



Technische Universität Dresden  
Institut für Geografie  
Lehrstuhl Wirtschafts- und Sozialgeografie  
Prof. Dr. habil. Hartmut Kowalke

## Diplomarbeit zum Thema

### **Stadt – Verkehr – CO<sub>2</sub>**

### **Eine empirische Untersuchung am Beispiel Berlin**

eingereicht von: **Diana Reckien**  
Matrikelnummer: 2663773

bei: Prof. Dr. habil. Hartmut Kowalke, TU Dresden  
Prof. Dr. habil. em. Manfred Kramer, TU Dresden  
Dr. Ottmar Edenhofer, PIK

Potsdam, den 02.02.2002

---

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1 EINFÜHRUNG IN DIE THEMATIK .....	1
1.2 DEFINITION UND ABGRENZUNG DES THEMAS .....	2
1.3 METHODISCHE VORGEHENSWEISE .....	2
1.4 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE .....	3
<b>2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN .....</b>	<b>4</b>
2.1 DIE ROLLE DES CO <sub>2</sub> IM GLOBALEN KLIMA .....	4
2.2 DER EINFLUSS VON LEBENS- UND WIRTSCHAFTSWEISEN AUF CO <sub>2</sub> -EMISSIONEN .....	12
2.3 DER EINFLUSS DER SIEDLUNGSSTRUKTUR AUF CO <sub>2</sub> -EMISSIONEN .....	25
2.4 DER EINFLUSS DER VERKEHRSSTRUKTUR AUF CO <sub>2</sub> -EMISSIONEN .....	40
2.5 DER EINFLUSS DES EINKOMMENS AUF CO <sub>2</sub> -EMISSIONEN .....	44
2.6 ZUSAMMENFASSUNG DER THEORETISCHEN GRUNDLAGEN .....	50
<b>3 STATISTISCHE ANALYSE .....</b>	<b>52</b>
3.1 EINLEITUNG .....	52
3.2 RÄUMLICHER UND ZEITLICHER RAHMEN DER DATENAUSWAHL .....	52
3.3 CHARAKTERISIERUNG DER ANALYSEARTEN .....	53
3.4 ANALYSE DER SIEDLUNGSSTRUKTUR .....	57
3.5 ANALYSE DER VERKEHRSSTRUKTUR .....	72
3.6 ANALYSE DES EINKOMMENS .....	79
3.7 ENDANALYSE ZUR KOMBINATION VON SIEDLUNGSSTRUKTUR, VERKEHRSSTRUKTUR UND EINKOMMEN .....	86
<b>4 FAZIT .....</b>	<b>92</b>
<b>5 AUSBLICK .....</b>	<b>94</b>
<b>6 LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>98</b>
<b>7 DANKSAGUNG .....</b>	<b>107</b>
<b>8 ANHANG .....</b>	<b>108</b>

---

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt.....	5
Abbildung 2: Globale, bodennahe Luft- und Meeresoberflächentemperatur .....	6
Abbildung 3: Die Veränderungen der CO <sub>2</sub> -Konzentration seit dem Mittelalter.....	8
Abbildung 4: Erhebungssystematik des Emissionskatasters Verkehr 1993 .....	15
Abbildung 5: Endenergieverbrauch in Deutschland nach Verbrauchergruppen .....	20
Abbildung 6: CO <sub>2</sub> -Emissionen in Berlin nach Verursachungssektoren .....	21
Abbildung 7: Verkehr im (unvollständigen) Regelkreis von Einflussgrößen .....	23
Abbildung 8: Automobilabhängigkeit im Verhältnis zur Siedlungsdichte.....	31
Abbildung 9: Entwicklung der Kraftstoffpreise .....	45
Abbildung 10: Flussdiagramm zur Studie von SCHÄFER & VICTOR .....	47
Abbildung 11: Histogramm zur Analyse der Dichte .....	64
Abbildung 12: Normalverteilungsplot zur Analyse der Dichte .....	64
Abbildung 13: Histogramm zur Analyse der Verkehrsinfrastruktur .....	77
Abbildung 14: Normalverteilungsplot zur Analyse der Verkehrsinfrastruktur .....	77
Abbildung 15: Histogramm zur Analyse des Einkommens.....	84
Abbildung 16: Normalverteilungsplot zur Analyse des Einkommens .....	84
Abbildung 17: Histogramm zur kombinierten Endanalyse .....	90
Abbildung 18: Normalverteilungsplot zur kombinierten Endanalyse .....	90
Abbildung 19: Thematische Karte zur Darstellung der Berliner Stadtbezirke .....	108
Abbildung 20: Streudiagramm zu Arbeitsplätzen je EW .....	109
Abbildung 21: Streudiagramm zu Industriearbeitsplätzen je EW .....	109
Abbildung 22: Streudiagramm zur bebauten Gesamtfläche .....	110
Abbildung 23: Streudiagramm zur Verkehrsfläche je EW .....	110
Abbildung 24: Streudiagramm zur Anzahl der Kfz.....	111
Abbildung 25: Streudiagramm zum mittleren Pro-Kopf-Einkommen .....	111
Abbildung 26: Streudiagramm zur niedrigen Einkommensgruppe .....	112
Abbildung 27: Streudiagramm zur mittleren Einkommensgruppe .....	112
Abbildung 28: Streudiagramm zur hohen Einkommensgruppe.....	113
Abbildung 29: Entwicklungsprognose zur Variable Verkehrsfläche je EW .....	118
Abbildung 30: Entwicklungsprognose zur Variable Arbeitsplätze je EW .....	118
Abbildung 31: Entwicklungsprognose zur Variable Mittleres Pro-Kopf-Einkommen	119

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Klimagase und deren Beitrag zum Treibhauseffekt für Deutschland.....	7
Tabelle 2: Spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen verschiedener Energieträger .....	13
Tabelle 3: Vergleich spezifischer Energieverbrauchswerte in Deutschland 1996.....	16
Tabelle 4: Signifikanzniveaus.....	54
Tabelle 5: Korrelationsanalyse mit Parametern der Dichte .....	58
Tabelle 6: Regressionsanalyse mit Parametern der Dichte.....	60
Tabelle 7: Prüfung der Regressionsfunktion zur Dichte.....	61
Tabelle 8: F-Statistik der Regression mit Parametern der Dichte.....	62
Tabelle 9: T-Statistik der Regression mit Parametern der Dichte .....	63
Tabelle 10: Korrelationsanalyse mit Parametern der Mischung.....	66
Tabelle 11: Vergleich der Pro-Kopf-CO <sub>2</sub> -Emissionen im Verkehr mono- und polyzentraler Städte.....	70
Tabelle 12: Korrelationsanalyse mit Parametern der Verkehrsstruktur.....	73
Tabelle 13: Regressionsanalyse mit Parametern der Verkehrsstruktur .....	74
Tabelle 14: Prüfung der Regressionsfunktion zur Verkehrsstruktur .....	75
Tabelle 15: F-Statistik der Regression mit Parametern der Verkehrsstruktur .....	75
Tabelle 16: T-Statistik der Regression mit Parametern der Verkehrsstruktur.....	76
Tabelle 17: Korrelationsanalyse mit Parametern des Einkommens .....	80
Tabelle 18: Regressionsanalyse mit Parametern des Einkommens .....	81
Tabelle 19: Prüfung der Regressionsfunktion zum Einkommen .....	82
Tabelle 20: F-Statistik der Regression mit Parametern zum Einkommen.....	83
Tabelle 21: T-Statistik der Regression mit Parametern zum Einkommen.....	83
Tabelle 22: Ergebnisse der kombinierten Regression.....	87
Tabelle 23: Prüfung der kombinierten Regressionsfunktion .....	88
Tabelle 24: F-Statistik der kombinierten Regression.....	89
Tabelle 25: T-Statistik der kombinierten Regression .....	89
Tabelle 26: Gegenüberstellung alter und neuer Stadtbezirke in Berlin .....	108
Tabelle 27: Durbin-Watson-Tabelle (F-Tabelle).....	114
Tabelle 28: t-Tabelle .....	115
Tabelle 29 - 33: Regression zu den Einkommensgruppen mit dem niedrigsten und dem höchsten, monatlichen Durchschnittseinkommen.....	116

---

## **Abkürzungsverzeichnis**

AP	- Arbeitsplatz/ Arbeitsplätze
BMU	- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWi	- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
bzw.	- beziehungsweise
°C	- Grad Celsius
CH <sub>4</sub>	- Methan
CO <sub>2</sub>	- Kohlendioxid
d.h.	- das heisst
DIW	- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
DM	- Deutsche Mark
EK	- Einkommen
EW	- Einwohner
FKW	- wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe
h	- Stunde
ha	- Hektar
HH	- Haushalte
HKW	- Perfluorierte Kohlenwasserstoffe
IzR	- Informationen zur Raumentwicklung
insg.	- insgesamt
K	- Kelvin
Kfz	- Kraftfahrzeuge
kJ	- Kilo-Joule
km	- Kilometer
kt	- Kilo-Tonnen
kW	- Kilowatt
kumul.	- Kumuliert
Lkw	- Lastkraftwagen
LpB	- Landeszentrale für politische Bildung
MIV	- Motorisierter Individualverkehr
Mrd.	- Milliarden
N <sub>2</sub> O	- Distickstoffoxid = Lachgas
NMIV	- Nicht motorisierter Individualverkehr
ÖPNV	- Öffentlicher Personennahverkehr
PIK	- Potsdam Institut für Klimafolgenforschung e.V.

---

Pkm	-	Personenkilometer
ppm	-	parts per million = Teilchen pro Million Teilchen
%	-	Prozent
PS	-	Pferdestärke
SF <sub>6</sub>	-	Schwefelhexafluorid
Str-v	-	Straßenverkehr
&	-	und
u.a.	-	und andere
u.ä.	-	und ähnliche
UFZ	-	Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Vfl	-	Verkehrsfläche
Vgl.	-	Vergleiche
Wahrsch.	-	Wahrscheinlichkeiten
z. B.	-	zum Beispiel
z. T.	-	zum Teil

# 1 Einleitung

## 1.1 Einführung in die Thematik

Die Entwicklungen, die unter den Stichworten „Globaler Klimawandel“ oder „Globale Erwärmung“ zusammengefasst sind, machen seit einigen Jahrzehnten Schlagzeilen in den Medien. Oftmals werden diese durch Stichwörter wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) oder Treibhauseffekt begleitet und erregen somit zunehmend die Besorgnis der Bevölkerung. Damit wächst die Notwendigkeit wissenschaftlicher Forschung, die durch das Aufdecken weiterer Ursache-Wirkungsprinzipien die effizientesten Möglichkeiten für Handlungsoptionen absteckt. Zum Zusammenhang von Stadt, Verkehr und CO<sub>2</sub> existieren bereits eine Fülle von Thesen, die das Interesse an der vorliegenden Arbeit weckten.. Es stellte sich jedoch heraus, dass das verfügbare Material zum Thema noch umfangreicher ist als erwartet. Deshalb entwickelte sich das Interesse am Thema zur Motivation, diese Thesen anhand einer empirischen Untersuchung zu überprüfen. Die Ergebnisse der in dieser Arbeit durchgeführten statistischen Analyse haben gezeigt, dass einige Thesen der wissenschaftlichen Theorie für die gewählte Region sehr wohl verifiziert, andere aber falsifiziert werden müssen.

Anhand von Temperaturaufzeichnungen der letzten Jahrzehnte kommen viele Wissenschaftler zu dem Ergebnis, dass sich das Erdsystem bereits seit den späten fünfziger Jahren einer durch die globale Erwärmung der unteren Atmosphäre hervorgerufenen Klimaänderung unterwerfen muss, dessen Ursache mit höchster Wahrscheinlichkeit die Anthroposphäre darstellt<sup>1</sup>. Im Zuge dieser Diskussion werden vor allem die anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen als Treiber des globalen Treibhauseffektes kritisch betrachtet, die seit der Industrialisierung durch den enorm gestiegenen Einsatz fossiler Brennstoffe stark zugenommen haben. Den Großstädten und Agglomerationen kommt dabei als Ort des Energieverbrauchs<sup>2</sup> herausragende Bedeutung zu, die auf dem jahrzehntelangen Trend einer steigenden Stadtbevölkerung beruht<sup>3</sup>. Angesichts der Tatsache, dass immer mehr Menschen der Erde in Städten leben, ist es nicht zu erwarten, dass dieser Gesichtspunkt als Diskussionsgrundlage und Forschungsthema an Interesse verliert. Aus diesem Grunde erscheint es lohnenswert, auch im Rahmen einer Diplomarbeit Klima- und Stadtforschung zu verbinden.

---

<sup>1</sup> Vgl. IPCC, 2001a, S. 10 ff.

<sup>2</sup> Die Autorin möchte darauf hinweisen, dass man im Falle von Energie nicht von Verbrauch sprechen sollte, der Terminus jedoch trotzdem verwandt wurde, da er in der Umgangssprache gebräuchlich ist.

<sup>3</sup> Vgl. Bähr, 1997, S.78ff.

## **1.2 Definition und Abgrenzung des Themas**

In dieser Ausarbeitung wird man sich den anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen in Agglomerationen und den potentiellen Einflussfaktoren aus der Siedlungsstruktur, der Verkehrsstruktur und des Einkommens zuwenden. Da der Mensch in vielen Lebensbereichen durch den Einsatz fossiler Energie CO<sub>2</sub> freisetzt, ist es jedoch notwendig und zweckmäßig, das Thema weiter einzuschränken. In der vorliegenden Arbeit wurde der Untersuchungsbereich auf den Verkehrssektor festgeschrieben. Diese Entscheidung ist aus dem Grunde getroffen worden, da der Verursacherbereich Verkehr der einzige ist, der im Gegensatz zu anderen Verursacherbereichen wie Haushalte, Industrie, Gewerbe u.ä., seit Jahren positive Wachstumsraten der CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweist.

Das Ziel der Arbeit ist somit das Auffinden der in Art und Stärke bedeutendsten Parameter des Zusammenhangs zwischen anthropogenen CO<sub>2</sub>-Ausstößen im Verkehr und ausgewählter Parameter der Einflussbereiche Siedlungsstruktur, Verkehrsstruktur und Einkommen.

Das hier erörterte Thema wird sich in der räumlichen Umsetzung der empirischen Analyse auf die Stadt Berlin beziehen. Aufgrund der bedeutenden Größe der Stadt bietet es sich an, die Stadtlandschaft in ihren eigenen, aber kleineren administrativen Grenzen, den Stadtbezirken, zu untersuchen.

Durch die beschriebene Aktualität des Themas ist umfangreiches Datenmaterial zu CO<sub>2</sub>-Emissionen erst für die letzten Jahrgänge verfügbar, so dass das Hauptaugenmerk auf die vergangenen 20 Jahre gelenkt wird. Das benötigte, empirische Datenmaterial der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf Grundlage der Berliner Stadtbezirke ist sogar nur für ein Jahr, für 1995, verfügbar und macht damit auf die Einmaligkeit in der Art und Weise der Analyse und der daraus resultierenden Chance aufmerksam.

## **1.3 Methodische Vorgehensweise**

Bei der Abhandlung des beschriebenen Themas wird die Arbeit zur besseren Verständlichkeit und Übersichtlichkeit nach folgenden Gesichtspunkten strukturiert.

Zuerst soll in Abschnitt 2 die allgemeine wissenschaftliche Meinung beleuchtet und die Ergebnisse eines intensiven Literaturstudiums geschildert werden.

Dabei wird mit der Vorstellung der aktuellen Erkenntnisse der Klimaforschung zum Treibhauseffekt und zur Rolle des CO<sub>2</sub> begonnen, um weitergehend die daraus resultierenden Folgen für Mensch und Tier abzuschätzen.

Anschließend wird betrachtet, inwieweit Wirtschafts- und Lebensweisen einer industriellen Gesellschaft und die städtischen Lebensformen an den Emissionen des CO<sub>2</sub> beteiligt sind. Nach diesen einführenden Erläuterungen wird man sich dann nacheinander konkret der Bedeutung der Siedlungsstruktur, der Verkehrsstruktur und dem Einkommen in der Diskussion um CO<sub>2</sub> und Mobilität zuwenden. Diese Abschnitte, jeweils durch Unterkapitel strukturiert, werden möglichst umfassend die Relevanz einzelner Parameter beleuchten, so dass darauf aufbauend Hypothesen aufgestellt werden können, zu welchen Indikatoren die CO<sub>2</sub>-Emissionen die stärksten Beziehungen eingehen.

Diese werden durch eine statistische Analyse mit Hilfe der Korrelations- und Regressionsanalyse geprüft und im Abschnitt 3 ausgewertet. Die Ergebnisse der empirischen Untersuchung kennzeichnen somit die bedeutendsten Parameter des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im Straßenverkehr für den Untersuchungsraum Berlin.

Im letzten Abschnitt, dem Abschnitt 4, sollen die gewonnenen Erkenntnisse und die Ergebnisse der empirischen Untersuchung diskutiert werden. Damit werden Handlungsalternativen aufgezeigt und mögliche politische Konsequenzen erläutert.

## **1.4 Zusammenfassung der Ergebnisse**

Die statistische Untersuchung an der Beispielregion Berlin zeigte auf, dass in der Diskussion um CO<sub>2</sub>-Reduzierungsmaßnahmen im Verkehrssektor das Suchen eines einzigen Einflussparameters wenig erfolgreich ist. Vielmehr kann ein Maßnahmebündel hilfreich sein, das Parameter der Siedlungsstruktur, der Verkehrsstruktur und des Einkommens miteinander zu verbinden sucht. In der Kombination der Parameter mittleres Durchschnittseinkommen, Verkehrsfläche je Einwohner (EW) und Arbeitsplätze je EW konnte in Berlin der stärkste Zusammenhang zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr gefunden werden. Außerdem wurde nach Auswertung der hier durchgeführten Analyse offensichtlich, dass finanzielle Parameter im Allgemeinen und das mittlere Pro-Kopf-Einkommen im Besonderen die größte Bedeutung für die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr aufweisen und damit in der aktuellen, wissenschaftlichen Meinung oftmals unterschätzt werden.

## **2 Theoretische Grundlagen**

### **2.1 Die Rolle des CO<sub>2</sub> im globalen Klima**

#### **2.1.1 Einleitung**

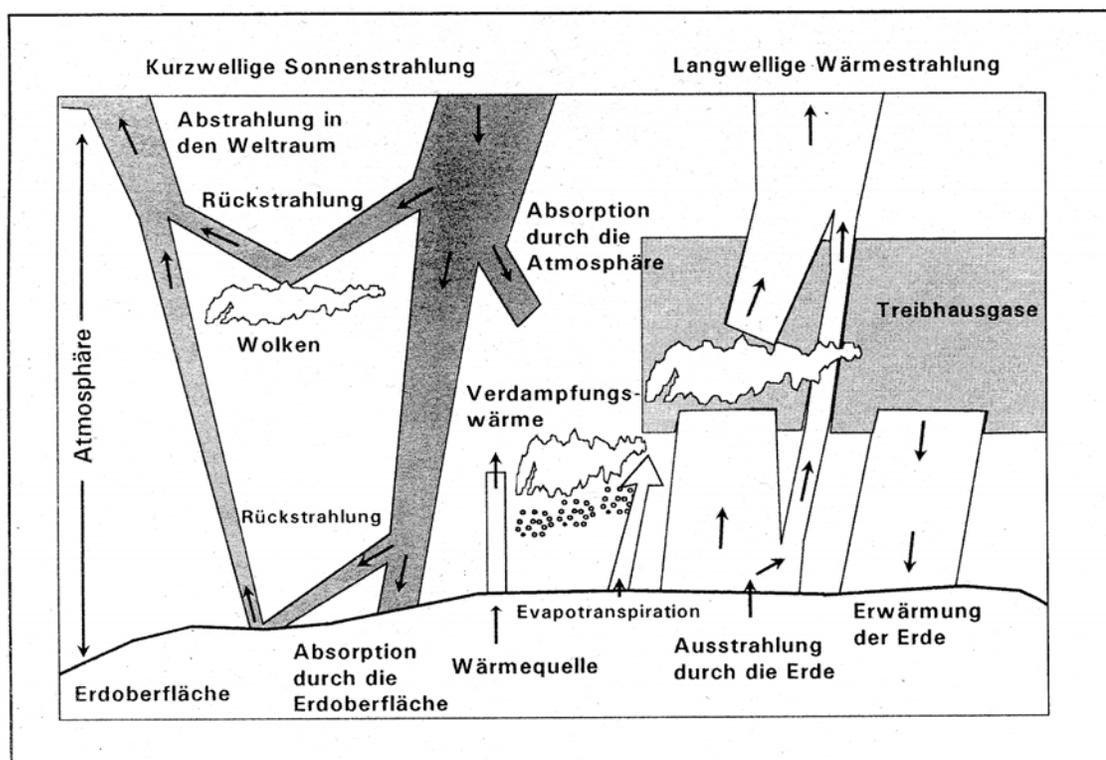
Der Mechanismus, der unter dem Namen „Treibhauseffekt“ bekannt und in den letzten Jahren immer mehr in das Bewusstsein der Menschen aufgenommen wurde, ist von entscheidender klimatischer Bedeutung für den Strahlungs- und Energiehaushalt der Erde. Um jedoch die damit verbundenen Prozesse in ihrer Ursache-Wirkungskette objektiv beleuchten zu können, ist es notwendig, zwischen einem natürlichen und einem anthropogenen Treibhauseffekt zu unterscheiden. In den nachfolgenden Kapiteln werden beide Mechanismen vorgestellt, wobei zuerst der natürliche Treibhauseffekt und anschließend der gleiche, allerdings anthropogen hervorgerufene Prozess näher erklärt wird. An diese Erläuterungen anschließend erfolgt die Abschätzung möglicher Folgen für das System Erde-Atmosphäre.

#### **2.1.2 Der natürliche Treibhauseffekt**

Alles Leben der Erde beruht auf Energien, oder präziser, dem Fluss von Energien. Aus diesem Grunde benötigen alle Lebewesen unserer Erde eine ständige Energiezufuhr. Der sogenannte Energiehaushalt, der Aufnahme und Abgabe der Energien bilanziert, wird in unserem Universum einzig und allein von einer Quelle gespeist: der Sonne. Die kurzwellige, energiereiche Strahlung, die das System Erde-Atmosphäre von der Sonne erreicht, wird zu 31% von festen, flüssigen und gasförmigen Elementen unserer Atmosphäre sowie von der Erdoberfläche reflektiert und unverändert in den Weltraum zurückgestrahlt. 69% stehen für den Energiehaushalt der Erde zur Verfügung und werden nicht ungehindert zurückgegeben, sondern von Bestandteilen der Atmosphäre und von der Erdoberfläche absorbiert und dabei in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt. Diese langwellige Wärmestrahlung wiederum wird ebenfalls durch Absorption und Reflexion am Austreten aus der Atmosphäre gehindert und zur Erdoberfläche zurückgestrahlt, was dazu führt, dass sie für einen längeren Zeitraum in dieser verbleibt. Dieser Mechanismus führt zu einer Erwärmung der unteren Atmosphäre, wobei die Wärmestrahlung immer wieder von der Erde oder der Atmosphäre absorbiert und/oder reflektiert wird. Es bildet sich eine Art Kreislauf der Energieströme. Dadurch ergibt sich in der unteren Atmosphäre ein Wärmestau, der diese um ungefähr 33 Kelvin (K) auf durchschnittlich 15 Grad Celsius (°C) aufheizt.

Elemente, die Strahlung absorbieren oder an denen Strahlung reflektiert, werden „klimawirksam“ genannt. Solche Bestandteile, die in ihrer natürlichen Ausprägung auf der Erde existieren und deshalb natürliche Treibhausgase, auch Klimagase genannt, darstellen, sind vor allem Wasserdampf in Form Wolken,  $\text{CO}_2$ , atmosphärische Spurengase wie Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Ozon ( $\text{O}_3$ ), aber auch kleinste feste Partikel, die Aerosole, z. B. Russ. Ohne diese Bestandteile würden auf der Erde Durchschnittstemperaturen von  $-18^\circ\text{C}$  herrschen. Der Treibhauseffekt ermöglicht damit erst Leben auf der Erde.<sup>4</sup> Abbildung 1 verdeutlicht diesen Mechanismus.

**Abbildung 1: Natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt**



Quelle: Lozan, José L. (Hrsg.): Warnsignal Klima, 1998, S.1

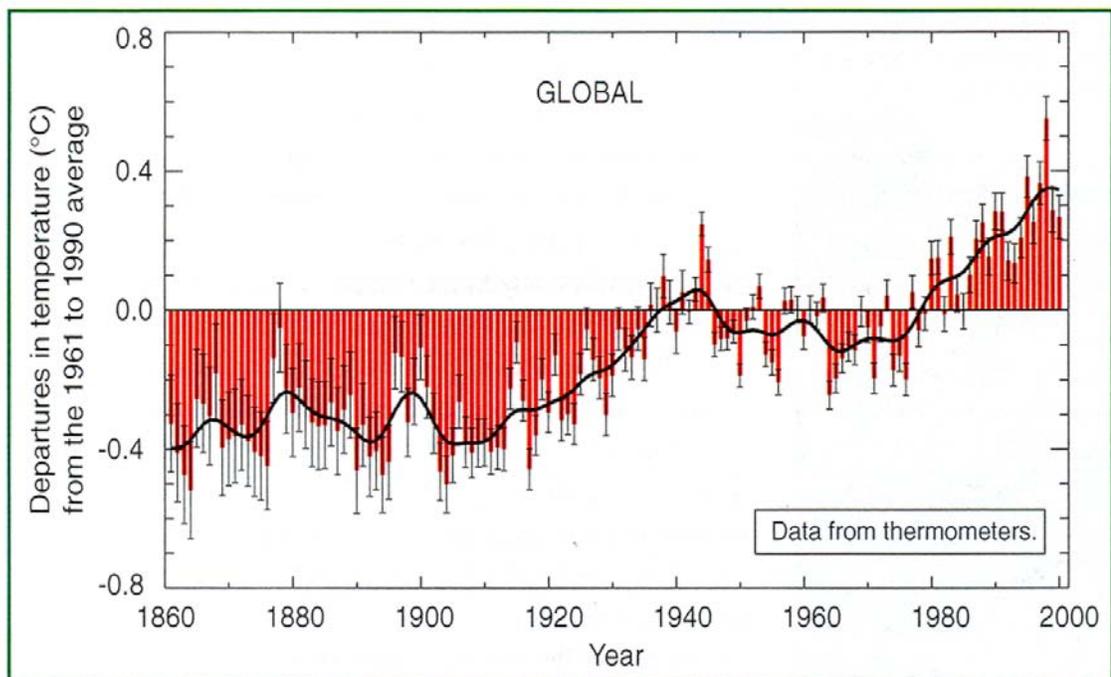
Dieser für das Leben auf der Erde notwendige Prozess wird allerdings seit mehreren Jahrzehnten von einem künstlichen, anthropogen hervorgerufenen Mechanismus überlagert.

<sup>4</sup> Vgl. Cubasch, Kasang, 2000, S.37 f.

### 2.1.3 Der anthropogene Treibhauseffekt

Seit der Industrialisierung beeinflusst der Mensch durch die Veränderung der Konzentration der natürlichen Treibhausgase, anderer klimawirksamer Partikel und durch das Einbringen von neuen Treibhausgasen den natürlich auftretenden Wärmestau in der unteren Atmosphäre. Die zunehmende Inanspruchnahme fossiler Ressourcen zur Energiegewinnung ging notwendigerweise mit der Freisetzung von Treibhausgasen einher. Aber auch Landnutzungsänderungen, wie zum Beispiel Rodungen großflächiger Waldbestände oder die Bewirtschaftung weiter Gebiete der Erde mit Nassreisfeldern zur Sicherstellung der Nahrungsmittelversorgung, tragen und tragen zur Freisetzung von klimawirksamen Gasen bei. Dadurch steigt das Absorptions- und Reflexionsvermögen für Wärmestrahlung und daraus resultierend erhöht sich der Wärmestau in der unteren Atmosphäre. Es kommt zu einer zusätzlichen Erwärmung, die ungefähr seit dem Anfang des letzten Weltkriegs dokumentiert wird, wie Abbildung 2 zeigt, in der die Temperaturaufzeichnungen seit dem Jahre 1861 dargestellt sind. Die Ursache-Wirkungs-Beziehung sind bereits seit Ende des vergangenen Jahrhunderts bekannt und führten dazu, dass Temperaturverläufe genauer aufgezeichnet und kritischer betrachtet werden.

**Abbildung 2: Globale, bodennahe Luft- und Meeresoberflächentemperatur (von 1861 bis 2000 in Form von Abweichungen vom Mittelwert 1961/1990)**



Quelle: IPCC: Technical Summary, A Report accepted by Working Group I of the IPCC, 2001b, S.26

Als anthropogen emittierte, aber natürlich vorkommende Klimagase gelten neben CO<sub>2</sub> und Methan auch Lachgas (N<sub>2</sub>O), wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) und Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>). Außerdem werden zu diesen noch neue, von Natur aus nicht in der Atmosphäre vorkommende Treibhausgase eingebracht, von denen vor allem die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) zu nennen sind.

Die aufgezählten Spurengase werden in deutlich geringeren Mengen als CO<sub>2</sub> erzeugt und emittiert, ihre spezifische Wirkung ist allerdings nicht zu unterschätzen, da das sogenannte „Treibhauspotential“ jener Elemente das des CO<sub>2</sub> um ein Vielfaches überschreitet. So besitzen z. B. Methan oder FCKW-11 im Vergleich zu einem CO<sub>2</sub>-Molekül pro Jahr (im Mittel für den Zeitraum 1984-1993) ein 21-faches bzw. 3400-faches Treibhauspotential.

Dennoch bewirkt die gewaltige Menge von 29 Mrd. Tonnen emittiertem CO<sub>2</sub> pro Jahr, dass dieses Gas weltweit für über die Hälfte des anthropogenen Treibhauseffektes verantwortlich gemacht werden muss<sup>5</sup>. In Deutschland wird dem CO<sub>2</sub> sogar über 80% des anthropogenen Treibhauseffektes zugeschrieben<sup>6</sup>, wie Tabelle 1 zeigt.

<b>Tabelle 1: Klimagase und deren Beitrag zum Treibhauseffekt für Deutschland</b>						
	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>H-FKW</b>	<b>FKW</b>	<b>SF<sub>6</sub></b>
Emission (kt)	904,500	4,849	219	1,942	0.244	0.242
Treibhauspotential	1	21	310	140 - 11.700	6.500 - 9.200	23,900
Beiträge zum Treibhauseffekt	83.30%	9.40%	6.30%	0.40%	0.10%	0.50%

Quelle: Umweltbundesamt, 1996, teilweise verändert, Internetressource

Die Ursachen eines erhöhten, natürlichen CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atmosphäre gehen auf den Anfang der Industrialisierung in England im 18. Jahrhundert zurück. Seit dem, aber besonders seit dem zweiten Weltkrieg, steigt der Gehalt an CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre exponentiell an. Wie bereits erwähnt, wird CO<sub>2</sub> neben Landnutzungsveränderungen vor allem in Verbrennungsprozessen frei, an denen kohlenstoffhaltige Substanzen beteiligt sind. Die bekanntesten Beispiele dafür sind Holz, Kohle, Öl und Gas.

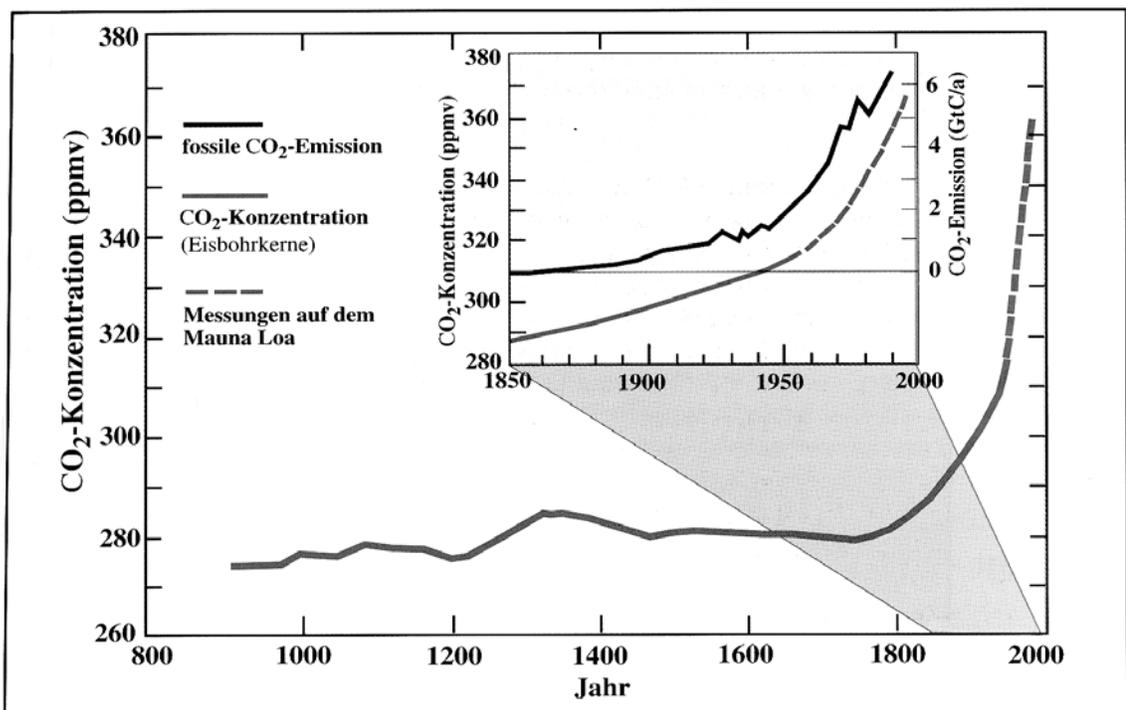
<sup>5</sup> Vgl. Cubasch, Kasang, 2000, S.40 ff.

<sup>6</sup> Vgl. Hupfer, 1996, S.71; Umweltbundesamt, 1996

Auf deren Verbrennung gehen 75% des anthropogen emittierten CO<sub>2</sub> zurück, die restlichen 25% sind Landnutzungsänderungen geschuldet<sup>7</sup>.

Der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre wird auf 280 ppm (parts per million) im Jahre 1850, dem Beginn der Industrialisierung in Deutschland, geschätzt, heutzutage werden 365 ppm angegeben. Dabei wird davon ausgegangen, dass der vorindustrielle Wert für Jahrhunderte eine Konstanz mit nur geringen Schwankungen um 10 ppm aufwies. Der heutige Wert bedeutet eine Steigerung von ungefähr 31% seit dem Beginn der industriellen Revolution. Es kann davon ausgegangen werden, dass die derzeitigen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in den letzten 420000 Jahren niemals einen höheren Wert annahmen<sup>8</sup>. Die Steigung der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der letzten 200 Jahre, im Verhältnis zu den Jahrhunderten davor, wird in Abbildung 3 verdeutlicht.

**Abbildung 3: Die Veränderungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration seit dem Mittelalter**



Quelle: Cubasch, Ulrich: Anthropogener Klimawandel, 2000, S.45;  
nach Houghton, J.T., et. al.: Climate Change 1995, 1996;

Nachdem in den letzten Kapiteln der natürliche und anthropogene Treibhauseffekt erklärt und in seinen Unterschieden erläutert worden ist, wird im folgenden Kapitel auf deren möglichen Folgen eingegangen werden.

<sup>7</sup> Vgl. IPCC, 2001, Working Group I-SPM, S.7

<sup>8</sup> Vgl. Cubasch, Kasang, 2000, S.45; IPCC, 2001, Working Group I-SPM, S.7

### **2.1.4 Folgen des anthropogenen Treibhauseffektes**

Wie in den vorigen Kapiteln beschrieben wurde, äußert sich die Freigabe von zusätzlichem CO<sub>2</sub> in der Erwärmung der unteren Erdatmosphäre. Diese Erwärmung ist nachweisbar und hat sich vor allem in den letzten 200 Jahren abgespielt, in denen die anthropogenen Treibhausgase durch den hohen Industrialisierungsgrad besonders angestiegen sind (siehe Abbildung 3).

Auch wenn sich derzeit nicht eindeutig bestimmen lässt, ob dieser Temperaturanstieg durch ausschließlich anthropogene Ursachen hervorgerufen wurde oder zusätzlich zu den periodisch natürlichen Klimaschwankungen auftritt, schildert der IPCC in seinem neuesten Report, dass die Klimaänderungen durch die Ergebnisse vieler Modelle mit immer stärkerer Gewissheit auf den menschlichen Einfluss innerhalb der letzten 200 Jahre zurückgeführt werden müssen<sup>9</sup>. Vermutungen, dass sich die globale Erwärmung allein mit natürlicher Variabilität erklären lässt, werden immer stärker zurückgewiesen. So trägt der anthropogene Treibhauseffekt wesentlich zum Klimawandel bei und verändert nachhaltig unsere Ökosysteme. Eine Verhinderung möglicher Auswirkungen auf das Klimasystem Erde-Atmosphäre und deren Folgen sind schon zum derzeitigen Punkt nicht mehr aufzuhalten, sondern können nur noch eingedämmt werden, wenn entsprechende Reduzierungsmaßnahmen und -ziele eingehalten und entsprechende Anpassungsmaßnahmen getroffen werden.

Die schwerwiegendsten Veränderungen unserer Umwelt sind laut IPCC-Bericht 2001 im Anstieg der globalen Durchschnittstemperaturen von 1,4 bis 5,8°C im Jahre 2100 zu erwarten (gerechnet von 1990, siehe dazu Abbildung 2). Die hohe Variabilität von 2,2°C um den Mittelwert 3,6°C ist auf das ungeklärte Verhalten von Sulphataerosolen zurückzuführen. Dennoch wird die Zunahme der zukünftigen, allgemeinen Erwärmung heute stärker eingeschätzt als noch vor wenigen Jahren.

Eine globale Erwärmung äußert sich auch im Abschmelzen der Pol- und Eiskappen, sowohl von Inland-, als auch von Meereis. Und das wiederum verursacht bis 2100 ein Ansteigen des Meeresspiegels von 0,09 bis 0,88m<sup>10</sup>. Das bedeutet, dass ein Anstieg von ungefähr 0,5m als sehr wahrscheinlich angesehen werden kann und in diesem Ausmaß viele tiefliegende Gebiete und Regionen der Erde gefährden würde.

---

<sup>9</sup>Vgl. IPCC, 2001a, S.10 ff.

<sup>10</sup> ausgehend vom Jahr 1990 gerechnet, die große Schwankungsbreite ergibt sich durch Unsicherheiten aufgrund von Vulkanausbrüchen u.a.

Ebenfalls werden sehr wahrscheinlich die Niederschläge zunehmen, vor allem in den höheren und mittleren Breiten der Nordhemisphäre. Dagegen können die Niederschläge auf der Südhemisphäre auch örtlich abnehmen. Als sehr wahrscheinlich gilt, dass die Niederschlagsvariabilität in den meisten Regionen sehr stark zunehmen wird.

Das Gleiche trifft für Extremwetterereignisse (z. B. höhere Maximum- und Minimumtemperaturen, weniger Frosttage, heftige Regenfälle, sommerliche Hitzeperioden, Stürme und tropische Orkane) zu, von denen mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ein häufigeres Auftreten erwartet wird.

Außerdem wurde in den letzten Jahren in der wissenschaftlichen Literatur zunehmend das Zusammenbrechen der thermohalinen Zirkulation diskutiert, die zu einer Verringerung des Wärmetransports in die Gebiete der nördlichen Hemisphäre führen würde. Die derzeitigen neuesten Erkenntnisse zeigen, dass das Zusammenbrechen der Meereszirkulation bis zum Jahre 2100 nicht wahrscheinlich ist, sondern nur geschwächt werden könnte. Die Auswirkungen auf Temperaturveränderungen in Europa werden dadurch wahrscheinlich nur moderaten Ausmaßes sein. Die Temperaturanstiege der Luft infolge von erhöhtem CO<sub>2</sub> werden als sehr viel stärker eingeschätzt als die möglicherweise geringe Abkühlung durch das Schwächen der thermohalinen Zirkulation. Erst nach dem Jahre 2100 und bei einem weiteren und langen Ausstoß von klimawirksamen Elementen in die Atmosphäre, ist mit einem totalen und irreversiblen Zusammenbruch zu rechnen<sup>11</sup>.

Viele dieser hier geschilderten Umweltveränderungen lassen sich bereits seit 30-50 Jahren beobachten und unterstützen somit den Verdacht einer begonnenen Umstellung des globalen Klimas<sup>12</sup>.

### **2.1.5 Zusammenfassung**

Bei der Betrachtung des Treibhauseffektes sind zwei gleichzeitig auftretende Prozesse zu unterscheiden, die erst durch ihre Überlagerung die verstärkte Erwärmung der unteren Schicht der Atmosphäre und daraus resultierend den globalen Klimawandel verursachen: der natürliche und der anthropogene Treibhauseffekt.

In seiner natürlichen Ausprägung ist der Treibhauseffekt für das Leben auf der Erde existentiell und erwärmt den unteren Teil der Atmosphäre auf die globale Durchschnittstemperatur von 15°C.

---

<sup>11</sup> Vgl. IPCC, 2001, Working Group I-SPM, S.13ff.

<sup>12</sup> Vgl. IPCC, 2001, Working Group I-SPM, S.2ff.

Der zusätzliche, anthropogene Teil, der durch die Emissionen von Klimagasen in den letzten 200 Jahren hervorgerufen wird, leitete jedoch eine Klimaänderung ein, die auf alle Sphären der Erde, Mensch, Tier und Pflanzenwelt unvorstellbare Folgen haben wird. Deshalb ist es von zentraler Bedeutung zu untersuchen, wie und durch welche Aktivitäten der Mensch zusätzliches CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre einbringt.

## **2.2 Der Einfluss von Lebens- und Wirtschaftsweisen auf CO<sub>2</sub>-Emissionen**

### **2.2.1 Einleitung**

In diesem Kapitel soll der Zusammenhang zwischen dem vom Menschen freigesetzten CO<sub>2</sub> und seinen Lebens- und Wirtschaftsweisen erläutert werden. Es ist wichtig zu klären, wie und durch welche Aktivitäten der Mensch die Emissionen von CO<sub>2</sub> beeinflusst. Dabei wird zuerst die Erstellung von CO<sub>2</sub>-Bilanzen, also die Berechnung des anthropogen verursachten Anteils des CO<sub>2</sub>, dann die Rolle von städtischen Siedlungen und danach der Einfluss von menschlichen Lebens- und Wirtschaftsweisen erläutert.

### **2.2.2 Berechnung von anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen**

#### **2.2.2.1 Allgemein: Erstellung der CO<sub>2</sub>-Bilanzen**

CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen, wie bereits erwähnt, hauptsächlich durch die Verbrennung fossiler Energieträger, mit denen in Deutschland immer noch 91,4% des gesamten Energiebedarfs gedeckt werden. Nur etwa 8,6% des Energiebedarfs werden mit erneuerbaren Energiequellen (Wasser, Müll, Biomasse, Wind und Photovoltaik) bereitgestellt<sup>13</sup>.

Der anthropogene Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen muss dabei von den natürlichen Emissionen und dem natürlichen Gehalt an CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre getrennt werden und kann deshalb nicht gemessen, sondern muss über den Verbrennungseinsatz verschiedener Energieträger für eine bestimmte Region berechnet werden. Insofern unterscheiden sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen von den klassischen Luftschadstoffen (Schwefeldioxid, Stickoxide u.a.), für die direkte Messdaten vorliegen.

---

<sup>13</sup> Vgl. BMWi, 2000

Für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bilden Energieverbrauchsdaten die wesentliche Grundlage. Diese werden durch verantwortliche Träger in den sogenannten Energiebilanzen bereitgestellt<sup>14</sup> und anschließend mit den jeweiligen brennstoffspezifischen Emissionsfaktoren multipliziert, welche in Tabelle 2 dargestellt sind. Daraus wird ersichtlich, dass z. B. die Verbrennung von Rohbraunkohle für die Erzeugung einer Kilowattstunde (kWh) Stromenergie etwa die doppelte Menge CO<sub>2</sub> freisetzt wie jene von Erdgas.

<b>Energieträger</b>	<b>Emissionsfaktor kg CO<sub>2</sub>/kWh</b>
Strom (Mix)	0.922
Rohbraunkohle (Lausitz)	0.396
Braunkohlenbrikett	0.36
Steinkohle	0.335
Schweres Heizöl	0.281
Leichtes Heizöl	0.266
Erdgas	0.198
Fernwärme (je nach Netz)	0.072 ... 0.493

Quelle: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin nach Berechnungen des Ökoinstitut, Internetressource

Unter dem Aspekt der Emissionsverursachung sind weiterhin die Emissionen von Bedeutung, die bei der Bereitstellung von Energieträgern für den Verbrauch einer Stadt, z. B. für Berlin, außerhalb der Siedlung entstehen.

Nach Berlin wird z. B. Strom geliefert, der überwiegend in den Kraftwerken der Lausitz erzeugt wird. Außerdem wird für die Herstellung von Heizöl in den Raffinerien Wärme und Strom benötigt, was zu CO<sub>2</sub>-Emissionen außerhalb des Landes Berlin im Land Brandenburg oder an anderen Herstellungsorten führt. Die dem Stromimport zuzurechnenden CO<sub>2</sub>-Emissionen werden normalerweise als Mittelwert berücksichtigt. Die „grauen Emissionen“ durch Lieferungen von Kohle, Mineralöl und Erdgas sind jedoch relativ gering und finden daher oft keine Berücksichtigung<sup>15</sup>.

Weiterhin muss die Beachtung von Störfaktoren, z. B. von Temperaturschwankungen, gewährleistet werden. Insbesondere bei der Bewertung kurzer Zeitreihen dürfen die klimatischen Bedingungen nicht außer Acht gelassen werden, da die Durchschnittstemperaturen eines Jahres immer vom langjährigen Mittel abweichen.

<sup>14</sup> Vgl. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, 2001

<sup>15</sup> Vgl. Ökoinstitut, 1998, S.2 f.

Um diesen Störfaktor zu beseitigen, entwickelt man jahresspezifische Korrekturfaktoren, mit denen die Energiedaten multipliziert werden. So erhält man auch hinsichtlich des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes eine Größe, die bezüglich der klimatischen Verhältnisse dem langjährigen Temperaturmittel entspricht und so die unterschiedlichen Jahrgänge vergleichbar macht<sup>16</sup>.

Nach diesen allgemeinen Erläuterungen folgen im nächsten Kapitel Aussagen zu den Besonderheiten in der Erstellung der Berliner CO<sub>2</sub>-Bilanz. Berlin stellt den empirischen Untersuchungsraum dieser Arbeit dar, für den die CO<sub>2</sub>-Emissionen auch auf Stadtbezirksebene berechnet wurden. Aus diesen Gründen wird hier im Besonderen auch auf die Erstellung der Berliner CO<sub>2</sub>-Bilanz eingegangen.

#### **2.2.2.2 Speziell: CO<sub>2</sub>-Bilanzen des Straßenverkehrs in Berlin**

Die in dieser Arbeit verwendeten Daten sind für die Darstellung der CO<sub>2</sub>-Karte im „Digitalen Umweltatlas Berlin“ vom Institut für angewandte Ökologie Berlin (Ökoinstitut e.V.) im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin erstellt worden. Räumlich gesehen bezieht sich das Datenmaterial auf die Ebene der Stadtbezirke und nicht, wie üblicherweise, auf administrative Einheiten von mindestens kommunaler Größenordnung. Dadurch ermöglicht sich der Vergleich von Daten innerhalb einer Stadtlandschaft.

Infolge der Tatsache, dass sich die anstehende Analyse auf CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr und auf Stadtbezirksebene bezieht, weist die Berechnung dieser CO<sub>2</sub>-Bilanz im Gegensatz zu dem üblichen Verfahren einer Bilanzerstellung jedoch einige Besonderheiten auf, die hier geschildert werden sollen. Die Besonderheiten ergeben sich daraus, dass die benötigten Energieverbräuche zur Erstellung der CO<sub>2</sub>-Bilanz im Verkehrssektor nicht auf Bezirksebene erhoben werden können.

Daraufhin mussten die Daten über das „Emissionskataster Verkehr 1995“ ermittelt werden. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen beruhen damit auf einer Erhebung von Primärdaten im Straßenverkehrshauptnetz, die erstmals im Jahr 1993 flächendeckend durchgeführte Straßenverkehrszählungen des Kfz-Verkehr und Fahrplanauswertungen des Busverkehr beinhaltet. So standen für jede Hauptstraße folgende Daten zur Verfügung:

- durchschnittlicher täglicher Kfz-Verkehr in Kfz/Tag,
- durchschnittlicher täglicher Lkw-Verkehr in Lkw/Tag für schwere Lkw und
- die Omnibusbelegung im Linienverkehr.

---

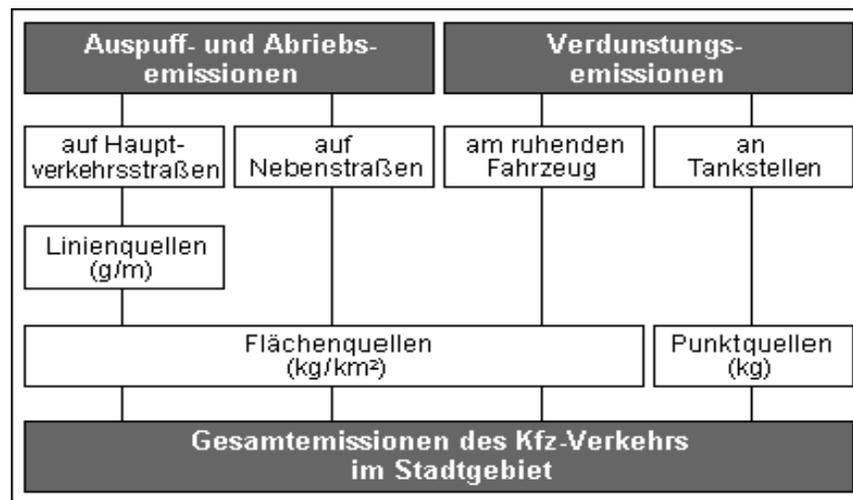
<sup>16</sup> Vgl. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (o.J.): Energiebericht Berlin – Energiepolitik in Berlin 1990-1996, S.32 f.

Für jede Verkehrsart wurden die Auspuff- und Abriebsemissionen des fließenden Verkehrs sowie Verdunstungsemissionen des ruhenden Verkehrs erhoben<sup>17</sup>.

Die Auspuff- und Abriebsemissionen treten dabei als Linienquellen auf Hauptverkehrs- und Nebenstraßen auf, werden jedoch nur für das Hauptverkehrsstraßennetz exakt berechnet, weil nur für diese Straßenabschnitte Zählungen zur stündlichen Kapazität vorliegen. Die Emissionen im Nebenstraßennetz sind dagegen aus Annahmen zum Verkehrsaufkommen und zum Lkw-Anteil direkt für die einzelnen Raster abgeleitet. Die Emissionen der Linienquellen werden anschließend dem Rasternetz als Flächenwerte zugeordnet. Durch Addition der beiden Bereiche erhält man die Gesamtemissionen des Kfz-Verkehrs im Stadtgebiet.

Abbildung 4 gibt einen Überblick über die Erhebungssystematik.

**Abbildung 4: Erhebungssystematik des Emissionskatasters Verkehr 1993**



Quelle: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, 2001, Internetressource

Mit Bestands- und Fahrleistungsanalysen kombiniert und mit den entsprechenden Emissionsfaktoren multipliziert, erhielt man die räumlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs auf Stadtbezirksebene<sup>18</sup>.

Demzufolge kann ganz allgemein davon ausgegangen werden, dass durch mehr Verkehrsaufkommen mehr CO<sub>2</sub> emittiert wird, wenn es sich um die traditionellen Fahrzeuge handelt, die mit Brennstoffen aus fossilen Energieträgern gesteuert werden. Allerdings ist zu beachten, dass Fahrzeuge je nach Beförderungsmöglichkeiten, der Auslastung, nach Alter, Art des Kraftstoffs u.ä. Merkmalen in den CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Beförderten und je gefahrenen Kilometer erheblich voneinander abweichen können.

<sup>17</sup> Vgl. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, 2001a; S.1

<sup>18</sup> Vgl. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, 2001a, S.2;

Tabelle 3 zeigt diese Unterschiede des Energieverbrauchs der Verkehrsmittel anhand des Vergleichs der eingebrachten Energie in KiloJoule (kJ) je gefahrene Personenkilometer (Pkm). Die Werte zeigen an, dass beim motorisierten Individualverkehr (MIV) die mit Abstand meiste Energie je gefahrenen Kilometer und Person umgesetzt wird. Die gleiche Fahrt mit dem Fernverkehrszug dagegen benötigt weniger als ein Fünftel der Energie. Daraus ableitend sind auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem MIV entsprechend sehr viel höher.

<b>Tabelle 3: Vergleich spezifischer Energieverbrauchswerte in Deutschland 1996</b>		
	<b>Personenverkehr - Endenergie</b>	
	<b>kJ/Pkm</b>	<b>MIV = 100</b>
DB-Schienenpersonenverkehr, insgesamt <sup>(1)</sup>	750	37
Nahverkehrszüge <sup>(1)</sup>	1183	58
Fernverkehrszüge <sup>(1)</sup>	381	19
NE-Schienenpersonenverkehr <sup>(2)</sup>	637	31
Motorisierter Individualverkehr <sup>(3)</sup>	2047	100
Öffentlicher Straßenpersonenverkehr <sup>(4)</sup>	551	27
Luftpassagierverkehr <sup>(5)</sup>	1703	83

(1) Deutsche Bahn AG Werte für 1997, Nahverkehrszüge ohne S-Bahnen in Berlin und Hamburg.

(2) Nichtbundeseigene Eisenbahnen des öffentlichen Verkehrs.

(3) Verkehr mit Personen- und Kombinationskraftwagen sowie motorisierten Zweirädern.

(4) Verkehr mit Stadtschnellbahnen, Straßenbahnen, Obussen und Kraftomnibussen.

(5) Werte der Deutschen Lufthansa AG.

(6) Deutsche Lkw > 3,5 t Nutzlast und Sattelzugmaschinen.

(7) Berechnungen des Europäischen Entwicklungszentrums für die Binnenschifffahrt, Duisburg (EBD).

Quellen: Berliner Verkehrsbetriebe (BVG); Deutsche Bahn AG; Deutsche Lufthansa AG;

Europäisches Entwicklungszentrum für die Binnenschifffahrt, Duisburg (EBD); Stuttgarter Straßenbahnen AG; ÜSTRA Hannoversche Verkehrsbetriebe AG; Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV); Berechnungen des DIW.

nach: DIW Berlin (1999): Energieverbrauch im Verkehr in Deutschland;

in: Wochenbericht 10/99, S.13, Auszug

In diesem Kapitel wurde erläutert, wie die anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen unabhängig vom natürlichen CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre räumlich bestimmt werden können. Im Folgenden wird das Augenmerk auf die räumliche Verteilung der CO<sub>2</sub>-Erzeugung und damit verbunden, auf die Bedeutung städtischer Siedlungen gelenkt.

### **2.2.3 Die Rolle städtischer Siedlungen in der CO<sub>2</sub>-Problematik**

Wie in den vorigen Kapiteln beschrieben, nutzt man zum Erstellen einer CO<sub>2</sub>-Bilanz die Energieverbräuche der jeweiligen Einwohner der zu Grunde gelegten räumlichen Einheit. So kann sichergestellt werden, dass nur der anthropogen verursachte Anteil des CO<sub>2</sub> berechnet wird. CO<sub>2</sub> entsteht somit hauptsächlich dort, wo Menschen Energie verbrauchen, also an und/oder in der Nähe der Standorte, wo sie leben, produzieren, sich reproduzieren und diese Tätigkeiten durch Verkehr und Kommunikation miteinander verbinden.

Um einen Überblick über die anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen zu bekommen, ist es sinnvoll, die Weltbevölkerung aufgrund der Zugehörigkeit zu den Industrie- und Nicht-Industrieländern („mehr entwickelte“ und „weniger entwickelte“ Länder<sup>19</sup>) aufzuteilen, denn in den erstgenannten entstehen rund 70% der hier relevanten CO<sub>2</sub>-Emissionen<sup>20</sup>. Unterscheidet man weiterhin städtische und ländliche Bevölkerung in den hier bedeutsamen, mehr entwickelten Ländern, wird deutlich, dass in ihnen 75% der Bevölkerung in Städten leben (Stadtbevölkerung: weltweit 47%, in den weniger entwickelten Ländern 40%), in Deutschland summiert sich diese Zahl sogar auf 86%<sup>21</sup>. Anhand dieser Aufschlüsselung erweist sich die Siedlungseinheit Stadt der mehr entwickelten Länder als wichtigstes Untersuchungsobjekt dieser Arbeit. Dennoch leben in den Industrieländern nur rund 19,44% der Weltbevölkerung, was die Brisanz des Themas bewusst werden lässt. Die verheerendsten Folgen werden die 80,56% der Weltbevölkerung zu tragen haben, die viel weniger CO<sub>2</sub> verschulden<sup>22</sup>.

Noch anzumerken ist, dass sich die hier gewählten Gruppen wesentlich in den Wachstumsraten unterscheiden: die Stadtbevölkerung der weniger entwickelten Länder wächst jährlich um 4,0-4,5%, jene in den mehr entwickelten Ländern um 0,5-1,0%<sup>23</sup>. Die städtische Bevölkerung in den weniger entwickelten Ländern nimmt also besonders rasch zu und könnte damit in Zukunft ebenfalls ein großes Problem darstellen.

Aus diesen Erläuterungen ableitend kommt derzeitig jedoch den städtischen Siedlungen in Industrieländern ganz besondere Bedeutung zu, weshalb sich diese Arbeit im Weiteren auf jene konzentrieren wird.

---

<sup>19</sup> Die Einteilung wurde übernommen vom US Population Reference Bureau.

<sup>20</sup> Umweltbundesamt, 1998, S.1

<sup>21</sup> Population Reference Bureau, 2001a, S.1

<sup>22</sup> Population Reference Bureau, 2001b, S. 12

<sup>23</sup> Bähr, 1997, S.78 f.

Städte sind die Orte, in denen die meisten menschlichen Aktivitäten ablaufen. Städte sind die Orte, wo die Probleme ressourcenverzehrender und umweltbelastender Lebensstile und Wirtschaftsformen am deutlichsten zu spüren sind. Hier sind Güterproduktion, Energie- und Stoffumsätze, die intensive Nutzung von Flächen und Verkehrsleistungen konzentriert.

Es gilt also im Folgenden festzustellen, durch welche praktizierten Wirtschaftsweisen und Lebensstile in den Industrieländern Energie von Menschen „konsumiert“ wird. Unter diesem Gesichtspunkt könnte es auch von Bedeutung sein, diese im Zeitverlauf zu betrachten, also wodurch und inwieweit sich unsere Lebensweisen in den Städten von denen vergangener Zeiten unterscheiden.

#### **2.2.4 CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs als Ausdruck städtischer Wirtschafts- und Lebensweisen**

Hauptcharakteristika unseres Lebensstils gegenüber früheren Generationen sind die Nachfrage- und Einkommenssteigerungen der Bevölkerung, und daraus ableitend kleinere Haushalte, zunehmende Frauenerwerbstätigkeit und kürzere Arbeitszeiten. Menschen leben in immer größeren Wohnungen, die mehr beheizt oder gekühlt werden sollen, sie ziehen in immer entlegene Gebiete, ländliche Regionen oder ruhigere Vorstädte, wo die Wohnqualität höher ist und den Eigenheimnachfragen nachgekommen werden kann. Menschen fahren immer längere Wege, immer schneller und immer öfter.

Die Nachfrage- und Komfortsteigerungen führen zu einem Anstieg des Energieaufwands im Verkehr, der Infrastrukturmaßnahmen sowie der Erhaltung und Unterhaltung von Infrastruktur und Gebäuden. Daraus resultierend ergibt sich ein Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Atmosphäre.

Diese Lebensweisen werden durch ökonomische Entwicklungen beeinflusst, bedingt und vorangetrieben. Die Steigerung des Lebensstandards wird z. B. begleitet von einer Lockerung der Bindung an bestimmte Standorte, der als Hauptcharakteristikum aufgeführten Suburbanisierung. Diese wird definiert als „Dekonzentrationsprozess von Agglomerationsräumen bzw. Stadtregionen, verursacht durch den Prozess der Stadtrandwanderung von Bevölkerung und Wirtschaftsbetrieben“<sup>24</sup>.

---

<sup>24</sup> Vgl. Leser, 2002, S.853

Suburbanisierung lässt sich damit nicht nur als Wohnsuburbanisierung, sondern auch als Dekonzentration von Handel, Gewerbe, Dienstleistungen und Industrie beobachten und äußert sich dann in einer Verschlechterung der Nahbereichsversorgung. Güter und Leistungen können heutzutage auf vielen Standorten produziert oder konsumiert werden. Dabei sollen betriebliche und räumliche Spezialisierungen möglichst optimal ausgeschöpft werden. Die Auflösung von traditioneller Ortsgebundenheit und damit die Möglichkeit zur Produktion an kostengünstigeren Standorten, geringe Produktionstiefen und großräumige Arbeitsteilung erfordern andererseits einen enormen Verkehrsaufwand<sup>25</sup>. Dabei muss festgehalten werden, dass sich die Zunahme des individuellen Pkw- und des Wirtschaftsverkehrs und die unterschiedlichen Arten der Suburbanisierung gegenseitig bedingen und begünstigen. Das Kfz ermöglicht Suburbanisierung und Suburbanisierung verstärkt den Verkehr. Eigentliche Ursachen waren jedoch die Veränderungen der sozioökonomischen Lebensweisen<sup>26</sup>.

Die veränderten Lebens-, Produktions- und Wirtschaftsweisen wirken sich dann wiederum auf die Wohnverhältnisse aus und können dabei Veränderungen von typischen Siedlungsstrukturen hervorrufen, wie sie bereits in der Geschichte nach technologischen Umbrüchen beobachtet wurden. Im Zeitverlauf vom Agrar- zum Industriezeitalter zum Beispiel wurden menschliche Siedlungsweisen von überwiegend dörflicher Struktur für die landwirtschaftliche Produktion hin zu Städten mit industriellem Aufgabenschwerpunkt neu organisiert. Eine Änderung menschlicher Wirtschaftsweisen durch Entwicklung oder durch neue Technologien findet immer auch ihren Ausdruck in den Raumstrukturen. Die dabei aktuell zu beobachtenden Entwicklungen werden von BERGMANN et. al. folgendermaßen zusammengefasst:

- abnehmende Siedlungsdichten und steigende Flächennachfragen,
- Entflechtung räumlicher Nutzungsfunktionen durch Möglichkeit zur Wahl eines jeweils optimalen Standortes,
- Verlust des zentralörtlichen Gefüges durch gleichzeitige räumliche Konzentrationsprozesse<sup>27</sup>.

All diese Entwicklungen führen zu einem Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Atmosphäre durch den höheren Bedarf an Energie.

---

<sup>25</sup> Vgl. Bergmann, et. al., 1993, S.494

<sup>26</sup> Vgl. Wegener, 1999, S.11

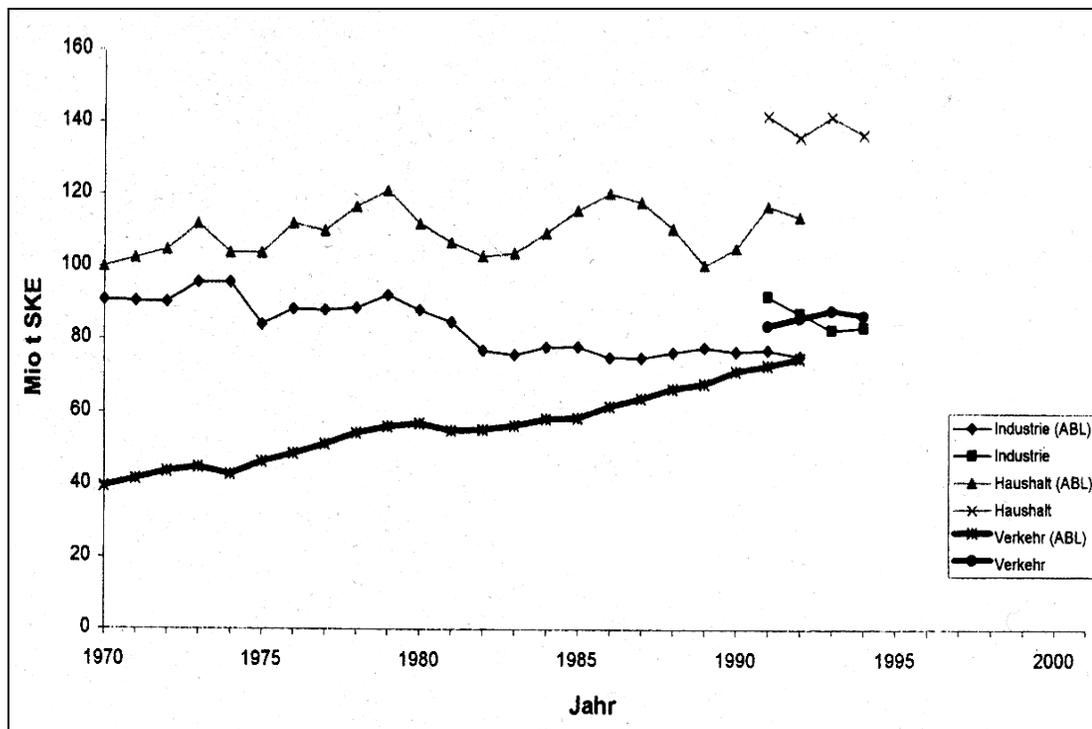
<sup>27</sup> Vgl. Bergmann et. al., 1993, S.495 f.

In der Literatur werden dafür im privaten Bereich von vielen Autoren hauptsächlich zwei Bereiche verantwortlich gemacht:

1. Haushalte: vor allem durch den höheren Bedarf an Raumwärme und Warmwasser durch Komfortsteigerungen, z. B. mehr Wohnraum, als auch durch die Verschlechterung der Eignung von leitungsgebundenen Energieträgern (z. B. Nah-/Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung)
2. Verkehr: überwiegend durch den Anstieg des Personen- und Güterverkehrs durch längere Wege, aber auch durch verschlechterte Voraussetzungen für einen attraktiven öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV)<sup>28</sup>.

Abbildung 5 bestätigt, dass die Hauptenergieverbraucher in Deutschland die Haushalte und der Verkehr darstellen und diese Gruppen deshalb die größten Mengen von CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen.

**Abbildung 5: Endenergieverbrauch in Deutschland nach Verbrauchergruppen (in Steinkohleeinheiten für den Zeitraum 1970 bis 1994)**

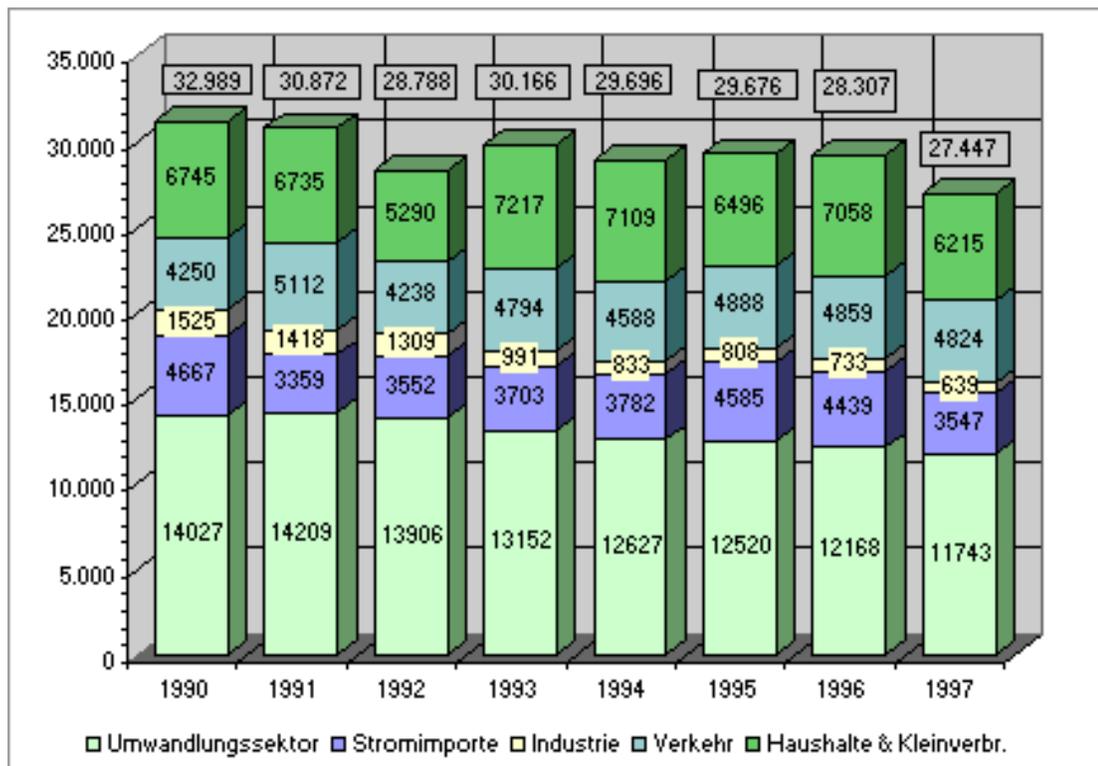


Quelle: Eberlein, Dieter: Energie und Mobilitäts-Szenarien und Einsparpotentiale; nach: Walcha, Henning (Hrsg.): Nachhaltige Stadtentwicklung, 1998; S.218

<sup>28</sup> Vgl. u.a. Bergmann, et.al., 1993, S.495

Die aus den zuvor aufgeführten Endenergieverbräuchen berechneten CO<sub>2</sub>-Emissionen werden u.a. wie in Abbildung 6 je Verursacherbereich dargestellt. Hier wird deutlich, dass die Gesamt-CO<sub>2</sub>-Emissionen in Berlin seit 1990 zurückgingen. Diese Beobachtung trifft ebenfalls für die Emissionen auf Bundesebene zu<sup>29</sup>, womit sich Deutschland dem Versprechen nähert, bis 2010 25% der CO<sub>2</sub>-Emissionen zum Basisjahr 1990 einzusparen.

**Abbildung 6: CO<sub>2</sub>-Emissionen in Berlin nach Verursachungssektoren (in 1000t CO<sub>2</sub>)**



Quelle: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, 2001, Internetressource

Obwohl die absoluten Werte der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Haushalten jedoch höher sind als jene aus dem Verkehrssektor, kommt dem letztgenannten in dieser Betrachtung eine Schlüsselrolle zu. Das leitet sich durch die in den letzten Jahrzehnten stark gestiegenen Wachstumsraten des Energieverbrauchs dieses Sektors ab, die die Wachstumsraten der Haushalte bedeutend überstiegen (siehe Abbildung 5). Auch am Beispiel von Berlin zeigt sich, dass zwischen 1990 und 1997 nur die Emissionen im Verkehrsbereich zugenommen haben. Die beobachtete Entwicklung ist dabei vor allem dem gestiegenen Anteil des MIV zuzuschreiben.

<sup>29</sup> BMWi, 2000

Daraus lässt sich sowohl ein größerer Handlungsbedarf als auch ein höheres CO<sub>2</sub>-Minderungspotential ableiten. Die weiteren Erläuterungen werden sich deshalb auf den Verkehrssektor beziehen.

Die anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Verkehrssektor entstanden sind, bezifferten sich 1998 global auf etwa 20% der Gesamtemissionen<sup>30</sup>. Dabei sind 13% dem Personenverkehr, das Übrige dem Frachtverkehr zuzuordnen<sup>31</sup>. Obwohl wesentlich sparsamere Motoren entwickelt wurden, schlug sich das nicht in den tatsächlichen Verbräuchen nieder. Diese betragen 9,9 l/100km (Liter pro 100 Kilometer) im Jahre 1975 und bezifferten sich 1998 auf ungefähr 8,9 l/100km<sup>32</sup>. EBERLEIN geht davon aus, dass dieser nur geringe Unterschied auf die Zunahme der Durchschnittsmotorleistung von 63 auf 84 PS (Pferdestärke) und auf die Zunahme der Höchstgeschwindigkeiten zurückzuführen ist. Noch 1990 waren nur 9% der Autos in der Lage eine Höchstgeschwindigkeit von über 180 km/h zu erreichen, wobei es derzeit 25% aller zugelassenen Autos in Deutschland vermögen<sup>33</sup>. Diese Entwicklungen wirken einer Reduzierung der Verkehrsenergie entgegen.

EBERLEIN benennt weiterhin, dass sich die Mobilität eines jeden Einwohners in Deutschland auf ungefähr 12000 Kilometer pro Jahr beläuft. Das sei dreimal soviel wie im Jahre 1960 und fünfzig mal soviel wie um die Jahrhundertwende<sup>34</sup>. Die in den letzten Jahrzehnten stark gestiegene Fahrleistung im Personenverkehr wird dabei zu 66% der lokalen Ebene zugeschrieben, dessen Ursache vor allem in der grundsätzlich urbanen Lebensweise einer industriellen und besonders einer tertiären Gesellschaft gesehen werden<sup>35</sup>. Diese Aussage unterstreicht noch einmal die Bedeutung städtischer Siedlungen in der vorliegenden Problematik.

Damit wird andererseits deutlich, dass diese Betrachtung auf das Verkehrsaufkommen der Arbeits- und Versorgungsfahrten ausgerichtet ist, welche in der Diskussion um CO<sub>2</sub>-Emissionen vom nicht zu unterschätzenden Urlaubs- und Freizeitverkehr im Individualverkehr zu unterscheiden sind. Bei siedlungsstrukturellen Betrachtungen sind jedoch die Arbeits- und Versorgungsfahrten von größerer Bedeutung, da sie als täglich und notwendig angesehen werden. Sie sollen deshalb hier im Zentrum stehen.

---

<sup>30</sup> Vgl. BMWi, 2000

<sup>31</sup> Vgl. Schafer, 1999, S.673

<sup>32</sup> Vgl. Topp, 1998, S.166

<sup>33</sup> Vgl. Eberlein, 1998, S.217

<sup>34</sup> Vgl. Eberlein, 1998, S.231

<sup>35</sup> Vgl. Kutter, 1993, S.288

### 2.2.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde versucht, den mehrdimensionalen Zusammenhang zwischen anthropogenem CO<sub>2</sub> und menschlichen Aktivitäten freizulegen. Anthropogenes CO<sub>2</sub> entsteht durch die Verbrennung von fossilen Rohstoffen, womit der überwiegende Teil unserer Energie erzeugt wird. Wie geschildert wurde, sind in diesem Zusammenhang städtische Siedlungen aus dem Grunde als relevant zu betrachten, da in unserer Zeit und in unserer Gesellschaft die Mehrzahl der Bevölkerung in Städten lebt und vor allem dort Energie verbraucht. Die Art und Weise, wie die Mehrheit der Bevölkerung in den Städten siedelt und die Art und Weise, wie Gesellschaften wirtschaften, hat sich in den letzten Jahrzehnten stark geändert und eine Neustrukturierung von Siedlungen nach sich gezogen. Die Folgen äußern sich bei Privatpersonen hauptsächlich in einem Anstieg an Raumwärme- und Warmwassererzeugungsenergie und gestiegenem Energieaufwand im Verkehr. Da die Wachstumsraten des Energieverbrauchs im Verkehrssektor allerdings wesentlich höher sind als jene im Wohnungsbereich, deuten diese auf einen größeren Handlungsbedarf und stärkere Relevanz hin. Deshalb soll im Folgenden die Betrachtung des Verkehrs im Mittelpunkt stehen.

Die hier diskutierten Einflussgrößen des Verkehrssektors wurden durch TOPP in einem Regelkreis dargestellt (siehe Abbildung 7), der deutlich macht, dass der Verkehrssektor von den hier genannten Größen beeinflusst wird, diese aber ebenfalls modifiziert.

**Abbildung 7: Verkehr im (unvollständigen) Regelkreis von Einflussgrößen**



Quelle: Topp, Hartmut: Verkehrsbeziehungen in Stadtregionen nach 2000,  
aus Walcha, Henning (Hrsg.): Nachhaltige Stadtentwicklung, 1998, S.163

Anlehnend an die Erkenntnisse zu den Zusammenhängen zwischen Verkehrsaufkommen und den aufgezeichneten Einflussbereichen wird die Bearbeitung des Themas fortgeführt werden. Im nächsten Teil der Untersuchung werden demzufolge schwerpunktmäßig Parameter der Siedlungs-, der Verkehrsstruktur und des Einkommens als Indikatoren analysiert.

Dabei soll im Vergleich geklärt werden, welche Parameter dieser Bereiche hauptsächlich für höhere Emissionen im Straßenverkehr verantwortlich sind, d.h. umgekehrt, mit welchen Mitteln man dem Wachstum der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr wahrscheinlich am effizientesten entgegenwirken kann. Im folgenden Kapitel werden zunächst die Einflüsse der Siedlungsstruktur betrachtet, um daran anschließend mit der Erörterung der Verkehrsstruktur und des Einkommens fortzufahren.

## **2.3 Der Einfluss der Siedlungsstruktur auf CO<sub>2</sub>-Emissionen**

### **2.3.1 Einleitung**

Um in den Sachverhalt einsteigen zu können, sollen als Definitionsgrundlage und zum besseren Verständnis hier zunächst bedeutsame Siedlungsstrukturmodelle, Leitbilder und Prinzipien des Städtebaus, wichtige Termini und Stadtmodelle vorgestellt werden. Danach wird im Speziellen auf die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Parametern der Siedlungsstruktur und der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Straßenverkehr eingegangen.

### **2.3.2 Vorstellung relevanter Modelle und Ordnungsprinzipien im Städtebau**

#### **2.3.2.1 Einleitung**

Die Ausführungen in diesem Kapitel beinhalten einerseits Aussagen zur Kompakten Stadt, zum Prinzip der Zentralen Orte und zu Stern- und Bandstadtkonzepten. Nach diesen zum Teil schon älteren Stadtmodellen sind seit Mitte der achtziger Jahre räumliche Konzepte zur nachhaltigen Stadtentwicklung diskutiert worden. Sie beziehen sich auf Überlegungen einer möglichst ökologischen Stadtentwicklung und erachten die Ordnungsprinzipien Dichte, Mischung und Polyzentralität als die wesentlichen Punkte, welche zum Abschluss ebenfalls vorgestellt werden.

#### **2.3.2.2 Die Kompakte Stadt**

Dieses Strukturmodell ist angelehnt an die kompakte Großstadt des 19. Jahrhunderts. LE CORBUSIER entwickelte einen ersten umfassenden Entwurf zu diesem Modell im Jahre 1924. Diese und andere Modelle zeichnen sich durch eine bestimmte Nutzungsverteilung aus, die in der zentralen Zone eine hohe Verdichtung mit Geschäfts- und Wohnfunktionen vorsieht. Daran anschließend wurden Wohngebiete im Mittelhochbau und daran Flächen für öffentliche Gebäude geplant. Industriestandorte wurden räumlich getrennt am Stadtrand angesiedelt. Das Verkehrssystem sollte geometrisch und formal angelegt sein. Als Größenordnung gab LE CORBUSIER einen Richtwert von 3 Mio. EW vor, wobei eine Netto-Wohndichte im Kern von 3000 EW/ha (Einwohner pro Hektar) sowie in den umliegenden Wohngebieten von immerhin noch 300 EW/ha angestrebt werden sollte<sup>36</sup>.

---

<sup>36</sup> Vgl. Heineberg, 2000, S.118

Abgesehen von diesem Entwurfsmodell einer Kompakten Stadt wird Kompaktheit im Städtebau nicht klar definiert. Es kann darunter jedoch ein abgerundeter Siedlungskörper verstanden werden, bei dem die Stadtgrenze annähernd die Form eines Kreises einnimmt (im Gegensatz zu Finger- oder Korridorstädten, die Entwicklungsachsen entlang von Verkehrsstrassen besitzen und dann einer Amöbenform gleichen, siehe auch weiter unten). Die Besiedlung sollte relativ geschlossen sein, kann aber zum Zentrum hin stark ansteigen, wie bei HÜSLER beschrieben. Daraus ergibt sich eine höhere Wohn- und Arbeitsplatzdichte in den Zentrengeländen. Die Anteile von bebauter Fläche im Gegensatz zu Freiland dürften in der gesamten Stadt jedoch ähnlich und hoch sein<sup>37</sup>.

Unter diesem Aspekt können Kompaktheit und Zentralität einer Stadt als Begriffe ähnlicher Bedeutung aufgefasst werden. Zentralität bringt eine gewisse Kompaktheit mit sich. Auch KATO bemerkt, dass eine Stadt als kompakt gilt, wenn Wohn- und Arbeitsplatzangebote stark zentralisiert auf die Innenstadtbereiche ausgerichtet sind. Besonders diese beiden genannten Eigenschaften werden immer wieder in der siedlungsstrukturellen Diskussion um CO<sub>2</sub>-Emissionen mit angeführt, weshalb ihnen in der später folgenden Analyse noch besonderes Gewicht zugesprochen werden muss<sup>38</sup>.

### **2.3.2.3 Das Prinzip der Zentralen Orte nach CHRISTALLER**

Das Modell der Zentralen Orte, von CHRISTALLER im Jahre 1933 publiziert, versucht, die Verteilung städtischer Siedlungen im Raum zu erklären. Die Grundaussage bezieht sich auf das Angebot von Gütern und Dienstleistungen einer Stadt, welches in der Regel den Eigenbedarf übersteigt und deshalb einen Bedeutungsüberschuss für das sie umgebende Umland aufweist, dieses also mitversorgt. Nach der Höhe des Bedeutungsüberschusses und des Angebotes an Dienstleistungen und Gütern des höheren Bedarfs sowie der Größe des Einzugsbereichs ergibt sich eine Hierarchie der Zentralen Orte. Je seltener und wertvoller das Angebot des höheren Bedarfs, desto größer ist das entsprechende Einzugsgebiet und desto höher steht der Ort in der Hierarchie. Man unterscheidet nach Ober-, Mittel- und Unterzentren mit jeweils möglichen Zwischenstufen.

---

<sup>37</sup> Vgl. Hüsler, 1999, S.12

<sup>38</sup> Vgl. Kato, 2001, S.2

Im Idealfall ergeben sich auf jeder Hierarchiestufe hexagonale Raster, da die Sechseckform der Einzugsgebiete die rationellste und im Gegensatz zum Kreis flächendeckend ist<sup>39</sup>.

Das Prinzip der Zentralen Orte wurde vielfach weiterentwickelt und z. B. auch auf das innerstädtische Zentrum übertragen<sup>40</sup>. Im städtischen Sinne beschreibt Zentralität den Bedeutungsüberschuss der Innenstadt im Hinblick auf die sie umgebenden äußeren Stadtgebiete. Der Bedeutungsüberschuss äußert sich im Angebot an Gütern und Dienstleistungen und daraus resultierend in der vor allem höheren Arbeitsplatz- und oft auch Wohndichte. Diese Größen werden später als Parameter in die Analyse einbezogen und daraus schließend ihr Einfluss auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Verkehrssektors eingehender betrachtet werden.

#### **2.3.2.4 Stern- und Bandstadtkonzepte, Finger- und Korridorstädte**

Diese Modellvorstellung geht auf ALBERS im Jahre 1974 zurück und verknüpft verschiedene Bandstadtelemente durch ein Zentrum oder zumindest durch eine zentrale Zone. Dabei stand die rationale Ordnung von Nutzungsstrukturen in Städten im Vordergrund. Das heißt, z. B. das strukturierte Planen von Bau- und Freiflächen, von Zentren und anderer Nutzungsbereiche sowie von Hauptlinien der technischen Infrastruktur, wie Straßen und Bahngleise. Das bis dahin verfolgte Planen in Wachstumsringen sollte durch geordnete Bahnen ersetzt werden<sup>41</sup>. Diese Band- oder Sternkonzepte wurden später entlang den Verkehrslinien als Entwicklungsachsen ausgebaut, die eine bessere Ausnutzung des ÖPNV und die Konzentration von Siedlung und Gewerbe um die Haltepunkte ermöglichen sollten.

Aus diesem Grund werden die genannten Konzepte oft in die Diskussion um städtische CO<sub>2</sub>-Emissionen eingebracht. Ob sich jedoch die Vorteile für den ÖPNV merklich in den CO<sub>2</sub>-Bilanzen niederschlagen, muss im Folgenden noch geklärt werden.

---

<sup>39</sup> Vgl. Leser, 2001, S.123 f.

<sup>40</sup> Vgl. Leser, S.1016

<sup>41</sup> Vgl. Heineberg, 2000, S.120

### 2.3.2.5 Ordnungsprinzipien der nachhaltigen Stadtentwicklung

#### 2.3.2.5.1 Dichte im Städtebau

Mit diesem Prinzip wird die Schaffung von kompakten und dennoch hochwertigen baulichen Strukturen verstanden. Das bedeutet nicht die Wiederbelebung der in den 60/70er Jahren aufgetretenen Plattenbauweise, soll aber das Ausufernde der Siedlungskörper und eine fortschreitende Suburbanisierung verhindern. Deshalb wird eine Ausschöpfung der Potentiale im Innenstadtbereich gefordert, die oft mit dem Schlagwort der „Nachverdichtung“ umschrieben wird. Das bedeutet, sich in allen Bereichen der Flächen-, Gewerbe- und Wohnungspolitik auf die Entwicklung im Bestand zu konzentrieren. So stehen Renovierung, Instandsetzung und Umwidmung ehemals genutzter Gebäude in innerstädtischen oftmals schon sehr stark verdichteten Altbauquartieren im Vordergrund. An den Stadträndern und im suburbanen Raum bedeutet dies mit Lückenschließungen zu einer Reduzierung der Flächeninanspruchnahme beizutragen. So wird mit Verdichtung eine sparsamere Ressourcennutzung möglich. Auch der Betrieb von Blockheizkraftwerken zur Energiegewinnung wird zum Beispiel bei einer dichteren Bebauung effizienter und die Versorgung mit öffentlichen Verkehrsmitteln weniger kostenintensiv<sup>42</sup>.

#### 2.3.2.5.2 Nutzungsmischung

Mit diesem Schlagwort wird das Nebeneinanderfungieren einzelner Stadtfunktionen wie Wohnen, Arbeiten, Freizeit und Versorgung auf möglichst kleinem Raum verstanden. Diese funktionale Mischung soll möglichst auf Stadtteilebene gelingen und somit auch vielfältige Einzelhandelsfunktionen im zentralen Bereich anziehen und nicht auf der „grünen Wiese“ geschehen lassen. Des Weiteren wird ebenfalls eine soziale Mischung nach Einkommensklassen, Haushaltstypen und Lebensstilgruppen angestrebt<sup>43</sup>. Eine eher kleinräumige Nutzung auf Stadtteilebene kann die Voraussetzungen zur Schaffung von Urbanität, zur Förderung eines Quartierlebens, zur Begünstigung urbaner Vielfalt, zum Abbau von Segregation und zur Verbesserung der Lebenssituation benachteiligter Bevölkerungsschichten beitragen.

Großräumig wird erwartet, dass damit verkehrsvermindernde, energie- und flächensparende Stadt- und Siedlungsstrukturen möglich werden<sup>44</sup>.

---

<sup>42</sup> Vgl. Bergmann, 1996, S.8

<sup>43</sup> Vgl. Heineberg, 2000, S.129 f.

<sup>44</sup> Vgl. Bergmann, 1996, S.9

### 2.3.2.5.3 Polyzentralität

Dieses Ordnungsprinzip ist in den letzten Jahren sowohl auf städtischer als auch regionaler Ebene stark diskutiert worden. Innerstädtisch am besten durch den Slogan „Stadt der kurzen Wege“ umschrieben, setzt sich für das städtische Umland zunehmend der Begriff der „dezentralen Konzentration“ durch. Das Prinzip geht auf die „Gartenstadtidee“ von HOWARDS im Jahre 1898 zurück und versucht, den anhaltenden Siedlungsdruck auf das Umland von Groß- und Mittelstädten auf ausgewählte Schwerpunkte im Umland dieser zu konzentrieren. Damit soll einer Dispersion entgegengewirkt und gleichzeitig eine höhere Effizienz des ÖPNV erreicht werden.

Besonders seit der Entlassung des deutschen raumordnungspolitischen Orientierungsrahmens im Jahre 1993 und des entsprechenden Handlungsrahmens 1995 hat dieses Leitbild an Interesse in der Raumordnung gewonnen. Die Entscheidung der Landesplanung Berlin/Brandenburg für dieses Konzept spricht für die steigende Bedeutung<sup>45</sup>.

Auch im kommunalen Kontext größerer Städte und Stadtlandschaften besitzt das Prinzip zunehmenden Einfluss. Hierbei steht der Begriff für das Bilden einer Vielzahl von Unterzentren, das möglichst auf Stadtteilebene durchgesetzt werden soll. Damit verspricht man sich, den in letzter Zeit beobachteten Verlust an räumlicher Nähe wieder auszugleichen und die Versorgung im Nahbereich zu verstärken.

### 2.3.2.6 **Zusammenfassung**

Die erläuterten älteren Konzepte im Städtebau besitzen für die heutige Stadtentwicklung immer noch eine gewisse Bedeutung. Allerdings werden seit den 80er Jahren zunehmend Konzepte einer nachhaltigen Stadtentwicklung diskutiert. In Deutschland und anderen europäischen Ländern wird damit verstärkt eine ökologische Stadtentwicklung mit höherer Dichte und Nutzungsmischung sowie kleinräumiger Polyzentralität angestrebt und in die stadtplanerische Praxis aufgenommen. Damit knüpfen diese Prinzipien an die heutigen Probleme und räumlichen Prozesse der Stadtentwicklung - Siedlungsdispersion, räumliche Entmischungsprozesse und Verkehrswachstum - an, und versuchen denen entgegenzuwirken. Sie erhalten damit eine entscheidende Rolle in der Problematik um CO<sub>2</sub>-Ausstöße im Verkehr und sollen dahingehend weiter diskutiert werden.

---

<sup>45</sup> Vgl. Heineberg, 2000, S.131

### **2.3.3 Die Rolle nachhaltiger Stadtentwicklung für Verkehrsreduzierung**

#### **2.3.3.1 Einleitung**

Im Nachfolgenden soll geprüft werden, ob die Kriterien der nachhaltigen Stadtentwicklung - Dichte, Nutzungsmischung und Polyzentralität - für die CO<sub>2</sub>-Minderung im Straßenverkehr von Bedeutung sind. Um einen möglichst umfassenden Überblick über die wissenschaftliche Meinung zu geben, werden die unterschiedlichsten Studien zur Theorie, nicht nur jene zum CO<sub>2</sub>-Ausstoß, sondern auch generell das Verkehrsaufkommen betreffend, angeführt.

Denn wie in vorigen Kapiteln gezeigt werden konnte, bedeutet höhere Mobilität und mehr gefahrene Kilometer (bei Betrachtung je einzelner Verkehrsmittel sogar in eindeutiger Beziehung) einen höheren Ausstoß an CO<sub>2</sub><sup>46</sup>. Dabei werden die einzelnen Prinzipien Dichte, Nutzungsmischung und Polyzentralität nacheinander betrachtet.

#### **2.3.3.2 Die Relevanz von Dichte für Verkehrsreduzierung**

In den Anfängen der Untersuchung von CO<sub>2</sub> und Siedlungsstrukturen waren viele Fachleute der Meinung, dass die Zunahme des Stadtverkehrs, des damit verbundenen Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen eine Beziehung zur Bevölkerungsdichte<sup>47</sup> und zur Siedlungsdichte<sup>48</sup> aufweist.

Dieser einfache, auf den ersten Blick plausible Zusammenhang zwischen Siedlungsdichte und Verkehrsenergieverbrauch wurde erstmals von NEWMAN & KENWORTHY 1989 postuliert<sup>49</sup> und später durch andere Untersuchungen bestätigt<sup>50</sup>. NEWMAN & KENWORTHY untersuchten 32 Städte auf verschiedenen Kontinenten im Hinblick auf einen Zusammenhang zwischen der Stärke der Automobilabhängigkeit und verschiedenen Indikatoren der Landnutzung, Verkehrs- und Sozialinfrastruktur. Diese Untersuchung gilt als bekanntester Beleg für den Zusammenhang zwischen Siedlungsdichte und Verkehrsenergieverbrauch.

---

<sup>46</sup> Vergleiche zwischen unterschiedlichen Verkehrsmitteln sind schwieriger, da jene nach Auslastung, Motorleistung, Gewicht, Kraftstoffverbrauch, Kraftstoffart u.v.a. unterschiedliche CO<sub>2</sub>-Ausstöße nach sich ziehen.

<sup>47</sup> Vgl. Leser, 2001, S.80 und S.778: Die Bevölkerungsdichte oder Einwohnerdichte wird definiert als „durchschnittliche Zahl der Einwohner eines Raumes pro Flächeneinheit“ und in Städten meist in Einwohner pro Hektar (EW/ha) angegeben. Bei einigen Autoren wird der Begriff synonym zur Besiedlungsdichte verwendet.

<sup>48</sup> Vgl. Leser, 2001, S.78: Besiedlungsdichte im geografischen Sinne wird umschrieben, als „bereinigte Bevölkerungsdichte, bei der die Wohnbevölkerung eines Raumes nur auf die theoretisch besiedelbare Fläche bezogen wird.“ Der Begriff Siedlungsdichte wird üblicherweise synonym verwendet.

<sup>49</sup> Vgl. Newman & Kenworthy, 1989, S. 67

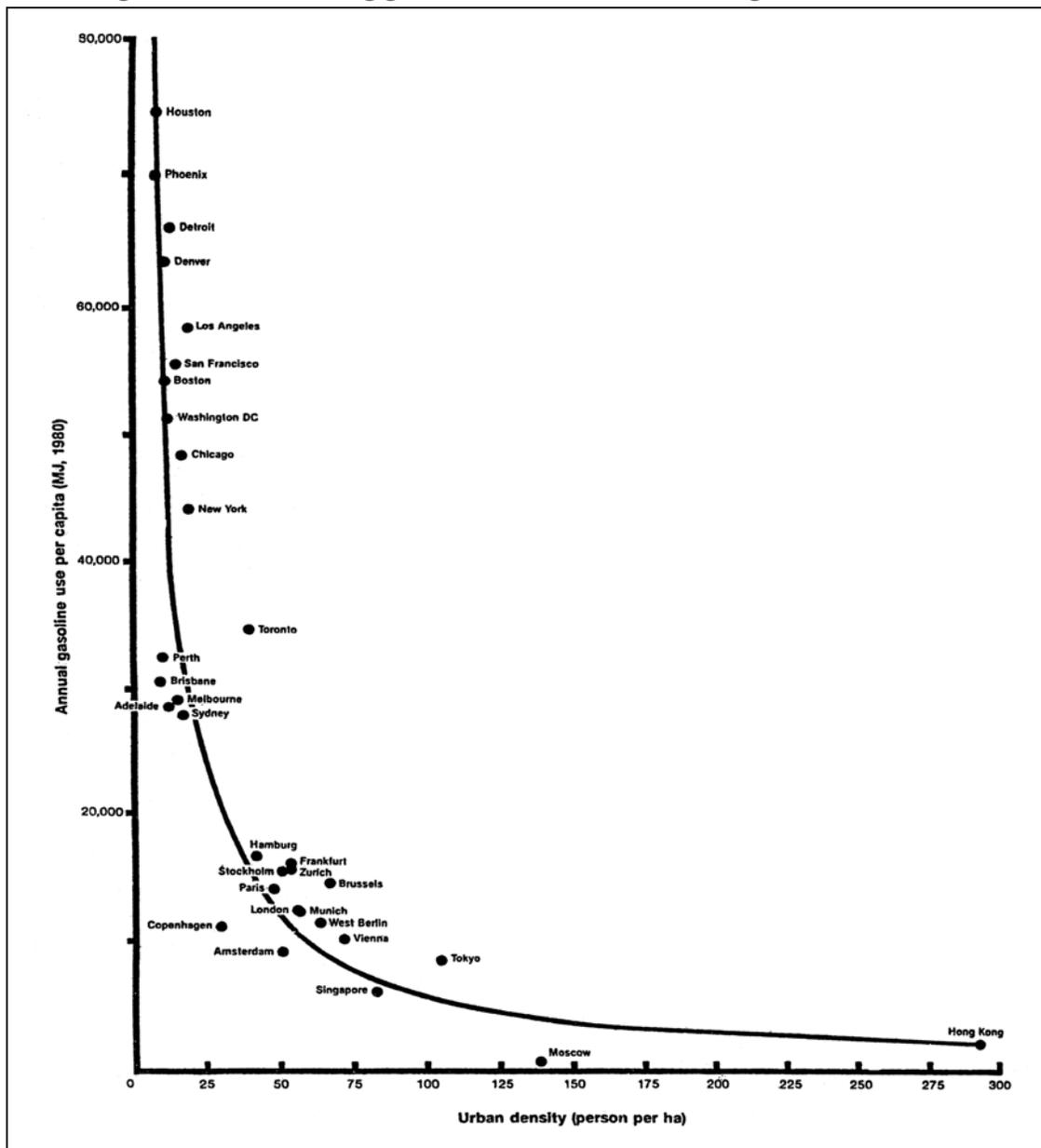
<sup>50</sup> Vgl. Apel & Lehmbrock, 1998a, S.3

Dabei wurden zu folgenden Dichte-Parametern besonders starke Zusammenhänge zur Automobilhängigkeit beobachtet:

- Intensität der Nutzung besiedelter Fläche (Siedlungs- und Arbeitsplatzdichte),
- Grad der Zentralität (Dichte von Einwohnern und Arbeitsplätzen im Zentrum).

Das befundene Verhältnis zur Dichte wurde dabei komplexer als nur linear beschrieben. Es wurde ein exponentieller Zusammenhang angenommen, der durch die folgende Abbildung nachempfunden werden kann. Hier sind die Pro-Kopf-Benzinverbräuche der Untersuchungsbeispiele gegen die Siedlungsdichte abgetragen.

**Abbildung 8: Automobilabhängigkeit im Verhältnis zur Siedlungsdichte**



Quelle: Newman & Kenworthy: Cities and Automobile Dependence, 1989, S.48

Dichte wird nach der Analyse von NEWMAN & KENWORTHY mit starkem statistischen Zusammenhang als einer der wichtigsten Parameter angesehen, der Automobilabhängigkeit verringern und die Eignung des ÖPNV steigern kann. Als bedeutendstes Untersuchungsergebnis wurde damit postuliert, dass der Pro-Kopf-Benzinverbrauch in Städten vorwiegend von der Siedlungsdichte abhängig ist.

NEWMAN & KENWORTHY fanden für den Parameter Siedlungsdichte einen Schwellenwert von 20-30 EW/ha für die jeweiligen Verkehrsaufwendungen im nicht motorisierten Individualverkehr (NMIV), im MIV und ÖPNV. Dieser Schwellenwert kennzeichnet, dass der Autoverkehr exponentiell steigt und die NMIV- sowie ÖPNV-Nutzung drastisch sinkt, wenn dieser Dichtewert unterschritten wird. Würde es einer Stadt, z. B. möglich sein, ihre Siedlungsdichte von 10 EW/ha auf 30 EW/ha zu erhöhen, wäre eine Benzineinsparung von 50-66% möglich, so die Autoren<sup>51</sup>.

Gleichfalls wurden Schwellenwerte für den Parameter Arbeitsplatzdichte ermittelt, die sich in ähnlicher Weise verhalten, wie beim Zusammenhang bezüglich der Siedlungsdichte. Es ergab sich ein Schwellenwert von 10-15 Arbeitsplätzen pro Hektar<sup>52</sup>.

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse spricht sich NEWMAN später für das Leitbild der Kompakten Stadt mit hoher Dichte und Zentralität aus<sup>53</sup>. Auf die Indikatoren Zentralität versus Polyzentralität wird hier nicht weiter eingegangen, dieser Punkt wird in einem der folgenden Kapitel noch behandelt. Es wird jedoch schon darauf hingewiesen, dass die Merkmale Dichte und Zentralität schwer zu trennen sind, da der eine Parameter den anderen oft bedingt (siehe auch Kapitel 2.3.2.2).

Argumente, die für eine hohe Dichte und Kompakte Städte sprechen um CO<sub>2</sub> im Verkehr zu verringern, berufen sich vorwiegend auf eine gesunkene Notwendigkeit zum Kfz-Gebrauch und zur Verkehrsteilnahme. Daraus resultierend wäre es möglich, die allgemeine Mobilität zu reduzieren. Diese Städte seien deshalb weniger autoabhängig und würden eine effizientere Nutzung des ÖPNV und des NMIV ermöglichen<sup>54</sup>.

---

<sup>51</sup> Vgl. Newman & Kenworthy, 1989, S.47

<sup>52</sup> Vgl. Newman & Kenworthy, 1989, S.47 ff.

<sup>53</sup> Vgl. Newman, 1992, S.285

<sup>54</sup> Vgl. McLaren, 1992, S.268 f.

Diese Vermutung kann durch einen Vergleich deutscher und amerikanischer Siedlungsstrukturen bestätigt werden. In Australien und den USA liegen die Einwohnerdichten bei etwa 40% gegenüber mitteleuropäischen Agglomerationen, die verkehrsbedingten Energieaufwendungen dagegen sind doppelt oder dreifach so hoch. Aus diesem Grunde wird von KUTTER postuliert, dass der Anstieg der Autofahrleistung bei der Pendelwanderung im Berufsverkehr zu 33% auf die ausgeweiteten Stadtstrukturen zurückzuführen ist<sup>55</sup>.

Später äußerten verschiedene Autoren jedoch, dass das Leitbild der Kompakten Stadt in der extremen Form nicht anzustreben sei, da sich dadurch erneute Probleme in der Innenstadt sowohl durch Stau, als auch durch Schadstoffemissionen, weniger Grünflächen und im Allgemeinen schlechtere Wohnbedingungen ergeben würden. Das zusammen könnte sich in höherem Reise- und Freizeitverkehr<sup>56</sup> bemerkbar machen, da die Menschen einen Ausgleich zum Mangel an Erholungsmöglichkeiten in der Stadt suchen<sup>57</sup>. Die Zusammenhänge zwischen der Kompakten Stadt und Energieverbräuchen in Städten müssten deshalb als komplexer angesehen werden<sup>58</sup>. Ein hoher Grad an Zentralität in der Innenstadt führt möglicherweise zu einer besseren Ausnutzung des ÖPNV, bezieht jedoch nicht die Verkehrsakkumulation des MIV mit ein. So wurde die anfänglich als dominant empfundene Bedeutung der Siedlungsdichte zunehmend in Frage gestellt.

Weitere Untersuchungen, wie z. B. die von LARIVIERE & LAFRANCE in den 45 bevölkerungsstärksten Städten von Quebec in Kanada, kamen auch zu dem Ergebnis, dass höher verdichtete Städte zwar weniger Benzin pro EW und Jahr verbrauchen als weniger verdichtete, der existierende Zusammenhang jedoch weniger stark ist als erwartet.

Die Ursache wird dadurch erklärt, dass Städte mit steigender Dichte auch meist höhere Zentralität aufweisen. Diese Städte bieten Serviceeinrichtungen für die umliegenden Regionen mit den Auswirkungen auf alle anderen Endverbräuche einschließlich des Transportsektors. Dadurch würden die Energieeinsparungen der effektiveren ÖPNV-Nutzung wieder kompensiert<sup>59</sup>.

---

<sup>55</sup> Vgl. Kutter, 1993, S.286

<sup>56</sup> steht in dieser Betrachtung nicht im Vordergrund, der Faktor ist jedoch nicht von der Hand zu weisen

<sup>57</sup> Vgl. Holz-Rau, 1995, S.23

<sup>58</sup> Vgl. Breheny, 1992, S.22

<sup>59</sup> Vgl. Lariviere & Lafrance, 1999, S.63 f.

Es bleibt festzuhalten, dass damit ein Punkt in der Studie von NEWMAN & KENWORTHY präzisiert werden muss. Dichte ist ein bedeutender Parameter zur Verringerung des MIV, aber auch nur bis zu einem bestimmten Grad positiv. Zu hohe Dichte äußert sich in kompensatorischem Freizeitverkehr und starker Zentralität. Diese verbessert zwar die Möglichkeiten für den ÖPNV, verschlechtert aber einen angemessenen Umgang mit dem MIV, welcher in unserer Gesellschaft nicht mehr ignoriert werden kann.

Daraus geht hervor, dass die Dichte einer Stadt zweifelsohne einen Einfluss auf das Verkehrsverhalten ausübt, dieser allerdings geringer ist als anfänglich in der Studie von NEWMAN & KENWORTHY behauptet. Einige Experten, die die dominante Rolle des Parameters Dichte in Frage stellen, argumentieren auch, dass die NEWMAN & KENWORTHY-Studie selbst eine einfache Abhängigkeit zwischen Dichte und Verkehrsaufkommen ins Wanken bringt, wenn man die anderen, dort untersuchten Einflussgrößen (z. B. sozioökonomische und wirtschaftliche Größen) betrachtet<sup>60</sup>.

Viele Autoren gehen deshalb heute davon aus, dass zur Verringerung von Verkehrsaufkommen und damit verbundenen Verkehrs-CO<sub>2</sub>-Emissionen eine Kombination mit anderen Parametern und Anreizen erforderlich ist, die in folgenden Kapiteln noch näher vorgestellt werden<sup>61</sup>.

Oft wird hervorgehoben, dass ein gleichzeitiger Einsatz siedlungsstruktureller und finanzieller Mittel größere Erfolge in der CO<sub>2</sub>-Minderung verspricht. Manche Autoren äußern sogar, dass erst dann die Arbeitsplätze in der näheren Umgebung der Wohnung wirklich genutzt werden würden<sup>62</sup>. Finanzielle Anreize könnten dabei sowohl als Vergünstigung des ÖPNV, aber auch in der Verteuerung des MIV eingesetzt werden.

Modelluntersuchungen zur Relevanz siedlungsstruktureller Parameter (betrifft mehr Parameter als die Dichte allein) bestätigen diese Hypothese, indem fast keine Veränderungen in der Bevorzugung des privaten Pkw stattfanden, wenn nur Maßnahmen aus der Siedlungsplanung angewandt wurden<sup>63</sup>. Ohne die betonte Kombination könne von der Siedlungsstruktur allein also nur ein geringer Beitrag zur Reduzierung des Verkehrsaufwands geleistet werden<sup>64</sup>.

---

<sup>60</sup> Vgl. Wegener, 1999, S.15; Rickaby, 1992, S.183 ff.

<sup>61</sup> Vgl. Würdemann, 1998, S.357

<sup>62</sup> Vgl. Owens, 1985, S.31

<sup>63</sup> Vgl. Rickaby, 1992, S.182 ff

<sup>64</sup> Vgl. Würdemann, S.357

Die Erörterung macht deutlich, dass Dichte in der heutigen, theoretischen Diskussion als wichtig, aber nicht mehr als dominanter Parameter des kommunalen Verkehrsaufkommens empfunden wird. Nachverdichtung von Städten ist bis zu einem bestimmten Grad jederzeit zu verfolgen. Dennoch sollte in Hinblick auf größere Einsparungen an CO<sub>2</sub>-Emissionen eine Kombination mit anderen Einflussgrößen angestrebt werden.

### **2.3.3.3 Die Relevanz von Nutzungsmischung für Verkehrsreduzierung**

Von Nutzungsmischung, dem hier zweiten benannten Parameter einer nachhaltigen Stadtentwicklung verspricht man sich ebenfalls positive Effekte für die oft schon chaotische Verkehrssituation in Städten. Viele Autoren sprechen sich deshalb für gemischte, also funktionsausgeglichene Siedlungs- und Nutzungsstrukturen als verkehrsvermeidenden Parameter in den Städten aus<sup>65</sup>. So sollen möglichst viele Einheiten des täglichen Bedarfs und des täglichen Lebens auf kleineren Räumen erledigt und organisiert werden können. In den heutigen Stadtstrukturen bedeutet das vor allem die Verminderung des Übergewichts von Arbeitsstätten durch mehr Wohnungen in der Innenstadt.

Das größte Potential wird dabei weniger in der Beeinflussung der Anzahl der Pkw-Fahrten sondern mehr noch in den sich verkürzenden Weglängen gesehen. Damit sei ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Energieverbräuchen und der Mischung von Landnutzungen auszumachen<sup>66</sup>.

Andere Autoren betonen, dass die Mischung von Landnutzungen eine nicht zu unterschätzende Bedeutung habe, weil damit auch die Wirtlichkeit der Straßenräume zunehme. In Zukunft werde die Sicherheit auf den Straßen und öffentlichen Plätzen eine der wichtigsten Fragen in der Entscheidung für oder gegen das Automobil bzw. für oder gegen Fuß- und Radbenutzung sein. Um den öffentlichen Raum als Lebensraum und die Stadt funktionsfähig zu halten, sei eine gewisse Durchmischung von Wohnen, Erwerbsarbeit, Versorgung, Freizeit, also städtische Vielfalt unabdingbar<sup>67</sup>. Mit höherer urbaner Qualität reduziere sich zudem der Wunsch, sich fortzubewegen<sup>68</sup>.

---

<sup>65</sup> Vgl. Würdemann, 1998, S.355 f.; Apel & Lehmbruck, 1998a, S.4

<sup>66</sup> Vgl. Owens, 1986, S.31 f.

<sup>67</sup> Vgl. Hüsler, 1992, S.13

<sup>68</sup> wie eine Untersuchung der Universität Bern ergab, Vgl. Hüsler, 1992, S.17

Wie sich im Gegenteil die Reduzierung einer Mischung von sozialer Infrastruktur- und Serviceeinrichtungen auswirkt, war Untersuchungsgegenstand in einer Studie in Kaiserslautern. Hier wurden die Auswirkungen von Postamtsschließungen auf den Verkehr untersucht. Infolge der längeren Wege zum nächsten Postamt nach der Schließung von Filialen, wurde die Häufigkeit der Besuche um ca. 60% reduziert, die Pkw-Benutzung stieg von 6% auf 37% (vornehmlich auf Kosten der Wege zu Fuß, die von 81% auf 41% absanken).

Daraus wird ersichtlich, inwiefern solche kleinen, marktwirtschaftlichen Veränderungen auf die Konsumentenentscheidung wirken können<sup>69</sup>.

Damit kann zusammengefasst werden, dass Nutzungsmischung als ein Kriterium der nachhaltigen Stadtentwicklung als sehr positiv für die Verminderung des Stadtverkehrs angesehen wird. Die wissenschaftliche Auffassung hierin zeichnet sich durch großen Konsens aus.

#### **2.3.3.4 Die Relevanz von Polyzentralität für Verkehrsreduzierung**

Polyzentralität wird als weiteres Ordnungsprinzip der nachhaltigen Stadtentwicklung angeführt. Dabei gilt es zu beachten, dass die hier vorliegende Arbeit nur auf den kommunal-städtischen Kontext ausgerichtet ist und nicht die Betrachtung des auf regionaler Ebene sogenannten Modells der dezentralen Konzentration mit einschließt. Um eine terminologische Abgrenzung herzustellen, wird im Folgenden von Polyzentralität als das Bestehen von möglichst vielen Unterzentren innerhalb einer Stadtlandschaft gesprochen. Ziel dieses Unterkapitels ist es, eine Aussage bezüglich Polyzentralität versus Zentralität der Stadtstruktur und daraus resultierender Verkehrsenergie zu ermöglichen.

Als Ausgangspunkt der Erörterung kann wieder die Untersuchung von NEWMAN & KENWORTHY herangezogen werden. Wie bereits im Kapitel zur Betrachtung der Dichte angeführt wurde, argumentiert NEWMAN auf der Grundlage der Ergebnisse von 1989 für das Leitbild der Kompakten Stadt als das effektivste zur Verkehrsvermeidung, mit dem vorrangigen Ziel, die Abhängigkeit vom Auto zu vermindern<sup>70</sup>.

---

<sup>69</sup> Vgl. Topp, 1998, S.171

<sup>70</sup> Vgl. Newman, 1992, S.285

Hierbei sei nun hervorgehoben, dass die Kompakte Stadt im Sinne NEWMANs neben hoher Zentralität auch aus vielen, kleinen Unterzentren zusammengesetzt ist, in denen die wichtigsten Wege per Fuß oder Fahrrad in unmittelbarer Wohnumgebung erledigt werden können. Wie beschrieben wird, ermöglicht diese Struktur das Etablieren einer Stadtteilkultur und eines besonderen „Kiezlebens“<sup>71</sup>.

Unter diesem Aspekt plädiert NEWMAN eigentlich für Polyzentralität und nicht für die Kompakte Stadt mit hoher Zentralität, wie sie von anderen Autoren definiert wird (siehe Kap. 2.3.2.2)

Bemerkenswert ist, dass mehrere Autoren, die sich für die Kompakte Stadt und in dem hier so verstandenen Zusammenhang für eine hohe Zentralität aussprechen, auch auf Unterzentrenkonzentration verweisen, was für Polyzentralität spricht. Das konnte bei NEWMAN & KENWORTHY, aber auch bei APEL & LEHMBROCK<sup>72</sup> sowie bei RICKABY et. al.<sup>73</sup> festgestellt werden. Es wird vermutet, dass es sich bei unterschiedlichen Standpunkten und Ansichten oft um terminologische Unsicherheiten handelt und diese dann in der allgemeinen Diskussion zu Missverständnissen führen. Wie auch HAINES erklärt, sind die Meinungsverschiedenheiten eher scheinbar als real und können auf unterschiedliche Voraussetzungen oder Annahmen zurückgehen<sup>74</sup>. Aus diesem Grunde sollte auf jeden Fall immer geprüft werden, wie die jeweils benutzten Termini gebraucht oder, falls möglich, wie sie definiert werden.

Auch andere Autoren, die sich mit diesem Thema beschäftigten, kamen zu dem Ergebnis, dass sich eine polyzentral ausgerichtete Stadtstruktur reduzierend auf die benötigte Verkehrsenergie auswirkt. RICKABY et. al. nutzten Modellierungen an hypothetischen Siedlungen von 100.000 Einwohnern. Die Modelle bezogen sich auf Benzinverbräuche in Abhängigkeit von der Siedlungsstruktur und erbrachten das Ergebnis, dass die größten Einsparungen möglich sind, wenn die Städte wie viele kleine, zerstreute Dörfer angelegt wurden. Die Einsparungen betragen hier 15% im Gegensatz zum Ist-Szenario. Sehr zentral konzentriert angelegte Siedlungen verzeichneten jedoch auch eine Reduzierung von 9%. Lediglich bei dispers modellierten Siedlungsstrukturen erhöhte sich der Benzinverbrauch der Einwohner.

Daraus folgt, dass mit Polyzentralität effektiv höhere Einsparungen möglich sind als mit angestrebter Zentralität<sup>75</sup>.

---

<sup>71</sup> Vgl. Newman, 1992, S.297

<sup>72</sup> Vgl. Apel & Lehmbruck, 1998a, S.3 f.

<sup>73</sup> Vgl. Rickaby et. al., 1992, S.93 f.

<sup>74</sup> Vgl. Haines, 1986, S.340

<sup>75</sup> Vgl. Rickaby, 1992, S.182 ff.

Diese Beobachtungen bestätigen sich bei Untersuchungen mit Hilfe des GINI-Koeffizienten. Hier konnte eine Korrelation zu den Konzentrationen der Bevölkerung eruiert werden. Räume mit einer hohen Konzentration von Bevölkerung korrelierten dabei mit großen Durchschnittsdistanzen der Pendelwege. Als bedingende Größe erweist sich wieder der jeweilige Bedeutungsüberschuss für das Umland<sup>76</sup>. Daraus erklärt sich ebenfalls, dass monozentrale Stadtstrukturen die höchsten Berufspendeldistanzen aufwiesen<sup>77</sup>. Der Hauptanteil der Pendlerbeziehungen richtet sich nämlich auf die Zentren der jeweils höheren Hierarchiestufe aus. Diese Beobachtungen sprechen eindeutig für einen polyzentralen versus zentral konzentrierten Siedlungsaufbau.

Wie bereits weiter oben bemerkt wurde, sollte jedoch Beachtung finden, dass sich Siedlungsformen unterschiedlich für die verschiedenen Transportmittel eignen. So begünstigen punkt-axiale Bandstrukturen, die jedoch meist auf ein Zentrum ausgerichtet sind, den ÖPNV, führen andererseits aber oft durch die Konzentration der Verkehrswege auf wenige Trassen zu Stauerscheinungen des MIV. Weniger konzentrierte, enthierarchisierte Strukturen mit positiven Querverbindungen für den MIV sind wiederum negativ für die Auslastung des ÖPNV<sup>78</sup>. Die Anteile disperser und tangentialer Berufs- und Güterverkehrsströme allerdings stiegen im Jahre 1994 bereits mit größerer Wachstumsrate als jene der großen Verkehrsachsen. Siedlungsstrukturelle Betrachtungen bekommen damit einen zeitlichen Parameter. Disperse und tangentielle Wege dürften in Zukunft an Bedeutung gewinnen. Punkt-axiale Bandstrukturen werden immer weniger Auslastung finden und Entlastung bringen.

Die Entwicklung sollte demzufolge, wie auch von den meisten Autoren und Untersuchungen hervorgebracht, auf Polyzentralität ausgerichtet sein, die die dispersen und tangentialen Verkehrswege des MIV günstiger zu strukturieren vermag und so zur Verringerung der Fahrtenlänge, vor allem der Berufspendeldistanzen, beitragen kann. Trotz der Vorteile für den in unserer Zeit bedeutsamen und deshalb nicht zu verachtenden MIV sollte eine Bündelung von ÖPNV auch bei gut organisierter Polyzentralität gelingen.

Es kann zusammengefasst werden, dass überwiegend im Konsens davon ausgegangen wird, dass polyzentrale Strukturen in Städten zur Verkehrsvermeidung beitragen können.

---

<sup>76</sup> Vgl. Owens, 1992, S.476

<sup>77</sup> Vgl. Sinz & Blach, 1994, S.472 und S.475

<sup>78</sup> Vgl. Sinz & Blach, 1994, S.478

### 2.3.3.5 Zusammenfassung

Nach der Betrachtung der drei Ordnungsprinzipien im nachhaltigen Städtebau ist deutlich geworden, dass alle Prinzipien für die Analyse des Zusammenhangs zwischen CO<sub>2</sub>-Emissionen und dem städtischen Verkehrssektor von Relevanz sind.

Wie aufgezeigt werden konnte, wird erwartet, dass in den Städten eine angemessene, nicht zu hohe Dichte, die Erhöhung von Nutzungsmischung und ein möglichst polyzentral angelegter Siedlungskörper den Energieverbrauch für Transportzwecke zu senken vermag. So sollten auf möglichst kleinräumigen Ebenen, etwa auf Stadtteil- oder Kiezgröße, suburbane Unterzentren mit relativ hoher Dichte, aber auch urbaner Qualität, eigener Identität und Aufenthaltsmöglichkeiten angestrebt werden. So können in diesen die Besorgungen des täglichen Bedarfs in der Umgebung der Wohnung, möglicherweise zu Fuß oder per Rad erledigt werden. Deshalb ist es unabdingbar, die Mischung von Nutzungen zu unterstützen, einer Innenentwicklung durch Nachverdichtung und Nachmischung Vorrang zu geben und die Eigenständigkeit von Stadtteilen zu verstärken. Wie von vielen Autoren hervorgehoben wird, ist es jedoch für eine erfolgversprechende Organisation zu einer CO<sub>2</sub>-vermeidenden Raumstruktur zu empfehlen, alle Prinzipien kombiniert und möglicherweise mit anderen, noch vorzustellenden Einflussfaktoren, anzuwenden. Bei Modelluntersuchungen fanden fast keine Veränderungen in der Bevorzugung des privaten Pkw statt, wenn nur Maßnahmen aus der Siedlungsplanung zur Anwendung kamen<sup>79</sup>. Ohne eine Kombination könne von der Siedlungsstruktur allein nur ein geringer Beitrag zur Reduzierung des Aufwands im Verkehr geleistet werden<sup>80</sup>.

Im folgenden Abschnitt soll deshalb die Betrachtung von verkehrspolitischen und verkehrsstrukturellen Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Minderung auf städtischer Ebene verfolgt werden.

---

<sup>79</sup> Vgl. Rickaby, 1992, S.182 ff

<sup>80</sup> Vgl. Würdemann, 1998, S.357

## **2.4 Der Einfluss der Verkehrsstruktur auf CO<sub>2</sub>-Emissionen**

### **2.4.1 Einleitung**

In diesem Kapitel soll die Betrachtung des Themas Verkehrsstruktur und CO<sub>2</sub> im Mittelpunkt stehen, die durch folgende These zu einem interessanten Diskussionspunkt wird. BERGMANN et. al. postulieren, dass eine Beschleunigung des Verkehrs in weitere Fahrten und Kostensenkung in häufigere Fahrten umgesetzt werden<sup>81</sup>. Diese Unterteilung soll bei der Analyse genutzt werden, wobei an dieser Stelle zuerst die Modifizierung der Beschleunigung betrachtet wird. Die Beschleunigung des Verkehrs muss dabei als Funktion von Zeit und Geschwindigkeit gesehen werden und wird vor allem durch die Verbesserung der Infrastruktur und des Straßennetzes möglich. Diesem Punkt wird im nächsten Kapitel Rechnung getragen. Auf den Einfluss einer möglichen Kostensenkung wird danach im Abschnitt 2.5 eingegangen werden.

### **2.4.2 Die Relevanz der Verkehrsinfrastruktur für Verkehrsreduzierung**

Zwischen 1960-90 fand in Deutschland eine Zunahme der Fahrzeug-Kilometer um 346% statt. Viele Autoren machen dafür die verfügbare Infrastruktur verantwortlich, die zunehmend eine schnellere Raumüberwindung ermöglicht. Die Verbesserung der Infrastruktur und des Straßennetzes scheint den Anreiz zur Nutzung dergleichen zu erhöhen und so zu einer Steigerung des Verkehrsaufkommens beizutragen.

Die Untersuchung von NEWMAN & KENWORTHY, in dieser Arbeit bereits vielfach erwähnt, kann zur Erhärtung dieser These herangezogen werden. Die Analyse erbrachte, dass der Grad der Durchsetzung von Geschwindigkeitsbeschränkungen und Verkehrsbehinderungen (z. B. Anzahl der Parkplätze in der Innenstadt) sowie die Ausrichtung der Verkehrsinfrastruktur auf andere Arten als das Auto (ÖPNV, NMIV) negativ mit dem Verkehrsenergieverbrauch korrelieren. Aber auch zur Leistung des ÖPNV ergaben sich positiv signifikante Zusammenhänge<sup>82</sup>. Alle drei Punkte bestätigen den Verdacht, dass die Ausrichtung der Verkehrsstruktur entweder zugunsten des MIV oder des ÖPNV die Nutzung desgleichen ankurbeln kann.

---

<sup>81</sup> Vgl. Bergmann et. al., 1993, S.494

<sup>82</sup> Vgl. Newman & Kenworthy, 1989, S.34 ff.

Beim infrastrukturellen Angebot wurden sowohl die Attraktivität des ÖPNV (Deckungsgrad, Fahrthäufigkeiten) als auch die Bevorzugung des MIV (z. B. Parkplatzangebot, Straßenbreite, Straßenlänge und erlaubte Höchstgeschwindigkeiten) als bedeutend befunden.

Geschwindigkeitsbegrenzungen dagegen wirken als „Raumbarrieren“. NEWMAN & KENWORTHY stellten fest, dass in Städten, die hohe Durchschnittsgeschwindigkeiten aufwiesen, ebenfalls ein höherer Benzinverbrauch pro EW registriert werden musste. Höhere erlaubte Durchschnittsgeschwindigkeiten verleiten zum häufigeren Gebrauch eines Pkw und können so zur Erhöhung des Pro-Kopf-Benzinverbrauchs beitragen<sup>83</sup>.

Aber auch der Besitz eines Pkw kann den Energieverbrauch im Verkehrssektor steigern. Dieser Zusammenhang wird nachvollziehbar, wenn man den Pkw-Besitz als Infrastrukturausstattung versteht. Durch die Ergebnisse einer Studie in England, wo London ganz im Gegensatz zu den anderen untersuchten Großstädten des Landes einen sehr hohen Pro-Kopf-Energieverbrauch im Verkehr verzeichnete, können die Aussagen zur infrastrukturellen Verfügbarkeit unterstützt werden. Der in London entscheidende Faktor sei der überdurchschnittliche Anteil an Autobesitzern und übertreffe in der Bedeutung noch die Verfügbarkeit eines guten ÖPNV-Netzes, welches sich in anderen Städten als bedeutendste Größe herausstellte<sup>84</sup>.

In Dresden dagegen stellt sich die Situation etwas anders dar. Eine Studie zum Verkehrsverhalten zeigt hier einen Zusammenhang zwischen Kfz-Fahrleistung und verfügbarer Straßenfläche, nicht aber zum Motorisierungsgrad (Anteil der Autobesitzer). Beide Größen, Pkw-Besitz und verfügbare Straßenfläche, zählen jedoch in dieser Einteilung zur infrastrukturellen Ausstattung<sup>85</sup>.

Diese Beobachtungen implizieren, dass der jeweilige Einfluss des Parameters der Verkehrsstruktur auf das Verkehrsverhalten nach Untersuchungsregion variieren kann. Verschiedene Untersuchungen, z. B. eine Analyse der Kantone von Zürich/Schweiz, zu den erklärenden Variablen des Motorisierungsgrades einer Region legen diese Vermutung nahe.

---

<sup>83</sup> Vgl. Newman & Kenworthy, 1989, S.53 f.

<sup>84</sup> Vgl. Owens, 1985, S.31 f.

<sup>85</sup> Vgl. Arlt, 1993, S 158

Bei der Betrachtung der Verkehrsinfrastruktur fällt auf, dass die weniger motorisierten, aber reicheren Kantone eine günstige Anbindung an das erste Züricher S-Bahn-System, die stärker motorisierten, jedoch ärmeren Regionen dagegen eine nahe Anbindung an das Autobahnnetz besitzen. Daraus wurde geschlussfolgert, dass die infrastrukturelle Ausstattung in dieser Region eine hinreichend erklärende Variable für den Motorisierungsgrad darstellt, der Indikator Wohlstand dem Ersteren aber nachsteht<sup>86</sup>.

Ein weiteres Beispiel spricht jedoch gegen die Bedeutung des infrastrukturellen Angebotes und damit wiederum für regionale Unterschiede in der Bedeutung der Einflussparameter. Die Studie betrachtet das Verkehrsverhalten im ÖPNV nach dem U-Bahnbau des „Zweig Spandau“ in Berlin und versucht den Einfluss des Zeitbudgets und die damit verbundene Zeit-Distanz-Empfindlichkeit zu eruieren. Das Ergebnis der Untersuchung erbrachte, dass das erhoffte Verlagerungsvermögen des MIV auf den ÖPNV durch die U-Bahn nicht erreicht werden konnte, da die Erhöhung des Aktionsradius bessere Erreichbarkeiten und mehr Gelegenheiten zur Mobilität schaffte. Nach dem Bau der U-Bahn wurden gerade mal 1% weniger MIV, aber 6% weniger Fuß- und Radverkehr gemessen. Die Steigerung von 7% im ÖPNV wurde zu 84% von ehemaligen Fuß- und Radfahrern erreicht, die vorher im Nahbereich in Spandau Besorgungen tätigten und jetzt längere Wege in gleicher Zeit zurücklegen können. Bessere infrastrukturelle Ausstattung und Erreichbarkeiten des ÖPNV führten hier nicht zum Umstieg<sup>87</sup>. Somit scheint die Bereitstellung einer guten Infrastruktur im ÖPNV von kleinerer Bedeutung als beim MIV, wahrscheinlich, weil damit unterschiedliche Geschwindigkeits- und Zeitbudgets angesprochen werden.

Viele Autoren betrachten das Thema ebenfalls unter dem Gesichtspunkt von Potentialen durch technische Erneuerungen. Der Bereich der Telematik z. B. könnte durch die Verstetigung des Verkehrsflusses und durch die Reduzierung des Parksuchverkehrs den Straßenverkehr um 10% und daraus resultierend, auch den Energieverbrauch um Einiges senken<sup>88</sup>. Allerdings wird heute davon ausgegangen, dass Personen, die diese Dienste nutzen, auch häufiger mobil sind. Verkehrssteuerung macht die optimalere Ausnutzung der Straßen berechenbarer und komfortabler.

---

<sup>86</sup> Vgl. Hüsler, 1992, S.10

<sup>87</sup> Vgl. Kutter, 1999, S.500

<sup>88</sup> Vgl. Eberlein, 1975, zitiert nach Eberlein, 1998, S.219 f.

Dadurch würden die Einsparpotentiale an anderer Stelle kompensiert oder überkompensiert werden<sup>89</sup>. So wird unter anderem von TOPP spekuliert, dass der Umstieg auf den ÖPNV erst erfolgt, wenn alle Umleitungsstrecken überfüllt sind<sup>90</sup>. Auch dieser Punkt unterstützt das vermutete positive Verhältnis zwischen der Ausstattung der Verkehrsstruktur und dem Energieverbrauch in diesem Sektor.

### **2.4.3 Zusammenfassung**

In diesem Kapitel wurde versucht, eine Aussage über das Verhältnis von Verkehrsstruktur und Verkehrsverhalten reifen zu lassen. Wie gezeigt werden konnte, ergibt sich durch vielfältige Untersuchungsergebnisse die konsensreiche Auffassung, dass eine Verbesserung der Verkehrsstruktur durch die Berührung der Zeit- und Geschwindigkeitsempfindlichkeiten zu einer Erhöhung des Verkehrsaufkommens führt. Eine schnellere Raumdurchdringung durch weniger Raumbarrieren macht entlegene Gebiete in gleicher Zeit erreichbar. Die Ausrichtung des verkehrsstrukturellen Angebots zugunsten einer Verkehrsart (NMIV, ÖPNV, MIV) steigert deren Nutzung.

Die Stärke der Wirkung einzelner Indikatoren unterscheidet sich jedoch mitunter je nach Untersuchungsregion beträchtlich, wie durch die verschiedenen Studien belegt werden konnte. Deshalb ist es von großer Bedeutung, die Gültigkeit der einzelnen Parameter für das hier gewählte Untersuchungsbeispiel Berlin zu klären.

Außerdem soll hier noch angemerkt werden, dass die Bedeutung verkehrsstruktureller Parameter ebenfalls hinsichtlich unterschiedlicher Verkehrsarten differenziert werden sollte. Durch eine Aufwertung des ÖPNV scheinen weniger Menschen mit einer Verlagerung ihrer Mobilitätsarten vom MIV auf den ÖPNV zu reagieren als umgekehrt. Die Erklärung ergibt sich daraus, dass mit dem ÖPNV in gleicher Zeit meistens geringere Distanzen zurückgelegt werden können. Deshalb ist es unwahrscheinlich, dass alleinige Maßnahmen zur Qualitätssteigerung des ÖPNV ausreichen, um eine Verlagerung des MIV anzukurbeln.

Viele der hier angesprochenen Punkte sollen in der statistischen Analyse am Beispiel Berlin überprüft werden. Zuvor wird jedoch die Aufmerksamkeit auf den dritten und letzten, hier als bedeutsam befundenen Maßnahmenkatalog zur Verkehrsreduzierung gelenkt werden.

---

<sup>89</sup> Vgl. Eberlein, 1998, S.222

<sup>90</sup> Vgl. Topp, 1998, S.169

## 2.5 Der Einfluss des Einkommens auf CO<sub>2</sub>-Emissionen

### 2.5.1 Einleitung

Wie bereits im Einleitungskapitel zur Verkehrsstruktur wiedergegeben, wird die menschliche Mobilität vor allem durch die Beschleunigung der Raumüberwindung, was im letzten Abschnitt beleuchtet wurde, und durch Kostensenkung beeinflusst. Der zweite Punkt, die Kostensenkung, soll nun anhand der Beleuchtung finanzieller Anreize Gegenstand der Betrachtung sein.

### 2.5.2 Die Relevanz finanzieller Anreize für Verkehrsreduzierung

Wieder sollen die Erörterungen mit einem Blick auf die Studie von NEWMAN & KENWORTHY beginnen. In ihrer Analyse zur Automobilabhängigkeit verschiedener Städte der Erde und Parametern der Siedlungs- und Verkehrsstruktur sowie sozioökonomischen Größen wurde auch ein Verhältnis zum Benzinpreis und zur Effizienz der Fahrzeuge (Liter Benzin/100km) erkannt. Die Analyse erbrachte eine entgegengesetzt gerichtete statistische Korrelation, die bezüglich des Benzinpreises noch stärker ist, als bei den Dichteindikatoren. Damit wird impliziert, dass finanzielle Anreize erfolgreicher als siedlungs- und verkehrsstrukturelle Einflussgrößen sein können. Es lässt sich vermuten, dass unter den jetzigen Bedingungen eines überwiegend unregulierten Verkehrsmarktes ein starker Zusammenhang zwischen Verkehrsaufwand, Kraftstoffpreis und Effizienz der Fahrzeuge besteht<sup>91</sup>.

In den von NEWMAN & KENWORTHY genannten Faktoren, fallende Benzinpreise und bessere Motoren mit höherer Effizienz, zeigt sich das von JEVON erstmals 1865 formulierte Prinzip zu Effizienzsteigerungen<sup>92</sup>. Das „JEVON Principle“ wurde postuliert, als eine Untersuchung bezüglich der Effizienz von Kohle in Großbritannien erbrachte, dass höhere Verbrennungsgrade (also höhere Effizienz) in Einsparungen von Kohle resultieren würden. JEVON dagegen sagte vorher, dass durch den Anstieg der damit verbundenen ökonomischen Rentabilität objektiv eine stärkere Nutzung resultiert. Dieses Prinzip kann auf den heutigen Transportsektor übertragen werden. Der niedrige Preis (im Gegensatz zu den wirklichen, ökologischen Kosten) und die höhere Effizienz gleichen mögliche Einsparungen aus und führen so zu einem höheren Pkw-Gebrauch.

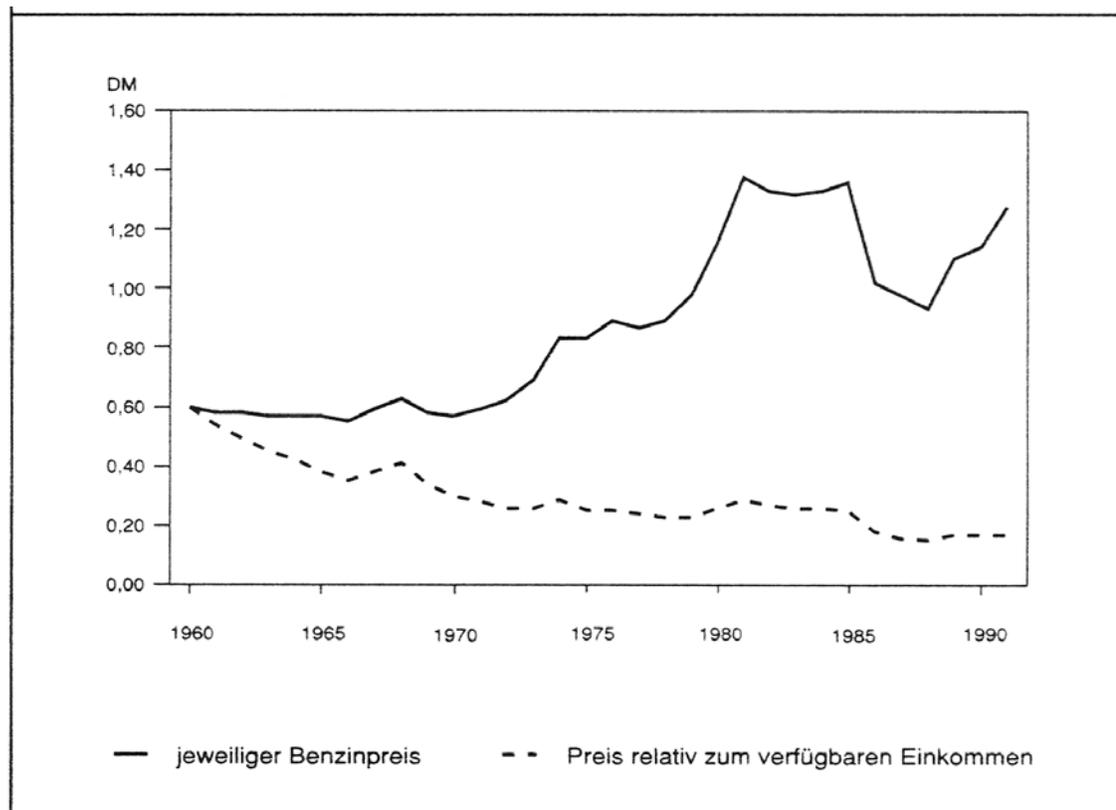
---

<sup>91</sup> Vgl Newman & Kenworthy, 1989, S.71 u. S.45

<sup>92</sup> Vgl. Samuels & Prasad, 1994, S.11

Bedenkt man, dass die im Verkehr verbrachte Zeit eines durchschnittlichen Verkehrsteilnehmers seit vielen Jahren konstant etwas mehr als eine Stunde pro Tag beträgt<sup>93</sup> und die Fahrzeug-Kilometer in Deutschland zwischen 1960-90 um 346% zunahm<sup>94</sup>, ist es sinnvoll und zur Bestätigung der Gültigkeit des „JEVON Principle“ im Verkehrssektor notwendig, die tatsächlichen Kraftstoffpreise dem Preis relativ zum verfügbaren Einkommen gegenüberzustellen. In Abbildung 9 ist dies einzusehen.

**Abbildung 9: Entwicklung der Kraftstoffpreise  
(absolut und relativ zum verfügbaren Einkommen 1960 bis 1990)**



Quelle: Bergmann, Eckhard, et. al.: Raumstruktur und CO<sub>2</sub>-Vermeidung, (IzR), 8/1993, S.497

Die Graphik zeigt, dass die Benzinpreise relativ zum verfügbaren Einkommen stets gesunken sind, obwohl sie objektiv anstiegen. Menschen müssen also immer kleinere Anteile ihres finanziellen Budgets investieren, um das gleiche Maß an Mobilität aufrechtzuerhalten.

<sup>93</sup> vielfach zitiert, u.a. bei Schäfer, 1999, auch bezeichnet als Hypothese des „konstanten Reisezeitbudgets“

<sup>94</sup> Vgl. Bergmann et. al., 1993, S.499

Diese Beziehungen wurden ebenfalls umfassend durch SCHÄFER & VICTOR simuliert. Die von ihnen aufgestellte Theorie geht zum Einen von einem konstanten Zeitbudget für Mobilitätszwecke von etwa 1.1 Stunden pro Tag<sup>95</sup> und zum Anderen von einem je nach Entwicklungsstufe der Gesellschaft konstantem Geldbudget für Verkehrszwecke aus. Diese als Voraussetzungen eingebrachten Annahmen gehen auf eine Theorie von ZAHAVI im Jahre 1979 zurück<sup>96</sup>, konnten jedoch an empirischen Daten durch SCHÄFER & VICTOR bestätigt werden. So beträgt das Geldbudget für Verkehrszwecke, gemessen am Bruttoinlandsprodukt, in den Industrieländern 10-15% der Gesamtausgaben und stellt damit den größten Anteil in allen gesellschaftlichen Entwicklungsstufen dar. Da Kennzahlen zu den Ausgaben schwer zu erfassen sind, haben die Autoren Berechnungen auf der Grundlage des Einkommens durchgeführt und postuliert, dass damit eine direkte Beziehung zu den Ausgaben widerspiegelt wird.

Da in unterschiedlich entwickelten Ländern verschieden große Beträge an finanziellen Mitteln für Verkehrszwecke eingesetzt werden können, ergibt sich eine Verbindung zur Nutzungsmöglichkeit billiger oder teurer und damit langsamer oder schneller Mobilitätsformen. Einwohner hochentwickelter Staaten können durch die bessere finanzielle Stellung schnelle Verkehrsmittel nutzen. Menschen in schwach entwickelten Ländern dagegen sind aus Geldmangel häufiger mit Bus oder per Fuß unterwegs und können im vorgegebenen Zeitrahmen weniger Distanzen zurücklegen. Gegenüberstellungen von Daten verschiedener Länder, auch historisch belegt, lassen auf einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Einkommen und Mobilität mit annähernd gleichen Wachstumsraten schließen.

In weiteren Berechnungen konnte dann bewiesen werden, dass sich höhere Mobilität in vorgegebener Zeit, durch schnellere Verkehrsmittel erzeugt, in längeren Wegen, gesteigerter Verkehrsenergie und höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen niederschlägt. Dadurch haben SCHÄFER & VICTOR einen Zusammenhang zwischen verfügbarem Einkommen und CO<sub>2</sub>-Ausstößen im Verkehrssektor eindeutig nachgewiesen<sup>97</sup>.

---

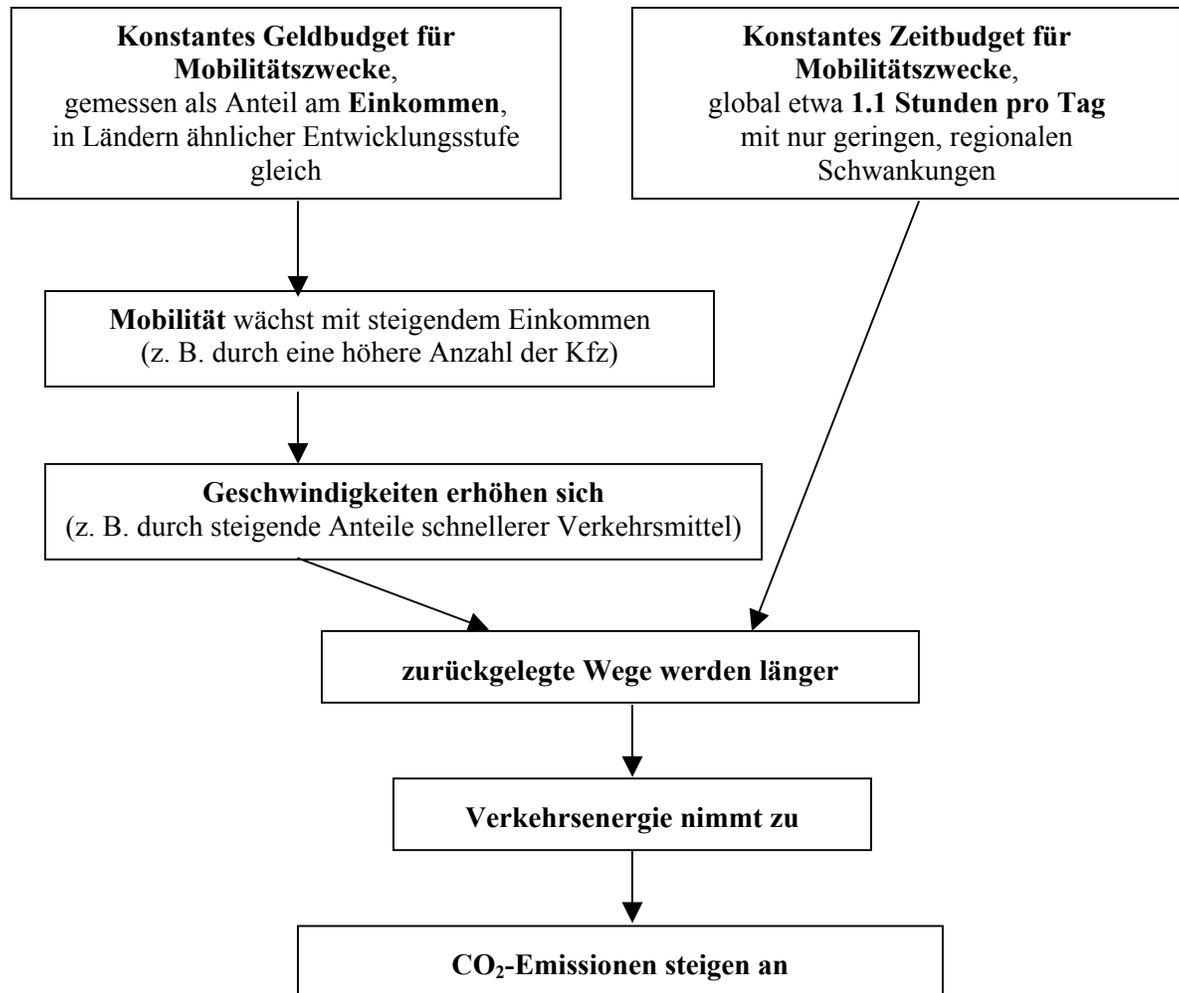
<sup>95</sup> Das Zeitbudget wird auch hier global als konstant angenommen. Es wird jedoch bemerkt, dass geringfügige, regionale Unterschiede etwa zwischen Stadt und Land auftreten können. Außerdem ergeben sich leicht erhöhte Werte für die Bevölkerung besonders armer Regionen oder Länder.

<sup>96</sup> Vgl. Zahavi, 1981, nach Schäfer, 1999, S.659

<sup>97</sup> Vgl. Schäfer, 1999, S.659 ff.; siehe auch Schäfer & Victor, 2000

Die beschriebenen Beziehungen sind im folgenden Flussdiagramm verdeutlicht.

**Abbildung 10: Flussdiagramm zur Studie von SCHÄFER & VICTOR  
(eigener Entwurf)**



Aus dieser Studie könnte ebenfalls die Vermutung hervorgehen, dass Wohlstand über einen damit verbundenen sozialen Status Ausprägungen zeigt. In Bekräftigung dieses Verdachts sei eine Untersuchung im nördlichen Carolina/USA von LUTZENHISER genannt. Die Ergebnisse zeigen, dass zwischen verschiedenen sozialen Gruppen und Ethnien große Unterschiede im Energieverbrauch, der Müllproduktion und den CO<sub>2</sub>-Emissionen bestehen. Aus der Studie ging hervor, dass sozialer Status und über das Einkommen gemessener Wohlstand die bedeutendsten Einflussgrößen darstellen, die dann Lebensstile, die Ausstattung des Haushalt und Hausbautypen bedingen<sup>98</sup>.

<sup>98</sup>Vgl. Lutzenhiser, 1997, S.79 f.

Zur Wirksamkeit des Parameters Preis, als komplementärer Faktor zum Einkommen, soll noch auf eine Studie in Singapur eingegangen werden. Für die Fahrten ins Stadtzentrum wurde dort von 7.30-10.15 Uhr und von 16.30-18.30 Uhr eine Gebühr erhoben, falls die Fahrzeuge nicht mehrfach besetzt waren. Die Auswirkungen bezifferten sich allein durch die Nachmittagsgebühr auf eine Reduzierung von 46%<sup>99</sup>.

Dass die Wirksamkeit finanzieller Anreize mitunter auch überschätzt werden kann, zeigt die bereits zitierte Studie in der Schweiz. Bei der Verkehrsinfrastruktur verschiedener Kantone fiel auf, dass die reicheren, aber weniger motorisierten Kantone eine günstige Anbindung an das erste Züricher S-Bahn-System, die ärmeren, jedoch stärker motorisierten Regionen dagegen eine nahe Anbindung an das Autobahnnetz besitzen. Daraus muss geschlussfolgert werden, dass finanzielle Einflüsse nicht immer die stärksten Reduzierungspotentiale aufweisen, sondern auch durch eine gute Infrastruktur günstige Gelegenheiten produziert und genutzt werden können<sup>100</sup>.

Kritiker gehen ebenfalls davon aus, dass ein Anheben der Benzinpreise nicht immer gleichzeitig zu einem verminderten Gebrauch des persönlichen Kfz führen müsse, da angenommen wird, dass Menschen in diesem Fall erst bei anderen Ausgaben sparen<sup>101</sup>. Eine sofortige Veränderung im Verhalten ist laut einigen Autoren erst ab einem Benzinpreis von etwa 5 DM je Liter (entspricht ungefähr 2,5 Euro je Liter) zu erwarten. Mit solchen Kosten sei aber wegen der potentiellen Gefährdung des Wirtschaftsstandorts Deutschland kaum zu rechnen<sup>102</sup>. Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) errechnete mögliche Einsparungen an Energie bei drastischen Preissteigerungen und kam zu dem Ergebnis, dass die Kosten der Wirtschaft jedoch mit einer Mehrbelastung von 0.5% gering wären. Die Kalkulationen wurden unter der Annahme durchgeführt, dass sich der Güterverkehr wahrscheinlich auf andere Verkehrsmittel verlagern würde. Demzufolge wären Verringerungen der Fahrzeugkilometer um 20% denkbar, wenn der Benzinpreis auf 2,5 DM (5 Euro) und der Dieselpreis auf 2,80 DM (5,45 Euro) je Liter erhöht werden würden<sup>103</sup>.

---

<sup>99</sup> Vgl. Eberlein, 1998, S.222 f.

<sup>100</sup> Vgl. Hüsler, 1992, S.10

<sup>101</sup> Vgl. Newman & Kenworthy, 1989, S.70 f.

<sup>102</sup> Vgl. Bergmann et. al., 1993, S.558

<sup>103</sup> Vgl. Kuhfeld et.al, 1996, nach Eberlein, 1998, S.229

Andere Modellsimulationen zeigen ebenfalls, dass eine Verteuerung des Benzins weder zu großen Opfern bezüglich der Mobilität, noch zu einer Verstärkung sozialer Disparitäten führen würde, wenn jedoch gleichzeitig der ÖPNV aufgewertet wird<sup>104</sup>. WEGENER errechnete in Modellsimulationen am Beispiel der Stadt Dortmund, dass damit 30% der Wege auf den ÖPNV umgelegt werden können. Außerdem muss noch angeführt werden, dass aus seinen Ergebnissen ebenfalls hervorgeht, was wiederum viele Autoren eingehend betonen: eine Kombination mehrerer hier vorgestellter Faktoren verspricht größtmögliche Einsparungen<sup>105</sup>.

### **2.5.3 Zusammenfassung**

Im vorigen Kapitel konnte anhand der betrachteten Untersuchungen gezeigt werden, dass in der Verfügbarkeit von billiger Verkehrsenergie, vor allem von billigem Kraftstoff, eine sehr bedeutende Ursache für hohen Verbrauch dergleichen gesehen wird. Damit wird deutlich, dass finanzielle Parameter in der Diskussion um städtische CO<sub>2</sub>-Emissionen eine herausragende, wenn nicht die bedeutendste Rolle spielen und man sich von der Verteuerung der Mobilitätskosten enorme Erfolge verspricht.

In der Studie von SCHÄFER konnte dann eindeutig nachgewiesen werden, dass diese Beziehung eine Relation zum verfügbaren Einkommen aufweist. Durch Auswertung empirischer historischer Daten konnte gezeigt werden, dass Menschen in Ländern gleicher Entwicklungsstufe einen konstanten, gleichen Anteil ihres Einkommens in Mobilität investieren. Auch dadurch ist es nachzuvollziehen, dass Preissteigerungen im Verkehrssektor zur Veränderung des Verkehrsverhaltens führen, allerdings erst, wenn durch diese Anhebung die Obergrenze des Verkehrsbudgets berührt wird. Es kann ebenfalls vermutet werden, dass einkommensstärkere Bevölkerungsschichten durch einen höheren absoluten Betrag für Verkehrsausgaben öfter mobil sind, mehr Verkehrsenergie verbrauchen und dadurch höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen erzeugen.

Allerdings wird auch hier von den meisten Autoren wieder hervorgehoben, dass durch die Kombination einzelner Parameter, etwa verkehrsstruktureller und finanzieller Größen, noch größere Einsparungen an Verkehrsenergie und demzufolge an CO<sub>2</sub> denkbar wären.

---

<sup>104</sup> Vgl. Wegener, 1999, S.47

<sup>105</sup> Vgl. Wegener, 1999, S.38

## 2.6 Zusammenfassung der theoretischen Grundlagen

Nachdem einleitend der Treibhauseffekt erläutert und die Rolle des CO<sub>2</sub> in der weltweiten Klimadiskussion beschrieben wurde, kam man zu dem Ergebnis, dass der Verkehrssektor in Agglomerationen ein großes Problem darstellt, weil dieser Bereich in Deutschland der einzige ist, der in den CO<sub>2</sub>-Bilanzen nach wie vor positive Wachstumsraten verzeichnet.

Im folgenden Abschnitt wurde dann aufgezeigt, dass dafür hauptsächlich die Wirtschafts- und Lebensweisen unserer Gesellschaft verantwortlich sind, die veränderte Siedlungs- und Raumstrukturen zulassen und deshalb mit Veränderungen der Verkehrsstruktur einhergehen.

Anschließend wurde versucht, die derzeit wissenschaftliche Meinung zum Thema anthropogene CO<sub>2</sub>-Emissionen und städtisches Verkehrsverhalten darzustellen. Dazu wurden sowohl die Dichte, Mischung und Polyzentralität als siedlungsstrukturelle Einflussgrößen, die infrastrukturelle Ausstattung als verkehrsstrukturelle Parameter und finanzielle Anreize beleuchtet. So kann an dieser Stelle ein erstes Resümee gezogen werden: Sind nun siedlungsstrukturelle, verkehrsstrukturelle oder finanzielle Maßnahmen effizienter, wenn es um die Reduzierung von CO<sub>2</sub> im Straßenverkehr geht?

Die meisten in dieser Erörterung aufgeführten Sachverhalte deuten darauf hin, dass finanzielle Maßnahmen wirkungsvoller zu einer Reduzierung von Transportenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor beitragen als verkehrsstrukturelle, und diese wiederum wirkungsvoller sind als siedlungsstrukturelle Einflussgrößen.

Die Prinzipien der nachhaltigen Stadtentwicklung mit Dichte, Mischung und Polyzentralität seien sogar nur erfolgreich, wenn sie kombiniert und gleichzeitig mit anderen, etwa finanziellen Instrumenten oder mit politischen Beschränkungen eingesetzt werden. Es wird davon ausgegangen, dass ohne eine Kombination von der Siedlungsstruktur nur ein geringer Beitrag zur Reduzierung des Aufwands im Personen- und Wirtschaftsverkehr geleistet werden kann<sup>106</sup>.

---

<sup>106</sup> Vgl. Würdemann, 1998, S.357

Auf der Ebene verkehrsstruktureller Instrumente werden Konsumentenentscheidungen vor allem von Größen beeinflusst, die als abhängige Parameter von der Geschwindigkeit der Raumüberwindung und dazu investierter Zeit fungieren. Die Verfügbarkeit von z. B. guter Straßeninfrastruktur und qualitativ hochwertigem ÖPNV sind somit als bedeutende Parameter anzusehen, da sie die monetären und zeitlichen Kosten für die Raumdurchdringung reduzieren. Anhand dieser Beziehung erklärt sich ebenfalls, warum die Verfügbarkeit von guter Straßeninfrastruktur stärker genutzt wird, als ein gleichzeitig gutes Angebot an ÖPNV. Oftmals sind die zurückgelegten Wege mit dem Pkw größer als die Distanzen, die mit dem ÖPNV in gleicher Zeit zurückgelegt werden können.

Die Parameter der finanziellen Größen werden heute als sehr bedeutend, wenn nicht als die bedeutendsten Parameter zur CO<sub>2</sub>-Minderung des städtischen Verkehrs angesehen. Besonders das für Ausgaben zur Verfügung stehende Einkommen scheint dabei für die Mobilität eines Menschen entscheidend zu sein, denn vom Einkommen leitet sich ein konstanter Prozentanteil für Mobilitätsw Zwecke ab. Das bedeutet ebenfalls, dass durch die Berührung dieser Obergrenze, z. B. infolge von Preiserhöhungen, Änderungen im Mobilitätsverhalten abzusehen sind.

Die Wirksamkeit des Parameters Preis, als Funktion zum Einkommen, wird auch bei der überwiegenden Anzahl der Untersuchungen als sehr hoch eingeschätzt. Es wird deshalb gefordert, dass die jeweils angestrebten Leitbilder und Prinzipien zur Durchsetzung nachhaltiger und verkehrsärmerer Stadtstrukturen mit preislichen Anreizen kombiniert werden sollten. Die meisten Autoren sehen einen Mix der hier diskutierten Reduzierungsmaßnahmen als am effizientesten an.

Dennoch sollte bedacht werden, dass die stärksten Indikatoren, Einflussgrößen, Parameter und erfolgversprechendsten Maßnahmen je nach Untersuchungsregion mitunter sogar stark variieren können, auch, wenn in diesem Abschnitt die generellen Trends zur wissenschaftlichen Meinung und die mehrheitlichen Auffassungen zusammenfassend wiedergegeben wurden.

So wird es unabdingbar und spannend, die als relevant befundenen Größen jetzt anhand der konkreten Beispielregion Berlin zu überprüfen. Ehe die Gültigkeit einzelner Indikatoren für diesen Raum behauptet werden kann, müssen diese einer statistischen Analyse unterzogen werden. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt im kommenden Abschnitt.

## **3 Statistische Analyse**

### **3.1 Einleitung**

Bevor mit der eigentlichen Auswertung der Analyse begonnen wird, sollen in den anschließenden Unterkapiteln die zeitliche und räumliche Einpassung des Datenmaterials sowie die Analysemethoden beschrieben werden. Nach diesen allgemeinen Hinweisen zur Auswertung werden die Hypothesen zum Einfluss der gewählten Parameter einzeln vorgestellt und nacheinander statistisch untersucht.

### **3.2 Räumlicher und zeitlicher Rahmen der Datenauswahl**

Das Ziel der Untersuchung ist es, die Stärke der Einflüsse verschiedener Parameter der Siedlungsstruktur, der Verkehrsstruktur und des Einkommens auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs zu eruieren und ihre Gewichtung gegeneinander abzuschätzen.

Derart detailliertes Datenmaterial existiert oft nur für größere Städte, was zu einer gewissen Einschränkung in der Auswahlmöglichkeit des Untersuchungsraumes führt. Aus diesem Grund und dem Vorteil der physischen Nähe wurde die Stadt Berlin (Deutschland) als räumliches Untersuchungsbeispiel ausgewählt.

Zur Auswertung gelangen statistische Kennzahlen, die allerdings nicht nur für das gesamte Stadtgebiet, sondern auch auf Stadtbezirksebene erhoben wurden. Das gilt ebenfalls für die CO<sub>2</sub>-Bilanzen. Wie an früherer Stelle bereits beschrieben wurde, bezieht man sich in dieser Ausarbeitung auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr, die auf Grundlage einer Verkehrszählung des de-facto-Verkehrs (ortsanwesender Verkehr) im Berliner Hauptverkehrsstraßennetz berechnet wurden. Mit dieser räumlichen Ausprägung kann die Untersuchung auf je 23 Wertepaare unterschiedlichster Merkmale zurückgreifen.

Der Vergleich dieses Datenmaterials bringt gewisse Vorteile, da Unsicherheiten hinsichtlich der Vergleichbarkeit verschiedener Städte ausgeschlossen werden können. Diese Unsicherheiten könnten sich aus den variierenden Lebensstandards, physisch-geografischen Gegebenheiten und politischen Rahmenbedingungen ergeben.

Die Entscheidung, eine Untersuchung in dieser Art und Weise vorzunehmen, gab ebenfalls den zeitlichen Rahmen vor. Die CO<sub>2</sub>-Bilanz auf Stadtbezirksebene wurde einmalig für das Basisjahr 1995 erstellt. Aus diesem Grunde gehen die Daten jenes Jahres in die Analyse ein.

Lediglich bei einer Hypothese musste man auf eine differenzierte Art der Analyse zurückgreifen. Es betrifft den Parameter der Polyzentralität von Siedlungsstrukturen. Schwierigkeiten in der Operationalisierung ließen hier nur einen Vergleich unterschiedlicher Städte zu. Auf die Vorgehensweise in diesem besonderen Falle wird an entsprechender Stelle noch eingegangen werden.

Der größte Teil der Untersuchung erfolgt aber anhand einer Querschnittsanalyse der 23 Stadtbezirke von Berlin im Jahre 1995. Bevor die Auswertung des Datenmaterials und daraus resultierende Schlussfolgerungen erläutert werden, erfolgt eine Beschreibung der angewendeten Korrelations- und Regressionsanalysen.

### **3.3 Charakterisierung der Analysearten**

#### **3.3.1 Korrelation**

Die Korrelationsanalyse ist ein statistisches Instrument, um die Beziehungen zwischen zwei Merkmalen zu untersuchen, in denen die Richtung des Zusammenhangs nicht bekannt ist oder eine eindeutige Richtung nicht vermutet werden kann. Die Korrelationsanalyse liefert demnach Ergebnisse dafür, ob ein Zusammenhang zwischen Variablen überhaupt gegeben ist und mit welcher Sicherheit die Richtigkeit dieser Aussage vermutet werden kann<sup>107</sup>.

Üblicherweise wird zur Beschreibung der Beziehungen derartiger Variablen der Pearson-Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient verwendet, der auch in dieser Untersuchung Anwendung findet. Der Koeffizient beschreibt den Grad und die Richtung einer linear unterstellten Beziehung zweier mindestens intervallskalierter Variablen und kann Werte zwischen -1 und 1 annehmen. Das Vorzeichen des Koeffizienten gibt die Richtung und der Absolutwert die Stärke des Zusammenhangs an. Je nach Stärke des Einflusses, wobei größere Absolutwerte auf stärkere Zusammenhänge hindeuten, kann eine Unterscheidung zwischen nicht signifikanter, signifikanter, sehr signifikanter und höchst signifikanter Korrelation getroffen werden. Diese Einteilung basiert auf der Annahme, bei welcher Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  man sich entschließt, die Nullhypothese zu verwerfen und die Alternativhypothese anzunehmen.

---

<sup>107</sup> Vgl. Backhaus, 2000, S.2

Im Grunde ist dies jedem selbst überlassen, üblicherweise verwendet man aber die Einteilung, wie sie Tabelle 4 wiedergibt.

<b>Tabelle 4: Signifikanzniveaus</b>	
<b>Irrtumswahrscheinlichkeit</b>	<b>Bedeutung</b>
$p > 0,05$	nicht signifikant
$p \leq 0,05$	signifikant
$p \leq 0,01$	sehr signifikant
$p \leq 0,001$	höchst signifikant

Quelle: Bühl, Achim; Zöfel, Peter: SPSS für Windows, Version 7.5; 1998; Bonn, S.97

In dieser Betrachtung wird die Korrelationsanalyse als erstes Untersuchungsinstrument eingesetzt. Durch das Aufzeigen der signifikanten Zusammenhänge zwischen den Variablen ergibt sich der weitere Analyseweg. Nur mindestens signifikante Zusammenhänge werden in die dann folgende Regressionsanalyse eingeschlossen. Auch diese Art der statistischen Analyse soll kurz vorgestellt werden.

### **3.3.2 Regression**

Die Regressionsanalyse bildet eines der flexibelsten und am häufigsten eingesetzten Analyseverfahren. Sie dient der Untersuchung von Beziehungen zwischen einer abhängigen und einer oder mehreren unabhängigen Variablen. Dabei wird davon ausgegangen, dass zwischen diesen Variablen ein funktionaler Zusammenhang existiert und die unabhängigen Größen das Verhalten der abhängigen zu erklären vermögen. Die Regressionsanalyse unterstellt eine eindeutige Richtung des Zusammenhangs unter den Variablen, die nicht umkehrbar ist.

Damit geht die Regressionsanalyse über die Aussagekraft der Korrelationsanalyse hinaus und soll nicht nur über die Stärke, sondern die Form des Zusammenhangs zwischen den unterschiedlichen Merkmalen Auskunft geben. Sie wird eingesetzt, um Zusammenhänge zu erkennen und zu erklären, sowie, um Werte der abhängigen Variablen zu schätzen und zu prognostizieren<sup>108</sup>. In dieser Analyse wird lediglich die multiple lineare Regression zur Anwendung kommen, da das Ziel verfolgt wird, die Parameter mit dem untereinander stärksten Erklärungswert zu finden, und nicht, wie bei der einfachen Regression, die Stärke eines jeden Indikators unabhängig von anderen externen Faktoren auszumachen.

<sup>108</sup> Vgl. Backhaus, 2000, S.2 f.

Dies geht jedoch auf Kosten der Anschaulichkeit, da multiple Zusammenhänge nicht mehr grafisch darstellbar sind. Der lineare Zusammenhang zwischen der abhängigen Variable und den unabhängigen Merkmalen wird dabei zuerst unterstellt, bedarf in der weiteren Analyse jedoch einer genaueren Prüfung.

Die Regressionsanalyse befasst sich mit dem Auffinden und Schätzen eines Zusammenhangs zwischen Regressor(en) (unabhängige Parameter) und Regressant (abhängige Größe). Dies beinhaltet die Berechnung einer linearen Beziehung aus den empirischen Werten und die Beschreibung dieser durch geeignete Zahlenwerte für die Regressionskoeffizienten. Die lineare (Näherungs-)Funktion kann nach folgender Form aufgestellt werden:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_jX_j + B_jX_j$$

mit:  $Y$  – Regressant (zu schätzende Funktion)

$b_0$  – konstantes Glied

$b_j$  – Regressionskoeffizient des  $j$ -ten Regressors und

$X_j$  –  $j$ -ter Regressor<sup>109</sup>

Die Näherungsfunktion wird daher so durch die Punktwolke der vorhandenen Stichprobenwerte gelegt, dass die Streuung der Stichprobenwerte um die Gerade möglichst gering ausfällt.

Nach der Formulierung des Modells, was durch die Aufstellung einer jeden Hypothese und deren Operationalisierung erfolgen wird, geht man bei der Regressionsanalyse üblicherweise in folgenden Schritten vor:

- a) hier erfolgt die Abschätzung der Regressionsfunktion,
- b) beinhaltet die „globale“ Prüfung der Regressionsfunktion, d.h., wie gut die abhängige Variable durch das gesamte Regressionsmodell erklärt wird,
- c) beschäftigt sich mit der Prüfung der Regressionskoeffizienten bzw. inwieweit die einzelnen unabhängigen Größen zur Erklärung der abhängigen Variable beitragen können und
- d) schließt mit der grafischen Prüfung auf Linearität ab<sup>110</sup>.

---

<sup>109</sup> Vgl. Hackl, 1994, S.349

<sup>110</sup> Vgl. Backhaus, 2000, S.19

Zur statistischen Auswertung wird das Programm SPSS für Windows (Version 10.0) genutzt, bei dem man in der multiplen Regression zwischen vier Analysemethoden wählen kann. Dabei werden die schrittweise Methode, die Ausschluss-, die Vorwärts- und die Rückwärtsmethode unterschieden.

Die schrittweise Methode wird am häufigsten verwendet, weil es möglich ist, Merkmale sowohl nach bestimmten Aufnahmekriterien in die Regressionsfunktion einzeln als auch nach bestimmten Ausschlusskriterien aus dieser auszuschließen. Sie wird deshalb dort angewendet, wo ein Zusammenhang zwischen den Variablen nicht vorhergesagt werden kann. Die Anwendung dieser Methode erscheint besonders reizvoll, da dem Computer überlassen werden kann, welche Variablen als einflussreich erachtet werden und welche nicht. Es besteht hier aber die Gefahr, dass sachlogische Überlegungen aufgrund des Vertrauens in das Computerprogramm in den Hintergrund treten. Der Computer kann jedoch nicht prüfen, ob oder inwieweit ein Modell auch inhaltlich sinnvoll ist<sup>111</sup>.

In der hier vorgenommenen Analyse wird durch die Voranstellung der Korrelationsvor die Regressionsanalyse allerdings das Aufnahmekriterium festgelegt, so dass von bestimmten, eindeutigen, wahren Zusammenhängen ausgegangen werden kann. Deshalb wurde in dieser Arbeit die Rückwärtsmethode gewählt, die nur ein Ausschlusskriterium zu Grunde legt und deshalb überprüft, welche Parameter in der Gleichung verbleiben sollen. Die Vorgehensweise ist folgendermaßen:

Zuerst werden alle vorgegebenen, unabhängigen Variablen in die Regressionsanalyse eingeschlossen und danach schrittweise diejenigen ausgeschlossen, die den größten Wahrscheinlichkeitswert von  $F^{112}$  überhalb des Ausschlusskriteriums (hier  $\geq 0,1$ ) besitzen<sup>113</sup>. Dieser Vorgang wiederholt sich, bis keine Variable mehr ausgesondert wird und alle Parameter als Indikatoren in der Regressionsgleichung verbleiben.

Nach diesen allgemeinen Erläuterungen folgt im Anschluss die Auswertung der Ergebnisse. Der Aufbau erfolgt analog zum Theorieteil, so dass siedlungsstrukturelle, verkehrsstrukturelle und finanzielle Parameter nacheinander betrachtet werden. Daran anschließend werden alle bedeutenden Variablen einer gemeinsamen Analyse unterzogen, die zum Ziel hat, den stärksten Indikator abzuschätzen.

---

<sup>111</sup> Vgl. Backhaus, 2000, S.55

<sup>112</sup> F-Signifikanzwert: Vgl. SPSS 10.0 – Direkthilfe: Der F-Wert entscheidet, ob das geschätzte Modell auch über die Grundgesamtheit hinaus Gültigkeit besitzt und ist somit als globale Prüfung der Regressionsfunktion zu betrachten. Bei Gültigkeit der Nullhypothese ist zu erwarten, dass der F-Wert Null ist. Weicht er dagegen besonders stark von Null ab, so ist es unwahrscheinlich, dass die Nullhypothese richtig ist.

<sup>113</sup> Vgl. Backhaus, 2000, S. 64

## 3.4 Analyse der Siedlungsstruktur

### 3.4.1 Einleitung

Wie bereits im Theorieteil aufgezeigt wurde, kann in der deskriptiven Literatur als auch in anderen Untersuchungen die Siedlungsstruktur als ein wesentlicher Parameter der CO<sub>2</sub>-Emissionen eruiert werden. Dabei sind im Aufbau der Städte besonders die als verkehrsvermeidend eingeschätzten Parameter als wichtig befunden worden. Die Annahme basiert darauf, dass jetzt noch nötige Wege später eingespart werden können, wenn Stadtstrukturen die Notwendigkeit zur Verkehrsteilnahme reduzieren. Diesen Effekt verspricht man sich im Berufsverkehr besonders von höherer Siedlungsdichte, Mischung von Flächennutzungen und städtischer Polyzentralität, welche damit die Unterteilung der weitergehenden Analyse vorgeben. Es lassen sich folgende Hypothesen aufstellen:

### 3.4.2 Hypothese 1: Je höher die Siedlungs- und Arbeitsplatzdichte einer Stadt, desto niedriger ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoß ihrer Einwohner im Straßenverkehr.

#### 3.4.2.1 Operationalisierung

Hypothese 1 befasst sich mit dem Einfluss verschiedener Dichte-Parameter, welcher zuerst von NEWMAN & KENWORTHY zu Beginn der achtziger Jahre postuliert wurde. Dieser Zusammenhang soll hier hinterfragt und anhand verschiedener Variablen geprüft werden, die aufgrund der Literatur als potentiell einflussreich gelten. Es wurden folgende Untersuchungsvariablen als mögliche Indikatoren für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Straßenverkehr ausgewählt:

- *Einwohnerdichte*<sup>114</sup>, definiert als EW/ha Gesamtfläche,
- *Siedlungsdichte*, definiert als EW je ha besiedelte Fläche<sup>115</sup>; diese Größe wurde in Anlehnung an die Studie von NEWMAN & KENWORTHY aufgegriffen,
- *Arbeitsplatzdichte*, definiert als Arbeitsplätze je EW und je ha; auch dieses Merkmal wurde bei NEWMAN & KENWORTHY untersucht,
- *Industriearbeitsplatzdichte*, definiert als Industriearbeitsplätze je EW und je ha,
- *Bebaute Gesamtfläche*, definiert die Prozent-Anteile der Siedlungsfläche an der Gesamtfläche des Stadtbezirks.

---

<sup>114</sup> In den weiteren Erörterungen werden alle Größen und Parameter kursiv gekennzeichnet, die als Variablen in die statistische Analyse einbezogen wurden.

<sup>115</sup> Als besiedelte Fläche zählt hier Siedlungs- und Verkehrsfläche.

Die aufgeführten potentiellen Indikatoren werden einer Korrelations- und dann einer Regressionsanalyse unterzogen, welche in den folgenden Kapiteln geschildert werden.

### 3.4.2.2 Analyse

#### 3.4.2.2.1 Korrelationsanalyse

Zuerst sollen die Parameter durch eine Korrelationsprüfung untersucht werden, die Aufschluss über Zusammenhänge zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs gibt und deren Richtung aufdeckt. Dazu wurden alle unter 3.4.1.1 genannten Parameter mit einbezogen.

Die Ergebnisse dieser Analyse können der folgenden Tabelle entnommen werden.

<b>Tabelle 5: Korrelationsanalyse mit Parametern der Dichte</b>		
Parameter	Korrelations-Koeffizienten	Irrtumswahrscheinlichkeit (Angabe, wenn $p \leq 0,05$ ), Aussage signifikant
Einwohnerdichte	-0,368	-
Siedlungsdichte	-0,222	-
Arbeitsplatzdichte je ha	0,093	-
Arbeitsplatzdichte je EW	0,465	0,025
Industriearbeitsplatzdichte je ha	0,051	-
Industriearbeitsplatzdichte je EW	0,438	0,037
Bebaute Gesamtfläche	-0,417	0,048

Es wird deutlich, dass nicht zwischen allen Dichte-Parametern und den Straßenverkehrs-CO<sub>2</sub>-Emissionen ein ausreichend signifikanter Zusammenhang besteht. Lediglich drei der sieben untersuchten Merkmale weisen signifikante Beziehungen zu der abhängigen Variablen auf. Diese sind *Arbeitsplatzdichte je EW*, *Industriearbeitsplatzdichte je EW* und *bebaute Gesamtfläche in %*.

Keine der hier einfließenden Merkmale besitzt ein sehr signifikantes oder höchst signifikantes Verhältnis zur Größe des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im Straßenverkehr. Das ist ein erstes Indiz für einen schwachen Einfluss der in diesem Falle untersuchten Dichte-Parameter auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Straßenverkehr.

Bemerkenswert ist, dass die *Siedlungsdichte*, die sich auf EW bezieht, kein signifikantes Verhältnis zu der abhängigen Größe eingeht, im Gegensatz zur vertretenen Meinung von NEWMAN & KENWORTHY. Dahingegen besitzt die *bebaute Gesamtfläche*, als Prozentgröße an der Gesamtfläche des Stadtbezirks, einen signifikanten Einfluss.

Auffällig ist außerdem, dass der vermutete negative Einfluss der Dichte-Parameter nicht für die Arbeitsplatzindikatoren aufrecht erhalten werden kann. Diese korrelieren ganz im Gegenteil zur theoretischen Meinung positiv mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr.

Diese Beobachtungen müssen weiter untersucht und durch eine Regressionsanalyse untermauert oder falsifiziert werden.

#### 3.4.2.2.2 Regressionsanalyse

In dem anschließenden Analyseschritt werden nur die Größen einbezogen, die bereits in der zuvor durchgeführten Korrelationsanalyse wenigstens einen signifikanten Zusammenhang aufwiesen.

Wie bereits in der allgemeinen Erläuterung zur statistischen Methode angeführt, wird hier die Rückwärtsmethode zur Abschätzung der Regressionsfunktion gewählt, weil es von vorrangigem Interesse ist, Parameter mit zu schwachem Einfluss auszuschließen.

Um jedoch mit der Regressionsanalyse beginnen zu können, muss die Linearität zwischen der abhängigen und jeder unabhängigen Variablen unterstellt werden. Diese sollte zuvor anhand eines Streudiagramms zwischen der abhängigen und jeder unabhängigen Größe optisch ungefähr abgesichert werden, was hier geschehen ist. Die dazu erstellten Diagramme können im Anhang nachgeschlagen werden. Bei allen drei untersuchten Parametern zeigt der grafische Test, dass eine annähernde Linearität der Datensätze vermutet werden kann. Damit ist das Einsetzen des Instruments der linearen multiplen Regression gerechtfertigt. Die genaue statistische Prüfung auf Linearität erfolgt als Prüfung am Ende der Regressionsanalyse.

a) *Schätzung der Regressionsfunktion*

Nachdem die Vorüberlegungen und Tests zur Rechtfertigung der anzuwendenden Methode führten, wurde mit dem beschriebenen Instrument die Regressionsfunktion abgeschätzt. Die Ergebnisse können in Tabelle 6 eingelesen werden.

<b>Tabelle 6: Regressionsanalyse mit Parametern der Dichte</b>				
	Gültige Fälle	Regressionskoeffizient B, nicht standardisiert	Ordinatenabschnitt	Regressionskoeffizient Beta, standardisiert
Konstante			1,177	
Arbeitsplätze je EW (AP)	23	0,390		0,448
Industriearbeitsplätze je EW	23			
Bebaute Gesamtfläche (BG)	23	-0,00859		-0,398

Wie der Tabelle zu entnehmen ist, erwies sich die Variable *Industriearbeitsplätze je EW* als Indikator für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Straßenverkehr als nicht angebracht. Sie wurde ausgeschlossen.

Zur Abschätzung und Aufstellung der Regressionsfunktion werden die nicht standardisierten Regressionskoeffizienten der nicht ausgeschlossenen Variablen plus dem Ordinatenabschnitt verwendet. Daraus ergibt sich:

$$(I) \quad CO_2 (\text{Str-v}) = 0,390 \cdot AP/EW - 0,00859 \cdot BG + 1,177$$

Wiederum wird dem Arbeitsplatzindikator ein positives Vorzeichen zugewiesen. Eine höhere Anzahl von Arbeitsplätzen resultiert also in einem Anstieg von CO<sub>2</sub> im Straßenverkehr. Der Parameter *bebaute Gesamtfläche* jedoch besitzt ein negatives Vorzeichen und deutet so auf eine entgegengesetzt gerichtete Beziehung zum CO<sub>2</sub> des Straßenverkehrs hin. Um jedoch die Einflussstärke der einzelnen Indikatoren in der Gruppe der Dichte-Parameter untereinander vergleichen zu können, muss man sich der Betragswerte der standardisierten Regressionskoeffizienten bedienen. Dadurch kann der Indikator mit dem größten Erklärungsbeitrag gefunden werden. In diesem Modell ist die Variable *Arbeitsplätze je EW* (|0,448|) bedeutender als die *bebaute Gesamtfläche* (|0,398|). Bevor jedoch die Hypothese aufgestellt werden kann, dass *Arbeitsplätze je EW* die einflussreichste Größe darstellt, sollen das Modell und die einzelnen Koeffizienten den statistischen Prüfverfahren unterzogen werden.

*b) Prüfung der Regressionsfunktion*

Nachdem die Regressionsfunktion geschätzt wurde, ist deren Güte als Modell in der Realität zu überprüfen. Dazu werden die Gütemasse des Bestimmtheitsmaßes und der F-Statistik zur Anwendung kommen.

Zuerst wird das Bestimmtheitsmaß ausgewertet, was auch unter der Bezeichnung  $R^2$  bekannt ist. Es misst die Güte der Anpassung der Regressionsfunktion an die empirischen Daten und kann Werte zwischen Null und Eins annehmen.

Zur Berechnung des Bestimmtheitsmaßes werden die quadrierten Residualgrößen verwendet, d.h. die Abweichungen zwischen den Beobachtungswerten und den geschätzten, erwarteten Werten. Um diese Größe angebracht interpretieren zu können, wird die errechnete Gesamtabweichung in erklärte und nicht erklärte Abweichung (Residuen) aufgeschlüsselt. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit einer vergleichenden Einschätzung zur Güte der Anpassung der Regressionsfunktion<sup>116</sup>.

Die Ergebnisse der ersten Prüfung sind in der folgenden Tabelle abgebildet.

<b>Tabelle 7: Prüfung der Regressionsfunktion zur Dichte</b>					
	Bestimmtheitsmaß $R^2$	Korrigiertes Bestimmtheitsmaß	Gesamtabweichung	Erklärte Abweichung	Residuen
Regressionsfunktion zur Dichte	0,374	0,312	2,417	0,905	1,512

Die Interpretation des Bestimmtheitsmaßes besagt, dass ein Anteil von 37,4 % der Varianz durch das aufgestellte Modell mit Dichte-Parameter erklärt wird. In Anbetracht von zwei Regressoren ist dieses Ergebnis nicht zufriedenstellend.

Im weiteren Verlauf der Analysen wird das korrigierte Bestimmtheitsmaß eine Rolle spielen, denn es berücksichtigt die Anzahl der in die Analyse eingeflossenen (unabhängigen) Variablen. Dies wird besonders dann wichtig, wenn ein Vergleich zwischen Modellen mit einer unterschiedlichen Anzahl unabhängiger Variablen angestellt werden soll, was im weiteren Verlauf der Analyse geschehen wird. Der Wert beträgt hier 0,312.

<sup>116</sup> Vgl. Backhaus, 2000, S.20 f.

Die F-Statistik als zweites, globales Prüfkriterium geht der Fragestellung nach, ob das geschätzte Modell auch über die Grundgesamtheit hinaus Gültigkeit besitzt. Dazu bedarf es der Überprüfung der Nullhypothese (das geschätzte Modell hat über die Grundgesamtheit hinaus keine Gültigkeit), welche angenommen werden muss, wenn der empirische F-Wert gleich Null ist. Sie kann verworfen werden, wenn der empirische F-Wert stark von Null abweicht und einen spezifischen, kritischen Wert (theoretischer F-Wert, nachzuschlagen im Anhang<sup>117</sup>) überschreitet<sup>118</sup>. Dann ist es unwahrscheinlich, dass die Nullhypothese zutrifft und das Modell kann auch über die Grundgesamtheit hinaus als gültig betrachtet werden.

Die Auflistung der F-Statistik erfolgt in Tabelle 8.

<b>Tabelle 8: F-Statistik der Regression mit Parametern der Dichte</b>			
	Theoretischer F-Wert (Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$ )	Empirischer F-Wert	Irrtumswahr- scheinlichkeit
Regressionsfunktion zur Dichte	3,49	5,983	0,009

Die Gegenüberstellung zeigt, dass der empirische Wert von 5,983 stark von Null abweicht, allerdings den kritischen, theoretischen Wert von 3,49 nicht wesentlich übersteigt. Diese Aussage ist mit 0,009 als sehr signifikant einzuschätzen. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass nur ein mäßiges Indiz dafür existiert, dass das Modell auch über die Grundgesamtheit der empirischen Daten hinaus Gültigkeit besitzt.

Die bereits vermuteten Mängel des aufgestellten Modells werden dadurch bestärkt. Bevor jedoch eine sichere Aussage über den Einfluss der Dichte-Parameter gemacht werden kann, müssen die Koeffizienten des Modells überprüft werden. Das wird Ziel des nächsten Kapitels sein.

<sup>117</sup> Vgl. Durbin-Watson-Tabelle im Anhang, aus: Backhaus, 2000, S. 658 f.

<sup>118</sup> Vgl. Backhaus, 2000, S. 25 f.

c) *Prüfung der Regressionskoeffizienten*

Um die einzelnen Koeffizienten zu prüfen sollen sowohl die T-Statistik ausgewertet als auch die Beta-Werte interpretiert werden.

Diese statistischen Prüfungen erfolgen wiederum durch den Test der Nullhypothese (die Variable besitzt keinen Erklärungsbeitrag für die Regressionsfunktion). Bei Gültigkeit dieser wird sich in der T-Statistik ein empirischer Wert von Null ergeben. Weicht der empirische Wert jedoch stark von Null ab und überschreitet den theoretischen T-Wert, so ist es unwahrscheinlich, dass die Nullhypothese zutrifft.

Die Ergebnisse können in Tabelle 9 eingesehen werden.

<b>Tabelle 9: T-Statistik der Regression mit Parametern der Dichte</b>			
	Theoretischer T-Wert	Empirischer T-Wert	Irrtumswahrscheinlichkeit
Konstante	2,086	4,778	0,000
Arbeitsplätze je EW	2,086	2,532	0,020
Bebaute Gesamtfläche	2,086	-2,247	0,036

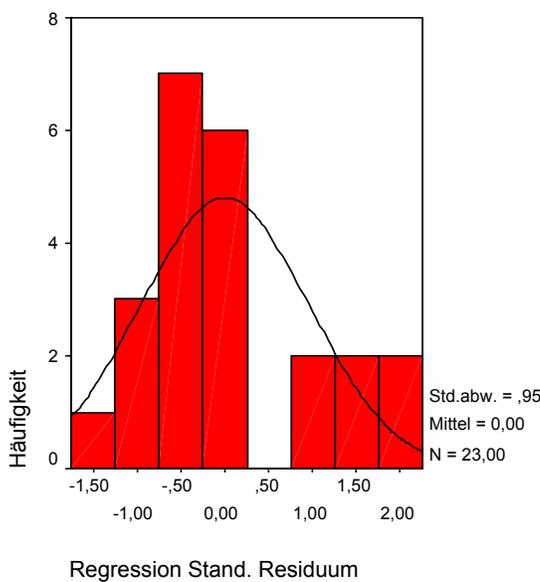
Aus den errechneten Werten lässt sich ableiten, dass ein Verwerfen der Nullhypothese bei beiden Parametern nicht sicher ist. Die Beträge der empirischen T-Werte von 2,532 und 2,247 übersteigen den theoretischen T-Wert von 2,086 nur mäßig. Wie sichtbar wird, wäre ein Verwerfen der Nullhypothese am ehesten beim Parameter *Arbeitsplätze je EW* zulässig, da der empirische T-Wert betragsmäßig größer ist. Das bedeutet, dass die Größe *Arbeitsplätze je EW* einen höheren Erklärungsbeitrag leistet als die Variable *bebaute Gesamtfläche*. Ein Ergebnis, dass die Hypothese am Anfang dieser Analyse bestätigt.

Als weiteres Prüfkriterium werden die Beträge der Beta-Werte eingebracht, die bereits beim Aufstellen der Regressionsfunktion vorgestellt wurden. Sie stellen ein Mittel zur Bestimmung der Erklärungsbeiträge jeder einzelnen Variablen dar und ermöglichen den direkten Vergleich untereinander. Aus Tabelle 6 wird ersichtlich, dass die Einflussstärke des Parameters *bebaute Gesamtfläche* (Beta-Wert: 0,398) geringer ist als der Erklärungsbeitrag, den die Variable *Arbeitsplätze je EW* leistet (Beta-Wert: 0,448). Das bestätigt einmal mehr die bis dahin gereifte Schlussfolgerung aus der Analyse.

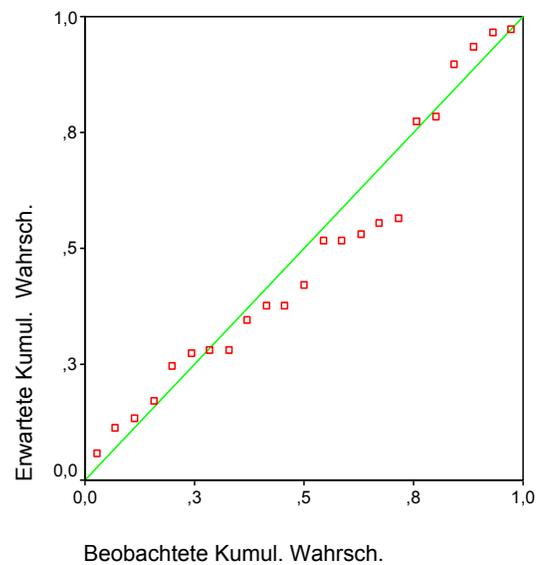
*d) Grafische Prüfung auf Linearität*

Nach der Beendigung der statistischen Verfahren soll nun die grafische Übereinstimmung auf Linearität geprüft werden. In diesem Sinne unterscheidet sich dieser Schritt von der bloßen Abschätzung der Linearität am Anfang des Kapitels, wo der Einsatz des Verfahrens der linearen multiplen Regressionsanalyse gerechtfertigt werden sollte. Die Prüfung des Modells erfolgt durch die Auswertung des Histogramms und des Normalverteilungsplots der standardisierten Residuen.

**Abbildung 11: Histogramm zur Analyse der Dichte**



**Abbildung 12: Normalverteilungsplot zur Analyse der Dichte**



Bei den grafischen Darstellungen handelt es sich um die zu einem bestimmten Wert gehörende Abweichung (Residuen), um die die Regressionsschätzung den tatsächlichen Wert verfehlt hat. Treten die Residuen in einem bestimmten Muster auf, deutet das darauf hin, dass das geschätzte Modell unvollständig oder falsch ist und nicht alle Aspekte zur Erklärung der abhängigen Variable berücksichtigt wurden. Darüber hinaus sollen die Residuen nicht nur zufällig auftreten, sondern auch einer Normalverteilung folgen<sup>119</sup>. Das bedeutet, dass die standardisierten Residuen im Histogramm einer Gaußschen Glockenkurve (Normalverteilungskurve) gleichen und die kumulierten, standardisierten Residuen im Normalverteilungsplot einer Häufigkeitsverteilung nahe der Geraden folgen sollten.

<sup>119</sup> Vgl. Brosius, 1998, S.557 f.

Wie bereits vermutet werden konnte, zeigt das Modell mit Dichte-Parametern eine relativ schlechte Anpassung an die Prüfgröße der Normalverteilung. Daraus lässt sich schließen, dass die Variablen *Arbeitsplätze je EW* und *bebaute Gesamtfläche* den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Verkehrssektor nicht vollständig erklären können.

### 3.4.2.3 Schlussfolgerungen

In Hypothese 1 wurde postuliert, dass höhere Siedlungs- und Arbeitsplatzdichten den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Verkehrssektor zu vermindern vermögen. Diese Aussage kann durch die hier geschilderte Analyse für den angegebenen Untersuchungsraum nicht verifiziert werden.

Die *Siedlungsdichte* zeigt zwar eine negative Korrelation mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs und besitzt dadurch ein Reduktionspotential. Diese Beziehungen sind aber nicht signifikant. Der reduzierende, ohnehin schwache Einfluss auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Straßenverkehr gilt demzufolge als nicht sicher.

Die Variable *Arbeitsplätze je EW* dagegen reagiert signifikant, aber in positiver Richtung. Das bedeutet, je höher die *Arbeitsplätze je EW*, desto höher die CO<sub>2</sub>-Ausstöße im Straßenverkehr. Dieses Ergebnis widerspricht vollkommen dem in der Theorie behaupteten, reduzierenden Einfluss dieses Dichte-Parameters.

Außer diesen Beobachtungen wurde ein negativ signifikanter Zusammenhang zum Parameter *bebaute Gesamtfläche* gefunden. Dieser erwies sich in der angeschlossenen multiplen Regressionsanalyse jedoch als weniger bedeutsam als der Parameter *Arbeitsplätze je EW*.

Es konnte außerdem eruiert werden, dass das aufgespannte Modell in der Gruppe der Dichte-Parameter mit den Größen *bebaute Gesamtfläche* und *Arbeitsplätze je EW* den CO<sub>2</sub>-Ausstoß nur unzureichend zu erklären vermag. Die hier untersuchten Größen können innerhalb der siedlungsstrukturellen Diskussion alleine nicht ausreichen, um das Ausmaß hoher oder niedriger CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr umfassend zu beschreiben.

Deshalb gilt es, sich auch den anderen Indikatoren einer nachhaltigen Stadtentwicklung zuzuwenden.

**3.4.3 Hypothese 2: Eine höhere Mischung von Flächennutzungen innerhalb einer Stadtregion reduziert den Verkehrs-CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Einwohner.**

**3.4.3.1 Operationalisierung**

In der Diskussion um eine nachhaltige Stadtentwicklung werden in der Literatur vermehrt drei Indikatoren genannt, von denen im vorigen Kapitel bereits das Anstreben einer hohen Siedlungsdichte diskutiert wurde. In diesem Abschnitt erfolgt die Betrachtung des zweiten Prinzips, der Nutzungsmischung.

Dazu wurden verschiedene Indikatoren ausgewählt, die der Aufteilung in den Flächennutzungsplänen entsprechen:

- Prozente der Nutzungskategorie *Mischgebiet* an der bebauten Gesamtfläche,
- Prozent-Anteile der *Wohngebiete* an bebauter Gesamtfläche (entgegengesetzt der Hypothese als Indikator, wie einseitig der Stadtbezirk genutzt wird),
- Prozent-*Gewerbegebiets*anteile an bebauter Gesamtfläche (ebenfalls als Indikator, wie monostrukturell der Stadtbezirk genutzt wird).

Die Aufteilung der Gebietsflächen nach den Einteilungen im Flächennutzungsplan wurde dabei als besonders geeignet betrachtet, weil sie direkte Rückschlüsse auf die Funktionsmischung zulässt. Die Analyse dieser Parameter und deren Auswertung schildert das anschließende Unterkapitel.

**3.4.3.2 Analyse**

**3.4.3.2.1 Korrelationsanalyse**

Auch an dieser Stelle werden die Variablen zunächst einer Korrelationsanalyse unterzogen, deren Ergebnis in Tabelle 10 zu sehen ist.

<b>Tabelle 10: Korrelationsanalyse mit Parametern der Mischung</b>		
Parameter	Korrelationskoeffizienten	Irrtumswahrscheinlichkeit (Angabe, wenn $p \leq 0,05$ ), Aussage signifikant
Mischgebiete	0,120	-
Wohngebiete	-0,156	-
Gewerbegebiete	-0,311	-

Wie deutlich wird, kann mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% nicht vermutet werden, dass ein signifikantes Verhältnis zwischen den gewählten Parametern und den CO<sub>2</sub>-Ausstößen im Straßenverkehr existiert. Werden trotz fehlender signifikanter Zusammenhänge die Vorzeichen der Korrelationskoeffizienten betrachtet, sieht man, dass im Gegensatz zu den Standpunkten in der Theorie eine entgegengesetzte Richtung des Einflusses ausgegeben wird. Durch den hier positiven Index wird angezeigt, dass ein hoher Anteil an *Mischgebieten* hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr induziert. Auf der anderen Seite aber wirken *Wohn- und Gewerbegebiete* dem entgegen, was das negative Vorzeichen andeutet. Diese Beziehungen werden in der Theorie genau umgekehrt dokumentiert.

Die Ursache für diese Beobachtung wird in der Art und Weise der Erhebungsstatistik vermutet. Es gilt zu bedenken, dass es sich hierbei um de-facto-Emissionen handelt, die ausgehend von dem vor Ort beobachteten privaten, ÖPNV- und Gewerbe-Straßenverkehr berechnet wurden. In diesem Sinne kennzeichnet diese Erhebungsmethode Orte, an denen besonders viel Verkehr des MIV, des Straßengüterverkehrs und des ÖPNV zusammentreffen.

In Wohngebieten existiert hauptsächlich privater MIV und in Gewerbegebieten eher Güter- und Gewerbeverkehr. In diesen beiden Nutzungsklassen laufen die verschiedenen Arten des Verkehrs nicht zusammen, wie es jedoch bei der Kategorie der Mischgebiete zu vermuten ist, wo sowohl privater als auch gewerblicher Verkehr erhoben wurde.

Da bei keiner der hier untersuchten Variablen mindestens ein signifikanter Zusammenhang eruiert werden konnte, gehen die Parameter nicht in die Regressionsanalyse ein. Der Untersuchungsgang innerhalb dieser Gruppe endet mit dem Ergebnis, dass die gewählten Mischungs-Parameter keinen Einfluss auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu besitzen scheinen.

### 3.4.3.3 Schlussfolgerungen

Ausgehend von Hypothese 2, in der vermutet wurde, dass ein höherer Anteil an der Nutzungskategorie Mischgebiet in einem Bezirk die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Einwohner zu senken vermag, wurden die Nutzungskategorien Mischgebiete, Wohngebiete und Gewerbegebiete aus den Flächennutzungsplänen in ihren Prozent-Anteilen analysiert.

Keine der eingegangenen Variablen wies dabei signifikante Zusammenhänge auf.

Bemerkenswert ist trotzdem, dass die Richtung der Beziehung entgegengesetzt zur vorherrschenden Theoriemeinung ausgegeben wurde.

Demnach induzieren Mischgebiete mit multifunktionaler Ausrichtung CO<sub>2</sub>-Ausstöße im Straßenverkehr, hohe Anteile Wohn- und Gewerbegebiete jedoch als monostrukturelle Nutzungskategorien könnten diese vermindern. Damit muss die gängige Theoriemeinung in beiden Punkten am Beispiel von Berlin falsifiziert werden. Aufgrund dieser Betrachtung kann gesagt werden, dass sich in diesem Untersuchungsbeispiel Mischgebiete negativ auf den Straßenverkehr und die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen auswirken, weil hier die verschiedenen privaten und gewerblichen Verkehrsarten nebeneinander auftreten.

Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass diese Beobachtungen als nicht signifikant eingeschätzt werden müssen. Ein bedeutender Einfluss der Mischungs-Parameter auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß kann nur negiert werden.

So folgt die letzte Analyse innerhalb der siedlungsstrukturellen Parameter mit der Beleuchtung der Polyzentralität.

### **3.4.4 Hypothese 3: Die Durchsetzung von polyzentralen Siedlungsstrukturen resultiert in geringeren CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs.**

#### **3.4.4.1 Operationalisierung**

Wie bereits an anderer Stelle angeführt wurde, ergaben sich bei der Operationalisierung dieser Hypothese Schwierigkeiten. Polyzentralität oder Monozentralität lassen sich innerhalb einer Stadt statistisch nur schwer fassen, obwohl einige Städte in der Fachliteratur sehr wohl als dispers, mono- oder polyzentral definiert werden. Messgrößen jedoch sind nicht einfach zu finden.

Darum musste an dieser Stelle von der gewählten Analyseverfahren mit Korrelations- und Regressionsverfahren abgewichen werden. An deren Stelle tritt der Vergleich mehrerer deutscher Städte und ihrer CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor. Aufgrund der notwendigen Zuordnung zu monozentralen und polyzentralen Stadtstrukturen fiel die Entscheidung auf Stuttgart, Hamburg und Hannover.

### 3.4.4.2 Analyse

Zur Auswertung gelangen sowohl monozentral als auch polyzentral aufgebaute Städte aus Deutschland, da sie in ihrer Struktur als gegensätzlich gelten. Monozentral bedeutet, „dass man sich wirtschaftlich, gesellschaftlich, bevölkerungsmäßig oder baulich einem Mittelpunkt hin ausrichtet oder ein solches Zentrum existiert“<sup>120</sup>. Polyzentral aufgebaute Städte dagegen verfügen nicht nur über ein, sondern über mehrere Zentren innerhalb derselben Agglomeration. Weil sich die Aktivitäten und Bedürfnisse der jeweiligen Bewohner stärker auf unterschiedliche, jeweils naheliegende Zentren verteilen können, vermutet man, dass sich in diesen Agglomerationen Wege verkürzen und zu weniger Verkehrsstaus führen. Wie bereits im Theorieteil beschrieben, wird davon ausgegangen, dass Bewohner polyzentraler Städte weniger CO<sub>2</sub> im Verkehrssektor emittieren. Diese Vermutung soll hier überprüft werden.

Als Vergleichsstädte dienen:

- Hannover und
- Hamburg, die laut Fachliteratur eine monozentrale Stadtstruktur aufweisen sowie
- Stuttgart<sup>121</sup> und
- Berlin, die unter diesen Aspekten als polyzentral verstanden werden<sup>122</sup>.

Im Falle von Berlin ist die polyzentral eingeschätzte Stadtstruktur durchaus nachvollziehbar, da es aus ehemaligen kleinen Dörfern zusammenwuchs. Einige Stadtbezirke, die früher als Dörfer existierten, besitzen heute noch einen eigenen Marktplatz, wie das z. B. in Spandau der Fall ist.

Die benannten Städte werden einem Vergleich unterzogen, der die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors betrachtet. Zum besseren Vergleich werden alle Emissionen je Einwohner berechnet. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse erfolgt in Tabelle 11.

---

<sup>120</sup> Vgl. Leser, 2001, S.526

<sup>121</sup> Vgl. Sinz & Blach, 1998, S. 469

<sup>122</sup> Vgl. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, 2001c, S.1

<b>Tabelle 11: Vergleich der Pro-Kopf-CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr mono- und polyzentraler Städte</b>	
<b>Beispielstädte</b>	
<b>für Polyzentralität:</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen je EW, in t</b>
Berlin	0,89
Stuttgart	1,59
Mittelwert	1,24
<b>für Monozentralität:</b>	
Hamburg	2,32
Hannover	1,26
Mittelwert	1,79

Der hier angestellte Vergleich zeigt, dass Städte mit polyzentralem Aufbau im Mittel über einen geringeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Straßenverkehr verfügen als die monozentralen Städte. Diese Beobachtung gilt jedoch nicht für die einzelnen Fälle. Hannover als Beispiel einer monozentralen Stadt, besitzt geringere CO<sub>2</sub>-Verkehrsemissionen als Stuttgart, der ein polyzentraler Aufbau zugesprochen wird. Aus diesem Grunde könnte man lediglich von einem Indiz sprechen, das sich durch den Vergleich der Mittelwerte rechtfertigt. Es gilt außerdem zu bedenken, dass für eine wissenschaftliche Analyse der Vergleich von vier Beispielstädten nicht ausreicht. Ob polyzentrale Strukturen helfen, CO<sub>2</sub>-Ausstöße des Verkehrs zu verringern, kann also nicht eindeutig bestimmt werden.

Deshalb soll an dieser Stelle eine Fehleranalyse angeführt werden.

Das geschilderte Problem bei der Operationalisierbarkeit konnte auch durch die gewählte Analyse des Vergleichs nicht vollständig umgangen werden. Es eröffnen sich neue Kritikpunkte, die vor allem hinsichtlich der Vergleichbarkeit des Datenmaterials erhoben werden müssen.

Die CO<sub>2</sub>-Bilanzen werden in den Städten nicht einheitlich erstellt, so dass Differenzen auftreten, die sich zum Beispiel in der Erhebungssystematik oder der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Bilanz, sowie beim Ein- oder Ausschluss bestimmter Verkehrsarten zeigen. Ein Beispiel dafür ist der Umgang mit Flugverkehr. Manche Städte involvieren tatsächliche Verbräuche, andere berechnen auf Grundlage des Bundesdurchschnitts oder lassen die Flugverkehrs-Emissionen ganz aus der Berechnung heraus. Weitere Probleme ergeben sich dadurch, dass in Stuttgart und Hamburg vom gesamten Verkehrssektor, in Berlin und Hannover dagegen nur vom Straßenverkehr ausgegangen wird.

Zudem sind in dieser Gegenüberstellung die Vergleichsjahre nicht identisch. Im Falle der Stadt Hannover mussten aus Gründen der mangelnden Verfügbarkeit Daten von 1997 (als Trendfortschreibung von 1990) zu Grunde gelegt werden, wohingegen in den anderen Städten das Jahr 1995 als Basis diente. Zur Einschätzung der Hypothese, welche als Zusammenfassung im Folgenden gegeben wird, sollte das gesammelte Material aber dennoch genügen.

#### **3.4.4.3 Schlussfolgerungen**

Der Aufbau einer Stadt nach polyzentralem Planungsmuster könnte zu einer Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr beitragen. Der Vergleich von vier Beispielstädten in Deutschland hat gezeigt, dass monozentrale Stadtstrukturen im Mittel mehr CO<sub>2</sub>-Ausstöße der Einwohner im Verkehr hervorrufen als polyzentral aufgebaute Städte. Dennoch sollte dies nur als ein Indiz gewertet werden, da der Vergleich von vier Städten zu schwach und das Datenmaterial durch die aufgezeigten Fehlerquellen nicht optimal vergleichbar ist.

#### **3.4.5 Zusammenfassung**

In den vorigen Abschnitten wurden die Einflüsse der Siedlungsstruktur mit den Eigenschaften Siedlungsdichte, Nutzungsmischung und Polyzentralität auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Straßenverkehr umfassend analysiert. Keines der vorgestellten Modelle diente dabei als zufriedenstellender Erklärungsansatz. Das bedeutet, dass die hier untersuchten Parameter der Siedlungsstruktur alleine keinen wesentlichen Einfluss auf die Verkehrs-CO<sub>2</sub>-Emissionen in Berlin ausüben.

Die größte Bedeutung wird noch den *Arbeitsplätzen je EW* und der *bebauten Gesamtfläche* zugeschrieben. Die *Siedlungsdichte* und die gewählten Parameter zur Nutzungsmischung erweisen sich in Berlin als nicht bedeutsam. Und Polyzentralität scheint nur ein schwaches Indiz für CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr zu liefern.

Außerdem muss hervorgehoben werden, dass die Parameter zur Nutzungsmischung und der Dichte-Parameter *Arbeitsplätze je EW* einen entgegengesetzt gerichteten Einfluss auswiesen als in der Literatur behauptet. Starke Nutzungsmischung und hohe Anteile von *Arbeitsplätzen je EW* führen in dieser Analyse zu hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Aufgrund der schwachen Bedeutung siedlungsstruktureller Parameter in diesem Analysebeispiel ist es besonders interessant, nun die Verkehrsstruktur zu betrachten.

## 3.5 Analyse der Verkehrsstruktur

### 3.5.1 Einleitung

Nach dem Literaturstudium konnte auch die verkehrsstrukturelle Ausstattung eines Gebietes als ein Einflussparameter des CO<sub>2</sub>-Austoßes ausgemacht werden. Basis dieser Beobachtung ist die Annahme, dass die Verfügbarkeit einer guten Verkehrsinfrastruktur die Möglichkeit und den Anreiz zur Nutzung dergleichen erhöht. Darüber kann dem MIV oder dem ÖPNV eine Vorrangstellung eingeräumt werden. Eine gute Infrastruktur wird dabei sowohl über die Quantität des Angebots als auch über die Qualität des Angebots definiert.

Die Ausrichtung der Verkehrsstruktur z. B. auf den MIV äußert sich in der Vorrangstellung gegenüber dem ÖPNV und spiegelt sich dann in der Höhe der Verkehrsfläche je EW, dem Parkplatzangebot, der Breite der Straßen, der Anzahl der Fahrspuren, der Organisation des Verkehrsflusses (Grünphasen), der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten, Straßenqualität und vielem mehr wieder. Auch der Besitz eines Autos zählt unter diesem Blickwinkel zum Angebot<sup>123</sup>, weil davon ausgegangen wird, dass ein verfügbares Kfz auch (und eher häufiger als nötig) genutzt wird.

Das spiegelt sich in folgenden Hypothesen wieder:

### 3.5.2 Hypothese 4: Eine bessere infrastrukturelle Ausstattung des MIV verursacht höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr.

#### 3.5.2.1 Operationalisierung

Als Indikatoren wird man sich auf Parameter beschränken müssen, die hauptsächlich den MIV betreffen, da die Daten des ÖPNV nicht nach Stadtbezirken aufgeschlüsselt zur Verfügung standen.

Als mögliche Indikatoren der Verkehrsstruktur wurden folgende Variablen ausgewählt:

- *Verkehrsfläche je EW*
- *Verkehrsfläche in % an der Gesamt-Stadtbezirksfläche*
- *Straßenlänge je EW*
- *Autobahnlänge in % an der Gesamtstraßenlänge*
- *Fahrradwege je EW*
- *Anzahl der Kfz je EW*

Die Parameter werden wie angedacht zuerst einer Korrelations-, und danach einer Regressionsanalyse unterzogen.

---

<sup>123</sup> ein Bezug zum Pro-Kopf-Einkommen wird nicht abgestritten, aber an anderer Stelle diskutiert

### 3.5.2.2 Analyse

#### 3.5.2.2.1 Korrelationsanalyse

Die Korrelationsanalyse umfasst alle Parameter, die in Kapitel 3.5.2.1 aufgeführt wurden. Tabelle 12 gibt darüber Auskunft, ob statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen den gewählten Parametern und den CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs existieren.

<b>Tabelle 12: Korrelationsanalyse mit Parametern der Verkehrsstruktur</b>			
Parameter	Korrelations-Koeffizienten	Irrtumswahrscheinlichkeit (Angabe, wenn $p \leq 0,05$ ), Aussage signifikant	Irrtumswahrscheinlichkeit (Angabe, wenn $p \leq 0,01$ ), Aussage sehr signifikant
Verkehrsfläche je EW	0,626		0,001
Verkehrsfläche in %	0,099		
Straßenlänge je EW	0,363		
Autobahnlänge in %	-0,059		
Fahrradwege je EW	0,616		0,002
Kfz je EW	0,634		0,001

Tabelle 12 zeigt, dass drei der untersuchten Parameter einen Zusammenhang zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs aufweisen. Diese Aussage ist in allen drei Fällen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 0,01 sehr signifikant und betrifft die Variablen *Verkehrsfläche je EW*, *Fahrradwege je EW* und Anzahl angemeldeter *Kfz je EW*. Die positive Richtung der Korrelationen bei *Verkehrsfläche je EW* und *Kfz je EW* ist nachvollziehbar, da man diese Variablen zum Angebot der Infrastrukturseite zählen kann und von jenen erwartet wird, dass daraus eine stärkere Nutzung des MIV resultiert.

Dagegen scheint die positive Korrelation zu den *Fahrradwegen je EW* weniger plausibel. Nach intensiven Überlegungen wurde entschieden, diese Aussage als ökologischen Fehlschluss<sup>124</sup> zu deklarieren und aus der weiteren Betrachtung auszusparen. Demnach verbleiben die Größen *Verkehrsfläche je EW* und Anzahl der angemeldeten *Kfz je EW* in der weiteren Analyse.

<sup>124</sup> scheinbarer Zusammenhang, der einer naturwissenschaftlichen Auffassung nicht standhält; der Zusammenhang kommt nur „zufällig“ zustande

### 3.5.2.2.2 Regressionsanalyse

Wiederum muss zunächst mit dem Streudiagramm abgeschätzt werden, ob eine Linearität in der Verteilung der Datensätze vorausgesetzt werden kann<sup>125</sup>. Nachdem dies geschehen ist und eine Unterstellung von Linearität rechtfertigt, soll mit dem Instrument der multiplen Regression fortgefahren werden.

#### a) Schätzung der Regressionsfunktion

Zur Aufstellung einer Regressionsfunktion werden beide in Abschnitt 3.5.2.2.1 eruierten Parameter als unabhängige Variablen in die Analyse eingebracht. Die sich daraus ergebenden Koeffizienten listet Tabelle 13 auf.

Tabelle 13: Regressionsanalyse mit Parametern der Verkehrsstruktur				
	gültige Fälle	Regressionskoeffizient B, nicht standardisiert	Ordinatenabschnitt	Regressionskoeffizient Beta, standardisiert
Konstante	23		-0,477	
Verkehrsfläche je EW (Vfl)	23	0,007625		0,380
Kfz je EW	23	3,369		0,401

Die Regressionsanalyse zeigt, dass beide durch die Korrelationsanalyse bestimmten Parameter für eine Erklärung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im Straßenverkehr geeignet sind und in die Regressionsfunktion aufgenommen werden können. Daraus ergibt sich eine Funktion folgender Art:

$$(II) \quad \text{CO}_2 (\text{Str-v}) = 0,007625 \cdot \text{Vfl/EW} + 3,369 \cdot \text{Kfz/EW} - 0,477$$

Wiederum müssen jedoch die standardisierten Koeffizienten helfen, um die Einflussstärke der Parameter untereinander zu vergleichen. Am Betrag dieses Wertes erkennt man, dass die Anzahl angemeldeter *Kfz je EW* (|0,401|) einen größeren Erklärungsbeitrag zu leisten scheint als der Parameter *Verkehrsfläche je EW* (|0,380|). Der Unterschied fällt nichts desto trotz gering aus.

Im weiteren Vorgehen muss die hier aufgestellte Funktion zur Erklärung der abhängigen Variablen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs geprüft werden.

<sup>125</sup> siehe dazu die Diagramme im Anhang

*b) Prüfung der Regressionsfunktion*

Zur Einschätzung der Güte des aufgestellten Modells werden das Bestimmtheitsmaß und die F-Statistik betrachtet.

Die Kenngrößen zu den Abweichungen und dem Bestimmtheitsmaß zeigt Tabelle 14.

<b>Tabelle 14: Prüfung der Regressionsfunktion zur Verkehrsstruktur</b>					
	Bestimmt- heitsmaß $R^2$	Korrigiertes Bestimmt- heitsmaß	Gesamtab- weichung	Erklärte Abweichung	Resi- duen
Regressionsfunktion zur Verkehrsstruktur	0,493	0,442	2,417	1,191	1,226

Aus dieser Tabelle kann entnommen werden, dass 49,3% der Varianz (Bestimmtheitsmaß 0,493) im Modell mit verkehrsstrukturellen Parametern erklärt werden kann. Dieser Prozentsatz ist für das hier aufgestellte Modell mit zwei Parametern gut.

Das korrigierte Bestimmtheitsmaß weist einen ähnlich hohen Wert von 44,2% (Bestimmtheitsmaß von 0,442) auf. Die Erklärung der abhängigen Variable mit Hilfe der verkehrsstrukturellen Parameter gelingt damit besser als mit den untersuchten Dichte-Parametern, welche nur ein Bestimmtheitsmaß von 0,374 und ein korrigiertes Bestimmtheitsmaß von 0,312 erbrachten.

Dennoch muss die Prüfung des Modells fortgeführt werden.

Es folgt als nächstes Prüfmaß die F-Statistik, deren Kennwerte Tabelle 15 wiedergibt.

<b>Tabelle 15: F-Statistik der Regression mit Parametern der Verkehrsstruktur</b>			
	Theoretischer F-Wert (Irrtumswahrschein- lichkeit $p \leq 0,05$ )	Empirischer F-Wert	Irrtums- wahrscheinlichkeit
Regressionsfunktion zur Verkehrsstruktur	3,49	9,711	0,001

Der empirische F-Wert ist größer als Null und wesentlich über dem kritischen Wert des theoretischen F-Wertes gelegen. Das bedeutet, dass die Nullhypothese für die Gültigkeit des Modells auch über die Grundgesamtheit hinaus unwahrscheinlich ist. Hier zeigt sich ein weiteres Mal, dass das Modell mit verkehrsstrukturellen Einflussgrößen zur Erklärung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr eine gute Eignung aufzuweisen scheint. Im Gegensatz dazu ergab sich beim Modell mit Dichte-Parametern ein empirischer Wert von 5,983 (der theoretischer F-Wert war in diesem Fall der Gleiche).

Das aufgestellte Modell erweist sich als aussagekräftiger als das Modell mit Dichte-Parametern. Dennoch fehlt zur vollständigen Prüfung die Einschätzung der Eignung der Koeffizienten, was im folgenden Unterkapitel geschehen soll.

*c) Prüfung der Regressionskoeffizienten*

Um die einzelnen Koeffizienten auf ihre Güte im Modell zu überprüfen, werden wiederum die Prüfgrößen der T-Statistik und der Beta-Werte zu Hilfe genommen. Die Kennzahlen der T-Statistik als erste Prüfung beinhaltet Tabelle 16.

<b>Tabelle 16: T-Statistik der Regression mit Parametern der Verkehrsstruktur</b>			
	Theoretischer T-Wert	Empirischer T-Wert	Irrtumswahrscheinlichkeit
Konstante	2,086	-0,947	0,355
Verkehrsfläche je EW	2,086	1,886	0,074
Kfz je EW	2,086	1,990	0,060

Zur Interpretation der Werte müssen die Beträge der empirischen T-Werte mit denen der theoretischen Kennzahlen verglichen werden, diese übersteigen und ungleich von Null sein. Wie in Tabelle 16 allerdings deutlich wird, überschreitet keiner der empirischen Werte die theoretischen Vorgaben. Das bedeutet, dass die Nullhypothese des Einflusses auf die abhängige Größe bei beiden unabhängigen Parametern angenommen werden muss. Anders ausgedrückt kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Parameter einen Erklärungsbeitrag für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Straßenverkehr liefern können.

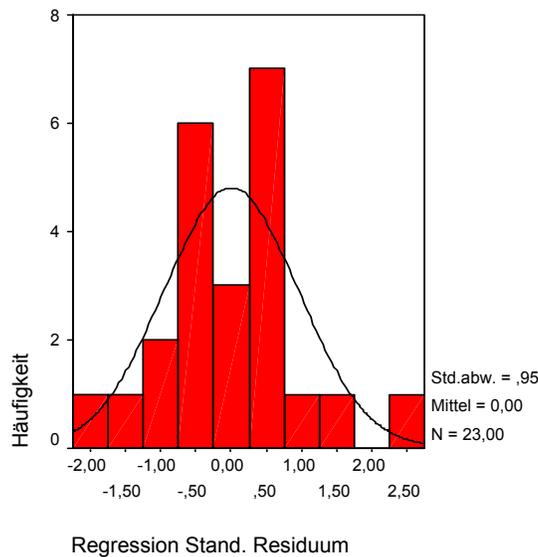
Jedoch sind die gemachten Aussagen bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05 nicht signifikant, was bedeutet, dass die Ergebnisse unsicher sind.

Eine Erklärung für die schlechte Einschätzung der Koeffizienten durch die empirischen T-Werte (trotz gutem Ergebnis der globalen Prüfung des Modells) könnte durch die mangelnde Anpassung der Datensätze an Linearität gegeben werden. Dieser Punkt bedarf einer eingehenden Überprüfung, der im folgenden Abschnitt nachgegangen wird.

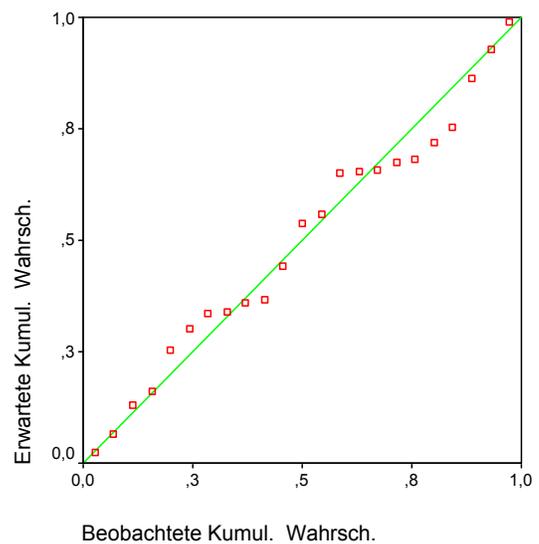
#### d) Grafische Prüfung auf Linearität

Die negativen Ergebnisse in der T-Statistik lassen eine schlechte lineare Verteilung der Datensätze vermuten. Das soll an dieser Stelle mit Hilfe eines Histogramms und eines Normalverteilungsplots überprüft werden, die in Abbildung 13 und Abbildung 14 dargestellt sind.

**Abbildung 13: Histogramm zur Analyse der Verkehrsinfrastruktur**



**Abbildung 14: Normalverteilungsplot zur Analyse der Verkehrsinfrastruktur**



Die Auswertung bestätigt den bereits beschriebenen Verdacht, dass die empirischen Werte nicht optimal linear verteilt sind. Das Histogramm der Residuen kann schlecht als Anpassung an eine Gaußsche Glockenkurve verstanden werden und das Normalverteilungsplot zeigt, dass die kumulierten Residualwerte recht stark von der Geraden abweichen.

### **3.5.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

Die wichtigsten Einflussgrößen der Verkehrsstruktur auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Straßenverkehr bilden *Verkehrsfläche je EW* und *Anzahl der Kfz je EW*. Beide Variablen korrelieren sehr signifikant ( $p < 0,01$ ) mit der abhängigen Variablen und werden bei der multiplen Regression dieser Untergruppe als erklärende Größen in der Regressionsfunktion belassen. Das bedeutet, dass das aufgestellte Modell mit Parametern der Verkehrsinfrastruktur einen guten Erklärungsbeitrag für die abhängige Variable bietet.

Dennoch bleibt zu bedenken, dass die Prüfung der einzelnen Parameter eine schlechte Anpassung der Datensätze an die notwendige Linearität erbrachte. Die Eignung der Koeffizienten bleibt deshalb unklar. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Erklärung von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr nicht ausreichend von diesen beiden Variablen erfolgen kann, obwohl sie sich besser eignen, als die Koeffizienten im Modell mit Dichte-Parametern. Die Fortführung der Analyse mit der Untersuchung finanzieller Parameter soll deshalb weitere Einblicke bringen.

## 3.6 Analyse des Einkommens

### 3.6.1 Einleitung

Wie bereits bei der Schilderung aktueller, wissenschaftlicher Theorien deutlich wurde, werden neben den siedlungs- und verkehrsstrukturellen Einflussbereichen gerade finanzielle Einflussgrößen als wirkungsvoll für die CO<sub>2</sub>-Minderung betrachtet. Diese Sichtweise umfasst einen Teil der Nachfrageseite der Verkehrsstruktur und versucht den Einfluss von gezielt genutzter Preispolitik abzuschätzen. Da ein Kostenvergleich von unterschiedlichen ÖPNV-Systemen und/oder der Nutzung des MIV aufgrund der Auswahl einer einheitlichen Untersuchungsregion hier nicht möglich ist, wird versucht, den Einfluss der Nachfrageseite über das zur Verfügung stehende Einkommen nachzuweisen. Diese Herangehensweise wurde bereits von SCHÄFER global durchgeführt und soll hier am Beispiel Berlins nachvollzogen werden. Es wird vermutet, dass ein höheres Einkommen ein höheres, verfügbares Budget für Mobilitätszwecke nach sich zieht und dadurch die Nachfrage nach Verkehr beeinflusst. Es ergibt sich folgende Hypothese:

### 3.6.2 Hypothese 5: Je höher das Durchschnittseinkommen der Bevölkerung, desto höher die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr.

#### 3.6.2.1 Operationalisierung

Zur Prüfung der Hypothese werden folgende Indikatoren verwandt:

- *Mittleres, monatliches Pro-Kopf-Einkommen*
- *Prozent-Anteile gewählter Pro-Kopf-Einkommenskategorien*
- *Mittleres monatliches Haushalts (HH)-Einkommen*
- *Prozent-Anteile drei gewählter HH-Einkommenskategorien (alle Angaben zum Nettoeinkommen).*

Die Variable 1 wurde in Anlehnung an die Theorie von SCHÄFER aufgenommen, alle anderen Größen gehen ein, weil sie mögliche interessante Zusammenhänge eruieren könnten. Die Analyse geht analog zu den vorigen Untersuchungsgruppen vor und beginnt mit der Korrelationsprüfung.

### 3.6.2.2 Analyse

#### 3.6.2.2.1 Korrelationsanalyse

Es werden alle Parameter aufgenommen, die im vorigen Abschnitt als betrachtenswert empfunden und benannt wurden. Tabelle 17 gibt die entstandenen Ergebnisse wieder.

<b>Tabelle 17: Korrelationsanalyse mit Parametern des Einkommens</b>			
Parameter	Korrelations-Koeffizienten	Irrtumswahrscheinlichkeit (Angabe, wenn $p \leq 0,05$ ), Aussage signifikant	Irrtumswahrscheinlichkeit (Angabe, wenn $p \leq 0,01$ ), Aussage sehr signifikant
Mittleres monatliches Pro-Kopf-Einkommen	0,655		0,001
Einkommensgruppe bis <1400 DM	-0,567		0,005
Einkommensgruppe von 1400-<2500 DM	-0,455	0,029	
Einkommensgruppe über 2500 DM	0,563		0,005
Mittleres monatliches HH-Einkommen	0,270		
HH-Nettoeinkommen bis <2500 DM	-0,013		
HH-Nettoeinkommen bis <4000 DM	-0,139		
HH-Nettoeinkommen über 4000 DM	0,165		

Aus Tabelle 17 kann entnommen werden, dass die gewählten Parameter zum persönlichen Einkommen mit den CO<sub>2</sub>-Ausstößen im Straßenverkehr korrelieren, die Größen zum Haushaltseinkommen jedoch nicht. Die individuellen Einkommensverhältnisse beeinflussen demzufolge nur die persönliche Situation, die Aussage kann nicht für Haushalte, also für Partner und Kinder verallgemeinert werden. Eine persönlich gut situierte Stellung wird mit ihren Auswirkungen im Verkehrsverhalten nicht auf Familienangehörige übertragen.

Für die Variable *mittleres Pro-Kopf-Einkommen* wurde die stärkste Korrelation und damit ein sehr signifikantes Verhältnis aufgedeckt. Die *Einkommensgruppe von 1400 bis unter 2500 DM Monatseinkommen* zeigt eine schwächere Korrelation mit signifikanter Aussage.

Wie zu erwarten war, weisen die Variablen der beiden *unteren Einkommensgruppen* negative Verhältnisse auf. Die *höchste Einkommensgruppe* und das *mittlere Pro-Kopf-Einkommen* je Monat aber beschreiben einen positiven Zusammenhang. Das bedeutet, je höher der Prozentanteil der *höchsten Einkommensgruppe* und je höher das *mittlere Pro-Kopf-Einkommen*, desto höher sind auch die Emissionen von CO<sub>2</sub> im Straßenverkehr. Und umgekehrt, je höher der Anteil der unteren Einkommensgruppe je niedriger ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Straßenverkehr. Alle Variablen zum *Pro-Kopf-Einkommen* erweisen sich bis dahin als bedeutende Parameter und werden im folgenden Schritt, der Regressionsanalyse, weiter untersucht.

### 3.6.2.2.2 Regressionsanalyse

Zur Durchführung der Regressionsanalyse wird wiederum Linearität der abhängigen mit den unabhängigen Größen vorausgesetzt. Diese sollte grafisch wenigstens annähernd belegt sein. Anhand der Graphiken im Anhang kann überprüft werden, dass die Voraussetzung der Linearität durch eine vorangestellte Abschätzung gerechtfertigt werden kann. Aus diesem Grunde kann die multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt werden. Die abhängige Größe bildet wieder das CO<sub>2</sub> des Straßenverkehrs, als unabhängige Größen gehen das *mittlere Pro-Kopf-Einkommen* und die gewählten *Einkommensgruppen* ein.

#### a) *Schätzung der Regressionsfunktion*

Als ersten Schritt befasst man sich mit der Aufstellung der Regressionsfunktion, deren Konstante und Koeffizienten berechnet werden. Tabelle 18 schildert die Ergebnisse.

<b>Tabelle 18: Regressionsanalyse mit Parametern des Einkommens</b>				
	gültige Fälle	Regressionskoeffizient B, nicht standardisiert	Ordinatenabschnitt	Regressionskoeffizient Beta, standardisiert
Konstante			-0,784	
Mittleres Pro-Kopf-Einkommen (EK)	23	0,001104		0,655

Mit den Kennzahlen in Tabelle 18 wird die Regressionsfunktion wie folgt aufgestellt:

$$(III) \quad CO_2 \text{ (Str-v)} = 0,001104 * EK/EW - 0,784$$

Wie ersichtlich ist, wurden vom Programm alle gewählten Einkommensgruppen wieder herausgenommen, so dass sich nur die Variable des *mittleren Pro-Kopf-Einkommens* als Parameter erhalten hat. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen erklären sich vermutlich am besten mit dieser unabhängigen Größe. Bevor jedoch konkrete Aussagen gemacht werden können, muss die Güte der aufgestellten Funktion überprüft werden.

*b) Prüfung der Regressionsfunktion*

Betrachten wir die Funktion global, so muss geklärt werden, ob die eruierten Beziehungen auch als Modell in der Realität Gültigkeit besitzen.

Das Bestimmtheitsmaß R<sup>2</sup> und die entsprechenden Kennwerte der Varianz sind in Tabelle 19 dargestellt.

<b>Tabelle 19: Prüfung der Regressionsfunktion zum Einkommen</b>					
	Bestimmtheitsmaß R <sup>2</sup>	Korrigiertes Bestimmtheitsmaß	Gesamtabweichung	Erklärte Abweichung	Residuen
Regressionsfunktion zum Einkommen	0,655	0,401	2,417	1,036	1,38

Aus der Tabelle kann entnommen werden, dass bei einem Bestimmtheitsmaß von 0,655 ein Anteil von 65,5% der Gesamtvarianz erklärt werden kann. Diese Erklärung der Abweichung von den beobachteten zu den erwarteten Werten ist mit nur einem Regressor beträchtlich und deutet darauf hin, dass das mittlere Pro-Kopf-Einkommen eine den CO<sub>2</sub>-Ausstoß stark beeinflussende Variable darstellt.

Betrachtet man das korrigierte Bestimmtheitsmaß (0,401) und vergleicht es mit denen, die in der Regressionsanalyse der Dichte-Parameter (0,312) und in der Regression mit den verkehrsstrukturellen Parametern errechnet wurden (0,442), ergibt sich für dieses Modell ein mittlerer Wert. Wie bereits an voriger Stelle betont, gelingt mit diesem Maß der Vergleich von Funktionen, die eine unterschiedliche Zahl von Regressoren beinhalten. Demzufolge muss geschlussfolgert werden, dass das hier aufgestellte Modell nicht besser ist als das Modell mit verkehrsinfrastrukturellen Parametern, was wahrscheinlich auf die Anzahl von nur einem Regressor zurückgeht. Obwohl die Größe *mittleres Pro-Kopf-Einkommen* als sehr bedeutend eruiert wurde, scheint der Einsatz von diesem einen Parameter für die CO<sub>2</sub>-Minderung nicht ausreichend.

Aus diesem Grunde wird vermutet, dass die Kombination aller hier betrachteten Modelle mit den jeweils einflussreichen Indikatoren fruchtbar sein könnte.

Bevor diesem Gedanken nachgegangen wird, soll die Überprüfung dieser Regression mit dem Verdacht des starken Einflusses des *mittleren Pro-Kopf-Einkommens* zu Ende gebracht werden.

Das zweite Prüfkriterium stellt wieder die F-Statistik dar und prüft die Gültigkeit über die Grundgesamtheit hinaus. Die nächste Tabelle schildert die Ergebnisse.

<b>Tabelle 20: F-Statistik der Regression mit Parametern zum Einkommen</b>			
	Theoretischer F-Wert (Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$ )	Empirischer F-Wert	Irrtumswahrscheinlichkeit
Regressionsfunktion zum Einkommen	4,32	15,751	0,001

Die F-Statistik schließt mit einem sehr guten Ergebnis ab. Der empirische Wert ist ungleich Null und gleichzeitig wesentlich größer, als der theoretisch vorgegebene. Dieses Ergebnis ist mit einer Sicherheit von 0,001 sehr signifikant. Aus diesem Grunde kann vermutet werden, dass das aufgezeigte Modell auch über die Grundgesamtheit hinaus Gültigkeit besitzt. Die geprüfte Nullhypothese kann mit hoher Wahrscheinlichkeit verworfen werden.

Zur Absicherung der genannten Vermutung sollen nun die Koeffizienten überprüft werden.

*c) Prüfung der Regressionskoeffizienten*

Die T-Statistik dient ein weiteres Mal dem Test der Koeffizienten der Regressionsfunktion. Die Ergebnisse sind in Tabelle 21 dargestellt.

<b>Tabelle 21: T-Statistik der Regression mit Parametern zum Einkommen</b>			
	Theoretischer T-Wert	Empirischer T-Wert	Irrtumswahrscheinlichkeit
Konstante	2,080	-1,800	0,086
Mittleres Pro-Kopf-Einkommen	2,080	3,969	0,001

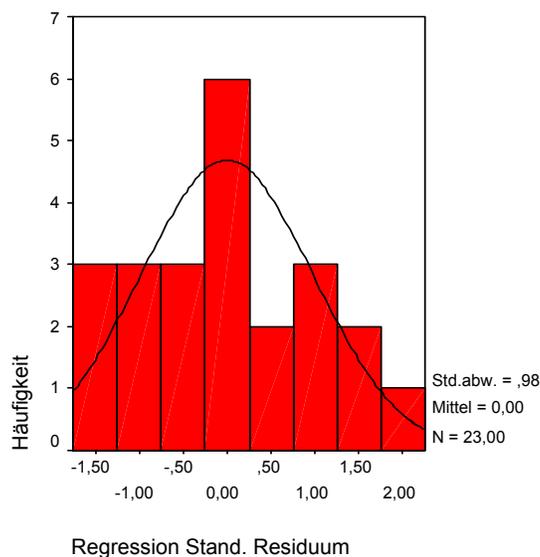
Die Interpretation der T-Statistik zeigt, dass der empirische Wert von 3,969 den theoretischen, kritischen Wert von 2,080 übersteigt und damit ungleich Null ist. Die Irrtumswahrscheinlichkeit dieser Aussage beträgt 0,001. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass ein Verwerfen der Nullhypothese gerechtfertigt ist. Ein starker Einfluss und ein großer Erklärungsbeitrag der unabhängigen Variable *mittleres Pro-Kopf-Einkommen* auf die abhängige Größe des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im Straßenverkehr kann dadurch, wie bereits vermutet, bestätigt werden.

Trotz dieses positiven Ergebnisses muss auch hier die genaue Überprüfung der Linearität angestellt werden, was im Folgenden geschehen soll.

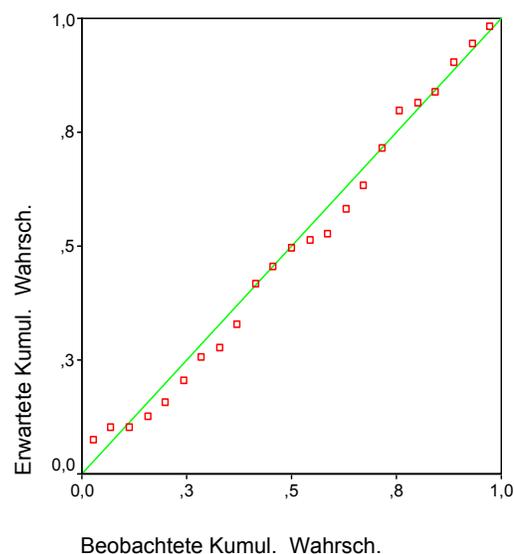
*d) Grafische Prüfung auf Linearität*

Um die annähernde Linearität sicherzustellen, die als Bedingung für das Anwenden dieses Analyseverfahrens vorausgesetzt wurde, wird analog zu den vorhergehenden Analysen ein Histogramm und ein Normalverteilungsplot der Residuen erstellt.

**Abbildung 15: Histogramm zur Analyse des Einkommens**



**Abbildung 16: Normalverteilungsplot zur Analyse des Einkommens**



Die Betrachtung der Verteilung der Residualwerte im Histogramm lässt auch hier keine gute Anpassung an die Gaußsche Glockenkurve erkennen. Jedoch zeigt sich im Normalverteilungsplot, dass die Abweichungen hier schwächer ausfallen. Die Werte weisen eine bessere lineare Verteilung auf, die Anwendung der linearen Regression sollte damit gerechtfertigt sein. Dennoch lässt die Uneinheitlichkeit in der grafischen Prüfung auf die beschriebenen Mängel des Modells schließen.

### **3.6.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

Die Parameter *niedrige, mittlere und hohe Einkommensgruppe*, sowie *mittleres Pro-Kopf-Einkommen* korrelieren signifikant und sehr signifikant mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr und bringen somit den starken Einfluss des Einkommens auf das Verkehrsverhalten von Personen zum Ausdruck.

Den größten Erklärungsbeitrag leistet der Parameter *mittleres, monatliches Pro-Kopf-Einkommen*, denn dieser wurde bei der multiplen Analyse als einzige unabhängige Variable nicht ausgeschlossen. Er besitzt den größten Erklärungsbeitrag in dieser Untergruppe und stellt eine sehr wichtige Einflussgröße des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im Verkehr dar.

In den Hypothesen 1 bis 5 wurden alle Parameter untersucht, die im Vorfeld dieser Analyse durch das theoretische Studium von Literatur und anderen Untersuchungen als potentiell einflussreich eruiert wurden. In den einzelnen Analysen konnten anschließend die jeweils bedeutsamen und einflussstärksten Parameter jeder Gruppe eruiert werden. Wie bereits angeführt wurde, besteht jedoch die Vermutung, dass keines der hier aufgestellten Modelle allein einen ausreichenden Erklärungsbeitrag für die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr liefern kann, denn die korrigierten Bestimmtheitsmaße weichen nicht wesentlich voneinander ab. Als letzter Schritt bleibt deshalb, alle bis dahin als bedeutend befundenen Parameter einer gemeinsamen Regressionsanalyse zu unterziehen, um die Größe mit dem stärksten Erklärungsbeitrag für die abhängige Variable ermitteln zu können.

## 3.7 Endanalyse zur Kombination von Siedlungsstruktur, Verkehrsstruktur und Einkommen

### 3.7.1 Einleitung

Die Analyse beabsichtigt eine Antwort auf die Frage zu geben, ob verkehrsstrukturelle, siedlungsstrukturelle oder finanzielle Parameter den CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Verkehrsteilnehmern einer Großstadt am stärksten zu beeinflussen vermögen. Wie bereits durch die Literatur aufgezeigt werden konnte, wird bei den siedlungs- und verkehrsstrukturellen Parametern ein, wenn auch zu unterschiedlichen Anteilen, großes Reduktionspotential erwartet. Viele Autoren betonen ebenfalls die Kombination mit finanziellen Anreizen. Inwieweit diese allerdings das Einsparvermögen der siedlungs- und verkehrsstrukturellen Größen ersetzen können, wird nicht im Konsens geklärt. Zu dieser Diskussion soll die kombinierte Analyse beitragen.

Aus den Ergebnissen der bereits durchgeführten Analysen werden folgende Hypothesen aufgestellt:

### 3.7.2 Hypothese 6: Nur eine Kombination von siedlungsstrukturellen, verkehrsstrukturellen und finanziellen Indikatoren kann die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr umfassend erklären.

### Hypothese 7: Das mittlere Pro-Kopf-Einkommen besitzt einen stärkeren Einfluss auf und somit größeren Erklärungsbeitrag für die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr als die Größen Verkehrsfläche je Einwohner und Arbeitsplätze je Einwohner.

#### 3.7.2.1 Operationalisierung

Zur Auswertung gelangen die in den vorigen Analysen eruierten Einflussgrößen des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im Straßenverkehr. Als unabhängige Größen fließen deshalb folgende Parameter ein:

- *Arbeitsplätze je EW*
- *Bebaute Gesamtfläche*
- *Verkehrsfläche je EW*
- *Anzahl der Kfz je EW und*
- *Mittleres Pro-Kopf-Einkommen.*

Da diese Variablen in den vorigen Schritten der Analyse bereits einer Korrelationsanalyse unterzogen und als einflussreich erkannt wurden, kann hier auf eine nochmalige Anwendung dieses Instrumentes verzichtet werden. Aus diesem Grunde wird eine Analyse lediglich mit Hilfe der Regression erstellt.

### 3.7.2.2 Analyse

#### 3.7.2.2.1 Regressionsanalyse

Der grafische Test auf Linearität zur Abschätzung dergleichen kann an dieser Stelle ebenfalls unterlassen werden, da er schon in den vorangestellten Analyseschritten durchgeführt wurde. Es kann demzufolge ein linear verteilter Zusammenhang der abhängigen und unabhängigen Größen vorausgesetzt und gleich zur Schätzung der Regressionsfunktion übergegangen werden.

##### a) *Schätzung der Regressionsfunktion*

Nach Durchführung der multiplen linearen Regression ergeben sich folgende in Tabelle 22 dargestellten Kennzahlen für die Regressionsfunktion.

<b>Tabelle 22: Ergebnisse der kombinierten Regression</b>				
	gültige Fälle	Regressionskoeffizient B, nicht standardisiert	Ordinatenabschnitt	Regressionskoeffizient Beta, standardisiert
Konstante			-0,657	
Arbeitsplätze je EW	23	0,302		0,347
Bebaute Gesamtfläche	23			
Verkehrsfläche je EW	23	0,007379		0,368
Anzahl der Kfz je EW	23			
Mittleres Pro-Kopf-Einkommen	23	0,0007379		0,437

Die Variablen *Arbeitsplätze je EW*, *Verkehrsfläche je EW* und *mittleres Pro-Kopf-Einkommen* wurden nicht ausgeschlossen, die Variablen *bebaute Gesamtfläche* und *Anzahl der Kfz je EW* erwiesen sich für die Bestimmung dieser Funktion im Verhältnis zu den anderen Größen als zu unsicher und wurden ausgeschlossen, wie in Tabelle 22 verfolgt werden kann.

Aus den Ergebnissen der Analyse lässt sich die Regressionsfunktion zur Ermittlung der abhängigen Variable CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs folgendermaßen aufstellen:  
 (IV)  $CO_2(\text{Str-v}) = 0,302 \cdot AP/EW + 0,007379 \cdot Vfl/EW + 0,0007379 \cdot EK/EW - 0,657$

Soll jedoch ein Vergleich der unabhängigen, erklärenden Variablen untereinander erfolgen, muss man wiederum die Beta-Koeffizienten zu Hilfe nehmen. Danach wird deutlich, dass die Variable *mittleres Pro-Kopf-Einkommen* den größten Einfluss auf die abhängige Variable ausübt, denn dieser Wert ist mit 0,437 gegenüber 0,368 und 0,347 am größten. Andererseits kann aus den Differenzen der Beta-Koeffizienten ebenfalls geschlossen werden, dass die Unterschiede der Erklärungsbeiträge nicht erheblich sind.

Um diese Aussagen sicherzustellen, wird im nächsten Abschnitt die Güte der Regressionsfunktion als Ganzes getestet.

#### b) Prüfung der Regressionsfunktion

Die globale Prüfung der Regressionsfunktion erfolgt wiederum über die Auswertung des Bestimmtheitsmaßes und der Kennwerte der F-Statistik.

Die Ergebnisse des Ersteren gibt Tabelle 23 wieder.

<b>Tabelle 23: Prüfung der kombinierten Regressionsfunktion</b>					
	Bestimmt- heitsmaß R <sup>2</sup>	Korrigiertes Bestimmt- heitsmaß	Gesamt- abweichung	Erklärte Abwei- chung	Resi- duen
Kombinierte Regressionsfunktion	0,678	0,627	2,417	1,639	0,778

Das Bestimmtheitsmaß der kombinierten Regressionsfunktion weist einen Wert von 0,678 auf, was bedeutet, dass 67,8% der Abweichungen der empirischen von den erwarteten Werten durch das Modell erklärt werden können. Dieses Ergebnis ist als sehr gut einzuschätzen.

Soll aber ein Vergleich zu den anderen, aufgestellten Modellen eingebracht werden, muss das korrigierte Bestimmtheitsmaß benutzt werden, da die Modelle unterschiedliche Anzahlen von Regressoren aufweisen. Das Dichte-Modell hat ein Bestimmtheitsmaß von 0,312, das Verkehrsstruktur-Modell von 0,442 und das Einkommens-Modell von 0,401. Das kombinierte Endmodell verfügt dagegen über ein korrigiertes Bestimmtheitsmaß von 0,627, was ein sehr gutes Verhältnis darstellt.

Das bedeutet, dass dieses Modell ungefähr zwei Drittel der Gesamtvarianz erklären kann und damit den größten Erklärungsbeitrag für die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr liefert.

Zur weitergehenden Prüfung soll, wie schon in den Analysen zuvor, die F-Statistik ausgewertet werden, deren Ergebnisse in Tabelle 24 einzusehen sind.

<b>Tabelle 24: F-Statistik der kombinierten Regression</b>			
	Theoretischer F-Wert (Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$ )	Empirischer F-Wert	Irrtumswahrscheinlichkeit
Kombinierte Regressionsfunktion	3,13	13,347	0,000

Der empirische F-Wert wurde mit 13,347 bestimmt, ist damit ungleich Null und übersteigt den theoretischen F-Wert von 3,13 beträchtlich. Das Ergebnis ist mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,000 zudem als höchst signifikant einzuschätzen.

Daraus folgt, dass die Nullhypothese mit höchster Wahrscheinlichkeit verworfen werden kann. Das Modell scheint auch über die Grundgesamtheit hinaus Gültigkeit zu besitzen. Um sich der Güte des Modells aber wirklich sicher zu sein, werden im Folgenden noch die Koeffizienten überprüft.

*c) Prüfung der Regressionskoeffizienten*

Zur Prüfung der Regressionskoeffizienten wird ein weiteres Mal die T-Statistik herangezogen. Die Ergebnisse dazu sind in Tabelle 25 dargestellt.

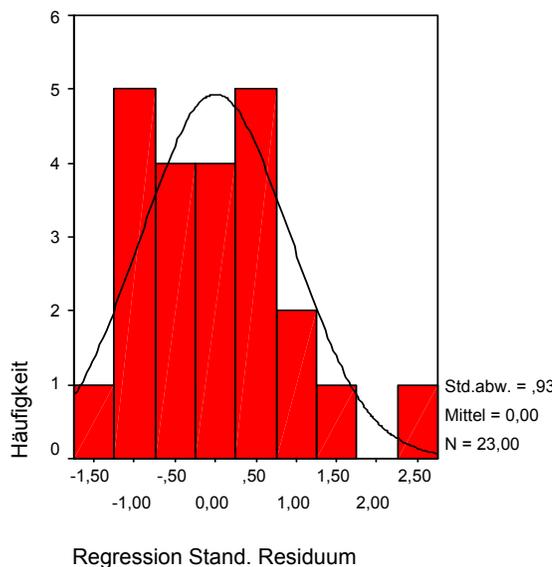
<b>Tabelle 25: T-Statistik der kombinierten Regression</b>			
	Theoretischer T-Wert	Empirischer T-Wert	Irrtumswahrscheinlichkeit
Konstante	2,093	-1,859	0,079
Arbeitsplätze je EW	2,093	2,972	0,008
Verkehrsfläche je EW	2,093	2,625	0,017
Mittleres Pro-Kopf-Einkommen	2,093	2,490	0,022

Die Auswertung der T-Statistik ermöglicht die Entscheidung, ob die Nullhypothese zu den Einflussgrößen der einzelnen Variablen verworfen werden kann oder zugelassen werden muss. Die absoluten, empirischen Werte müssen größer als Null sein, was bei allen Variablen der Fall ist, und zudem größer, als der kritische, theoretische Wert. Diese Bedingung ist hinsichtlich der Konstanten nicht gegeben. Im Falle der ermittelten Konstanten müsste die Nullhypothese also zugelassen werden, was soviel bedeutet, wie, dass die Erklärungskraft dieses Summanden für die Regressionsfunktion nicht gegeben ist. Allerdings sieht man auch, dass die ermittelte Signifikanz sehr gering ist, und darum das Ergebnis als nicht sicher eingeschätzt werden kann. Die empirischen T-Werte der Variablen übersteigen alle den kritischen, theoretischen Wert. Daraus wird geschlussfolgert, dass der Erklärungsbeitrag der ermittelten Parameter für die Regressionsfunktion gegeben ist. Die Nullhypothese wird in allen Fällen verworfen. Die statistischen Verfahren zur Prüfung der Regressionsanalyse fielen alle positiv für das Modell aus. Trotzdem soll anschließend, auch der Vollständigkeit wegen, die Überprüfung der Linearität erfolgen.

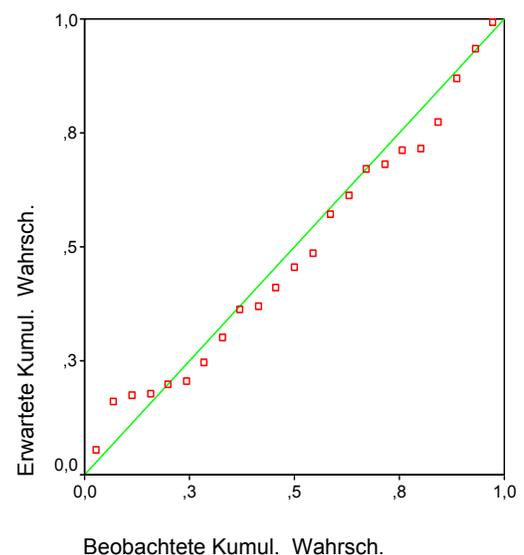
*d) Grafische Prüfung auf Linearität*

Wie in den vorigen Analyseeinheiten wird auch an dieser Stelle die zu Beginn vorausgesetzte Linearität der Verteilung der abhängigen und unabhängigen Größen überprüft werden. Dazu wurden das Histogramm und das Normalverteilungsplot der standardisierten Residuen erstellt, die hier eingefügt sind.

**Abbildung 17: Histogramm zur kombinierten Endanalyse**



**Abbildung 18: Normalverteilungsplot zur kombinierten Endanalyse**



Das Histogramm der standardisierten Residuen sollte auch hier einer Gaußschen Glockenkurve ähneln und so eine Normalverteilungskurve widerspiegeln. Wie hier zu sehen ist, ergibt sich diese Annäherung für das aufgestellte Modell wesentlich besser als in den anderen Modellen, wenn man sich die zuvor erstellten Histogramme vor Augen hält. Es wird deutlich, dass diese Verteilung einer Glockenkurve am stärksten gleicht.

Das daran anschließende Normalverteilungsplot der kumulierten, standardisierten Residuen zeigt, dass die empirischen Werte von der Geraden doch etwas, aber nicht schlechter als in vorangestellte Analysen, abweichen. Es kann von einer Normalverteilung ausgegangen werden. Das kombinierte Endmodell erweist sich unter Berücksichtigung beider grafischer Tests als das entsprechend beste Modell zur Erklärung von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr.

### **3.7.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

In der zuletzt betrachteten Analyse wurden alle zuvor bedeutsam befundenen Indikatoren des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in Berlin einer kombinierten Analyse unterzogen, da die zuvor durchgeführten Untersuchungen zu den einzelnen Parametergruppen keinen angemessenen Erfolg in der Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen vermuten ließen. Die kombinierte Analyse von siedlungsstrukturellen, verkehrsstrukturellen und finanziellen Parametern erwies sich in der Tat als das erfolgversprechendste Modell. Das bedeutet, dass die Variablen *mittleres Pro-Kopf-Einkommen*, *Verkehrsfläche je EW* und *Arbeitsplätze je EW*, den größten Erklärungsbeitrag für CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs in Berlin liefern und demzufolge auch die einflussstärksten Parameter in der CO<sub>2</sub>-Minderung darstellen. Die Analyse macht damit deutlich, dass die aufgeführten Einflussgrößen immer kombiniert angewendet werden sollten, da nur durch das gleichzeitige Einsetzen der Variablen der Erfolg dahingehend eingesetzter Maßnahmen sichergestellt werden kann.

## 4 Fazit

Eine Diskussion um die bedeutendsten Einflussparameter der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Agglomerationen begann in den 80er Jahren mit der von NEWMAN & KENWORTHY aufgestellten These, dass die *Siedlungs-* und *Arbeitsplatzdichte* einer Stadt maßgeblich den CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Einwohner im Straßenverkehr beeinflussen. Ausgehend davon kann durch diese Untersuchung ein Urteil gefällt werden, das den in der Theorie behaupteten, dominanten Einfluss der *Siedlungsdichte* zurückweisen muss. In Verbindung mit den hier untersuchten Einflussgrößen besitzt die *Siedlungsdichte* keinen Erklärungsbeitrag für die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Straßenverkehr. Der *Arbeitsplatzdichte* wird allerdings auch in Berlin gewisse Bedeutung beigemessen. Er wird aber in seiner Stärke von anderen Parametern übertroffen und kann alleine nicht genügend Erklärungsbeitrag für die CO<sub>2</sub>-Ausstöße im Straßenverkehr in Berlin liefern. Die hier ausschlaggebenden Parameter des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes der Einwohner im Straßenverkehr stellen die Größen *mittleres Pro-Kopf-Einkommens*, *Verkehrsfläche je EW* und *Arbeitsplätze je EW* dar. Bemerkenswert ist aber, dass sich für den Parameter *Arbeitsplätze je EW* in dieser Analyse entgegengesetzte Beziehungen als in der Studie von NEWMAN & KENWORTHY ergeben. Die vorliegende Untersuchung kam zu dem Ergebnis, dass der Dichte-Faktor *Arbeitsplätze je EW* auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Straßenverkehr induzierend und nicht reduzierend wirkt. Das bedeutet, dass eine hohe Arbeitsplatzdichte innerhalb einer Region dort ein hohes Straßenverkehrsaufkommen vermuten lässt, und nicht umgekehrt, wie in der Theorie behauptet.

Die weiteren Schritte in der Analyse machten deutlich, dass die größten Erfolge im Einfluss auf die Straßenverkehrs-CO<sub>2</sub>-Emissionen erzielt werden, wenn die drei eruierten Parameter zusammen eingesetzt werden. Damit kann festgehalten werden, dass die Suche nach einem einzigen Maßnahmenbereich zur effizienten Verringerung der CO<sub>2</sub>-Ausstöße im Straßenverkehr, entweder in der Siedlungsstruktur, in der Verkehrsstruktur oder im finanziellen Budget, nur wenig Erfolg verspricht.

Dennoch ergibt sich eine Rangfolge in der Stärke der Erklärungsbeiträge, welche das *mittlere Pro-Kopf-Einkommen* von den hier untersuchten Variablen als jene mit dem größten Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen herausstellt. Die Bedeutung der Variablen *Verkehrsfläche je EW* und *Arbeitsplätze je EW* ist jeweils etwas schwächer.

---

Diese und andere Beobachtungen aus der Analyse lassen die Deutung zu, dass sich in den Bereichen Verkehrsstruktur und Siedlungsstruktur weniger Modifizierungs- und Reduzierungsmöglichkeiten für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß aufzeigen, wenn sie nicht gleichzeitig mit finanziellen Anreizen und Beschränkungen eingesetzt werden.

Die ausführlich vorgestellte Hypothese von SCHÄFER kann damit für das Beispiel Berlin verifiziert werden. Der Größe des *Pro-Kopf-Einkommens* wurde in den Theorieansätzen der vergangenen Jahre wohl zu wenig Bedeutung beigemessen.

Die sich dadurch ergebenden Möglichkeiten zur CO<sub>2</sub>-Verminderung, konnten somit nicht ausgeschöpft werden. Es eröffnen sich neue Perspektiven für die Kommunalpolitik. Diese und andere daraus resultierende Schlussfolgerungen werden im folgenden Kapitel noch diskutiert werden.

## 5 Ausblick

Die Analyseergebnisse zeigen, dass der Größe des *mittleren Pro-Kopf-Einkommens* im Untersuchungsraum Berlin sehr große Bedeutung beigemessen werden muss. In Bereichen der exekutiven Stadtplanung, die zunehmend auf ökologische Ziele ausgerichtet werden soll, kann man auf finanzielle Anreize nicht verzichten, gerade um eine ökologische Ausrichtung zu verstärken. Eine nachhaltige Stadtentwicklung sollte zur Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen neben den klassischen Aufgabenfeldern Siedlungs- und Verkehrsstruktur von finanziellen Maßnahmen begleitet werden. Daraus ergibt sich jedoch die Frage, welche Maßnahmen innerhalb des Bereichs finanzieller Parameter nun verfolgt werden sollten? Bedeutet es, dass ein Anheben der Preise für Kraftstoff am effizientesten ist? Oder sollte die Senkung der Fahrpreise im ÖPNV angestrebt werden?

Einblicke in diese Beziehungen erlauben statistische Berechnungen zum Verkehrsverhalten unterschiedlicher Einkommensgruppen. Die Ergebnisse einer linearen Regression, welche im Anhang aufgeführt ist, deckt eine besonders starke negative Beziehung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zur Gruppe mit niedrigem Einkommen auf. Der eruierte positive Zusammenhang zur Gruppe mit hohem Einkommen war im Gegensatz dazu schwächer. Die Interpretation der Ergebnisse besagt, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Stadtbezirken mit einem großen Anteil armer Bevölkerung stark vermindert sind, und zwar zu einem größeren Betrag als umgekehrt in Stadtbezirken mit besonders reicher Bevölkerung mehr produziert wird. Daraus kann geschlossen werden, dass es vor allem dann zu Einsparungen an CO<sub>2</sub> kommt, wenn das durchschnittliche Einkommen der Bevölkerung geringer ist. Ob sich das jedoch daraus erklärt, dass ärmere Bevölkerungsschichten weniger mobil sind oder daraus, dass sie die Fahrten mit weniger CO<sub>2</sub>-induzierenden Verkehrsmitteln, etwa per Fuß, Fahrrad oder ÖPNV, zurücklegen, kann nicht eindeutig abgeleitet werden. Ebenfalls bleibt es unklar, ob das Verteuern des Kraftstoffs oder das Verbilligen des ÖPNV effektiv zu weniger CO<sub>2</sub>-Ausstößen führt. Spekulativ könnte aus den Ergebnissen jedoch geschlossen werden, dass das Anheben der Benzinpreise stärkere Einschnitte bringen könnte. Es werden dadurch schneller die beschriebenen Grenzen des Finanzbudgets für Mobilität erreicht, die eine Änderung der Verhaltensweisen vermuten lassen. Das wäre jedoch schwer möglich, wenn durch die Verbilligung des Verkehrs mehr Fahrten für die konstant erachteten Einkommensanteile für Verkehrszwecke möglich werden. Die Diskussion kann innerhalb der hier vorliegenden Analyse aber nicht genügend erörtert werden, sondern bedarf als offene Forschungsfrage weiterer Untersuchungen.

Betrachtet man den Bereich der Siedlungsstruktur so können mit dieser Untersuchung jedoch konkretere Aussagen getroffen werden. Eine hohe städtische Dichte stellt nicht das Allheilmittel zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen dar. Vielmehr sollte man von einem Dichte-Optimum auf kommunaler Ebene ausgehen, bei dem das gleichzeitige Auftreten verschiedenster Verkehrsarten betrachtet und optimiert wird. Da bei zu hoher Siedlungs- oder Einwohnerdichte Vorteile der physischen Nähe von Nutzungen durch neue Probleme, z. B. Staus und hohem, kompensierenden Freizeitverkehr ausgeglichen werden, sollte das Anstreben höherer Dichte nicht „blind“ vorangetrieben werden.

Ausgehend von diesen Beobachtungen sollte das Optimum der Einwohner- und Siedlungsdichte für eine spezifische Region diskutiert werden: Reichen die in Europa üblichen Siedlungsdichten vielleicht aus? Bewegen sich die hier durchschnittlichen Siedlungsdichten in Größen, wo eine Änderung der Siedlungsstruktur nicht nötig wird? Diese Fragestellung kann so pauschal nicht beantwortet werden. In Europa, wo die kommunalen Einwohner- und Siedlungsdichten weitaus höher liegen als z. B. in den Vereinigten Staaten, müssen jedoch Unterscheidungen bezüglich des Stadtzentrums und der Stadtränder getroffen werden. Denn auch hier bewegen sich die Dichtewerte der suburbanen Räume in Größenordnungen, wie sie die lose Bebauung der amerikanischen und australischen Städte kennzeichnen. Viele Autoren verfolgen deshalb die Strategien einer Nachverdichtung von kommunalen Lebensräumen. Diese Strategien beziehen sich aber meist nur auf die innerstädtischen Gebiete, die noch oft von einer relativ hohen Bebauungsdichte gekennzeichnet sind. Wie bereits angeführt, gehen NEWMAN & KENWORTHY von einem Schwellenwert der Siedlungsdichte von 20-30 EW/ha aus und bei der Arbeitsplatzdichte entsprechend von einem Kennwert von 10-15 AP/ha. Werden diese Dichtewerte unterschritten, ergeben sich sprunghaft ansteigende Energieverbräuche im Verkehrssektor. Vergleicht man die Zahlen von 1995 in Gesamt-Berlin mit den vorgegebenen Schwellenwerten, fällt auf, dass sowohl die Siedlungsdichte mit 116,57 EW/ha als auch die Arbeitsplatzdichte mit 37,94 AP/ha deutlich über den kritischen Werten liegt. Legt man dagegen die Zahlen der Außenbezirke zu Grunde<sup>126</sup> ergibt sich immer noch eine Siedlungsdichte von 71,93 EW/ha und eine Arbeitsplatzdichte von 15,40 AP/ha<sup>127</sup>. Daran sieht man, dass nur im Falle der Arbeitsplatzdichte der kritische Wert von 10-15 AP/ha in den Außenbezirken Berlins berührt wird. Diese Beobachtung unterstützt den Vorschlag von WEGENER, Vororte und suburbane Räume zu verdichten.

---

<sup>126</sup> Als Außenbezirke gelten: Pankow, Weißensee, Hohen-Schönhausen, Marzahn, Hellersdorf, Köpenick, Treptow, Neukölln, Tempelhof, Steglitz, Zehlendorf, Spandau und Reinickendorf.

<sup>127</sup> Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, persönliche Datenanforderung

Denn die Dezentralisierung der Bevölkerung in vielen städtischen Agglomerationen ist soweit vorangeschritten, dass eine jetzt anschließende Dezentralisierung der Arbeitsplätze effektiver zu kürzeren Wegen führen könnte als der Versuch die Einwohner in die Innenstädte „zurückzuholen“<sup>128</sup>. Als Gegensatz zur Strategie der Nachverdichtung von Innenstädten könnte diese Maßnahme einerseits zur Milderung der Probleme der immer stärker nachgefragten, suburbanen Siedlungsformen führen und andererseits die Überlastung der bereits höher verdichteten Innenstädte mildern. WEGENER ist deshalb der Auffassung, dass die Reduzierung von Mobilität nicht gleichzeitig die Rekonstruktion der Städte im Stadtzentrum bedeuten müsse<sup>129</sup>. Ein Punkt, der neue Handlungsoptionen aufzeigt und ernsthaft diskutiert werden sollte. Allerdings kann auch bei dieser Maßnahme vermutet werden, dass das Einsetzen rein traditioneller stadtplanerischer Instrumente nicht ausreichen wird und dadurch das gleichzeitige Einsetzen finanzieller Anreize und Beschränkungen erforderlich macht. Dieser Gedanke wird um so deutlicher, wenn man bedenkt, dass Mobilität ein Faktor ist, der wirtschaftliche Entwicklung unterstützt oder gar erst ermöglicht<sup>130</sup>. Und umgekehrt wirtschaftliche Entwicklung mit einer höheren Nachfrage nach Mobilität verbunden ist<sup>131</sup>. Wie in der Theorie von SCHÄFER & VICTOR dargestellt, wird dieses höhere Bedürfnis nach Mobilität bei wirtschaftlicher Entwicklung und ihrem Ausdruck in steigendem Einkommen durch schnellere Raumüberwindung mit schnelleren Verkehrsmitteln befriedigt. Daraus resultierende weitere Wege, höhere Geschwindigkeiten und größere Maschinen in schnelleren Verkehrsmitteln schlagen sich in höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen nieder.

Nun kann ebenfalls die Frage gestellt werden, ob diese Beziehungen nicht durch weitergehende gesellschaftliche Entwicklung<sup>132</sup> wieder modifiziert werden. Die Antwort hierauf muss pauschal sicherlich mit ja beantwortet werden, soll jedoch näher beleuchtet werden. Wie aber erhält man Einblicke in die zukünftige Entwicklung der im Mittelpunkt stehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen, wenn man die Trendverläufe der herausgestellten Parameter *mittleres Pro-Kopf-Einkommen*, *Verkehrsfläche je EW* und *Arbeitsplätze je EW* nicht kennt?

Die Methodenauswahl dazu ist vor allem eingeschränkt, wenn man nur über Daten eines Jahrgangs und nicht über eine Zeitreihe verfügt, aus der die Entwicklung der Daten abgeleitet werden kann.

---

<sup>128</sup> Vgl. Wegener, 1999, S. 22

<sup>129</sup> Vgl. Wegener, 1999, S.22

<sup>130</sup> Vgl. World Business Council for Sustainable Development, 2001, S.6

<sup>131</sup> Vgl. Schäfer, 2000, S. 190

<sup>132</sup> Entwicklung als allgemeiner Term für Veränderung

Eine Möglichkeit besteht darin, den räumlichen Datenquerschnitt als Repräsentation verschiedener Entwicklungsstufen anzusehen. In unserem Fall bedeutet dies die Annahme, dass sich die einzelnen Stadtbezirke in unterschiedlichen Entwicklungsstadien befinden. Durch diese Betrachtung erhält man das Datenmaterial einer fiktiven Zeitreihe, so dass die durch diese Werte beschriebene Entwicklung fortgeschrieben werden kann. Dieser Methode stehen allerdings viele Kritiker gegenüber, die anzweifeln, dass sich auf Basis von zeitlichen Querschnitten zeitliche Veränderungen erkennen lassen<sup>133</sup>.

Aufgrund des hier entscheidenden Datenmangels wurde jedoch dennoch auf diese Methode zurückgegriffen. Dadurch können eventuell verfolgte Trendverläufe der Parameter grob abgeschätzt werden. Die entstandenen Ergebnisse können in Form von grafischen Schaubildern im Anhang eingesehen werden und lassen bei zwei der drei wichtigen Parameter des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes logarithmische Kurvenverläufe erkennen. Das *mittlere Pro-Kopf-Einkommen* und die *Verkehrsfläche je EW* streben demzufolge einer Sättigungsgeraden entgegen. Die Wachstumsraten bleiben hier unterhalb von Eins. Daraus ableitend kann vermutet werden, dass das *Pro-Kopf-Einkommen* und die *Verkehrsfläche pro EW* in Zukunft mit kleineren Beträgen zunehmen werden als in den letzten Jahren. Beim Parameter *Arbeitsplatzdichte* allerdings wurde ein quadratischer Verlauf beobachtet. Die *Arbeitsplatzdichte* erhöht sich demzufolge, solange bis ein angestrebtes Maximum erreicht ist und fällt danach wieder ab. Demzufolge würde jedes statistisch betrachtete Gebiet im Verlaufe der Zeit einmal ein Maximum an *Arbeitsplätzen je EW* aufweisen. Der Raum wird als Ressource für den Arbeitsmarkt einmal zum Zielpunkt arbeitsmarktschaffender Investition und arbeitsplatzbietender Unternehmen. Nach gewisser Zeit aber gehen diese zurück, das Interesse an dieser Fläche als Wirtschaftsstandort lässt nach.

Trotz z. T. abnehmender Wachstumsraten weisen alle Indikatoren eine ansteigende Entwicklung auf. Deshalb lässt sich vermuten, dass auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro EW im Straßenverkehr weiter ansteigen werden. Das Thema Stadt-Verkehr-CO<sub>2</sub> behält damit die vielerorts bereits erkannte Brisanz. Es kann für die Zukunft keine „Entwarnung“ gegeben werden. Heute und in der Zukunft sind Handlungsalternativen gefragt, wie man den steigenden CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr entgegentreten kann. Als Baustein dieser gemeinsam zu bewältigenden Aufgabe versteht sich diese Arbeit. Dennoch kommt es auch darauf an, dass die in der Wissenschaft eruierten Einflussparameter und aufgezeigten Handlungsalternativen von den verantwortlichen Personen, führenden Ämtern und executiven Einrichtungen umgesetzt werden.

---

<sup>133</sup> Vgl. Holz-Rau & Kutter, 1995, S.52

## **6 Literaturverzeichnis**

ARLT, GÜNTHER (1993): Auswirkungen von Verkehrswegenetzen auf die Umwelt, in: IÖR-Schriften, Institut für ökologische Raumentwicklung; Dresden

BACKHAUS, KLAUS, et. al. (2000): Multivariate Analysemethoden – eine anwendungsorientierte Einführung; Berlin

BÄHR, JÜRGEN (1997): Bevölkerungsgeographie; Stuttgart

BANISTER, DAVID (1992): Energy Use, Transport and Settlement Pattern; in: BREHENY, MICHAEL J. (ed.): Sustainable Development and Urban Form; London, S. 160-181

BENNETT, MARTIN; NEWBOROUGH, MARCUS (2001): Auditing energy use in cities, in: Energy Policy, 29.2001, S.125-134

BENNINGHAUS, HANS (1992): Statistik für Soziologen - Deskriptive Statistik; Stuttgart

BERGMANN, ECKHARD, et. al. (1993): Raumstruktur und CO<sub>2</sub>-Vermeidung, in: Informationen zur Raumentwicklung (IzR), 8/1993, S.489-567

BERGMANN, ECKHARD (1996): Die Städte in der Bundesrepublik Deutschland – auf dem Weg zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung ? 6. Forum der LpB, 21.-23. März 1996

BI Universal Lexikon [in 5 Bänden] (1990); Leipzig

BMU (1994): Klimaschutz in Deutschland. Erster Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen; Bonn

BMWi (2000): Energiedaten 2000 (Cd-Rom); Berlin

BREHENY, MICHAEL J. (1992): Sustainable Development and Urban Form: An Introduction; in: BREHENY, MICHAEL J. (ed.): Sustainable Development and Urban Form; London, S.1-23,

BREUSTE, JÜRGEN (Hrsg.)(1997): Leipziger Symposium „Ökologische Aspekte der Suburbanisierung“; in: Stadtökologische Forschungen Nr.12, UFZ-Bericht 7.1997

BROSIUS, FELIX (1998): SPSS 8.0: Professionelle Statistik unter Windows; Bonn

Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (Hrsg.)(1995): Energie- und CO<sub>2</sub>-Minderungskonzepte als Instrument für eine langfristig tragfähige Stadtentwicklung; Beiträge zum 330. Kurs des Instituts für Städtebau Berlin vom 28. bis 30. September 1994 in Berlin; Bonn

BÜHL, ACHIM; ZÖFEL, PETER (1998): SPSS für Windows Version 7.5 – praxisorientierte Einführung in die moderne Datenanalyse; Bonn

CUBASCH, ULRICH; KASANG, DIETER (2000): Anthropogener Klimawandel; Gotha

DIEKMANN, ANDREAS (2000): Empirische Sozialforschung – Grundlagen, Methoden, Anwendungen; Hamburg

EBERLEIN, DIETER (1998): Energie und Mobilität - Szenarien und Einsparpotentiale; in: WALCHA, HENNING; DREESBACH, PETER-PAUL (Hrsg.): Nachhaltige Stadtentwicklung - Impulse, Projekte, Perspektiven; Stuttgart; S. 216-244

Enquete Kommission (1992): Erster Bericht der Enquete Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12.Deutschen Bundestages: Klimaänderung gefährdet globale Entwicklung. Zukunft sichern – jetzt handeln; Bonn

Enquete Kommission (1995): Schlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen Bundestages: Mehr Zukunft für die Erde. Nachhaltige Energiepolitik für dauerhaften Klimaschutz; Bonn

GURATZSCH, DANKWART (2000): „Öko“ – Eine inhaltsleere Formel, Leitartikel;  
in: Die Welt, 12.10.2000

HACKL, PETER (1994): Statistik für Sozial- und Wirtschaftswissenschaften; München

HAINES, VALERIE A. (1986): Energy and Urban Form: A Human Ecological  
Critique; in: Urban Affairs Quaterly, Vol.21-3, March 1986, S: 337-353

HEINEBERG, HEINZ (2000): Grundriss Allgemeine Geographie: Stadtgeographie;  
Paderborn

HESSE, MARKUS (1992): Ökonomische Entwicklung und raumfunktionale  
Arbeitsteilung - Chancen zur CO<sub>2</sub>-Minderung ?; in: Raumordnung und Verkehr -  
Bericht zum Werkstattgespräch, Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH,  
30.11.1992, S. 30-41

HOFMEISTER, BURKHARD (1993): Stadtgeographie; Braunschweig

HOLZ-RAU, CHRISTIAN (1995): Konzepte zur Verkehrsvermeidung; in: Handbuch  
der kommunalen Verkehrsplanung, 11. Ergänzungslieferung, 9/95, S.1-31

HOLZ-RAU, CHRISTIAN; KUTTER, ECKHARD (1995): Verkehrsvermeidung -  
Siedlungsstrukturelle und organisatorische Konzepte; in: Materialien zur  
Raumentwicklung, Heft 73; Bonn

HUPFER, PETER (1996): Unsere Umwelt - das Klima - globale und lokale Aspekte;  
Stuttgart

HÜSLER, WILLI (1992): Verkehrsinfrastruktur und -geschehen: Thesen zu  
Raumordnung und Verkehr; in: Raumordnung und Verkehr - Bericht zum  
Werkstattgespräch, Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, 30.11.1992,  
S.9-21

KATO, TAKEYOSHI; YAMAWAKI, HIROSHI; SUZUOKI, YASUO (2001): Energy  
Saving Potential of Future Compact City, paper for “International Energy Workshop”  
IIASA; Laxenburg, Austria

KULS; WOLFGANG (1993): Bevölkerungsgeographie – eine Einführung; Stuttgart

KUTTER, ECKHARD (1992): Verkehr und Siedlungsplanung am Beispiel Berlin; in: Raumordnung und Verkehr - Bericht zum Werkstattgespräch, Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, 30.11.1992, S.21-29

KUTTER, ECKHARD (1993): Eine Rettung des Lebensraumes Stadt ist nur mit verkehrsintegrierender Raumplanung möglich; in: IzR, 5/6.1993, S.283-294

KUTTER, ECKHARD (1999): Die Region ist die Stadt – aber hierfür fehlen die Mobilitätskonzepte; in: Verkehr und Technik 12/1999, S.495-506

LARIVIERE, ISABELLE; LAFRANCE, GAETAN (1999): Modelling the electricity consumption of cities: effect of urban density; in: Energy Economics, 21.1999, S. 53-66

LEINER, BERND (2000): Einführung in die Statistik; München

LESER, HARTMUT (Hrsg.) (2001): Diercke – Wörterbuch Allgemeine Geographie; München

LOZAN, JOSÉ L.; GRAßL, HARTMUT; HUPFER, PETER (Hrsg.)(1998): Warnsignal Klima – Wissenschaftliche Fakten; Hamburg

LOZAN, JOSÉ L.; GRAßL, HARTMUT; HUPFER, PETER (Hrsg.)(2001): Climate of the 21<sup>st</sup> Century – Changes and Risks; Hamburg

McLAREN, DUNCAN (1992): Compact or Dispersed? Dilution is no Solution; in: Built Environment, 18/4.1992, S.268-284

MENSINK, GERT M. (1990): Creating selfsufficient cities, zit. nach BANISTER, DAVID (1992): Energy Use, Transport and Settlement Pattern; in: BREHENY, MICHAEL J. (ed.): Sustainable Development and Urban Form; London, S. 160-181

NEWMAN, PETER; KENWORTHY, JEFFREY (1989): Cities and Automobile Dependence. An International Sourcebook; Aldershot

NEWMAN, PETER; KENWORTHY, JEFFREY (1992): Winning back the cities; Marrickville

NEWMAN, PETER (1992): The Compact City: An Australian Perspective; in: The Built Environment, 18/4.1992, S.285-300

Öko-Institut (1998): Ermittlung und Darstellung der räumlichen Kohlendioxid-Emissionen in Berlin – Endbericht (CO<sub>2</sub>-Karte im Umweltatlas Berlin); Berlin

O’SULLIVAN, PATRICK (1994): Energy and architectural form; in: SAMUELS, ROBERT; PRASAD, DEO K. (ed.)(1994): Global Warming and the Built Environment; London, S. 113-124,

OWENS, SUSAN (1986): Energy, Planning, and Urban Form; London

OWENS, SUSAN (1992): Energy, Environmental Sustainability, and Land-use Planning; in: BREHENY, MICHAEL J. (ed.): Sustainable Development and Urban Form; London, S.79-105

REICHART, THOMAS (1999): Bausteine der Wirtschaftsgeographie; Bern

RICKABY, PETER A. (1992): Patterns of Land Use in English Towns: Implications for Energy Use and Carbon Dioxide Emissions; in: BREHENY, MICHAEL J. (ed.): Sustainable Development and Urban Form; London, S.182-196

ROSENZWEIG, CYNTHIA; SOLECKI, WILLIAM (2001): Climate Change and a Global City – Learning from New York; in: Environment, Vol.43/3, April 2001, S. 8-18

ROTH, UELI, et.al. (1984): Rationelle Energieverwendung in der Bauleitplanung; in: Schriftenreihe „Städtebauliche Forschung“ des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau; Vol.03/102, S.1-160

SCHÄFER, ANDREAS (1999): Global Passenger Travel: Implications for Carbon Dioxide Emissions; in: Energy, 24 (1999), S.657-679

- 
- SCHÄFER, ANDREAS; VICTOR, DAVID (2000): The future mobility of the world population; in: Transportation Research Part A, 34 (20), S.171-205
- SCHÄZTL, LUDWIG (1998): Wirtschaftsgeographie 1 – Theorie; Paderborn
- SCHÄZTL, LUDWIG (2000): Wirtschaftsgeographie 2 – Empirie; Paderborn
- SINZ, MANFRED, BLACH, ANTONIA (1994): Pendeldistanzen als Kriterium siedlungsstruktureller Effizienz; in: IzR, 7/8.1994, S. 465-480
- STEINER, FREDERICK (1994): Sprawl can be good; in: Planning, Juli 1994, S.14-17
- STERN, PAUL C., et. al., (1997): Environmentally Significant Consumption, Washington D.C.
- TOPP, HARTMUT H. (1998): Verkehrsbeziehungen in Stadtregionen nach 2000; in: WALCHA, HENNING; DREESBACH, PETER-PAUL (Hrsg.): Nachhaltige Stadtentwicklung - Impulse, Projekte, Perspektiven; Stuttgart; S.160-184
- WEGENER, MICHAEL (1999): Die Stadt der kurzen Wege: Müssen wir unsere Städte umbauen ?, IRPUD; Dortmund
- WESSEL, KARIN (1996): Empirisches Arbeiten in der Wirtschafts- und Sozialgeographie; Paderborn
- WÜRDEMANN, GERD (1998): Handlungsfelder der räumlichen Planung für eine lebenswerte und verkehrssparsame Stadt und Region; in: IzR, 6.1998, S.351-368

**Internet-Ressourcen:**

APEL, DIETER; LEHMBROCK, MICHAEL (1998a): Konzepte für eine verkehrssparende Stadtentwicklung; URL: [http://www.difu.de/publikationen/difu-berichte/2\\_97/artikel02.shtml](http://www.difu.de/publikationen/difu-berichte/2_97/artikel02.shtml), 29.11.00

APEL, DIETER; LEHMBROCK, MICHAEL (1998b): Die zukünftige Stadt: kompakt, mobil, urban; URL: [http://www.difu.de/publikationen/difu-berichte/1\\_98/index.shtml](http://www.difu.de/publikationen/difu-berichte/1_98/index.shtml), 29.11.00

HEILWIG, RIEKE (1999): Energieverbrauch im Verkehr in Deutschland; in: DIW – Wochenberichte, 10/99; URL: <http://www.diw-berlin.de/deutsch/publikationen/wochenberichte/docs/99-10-1.html>, 24.09.2001

IPCC Third Assessment Report (2001a): Climate Change 2001: The Scientific Basis - A Report of Working Group I, Summary for Policy Makers; Geneva; URL: <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>, 24.09.2001

IPCC Third Assessment Report (2001b): Climate Change 2001: The Scientific Basis - A Report of Working Group I, Technical Summary; Geneva; URL: <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>, 24.09.2001

IPCC Third Assessment Report (2001c): Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability - A Report of Working Group II, Summary for Policy Makers; Geneva; URL: <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>, 24.09.2001

IPCC Third Assessment Report (2001d): Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability - A Report of Working Group II, Technical Summary; Geneva; URL: <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>, 24.09.2001

Klimabuendnis der Städte e.V. (2000): Municipal Climate Protection Profiles - Status Report 2000; Frankfurt am Main; URL: <http://www.klimabuendnis.org/kbhome/english/municipal/frameset.htm>, 05.03.2001

Population Reference Bureau (2001a): World Population Data Sheet 2001; URL: [http://www.prb.org/Content/NavigationMenu/Other\\_reports/2000-2002/sheet1.html](http://www.prb.org/Content/NavigationMenu/Other_reports/2000-2002/sheet1.html), 18.09.2001

Population Reference Bureau (2001b): World Population Data Sheet 2001; URL: [http://www.prb.org/Content/NavigationMenu/Other\\_reports/2000-2002/sheet4.html](http://www.prb.org/Content/NavigationMenu/Other_reports/2000-2002/sheet4.html), 18.09.2001

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (2001a); URL: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i803.htm>, 11.06.2001

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (2001b); URL: [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/daten\\_fakten\\_hintergrund/de/eckdaten/emissionen.shtml](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/daten_fakten_hintergrund/de/eckdaten/emissionen.shtml), 11.06.2001

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (2001c); URL: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/de/zentren/einfuehrung.shtml>, 11.05.2001

Umweltbundesamt (1998); URL: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/klimagase/htm>, 18.09.2001

World Business Council for Sustainable Development (2001): Mobilität 2001 - Ein Überblick; URL: <http://www.wbcscdmobility.org>, 15.12.2001

### **Internet-Ressourcen der Tabellen und Abbildungen:**

- Deckblatt: Berliner CO<sub>2</sub>-Emissionen seit 1892 (Öko-Institut 1994); URL: [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/d803\\_02.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/d803_02.htm), 04.01.2002
- Abbildung 4: Erhebungssystematik des Emissionskatasters Verkehr 1993; URL: [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/d310\\_03.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/d310_03.htm), 11.06.2001
- Abbildung 6: CO<sub>2</sub>-Emissionen in Berlin nach Verursachungssektoren; URL: [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/daten\\_fakten\\_hintergruende/de/eckdaten/emissionen.shtml](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/daten_fakten_hintergruende/de/eckdaten/emissionen.shtml), 11.06.2001
- Abbildung 19: Thematische Karte zur Darstellung der Berliner Stadtbezirke; URL: <http://www.statistik.berlin.de/berl/berl5a.htm>, 04.01.2002

- Tabelle 1: Klimagase und deren Beitrag zum Treibhauseffekt für Deutschland; URL: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/klimagase.htm>, 18.09.2001
- Tabelle 2: Spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen verschiedener Energieträger; URL: [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/d803\\_02.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/d803_02.htm), 11.06.2001
- Tabelle 26: Gegenüberstellung alter und neuer Stadtbezirke in Berlin; URL: <http://www.statistik.berlin.de/berl/ber15a.htm>, 04.01.2002

#### **Relevante Organisationen für Literatur und Datenmaterial im Internet:**

- *Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change:* <http://www.co2science.org>
- *Deutsches Institut für Urbanistik:* <http://www.difu.de>
- *Institut für Raumplanung der Universität Dortmund:* <http://irpud.raumplanung.uni-dortmund.de>
- *Intergovernmental Panel on Climate Change:* <http://www.ipcc.ch>
- *Klimabündnis der Städte:* <http://www.klimabuendnis.org>
- *Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin:* <http://www.stadtentwicklung.berlin.de>
- *Skripten zur Bevölkerungs- und Siedlungsgeographie der Humboldt-Universität zu Berlin:* <http://www2.hu-berlin.de/geo/hu/kugeo/>
- *Statistisches Landesamt Berlin:* <http://www.statistik-berlin.de>
- *Umweltbundesamt Austria :* <http://www.ubavie.gov.at>
- *Umweltbundesamt Deutschland:* <http://www.bundesamt.de>
- *United States Environmental Protection Agency:* <http://epa.gov>
- *World Business Council for Sustainable Development:* <http://www.wbcsd.org>

## **7 Danksagung**

Bei der Erstellung dieser Diplomarbeit haben zahlreiche Personen entweder durch ihre direkte oder indirekte Hilfe zum Gelingen der Arbeit beitragen. Die Fülle von Hinweisen und Ideen haben mir sehr geholfen.

Mein besonderer Dank gilt Dr. Ottmar Edenhofer, der durch zahlreiche Dialoge und Diskussionen das Entstehen dieser Arbeit maßgeblich beeinflusst hat, sowie Maren Ewald, die mir mit ihrer Unterstützung immer zur Seite stand.

Außerdem möchte ich Prof. Hartmut Kowalke und Prof. Manfred Kramer von der TU Dresden danken, die durch ihre Zusage zur Betreuung erst ermöglichten, dass ich meine Diplomarbeit am Potsdam Institut für Klimafolgenforschung e.V. schreiben konnte. Ohne dem wäre es mir nicht möglich gewesen, meinem großen Interesse einer Kombination von Stadt- und Klimaforschung nachzukommen.

In Liebe meinem Großvater Hans Reckien gewidmet.

## 8 Anhang

Abbildung 19: Thematische Karte zur Darstellung der Berliner Stadtbezirke

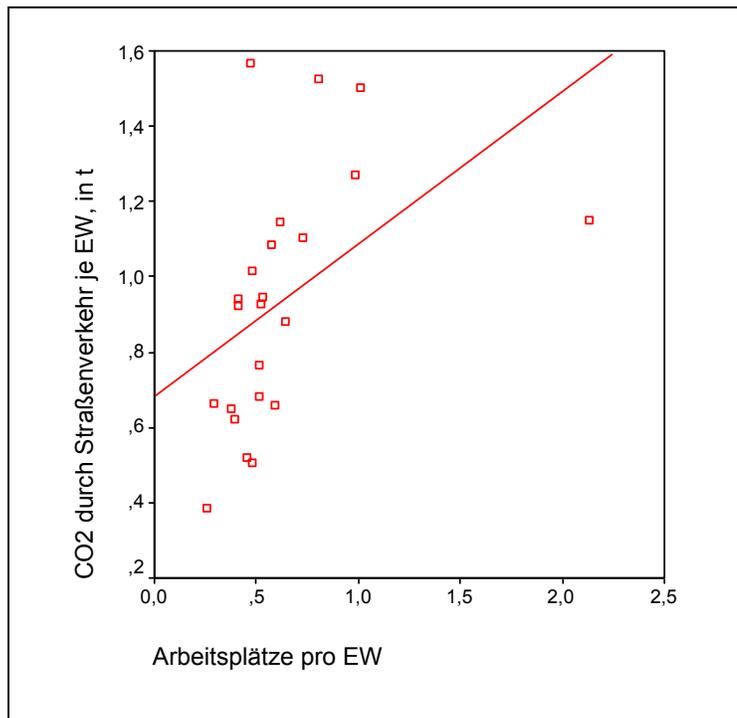


Anmerkung: Nach der Gebietsreform vom 01.01.2001 unterteilt sich Berlin in 12 Stadtbezirke. Zum Zeitpunkt des dieser Arbeit zu Grunde gelegten Basisjahres 1995 bestand Berlin aus 23 Stadtbezirken, die durch die hellen Linien gekennzeichnet sind.

Quelle: Statistisches Landesamt Berlin, Internetressource

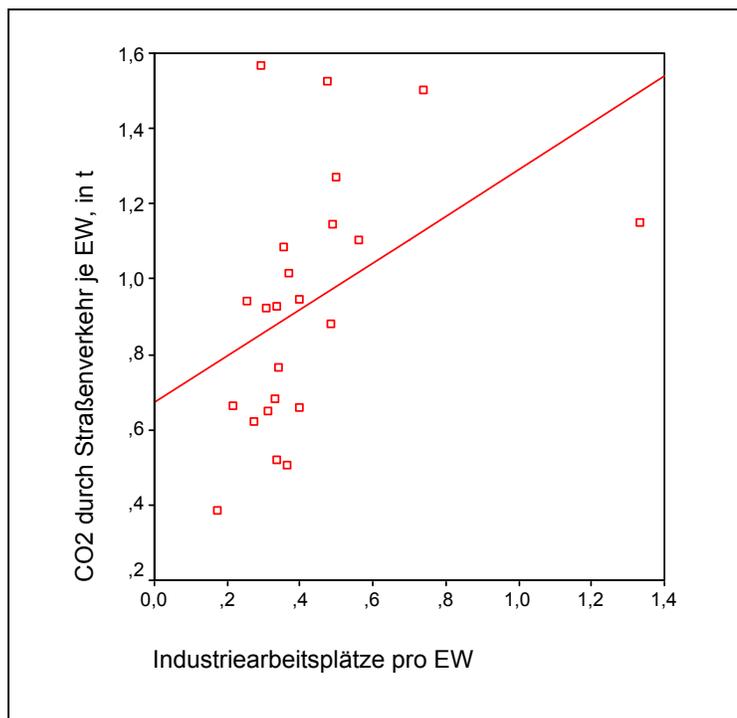
Tabelle 26: Gegenüberstellung alter und neuer Stadtbezirke in Berlin	
neue Bezirke	alte Bezirke
Mitte	Mitte, Tiergarten, Wedding
Friedrichshain-Kreuzberg	Friedrichshain, Kreuzberg
Pankow	Prenzlauer Berg, Weißensee, Pankow
Charlottenburg-Wilmersdorf	Charlottenburg, Wilmersdorf
Spandau	Spandau
Steglitz-Zehlendorf	Zehlendorf, Steglitz
Tempelhof-Schöneberg	Schöneberg, Tempelhof
Neukölln	Neukölln
Treptow-Köpenick	Treptow, Köpenick
Marzahn-Hellersdorf	Marzahn, Hellersdorf
Lichtenberg	Lichtenberg, Hohenschönhausen
Reinickendorf	Reinickendorf

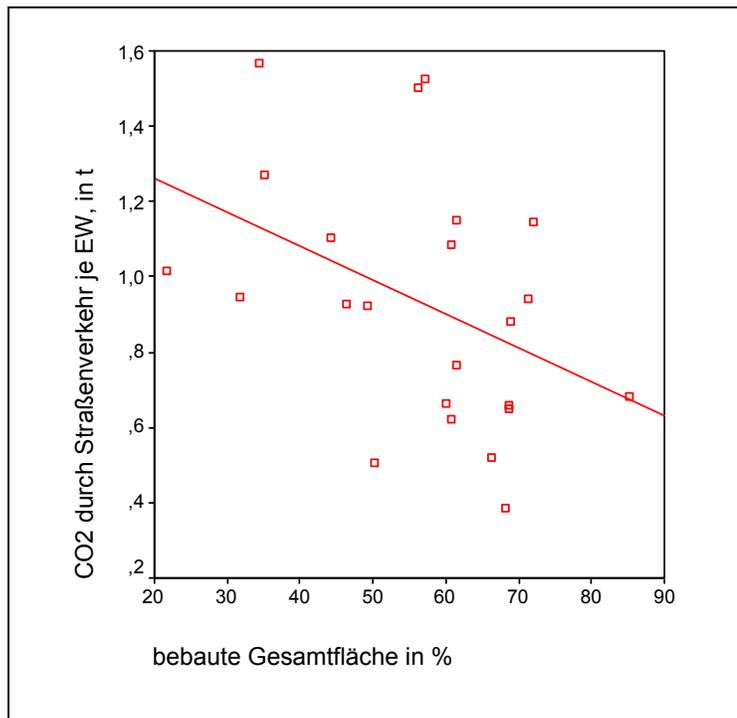
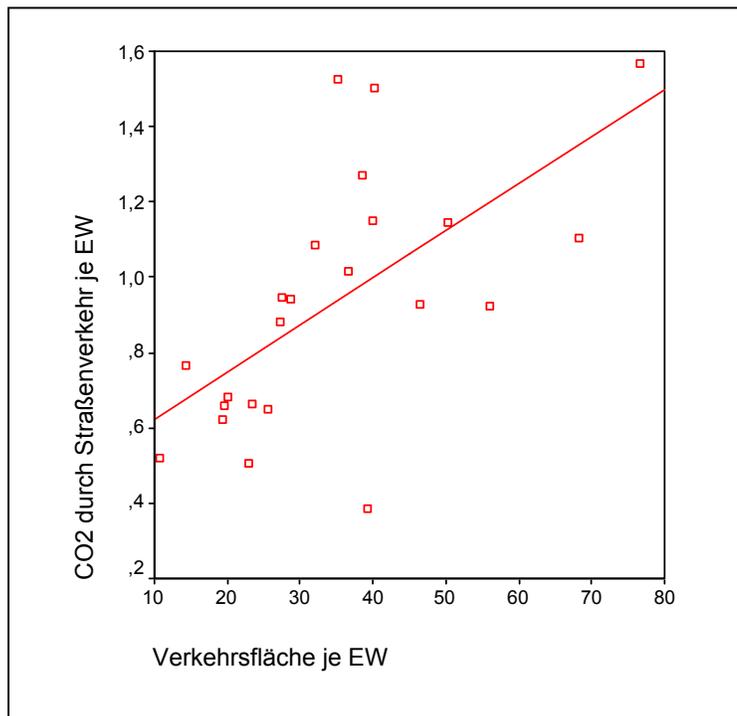
Quelle: Statistisches Landesamt Berlin, Internetressource

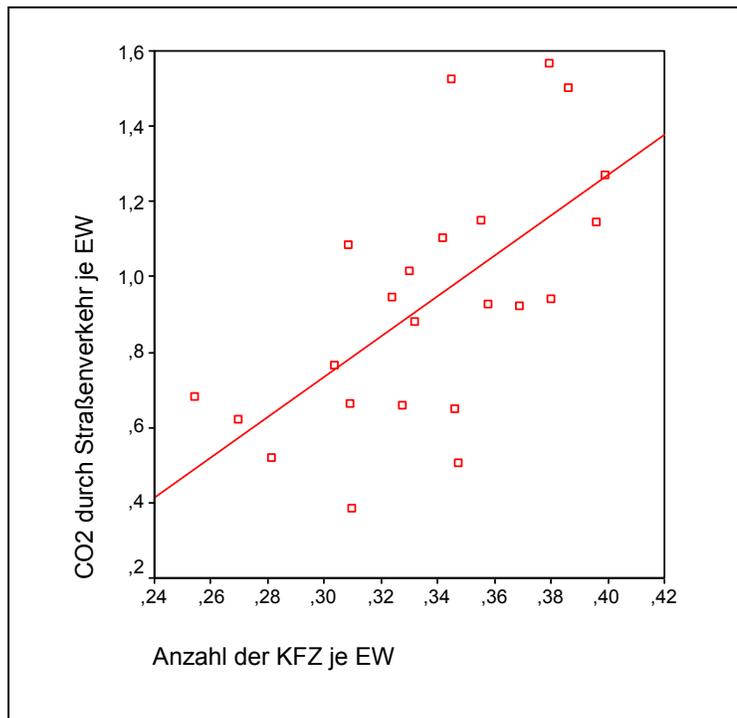
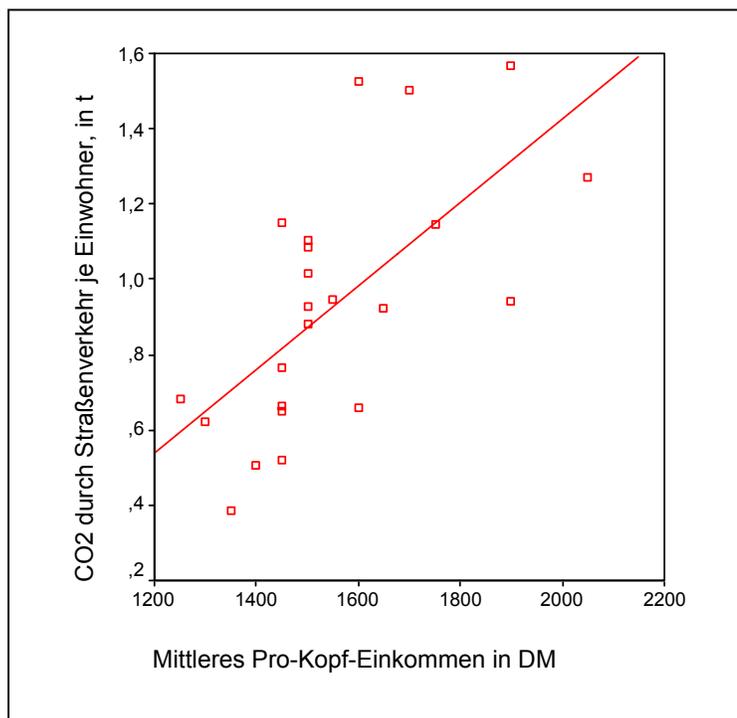
**Abbildung 20: Streudiagramm zu Arbeitsplätzen je EW**

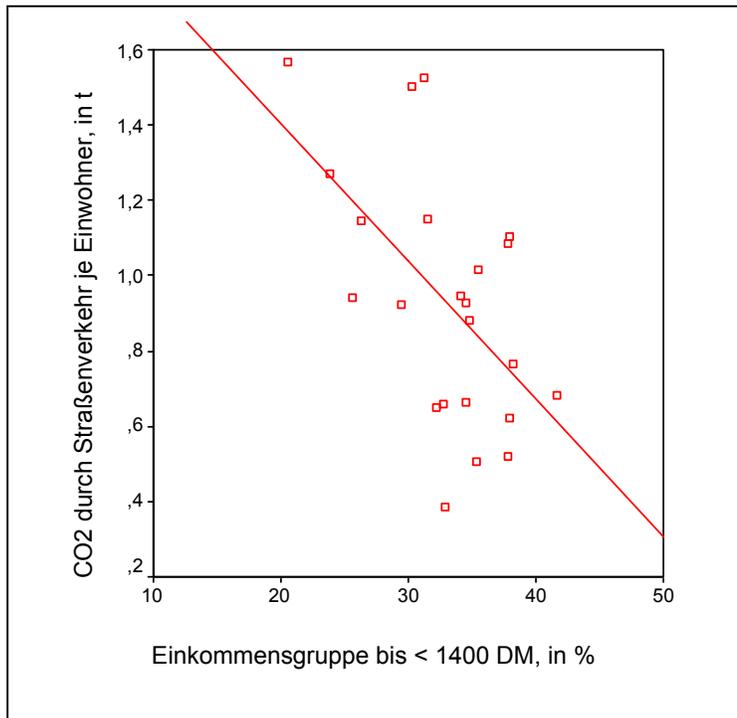
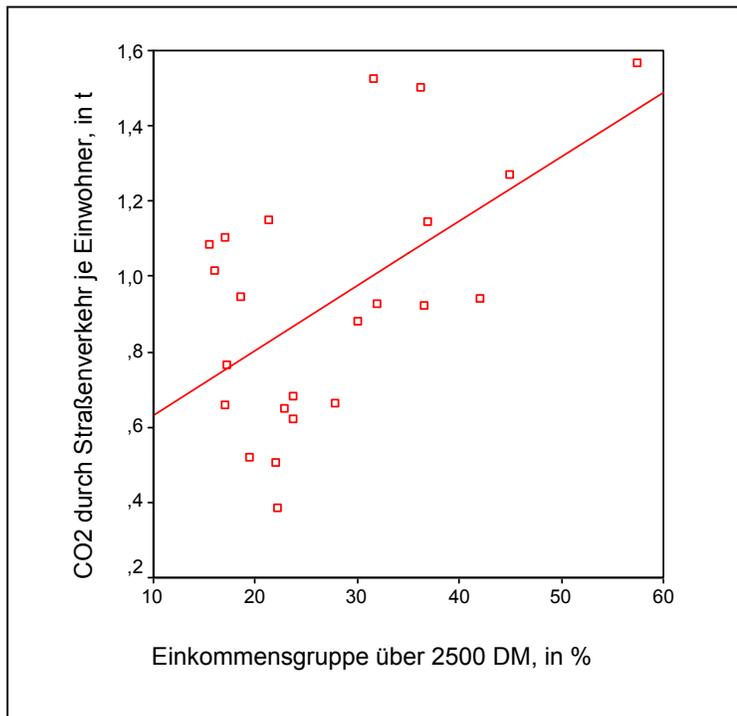
Anmerkung: Der Ausreißerwert stellt den Stadtbezirk Mitte dar. Man sieht, dass die Anpassungslinie ohne diesen Wert der Streuung sehr viel besser folgen würde. Dennoch soll der Wert nicht ausgeschlossen werden, da sich der Bezirk Mitte gerade durch die Anzahl der Arbeitsplätze auszeichnet.

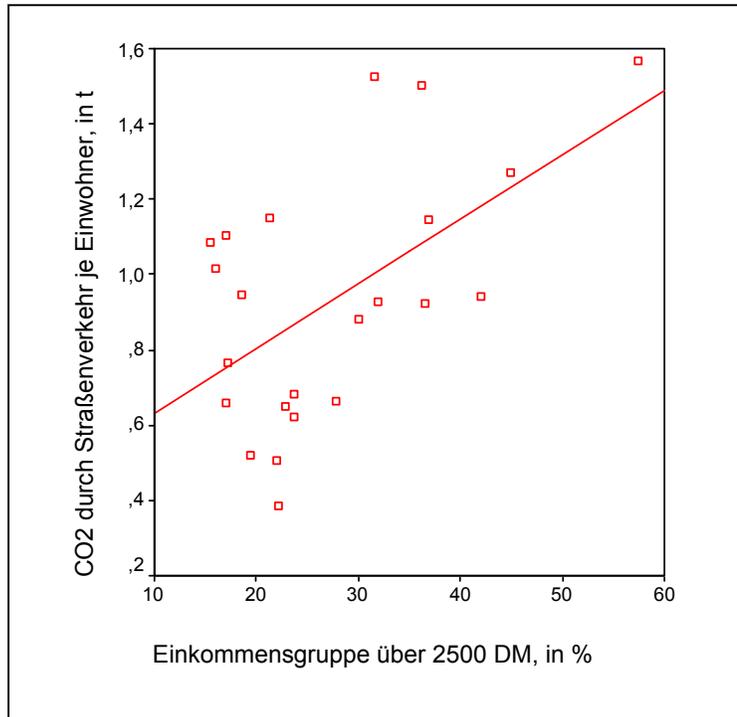
Abbildung 20-28: eigene Erstellung mit SPSS für Windows 10.0

**Abbildung 21: Streudiagramm zu Industriearbeitsplätzen je EW**

**Abbildung 22: Streudiagramm zur bebauten Gesamtfläche****Abbildung 23: Streudiagramm zur Verkehrsfläche je EW**

**Abbildung 24: Streudiagramm zur Anzahl der Kfz****Abbildung 25: Streudiagramm zum mittleren Pro-Kopf-Einkommen**

**Abbildung 26: Streudiagramm zur niedrigen Einkommensgruppe****Abbildung 27: Streudiagramm zur mittleren Einkommensgruppe**

**Abbildung 28: Streudiagramm zur hohen Einkommensgruppe**

**Tabelle 27: Durbin-Watson-Tabelle (F-Tabelle)**  
**(Vertrauenswahrscheinlichkeit 0,95)**

$v_1 \backslash v_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,9	245,9	248,0	249,1	250,1	251,1	252,2	253,3	254,3
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,41	19,43	19,45	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70	8,66	8,66	8,65	8,62	8,59	8,57	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,33	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,70	3,67	3,63
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	2,07	1,99	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,45	2,37	2,31	2,25	2,20	2,13	2,06	1,97	1,93	1,88	1,84	1,79	1,73	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,44	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	2,04	1,96	1,91	1,87	1,82	1,77	1,71	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,10	2,03	1,94	1,90	1,85	1,81	1,75	1,70	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35	1,25
$\infty$	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00

$v_1$  = Zahl der erklärenden Variablen (J)

$v_2$  = Zahl der Freiheitsgrade des Nenners (K - J - 1)

Anmerkung: K – Anzahl der Datensätze

Quelle: Backhaus, Klaus et. al. (2000): Multivariate Analysemethoden – eine anwendungsorientierte Einführung; Berlin; S.658 f.; nach: Sachs, L. (1999): Angewandte Statistik, Berlin, S.219

Tabelle 28: t-Tabelle

Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha$ für den zweiseitigen Test									
FG \ $\alpha$	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,002	0,001	0,0001
1	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	318,309	636,619	6366,198
2	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	22,327	31,598	99,992
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,214	12,924	28,000
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610	15,544
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,893	6,869	11,178
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959	9,082
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,785	5,408	7,885
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041	7,120
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781	6,594
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144	4,587	6,211
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437	5,921
12	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930	4,318	5,694
13	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221	5,513
14	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140	5,363
15	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073	5,239
16	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686	4,015	5,134
17	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,965	5,044
18	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,610	3,922	4,966
19	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579	3,883	4,897
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552	3,850	4,837
21	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527	3,819	4,784
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505	3,792	4,736
23	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485	3,767	4,693
24	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467	3,745	4,654
25	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,450	3,725	4,619
26	0,684	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,435	3,707	4,587
27	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,421	3,690	4,558
28	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,408	3,674	4,530
29	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,396	3,659	4,506
30	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,385	3,646	4,482
32	0,682	1,309	1,694	2,037	2,449	2,738	3,365	3,622	4,441
34	0,682	1,307	1,691	2,032	2,441	2,728	3,348	3,601	4,405
35	0,682	1,306	1,690	2,030	2,438	2,724	3,340	3,591	4,389
36	0,681	1,306	1,688	2,028	2,434	2,719	3,333	3,582	4,374
38	0,681	1,304	1,686	2,024	2,429	2,712	3,319	3,566	4,346
40	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,307	3,551	4,321
42	0,680	1,302	1,682	2,018	2,418	2,698	3,296	3,538	4,298
45	0,680	1,301	1,679	2,014	2,412	2,690	3,281	3,520	4,269
47	0,680	1,300	1,678	2,012	2,408	2,685	3,273	3,510	4,251
50	0,679	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	3,261	3,496	4,228
55	0,679	1,297	1,673	2,004	2,396	2,668	3,245	3,476	4,196
60	0,679	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,232	3,460	4,169
70	0,678	1,294	1,667	1,994	2,381	2,648	3,211	3,435	4,127
80	0,678	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639	3,195	3,416	4,096
90	0,677	1,291	1,662	1,987	2,368	2,632	3,183	3,402	4,072
100	0,677	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	3,174	3,390	4,053
120	0,677	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,160	3,373	4,025
200	0,676	1,286	1,653	1,972	2,345	2,601	3,131	3,340	3,970
500	0,675	1,283	1,648	1,965	2,334	2,586	3,107	3,310	3,922
1000	0,675	1,282	1,646	1,962	2,330	2,581	3,098	3,300	3,906
-	0,675	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,090	3,290	3,891
FG \ $\alpha$	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001	0,0005	0,00005
Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha$ für den einseitigen Test									

$\alpha$  = Signifikanzniveau (1-Vertrauenswahrscheinlichkeit)  
 FG = Freiheitsgrade

Quelle: Backhaus, Klaus et. al. (2000): Multivariate Analysemethoden – eine anwendungsorientierte Einführung; Berlin; S.658 f.; nach: Sachs, L. (1999): Angewandte Statistik, Berlin, S.219

**Tabelle 29 - 33: Regression zu den Einkommensgruppen mit dem niedrigsten und dem höchsten, monatlichen Durchschnittseinkommen (Ausgabe der statistischen Analyse mit SPSS für Windows)**

**Aufgenommene/Entfernte Variablen<sup>a</sup>**

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
1	Einkommensgruppe über 2500 DM, in %, Einkommensgruppe bis < 1400 DM, in % <sup>a</sup>	,	Eingeben

a. Toleranz = ,000 erreichte Grenzen.

b. Abhängige Variable: CO2 durch Straßenverkehr pro Einwohner am Jahresende, in t

**Modellzusammenfassung**

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,588 <sup>a</sup>	,346	,280	,28119

a. Einflußvariablen : (Konstante), Einkommensgruppe über 2500 DM, in %, Einkommensgruppe bis < 1400 DM, in %

**ANOVA<sup>b</sup>**

Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
1	Regression	,836	2	,418	5,285	,014 <sup>a</sup>
	Residuen	1,581	20	,079		
	Gesamt	2,417	22			

a. Einflußvariablen : (Konstante), Einkommensgruppe über 2500 DM, in %, Einkommensgruppe bis < 1400 DM, in %

b. Abhängige Variable: CO2 durch Straßenverkehr pro Einwohner am Jahresende, in t

**Koeffizienten**

Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
		B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	1,363	,982		1,388	,180
	Einkommensgruppe bis< 1400 DM, in %	-2,05E-02	,022	-,319	-,932	,362
	Einkommensgruppe über 2500 DM, in %	8,916E-03	,010	,292	,854	,403

a. Abhängige Variable: CO2 durch Straßenverkehr pro Einwohner am Jahresende, in t

**Ausgeschlossene Variablen**

Modell		Beta In	T	Signifikanz	Partielle Korrelation	Kollinearitätsstatistik
						Toleranz
1	Einkommensgruppe von 1400-<2500 DM, in %	-459,685 <sup>a</sup>	-,981	,339	-,219	1,491E-07

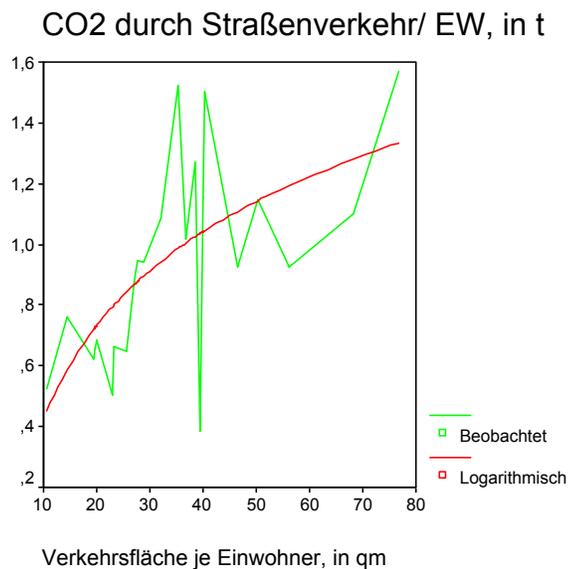
a. Einflußvariablen im Modell: (Konstante), Einkommensgruppe über 2500 DM, in %, Einkommensgruppe bis< 1400 DM, in %

b. Abhängige Variable: CO2 durch Straßenverkehr pro Einwohner am Jahresende, in t

**Abbildung 29: Entwicklungsprognose zur Variable Verkehrsfläche je EW**  
(Ausgabe der statistischen Analyse mit SPSS für Windows)

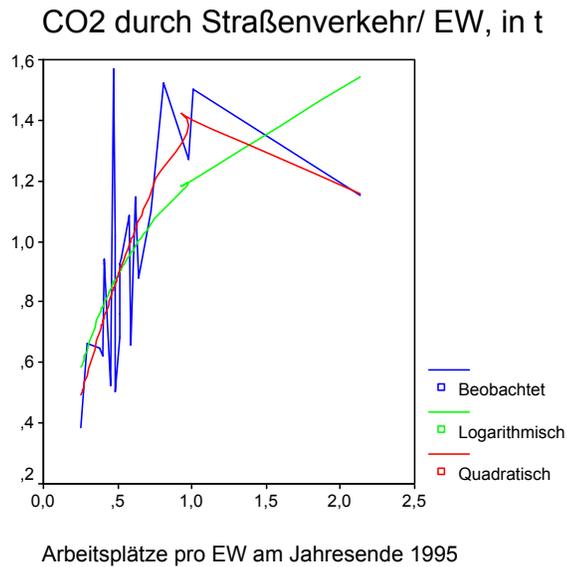
Anmerkung: Es werden jeweils die nur die besten Kurvenanpassungen dargestellt.

MODEL: MOD_13.							
Independent: V_FLÄ_EW							
Dependent	Mth	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1
STR_V_EW	LOG	,418	21	15,06	,001	-,6022	,4458



**Abbildung 30: Entwicklungsprognose zur Variable Arbeitsplätze je EW**  
(Ausgabe der statistischen Analyse mit SPSS für Windows)

MODEL: MOD_18.								
Independent: A_PLÄ_EW								
Dependent	Mth	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2
STR_V_EW	LOG	,369	21	12,29	,002	1,2021	,4529	
STR_V_EW	QUA	,494	20	9,76	,001	-,0074	2,1603	-,7562



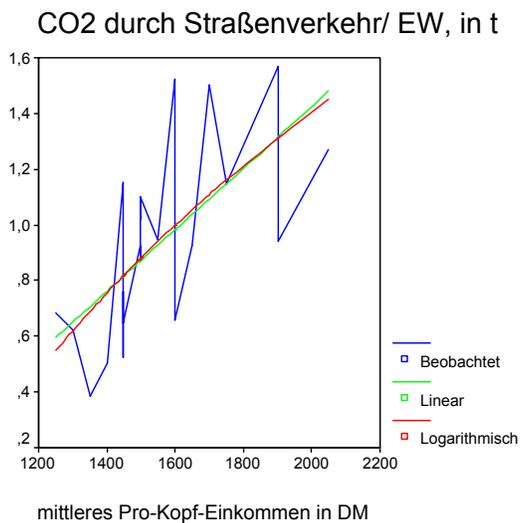
**Abbildung 31: Entwicklungsprognose zur Variable Mittleres Pro-Kopf-Einkommen**  
(Ausgabe der statistischen Analyse mit SPSS für Windows)

```

MODEL:  MOD_21.
Independent:  EINK_EW

Dependent Mth   Rsq   d.f.      F   Sigf      b0      b1
STR_V_EW LIN    ,429    21    15,75    ,001    -,7845    ,0011
STR_V_EW LOG    ,446    21    16,89    ,000   -12,454    1,8233

```



## **Ehrenwörtliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich ehrenwörtlich, die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und angefertigt zu haben. Direkt oder indirekt übernommene Gedanken sowie verwendete Hilfsmittel sind als solche gekennzeichnet. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht. Ich bin mir bewusst, dass eine unwahre Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Potsdam, den 02.02.2002