen anzupapfen, um für das Gebiet eigens erhobene Daten zu beschaffen, die Angaben zu Energieverbräuchen, Fahrleistungen und Personenbelegungen bzw. Gütermengen beinhalten. Dabei bieten sich folgende Anlaufstellen an:

- Statistisches Amt der Stadt/Gemeinde
- Planungsamt Verkehr
- Betreiber des öffentlichen Nahverkehrs (Busse, Straßenbahnen, U-Bahnen usw.)
- Verkehrszählungen
- Personenbefragungen
- Mailing-Aktionen
- eventuell regionale Nahverkehrsverbundunternehmen
- Deutsche Bahn AG
- Flughafen
- Schifffahrtsamt

Die so erhaltenen Daten werden dann unter Einsatz notwendiger Annahmen zu einer zweiten Näherung umgerechnet. Dabei kann, wo nötig, wieder auf Daten aus vergleichbaren Städten oder Bundesdaten zurückgegriffen werden. Dies sollte jedoch weitestgehend vermieden werden.

Die zweite Näherung sollte also den größten Bezug zum betrachteten Bereich haben.

⁴ Es erscheint sinnvoll im Rahmen einer Datenrecherche eine Zusammenstellung aller erhobenen Kennzahlen zu Energieverbräuchen und Emissionen von Kommunen zu erarbeiten und der Allgemeinheit zugänglich zu machen.

Allgemeine Grundregeln

Der zeitliche Aufwand sollte stets im Verhältnis zu den Verbesserungen der Datenqualität stehen.

Gerade im Kraftfahrzeugverkehrsbereich liegen stets erhebliche Fehler im Datenmaterial vor, so dass eine Genauigkeit von 10-15% als unterste Fehlergrenze anzusehen ist.

Dementsprechend ist jeder Aufwand, der in diesem Bereich Verbesserungen erzielen soll, sehr genau auf seine Effizienz zu überdenken. Alle Quervergleiche unterliegen aufgrund starker lokaler Schwankungen im Verkehrsbereich erheblichen Einschränkungen. Wo immer möglich sollten „exakte Daten“, wie sie zum Beispiel von den örtlichen Nahverkehrsbetrieben erfasst werden, als Grundlage für Überprüfungen der Ergebnisse herangezogen werden.

An gewissen Stellen kann es sinnvoll sein Aspekte die praktisch kaum korrekt erfassbar sind und die auch nicht beeinflusst werden können im Rahmen einer Klimabilanz nur sehr oberflächlich abzuschätzen oder ganz aus der Betrachtung auszuschließen.

5.1 Nullte Näherung für den Verkehr

Im Rahmen dieser Arbeit wurde für die 0-te Näherung auf Bundesdaten zurückgegriffen. Für die Einwohnerzahl von Darmstadt wurden 135315 gemäß Statistischem Bericht der Stadt Darmstadt für das Jahr 1998 angenommen. Die Aufteilung der Verkehrsverbrauchsdaten für die BRD gibt es zur Zeit für 1998 nur geschätzt. Die Bundesbevölkerung lag 1998 bei 82,1 Mio. Einwohnern. Für starke Wachstumsbereiche wurde aus den vorhergehenden Jahren ein durchschnittliches jährliches Wachstum angesetzt:

Tabelle 40 Nullte Näherung - Bundesdaten auf Darmstadt umgerechnet

Verkehrsbereich	Energiebedarf 1998, PJ	Wachs- tum %/a	BRD 1999 GJ/EW	DA 1999, TJ
Schiene (Eisen-, U- und Strassenbahn)	78	0	0,95	129
Personenindividualverkehr Straße (Pkw, motor. Zweiräder)	1541	0	18,77	2540
Öffentl. Personenverkehr (Kraftomnibusse)	41	0	0,5	68
Güter-Straße (Lkw, Sattelzüge, Zugmaschinen)	741	2,7	9,27	1254
Luftverkehr-Inland	262	4,5	3,33	n.a.
Binnenschifffahrt (einschl. Hafen- und Küstenschifffahrt)	16	0	0,19	n.a.
Gesamt	2679			3990

BRD-Daten nach (BMfV, 1999)

5.3 Erste Näherung für den Verkehr

Zur Zeit gibt es noch keine einheitliche Datenbank, in der die Ergebnisse der verschiedenen Klimaschutzbilanzen und Emissionskataster in Verbindung mit speziellen Charakteristika der verschiedenen Betrachtungsgebiete vorliegen würden. Deshalb konnte dieser Punkt hier nur sehr oberflächlich behandelt werden.

Charakterisierung von Darmstadt

Zunächst ist zu überlegen, welche wesentlichen Charakteristika Darmstadt verkehrstechnisch auszeichnen und die dementsprechend auch von Vergleichsstädten erfüllt werden müssten:

- Einwohnerzahl: 135.315 (1998)
- Studentenstadt => viele Pendler und auch nicht gemeldete zeitweise Einwohner
- Zentrum am Rand zu strukturschwachem Gebiet (Odenwald) und zu sehr strukturstarkem Gebiet (Frankfurt/Mainz/Wiesbaden)
- gute Nord-Süd-Tangente, aber Transitverkehr in Ost-West-Richtung und vom Odenwald in Richtung Mainz/Wiesbaden
- relativ wenig Großindustrie, viel Dienstleistung und Verwaltung
- guter öffentlicher Nahverkehr mit Straßenbahn und Bussen

Graz

Zur Stadt Graz liegt ein ausführliches Emissionskataster für das Jahr 1995 vor. Mit einer Einwohnerzahl von 240.513 (1999), einer Straßenbahn und einer Verkehrsstruktur, die im Groben der von Darmstadt vergleichbar sein dürfte und der Besonderheit der Universitätsstadt, sind hier einige grundlegende Daten zu entnehmen, die mit denen von Darmstadt vergleichbar sein sollten.

Ähnlich wie in Darmstadt wurde über ein Verkehrswegewahlmodell der Motorisierte Individualverkehr abgebildet. Die Genauigkeit wurde auf +/- 10% Übereinstimmung mit den Verkehrszählungsdaten eingestellt.

Für den Schienenverkehr wurde streckenweise die stündliche Fahr- bzw. Betriebsdauer je Lokomotiv- bzw. Triebfahrzeugtyp und Verwendungszweck (Verschub, Güter-, Personen-, Lokzug) ermittelt. Über die spezifischen Kraftstoffverbräuche und die Motorleistungen lassen sich die benötigten Kraftstoffmengen und damit die Emissionen berechnen.

Tabelle 41 PKW-Bestandsaufteilung für Graz 1995 (Graz, 1995)

PKW-Typ	Anteil
Benzin mit Kat.	54%
Benzin ohne Kat.	18%
Diesel	28%

Tabelle 42 LKW-Verteilung für Graz 1995

Baujahr	Anteil
67-80	6,1%
81-88	30,6%
89-90	16,3%
EURO1	28,7%
94-95	18,2%
EURO2	0,0%

Die Fahrleistungen für das Grazer Stadtgebiet wurden zu insgesamt 1.228 Mio. km/a ermittelt. Davon entfallen 93,8% (1.152 Mio. km/a) auf den PKW-Verkehr, 5,5% (68,2 Mio. km/a) auf den LKW-Verkehr und 0,7% auf den ÖV (Busse 8,21 Mio. km/a)⁵.

Der Gesamtkraftstoffverbrauch betrug in Graz 95.360 t/a (67.680 t/a PKW; 17.870 t/a LKW; 3.080 t/a Bus; 6.090 t/a Kaltstarts; Verdunstung und Garagen 643 t/a; Schiene + 2.380 t/a).

Von den 67.680 t/a Kraftstoff im PKW-Bereich werden 48.730 t/a (2.122 TJ/a + 191 TJ/a) als Benzin und 18.950 t/a als Diesel (814 TJ/a + 73 TJ/a) umgesetzt. Im LKW-Bereich kann in erster Näherung von 100% Diesel (768 TJ/a) ausgegangen werden. Die Busse brauchen rund 132 TJ/a.

Die Umrechnung in Darmstädter Werte erfolgt über die zugelassenen PKW im Stadtgebiet. Dies erscheint sinnvoll, da aufgrund grob ähnlicher Pendlerstrukturen der PKW-Bestand für den Hauptteil des EEV verantwortlich ist. Für den LKW-Verkehr wird der gleiche Umrechnungsfaktor angenommen, da ausgehend von einer vergleichbaren Verteilung der Fahrleistungen und Fahrzeuge in beiden Städten dieser Analogieschluss zulässig erscheint. LKW-Zulassungsstatistiken sind aufgrund vieler Randparameter nicht aussagekräftig für den im Stadtgebiet auftretenden LKW-Verkehr. In Graz waren 1995 rund 130.000 PKW zugelassen (Abschätzung über Gesamtzulassung PKW in Steiermark 1999 in Höhe von 682.592 und einer Bevölkerung der Steiermark von 1,2 Mio.). In Darmstadt waren 1998 68.178 PKW (davon 9544 gewerblich genutzt) registriert. Demgemäß ergibt sich ein Umrechnungsfaktor von 0,524

Tabelle 43 Quervergleich Graz - Darmstadt

	Graz in TJ/a	Querrechnung für Darmstadt in TJ/a
PKW-Verkehr Otto-Motor	2313	1213
PKW-Verkehr Diesel	887	465
LKW	768	403
ÖV-Busse	132	69

⁵ Angaben zum Kraftstoffverbrauch (l/100km): Pkw warm 7,72 + Kaltstarts 0,68; Lkw 31,4; Busse 45,0

5.4 Zweite Näherung für den Verkehr

In diesem Schritt wird wie bereits oben erwähnt versucht auf der Grundlage der für Darmstadt bekannten Daten eine möglichst genaue Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse in Darmstadt zu erreichen.

Kraftfahrzeugverkehr

Das städtische Planungsamt hat auf der Basis umfangreicher Auswertungen mittels eines Verkehrswegewahlmodells die Verkehrsflüsse für Darmstadt und Umgebung abgebildet. Über eine selektierende Netzstatistik können in relativ kurzer Zeit Fahrzeugkilometerleistungen für einen normalen Werktag entnommen werden. Dabei ist eine Auswahl nach verschiedenen Straßentypen möglich.

Aufgrund der Tatsache, dass im Darmstädter Stadtgebiet auch Straßen mit überregionalem Charakter (ohne Randbebauung) vorkommen, ist eine eindeutige Zuordnung über die Netzstatistik nicht möglich. Zudem werden auch immer die umliegenden Ortschaften mit ihren Ortsverkehrsleistungen miterfasst (Gesamtgebiet reicht von Rhein bis Main - ca. 25-30 km Umkreis um Darmstadt). Dabei sind die Außenbereiche nicht so exakt abgebildet.

Werden gemäß Netzstatistik alle innerörtlichen Straßen erfasst, so ergibt sich eine tägliche Verkehrsleistung von 6,02 Mio. Fzkm. Dabei sind jedoch auch ganz erhebliche Anteile an Straßen im Odenwald mit einbezogen. Werden in einem zweiten Schritt die innerörtlichen anbaufreien Straßen ausgeschlossen so verringert sich die Verkehrsleistung auf 2,74 Mio. Fzkm/d. Dabei sind dann nur noch wenige Verkehrsflüsse außerhalb von Darmstadt erfasst. Gleichzeitig fallen einige Hauptverkehrsrouten im Stadtgebiet Darmstadt heraus.

Über die Erfassung der 9 Haupteinfallstraßen, von denen 8 für gewisse Längen im Darmstädter Stadtgebiet ohne Randbebauung sind, der Längen ohne Randbebauung und der gemäß Verkehrsmengenkarte des Landes Hessen (1995) täglich verkehrenden Fahrzeugzahlen kann in einer Überschlagsrechnung die Verkehrsleistung der bisher nicht erfassten Straßen in Darmstadt mit ca. 0,60 Mio. Fzkm/d abgeschätzt werden.

Wird davon ausgegangen, dass die Verkehrsleistungen in den Ortschaften um Darmstadt etwa gleich sind den Verkehrsleistungen kleinerer Einfalls- und Verbindungsstraßen im Darmstädter Stadtgebiet, die ohne Randbebauung sind, so lässt sich der Wert für die Fahrzeugkilometerleistung im Darmstädter Stadtgebiet zu **3,3 Mio. Fzkm** annehmen.

Da bereits das Verkehrswegemodell mit Fehlern um 10% rechnet, sollte obige Abschätzung in der Genauigkeit ausreichend sein. Aufgrund der getroffenen Annahmen sollte der Fehler für die hier angenommene Summe der Fahrleistungen bei maximal 20-25% liegen⁶.

⁶ Natürlich könnte dieser Fehler auf etwa 10-15% gesenkt werden, wenn die Daten für jede einzelne Strecken, die in Darmstadt simuliert wird, abgefragt und dann quasi per Hand aufsummiert wird. Diese begrenzte Genauigkeitsverbesserung ist aber mit einem Arbeitsaufwand von mindestens 2-3 Tagen verbunden. Gleichzeitig bleiben andere Fehlerquellen bei der nachfolgenden Verteilung der Verkehrsleistungen bestehen, so dass dieser Aufwand kritisch zu hinterfragen ist.

Für die Hochrechnung auf Jahresfahrleistungen wird von den Berliner Wochengängen ausgegangen. Demnach liegen normale Werktage bei PKW um 8% und bei LKW um 30% über dem Wochenschnitt. Unter der realistischen Annahme der Verteilung der Verkehrsleistung zwischen PKW/LNFz und LKW/Busse von 95% zu 5% ergibt sich eine Überbewertung der Werktage um rund 9,1%. Wird aus der Monatsverteilung abgeleitet, dass die Urlaubs- und Feiertageinbrüche, die Gesamtjahresleistung um weitere 4% reduzieren, so ergibt sich eine Jahresverkehrsleistung für Darmstadt von **1051 Mio. Fzkm** +/- 263 Mio. Fzkm.

Exakte Verkehrszählungsdaten, die auch nach den verschiedenen Fahrzeugtypen unterscheiden gibt es in Darmstadt nur im Rahmen der Bundes-Straßenverkehrszählung von 1990. Die in Darmstadt durchgeführten Zählung erfolgten oft auf der Basis elektronischer Auswertungen, die mit erheblichen Fehlern und der fehlenden Differenzierung nach Fahrzeugtypen belastet sind.

Demgemäß wurde auf der Basis dieser Bundes-Straßenverkehrszählung über die Durchschnittsbildung über die 9 Haupteinfallstraßen⁷ nach Darmstadt ein Fahrzeugtypenmix ermittelt.

Wird in einer ersten Abschätzung davon ausgegangen, dass die verschiedenen motorisierten Fahrzeugtypen ähnlich lange Strecken im Darmstädter Stadtgebiet zurücklegen⁸, so ergibt sich folgende Verteilung für die Verkehrsleistung nach Fahrzeugtypen:

Tabelle 44 Verteilung der Fahrzeugkilometerleistungen nach Fahrzeugtypen

	Fz/d	Anteil	Jahresfahrleistung je Typ in Mio Fzkm/a	Fehlerbereich		Toleranzbereich in Mio. Fzkm/a	
Krad	3911	1,7%	17,7	-55%	75%	8,0	30,9
PKW einschließlich solcher mit Anhänger	215527	92,6%	973,6	-26,5%	27,5%	715,6	1241,3
Bus	1340	0,6%	6,1	-55%	75%	2,7	10,6
LFW/LnFz bis 2,8 t	4564	2,0%	20,6	-55%	75%	9,3	36,1
LKW über 2,8t ohne Anhänger	4370	1,9%	19,7	-55%	75%	8,9	34,5
LZ	2971	1,3%	13,4	-55%	75%	6,0	23,5

⁷ Die Autobahn A5, die die Stadtgrenze von Darmstadt streift, wurde aus der Betrachtung ausgeklammert, da auf diesen Verkehrsfluss im Rahmen eines lokalen Agenda-Prozesses keine Einfluss genommen werden kann.

⁸ Diese Annahme ist aufgrund der verwendeten Zahlen durchaus plausibel. Da die Fahrzeuge nicht im Stadtgebiet, sondern nur bei der Ein- oder Ausfahrt gezählt werden, kann prinzipiell für alle Pendler ein durchschnittlicher Weg bis zur Stadtmitte angenommen werden. Andererseits wird der Transitverkehr zweimal gezählt, so dass er praktisch auch den halben Stadtdurchmesser je Zählung zurücklegt. Natürlich findet auch Verkehr innerhalb der Stadt statt, der also nie gezählt wird. Hier könnte sich einer Verschiebung zu Gunsten der PKW, LNFz und ÖV-Bussen ergeben. Demgegenüber kann festgehalten werden, dass der Anteil der LKW am Stadtverkehr im Vergleich zum Bundesschnitt schon deutlich unterproportional vorliegt. Deshalb wird dieser letzte Aspekt nicht eingerechnet. Abhilfe könnte hier eine persönliche Zählung innerhalb der Stadt Darmstadt an einigen kritischen Straßenkreuzungen schaffen. Erwarteter Fehler dieser Annahme für den Anteil an der Verkehrsleistung für PKW +/- 2%, für die anderen Gruppen +/- 40%.

Um diese Daten in Energieverbräuche und Emissionen umsetzen zu können ist eine weitere Unterteilung der Fahrzeugtypen sinnvoll. Dies erfolgt, da keine anderen Daten vorhanden sind, auf der Grundlage der Verteilung der bundesdeutschen Verkehrsleistungen innerorts:

Tabelle 45 Aufteilung Verkehrsleistungen auf Basis bundesdeutscher Durchschnittswerte

Aufteilung Fahrzeugtypen IO	Mio. km BRD	Anteil Gesamt	Mio Fzkm/a DA	mit DA Zahlen Mio. Fzkm/a	Fehler in %		Toleranz in Mio. Fzkm/a	
Kleinkrafträder	1287	0,6%	6,5	7,7	-55	75	3,5	13,5
Motorräder	1655	0,8%	8,4	9,9	-55	75	4,5	17,4
Otto-PKW	154261	74,6%	784,4	813,6	-41	53	480,0	1244,7
- <1,4L	55171	26,7%	280,5	291,0	-41	53	171,7	445,2
- 1,4-2L	83590	40,4%	425,1	440,8	-41	53	260,1	674,5
- >2L	15500	7,5%	78,8	81,7	-41	53	48,2	125,1
Diesel-PKW	30346	14,7%	154,3	160,0	-41	53	94,4	244,9
- 1,4-2L	22139	10,7%	112,6	116,8	-41	53	68,9	178,6
- >2L	8207	4,0%	41,7	43,3	-41	53	25,5	66,2
Otto-LNFz	1781	0,9%	9,1	4,6	-64	110	1,7	9,6
Diesel-LNFz	6216	3,0%	31,6	16,0	-64	110	5,8	33,7
LKW-Solo	6591	3,2%	33,5	19,7	-64	110	7,1	41,5
- <7,5 t	3918	1,9%	19,9	11,7	-64	110	4,2	24,6
- 7,5-14t	790	0,4%	4,0	2,4	-64	110	0,9	5,0
- 14-20 t	1026	0,5%	5,2	3,1	-64	110	1,1	6,5
- 20-28 t	858	0,4%	4,4	2,6	-64	110	0,9	5,4
LKW-Zug	1788	0,9%	9,1	7,8	-64	110	2,8	16,5
- <28 t	738	0,4%	3,8	3,2	-64	110	1,2	6,8
- 28-32 t	450	0,2%	2,3	2,0	-64	110	0,7	4,1
- 32-40 t	601	0,3%	3,1	2,6	-64	110	0,9	5,5
Sattelzüge	1269	0,6%	6,5	5,6	-64	110	2,0	11,7
- <32 t	302	0,1%	1,5	1,3	-64	110	0,5	2,8
- >32 t	967	0,5%	4,9	4,2	-64	110	1,5	8,9
Linienbus	1047	0,5%	5,3	4,2	-64	110	1,5	8,8
- <20 t	750	0,4%	3,8	3,0	-64	110	1,1	6,3
- >20 t	298	0,1%	1,5	1,2	-64	110	0,4	2,5
Reisebus	464	0,2%	2,4	1,9	-64	110	0,7	3,9

In Tabelle 43 enthält die vierten Spalte eine Verteilung der Gesamtjahresverkehrsleistung für Darmstadt auf Basis des bundesdeutschen Schnitts. In Spalte 5 sind lediglich die Unterverteilungsschlüssel verwendet und die Hauptgruppen ergeben sich gemäß Tabelle 42. Diese Spalte ist dann auch die eigentliche Abschätzung für Darmstadt.

Zur Fehlerabschätzung stellt sich die Frage inwieweit die Verteilung in den Untergruppen in Darmstadt vom bundesdeutsche Schnitt abweicht. In erster Näherung scheint es keinen gravierenden Grund zu geben, warum die Unterverteilung in den einzelnen Typengruppen deutlich vom Bundesschnitt abweichen sollte. Demgemäß erscheint ein Fehler für die Verteilung in den Untergruppen von ca. +/- 20% als Obergrenze. Damit ergeben sich die oben angegebenen Fehlerwerte.

Da der PKW-Verkehr einen erheblichen Anteil ausmacht erscheint es sinnvoll die Verteilung zwischen Diesel- und Ottokraftstoff zu überprüfen. Dies ist in Darmstadt jedoch zur Zeit nicht möglich, da die Zulassungsstatistiken erst ab Herbst 2000 ausreichend gut verarbeitet und ausgewertet sind.

Anhand der von der HEAG für die Omnibusse im ÖV gelieferten Fahrleistung von rund 3,7 Mio. Wagenkilometer kann ein Quervergleich mit obiger Tabelle erfolgen. Werden die Linienbusse mit 4,19 Mio. Fzkm dazu in Relation gesetzt, so ergibt sich eine Abweichung von 13,2%. Dies stellt im Rahmen der oben angesprochenen Fehlertoleranz ein sehr gutes Ergebnis dar, das nahelegt, dass die oben angegebenen maximalen Fehler deutlich unterschritten werden, so dass in der Realität von einem um den Faktor 2 kleineren Fehlerbereich ausgegangen werden darf.

Bei der Berechnung der Energieaufwendungen im Individual-Personenverkehr müssen diese 4,19 Mio. Fzkm natürlich ausgenommen werden, genauso, wie die Güterverkehrskomponenten. Diese werden dann in einer zweiten Zahl separat zusammengefasst. Somit ergeben sich für den Individual- und Güterverkehr folgende Energieverbräuche und Emissionen:

Tabelle 46 Energiebedarf und Emissionen im Individual-Personen- und Güterverkehr

	Benzin o. Vorkette GWh/a	Diesel o. Vorkette GWh/a	CO ₂ o. Vorkette in kt/a	CO ₂ mit Vorkette in kt/a	Fehlertoleranz für CO ₂ mit Vorkette in kt/a
Individual-Personenverkehr (Pkw, Krad, Reisebusse)	789,0	69,5	231	277	163 .. 424
Güterverkehr	5,8	140,0	39	43	15 .. 90

Angaben zu Emissionen nach GEMIS

Öffentlicher Personenverkehr

Der öffentliche Personennahverkehr wird in Darmstadt über die HEAG-Verkehrs-GmbH abgewickelt. Im Rahmen einer direkten Anfrage wurden Daten zum Omnibuseinsatz und zu den Straßenbahnkilometern im Stadtgebiet Darmstadt zur Verfügung gestellt:

Tabelle 47 Wagenkilometer der ÖV-Busse in Darmstadt

Omnibustyp	Wagenkilometer 1999
Standardkleinbus	70844
Standardlinienbus	1160210
Gelenklinienbus	2407410
Überlandlinienbus	58248
Gesamt	3696712

Dies ergibt laut GEMIS einen Dieserverbrauch von 15,7 GWh/a (ohne Vorkette).

Für die Verkehrsleistungen der Straßenbahn in Darmstadt wurden folgende Daten bereitgestellt:

Tabelle 48 Wagenkilometer der Straßenbahn in Darmstadt

	Wagenkilometer 1999
Straßenbahntriebwagen	1933654
Straßenbahnbeiwagen	1729355
Gesamt	3663009

Für das Jahr 1998 betrug der Gesamtenergieverbrauch der HEAG-Straßenbahnen im Netzgebiet ab Transformator 11,221 Mio. kWh. Unter Berücksichtigung der Wagenkilometerleistung im Jahr 1998 der Straßenbahnen im Netzgebiet der HEAG von 4,2539 Mio. Wagenkilometer, ergibt sich für den spezifischen Energieverbrauch der Straßenbahnen je Wagenkilometer ein Wert von 2,638 kWh/Wagenkilometer (vergleiche Bundesschnitt 3,52).

Dementsprechend beträgt der Energieverbrauch ab Trafo für die Straßenbahnen im Stadtgebiet für 1999 ein Strombedarf von **9,66 Mio. kWh**.

Nach Einsetzen obiger Daten in Gemis ergeben sich folgenden Energieverbräuche und CO₂-Emissionen:

Tabelle 49 Energieverbrauch und CO₂-Emissionen des ÖV

	EEV Diesel bzw. Strom in GWh/a ohne Vorkette	CO ₂ -Emissionen ohne Vorkette in kt/a	CO ₂ -Emissionen mit Vorkette in kt/a	Fehlertoleranzbereich mit Vorkette in kt/a
Omnibusse – ÖV	15,7	4,2	4,8	4,1 .. 5,5
Straßenbahnen	9,7	0	8,2	7,8 .. 8,6

Schienerverkehr

Unter Schienenverkehr soll hier explizit nur der Verkehr auf dem Gleisnetz mit Fernverkehrs-anbindung erfasst werden (Straßenbahn in Darmstadt bereits unter Punkt 3.4.2). Dabei stellt sich heraus, dass dieser Bereich der mit am schwersten zu erfassende ist. Aufgrund der untergeordneten Relevanz im Vergleich zum Straßenverkehr und der beschränkten Beeinflussbarkeit (Gütertransitverkehr, Personentransitverkehr) werden hier im Rahmen einer zeiteffektiven Arbeitsweise unter Verwendung der einfach erhaltbaren Daten grobe erste Abschätzungen getroffen.

Im Rahmen des Umbaus des Darmstädter Hauptbahnhofs wurde durch das statistische Amt der Stadt Darmstadt eine ausführliche Befragung von abfahrenden Zugreisenden während der Hauptstoßzeit am Vormittag (von 5:29 bis 9:35) vorgenommen. Dabei wurden unter anderem die Fahrtziele erfasst. Dadurch lassen sich diese Bahnauspendler den fünf verschiedenen Gleiswegen im Stadtgebiet zuordnen. In Verbindung mit den jeweiligen Wegelängen der Gleiswege im Darmstädter Stadtgebiet kann so eine Personenkilometerleistung für die Auspendler bestimmt werden. Wird gemäß dem Verhältnis von Ein- zu Auspendlern der Stadt Darmstadt eine gleiche Verteilung zwischen Bahn und Individualverkehr für die Ein- und Auspendler angenommen, so können die Personenkilometer unter Annahme der gleichen Routenverteilung für den Vormittag bestimmt werden. Prinzipiell müssen alle Tagespendler auch wieder zurück. Zusätzlich kommen über den Mittag und Nachts weitere Fahrgäste auf den jeweiligen Routen hinzu. Deshalb wird ein Faktor von 2,75 für die Gesamtpersonenzahl im Vergleich zu den Zahlen in der Vormittagszeit angesetzt. Unter all diesen Annahmen ergibt sich folgende Verkehrsleistung auf der Schiene im Stadtgebiet für die Darmstädter Bahnreisenden⁹:

Tabelle 50 Abschätzung der Pkm im Schienenverkehr

		Reisende in der Zeit von 05:29 bis 09:35 vom DA-Hbf mit Richtung								
Richtung	Streckenlänge in DA vom Hbf, km	Zahl Einsteiger	Zahl Aussteiger	Gesamtzahl der mit DA verbundenen Personen	Hochrechnung auf Tag	Hochrechnung auf Jahr	Pkm/a in DA	spezif. EEV, kJ/Pkm	EEV, TJ/a	
Frankfurt	8,6	730	2359	3089	8496	357256	3072402	693,6	2,13	
Aschaffenburg	9	56	181	237	652	27406	246653	693,6	0,17	
Erbach - Diesel	11,4	16	52	68	186	7830	89265	2330,6	0,21	
HD/MA	7	150	485	635	1746	73409	513861	693,6	0,36	
MZ/WI	3,4	125	404	529	1455	61174	207992	693,6	0,14	
Summe		1077	3481	4558	12534	527075	4130173		3,0	

⁹Transitreisende werden nicht erfasst.

Diese Analyse ist natürlich nur sehr grob und mit vielen Annahmen behaftet (Fehler bis zu -30% /+80%). Deshalb wurde ein Anfrage an die DB AG und über die DADINA an den RMV gestartet, um genauere Daten zu den Personenströmen zu erhalten. Hier sind jedoch noch keine Ergebnisse eingetroffen.

Ein alternativer Ansatz wäre für den Personenschienenverkehr die verschiedenen Züge, die auf den fünf Strecken verkehren bezüglich ihres Antriebs (Elektro/Diesel), ihrer Zahl an Wagen und ihres Weges zu erfassen und darüber Verkehrsleistungen in km zu ermitteln, die dann über Gemis in Energieverbräuche und CO₂-Emissionen umzurechnen wären. Auch hier bleibt das große Problem der Abschätzung der spezifischen Energieverbräuche für die einzelnen Züge insbesondere beim An- und Abfahren und den Anteilen der anzurechnenden Verluste der Oberleitungen und Versorgungseinrichtungen. Anhand einer ca. einstündigen Auswertung des An- und Abfahrtsfahrplans des Darmstädter Hauptbahnhofs soll eine erste Abschätzung angegeben werden. Dabei wurden die Züge in drei Gruppen eingeteilt (S-Bahn, Regionalzüge: RE/SE/RB, Fernverkehrszüge: D/NZ/IR/EC/IC/ICE). Für die Wochenverteilung der Züge wurde im Überblick angenommen, dass im Schnitt 50% der Züge an 6 Tagen/Woche verkehren und 50% an 7 Tagen je Woche. Die S-Bahn ist so gezählt worden, dass sie an 7 Tagen in der Woche verkehrt.

Tabelle 51 Schienenverkehrsleistung der Personenzüge im Darmstädter Stadtgebiet

Fahrstrecke	Regionalzüge					Fernzüge ¹⁰			
	DA-Stadtgebiet in km	Fahrten /Tag	Fahrten /Jahr	Fzkm/a	Verbrauch kWh bzw. kg	Fahrten am Tag	Fahrten im Jahr	Fzkm/a	Verbrauch in kWh bzw. kg
Frankfurt am Main	8,6	39	13221	113701	444683	48	16272	139939	547302
Mainz/Wiesbaden	3,4	51	17289	58783	229899	17	5763	19594	76633
Aschaffenburg	9	47	15933	143397	560826	0	0	0	0
Mannheim/Heidelberg	7	67	22713	158991	621814	58	19662	137634	538287
Odenwald/Erbach - Diesel in kg	11,4	41	13899	158449	137216	1	339	3865	3347
S-Bahn Frankfurt	8,6	80	29200	251120	982130,3				
Summe				884440				301032	

Dabei ist davon auszugehen, dass auf der Odenwald-Strecke nur Dieselmzüge und auf den anderen Strecken nur Elektrotriebwagen verkehren. So ergibt sich ein Dieserverbrauch von rund 140 t/a und ein Stromverbrauch von 4,0 GWh/a (Berechnung auf Basis der Verbrauchskennwerte aus DIW 1999 mit 0,866 kg/Zugkm Diesel und 3,911 kWh/Zugkm Strom).

¹⁰ Auch die Fernverkehrszüge werden mit dem spezifischen Verbrauch der Nahverkehrszüge angesetzt, da das Abbremsen und Beschleunigen im Stadtgebiet dominieren dürfte.

Der Fehler bei dieser Ermittlung liegt bezüglich der Fahrleistungen bei ca. +/-25%. Der eigentliche Fehler tritt bei der Berechnung der Energieaufwendungen auf, da hier nicht erfasst ist wie lang die Züge sind, ob sie Bremsenergie rückspeisen und wie oft sie im Darmstädter Stadtgebiet halten. Dadurch dürfte der Fehler auch hier schnell in Bereiche von +/- 50% steigen. Dieser könnte jedoch durch eine ausführliche Auswertung am Darmstädter Bahnhof über einen Tag und eine exakte Auswertung der Fahrpläne auf ca. +/- 30% gesenkt werden.

Tabelle 52 Energieaufwand und Emissionen im Schienenverkehr (ohne Straßenbahn)

	Energieaufwand in GWh/a	CO ₂ -Äquivalente in kt/a mit Vorkette	Fehlertoleranzbereich mit Vorkette in kt/a
Dieselsbetrieb	1,7	0,5	0,3 .. 0,8
Elektro-Betrieb	4,0	3,4	1,7 .. 5,1

Die hier ermittelten Werte liegen natürlich über denen der Berechnung über die Personenkilometer, da jetzt auch Transitreisende miterfasst sind. Da dies mehr der hier gewählten Betrachtungsweise entspricht, werden letztere Ergebnisse für die Gesamtbilanz verwendet.

Der Schienengüterverkehr spielt in Darmstadt selbst kaum eine Rolle. Eine erste Abschätzung ließe sich über die Abfrage der Deutschen Post und der Industriebetriebe mit Gleisanschluss in Darmstadt ermitteln.

Der Gütertransitverkehr kann aufgrund der kurzen Strecken im Darmstädter Stadtbereich vernachlässigt werden.

Querkontrollen

Um die oben dargestellten Ergebnisse und die ihnen zugrunde liegenden Abschätzungen zu überprüfen, sind eine Reihe von Querchecks denkbar:

- über die Zulassungsstatistik für Darmstadt¹¹ sollte überprüft werden, ob der Bundesschnitt mit 17% Diesel-PKW-Verkehrsleistungen auch für Darmstadt gilt (Otto-PKW fahren durchschnittlich 12.700 km/a, Diesel 17.000 km/a) - zur Zeit keine Daten vorhanden
- weiter vergleichbare Städte suchen, um Datenbasis zu erweitern (**Luftreinhaltepläne bzw. Emissionskataster**)
- Durchführen einer **Sensitivitätsanalyse** zum Einfluss verschiedener Annahmen.

Ergebniszusammenfassung für den Bereich Verkehr

Als Zusammenfassung der oben vorgestellten Berechnungen zur 2-ten Näherung der Stadt Darmstadt ergibt sich folgende Tabelle.

¹¹Ab Herbst 2000 wird das statistische Amt der Stadt Darmstadt sehr gute Werte zum Fahrzeugbestand in Darmstadt haben. Dann ist es sinnvoll gewisse Studien zu vertiefen und neu zu untersuchen.

Tabelle 53 Ergebniszusammenfassung Verkehr

	Personenindi- vidual- verkehr	Güterverkehr -Straße	ÖV inkl. Schiene (Zwi-Sum.)	Linien- busse	Straßen- bahn	Schienenper- sonenverkehr	Summe
Benzin in GWh/a	789,0	5,8	0	0	0	0	794,8
Diesel in GWh/a	69,5	140,0	17,4	15,7	0	1,7	226,8
Strom in GWh/a	0	0	13,7	0	9,7	4,0	13,7
CO ₂ -Brennstoffe in kt/a	231	39	4,6	4,2	0	0,5	275
CO ₂ -Gesamt in kt/a	277	43	17	4,8	8,2	3,9	337
Fehlertoleranz in kt/a	163 .. 424	15 .. 90	14,2 .. 20	4,4 .. 5,5	7,8 .. 8,6	2 .. 5,9	192 .. 534
CO ₂ -HEAGneu in kt/a	277	43	13	4,8	5,7	2,8	333

Um die Stromverbräuche im Verkehrssektor auf einen Primärenergieverbrauch umzurechnen wurde ein durchschnittlicher Bereitstellungsgrad für Strom von 0,37 angenommen.

Im Vergleich zur 0-ten Näherung zeigt sich eine insgesamt sehr gute tendenzielle Übereinstimmung. Dass der Güterverkehr um den Faktor 2 niedrigere Werte aufweist liegt nahe, da ein großer Anteil der Straßengütertransporte im Fernverkehr, also außerhalb von Städten, ablaufen (siehe auch gute Übereinstimmung mit der 1-ten Näherung). Die Übereinstimmung im Schienenverkehr ist wohl eher zufällig, da zum einen der Personenschienenverkehr in einer Stadt eher niedriger als im Bundesschnitt sein sollte (keine Fernstrecken) und zum anderen ergibt sich eine erhebliche "Kompensation" durch den Straßenbahnverkehr in Darmstadt. Es zeigt sich also, dass die Ergebnisse in einem plausiblen Bereich liegen, dass sich aber klare regionale Unterschiede zeigen, sodass die Ergänzung der 0-ten Näherung als sinnvoll erscheint.

Die CO₂-Äquivalente wurden für den Straßenverkehr mittels GEMIS bestimmt. Die Emissionen für den Schienenverkehr ergeben sich über die spezifischen Emissionsfaktoren für Diesel und Strom aus GEMIS.

Die Fehlertoleranzbereiche lassen erkennen, in welchen Bereichen eine weitere Evaluation sinnvoll erscheint. So ist zwar die Ungenauigkeit im Schienenverkehr noch relativ hoch, doch macht der absolute Fehler weit weniger als 1 % der Emissionen des MIV aus, so dass vor allem im Bereich des Straßenverkehrs an einer Verminderung der Fehlerquellen (Verteilung der Fahrzeugkilometer in Darmstadt) gearbeitet werden sollte.

Eine mögliche Verbesserung für den ÖNV im Bereich der Busse der HEAG ergäbe sich durch eine Abfrage der einzelnen Schadstoffklassen der eingesetzten Busse und der spezifischen Verbräuche (1-2 Manntage).

In Ergänzung zu der hier vorgestellten Betrachtung mit Bezug auf das Stadtgebiet, bietet es sich im Verkehrssektor an alternativ die durch die in Darmstadt Wohnenden global erzeugten Verkehrs-CO₂-Äquivalente zu bestimmen.

6 Umwandlungssektor: Strom, Fernwärme und Abfallwirtschaft

Neben den bisher behandelten Einzelsektoren ist für die Klimabilanz auch wichtig, die emissionsrelevanten Daten des sog. Umwandlungssektors zu bestimmen – damit sind die Bereiche gemeint, die Ver- und Entsorgungsaufgaben für die anderen Sektoren übernehmen.

In Darmstadt sind hier besonders die Strom- und Fernwärmeerzeugung sowie die Abfallwirtschaft relevant¹².

6.1 Strombereitstellung

In Darmstadt erfolgt die Stromversorgung überwiegend¹³ durch die Hessische Elektrizitäts-AG (HEAG), die wiederum die Hauptmenge ihres Stroms von der RWE Energie AG (RWE) bezieht. Der Anteil der lokalen Stromerzeugung aus Anlagen in Darmstadt liegt z.Zt. bei knapp 1% und wird daher nicht näher betrachtet¹⁴.

Die HEAG wird künftig rd. 30 % ihres Stroms aus einem Erdgas-Kombikraftwerk in Mainz beziehen, und auch die Strombeschaffung wird sich tendenziell vom bisherigen Vorlieferant RWE wegverlagern. Da dies erhebliche Auswirkungen auf die CO₂-Emissionen haben wird, wurde in der Klimabilanz ergänzend auch mit einem Strommix „HEAG-neu“ gerechnet¹⁵.

6.2 Fernwärmebereitstellung

Bei der Fernwärme wurde ein Bezugsmix auf Basis Müll-HKW (20 %) und GT-HKW (26%) sowie Gas-BHKW (10%) und Gas-Kessel (44%) angenommen, die Verluste des Netzes sind mit 15% angenommen. Bei der Fernwärme wird für parallel erzeugten Strom eine Gutschrift berechnet.

6.3 Abfallwirtschaft

In diesem Sektor wurde gutes Datenmaterial für die Abfallströme aus Haushalten und Gewerbe durch das lokale Abfallentsorgungsunternehmen (EAD) zur Verfügung gestellt.

Eine Auftrennung in Haushaltsabfälle und Gewerbeabfällen ist nur in wenigen Fällen möglich (gesammelte Entsorgung sowohl bei der Abfuhr als auch in den Sammelcontainern). Dementsprechend wird nur eine summierte Zahl angegeben.

¹² Die Wasserver- und entsorgung wurde im Strombedarf des GHD-Sektors einbezogen. Die mit der Gasbereitstellung verbundenen Emissionen (Verluste im Gasnetz) wurden den Gasverbrauchern in den einzelnen Sektoren zugerechnet.

¹³ Einige Industriebetriebe sowie die TUD erzeugen Teile ihres Strombedarfs in Eigenanlagen, die damit verbundenen Emissionen wurden den jeweiligen Sektoren (GHD, Industrie) zugerechnet.

¹⁴ Die lokalen Blockheizkraftwerke (BHKW), ein Gasturbinen-Heizkraftwerk sowie das Müllheizkraftwerk (vgl. Kapitel 6.3) sind zusammen mit Spitzenkesseln allerdings bei der Fernwärmeerzeugung berücksichtigt (siehe Kapitel 6.2).

¹⁵ Es ist weiterhin absehbar, dass das industrielle Heizkraftwerk der Firma Merck in den nächsten Jahren von Kohle auf Erdgas umgestellt wird mit entsprechenden Konsequenzen für die Emissionsbilanz. Da hierzu aber noch keine genaueren Daten vorliegen, sollte dies bei der künftigen Verbesserung und Fortschreibung der Klimabilanz berücksichtigt werden.

Tabelle 54 *Abfallaufkommen von Haushalten und Gewerbe in Darmstadt für 1998*

Abfallart	Menge in t	Anmerkungen und Entsorgung
Abfälle zur Beseitigung	46304	14.114 Gewerbe, 228 US-Housing, 144 US-Gewerbe; MHKW
organische Abfälle	11080	davon 158 Gewerbe; Kompostierung
Altpapier	15659	Recycling
Altglas	4429	Recycling
Sperrmüll zur Verwertung	3823	v.a. Holz, Altteppiche, Metalle; Recycling
Leichtstofffraktionen	2576	Recycling
Sonstige Metalle	814	Recycling
Altholz	718	Recycling
Alttextilien	333	Inkl. Stadt Griesheim; Recycling
Sonderabfälle - Kleinmengen	42	HIM
Kehricht, Sinkkastenrückst.	2693	Davon 1208 MHKW; 111 Deponie; 1374 Recycling
Sinkkastenrückstände	127	Deponie
Sonstige brennbare Abfälle	724	MHKW
DSD-Sortierreste	353	MHKW
Nichtbrennbarer Gewerbeabfall	542	Deponie
Baustellenabfälle	341	Deponie
Bauschutt/Erdaushub	9922	Recycling
Kommunaler Klärschlamm	14528	25% TS; Recycling in Landwirtschaft
Rechengut	378	MHKW
Sandfanggut, Kanalsedimente	690	Deponie
Abfälle der US-Streitkräfte	2110	MHKW
Summe	118665	

In diesen Zahlen sind die Abfallmengen der Großindustrie nicht enthalten, da diese die Entsorgung in eigener Hand regeln. Es ist lediglich bekannt, dass die Kläranlage von Merck 1998 ca. 9600 t Klärschlamm mit 25% TS produziert hat. Die weiteren Daten müssten über Einzelabfragen bei der Industrie erfasst werden.

Die Entsorgung der Abfälle erfolgt ortsnah im Darmstädter Kompostierungswerk, dem Müllheizkraftwerk und seit 1.1.1999 in der Deponie Brombachtal (soll in 4-5 Jahren geschlossen werden; vorher Deponierung in Büttelborn). Die Recyclingmengen werden durch beauftragte Privatunternehmen behandelt (vergleiche Abfallwirtschaftskonzept des EAD).

Tabelle 55 Entsorgungswege der Darmstädter Abfälle

Entsorgungsweg	Menge in t	Anmerkungen
Kompostierung	11080	Verrottung in geschlossenen Behältern mit Abluftreinigung
Müllheizkraftwerk	53429	Davon zusätzlich 402 t US-Streitkräfte von außerhalb Darmstadts; 1950 t DSD-Sortierreste aus Landkreisen Darmstadt/Dieburg und Offenbach
Deponie	1811	
HIM	42	
Recycling	54655	
Summe	121017	

Das Kompostierwerk führt eine aerobe Vergärung aus, wobei die entstehenden Abgase gesammelt und über Biofilter gereinigt werden.

Für die in der Müllverbrennungsanlage entsorgten Abfälle wurden CO₂-Emissionsfaktoren aus GEMIS verwendet, da hierzu keine spezifischen Daten aus Darmstadt vorliegen.

7 Ergebnisse der Klimabilanz Darmstadt

Die in der Kurzklimabilanz für Darmstadt gewonnenen Ergebnisse stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 56 Sektoraler Energieverbrauch in Darmstadt

in GWh/a	Gas	Öl	Kohle	Fernwärme	Strom
Haushalte	662	477	0	124	328
Industrie	387	19	419	-	282
GHD	664	142	-	40	306
Verkehr	0	1022	-	-	14
Summe	1713	1660	419	164	930

Mit den Emissionsfaktoren aus GEMIS wurden aus den Energiebedarfen zuerst die lokalen Treibhausgasemissionen (als CO₂-Äquivalente¹⁶) berechnet, die folgende Tabelle zeigt.

Tabelle 57 Lokale CO₂-Äquivalente in Darmstadt

in 1000 t/a	Gas	Öl	Kohle	Fernwärme	Strom	Abfall	Summe
Haushalte	132	128	0	43	0	-	303
Industrie	77	5	151	14	0	-	247
GHD	133	38	0	14	0	-	185
Verkehr	-	275	-	-	0	-	275
Entsorgung	-	-	-	-	-	9	9
Summe	343	446	151	70	0	9	1.019

In Ergänzung wurden dann auch die außerhalb von Darmstadt entstehenden Emissionen in die Bilanz mit einbezogen, damit ergeben sich die folgenden Ergebnisse:

Tabelle 58 CO₂-Äquivalente in Darmstadt inkl. Vorkette

in 1000 t/a	Gas	Öl	Kohle	Fernwärme	Strom	Abfall	Summe
Haushalte	146	140	0	26	278	-	590
Industrie	85	6	185	8	239	-	523
GHD	146	42	0	8	259	-	456
Verkehr	-	325	-	-	12	-	337
Entsorgung	-	-	-	-	-	9	9
Summe	377	513	184	34	788	9	1.914

¹⁶ In CO₂-Äquivalenten – hierin werden insbesondere CO₂, CH₄ und N₂O nach ihrer Klimawirksamkeit zusammengefasst.

Beim Strom ist zu beachten, dass ab ca. Ende 2000 durch die Inbetriebnahme des neuen Gemeinschaftskraftwerks in Mainz die zu erwartenden Emissionen sinken werden (Fall HEAG-neu), was folgende Tabelle zeigt.

Tabelle 59 CO₂-Äquivalente mit Vorkette und neuem Strommix der HEAG

in 1000 t/a	Gas	Öl	Kohle	Fernwärme	Strom	Abfall	Summe
Haushalte	146	140	0	26	192	-	504
Industrie	85	6	184	8	166	-	450
GHD	146	42	0	8	180	-	376
Verkehr	0	325	0	0	8	-	333
Entsorgung	-	-	-	-	-	9	9
Summe	377	513	185	43	546	9	1.672

Aus den Einzeldaten kann nun eine Übersicht zu den Sektoren und Betrachtungsfällen abgeleitet werden, die folgende Tabelle zeigt.

Tabelle 60 CO₂-Äquivalente für alle Sektoren und Betrachtungsfälle

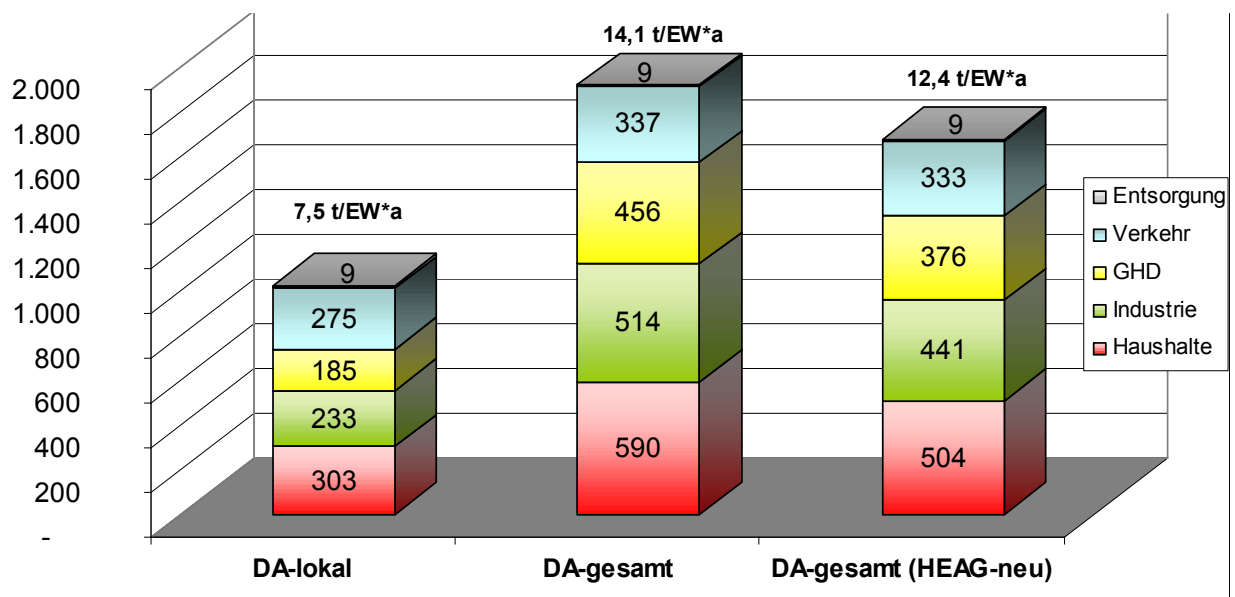
in 1000 t/a	lokal	mit Vorkette	HEAG-neu
Haushalte	303	590	504
Industrie	247	523	450
GHD	185	456	376
Verkehr	275	337	333
Entsorgung	9	9	9
Summe	1.019	1.914	1.672

Es ist deutlich sichtbar, dass sich durch die Einbeziehung der „Vorkette“ außerhalb Darmstadts sich beim heutigen Strommix die Gesamtemission knapp verdoppelt, während sie in Zukunft (Strommix HEAG-neu) um immerhin 60% ansteigt.

Eine Vernachlässigung der durch Darmstädter Nachfragen bedingten Treibhausemissionen außerhalb des Stadtgebiets von Darmstadt ist aus Sicht des Klimaproblems (das sich ja global stellt) daher unzulässig.

In grafischer Form stellen sich die Gesamtergebnisse wie folgt dar.

Bild 5 Gesamte Treibhausgasemissionen in Darmstadt



Angaben in 1000 t CO₂-Äquivalente

Die Grafik zeigt zuerst die *lokalen* Emissionen, d.h. die im Darmstädter Stadtgebiet entstehenden Treibhausgase. Der 2. Balken zeigt die *Gesamtemissionen* unter Einrechnung der außerhalb von Darmstadt emittierten Treibhausgase (Stromerzeugung, Raffinerien, Bergbau usw.). Der 3. Balken verdeutlicht, dass Ende 2000 durch Inbetriebnahme des Gemeinschaftskraftwerks Mainz die (strombedingten) Emissionen deutlich sinken werden. Über den Balken wurden die CO₂-Äquivalente in pro-Kopf-Zahlen umgerechnet.

Mit rd. 1,9 Mio t CO₂-Äquivalenten verursacht Darmstadt knapp 0,2% der bundesdeutschen Emissionen – und liegt mit rd. 14 t/Kopf *weit über* dem Bundesdurchschnitt.

Die folgende Grafik zeigt die prozentualen Anteile der Sektoren in Darmstadt an der Gesamtemission von Treibhausgasen (heutiges Strommix).

Bild 6 Verursacheranteile der Treibhausgasemissionen in Darmstadt

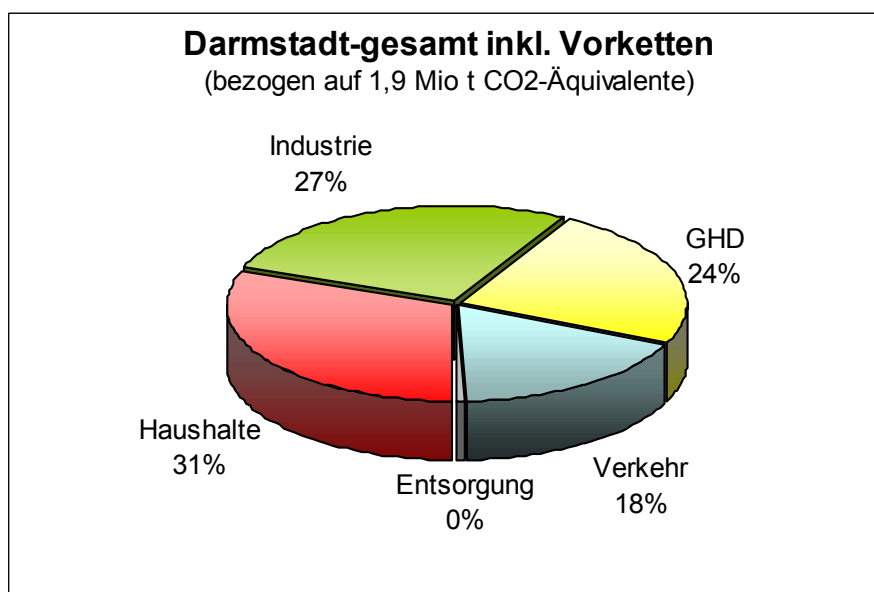
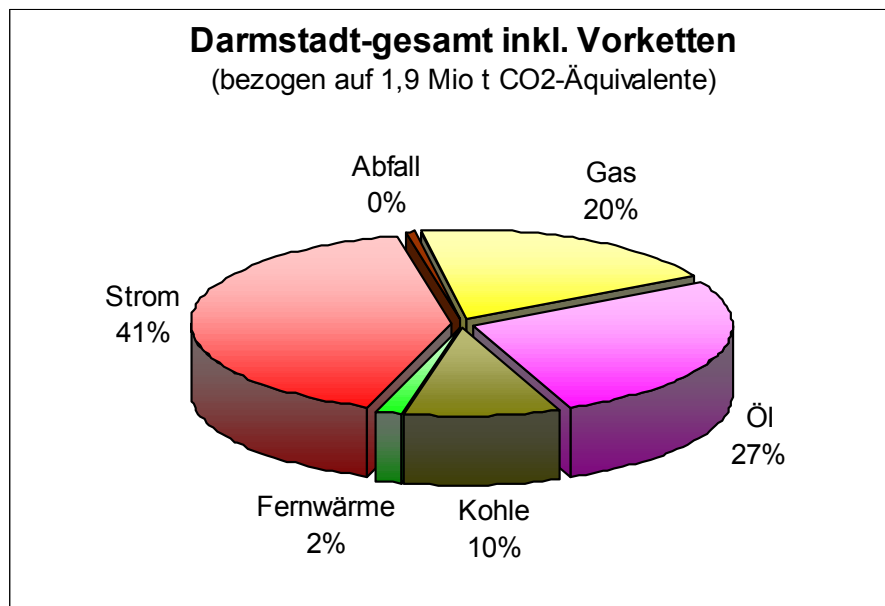


Bild 6 verdeutlicht, dass die Haushalte in Darmstadt den wichtigsten Verursacher darstellen, gefolgt von der Industrie und dem Sektor Gewerbe/Handel/Dienstleistungen (GHD genannt) mit jeweils rund $\frac{1}{4}$ der Gesamtemission. Der Verkehrssektor verursacht knapp $\frac{1}{5}$ der Emissionen, während die Abfallentsorgung (Müllverbrennung) unter 1% beiträgt.

Die nächste Grafik zeigt die Verteilung der Treibhausgase auf jeweiligen Verursacher.

Bild 7 Verursacheranteile für Treibhausgasen in Darmstadt – Rolle Energie und Abfall



Diese Grafik zeigt die dominante Rolle des Stroms, gefolgt von Öl (für Heizen und Verkehr).

Zur Senkung der Treibhausgasemissionen sind somit Schwerpunkte bei dem Strom (Erzeugung und Nachfrage), dem Raumwärmebedarf der Haushalte sowie dem Individualverkehr zu setzen.

Mögliche und nötige Verbesserungen der Klimabilanz

Bei der lokalen Bilanz in der Industrie ist zu beachten, dass die Firma Merck plant, ihr kohlebetriebenes Heizkraftwerk in den nächsten Jahren auf Erdgas umzustellen - damit würden die Treibhausgasemissionen der Industrie insgesamt deutlich sinken. Sobald genauere Planungsdaten vorliegend, sollte dieser Effekt in der Klimabilanz berücksichtigt werden.

In einem späteren Arbeitsschritt, der aus Zeitgründen nicht mehr durchgeführt wurde, können weiterhin die Verkehrsemissionen auch unter dem Aspekt betrachtet werden, welche Emissionen global durch die Darmstädter Bürger erzeugt werden (inkl. Flugreisen usw.).

Außerdem sollte der sog. „Warenkorb“ (Ernährung, Getränke, Möbel, Kosmetika etc.) Berücksichtigung finden, da er nach neuesten Erkenntnissen des Öko-Instituts bis zu $\frac{1}{3}$ der Gesamt-CO₂-Emissionen ausmachen kann – die absoluten und die pro-Kopf-Emissionen der „Darmstädter“ stiegen damit nochmals deutlich an.

Abschließend sollte die Klimabilanz auch die Wirkungen eines Katalogs von Minderungsmaßnahmen abbilden, wie er von der Lokalen Agenda in Darmstadt vorgeschlagen wurde.

Beim Umsetzen dieser Maßnahmen kann die Klimabilanz dann durch Aktualisierungen den erreichten Fortschritt beim Klimaschutz dokumentieren.

Literatur

- AGEB (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen) 1998: Energiebilanz 98
- ages 1996: Verbrauchskennwerte 1996, Münster
- BEA (Brandenburgische Energiespar-Agentur) 1998: Energiekennwerte, Michael Kubessa
- BMfV (Bundesministerium für Verkehr), 1999: Verkehr in Zahlen 1999, Deutscher-Verkehrs-Verlag GmbH, Hamburg
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) 1997: Energieeffizienzindikatoren – Dokumentation, Kurzfassung des Abschlußberichtes des Forschungsvorhabens Nr. 23/97, Bonn
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) 1999: Energie Daten 1999, Bonn
- Darmstadt 1998: Statistisches Jahrbuch 1998, Amt für Einwohnerwesen, Wahlen und Statistik, Darmstadt
- Darmstadt 1999: Statistische Berichte, 1.Halbjahr 1999, Amt für Einwohnerwesen, Wahlen und Statistik, Darmstadt
- Diekmann, Jochen u.a. 1999: Energie-Effizienz-Indikatoren, Heidelberg
- DIW (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung) 1999: Produktion und Faktoreinsatz, Berlin
- Graz 1995: Emissionskataster der Stadt Graz aus dem Jahr 1995, Graz
- GWZ 1987: Gebäude und Wohnungszählung
- HStLA (Hessisches Statistisches Landesamt) 1999: Statistische Berichte, Verarbeitendes Gewerbe in Hessen 1998, Wiesbaden
- IWU (Institut Wohnen und Umwelt) 1996: Der zukünftige Heizwärmebedarf der Haushalte, Ebel, Witta/ Eicke-Hennig, Werner/ Feist, Wolfgang/ Groscurth, Helmut, Darmstadt
- KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) 2000: Beiträge zur Mittelstands- und Strukturpolitik, Abteilung Unternehmenskommunikation Nr.14, Frankfurt
- Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2000: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.0, U.R. Fritsche et al., i.A. des Hessischen Umweltministeriums, Darmstadt/Freiburg/Berlin (kostenloser Bezug unter <http://www.oeko.de/service/gemis/>)
- Reich/Braakmann 1995: Das Sozialprodukt einer Volkswirtschaft
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 1994: Energieverbrauchskennwerte für Gebäude Blatt 1, VDI-Richtlinie 3807
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 1998: Energieverbrauchskennwerte für Gebäude Blatt 2, VDI-Richtlinie 3807

Anhang 1: Gebäudedaten für Darmstadt

Unter Zuhilfenahme von Luftbildern wurde eine Auswertung vorgenommen, die einzelne Gebäude für jeden statistischen Bezirk in Baualtersklassen und Gebäudetypen eingeteilt.

Tabelle 61 Auswertung

Stat. Bezirk	WE	WF m ²	EFH			RH			MFH		
			-1948	1949 - 1978	1979 - 2000	-1948	1949 - 1978	1979 - 2000	-1948	1949 - 1978	1979 - 2000
110	939	58382							20	70	10
120	2185	111343							3	90	7
130	459	22868								95	5
140	2954	198317					2		10	78	10
150	3564	213136		15			10		10	50	15
210	3029	207796							98	2	
220	3431	211922							70	20	10
230	3425	228491							60	30	10
240	1542	122469		50						50	
250	310	20150							50	50	
260	1373	83776	20				20			50	10
270	2098	141365	10							70	20
310	1724	172453	10	20			30			40	
320	1867	111338	23						50	27	
330	2941	189261							80	20	
340	1178	93908	10	60			5		15	10	
410	2944	242862	20	20	10		10		30	10	
420	3491	236179							70	30	
430	706	51495			50					30	20
510	1551	101500								70	30
520	2611	199472		70						30	
530	1807	120303	10				10			60	20
540	391	28427								70	30
610	1715	137581	20						40	30	10
620	1782	154228	10	30			10			30	20

630	2027	178877	20	10				10		40	20
640	648	58558		20	20		30	20		10	
650	2301	194789					40			60	
660	864	67132								50	50
710	2345	193132							80	10	10
720	1635	135596					50	10		40	
730	1591	163073	30	20				30	10		10
740	1359	128711		20	20		30	20		10	
750	2614	179413					30			50	20
810	1443	126909	30	20	20					20	10
820	817	75286	50	20	10		5	5		10	

Angaben in kWh/m²*a

Den einzelnen Gebäudetypen werden entsprechend der vereinfachten Gebäudetypologie spezifische Heizwärmeverbräuche zugeordnet.

Eine Anpassung an den Gebäudebestand von 1997 erfolgt analog den Daten der GWZ 87.

Tabelle 62 Heizwärmeverbräuche nach Gebäudetypen

Stat. Bezirke	WE	Wohnfläche m ²	EFH -1948	EFH 1949-1978	EFH 1979-2000	RH -1948	RH 1949-1978	RH 1979-2000	MFH -1948	MFH 1949-1978	MFH 1979-2000
110	939	58382							1984988	5231027	443703
120	2185	111343							567849	12826714	592345
130	459	22868								2780749	86898
140	2954	198317					579086		3371389	19799969	1507209
150	3564	213136		4316004			3111786		3623312	13640704	2429750
210	3029	207796							34618814	531958	
220	3431	211922							25218718	5425203	1610607
230	3425	228491							23306082	8774054	1736532
240	1542	122469		8266658						7838016	
250	310	20150							1712750	1289600	
260	1373	83776	3686144				2446259			5361664	636698
270	2098	141365	3110030							12666304	2148748
310	1724	172453	3793966	4656231			7553441			8829594	
320	1867	111338	5633703						9463730	3847841	
330	2941	189261							25739496	4845082	
340	1178	93908	2065976	7606548		831086			2394654	1202022	
410	2944	242862	10685928	6557274	2914344		3545785		12385962	3108634	
420	3491	236179							28105301	9069274	

430	706	51495				3089700											1977408	782724	
510	1551	101500															9094400	2314200	
520	2611	199472															7659725		
530	1807	120303	2646666							1756424							9239270	1828606	
540	391	28427															2547059	648136	
610	1715	137581	6053564														9355508	5283110	1045616
620	1782	154228	3393016							2251729							5922355	2344266	
630	2027	178877	7870588														9158502	2718930	
640	648	58558								2564840							749542		
650	2301	194789								11375678							14959795		
660	864	67132															4296448	2551016	
710	2345	193132															26265952	2472090	1467803
720	1635	135596								9898508							6942515		
730	1591	163073	10762818														4598659	2772241	1239355
740	1359	128711								5637542							1647501		
750	2614	179413								7858289							11482432	2727078	
810	1443	126909	8375994														3248870	964508	
820	817	75286	8281460							549588							963661		
Summe WF 1987		4960498	76359853							831086							224713093	31824727	
Anpassung WF 97		5421000	83448630							908239							245574069	34779138	

Heizwärmebedarf HH in DA 768,76 GWh/a

Anhang 2: Verkehrsdaten von Berlin

Berlin

Sicherlich ist Berlin von der Größe und der Verkehrsstruktur nicht mit Darmstadt vergleichbar. Trotzdem sollen einige zentrale Daten, die sich aus dem Emissionskataster des Kraftfahrzeugverkehr für Berlin 1993 ergeben aufgeführt werden (Abschlußbericht, Mai 1996):

- Tagesgänge für PKW, werktags mit einem Hoch zwischen 7.00 und 18.00, das bis 22.00 ausgleitet (Tageshoch zu Nacht ca. 6,5 : 1)
- Tagesgang bei LKW, werktags: Hoch zwischen 7 und 15.00 ausgleitend bis 20.00 (Tageshoch zu Nacht ca. 20 : 1)
- Tagesgang PKW, samstags: ab 7.00 ansteigend bis 11.00, ab 20.00 abfallend bis 1.00 (Tageshoch zu Nacht 7:1)
- Tagesgang LKW, samstags: Anstieg von 7.00 bis 13.00, dann Abfall bis 19.00 (Hoch zu Tief 28:1)
- Tagesgang PKW, sonntags: Anstieg ab 7.00 bis 14.00, dann bis 20.00 gleich; Abfall bis 2.00 (Hoch zu Tief 15:1)
- Tagesgang LKW, sonntags: Anstieg von 7.00 bis 13.00 dann Abfall bis 20.00 (Hoch zu Tief 28:1)
- Wochengang PKW: Mo-Do 1,08; Sa 0,85; So 0,77
- Wochengänge LKW: Mo-Do ca. 1,3 Anteile; Fr 1,2 Sa 0,3 So 1,8
- Jahresgang Kfz: J 0,95 Anteile; F 1; M 1,05; A 1,08; M 1,06; J 0,99; J 0,96; A 0,98; S 1,01; O 1,02; N 1; D 0,9
- Anteil schwerer LKW an der Verkehrsleistung: überwiegend Wohngebiet: 2,5%; Zentren und Subzentren 3,5% und Gewerbe- und Industriegebiete 7,0%
- Verteilung PKW, Kombi und LNFz zu schweren NutzFz und Bussen 94% zu 6%