

Muster globaler anthropogener CO₂-Emissionen:
Sozio-ökonomische Determinanten und ihre Wirkung

Dissertation

zu Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften (Dr.rer.pol.)

eingereicht an der
Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Potsdam

von

Katrin Gerlinger

Potsdam, April 2004

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG.....	1
2. DER TREIBHAUSEFFEKT	3
2.1 Die Funktionsweise des Treibhauseffektes	3
2.1.1 Die Treibhausgase	5
2.1.2 Anthropogener Anteil am Treibhauseffekt.....	7
2.2 Mögliche Folgen.....	8
3. STAND DES WISSENS: WIRTSCHAFTLICHE ENTWICKLUNG UND ANTHROPOGENE UMWELTVERÄNDERUNGEN.....	10
3.1 Historische Entwicklung	10
3.2 Die Environmental-Kuznets-Kurve.....	13
3.2.1 Das Konzept.....	13
3.2.2 Spezielle Kritik am EKC-Ansatz in bezug auf die anthropogenen CO ₂ -Emissionen.....	17
3.3 Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen.....	21
3.4 Kapitelzusammenfassung.....	27
4. DIE DATENGRUNDLAGE	28
4.1 Definitionen der Basisdaten.....	28
4.1.1 CO ₂ -Emissionen – zentrale Antriebsgröße des anthropogenen Treibhauseffektes.....	29
4.1.2 Bevölkerung.....	31
4.1.3 Bruttoinlandsprodukt als Wohlstandsindikator	31
4.1.4 Energieverbrauch - Brücke zum Technologiefaktor	34
4.2 Aufbereitung der Basisdaten.....	36
4.3 Die Verhältniszahlen als Impact und Determinanten.....	39
4.3.1 CO ₂ -Emissionen pro Kopf.....	39
4.3.2 Wohlstandsdeterminante: Bruttoinlandsprodukt pro Kopf	41
4.3.3 Technologiedeterminante: Energieintensität (EI).....	43
4.3.4 Technologiedeterminante: Kohlenstoffintensität (KI).....	44
4.4 Kapitelzusammenfassung.....	46
5. REGIONALE MUSTERERKENNUNG.....	47
5.1 Konzept der Mustererkennung	47
5.2 Zeitliche Informationsverdichtung	48
5.3 Inhaltliche Informationsverdichtung	52

5.4	Räumliche Informationsverdichtung.....	54
5.4.1	Methoden der Clusteranalyse.....	54
5.4.2	Vorgehensweise zur räumlichen Informationsverdichtung.....	60
5.4.3	Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Clusteranalyseverfahren.....	62
5.5	Kapitelzusammenfassung.....	69
6.	DIE ENERGIEWIRTSCHAFTLICHEN LÄNDERTYPEN.....	71
6.1	Die Daten der Ländertypen.....	71
6.2	Die Lage der Ländertypen im Datenraum.....	73
6.2.1	Die Lage der Ländertypen hinsichtlich der CO ₂ -Emissionen pro Kopf.....	74
6.2.2	Die Lage der Ländertypen hinsichtlich des Bruttoinlandsproduktes pro Kopf.....	75
6.2.3	Die Lage der Ländertypen hinsichtlich der Energieintensität.....	77
6.2.4	Die Lage der Ländertypen hinsichtlich der Kohlenstoffintensität.....	78
6.3	Charakterisierung der energiewirtschaftlichen Ländertypen.....	81
6.4	Kapitelzusammenfassung.....	86
7.	DEKOMPOSITION - EINE ANALYSEMÖGLICHKEIT VON IDENTITÄTSGLEICHUNGEN.....	87
7.1	Mathematische Grundlagen.....	87
7.1.1	Dekomposition einfacher Identitätsgleichungen.....	89
7.1.2	Dekomposition von Identitätsgleichungen mit Summenterm.....	92
7.2	Quantifizierung des Einflusses der sozio-ökonomischen Determinanten auf die anthropogenen CO₂-Emissionen.....	98
7.2.1	Globale Betrachtung.....	99
7.2.2	Betrachtung der Ländertypen.....	105
7.2.3	Die Wirkung der sozio-ökonomischen Determinanten auf die Änderung der CO ₂ -Emissionen - ein Überblick.....	121
7.3	Die Strukturdeterminante.....	124
7.3.1	Grenzen in der internationalen Anwendung.....	129
7.3.2	Ergebnisse der Dekompositionsanalyse im Vergleich zu ähnlichen Publikationen.....	130
7.4	Kapitelzusammenfassung.....	132
8.	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	134
8.1	Zusammenfassung anhand der forschungsleitenden Fragen.....	134
8.2	Ausblick.....	136
	LITERATURVERZEICHNIS.....	140
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	146

ANHANG I LISTE DER LÄNDER MIT AUSREICHENDEM DATENSATZ.....ANHANG / 1

ANHANG II LISTE DER LÄNDER MIT UNZUREICHENDEN DATEN.....ANHANG / 2

ANHANG III CLUSTERDATENSÄTZEANHANG / 3

ANHANG IV HERLEITUNG DER FORMEL 7.2 AUS KAPITEL 7.....ANHANG / 9

ANHANG V SAS-SCRIPTS DER WESENTLICHEN STATISTISCHEN ANALYSEN

SAS-Script 1: Datenaufbereitung und Qualitätskontrolle	Anhang / 10
SAS-Script 2: Zeitliche Informationsverdichtung	Anhang / 16
SAS-Script 3: Räumliche Informationsverdichtung	Anhang / 22
SAS-Script 4: Berechnung der Clusterwerte	Anhang / 27
SAS-Script 5: Dekompositionsanalyse	Anhang / 32
SAS-Script 6: Dekompositionanalyse mit Summenterm	Anhang / 39

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht über die Konzentrationen der wesentlichen anthropogen beeinflussten Treibhausgase vor 250 Jahren und heute(IPCC, 2001; S.38)	6
Tabelle 2: Überblick über die Datenbankrecherche zu CO ₂ -Emissionen	30
Tabelle 3: Überblick über die Datenbankrecherche zu Bevölkerungsdaten	31
Tabelle 4: Überblick über die Datenbankrecherche zum Bruttoinlandsprodukt	33
Tabelle 5: Überblick über die Datenbankrecherche zu Energieverbrauchsdaten	35
Tabelle 6: Datenquellen des Basisdatensatzes	37
Tabelle 7: Korrelationsanalyse zur inhaltlichen Informationsverdichtung	53
Tabelle 8: Abstandsmaße hierarchisch agglomerative Standardclusterverfahren	55
Tabelle 9: Relevante statistische Maßzahlen als Entscheidungshilfe zur Bestimmung der Gruppenzahl	63
Tabelle 10: Clusterverteilung - Methode von Ward	64
Tabelle 11: Clusterverteilung – Single- und Average-Linkage- Methode	65
Tabelle 12: Clusterverteilung – Complete-Linkage-Methode	66
Tabelle 13: Vergleich der Clustereinteilung mit den Methoden Ward vs.Complete-Linkage	67
Tabelle 14: Clusterverteilung – k-means-Methode	68
Tabelle 15: Vergleich der Clustereinteilung mit den Methoden Ward vs.k-means-Verfahren	68
Tabelle 16: Überblick über die ersetzten fehlenden Werte für die Bildung des Clusterdatensatzes	73
Tabelle 17: Abstände einzelner Länder zum Clustermittelpunkt hinsichtlich der CO ₂ -Emissionen	75
Tabelle 18: Abstände einzelner Länder zum Clustermittelpunkt hinsichtlich des BIP Verhaltens	76
Tabelle 19: Abstände einzelner Länder zum Clustermittelpunkt hinsichtlich der Energieintensität	78
Tabelle 20: Abstände einzelner Länder zum Clustermittelpunkt hinsichtlich der Kohlenstoffintensität	79
Tabelle 21: Überblick über die Veröffentlichungen zur Dekompositionsanalyse angewandt auf CO ₂ -Emissionen	96

*Muster globaler anthropogener CO₂-Emissionen
Sozio-ökonomische Determinanten und ihre Wirkung*

Tabelle 22:	Effekte der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen im Zeitraum von 1975-98- global	99
Tabelle 23:	Korrelationskoeffizienten der Änderungen der CO ₂ -Emissionen zu den durch Dekomposition ermittelten Effekten der sozio-ökonomischen Determinanten – global	103
Tabelle 24:	Effekte der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen im Zeitraum von 1975-98 – Cluster 1	105
Tabelle 25:	Korrelationskoeffizienten der Änderungen der CO ₂ -Emissionen zu den durch Dekomposition ermittelten Effekten der sozio-ökonomischen Determinanten – Cluster 1	107
Tabelle 26:	Effekte der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen im Zeitraum von 1975-98 – Cluster 2	109
Tabelle 27:	Korrelationskoeffizienten der Änderungen der CO ₂ -Emissionen zu den durch Dekomposition ermittelten Effekten der sozio-ökonomischen Determinanten – Cluster 2	110
Tabelle 28:	Effekte der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen im Zeitraum von 1975-98 – Cluster 3	111
Tabelle 29:	Korrelationskoeffizienten der Änderungen der CO ₂ -Emissionen zu den durch Dekomposition ermittelten Effekten der sozio-ökonomischen Determinanten – Cluster 3	112
Tabelle 30:	Effekte der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen im Zeitraum von 1975-98 – Cluster 4	114
Tabelle 31:	Korrelationskoeffizienten der Änderungen der CO ₂ -Emissionen zu den durch Dekomposition ermittelten Effekten der sozio-ökonomischen Determinanten – Cluster 4	115
Tabelle 32:	Effekte der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen im Zeitraum von 1975-98 – Cluster 5	116
Tabelle 33:	Korrelationskoeffizienten der Änderungen der CO ₂ -Emissionen zu den durch Dekomposition ermittelten Effekten der sozio-ökonomischen Determinanten – Cluster 5	118
Tabelle 34:	Effekte der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen im Zeitraum von 1975-98 – Cluster 6	119
Tabelle 35:	Korrelationskoeffizienten der Änderungen der CO ₂ -Emissionen zu den durch Dekomposition ermittelten Effekten der sozio-ökonomischen Determinanten – Cluster 6	120
Tabelle 36:	Die Stärke des linearen Zusammenhangs zwischen den Änderungen der CO ₂ -Emissionen und dem durch Dekomposition errechneten Wohlstandseffekt (A-Effekt) in den energiewirtschaftlichen Ländertypen	122
Tabelle 37:	Anteile der technologiebedingten „Minderemissionen“	123
Tabelle 38:	Die Stärke des linearen Zusammenhangs zwischen den Änderungen der CO ₂ -Emissionen und dem durch Dekomposition errechneten Energieintensitätseffekt (EI-Effekt) in den energiewirtschaftlichen Ländertypen	123
Tabelle 39:	Die Stärke des linearen Zusammenhangs zwischen den Änderungen der CO ₂ -Emissionen und dem durch Dekomposition errechneten Kohlenstoffintensitätseffekt (KI-Effekt) in den energiewirtschaftlichen Ländertypen	124
Tabelle 40:	Effekte der einzelnen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen	125

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	CO ₂ -Konzentrationen in der Atmosphäre über die letzten 1000 Jahre, Rekonstruktionen aus verschiedenen Eisbohrkernen (IPCC 2001) S.201	4
Abbildung 2:	Veränderung der globalen mittleren Erdoberflächentemperatur der letzten 140 Jahre (IPCC, 2001; S.3)	4
Abbildung 5:	Der IPAT –Ansatz	23
Abbildung 6:	Die Kaya-Identität	25
Abbildung 7:	Vergleich der zeitlichen Entwicklung der CO ₂ -Emissionen absolut und pro Kopf für ausgewählte Länder (unterschiedliche Ordinatenkalierung)	40
Abbildung 8:	Histogramm der CO ₂ -Emissionen pro Kopf	41
Abbildung 9:	Histogramm des Bruttoinlandproduktes pro Kopf	42
Abbildung 10:	Histogramm der Energieintensität	44
Abbildung 11:	Histogramm der Kohlenstoffintensität	45
Abbildung 12:	Darstellung der zeitlichen Informationsverdichtung für ausgewählte Länder (Deutschland, Indien, Georgien)	51
Abbildung 13:	Die Euklidische Distanz	57
Abbildung 14:	Baumstruktur der hierarchischen Clusterung des zeitlich verdichteten Kaya-Datensatzes	62
Abbildung 15:	Weltkarte mit energiewirtschaftlichen Ländertypen	70
Abbildung 16:	Die Lage der energiewirtschaftlichen Ländertypen hinsichtlich der CO ₂ -Emissionen	74
Abbildung 17:	Die Lage der energiewirtschaftlichen Ländertypen hinsichtlich des BIP	76
Abbildung 18:	Die Lage der energiewirtschaftlichen Ländertypen hinsichtlich der Energieintensität	77
Abbildung 19:	Die Lage der energiewirtschaftlichen Ländertypen hinsichtlich der Kohlenstoffintensität	79
Abbildung 20:	Anteile der Cluster an energiewirtschaftlichen Größen	81
Abbildung 21:	Die sozio-ökonomischen Determinanten der CO ₂ -Emissionen der energiewirtschaftlichen Ländertypen	82
Abbildung 22:	Graphische Darstellung diskreter und stetiger Prozesse	88
Abbildung 23:	Anteile der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen im Zeitverlauf - global	101
Abbildung 24:	Abhängigkeit der Änderungen der CO ₂ -Emissionen von den sozio-ökonomischen Determinanten	104
Abbildung 25:	Cluster 1: Anteile der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen im Zeitverlauf	106
Abbildung 26:	Cluster 2: Anteile der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen im Zeitverlauf	109
Abbildung 27:	Cluster 3: Anteile der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen im Zeitverlauf	112
Abbildung 28:	Cluster 4: Anteile der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen im Zeitverlauf	115
Abbildung 29:	Cluster 5: Anteile der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen im Zeitverlauf	117
Abbildung 30:	Cluster 6: Anteile der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen im Zeitverlauf	120
Abbildung 31:	Energiewirtschaftliche Ländertypen: Effekte der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen	121

*Muster globaler anthropogener CO₂-Emissionen
Sozio-ökonomische Determinanten und ihre Wirkung*

Abbildung 32: Anteil der Struktur determinante im Vergleich zu den sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO ₂ -Emissionen – global	127
Abbildung 33: Zeitlicher Verlauf der Struktureffekte der energiewirtschaftlichen Ländertypen	127
Abbildung 34: Regionen unterschiedlich energieintensiver Nahrungsgewohnheiten	138

1. EINLEITUNG

Die vermehrten anthropogenen Kohlendioxidemissionen (CO₂-Emissionen) aus der Verbrennung fossiler Energieträger, die nach derzeitigem Wissensstand den wesentlichsten Teil des anthropogenen Treibhauseffektes ausmachen, sind ein globales Umweltproblem, an dessen Entstehung unterschiedliche Akteure beteiligt sind und bei dem Ursache und Wirkung zeitlich und räumlich sehr stark auseinanderfallen.

Die sozio-ökonomische Ursachen-Wirkungs-Forschung von globalen Veränderungen wie der des anthropogenen Treibhauseffektes ist eine relativ neue Wissenschaftsdisziplin. Erkenntnisse und Theorien, die anhand einzelner Volkswirtschaften oder Gruppen von Ländern entwickelt wurden, müssen verallgemeinert werden, um dem globalen Charakter des anthropogenen Treibhauseffektes Rechnung zu tragen. Das trifft auch für die Erhebung und Bereitstellung von Daten zu und ist eines der spezifischen Probleme innerhalb der Global-Change-Forschung.

Die vorliegende Arbeit ist ausgerichtet auf die derzeit verfügbaren weltweiten Daten mit denen bestimmte sozio-ökonomische Ursachen- und Wirkungsmechanismen der vermehrten anthropogenen CO₂-Emissionen beschrieben werden sollen. Damit bildet diese Arbeit eine Grundlage für die Kalibrierung und Weiterentwicklung sozio-ökonomischer Modelle mit deren Hilfe die Antriebskräfte der anthropogenen CO₂-Emissionen identifiziert werden sollen.

Die Arbeitshypothese dieser Dissertation geht davon aus, dass die wesentlichen sozio-ökonomischen Prozesse, die die vermehrten anthropogenen CO₂-Emissionen verursachen, vereinfacht durch ausgewählte Determinanten beschrieben werden können. Deren Einfluss ist jedoch nicht für alle Länder der Erde gleich. Es gibt unterschiedliche Muster, wie dieser Determinanten die jeweiligen anthropogenen CO₂-Emissionen beeinflussen.

Daraus leitet sich das Ziel dieser Dissertation unmittelbar ab: Muster in den weltweit unterschiedlichen sozio-ökonomischen Ursachen der vermehrten anthropogenen CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger erkennen, so dass diese verschiedenen Ursachen- und Wirkmechanismen zu stilisierten Fakten verdichtet und in eine überschaubare Menge transferiert werden können, die die Gesamtheit vereinfacht beschreibt. Diese Mustererkennung der sozio-ökonomischen Ursachen vermehrter CO₂-Emissionen erfolgt in dieser Arbeit strikt datenbasiert.

Aus der Arbeitshypothese und dem beschriebenen Forschungsziel ergeben sich folgende forschungsleitende Fragestellungen:

- Was sind wichtige sozio-ökonomische Bestimmungsfaktoren der anthropogenen CO₂-Emissionen?
- Wie lassen sich diese Determinanten quantifizieren?
- Sind in den vermehrten anthropogenen CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger und deren sozio-ökonomischer Determinanten Muster erkennbar, die auf Unterschiede zwischen den Verursachern hindeuten? Wenn ja, wie sehen diese Muster im einzelnen aus? Was sind deren wesentliche charakteristische Merkmale?
- Wie wirken die sozio-ökonomischen Determinanten insgesamt und innerhalb der regionalen Ursache-Wirkungs-Muster? Welchen Anteil haben sie hinsichtlich der anthropogenen CO₂-Emissionen und hat sich deren Wirkung im Zeitverlauf verändert?

Diesen Fragen will die Dissertation nachgehen und eine Reihe von stilisierten, empirisch begründeten Mustern der weltweiten Wirkung bestimmter sozio-ökonomischer Determinanten auf die Entwicklung der anthropogenen CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger erarbeiten.

Entsprechend diesen Forschungsfragen gliedert sich die vorliegende Dissertation. Kapitel 2 gibt einen kurzen Überblick über die Funktionsweise des Treibhauseffektes. Kapitel 3 umreißt den Stand des Wissens hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen wirtschaftlicher Entwicklung und anthropogenen Umweltveränderungen und endet mit der Bestimmung der innerhalb dieser Forschungsarbeit zu analysierenden sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger. In Kapitel 4 wird die Datenrecherche und der daraus resultierende Datensatz beschrieben. Kapitel 5 beschreibt die Verfahren zur schrittweisen Informationsverdichtung des Ausgangsdatsatzes und mündet in regionalen Mustern, die als energiewirtschaftliche Ländertypen in Kapitel 6 näher charakterisiert werden. Kapitel 7 widmet sich der Frage nach dem Anteil der definierten sozio-ökonomischen Bestimmungsfaktoren an den anthropogenen CO₂-Emissionen. Das abschließende Kapitel 8 gibt eine Zusammenfassung der Arbeit und einen Ausblick auf mögliche Erweiterungen und Anwendungen.

2. DER TREIBHAUSEFFEKT

Das folgende Kapitel gibt einen kurzen Überblick über die Funktionsweise des Treibhauseffektes und stellt dar, warum die anthropogenen CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger derzeit das zentrale Bindeglied zwischen der naturwissenschaftlichen Klimaforschung und der Erforschung der sozio-ökonomischen Ursachen des Treibhauseffektes sind.

Auch wenn es inzwischen eine schier unendliche Vielfalt von populärwissenschaftlicher bis zu hoch detaillierter fachspezifischer Literatur und ähnlich viele Internetrecherche-Möglichkeiten zu diesem Thema gibt, soll der Treibhauseffekt an dieser Stelle noch einmal skizziert werden, um dem Leser eine kurze Einleitung in die Problematik zu geben. Sämtliche Angaben dieses Kapitels beziehen sich auf den Band 3 des IPCC¹ Reports Climate Change 2001 (IPCC, 2001).

2.1 Die Funktionsweise des Treibhauseffektes

Das Prinzip eines Treibhauses beruht darauf, dass Sonnenlicht, das sehr gut durch bestimmte Materialien wie z.B. Glas einstrahlen kann, im Innern dieses Systems in längerwelliges Infrarotlicht umgewandelt wird. Das Infrarotlicht wird vom Glas des Treibhauses zurückgehalten und kann nicht mehr so gut entweichen. Die Energie bleibt im System und heizt das Innere des Treibhauses auf.

Ähnlich wie ein Treibhaus funktioniert das System Erde. Die Erdatmosphäre, die zwar einen Großteil der kosmischen Strahlung ablenkt, lässt einen Teil der Sonnenstrahlung (ca.30% von 342 W/m²) mit einer Frequenz von ca.4-7 10¹⁴ Hz bis zur Erdoberfläche durch. Ein Teil davon wird an der Erdoberfläche absorbiert, ein Teil reflektiert und ein Teil transformiert, sowohl in der Atmosphäre als auch am Boden. Bei dieser Transformation wird die Frequenz der Strahlung zum Teil in den Infrarotbereich verkürzt (Frequenz von ca.2-4 10¹⁴ Hz). Die Strahlung im Infrarotbereich wird von einigen Bestandteilen der Atmosphäre, den sogenannten Treibhausgasen, nicht durchgelassen, sondern zurück zur Erdoberfläche reflektiert. Durch die Existenz der Treibhausgase in der Atmosphäre wird also die Energieabstrahlung der Erde (Albedo) vermindert, im System Erde verbleibt mehr Energie.

¹ Das *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) wurde von den Vereinten Nationen 1988 mit dem Ziel gegründet, den Stand der Wissenschaft zur globalen Klimaveränderung zusammenzufassen und Empfehlungen für mögliche Gegenmaßnahmen zu geben. Die Berichte dieses Gremiums stellen die wesentlichen wissenschaftlichen Forschungen auf diesem Gebiet zusammen. Dazu wurden 3 Arbeitsgruppen gebildet, die Arbeitsgruppe eins, die wissenschaftliche Erkenntnisse über die klimabestimmenden Faktoren zusammenfasst, die Arbeitsgruppe zwei, die ökologische und sozio-ökonomische Auswirkungen des Treibhauseffektes zusammenträgt und die Arbeitsgruppe drei, die Strategien zur Bekämpfung dieses Phänomens untersucht.

Dieser sogenannte Treibhauseffekt macht das Leben auf der Erde in der heutigen Form erst möglich. Ohne die Existenz der Treibhausgase läge die globale mittlere Temperatur nicht bei derzeit ca.15°C sondern um 30°C niedriger. Man bezeichnet diesen notwendigen Prozess als den *natürlichen Treibhauseffekt*.

Dem gegenüber steht der vom Menschen herbeigeführte sogenannte *anthropogene Treibhauseffekt*. Seit der Industrialisierung ab ca.1860 sind die Konzentrationen der Treibhausgase kontinuierlich gestiegen (Abbildung 1), was auf verschiedene Formen menschlichen Handelns zurückgeführt wird. Das heißt, dass durch das menschliche Handeln in den komplexen Mechanismus des Erdsystems eingegriffen wurde.

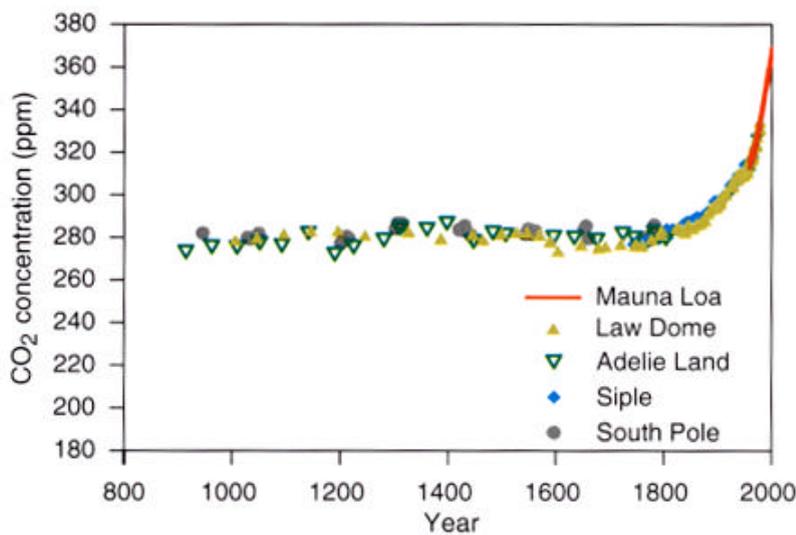


Abbildung 1: CO₂ - Konzentrationen in der Atmosphäre über die letzten 1000 Jahre, Rekonstruktionen aus verschiedenen Eisbohrkernen (IPCC 2001) S.201

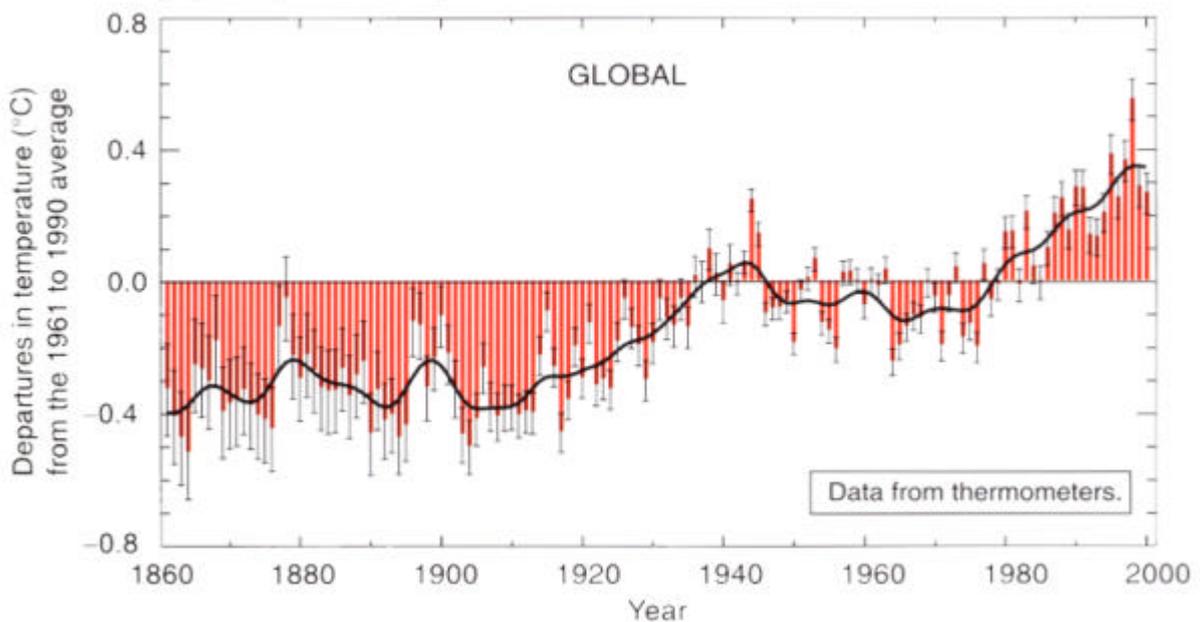


Abbildung 2: Veränderung der globalen mittleren Erdoberflächentemperatur der letzten 140 Jahre (IPCC, 2001; S.3)

Der historische Anstieg der globalen erdnahen Mitteltemperatur (siehe Abbildung 2) stellt ein gesichertes Faktum dar und wird allgemein anerkannt. Einige sogenannte Klimaskeptiker versuchen jedoch, dieses Phänomen durch andere Ursachen zu erklären², d.h. bildlich gesprochen: Abbildung 1 wird nicht als Ursache für Abbildung 2 anerkannt.

Bei der naturwissenschaftlichen Erforschung der physikalischen Hintergründe des Treibhauseffektes ist es nicht bedeutsam, ob dieser durch den Menschen verursacht wurde oder nicht. Für die sozio-ökonomische Forschung zu Ursachen und möglichen Folgen des Klimawandels ist diese Unterscheidung dagegen elementar. Strategien und Handlungsempfehlungen können nur dann wirkungsvoll sein, wenn die Prozesse, die zu diesem Phänomen führten, bekannt sind.

Vor der näheren Beschreibung des anthropogenen Treibhauseffektes, wird ein kurzer Überblick über die wichtigsten Treibhausgase gegeben.

2.1.1 Die Treibhausgase

Gase, die die Atmosphäre der Erde aufheizen können, werden Treibhausgase genannt. Die wichtigsten Treibhausgase sind Wasserdampf (H₂O), Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), sowie weitere Spurengase wie Stickstoff, Ozon und verschiedene halogenisierte Kohlenwasserstoffe (FCKWs). Bis auf die FCKWs sind die Treibhausgase natürliche Bestandteile der Luft und keine Schadstoffe. Sie werden durch zum Teil hochkomplexe biologische, chemische und physikalische Prozesse gebildet, beeinflusst und gesteuert. Wenn der anthropogene Treibhauseffekt untersucht wird, stehen natürlich nur die Treibhausgase im Mittelpunkt, deren Konzentrationsänderungen menschlichem Handeln zugeschrieben werden kann.

Die jeweilige Konzentration der einzelnen Gase ist im Gesamtluftgemisch relativ gering. Sie werden in der Regel in relativen Einheiten wie Anteile pro Million - ppm (*parts per million*)³, pro Milliarde - ppb (*parts per billion*) oder pro Billion ppt (*parts per trillion*) gemessen.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Konzentrationsveränderungen der wichtigsten Treibhausgase während der letzten 250 Jahre.

² Wissenschaftliche Dispute wie den 2003 um den Einfluss der kosmischen Strahlung (Shaviv/Weizer) geführten, mit Presseerklärungen namhafter Klimaforscher um Rahmstorf Pfister und Satorius, sind ein anschauliches Beispiel dafür.

³ 1ppm entspricht 0,001%

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC-11	HFC-23	CF ₄
vorindustrielle Konzentration (1750)	ca.280 ppm	ca.700 ppb	ca.270 ppb	-	-	ca.40 ppt
heutige Konzentration (1998)	365 ppm	1745 ppb	314 ppb	268 ppt	14 ppt	80 ppt

Tabelle 1: Übersicht über die Konzentrationen der wesentlichen anthropogen beeinflussten Treibhausgase vor 250 Jahren und heute (IPCC, 2001; S.38)

Das wichtigste durch menschliches Handeln in seiner atmosphärischen Konzentration veränderte Treibhausgas ist Kohlendioxid (CO₂). Dessen Konzentration in der Luft hat sich in den letzten 250 Jahren kontinuierlich erhöht. So stieg der CO₂-Gehalt der Luft von ca.280 ppm (0,028%) um 1750 auf heutige 365 ppm (siehe Abbildung 1). Dieser heutige CO₂-Gehalt der Luft ist der höchste der letzten 20 Mio. Jahre.

Dieser Anstieg der CO₂-Konzentration bedeutet, dass wieder vermehrt Kohlenstoff in die Atmosphäre gelangt, der lange Zeit vor allem in geologischen Formationen gebunden war und wird auch *die menschliche Störung des globalen Kohlenstoffkreislaufes* genannt.

Das zweitwichtigste in seiner atmosphärischen Konzentration anthropogen beeinflusste Treibhausgas ist Methan (CH₄), das in diesem Zusammenhang vor allem durch Wiederkäuer, Reisfelder und Müllhalden entsteht. Der Methangehalt der Luft ist derzeit der höchste der vergangenen 420 000 Jahre.

Menschliches Handeln wird auch als Ursache des Anstiegs anderer Treibhausgase angesehen. Jedoch ist die Zuordnung zu den spezifischen Ursachen ein sehr komplexes und an vielen Stellen bis heute noch nicht genau verstandenes Phänomen.

Die Ursachen der auf menschliches Handeln zurückzuführenden CO₂-Konzentrationen, als dem wichtigsten Treibhausgas, sind inzwischen Gegenstand vieler Forschungsarbeiten. Diese anthropogenen CO₂-Emissionen gelten derzeit als das wichtigste Bindeglied zwischen der sozio-ökonomischen Ursachenforschung einerseits und dem Anstieg der globalen Mitteltemperatur als globale Umweltveränderung (Folge) andererseits.

In den 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts fehlten für eine empirisch fundierte Analyse zu diesem Thema noch die entsprechenden Daten. In den späten 90er Jahren ist eine Datenbasis entstanden, die, wenn auch alles andere als vollständig, so doch zumindest in einem Stadium ist, in dem bestimmte globale Ursache-Wirkungs-Analysen versucht werden können.

Aufgrund der beschriebenen zentralen Stellung der CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger fokussiert die vorliegende Arbeit auf diese Emissionen und versucht, in diesem sehr vielschichtigen Ursachenkomplex Muster zu erkennen, die durch bestimmte sozio-ökonomische Bestimmungsfaktoren stilisiert beschrieben werden können. Es bleibt zu prüfen, inwieweit sich die in dieser Arbeit entwickelte Methodik bei ausreichender empirischer Datenbasis auf andere Treibhausgasemissionen wie z.B. Methan übertragen ließe.

2.1.2 Anthropogener Anteil am Treibhauseffekt

Es gibt vielfältige Gründe, warum es für eine Ursachenforschung nicht ausreicht, die anthropogenen CO₂-Emissionen aus den CO₂-Konzentrationen der Atmosphäre zu schätzen, von denen die 2 wichtigsten hier genannt werden:

1. Für die sozio-ökonomische Erforschung der Ursachen ist eine globale Größe kein geeignetes Maß, das dezidiert mit verschiedenen lokalen Quellen in Verbindung gebracht werden kann.
2. Nicht alle CO₂-Emissionen bleiben in der Atmosphäre, ein ebenfalls klimaabhängiger, sich verändernder Teil wird von den Ozeanen und vom Land wieder aufgenommen. Gerade diese Wechselwirkungen machen viele Berechnungen innerhalb der Klimaforschung so schwierig und führen, da bei weitem nicht alle Prozesse erforscht sind, zum Teil zu großen Unsicherheiten bei der Quantifizierung.

Von den anthropogenen CO₂-Emissionen gehen laut IPCC-Bericht ca.75% auf die Nutzung fossiler Rohstoffe⁴ und 25% auf Landnutzungsänderungen zurück⁵ (IPCC, 2001; S.190).

Die Quantifizierung der CO₂-Emissionen aus Landnutzungsänderungen ist äußerst schwierig, noch immer mit großen Unsicherheiten behaftet und auch sehr schwer den Verursachern zuzuordnen.

Die CO₂-Emissionen, die durch die Nutzung fossiler Rohstoffe entstehen, lassen sich inzwischen weit besser quantifizieren und zuordnen. Basis dafür ist das weltweit erhobene Energiebilanzsystem, auf das in Kapitel 4 näher eingegangen wird.

⁴ In den 1980er Jahren waren die Emissionen in Höhe von ca. $5,4 \pm 0,3$ PgC pro Jahr (von denen 1,8% (0,1PgC pro Jahr) aus der Zementproduktion und 98,2% (5,3 PgC pro Jahr) aus der Verbrennung fossiler Energieträger stammen).

In den 1990er Jahren stieg dieser Teil der Emissionen auf $6,3 \pm 0,4$ PgC.

⁵ Hinter dem Begriff Landnutzungsänderungen verbirgt sich in bezug auf den Treibhauseffekt im wesentlichen die Abholzung von Wäldern. In den 1980er Jahren entstanden dadurch Emissionen in Höhe von ca. 1,7 PgC (unterschiedliche Schätzungen gehen von 0,6 – 2,5 aus).

Für die 1990er Jahre gibt der IPCC-Bericht keine Schätzungen an, die des Potsdam-Institutes für Klimafolgenforschung gehen von $1,6 \pm 0,8$ PgC aus. (W.Cramer PIK)

2.2 Mögliche Folgen

Die erhöhten Treibhausgaskonzentrationen sind in den vergangenen Jahren weitgehend aus dem Fokus wissenschaftlichen Kontroversen geraten und auch von den Skeptikern als Faktum anerkannt worden. Die möglichen Folgen können jedoch nach wie vor nicht genau vorhergesagt werden und sind demzufolge häufiger Gegenstand wissenschaftlicher und politischer Auseinandersetzungen. Die Wissenschaftler des IPCC gehen davon aus, dass

- die durchschnittliche Erwärmung in zwei- bis dreihundert Jahren fast 6°C betragen wird, wenn nichts dagegen unternommen wird,
- die Häufigkeit extremer Wetterereignisse zunehmen wird
- sich Klimazonen (inklusive Niederschlagsmuster) verschieben können
- der Klimawandel über den meisten Landflächen stärker sein wird als im Mittel und Südeuropa, Zentralasien und große Teile Afrikas am schlimmsten davon betroffen sein werden,
- das Risiko plötzlicher „Schwankungen“ des Klimasystems steigt (als eine mögliche „Schwankung“ wird das „Versiegen“ des Golfstromes genannt),
- der Meeresspiegel steigen wird.

Auf grundsysteminhärenter Trägheiten können alle diese Effekte auch dann eintreten, wenn es gelänge, die anthropogenen Treibhausgasemissionen auf dem jetzigen Niveau zu stabilisieren. Alle aktuellen Trends wie Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum (siehe Kapitel 3) deuten allerdings auf eine weitere Zunahme dieser Emissionen und damit auf die hohe Wahrscheinlichkeit eines weitergehenden Klimawandels hin.

Eine Begrenzung der negativen Folgewirkungen von Klimaänderungen (z.B. Flutkosten, Ernteausfälle, Gesundheitsschäden) ist grundsätzlich auf zwei Wegen möglich: Entweder durch völlige Anpassung an die geänderten klimatischen Rahmenbedingungen (*Adaptation*), oder durch die Bekämpfung der Entstehungsgründe (*Mitigation*). Angesichts des derzeit bereits beobachtbaren Klimawandels und angesichts der Trägheiten der menschlichen „Komponenten“ des Erdsystems ist Anpassung ohnehin unvermeidlich und ein Gebot der Klugheit. Der Grad und der Charakter von Vermeidungsmaßnahmen ist jedoch umstritten. Während einige Vermeidungsstrategien gänzlich ablehnen, sehen viele andere eine umfassende Ursachenbekämpfung als zwingend geboten, nicht zuletzt deshalb, weil die geforderte vollständige Anpassung a) sehr schwierig und b) in vielen Sektoren und Ländern

nicht finanzierbar sein dürfte. In dieser Arbeit gehe ich – mit der Mehrheit der Forschung (IPCC 2001) und in Übereinstimmung mit der 1992 von ca.150 Staaten beschlossenen Klimarahmenkonvention (UNFCCC)⁶ davon aus, dass nur eine deutliche Reduktion der anthropogenen Treibhausgasemissionen eine vernünftige und sinnvolle Strategie zur Begrenzung der negativen Folgen des Klimawandels bzw. zur Minimierung dieses Wandels selbst darstellt.

Dementsprechende Handlungsoptionen setzen eine möglichst detaillierte Ursachenanalyse voraus, zu dem diese Arbeit einen Beitrag leisten will.

⁶ Die Klimarahmenkonvention wurde von der „Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung“ 1992 in Rio de Janeiro beschlossen, von 150 Staaten unterzeichnet und trat 1994 in Kraft. Das Kyoto-Protokoll ist seine Konkretisierung (siehe Fußnote 6).

3. STAND DES WISSENS: WIRTSCHAFTLICHE ENTWICKLUNG UND ANTHROPOGENE UMWELTVERÄNDERUNGEN

In diesem Kapitel soll der Frage nach den wichtigsten sozio-ökonomischen Bestimmungsfaktoren oder Determinanten anthropogener Umweltveränderungen im Allgemeinen und vermehrter anthropogener CO₂-Emissionen im Besonderen nachgegangen werden.

Dazu wird in Abschnitt 3.1 ein kurzer Überblick über die wesentlichen Richtungen der Debatte um den Zusammenhang der sozio-ökonomischen Entwicklung und der Umweltveränderungen innerhalb der letzten 35 Jahre gegeben. Nach einer kritischen Auseinandersetzung mit der Theorie zum Zusammenhang von wirtschaftlichem Wachstum und CO₂-Emissionen (Abschnitt 3.2), wird in Abschnitt 3.3 die Zahl der Bestimmungsfaktoren entsprechend dem klassischen humanökologischen Ansatz erweitert und deren derzeitige Möglichkeiten und Grenzen diskutiert.

3.1 Historische Entwicklung

Nach dem Ende des 2. Weltkrieges galt das wirtschaftliche Wachstum in den 50er und 60er Jahren als eine der größten Errungenschaften moderner Gesellschaften, die Stabilität, Wohlstand für weite Teile der Gesellschaft und die Verringerung von Ungleichheit möglich machte (Kuznets, 1955). Ende der 60er Jahre entstanden dann die ersten kritischen Schriften hinsichtlich möglicher langfristiger ökologischer Auswirkungen dieses sozio-ökonomischen Wachstums (z.B. Carson, 1962; Jarret, 1966), deren erster Höhepunkt der Bericht des *Club of Rome* zu den Grenzen des Wachstums (Meadows et al., 1972) war. Dieser Bericht löste eine zum Teil heftig geführte Debatte zum Verhältnis von wirtschaftlichem Wachstum und dem Zustand der Umwelt aus, die bis heute geführt wird, ohne dass eine endgültige Klärung erreicht werden konnte.

In der ersten Welle der wissenschaftlichen Debatte der späten 60er und frühen 70er Jahre hinsichtlich des wirtschaftlichen Wachstums und der Umwelt ging man von unterschiedlichen theoretischen Perspektiven heran. Obwohl durchaus interessante Teilaspekte untersucht wurden, wie beispielsweise die Möglichkeiten und Grenzen von Rationalitätskonzepten, führten diese nicht zu überzeugenden Klärungen innerhalb der *Wachstums-versus-Umwelt-Debatte*.

Mit der Einführung der Computertechnologie entstanden in den 60er und 70er Jahren erste Modelle, die erst singular für Vorhersagen möglicher Umweltentwicklungen (z.B. Meadows et al., 1972) entwickelt wurden. Schrittweise wurde dann versucht, den Umweltaspekt in makro- oder mikro-ökonomische Modelle mit aufzunehmen (so z.B. Solow, 1974; Dasgupta und Heal, 1979). Die daraus gewonnenen Ergebnisse blieben nach wie vor kontrovers. Stokey (1998) verglich verschiedene Modellansätze und kam zu dem Schluss, dass bisherige Aussagen hinsichtlich der *Wachstums-Umwelt-Beziehungen* mehr oder weniger eine Frage der zu Grunde liegenden Mathematik dieser Modelle seien. Rothmans (1998) ist der Meinung, dass auch eine empirische Validierung der Modelle bisher eher nebulös blieb.

Das liegt sicher mit daran, dass nach wie vor offen ist, was *Umwelt*, *Umweltschaden*, *Umweltveränderung*, *Umweltqualität* oder auch *der Umweltaspekt* allgemein in dieser *Wirtschafts-Umwelt-Beziehung* konkret bedeuten. Auf grund der ungelösten Abgrenzung des Konstruktes *Umwelt* wurden in der Regel einzelne Teilbereiche (wie die Verschmutzung des Bodens, des Wassers oder der Luft mit einzelnen Schadstoffen) als Stellvertreter benutzt, um dann vom Teilbereich auf den Gesamtbereich zu verallgemeinern. Je nach Grundauffassung wurde auf die Teilbereiche fokussiert, die dem Erklärungsmuster am ehesten folgten. Diese Grundauffassung gliedert das Lager der an der Debatte um die Beziehungen von Wirtschaftswachstum und Umweltveränderungen Beteiligten im wesentlichen in vier Positionen (siehe de Bruyn, 2000; S.2 ff.).

Radikale Befürworter des wirtschaftlichen Wachstums

Die Umweltqualität wird als Luxusgut betrachtet, das mit steigendem Wohlstand überproportional nachgefragt wird. Nur durch wirtschaftliche Wachstumsprozesse sind die nötigen technologischen Entwicklungen und Änderungen der Lebensstile möglich, die Verbesserungen der Qualität der Umwelt nach sich ziehen können, (z.B. Simon, 1981; Beckermann, 1992). Ihre klare Empfehlung ist das freie Funktionieren der Märkte ohne politische oder bürokratische Hemmnisse.

Eingeschränkte Protagonisten des wirtschaftlichen Wachstums

Auch sie sehen eine positive Beziehung zwischen Wohlstand und Umweltqualität. Selbst wenn die wirtschaftliche Entwicklung vorübergehend zu Umweltschäden führt, bietet sie doch die einzige Grundlage, auf der eine Umweltpolitik finanziert werden kann. Anders als die radikalen Befürworter, die auf freie Märkte setzen, sehen die eingeschränkten Befürworter

die Politik als die wichtige Kraft an, die die Weichen hin zu einer umweltverträglichen Wirtschaftsentwicklung stellen sollte (z.B. World Bank, 1992; Grossman und Krueger, 1995).

Vorsichtige Antagonisten des wirtschaftlichen Wachstums

Sie haben eine differenzierte Sicht auf die wirtschaftliche Entwicklung und setzen auf eine Reduzierung des physischen Outputs und einer Dematerialisierung der Wirtschaft. Dementsprechend sollte die Politik vor allem die umweltschädlichen Bereiche der Wirtschaft reduzieren (z.B. Arrow et al., 1995).

Strenge Antagonisten des wirtschaftlichen Wachstums

Sie sind der Auffassung, dass, über lange Zeiträume betrachtet, jedes Wirtschaftswachstum für die Umwelt schädlich ist. Vermeidungsmaßnahmen können temporäre positive Effekte nach sich ziehen, wirkliche Verbesserungen der Umweltqualität lassen sich jedoch nur erreichen, wenn die heutigen Wachstumspfade verlassen werden und es zu einer Verminderung der wirtschaftlichen Aktivitäten kommt (z.B. Meadows et al., 1972; Daly, 1991).

Seit den 90er Jahren sind vermehrt Daten entweder durch Monitoring-Programme oder Sammlungen verschiedener statistischer Ämter verfügbar, die eine neue empirische Sicht auf die *Wirtschafts-Umwelt-Diskussion* zulassen.

Doch auch die Studien, die empirisch die einzelnen Grundauffassungen untermauern sollten, konnten bisher nicht zu einer wirklichen Klärung der verschiedenen Ansätze beitragen. So kommt beispielsweise Beckermann (1992) zu dem Schluss, dass wirtschaftliches Wachstum zu geringerer Verschmutzung führt, Grossman und Krueger (1995) meinen, dass Umweltpolitik am erfolgreichsten in wachsenden Wirtschaftssystemen sei und Arrow et al. (1995) sind der Meinung, dass keine allgemein gültige Theorie zum Verhältnis von Wirtschaftswachstum und Umwelteffekten bisher bewiesen sei und dass lediglich für einige Teilaspekte von Umwelteffekten oder -schädigungen bestimmte *Wachstums-Schädigungs-Beziehungen* zutreffen, nicht jedoch für eine umfassende Charakteristik der Umweltqualität. Gegenwärtige empirische Studien sagen nichts aus, ob bestimmte Verbesserungen nicht nur temporär sind und ob das Wirtschaftswachstum einen wirklichen Anteil daran hat oder nicht.

An diese Kritik knüpft die vorliegende Arbeit an. Der Forschungsgegenstand dieser Arbeit sind die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger, die den größten Teil des anthropogenen Treibhauseffektes ausmachen (siehe Abschnitt 2.1.2).

Verschiedene empirische Analyseaspekte aus der allgemeinen *Wachstums versus Umwelt Debatte* werden in diesem Sinne aufgegriffen und fokussiert auf die anthropogenen CO₂-Emissionen als einen Teilbereich des Konstruktes *Umweltqualität* angewandt.

Die Arbeit erhebt nicht den Anspruch eine umfassende Charakteristik der Umweltqualität zu liefern. Es bleibt zu prüfen, ob eine allgemeingültige globale Charakteristik und Analyse nicht mehr Beziehungen oder Wechselwirkungen verdeckt als offen legt. Je stärker der zeitliche und räumliche Auseinanderfall von Ursache und Wirkung hinsichtlich der spezifischen Umweltschädigungen, desto weniger treffen die Wirkungsmechanismen und Erklärungsmuster des einen auf den anderen zu.

Nachfolgend werden bestimmte Erklärungsmuster der allgemeinen *Wachstums versus Umwelt Debatte*, die generell unter dem Begriff der *Environmental Kuznets Curve* diskutiert werden, erst konzeptionell (Abschnitt 3.2.1) und dann bezüglich der anthropogenen CO₂-Emissionen kritisch (Abschnitt 3.2.2) vorgestellt.

3.2 Die Environmental-Kuznets-Kurve

3.2.1 Das Konzept

Die Beziehung von wirtschaftlichem Wachstum und Umweltqualität wurden seit den späten 80er Jahren zwar auf unterschiedlichste Art quantifiziert, jedoch ähnlich analysiert. Panayotou (1993) hat für diese Untersuchung der singulären Beziehung des Wirtschaftswachstums auf die Umweltqualität den Begriff der *Environmental Kuznets Curve* (EKC) geprägt.

Bei den Arbeiten zur *Environmental Kuznets Curve* wird versucht, eine bestimmte funktionale Form (quadratische Funktion) des Zusammenhangs zwischen dem wirtschaftlichen Wachstum als erklärender und dem Umweltschaden als abhängiger Größe nachzuweisen oder zu widerlegen. Häufig zitierte Publikationen zur *Environmental Kuznets Curve* sind Shafik und Bandyopadhyay 1992; Selden und Song 1994; Grossman und Krueger 1995; Holtz-Eakin und Selden 1995). Neuere Überblicksarbeiten zum Prinzip der EKC-Analyse sind beispielsweise Ekins 1997; Panayotou 1997; de Bruyn und Heintz 1999; de Bruyn 2000; Panayotou 2000; Panayotou et al. 2000.

Die EKC-Analyse beruht auf der theoretischen Annahme, dass die Schädigung der Umwelt mit dem Wohlstand (als Indikator des wirtschaftlichen Wachstums) korreliert ist. Bei der EKC-Analyse wird jedoch versucht, einen nichtlinearen Zusammenhang zwischen Umweltschaden und Wohlstand nachzuweisen, der aus dem von Simon Kuznets vielzitierten Aufsatz (Kuznets, 1955) zum Zusammenhang von Einkommensungleichheit und Einkommenshöhe übertragen wurde und mit umgedrehter U-Form beschrieben wird.

Dieser Zusammenhang besagt, dass bei geringem Wohlstandsniveau eine Wohlstandssteigerung mit vermehrten Umweltschäden einhergeht. Erst ab einem bestimmten Niveau (Maximum der Kurve) nehmen die Effekte/Schäden mit weiter wachsendem

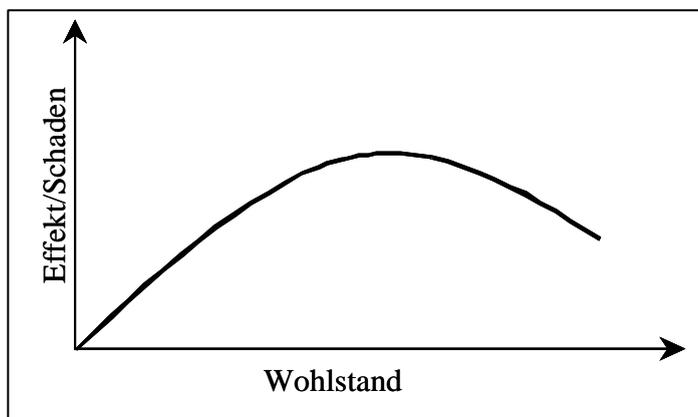


Abbildung 3 Von Kuznets geprägter Wohlstands-Effekt (Kuznets-Kurve)

Einkommen wieder ab. In diesem Sinne verhalten sich verminderte Umweltschäden wie klassische Luxusgüter, die bei steigendem Einkommen überproportional nachgefragt werden, was die Existenz des Maximums belegt und nach dem Maximum relative Einkommenselastizitäten über 1 für das Gut „saubere Umwelt“ mit sich bringt.

Ein anderes theoretisches Erklärungsmuster für die Existenz der EKC-Beziehung ist der wirtschaftliche Wandel von einer agrarbasierten über die industrielle zur postindustriellen servicebasierten Wirtschaft (Moomaw und Unruh, 1997), die angeblich mit einer Entmaterialisierung und mit vermindertem Ressourcenverbrauch einhergeht.

Seit ca.15 Jahren wird durch eine Vielzahl von Publikationen versucht, diese Theorie zum Zusammenhang von Wirtschaftswachstum und Umweltqualität anhand von empirischen Untersuchungen zu verifizieren oder zu falsifizieren.

Die Diskussion um die Existenz der *Environmental Kuznets Curve* stützt sich dabei im wesentlichen auf folgendes Modell:

$$E_{i,t} = b_0 + b_1 \cdot Y_{i,t} + b_2 \cdot Y_{i,t}^2 + b_3 \cdot Y_{i,t}^3 + e_{i,t} \quad (3.1)$$

bzw. wenn ein exponentieller Zusammenhang angenommen wird die entsprechende log-lineare Modellvariante:

$$E_{i,t} = \mathbf{b}_0 + \mathbf{b}_1 \cdot \ln Y_{(i,t)} + \mathbf{b}_2 \cdot 2 \cdot \ln Y_{(i,t)} + \mathbf{b}_3 \cdot 3 \cdot \ln Y_{(i,t)} + e_{(i,t)} \quad (3.2)$$

mit E als Umwelteffekt, Y als Wohlstandsterm und e als Fehlerterm, und den Parametern β_0 , der eine Konstante bezeichnet und $\beta_1 - \beta_3$, die jeweils die relative Bedeutung der erklärenden Variable Y verkörpern. Wenn die Variablen E und Y durch verschiedene Wertepaare quantifiziert werden können, lassen sich die Parameter $\beta_0 - \beta_3$ mittels Regression schätzen. Nur wenn die Parameterschätzungen $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$ und $\beta_3 = 0$ ergeben, gilt die EKC-Beziehung, also die umgedrehte U-Form, prinzipiell als nachgewiesen und jeweilige Maximalwerte lassen sich berechnen.

Eine sehr gute Überblicksarbeit zur Methodik der EKC-Analyse ist Panayotou (2000), die sich auf 124 EKC-Publikationen stützt, die empirischen Analyseansätze gegenüberstellt und die jeweiligen Ergebnisse miteinander vergleicht und bewertet.

Eine große Anzahl von Publikationen belegt oder widerlegt die Existenz der EKC-Beziehung in einzelnen Teilbereichen des nicht direkt messbaren allgemeinen Umweltzustandes, ohne dass bis heute eine endgültige Klärung erreicht werden konnte. Die einzelnen Publikationen unterscheiden sich im wesentlichen in folgenden Punkten:

- Quantifizierung der einzelnen Variablen

A) Umwelteffekt (E in den Gleichungen 3.1 und 3.2)

Shafik und Bandyopadhyay (1992) haben z.B. den Umwelteffekt E in Gleichung 3.1 nacheinander durch unterschiedliche Variablen wie *Zugang zu sauberem Trinkwasser, Existenz urbaner Kanalisationen, Staub- und SO_2 -Belastung, Änderungen in der Waldfläche, jährliche Waldrodungsfläche, Sauerstoffgehalt in Flüssen, Hausmüll pro Kopf und CO_2 -Emissionen pro Kopf* beschrieben. Grossman und Krueger 1995 haben ihre Analyse auf weitere Schadstoffe wie *Blei-, Kadmium-, Arsen- und Nickelgehalt in Städten und Flüssen* erweitert.

B) Wohlstand (Y in den Gleichungen 3.1 und 3.2)

Alle Studien verwandten das Bruttoinlandsprodukt (BIP) entweder total oder pro Kopf. Die Einheit war jedoch unterschiedlich, manche Studien bauten auf BIP in US\$ andere in Kaufkraftparitäten⁷ auf.

⁷ Siehe dazu auch Kapitel 4.1.3.

Laut de Bruyn und Heintz 1999 führt das nicht zu prinzipiell anderen Ergebnissen, das Maximum der Kurve ist lediglich etwas höher.

C) Integration weiterer erklärender Variablen

Einige Studien haben die Anzahl der erklärenden Variablen erhöht und dementsprechend Gleichung 3.1 erweitert. So haben z.B. Shafik und Bandyopadhyay (1992) versucht, den Einfluss weiterer Faktoren wie der Technologie (dargestellt als zeitliche Entwicklung), der Anteil der Investitionen am BIP, das Wirtschaftswachstum, die Elektrizitätspreise, die Schulden pro Kopf, die politischen Rechte und zivilen Freiheiten nacheinander analysiert.

- Die einzelnen EKC-Analysen hatten unterschiedliche räumliche Bezüge und reichten von Analysen für einzelne Länder bis hin zu globalen Analysen.
- Verwendung unterschiedlicher Schätzmethoden

Da unterschiedliche Umwelteffekte analysiert und verschiedene Erweiterungen vorgenommen wurden, lassen sich die Ergebnisse nur teilweise vergleichen. Für eine detailliertere Übersicht sei an dieser Stelle auf Panayotou (2000) S.80ff verwiesen, der eine tabellarische Gegenüberstellung der einzelnen Studien machte.

Insgesamt wurde in der Regel mit der Analyse lokaler Effekte begonnen und versucht, die gewonnenen Erkenntnisse auf globalere Effekte zu übertragen. Zusammenfassend kann gesagt werden, je lokaler der Effekt, also auch je direkter das Ursache-Wirkungsverhältnis desto leichter ist der Nachweis der Existenz einer EKC-Beziehung zwischen Umwelteffekt und Wohlstandsentwicklung. Je globaler der Umwelteffekt, je größer auch der Auseinanderfall von Ursache und Wirkung, desto umstrittener ist die Existenz einer EKC-Beziehung, wie in Abbildung 4 dargestellt, was auch Ansuategi (2003) S.305 feststellt: „*The existing empirical evidence suggests that environmental Kuznets curves only exist for pollutions with semi-local and medium term impacts.*“

Für einen weiterreichenden Überblick über die einzelnen Argumente hinsichtlich der allgemeinen Beziehung zwischen Umwelteffekt und Wohlstandsentwicklung sei an dieser Stelle vor allem auf de Bruyn und Heintz (1999), de Bruyn (2000) und Panayotou (2000) verwiesen. In Abschnitt 3.2.2 wird speziell auf die wesentlichen Diskussionspunkte hinsichtlich der Existenz oder Nichtexistenz der EKC-Beziehung in bezug auf die anthropogenen CO₂-Emissionen eingegangen.

3.2.2 Spezielle Kritik am EKC-Ansatz in bezug auf die anthropogenen CO₂-Emissionen

Das Verhältnis zwischen CO₂-Emissionen und Wohlstand entsprechend dem EKC-Ansatz wurde in folgenden Publikationen analysiert: Shafik und Bandyopadhyay (1992); Shafik (1994); Holtz-Eakin und Selden (1995); Carson und Jeon (1997); Cole et al. (1997); Moomaw und Unruh (1997); Ravallion et al. (1997); Roberts und Grimes (1997); de Bruyn et al. (1998); Schmalensee et al. (1998); Unruh und Moomaw (1998); Galeotti und Lanza (1999); Panayotou et al. (1999); Coondoo und Dinda (2002); Focacci (2003); Martinez-Zarzoso und Bengochea-Morancho (2004).

Unter Berücksichtigung der genannten Literatur kann gesagt werden, dass die Anwendung des EKC-Ansatzes auf die erhöhten CO₂-Emissionen, die zu steigenden CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre führen, nach wie vor umstritten ist.

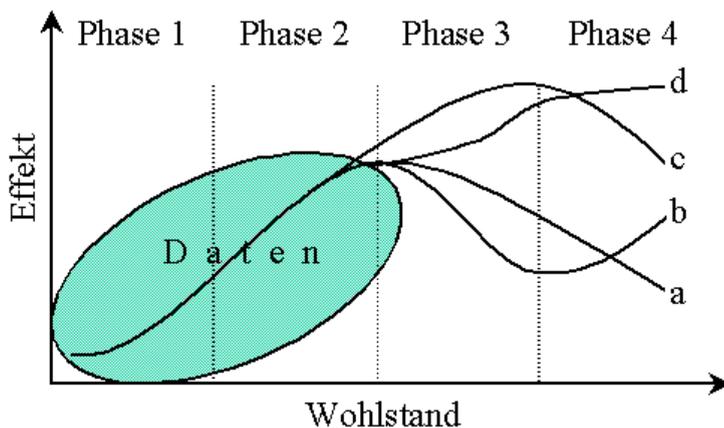


Abbildung 4: mögliche funktionale Beziehungen von Wohlstand und Umwelteffekt

Die weltweit verfügbaren und in den genannten Studien verwendeten Daten zu den CO₂-Emissionen als Umwelteffekt und zum BIP als Wohlstandsindikator umfassen den in Abbildung 4 grün dargestellten Datenraum.

Alle Modelle die einen proportionalen Zusammenhang zwischen CO₂-Emissionen und BIP pro Kopf (ob linear, quadratisch und exponentiell)

annehmen, erreichen eine relativ gute Anpassung (fit) an die Daten, da, wie in Abbildung 4 dargestellt, lediglich die Phasen 1 und 2 der funktionalen Formen empirisch fundiert sind. Dieser proportionale Zusammenhang wurde untersucht durch:

- Paneldatenanalysen (Shafik, 1994; Sengupta, 1996; Moomaw und Unruh, 1997; Schmalensee et al. 1998), bei der die entsprechenden Daten vieler Länder der Erde zu einem Zeitpunkt betrachtet wurden,

- Zeitreihendaten (Shafik und Bandyopadhyay, 1992; Carson und Jeon, 1997; Moomaw und Unruh, 1997; de Bruyn et al. 1998), bei der für jeweils ein Land die entsprechenden Daten für viele Zeitpunkte betrachtet wurden,
- als auch durch gepoolte Datensätze (Moomaw und Unruh, 1997; Panayotou et al. 1999), bei der die Analyse für viele Zeitpunkte und viele Länder gleichzeitig erfolgte.

Die genannten Studien, die eine EKC-Beziehung zwischen CO₂-Emissionen und Wohlstand nachweisen wollten, kommen je nach Datensatz und Analyseansatz zum Teil zu unterschiedlichen Ergebnissen. Vor allem die Aussagen zur Existenz und Lokalisierung eines Maximums werden sehr unsicher.

Die Lokalisierung eines Maximums hinsichtlich der CO₂-Emissions-Wohlstands-Beziehung ist bei Sengupta (1996) bei 8 740 (1985\$) BIP pro Kopf, bei Schmalensee et al. (1998) bei 10 000 US\$ (1995\$), bei Panayotou et al. (1999) bei 12 000 US\$, bei Cole et al. (1997) bei 25 100 US\$ und bei Holtz-Eakin und Selden (1995) sogar erst bei 35 428 US\$ BIP pro Kopf (1986\$). Shafik und Bandyopadhyay (1992) können gar keinem Maximum durch ihre Analyse lokalisieren. Wird das BIP in Kaufkraftparitäten angegeben, sollen die Maxima, so sie gefunden werden, noch um ein Vielfaches höher liegen. Neben den Schwierigkeiten bei der Lokalisierung des Maximums haben alle Modelle der genannten Studien, die auf die Ausgangsgleichungen 1 und 2 aufbauen, relativ große Standardabweichungen, was auf keine gute Anpassung der Modelle an die jeweiligen Daten hindeutet.

Aufgrund dessen ist ein nächster umstrittener Punkt der weitere funktionale Verlauf nach dem möglichen Maximum. Handelt es sich um eine umgedrehte „U“-Form (Abbildung 4, Form a und c, die Parameterschätzungen von $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$ und $\beta_3 = 0$ erfordern) also um einen quadratischen Funktionsverlauf, um eine „N“-Form (Abbildung 4, Form b, die Parameterschätzungen von $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$ und $\beta_3 > 0$ verlangen) also einen kubischen Funktionsverlauf oder gar um eine Funktion mit Sattelpunkt und nicht mit Maximum⁸ (Abbildung 4, Form d, die Parameterschätzungen von $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$ und $\beta_3 < 0$ mit sich bringen). Ist das veränderte Verhältnis von CO₂-Emissionen und Wohlstand also nur temporär?

Die Elastizität der Umwelteffekte in bezug auf das BIP pro Kopf gilt als eine Hilfsvariable, durch die auf den weiteren Funktionsverlauf geschlossen werden kann.

⁸ Eine Funktion hat einen Wendepunkt, wenn die erste Ableitung dieser Funktion an einer Stelle Null ist ($f'(x)=0$). Als Sattelpunkt wird der Wendepunkt einer Funktion bezeichnet an dem darüber hinaus auch die zweite Ableitung, die die Krümmung der Funktion angibt, ebenfalls Null ist ($f''(x)=0$). Als Maximum wird der Wendepunkt einer Funktion bezeichnet, an dem darüber hinaus die zweite Ableitung kleiner als Null ist ($f''(x)<0$).

Diese Elastizität wird durch Gleichung 3.3 berechnet.

$$h_{E,Y} = \frac{\frac{dE}{E}}{\frac{dY}{Y}} = \frac{dE}{dY} \cdot \frac{Y}{E} \quad (3.3)$$

In bezug auf die anthropogenen CO₂-Emissionen ergeben sich negative Emissionselastizitäten aus tatsächlich verminderten Emissionen, positive deuten auf ein weiteres Ansteigen des CO₂-BIP-Verhältnisses hin, also auch auf einen wiederholten Anstieg der Verlaufskurve, auch als „N“-Form bezeichnet (Fall b in Abb.4), wie in Sengupta (1996) und Moomaw und Unruh (1997) untersucht. Sengupta (1996) fand nach dem ermittelten Maximum von 8 740 (1985\$) BIP pro Kopf, positive Einkommenselastizitäten oberhalb von 15 300 (1985\$) BIP pro Kopf, was auf die späteren Reetablierung des Aufwärtstrends der CO₂-Emissionen und der BIP-Pro-Kopf-Entwicklung deutet.

Wie Abbildung 4 verdeutlicht, sind in bezug auf die CO₂-Emissionen die Annahmen zu den möglichen Wendepunkten und die danach folgenden Funktionsverläufe nicht durch die existierende Datenbasis und die darauf aufbauenden empirischen Analysen gedeckt.

Ein nächster Kritikpunkt innerhalb der EKC-Diskussion bezüglich der anthropogenen CO₂-Emissionen liegt in der Quantifizierung der einzelnen Variablen. Zwar herrscht weitgehend Einigkeit hinsichtlich der Quantifizierung des Wohlstands durch das BIP pro Kopf, es gibt aber große Unterschiede bei der Wahl der Einheit. In einigen Studien wird das BIP pro Kopf in US\$ mit unterschiedlichen Basisjahren verwendet, in einigen wird es in Kaufkraftparitäten⁹ angegeben. Auch die Quantifizierung des Umwelteffektes schwankt zwischen absoluten (de Bruyn et al., 1998) und pro Kopf CO₂-Emissionen (z.B. Shafik und Bandyopadhyay, 1992; Shafik, 1994; Holtz-Eakin und Selden, 1995; Carson und Jeon, 1997; Ansuategi und Escapa, 2002). Natürlich sollten bei Ländervergleichen relative den absoluten Werten vorgezogen werden. Andererseits kann ein Sinken der Pro-Kopf-Emissionen (Abwärtstrend der EKC Kurve) bereits erreicht werden, wenn die Bevölkerung schneller wächst als die CO₂-Emissionen. Dieser Abwärtstrend kann also bei steigenden absoluten Emissionen erreicht werden, so dass der tatsächliche Umweltschaden zunimmt, obwohl die Kurve eine Verminderung anzeigt.

⁹ Eine Diskussion zu den Unterscheiden zwischen konst.US\$ und Kaufkraftparitäten wird in Kap.4.1.3 vorgenommen.

Ein anderes Gegenargument basiert auf der Vermutung, dass bei globalen Umwelteffekten wie dem anthropogenen Treibhauseffekt die Wohlstandsdeterminante ausgedrückt in BIP pro Kopf eine irreführende Erklärungsvariable ist, die andere tatsächliche Einflüsse verdeckt. Das heißt, dass der Nachweis der EKC-Abhängigkeit von lokalen Umwelteffekten nicht auf globale Effekte übertragen werden kann (Shafik und Bandyopadhyay, 1992; Selden und Song, 1994; Shafik, 1994; Grossman und Krueger, 1995; Cole et al., 1997). Da bei der allgemeinen EKC-Analyse nur nach singulären Abhängigkeiten zwischen Umwelteffekt und Wohlstand gesucht wird, bleiben wichtige Erklärungsfaktoren verborgen.

Moomaw und Unruh (1997) zeigten, dass der Übergang zu negativen Emissionselastizitäten, also die Wendepunkte der Kurve stärker mit historischen Ereignissen wie dem Ölpreisschock übereinstimmen als mit weiterem kontinuierlichen Wohlstandswachstum. Sie kommen zu dem Schluss, dass im Falle der CO₂-Emissionen durch die EKC eine historische Unstetigkeit in den Modellvariablen fälschlicherweise als ein hypothetischer Einkommenseffekt interpretiert wurde (Moomaw und Unruh, 1997; Seite 460). In Unruh und Moomaw (1998) wird dieser Standpunkt vertieft. Die Wendepunkte seien mehr eine Antwort auf exogene Effekte oder nationale Politik, als dass sie automatisch mit fortschreitender Wohlstandsentwicklung einhergehen.

Wäre die Wohlstandsentwicklung die wesentliche Erklärungsvariable für die Entwicklung der anthropogenen CO₂-Emissionen, sollten ähnlich wirtschaftlich entwickelte Länder auch ähnliche Emissionssituationen haben. Der Vergleich der Zeitreihen auf Länderebene zeigt jedoch, dass ähnliche Wohlstandsniveaus und –entwicklungen völlig unterschiedliche CO₂-Emissionsniveaus und –entwicklungen nach sich ziehen können. Es muss also weitere Faktoren geben, die ebenfalls eine wichtige Rolle hinsichtlich der Entwicklung der CO₂-Emissionen geben, die bei der singulären Betrachtung der Wohlstands-Emissions-Beziehung unberücksichtigt bleiben.

Es bleibt unbestritten, dass die Wohlstandsentwicklung einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung der CO₂-Emissionen liefert. Aus den vorhandenen Daten ist eine weitgehend gleichgerichtete Entwicklung von anthropogenen CO₂-Emissionen und Wohlstand nachweisbar (Aufwärtstrend der Emissions-Wohlstands-Beziehung). Ursächlich für bestimmte Wendepunkte innerhalb des Emissions-/Wohlstandsverhältnisses sind jedoch Determinanten, die durch die singuläre EKC-Diskussion nicht transparent gemacht werden.

Dass sich die EKC-Abhängigkeit auch innerhalb der Debatte zum anthropogenen Treibhauseffekt so hartnäckig hält, hat mindestens zwei Ursachen. Eine ist die eingeschränkte Datenverfügbarkeit im globalen Maßstab (siehe Kapitel 4), die die empirische Validierung vor harte Grenzen stellt.

Eine zweite Ursache liegt sicher auch in der bequemen Lösung für viele Wohlstandsverfechter (z.B. Carson und Jeon, 1997), die mit dieser funktionalen Abhängigkeit beweisen wollen, dass Wachstums- und Wohlstandspolitiken das Potential haben, langfristig umweltfreundlich zu sein, auch wenn sie kurzfristig Schäden mit sich bringen, z.B. Beckermann (1992): „*There is a clear evidence that, although economic growth usually leads to environmental deterioration in the early stages of the process, in the end the best – and probably the only – way to attain a decent environment in most countries is to become rich.*“ Mit dieser Argumentationskette wird der Möglichkeit zur Einflussnahme auf den Treibhausgasereffekt eine klare Grenze gesetzt, obwohl durch die empirische Datenbasis (siehe Abbildung 4) das so nicht bestätigt werden kann.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit Hilfe der EKC-Beziehung zwar historische Beziehungen zwischen Wohlstand und Umweltschädigung beschrieben werden können, Erklärungen zum *Warum* jedoch offen bleiben (Moomaw und Unruh, 1997; de Bruyn, 2000). Was sind die Gründe für eine solche mögliche Entwicklung, das bloße wirtschaftliche Wachstum, der technologische Fortschritt, die Umweltpolitik, oder noch andere?

Allgemeine reduzierte Modelle wie $CO_2em = f(\text{Wohlstand})$ gelten als zu einfach. Da durch sie nicht erklärt werden kann, was die Ursachen für mögliche Wendepunkte sind, kann auch wenig über die möglichen Folgen gesagt werden. Da wichtige weitere erklärende Faktoren nicht berücksichtigt werden, lassen sich die EKC-Analysen in bezug auf die anthropogenen CO_2 -Emissionen derzeit nicht zu einer schlüssigen Theoriebildung konkretisieren.

In Abschnitt 3.3 wird deshalb die Literaturrecherche auf weitere Bestimmungsfaktoren der anthropogenen CO_2 -Emissionen gelenkt.

3.3 Determinanten der anthropogenen CO_2 -Emissionen

Ziel dieser Arbeit ist es, nach den Gründen für die beobachtete Entwicklung der anthropogenen CO_2 -Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger zu suchen. Dazu sollte zuerst die Frage nach den sozio-ökonomischen Determinanten dieser vermehrten CO_2 -Emissionen gestellt werden. In Abschnitt 3.2 wurde deutlich, dass die Beschreibung der

Emissionen allein durch eine Wohlstandsdeterminante derzeit keine befriedigenden Antworten liefert.

Nach einem allgemeinen, klassischen, humanökologischen Ansatz, den Barry Commoner in seinem Artikel *The Closing Circle* (Commoner, 1971), zunächst mit allgemeinen Determinanten der Luftverschmutzung beschrieb, haben Paul Ehrlich und John Holdren diesen Ansatz verallgemeinert (Ehrlich und Holdren, 1972) und gemeinsam den sogenannten *IPAT – Ansatz* geprägt. Er besagt, dass eine Umweltschädigung (**I**mpact) durch eine Bevölkerungs- (**P**opulation), eine Wohlstands- (**A**ffluence) und eine Technologiekomponente geprägt und gesteuert wird.

Die Quantifizierung und mathematische Umsetzung beruht jedoch nicht auf einem Modell, sondern auf einer erweiterten Identitätsgleichung. Diese Erweiterung ist eine in vielen Bereichen der Sozialwissenschaften angewandte Methode, um Bestimmungsgrößen für bestimmte Entwicklungen sichtbar zu machen. Dabei wird eine Identität um einzelne Faktoren erweitert. Von Interesse für die weitere Betrachtung sind dann die daraus entstehenden Verhältniszahlen, und nicht mehr die einzelnen Variablen, um die die Identität erweitert wurde.

Das Prinzip der Erweiterung von Identitätsgleichungen:

$$A = A = \frac{A}{B} \cdot B = C \cdot B \quad (3.4)$$

Diese Art der Quantifizierung anhand von Identitätsgleichungen bringt an sich wenig theoretischen Informationsgewinn, sie stimmt aufgrund der Algebra in jedem Fall und kann zur klassischen Theoriebildung und zu Prognosezwecken nicht angewendet werden. Interessant wird sie, wenn die neu entstehenden Faktoren selbstständig interpretierbar sind und wenn die zeitliche Veränderung dieser Beziehung in den Mittelpunkt der Analyse gerückt wird.

Können die Variablen A, B und C in Gleichung 3.4 beispielsweise als exponentiell wachsende Größen angesehen werden, so lässt sich deren Wachstumsrate (**g**) für den Zeitraum t_0 - t_1 mittels einer Exponentialfunktion wie folgt beschreiben:

$$A_{(t_1)} = A_{(t_0)} \cdot e^{g_A \cdot (t_1 - t_0)} \quad (3.5)$$

dadurch ergibt sich die Wachstumsrate:

$$g_A = \frac{\ln A_{(t_1)} - \ln A_{(t_0)}}{(t_1 - t_0)} \quad (3.6)$$

In der stetigen Prozessbetrachtung ergibt sich:

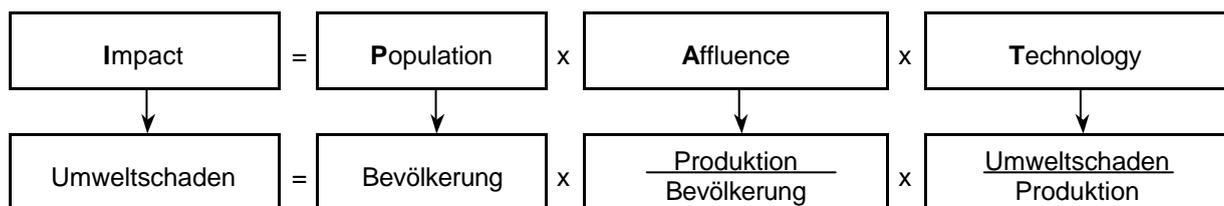
$$\frac{d \ln A_{(t_1)}}{dt} = g_A \quad (3.7)$$

Angewandt auf die Gleichung 3.4 ergibt sich:

$$g_A = g_C + g_B \quad (3.8)$$

Mit Hilfe dieser Beziehung kann erklärt werden, wie in einem bestimmten Zeitraum Veränderungen einer Variable durch die Änderungen der sie per Definition bestimmenden Größen erreicht wurden.

Aufbauend auf diesem Prinzip der Identitätserweiterung wird der IPAT-Ansatz wie folgt quantifiziert:



und entsprechend der Herleitung der Gleichungen 3.4 bis 3.8 ergibt sich:

g_I	=	g_P	+	g_A	+	g_T
-------	---	-------	---	-------	---	-------

Abbildung 5: Der IPAT –Ansatz

Über die allgemeine Gültigkeit, dass Bevölkerung, Wohlstand und Technologie wesentliche Determinanten für unterschiedliche Umweltschädigungen sind, besteht auch heute noch weitgehend Konsens.

Eine Vielzahl von empirischen Arbeiten nahm den IPAT-Ansatz zum Ausgangspunkt, um verschiedenste Umweltschäden von Luft- und Wasserverschmutzung (Cramer, 1998) zu Bodenschädigungen (Harrison, 1992) zu analysieren. Von den Untersuchungen der Luftqualität z.B. durch Automobilabgase (Commoner, 1991) zur Implementierung auf die in den 90er Jahren aufkommende Thematisierung des Treibhauseffektes (Holdren, 1991; UNFPA, 1991; Bongaarts, 1992; Harrison, 1992; MacKellar et al., 1995) war es nur ein kurzer Schritt.

Seit seiner Einführung vor mehr als 30 Jahren, wird der IPAT-Ansatz in zahlreichen Artikeln zum Teil sehr kontrovers diskutiert. Viele halten bereits den theoretischen Ansatz für zu allgemein und vermissen die Einbeziehung weiterer Faktoren wie z.B. die Rolle des Konsums (Kates, 2000), der Haushalte (MacKellar et al., 1995) oder des Umweltverhaltens (Schulze, 2002) um nur einige zu nennen. Es ist unbestritten, dass die Zerlegung der Einflussfaktoren auf Umweltschäden in Bevölkerungs-, Wohlstands- und Technologiekomponente eine sehr starke Vereinfachung darstellt.

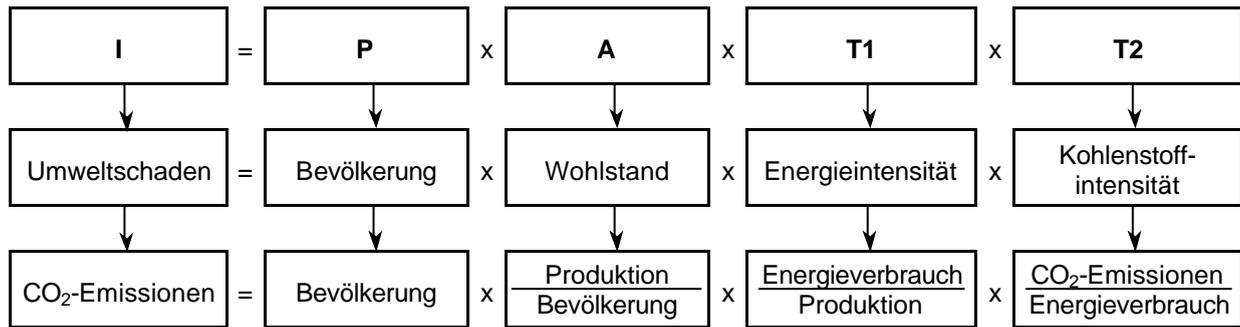
Eine Analyse setzt jedoch eine Quantifizierung der definierten Einflussgrößen voraus. Die Möglichkeiten der weltweiten Quantifizierung sowohl der ursprünglichen (I, P, A, T) als auch möglicher weiterer Einflussgrößen sind jedoch weitaus komplizierter und werden auch von den theoretischen Kritikern oftmals nicht näher beleuchtet.

In bezug auf die Treibhausgasproblematik werden in der Regel anthropogene CO₂-Emissionen als **I**(mpact), Bevölkerungsdaten als **P**(opulation) als einzige relativ eindeutig und Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf als **A**(ffluence) weitgehend akzeptiert¹⁰.

Die numerische Darstellung der **T**(echnology)-Komponente ist jedoch schwieriger. Die Interpretation von Emissionen pro Einheit BIP als **T**(echnology)-Komponente (wie im ursprünglichen IPAT Ansatz) gilt als wenig zielführend. Sie wird eher als abstrakte Größe, die lediglich die Identitätsgleichung erfüllt, denn als relevanter Ausdruck für die Technologie angesehen. Sie ist politisch uninteressant, da kaum Mechanismen zur Verminderung dieser Emissionen abgeleitet werden können und somit auch nicht als Determinante transparent.

Yoichi Kaya hat 1990 den IPAT-Ansatz um den Energieverbrauch erweitert und damit die wesentliche Brücke zu den energiepolitischen Bestimmungsfaktoren geschlagen (Kaya, 1990; Yamaji et al., 1991). Dabei wurde die ursprüngliche Technologiekomponente des IPAT-Ansatzes durch die Komponente der Energieintensität (wie viel Energie braucht eine Volkswirtschaft pro Einheit Produktionsergebnis) und der Kohlenstoffintensität (wie viel Kohlendioxid entsteht je Einheit verbrauchter Energie) ersetzt.

¹⁰ siehe dazu auch Kapitel 4.3.2.



und entsprechend der Herleitung der Gleichungen 3.4 bis 3.8 ergibt sich:

g_I	=	g_P	+	g_A	+	g_{T1}	+	g_{T2}
-------------------------	---	-------------------------	---	-------------------------	---	----------------------------	---	----------------------------

Abbildung 6: Die Kaya-Identität

Heute ist die *Kaya-Identität* als Brücke zu den Hauptdeterminanten der anthropogenen CO₂-Emissionen weitgehend anerkannt. Die Arbeitsgruppe 3 des IPCC (siehe Fußnote 1, S.3), stützt sich unter anderem auf die Dynamik der durch die *Kaya-Identität* beschriebenen Determinanten, bei den Berechnungen ihrer Emissionsszenarien (IPCC, 2000).

Die Kritik, dass auch die *Kaya-Identität* eine zu grobe Vereinfachung ist und nicht alle Bestimmungsgrößen dargestellt, ist theoretisch zweifellos richtig. Da aber derzeit weltweit harmonisierte Daten für die Einbeziehung weiterer Determinanten fehlen, wäre die empirische Umsetzung in hohem Maße einschränkt, was diesen Kritikpunkt weitgehend relativiert.

In anderen Kritiken wird die Forderung nach unabhängigen Einflussgrößen gestellt. Diese Unabhängigkeitsforderung wurde aus bestimmten Verfahren der schließenden Statistik übernommen, so z.B. der Regressionsanalyse zur Untersuchung von funktionalen Formen. Sind die Einflussgrößen dort nicht unabhängig, können Einflüsse einzelner Variablen auf andere übertragen werden, was dann zu irrtümlich nachgewiesenen Scheinabhängigkeiten führen kann. Auf grund des Prinzips der Zerlegung einer Identität in bestimmte Verhältniszahlen und der dadurch entstehenden vollständig erklärten Modelle kann diese Forderung natürlich nicht erfüllt werden. Diese vollständig erklärten Modelle werden jedoch deskriptiv analysiert und innerhalb der beschreibenden Statistik gibt es keine Unabhängigkeitsforderung.

Identitätsgleichungen lassen sich beliebig erweitern. Sinnbildend sind die Erweiterungen jedoch nur, wenn die dadurch eingeführten Verhältniszahlen einen zusätzlichen Erkenntnisgewinn für den beschriebenen Prozess bringen. Daher sollte vor jeder Erweiterung inhaltlich geprüft werden, ob die entstehenden Verhältniszahlen die Informationen liefern, nach denen man sucht und auch der Interpretierbarkeit der entstehenden Verhältniszahlen

besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Die Zerlegung sollte den Gesamtprozess in ökonomisch interpretierbare Faktoren entflechten (de Bruyn, 2000).

Von der Identität zu funktionalen Modellen

Versuche den *IPAT-Ansatz* in funktionale Modelle oder auch reduzierte Formgleichungen zu überführen, um mit diesem Ansatz die Theoriebildung zum Entstehungs- und Beziehungsgeflecht der anthropogenen CO₂-Emissionen voranzubringen, wurden in den 90er Jahren vor allem von Rosa et al. (1990), Dietz und Rosa (1994, 1997) und York et al. (2003) unternommen. Dabei wird von folgender Annahme ausgegangen.

$$I = f(P, A, T) \quad (3.9)$$

Die Terminologie ist der dem IPAT-Ansatz entnommen mit I als **Impact** (Umweltschaden), P als **Population** (Bevölkerungskomponente), A als **Affluence** (Wohlstandskomponente) und T als **Technology** (Technikkomponente). Mit Hilfe eines entsprechenden stochastischen Modells

$$I_{(t)} = a \cdot P_{(t)}^b \cdot A_{(t)}^c \cdot T_{(t)}^d \cdot e_{(t)} \quad (3.10)$$

mit $e_{(t)}$ als Fehlerterm und der Linearisierung

$$\ln I_{(t)} = \ln a + b \cdot \ln P_{(t)} + c \cdot \ln A_{(t)} + d \cdot \ln T_{(t)} + \ln e_{(t)} \quad (3.11)$$

ließe sich theoretisch die relative Bedeutung der einzelnen Einflussfaktoren mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate schätzen. Erfolgt die Quantifizierung der einzelnen Variablen I, P, A und T anhand der in Abschnitt 3.3 vorgestellten Identität, also CO₂-Emissionen als *I*, Bevölkerung als *P*, BIP pro Kopf als *A*, Primärenergieverbrauch pro Einheit BIP als *T1* und CO₂-Emissionen pro Einheit Primärenergieverbrauch als *T2*, ergibt sich auf grund des dann vollständig erklärten Modells die Lösung $a=b=c=d=e=1$.

Die Reduzierung der Technologiekomponente auf den Primärenergieverbrauch (PE) hat zwar hinsichtlich der Parameterschätzung den Vorteil, dass das Modell nicht mehr vollständig erklärt ist, ist jedoch trotzdem nicht sinnvoll, da die anthropogenen CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger (CO₂em) ja aus dem Primärenergieverbrauch abgeleitet werden (siehe nachfolgendes Abschnitt 4.1.1). Die Parameterschätzung entlang der Gleichung 3.11 führt dann zu $\tilde{a} \sim \tilde{b} \sim \tilde{c} \sim 0$ und $\tilde{e} \sim \tilde{d} \sim 1$ und deshalb auch nicht zu brauchbaren Ergebnissen.

Die Probleme der Anwendung dieses Ansatzes in bezug auf die anthropogenen CO₂-Emissionen liegen somit nach wie vor in der Quantifizierung vor allem der Technikkomponente. Dietz und Rosa (1994, 1997) umgehen dieses Quantifizierungsproblem

der Technikkomponente indem sie die Ausgangsgleichung 3.10 auf die Faktoren P und A reduzieren und den Fehlerterm e als Technikvariable interpretieren. Damit treffen die wesentlichen Kritikpunkte zur EKC (siehe Abschnitt 3.2.2) auf auch diese Anwendung zu. Es ließe sich zwar die relative Bedeutung von P und A auf die Emissionen schätzen, wirklicher Erkenntnisgewinn entsteht jedoch nicht, da wichtige Determinanten der CO₂-Emissionen unberücksichtigt bleiben. Dem Wesen und der Bedeutung der Technologiekomponente kommt man nicht näher und weitere wichtige Determinanten bleiben unberücksichtigt, das heißt, dass eine solche multiple Potenzfunktion für die Theoriebildung nicht ausreichend ist, da die wesentlichen Erklärungsfaktoren der anthropogenen CO₂-Emissionen bei dieser Art der Reduzierung verborgen bleiben.

3.4 Kapitelzusammenfassung

Das Kapitel 3 gibt den derzeitigen Wissensstand hinsichtlich der wesentlichen sozio-ökonomischen Determinanten der vermehrten anthropogenen CO₂-Emissionen wieder. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Beschränkung auf eine Wohlstandskomponente als alleinige Bestimmungsgröße der CO₂-Emissionen als zu oberflächlich angesehen werden kann (siehe Abschnitt 3.2.2) und auch die bloße Erweiterung lediglich um die Bevölkerungskomponente unzureichend ist, da wesentliche sozio-ökonomische Erklärungsfaktoren der vermehrten anthropogenen CO₂-Emissionen, die vor allem in dem weiten Feld des Technikbegriffs zu suchen sind, unberücksichtigt bleiben.

Die Zerlegung des Prozesses der Entstehung der CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger in die vier Determinanten Bevölkerung (P), Wohlstand (A gemessen in BIP pro Kopf), und beiden Technologiekomponenten Energieintensität (EI oder T1, gemessen in Primärenergieverbrauch pro Einheit BIP) und Kohlenstoffintensität (KI oder T2, gemessen in CO₂-Emissionen pro Einheit Primärenergieverbrauch) ist bei weitem detaillierter. Die Verknüpfung des beschriebenen Ursache-Wirkungs-Mechanismus führt zu einem vollständig erklärten Modell. Die nachfolgende Analyse muss dem Rechnung tragen.

Da dem globalen Prozess der vermehrten anthropogenen CO₂-Emissionen auch eine globale Analyse der Ursachen gegenüberstehen soll, sind der Einbeziehung weiterer Bestimmungsgrößen auf grund der schwierigen weltweiten Quantifizierbarkeit enge Grenzen gesetzt. Auf eine weitere Zerlegung wird deshalb in dieser Arbeit verzichtet.

4. DIE DATENGRUNDLAGE

In diesem Kapitel soll der Frage nachgegangen werden, wie die in Abschnitt 3.3 beschriebenen sozio-ökonomischen Determinanten der vermehrten anthropogenen CO₂-Emissionen quantifiziert werden können. Die der Arbeit zu Grunde liegende Hypothese, dass die Wirkmechanismen dieser Determinanten nicht überall auf der Welt gleich sind, erfordert natürlich eine weitestgehend globale Betrachtung und folglich auch eine global einheitliche Quantifizierung.

Die einzige praktikable internationale räumliche Zuordnung ist die der Nationalstaaten. Jede andere räumliche Einheit ließe sich im globalen Gefüge der Datenerfassung nicht realisieren. Als zeitliche Dimension ist die jährliche Erfassung ausschlaggebend.

Die in Abschnitt 4.1 dokumentierte Datenrecherche ist also ausgerichtet auf weltweit harmonisierte Daten, die in möglichst langen Zeitreihen, für möglichst viele Nationalstaaten verfügbar sein sollten. Diese Restriktion der weltweiten, harmonisierten Daten schränkt die Quantifizierungs- und demzufolge Analysemöglichkeiten natürlich ein. Weltweit harmonisierte Daten sind seit ca. 50 Jahren Ziel vieler Organisationen wie UNO oder OECD und ein bis heute nur ansatzweise gelöstes Problem, von denen nachfolgend einige spezifische für die in dieser Arbeit verwandten Größen erläutert werden.

Die Datenrecherche ist auf die in Abbildung 6 vorgestellten Variablen zur Quantifizierung der Impact-, Bevölkerungs-, Wohlstands- und Technologiekomponenten ausgerichtet. Dabei wird nach Basisdaten und Verhältniszahlen unterschieden. Die Datenbankrecherche bezieht sich nur auf die Basisdaten CO₂-Emissionen, Bevölkerung, Bruttoinlandsprodukt und Primärenergieverbrauch (Abschnitt 4.1). Nach der Eingangsprüfung auf definierte Minimalanforderungen an die Zeitreihen (Abschnitt 4.2) werden die Verhältniszahlen selbst berechnet und mittels deskriptiver Statistik beschrieben (Abschnitt 4.3).

4.1 Definitionen der Basisdaten

Die Datenbankrecherche konzentriert sich auf internationale Datenquellen, um möglichst harmonisierte Datensätze zu erhalten. Als harmonisierte Daten werden solche verstanden, die mit möglichst gleichen Definitionen, durch möglichst gleiche Erhebungsmechanismen gewonnen werden. Die Datenbankrecherche bezieht sich einerseits auf verfügbare CD-ROMs und andererseits auf Internet-Datenbanken. Diese Internet- oder auch Online-Datenbanken werden laufend aktualisiert. Dadurch kann der Nutzer schneller als bisher auf aktuelle Daten

zugreifen. Eine spätere Reproduzierbarkeit des Datenretrieval kann von den derzeitigen Online-Datendanken jedoch nicht garantiert werden. Die in Tabelle 2 bis Tabelle 5 zusammengefassten Recherchen wurden Ende 2001 durchgeführt. Ein späterer Zugriff auf diese Online-Datenbanken könnte natürlich andere Ergebnisse liefern, sicher würde der Zeitraum inzwischen erweitert werden können.

4.1.1 CO₂-Emissionen – zentrale Antriebsgröße des anthropogenen Treibhauseffektes

Wie in Kapitel 2 erläutert, gelten die anthropogenen CO₂-Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger als eine sehr wesentliche Ursache des gesamten anthropogenen Treibhauseffektes.

Kohlendioxid ist jedoch ein natürlicher Bestandteil der Luft und kein Schadstoff im klassischen Sinn. Es wird durch eine riesige Menge zum Teil hochkomplexer biologischer, chemischer und physikalischer Prozesse gebildet, beeinflusst, gesteuert, gebunden und wieder freigesetzt. Viele dieser Prozesse sind auch naturwissenschaftlich noch nicht vollständig verstanden. Da den einzelnen CO₂-Bestandteilen der Luft nicht anzusehen ist, woher sie kommen, und diese sich auch global ausbreiten, lässt sich aus Konzentrationsmessungen nicht, oder nur sehr grob, auf die spezifischen Verursacher schließen.

Im Rahmen der Ursachenerforschung der globalen Klimaänderungen hat sich deshalb durchgesetzt, für einen bestimmten Zeitraum die CO₂-Emissionen anhand des Kohlenstoffgehaltes der in dieser Zeiteinheit verbrauchten fossilen Energieträger zu berechnen. Natürlich ist auch diese Methode alles andere als fehlerfrei und begleitete viele Diskussionen und Verhandlungen des Kyoto-Protokolls¹¹. Es ist jedoch derzeit die einzige Möglichkeit, CO₂-Emissionen in das Gefüge der nationalen weltweiten Datenerhebung einzubringen und mit diesen Informationen zu verknüpfen.

Die Datenbankrecherche ergab 4 Quellen zu CO₂-Emissionsdaten, deren Ergebnisse in Tabelle 2 zusammengefasst sind.

¹¹ Das Kyoto-Protokoll ist eine Konkretisierung der von über 150 Staaten unterzeichneten und 1994 in Kraft getretenen Klimarahmenkonvention, die anlässlich der „Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung“ 1992 in Rio de Janeiro beschlossen wurde. Im Dezember 1997 wurden auf der 3. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention mit dem Kyoto-Protokoll erstmals rechtsverbindliche Begrenzungs- und Reduktionsverpflichtungen für die Industrieländer festgelegt (die Industrieländer werden verpflichtet, ihre Emissionen von festgelegten Treibhausgasen um mindestens 5% bis zum Zeitraum 2008-2012 gegenüber dem Niveau von 1990 zu senken). Innerhalb der Verhandlungen um das Kyoto-Protokoll lagen die Hauptstreitpunkte in der Messung der CO₂-Emissionen und der Berechnung der Reduktionsziele. Obwohl es von 120 Staaten unterzeichnet wurde, ist es noch immer nicht in Kraft, da die USA und Russland ihre Unterschrift verweigern. Das Kyoto-Protokoll ist umstritten, da durch die verschiedenen Anrechnungsmechanismen keine wirklichen Emissionsreduktionen eintreten müssen und andererseits auch klar ist, dass die vereinbarten Reduktionsziele nicht ausreichen, um den anthropogenen Treibhauseffekt zu stoppen. Als politische Willensbekundung besitzt es trotzdem Signalwirkung.

Herausgeber	CDIAC	UNO	Weltbank	IEA
Name	np 030	UNstat online	World Development Indicators 2001	IEA online
Verfügbarkeit	online kostenlos (www.cdiac.esd.ornl.gov)	online (www.unstats.un.org/unsd)	jährliche CD-ROM	online (www.data.iea.org)
Variablen	CO ₂ -Emissionen aus: - Verbrennung fossiler Energieträger (gesamt) - fest - flüssig - gasförmig. - Zementproduktion - Abfackeln pro Kopf CO ₂ -Em.	CO ₂ -Emissionen pro Kopf CO ₂ -Emissionen	CO ₂ -Emissionen pro Kopf CO ₂ -Emissionen CO ₂ -Emissionen pro GDP (ppp)	CO ₂ -Emissionen aus der Verbrennung von : - Kohle - Öl - Gas - anderem - gesamt
Zeitraum (jährlich)	teilweise seit 1751 bis 1998	1980-2000	1960-1998	jährlich teilweise seit 1960
räumliche Gliederung	242 Staaten und andere Verursacher	210 Staaten	207 Staaten	136 Staaten
Kommentare	Datenquelle des IPCC	gibt als Datenquelle UNFCCC - CDIAC an und ist in der Realität sehr unvollständig	keine Quellenangabe	mit ständig rückwirkenden Änderungen muss gerechnet werden

Tabelle 2: Überblick über die Datenbankrecherche zu CO₂-Emissionen

Das *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC) ist die wichtigste Datenquelle für weltweit vergleichbare Zeitreihen zu CO₂-Emissionen (Boden et al., 1994; Andres et al., 1999; Marland, 2000). Die UNO und deren Unterorganisationen beziehen ihre CO₂-Emissionsdaten zwar vom CDIAC, übernehmen jedoch nur Fragmente in ihre Datenbanken. Die *International Energy Agency* (IEA), eine Unterorganisation der OECD, berechnet ebenfalls CO₂-Emissionsdaten. Die Daten der IEA sind mit Abstand die teuersten, der Umgang mit deren Online-Zugang ist äußerst nutzertunfreundlich¹² und die Zeitreihen werden zudem ständig auch rückwirkend verändert, was die Reproduzierbarkeit der Analysen sehr stark beeinträchtigt.

Für die Analyse wurde der 2001 zur Verfügung gestellte Datensatz „nation1751-1998.csv“ aus dem Block „ndp30“ des CDIAC verwendet. Das IPCC stützt sich auf diesen Datensatz, er hat die längsten Zeitreihen und ist zudem kostenlos. Kürzlich wurde dieser Datensatz aktualisiert bis 2000, was jedoch in den Analysen dieser Arbeit nicht mehr berücksichtigt werden konnte.

¹² Ein Herunterladen der Daten ist nur mit Microsoft software möglich, was derzeit extreme Sicherheitsrisiken mit sich bringt (<http://www.heise.de/security/result.xhtml?url=/security/news/meldung/42757&words=Explorer>)

4.1.2 Bevölkerung

Die Quantifizierung der Bevölkerungskomponente innerhalb der Umwelt-Mensch-Wohlstand-Technik Relation gilt gemeinhin als am unkompliziertesten. Die Bevölkerung eines Landes wird seit langen Jahren verhältnismäßig eindeutig erfasst. Auch wenn die Abgrenzung im Detail durchaus zu Diskussionen führen mag, sind die Zeitreihen der UNO und der Weltbank als einer Unterorganisation weitestgehend unumstritten.

Die Datenbankrecherche wurde deshalb auf UNO und Weltbank beschränkt, siehe Tabelle 3.

Herausgeber	UNO	Weltbank
Name der Datenbank	UNstat online	World Development Indicators 2001
Verfügbarkeit	online (www.unstats.un.org/unsd)	jährlich erscheinende CD -ROM
Variablen	Population total	Population total
Zeitraum (jährlich)	1960-1997	1960-1999
räumliche Gliederung	210 Staaten	207 Staaten
Datenextraktion	Datenextraktion nur in 10 Jahres Schritten	komplette Extraktion des gesamten Datensatzes in einem Schritt

Tabelle 3: Überblick über die Datenbankrecherche zu Bevölkerungsdaten

Für diese Arbeit wurden die Bevölkerungsdaten der Weltbank von der CD-ROM „World Development Indicators 2001“ verwendet, weil die Zeitreihen bis 1999 reichen (UNO nur bis 1997) und die Datenextraktion weit nutzerfreundlicher ist.

4.1.3 Bruttoinlandsprodukt als Wohlstandsindikator

Die Frage, „Was ist der Wohlstand eines Landes?“ beschäftigt seit vielen Jahren viele Wissenschaftler, ohne dass dieser Begriff eindeutig erklärt und definiert werden konnte. Die Quantifizierung dieses Wohlstandes ist demzufolge noch um ein Vielfaches schwieriger. Aus ökonomischer Sicht wird als Wohlstandsmaß die wirtschaftliche Leistung eines Landes favorisiert, die als Bruttoinlandsprodukt (BIP) mittels volkswirtschaftlicher Gesamtrechnung (VGR) berechnet wird.

Die VGR gibt Aufschluss über die Gesamtheit der Wirtschaftsaktivitäten, sofern diese auf monetären Austauschprozessen beruhen. Das Bruttoinlandsprodukt ist eine der wichtigsten Größe der VGR. Es ist definiert als ein zusammenfassendes Maß für die wirtschaftliche Leistung einer Volkswirtschaft in einem bestimmten Zeitraum. Es misst den Wert der im Inland hergestellten Waren und Dienstleistungen (Wertschöpfung), soweit diese nicht als

Vorleistungen für die Produktion anderer Waren und Dienstleistungen verwendet wurden und wird entstehungsseitig wie folgt berechnet:

-	Produktionswert	
	Vorleistungen	
=	Bruttowertschöpfung	
+	Gütersteuern	
-	Gütersubventionen	
=	Bruttoinlandsprodukt	

Auf dieser Berechnungsgrundlage lässt sich das BIP relativ genau bestimmen. Weltweit wurde eine international anerkannte und harmonisierte VGR das revidierte *System of National Accounts* (SNA) der UNO entwickelt, das entsprechende Daten liefert. Innerhalb der SNA wird empfohlen, für internationale Vergleiche die Bruttoinlandsprodukte (BIP; *Gross Domestic Product* - GDP) der einzelnen Länder zu verwenden (UNO 1993)¹³.

Das BIP, als eine der wichtigsten Größen der VGR, gilt demzufolge derzeit als der am weitestgehend akzeptierte und international am besten vergleichbare Indikator zur Wohlstandsmessung und gehört zu den Indikatoren des Verbreitungsstandards des Internationalen Währungsfonds (IWF) und der Weltbank (WB), trotz der berechtigten Kritiken¹⁴.

Die Daten des SNA werden ursprünglich in durch die VGR der einzelnen Länder in den jeweiligen nationalen Landeswährungen erhoben. Gerade für internationale Vergleiche ist der Aussagewert begrenzt, selbst wenn eine allgemeine Umrechnung in z.B. US\$ erfolgt, weil zusätzliche Störfaktoren wie Inflation oder Wechselkurse die Ergebnisse beeinflussen können.

Um die Probleme der Paritäten von Währungen nicht auf die Berechnung des BIP zu übertragen, sollten Kaufkraftparitäten (KKP; Purchase Power Parities - PPP) statt internationaler Wechselkurse verwendet werden (Angermann und Stahmer, 1984; Lippe, 1996). Eine Kaufkraftparität gibt an, wie viele ausländische Geldeinheiten erforderlich sind, um die gleiche Gütermenge im Ausland zu erwerben, die man im Inland für eine inländische Geldeinheit bekommt. Erste Arbeiten zur Berechnung von Kaufkraftparitäten wurden im Auftrag der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit in Europa (OECD) bereits 1954

¹³ Das Bruttoinlandsprodukt (BIP/GDP) wird nach dem Inlandsprinzip errechnet das Bruttosozialprodukt (BSP/GNP) dagegen nach dem Inländerprinzip (der Saldo der Faktoreinkommen zwischen den Inländern und der übrigen Welt wird berücksichtigt).

¹⁴ Ein Einwand lautet etwa, dass Ressourcenbeanspruchung und Umweltschäden im System der VGR nicht oder nur ungenügend abgebildet werden. Da „nur“ monetäre Austauschprozesse registriert werden, können Verzerrungen bei Planwirtschaften und Wirtschaften, die stark auf direkte Austauschprozesse basieren, auftreten (Lippe, 1996). Außerdem lassen sich nicht alle Güter und Leistungen monetär bewerten, die dann auch nicht im BIP berücksichtigt werden können.

veröffentlicht (Gilbert und Kravis, 1954). Vor allem die Weltbank hat dieses Konzept weiter verallgemeinert (Kravis et al., 1982). In den 80er und 90er Jahren des vergangenen

Jahrhunderts sind die ersten Datensätze mit nationalen Bruttoinlandswerten in Kaufkraftparitäten als *Summers and Heston Dataset* oder *Penn World Tables*¹⁵ veröffentlicht worden (Summers und Heston, 1991). Inzwischen sind die Konzepte soweit gereift, dass sie von der Weltbank in ihre regulären Statistiken mit aufgenommen werden konnten.

Die Datenbankrecherche wurde für die Variable *Bruttoinlandsprodukt in Kaufkraftparitäten (GDP in PPP)* durchgeführt. Auch wenn die OECD in ihrem *Statistical Compendium 2001-2* Zeitreihen für diese Variable hat, sind sie lediglich auf die OECD-Länder beschränkt. Deshalb konzentrierte sich die Datenbankrecherche auf die UNO und die Weltbank, siehe Tabelle 3.

Herausgeber	UNO	Weltbank
Name der Datenbank	UNstat online	World Development Indicators 2001
Verfügbarkeit	online (www.unstats.un.org/unsd)	jährlich erscheinende CD -ROM
Variablen	GDP in PPP	GDP in PPP
Zeitraum (jährlich)	1975-1999	1975-1999
räumliche Gliederung	210 Staaten	207 Staaten
Kommentare	gibt als Datenquelle die Weltbank an	eigene Berechnungen

Tabelle 4: Überblick über die Datenbankrecherche zum Bruttoinlandsprodukt

Obwohl die UNO-Online-Datenbank explizit angibt, dass die Zeitreihen zum *GDP in PPP (current international US-\$)* die Schätzungen der Weltbank sind, gibt es für einzelne Länder zum Teil erhebliche Abweichungen zwischen beiden Quellen (Jordanien 35-50%, Libanon 25-30%, Costa Rica, Ägypten, Haiti, Malta, Nigeria, Pakistan, Singapur, Vereinigte Arabische Emirate, Jemen, Sambia um 10%; die anderen Länderdaten stimmen weitgehend überein). Für Brunei, Georgien, Sudan und Tadschikistan sind in der UNO-Datenbank BIP-Zeitreihen enthalten, in der WB-Datenbank jedoch nicht.

Die Daten der Weltbank (CD World Development Indicators 2001) werden als Ursprungsdaten betrachtet und in dieser Arbeit verwendet. Für die Länder Brunei, Georgien, Sudan und Tadschikistan waren auf der Weltbank-CD keine Daten zum BIP in Kaufkraftparitäten enthalten, bei UNstat online hatte jedoch entsprechende Einträge. Der in dieser Arbeit verwendete Datensatz wurde für die genannten Länder um die Daten der UNO ergänzt.

4.1.4 Energieverbrauch - Brücke zum Technologiefaktor

In der gesamten Debatte um die sozio-ökonomischen Determinanten der CO₂-Emissionen ist die Quantifizierung der Technologiekomponente schwierig und durchaus nicht unumstritten. Wie ist Technologie messbar? Diese Frage wird mindestens ebenso heftig diskutiert wie die nach der Art und Weise der Wohlstandsmessung, da Technologie ähnlich vielschichtig definiert werden kann wie der Wohlstand. Mit Blick auf eine Analyse des Treibhauseffektes, die mit dieser Komponente das unterschiedliche Potential verschiedener Technologien hinsichtlich ihrer CO₂-Emissionen quantifizieren will, ist eine allgemeine monetäre Größe wie z.B. der Kapitalstock ungeeignet, weil er weltweit nicht so differenzierbar ist, dass die einzelnen treibhausrelevanten Aspekte der jeweiligen Technologien sichtbar gemacht werden können.

Innerhalb der sozio-ökonomischen Analyse der anthropogenen CO₂-Emissionen hat sich derzeit durchgesetzt, die Technologiekomponente mit Hilfe des Energieverbrauches zu konstruieren (siehe Abschnitt 3.3). Für die Erhebung des Energieverbrauches gibt es inzwischen ein ähnlich genaues Regelwerk wie es die volkswirtschaftliche Gesamtrechnung für die Erfassung der Wirtschaftskraft eines Landes darstellt. Dieses Regelwerk sind die von der Internationalen Energieagentur (IEA) berechneten Energiebilanzen, die den Weg der unterschiedlichen Energieträger von deren Extraktion bis zum endgültigen Verbrauch abbilden.

Im ersten Stadium der Extraktion wird die Energie des jeweiligen Energieträgers dabei durch den spezifischen Primärenergiegehalt bestimmt. Dieser Primärenergiegehalt wird über den Brennwert der unterschiedlichen Energieträger errechnet. Natürlich stecken in dieser Konstruktion eine Reihe durchaus umstrittener technischer Details, vor allem wenn es um das weite Feld der erneuerbaren Energien geht. Eine unschöne Nebenwirkung des Problems ist, dass sich z.B. bei Änderungen der Berechnungsgrundlagen der Brennwerte für einzelne Energieträger auch rückwirkend die gesamten Zeitreihen ändern können. Für weiterreichende technische Details sei an dieser Stelle auf (IEA, 2001) verwiesen.

Die prinzipielle Herangehensweise dieser Arbeit bleibt davon unbeeinflusst, lediglich die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse könnte eingeschränkt sein, wenn nicht der gleiche Datensatz verwandt wird.

¹⁵ <http://www.hicks.nuff.ox.ac.uk/Economics/Growth/dataset.htm> (2002)

Im Rahmen dieser Arbeit ist von zentralem Interesse wie viel Primärenergie von einem Land, einer Region etc. verbraucht wurde. Dieser Primärenergieverbrauch eines Landes berechnet sich aus der Extraktion +Import –Export \pm Bestandsänderungen \pm Sonderkategorien (Treibstoff für den internationalen Luft- und Seeverkehr).

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Datenbankrecherche konzentrierte sich auf diesen definierten Primärenergieverbrauch.

Aus dem relativ genauen Energiebilanzsystem veröffentlichen die UNO und die Weltbank nur Fragmente, die noch dazu in keiner Weise mit denen der IEA übereinstimmen. Eine Anfrage nach den Gründen dieser unsystematischen Diskrepanzen bei der UNO ergab, dass dort offenbar keinerlei Qualitätskontrolle bei den Energiedaten stattfindet. Methoden und Definitionen sind nicht verfügbar¹⁶.

Herausgeber	UNO	Weltbank	IEA
Name der Datenbank	UNstat online	World Development Indicators 2001	Energy Balances of OECD Countries NON-OECD Countries 1971-2000
Verfügbarkeit	online (www.unstats.un.org/unsd)	CD –ROM (jährlich)	CD –ROM (jährlich) online (www.data.iea.org)
Variablen	- Energy consumption, commercial - energy supply - Energy primary production	Energy imports, net	Energy balances - country - product - flow
Zeitraum (jährlich)	1980-2000	1960-1999	jährlich teilweise seit 1971
räumliche Gliederung	210 Staaten	bis zu 207 Staaten	136 Staaten
Kommentare		keine Quellenangabe	mit ständig rückwirkenden Änderungen muss gerechnet werden

Tabelle 5: Überblick über die Datenbankrecherche zu Energieverbrauchsdaten

Demzufolge wurde die IEA als die umfangreichste und genaueste Datenquelle für weltweit vergleichbare Zeitreihen zum Primärenergieverbrauch eingestuft und deren Daten verwendet. Auf grund der bereits erläuterten rückwirkenden Änderungen einzelner Zeitreihen, wird von einer online Nutzung abgesehen, da ein Extrahieren der Daten zu einem anderen Zeitpunkt nicht unbedingt zum gleichen Datensatz führt und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

¹⁶ Auszug aus dem UNO-Schreiben auf die Nachfrage hinsichtlich der Diskrepanzen der Daten aus dem Energiebilanzsystem: "Our mission here is to collect official energy statistics of the countries of the world and publish the data -- we do not really have the capacity to compare the data ..."

erschwert. Statt dessen wurde auf die in Tabelle 5 beschriebenen CD-ROM-Versionen der IEA-Energiebilanzen für OECD- und Nicht-OECD Länder von 2001 zurückgegriffen.

4.2 Aufbereitung der Basisdaten

Nach der Datenbankrecherche wurden die ausgewählten Datensätze aus den unterschiedlichen Quellen exportiert. Es stellte sich heraus, dass die Datensätze zum Teil sehr unterschiedliche Datenformate und Strukturen hatten. Die gesamte Datenaufbereitung und die nachfolgende Auswertung dieser Arbeit wurden mit SAS, Version 8.2 TS2M0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.SAS 1999-2001) durchgeführt. Für die Datenaufbereitung wurde das SAS-Script 1 erstellt, das im Anhang V S. Anhang / 9 wiedergegeben ist.

Beim Zusammenführen der unterschiedlichen Datensätze traten drei systematische Probleme auf:

1. Unterschiedliche Bezeichnungen des gleichen geopolitischen Gebildes

Jede Datenquelle hat ihre eigene spezifische Länderbezeichnung. Nicht einmal zwischen Haupt- und Unterorganisationen wie z.B. UNO und Weltbank stimmen die Länderbezeichnungen überein¹⁷.

Diese unterschiedlichen Bezeichnungen der gleichen Länder wurden mit Hilfe einer Konkordanztafel in Übereinstimmung gebracht. Diese Konkordanztafel ist das Kernstück für jede automatische räumliche Zuordnung von sozio-ökonomischen Daten aus unterschiedlichen Quellen und wird als Basis eines relationalen Datenbanksystems für sozio-ökonomische Daten mit flexibler räumlicher Zuordnung angesehen.

2. Gleiche Bezeichnung eines unterschiedlichen geopolitischen Gebildes

Das ist ein zwar nicht häufig auftretendes, jedoch schwer oder gar nicht automatisch zu behandelndes Problem. Meist kleinere Gebiete oder Inseln, die geografisch nicht mit dem Mutterland zusammenhängen, ihm aber zugerechnet werden, sowie Gebiete, die mit einem Land geografisch in Verbindung stehen, aber in wirtschaftlicher und/oder politischer Hinsicht verschiedene Grade von Autonomie aufweisen (z.B. Monaco, teilweise innerhalb Frankreichs teilweise nicht, San Marino, die Kanalinseln, Inseln vor Norwegen). Die Behandlung dieses Problems ist kontextabhängig. Bei finanzpolitischen Betrachtungen kann es durchaus relevant sein, ob Monaco in Frankreich integriert wurde oder nicht. Die meisten dieser Gebiete sind für eine regionale oder globale Betrachtung jedoch völlig unbedeutend, haben nur in

¹⁷ Bezeichnung beispielsweise des Iran in den unterschiedlichen Datenbanken: UNO: *Iran (Islamic Republic of)*, Weltbank: *Iran, Islamic Rep.*, IEA: *Islamic Republic of Iran*, CDIA: *ISLAMIC REPUBLIC OF IRAN*

Ausnahmefällen vereinzelte Daten und werden lediglich als *Quasi-Region* mitgeführt, die jede Kontrolle der Daten erschweren.

3. Geopolitische Gebilde die sich im Zeitverlauf ändern

Länder, die im Laufe der Zeit zerfallen wie beispielsweise die ehemalige Sowjetunion und/oder sich zusammenschließen wie beispielsweise Deutschland haben unterschiedliche Grenzverläufe im Zeitverlauf. Bilden die entstehenden oder aufgelösten Teilmengen wieder die genaue Gesamtmenge, können die jeweiligen Daten in vielen Fällen rekonstruiert werden. Das ist jedoch eher die Ausnahme. In den meisten Fällen ändern sich die Teilmengen oder ändern sich die Grenzverläufe. Welche genaue Regionalzuordnung beispielsweise bei den Zeitreihen der CO₂-Emissionen des CDIAC verwendet wird, die diese z.B. für Frankreich und Deutschland seit 1751 berechnen, bleibt unklar. Auch dieses Problem ist nur ansatzweise automatisch zu behandeln, erschwert das Datencontrolling und betrifft in der Mehrzahl Länder, für die sowieso nur ganz vereinzelte Datensätze verfügbar sind.

Der Basisdatensatz wurde wie folgt zusammengestellt:

Variable	Datenquelle	Variablenbezeichnung
CO ₂ -Emissionen	CDIAC Datensatz np 030	CO2em_total (1000metric tons of C)
Bevölkerung	Weltbank CD-ROM: World Development Indicators 2001	population, total
Bruttoinlandsprodukt	Weltbank CD-ROM: World Development Indicators 2001	GDP, PPP (current international \$)
	UNstat online für die Länder Brunei, Georgien, Sudan, Tadschikistan	GDP, PPP (current international \$)
Energieverbrauch	IEA CD-ROM: Energy Balances of OECD-Counties 1971-2000	Total Primary Energy supply (KT OE)
	IEA CD-ROM: Energy Balances of NON-OECD-Counties 1971-2000	

Tabelle 6: Datenquellen des Basisdatensatzes

Für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Analysen wurden folgende Veränderungen vorgenommen:

- die quellenspezifischen Länderbezeichnungen wurden durch eine einheitliche Bezeichnung ersetzt
- Monaco wurde Frankreich und San Marino Italien zugerechnet

- für den Zeitraum 1946-1998 wurden die DDR und die BRD retrospektiv datentechnisch additiv zusammengefasst,
- alle anderen *Pseudoländer* blieben bestehen und sind mehrheitlich durch die Minimalanforderungen ausgeschlossen worden.

Minimalanforderungen

Die extrahierten Zeitreihen der in Abschnitt 4.1 gelisteten Variablen für die einzelnen Länder waren mitunter sehr unvollständig. Als Mindestkriterium wurde festgelegt, dass für den Zeitraum 1991 bis 1998 für pro Variable jeweils mindestens 5 von 8 Jahreswerten vorliegen mussten. Von den 255 Staaten, teilautonomen Gebieten und ähnlichen räumlichen Konstrukten wurden 121 Staaten diesem Kriterium gerecht, die im Anhang I aufgelistet sind.

Die 133 ausgesonderten „Länder“ sind ebenfalls im Anhang I (S. Anhang / 2) gelistet. Wie bereits erläutert, sind viele gar keine Staaten im Sinne der UNO, sondern Gebiete mit Sonderstatus wie zum Beispiel die Ärmelkanalinseln. Nur weil die Bevölkerungsstatistik diese Gebiete gesondert ausweist, treten sie hier überhaupt in Erscheinung. Zum anderen sind es Länder mit schwierigen wirtschaftlichen und/oder politischen Verhältnissen oder Länder, die erst vor wenigen Jahren entstanden sind.

Qualitätskontrolle

Bei einer ersten Sichtung des Datensatzes sind einige unplausible Werte aufgefallen. Das führte direkt zur klassischen Entscheidungsfrage, den offiziell gültigen Datensatz manipulieren und unplausible Werte eliminieren, was natürlich eine nicht unumstrittene Definition von unplausiblen Werten für die jeweiligen Variablen voraussetzen würde, oder diese Werte im Datensatz belassen, auch auf die Gefahr hin, dass einige Verzerrungen auftreten können.

Innerhalb dieser Arbeit wurden keine unplausiblen Werte eliminiert. Auch sie haben einen Informationsgehalt und der Eliminierung von unplausiblen Werten haftet immer der Makel an, eine existierende Verzerrung durch eine andere subjektive Verzerrung zu ersetzen. Alle Messgrößen, die weltweit zur Quantifizierung eines gesellschaftlichen Phänomens benutzt werden, stellen sowieso eine sehr grobe Vereinfachung. Es ist nicht damit zu rechnen, dass durch das Entfernen einzelner unplausibler Werte ein nennenswerter Informationsgewinn entstünde.

Im Rahmen dieser Arbeit wird bei den statistischen Analysen auf die Existenz dieser unplausiblen Werte Rücksicht genommen (siehe z.B. Abschnitt 5.4.3, 5.5, 6.3).

4.3 Die Verhältniszahlen als Impact und Determinanten

Werden Vergleiche oder Analysen zwischen verschiedenen Ländern gemacht, sollten die zu untersuchenden Indikatoren stets relativiert oder normiert werden, um die Größe des Landes nicht jedes Mal implizit abzubilden. Ein Normierungswert sollte im Idealfall in inhaltlicher Beziehung zum Untersuchungsgegenstand stehen und ein relativ konstanter Wert sein (bei Ländervergleichen z.B. die Fläche eines Landes). Beide Anforderungen lassen sich selten in Übereinklang bringen. Der inhaltlichen Bedeutung wird dann der Vorrang eingeräumt, jedoch sollte bei der Untersuchung die Eigendynamik der Ursprungswerte nicht vernachlässigt werden.

Klassische Ansätze sind die Umrechnungen der Gesamt- in Pro-Kopf-Größen, die vor allem bei sozio-ökonomischen Analysen verwendet werden. Auch andere Relativierungen (Beziehungszahlen) können sinnvoll oder angebracht sein.

Für die in Abschnitt 3.3 definierten sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen ergeben sich die normierten Variablen CO₂-Emissionen pro Kopf der Bevölkerung, Bruttoinlandsprodukt pro Kopf der Bevölkerung, Primärenergieverbrauch je Einheit BIP (Energieintensität - EI) und CO₂-Emissionen je Einheit verbrauchter Primärenergie (Kohlenstoffintensität - KI).

Nach der Berechnung erfolgte eine erste Beschreibung des Datensatzes anhand eines Histogrammes und der Berechnung einiger statistischer Standardmaßzahlen (siehe SAS-Skript 1 im Anhang V, S. Anhang/10). Da aus den Zeitreihen der Basisvariablen keine unplausiblen Werte entfernt wurden, enthalten die Zeitreihen der berechneten Verhältniszahlen ebenfalls einige unplausible Werte. Auch die wurden aus dem Datensatz nicht eliminiert. Zur besseren Darstellung der Histogramme und um einige statistische Maßzahlen wie Mittelwert und Standardabweichung nicht zu sehr zu verzerren, wurde lediglich für diese Beschreibung (Abschnitt 4.3.1 bis 4.3.4) der Wertebereich des jeweiligen Datensatzes geringfügig eingeschränkt.

4.3.1 CO₂-Emissionen pro Kopf

Wie der Name schon sagt, werden bei dieser Verhältniszahl die jährlichen CO₂-Emissionen eines Landes durch dessen Bevölkerungszahl normiert. Nur in dieser relativen Größe können die Emissionen unterschiedlich großer Länder, im Extremfall beispielsweise Luxemburg und die USA, miteinander verglichen werden.

In dieser Arbeit werden sowohl die tatsächlichen, absoluten CO₂-Emissionen als auch die relativen Pro-Kopf-CO₂-Emissionen analysiert. Entsprechend der klassischen humanökologischen Tradition sind Umwelteffekte meist in ihrer absoluten Größe Gegenstand der Untersuchung. Auch für die Klimaänderung werden die gesamten anthropogenen CO₂-Emissionen verantwortlich gemacht, unabhängig davon wie sich die entsprechenden Pro-Kopf-Werte verhalten.

Abbildung 7 stellt unterschiedliche Entwicklungen der absoluten und relativen CO₂-Emissionen für ausgewählte Länder gegenüber. Im Fall Indien wird deutlich, dass die absoluten Emissionen sehr wohl steigen können, ohne dass die Pro-Kopf-Emissionen die gleiche Dynamik aufweisen. Im Gegenteil, wenn die Bevölkerung im gleichen Maß steigt, bleibt dieses Verhältnis unverändert, wie das Beispiel USA zeigt. Beim Ländervergleich in Abbildung 7 sei auf die unterschiedliche Skaleneinteilung der Ordinate und die unterschiedlichen Einheiten von absoluten und Pro-Kopf-Emissionen hingewiesen.

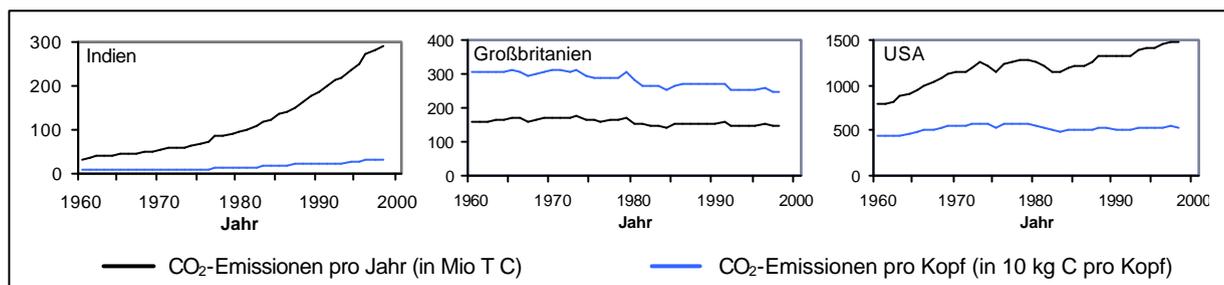


Abbildung 7: Vergleich der zeitlichen Entwicklung der CO₂-Emissionen absolut und pro Kopf für ausgewählte Länder (unterschiedliche Ordinatenskalierung)

Die erste Sichtung des Datensatzes der Pro-Kopf-Emissionen ergab für den Zeitraum 1975 – 1998 für die 121 Länder, die die definierten Minimalanforderungen an die Datenquantität erfüllten (siehe Abschnitt 4.2), eine 87%ige Datenvollständigkeit (d.h. 13% fehlende Werte im Gesamtdatensatz der 121 Länder für den Zeitraum 1975-1998). Der Datensatz enthält einige unplausible Werte, die jenseits von 10 t C CO₂-Emissionen pro Kopf liegen. Für die erste Beschreibung des Datensatzes und die Darstellung wurde der Wertebereich beschränkt auf 0 – 10 t C pro Kopf und Jahr. In diesem Wertebereich fielen 2490 Beobachtungen, was 98% der Beobachtungen des gesamten Datensatzes entspricht.

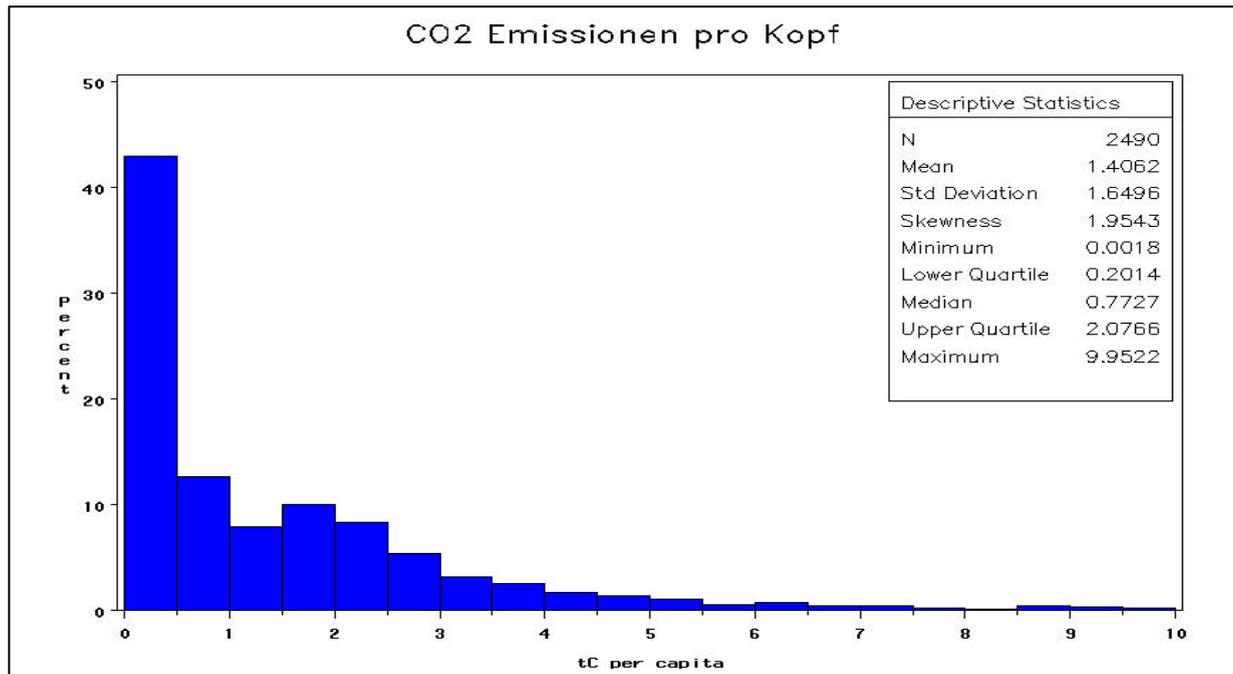


Abbildung 8: Histogramm der CO₂-Emissionen pro Kopf

Abbildung 8 zeigt eine stark linkssteile, d.h. rechtsschiefe Häufigkeitsverteilung, die auch in der deutlichen Diskrepanz zwischen Mittelwert (1,38 t C pro Kopf) und Median (0,73 t C pro Kopf), in der relativ hohen positiven Schiefe und im immer größer werdenden Abstand zwischen Minimum, unterem Quartil, Median, oberem Quartil und Maximum zum Ausdruck kommt. Über 40% der Beobachtungen liegen bereits zwischen 0 und 0,5 t C pro Kopf. Ein zweiter leichter Anstieg der Beobachtungshäufigkeit ist bei Werten zwischen 1,5 und 2 t C pro Kopf zu beobachten.

4.3.2 Wohlstandsdeterminante: Bruttoinlandsprodukt pro Kopf

Das Für und Wider des BIP als Maß der Wirtschaftskraft eines Landes wurde bereits in Abschnitt 4.1.3 angesprochen. Es steht außer Zweifel, dass das BIP als Wohlstandsmesser nur die wirtschaftliche Seite des Wohlstandsbegriffes widerspiegelt. In Ermangelung eines umfassenderen Indikators, der auch noch über einen genügend langen Zeitraum weltweit quantitativ erfasst wurde, greift diese Studie auf das BIP zurück und normiert es mit der Bevölkerung der jeweiligen Erhebungseinheit, um so einen, von der geopolitischen Größe unabhängigen Indikator des Wohlstandes zu erhalten, der zwischen den einzelnen Ländern vergleichbar ist.

Die Sichtung des Datensatzes des BIP-Pro-Kopf ergab für den Zeitraum von 1975-1998 für die 121 Länder, die die Minimalanforderungen an die Datenquantität erfüllten (siehe Abschnitt 4.2) ergab eine 85%ige Datenvollständigkeit für das BIP-Pro-Kopf (d.h. 15% fehlende Werte). Extreme Werte lagen unter 300 kaufkraftparitätischen internationalen \$ und über 30000 intern. KKP \$ pro Kopf der Bevölkerung. Für die bessere Darstellung wurde der Wertebereich in Abbildung 9 auf 300 – 30000 intern. KKP\$ pro Kopf begrenzt. In diesen Wertebereich fielen 2469 Beobachtungen, was 99,5% des gesamten Datensatzes entspricht.

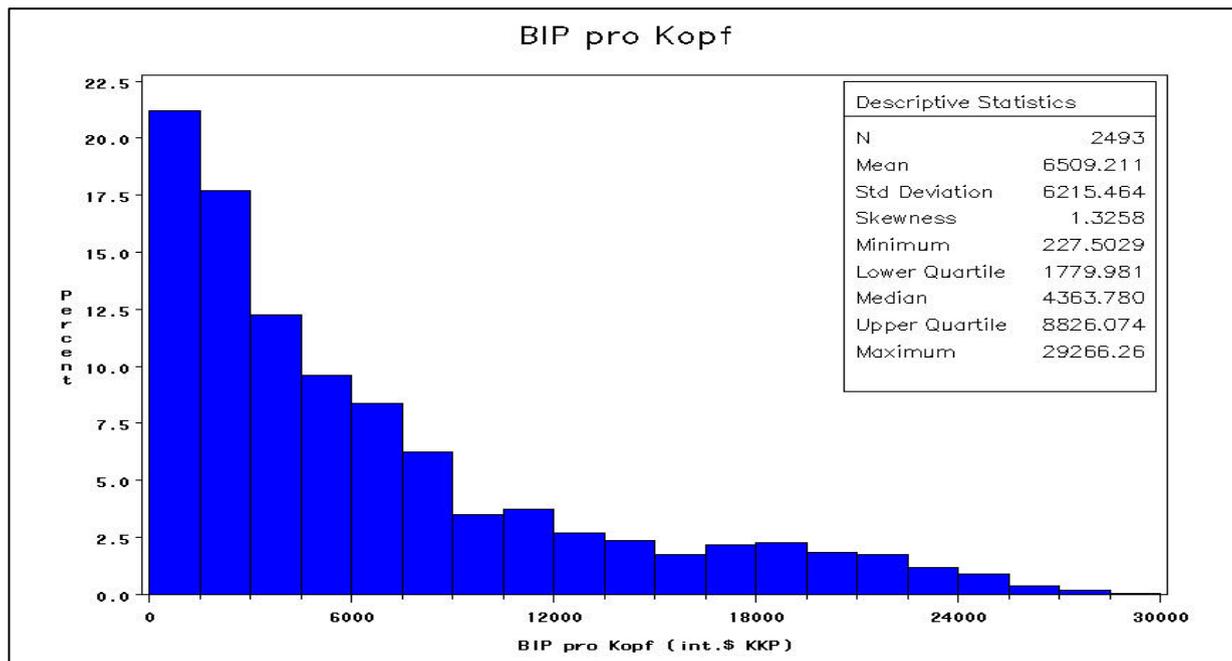


Abbildung 9: Histogramm des Bruttoinlandsproduktes pro Kopf

Auch die Verteilung des BIP pro Kopf in Kaufkraftparitäten in Abbildung 9 ist linkssteil und leicht bimodal. Am häufigsten sind Werte um 1500 int.\$ KKP mit einer zweiten kleinen Häufung um 19000 int.\$ KKP. Der Median, der die der Größe nach geordneten Beobachtungen genau in der Mitte teilt, ist weit kleiner als der Durchschnitt. Auch der positive Wert für die Schiefe und der zunehmende Wertebereich der Quartile spiegeln diese rechtsschiefe Verteilung des BIP pro Kopf im globalen Vergleich wieder.

4.3.3 Technologiedeterminante: Energieintensität (EI)

Die Energieintensität bezeichnet das Verhältnis von Primärenergieverbrauch (PE) zur Wirtschaftsleistung (BIP oder *GDP*). Je höher dieser Wert, desto mehr Energie musste bereitgestellt werden, um eine Einheit BIP zu erbringen. Je geringer, desto weniger Energie war nötig, um eine Einheit BIP zu erzeugen. Dieser Indikator wird auch als „spezifischer Energieverbrauch“ bezeichnet. Er sagt etwas aus über die Energieeffizienz einer Volkswirtschaft: Je stärker ihre Einsparmaßnahmen, je geringer die Umwandlungs- und Transportverluste, je sparsamer die Technologie, desto besser (=geringer) wird der Wert sein.

Man kann Zähler und Nenner auch vertauschen (BIP/PE) und hat dann eine Aussage darüber, wie viel wirtschaftlicher Output in einem Land aus einer Einheit Energie erzeugt werden kann – bildlich gesprochen: wie viele Dollar aus einem Fass Öl „herausgepresst“ werden können. Je höher dieser Wert, desto effizienter das Land. Allerdings kann aus einem günstigen Wert der Energieintensität nicht immer und nicht unmittelbar auf eine effiziente technologische Basis geschlossen werden. Die sektorale Struktur einer Volkswirtschaft ist ein wichtiger intervenierender Faktor. Ein Land wie Äthiopien etwa, das 1999 52,3% seiner Wertschöpfung im Landwirtschaftssektor erzielte (und dies ohne großen Energieeinsatz), erreicht einen hohen landesweiten Effizienzwert, weil der industrielle Energieeinsatz – der sehr ineffizient sein kann – nicht so stark ins Gewicht fällt.

Die Sichtung des Datensatzes für den Zeitraum von 1975 - 1998 ergab eine 82%ige Vollständigkeit für diese Variable. Extreme Werte lagen über 140 kg OE¹⁸ Primärenergieeinsatz pro Einheit BIP gemessen in Kaufkraftparitäten. Für die Abbildung 10 wurde der Wertebereich auf 0 – 10 kg OE pro Einheit BIP begrenzt. In diesen Wertebereich fielen 2339 Beobachtungen, was 98% des gesamten Datensatzes entspricht.

Abbildung 10 zeigt eine stark linkssteile d.h. rechtsschiefe Verteilung, was durch den relativ hohen positiven Wert der Schiefe und dem vergleichsweise großen Wertebereich zwischen oberem Quartil und Maximum zum Ausdruck kommt. 50% der Beobachtungen liegen zwischen 0,09 und 0,30 kg OE pro Einheit BIP, die anderen 50% sind im weit größeren Bereich von 0,30 und 2,32 kg OE pro Einheit BIP.

¹⁸ kg OE (Kilogramm Öleinheiten) entspricht $41,868 \cdot 10^6$ Joules oder 10^4 kCal ; Die Energiebilanzen der IEA werden stets in OE ausgewiesen.

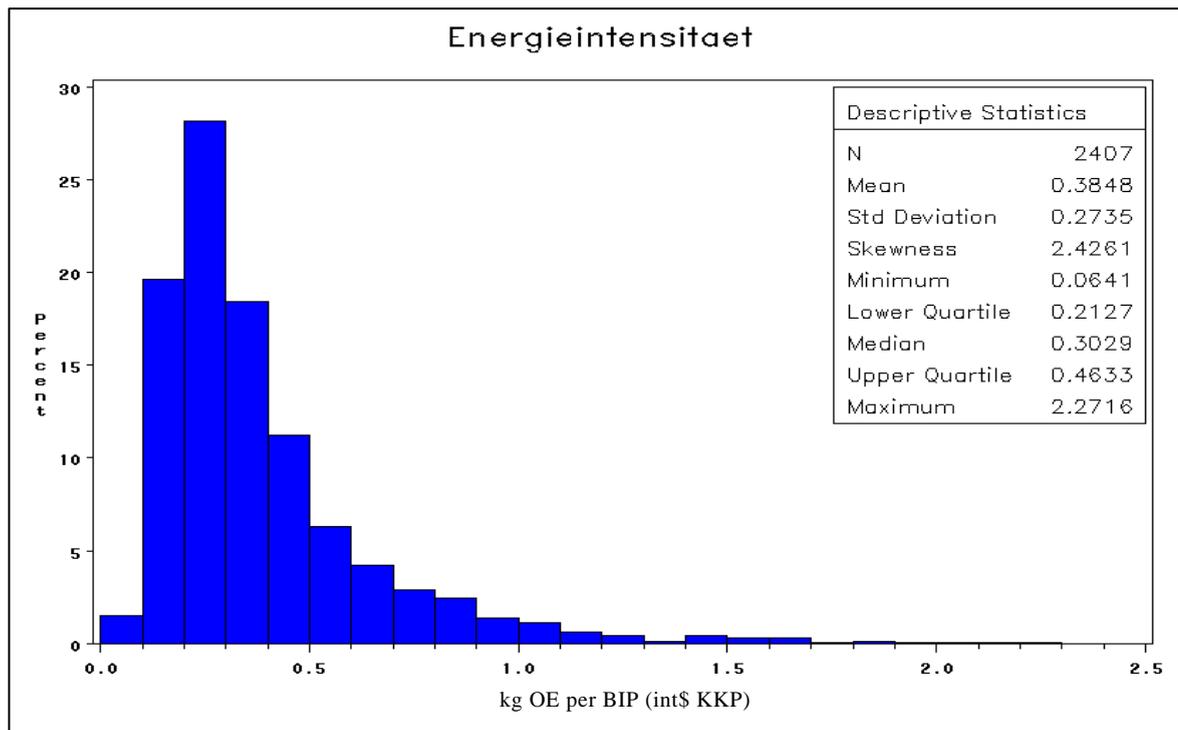


Abbildung 10: Histogramm der Energieintensität

4.3.4 Technologiedeterminante: Kohlenstoffintensität (KI)

Die Kohlenstoffintensität wird als eine Möglichkeit der Quantifizierung der Technologiekomponente im Rahmen der Analyse des anthropogenen Treibhauseffektes angesehen (siehe Abschnitt 3.3). Sie ist das Verhältnis der gesamten CO₂-Emissionen durch die Nutzung fossiler Energieträger zum gesamten Primärenergieverbrauch eines Landes und bildet die jeweilige energiewirtschaftliche Abhängigkeit eines Landes von fossilen Brennstoffen ab. Entsprechend dem Energiebilanzsystem der IEA werden als Primärenergieträger folgende Kategorien unterschieden: Kohle, Öl, Gas, nukleare Brennstoffe, Wasserkraft, Geothermie, Sonnenenergie, Wind u.ä. sowie Biomasse (combustible renewables). CO₂-Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger entstehen laut Definition jedoch nur durch die Nutzung von Kohle, Öl und Gas.

Je höher der Wert der Kohlenstoffintensität, desto stärker ist das entsprechende Land von fossilen Brennstoffen abhängig. Je niedriger, desto unabhängiger ist es davon.

Der Grad der Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen kann verschiedene Ursachen haben:

- Der Anteil der Kernenergie am Primärenergieverbrauch ist hoch (wie z.B. in Frankreich oder in Schweden).
- Erneuerbare Energieträger (Wasserkraft, Wind, Solarenergie, Geothermie u.a.) spielen eine größere Rolle (wie z.B. in Norwegen, der Schweiz, Brasilien oder im Kongo).

- Die Energieversorgung eines Landes hängt noch stark von traditionellen Energieträgern ab (z.B. Holz, Holzkohle, Tierdung), die entweder selbst gesammelt bzw. erwirtschaftet oder aber im lokalen Kleinhandel (teilweise Schattenwirtschaft) erworben werden. In der Regel tauchen diese Energieträger nicht in der Weltstatistik der kommerziellen Energieträger auf, sondern müssen auf andere Weise geschätzt werden. Die IEA bemerkt selbst, dass die Angaben der Energiebilanzen zur Kategorie Biomasse auf sehr groben Schätzungen beruht (IEA 2001). Sie spielen vor allem in Entwicklungsländern eine entscheidende Rolle. Darauf wird bei der Gesamtbewertung der Ländergruppen noch einzugehen sein.

Wie für die Pro-Kopf-Emissionen hat auch der Datensatz der Kohlenstoffintensität für den Zeitraum von 1975-1998 eine 87%ige Vollständigkeit. Auch dieser Datensatz enthält einige unplausible Werte jenseits von 8tC pro t OE , was bei den in Abschnitt 4.1 beschriebenen Datenerhebungsmechanismen nicht verwundert.

Für die bessere Anschaulichkeit wurde in Abbildung 11 der Wertebereich auf $0 - 1,5\text{tC/tOE}$ ¹⁹ beschränkt, ohne dass die unplausiblen Werte generell aus dem Datensatz eliminiert wurden. In diesen Wertebereich fielen 99% der Beobachtungen des gesamten Datensatzes.

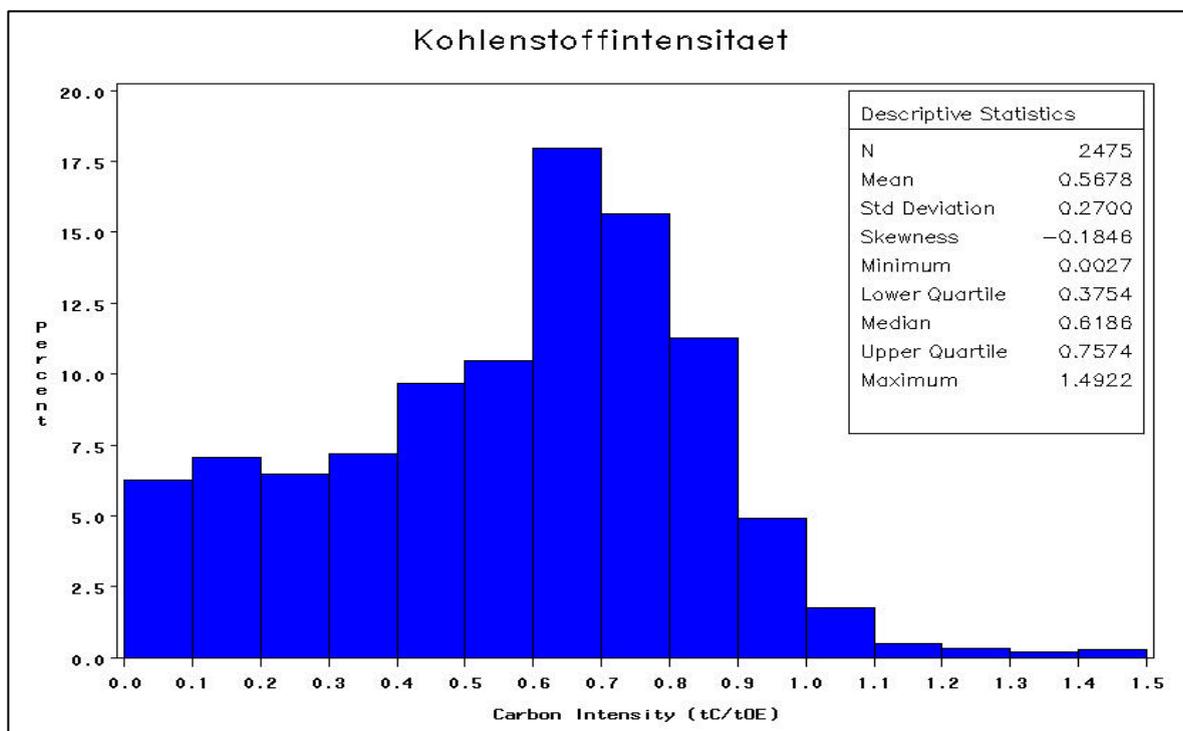


Abbildung 11: Histogramm der Kohlenstoffintensität

¹⁹ tC = Tonne Kohlenstoff (internationale Maßeinheit für die Emissionen)

Abbildung 11 zeigt eine leicht rechtssteile, ebenfalls ansatzweise bimodale Verteilung. Das arithmetische Mittel liegt mit $0,56 \text{ t C / t OE}$ unterhalb des Medians von $0,61 \text{ t C / t OE}$. Die größte Häufigkeit liegt bei einem Wert um $0,72 \text{ t C / t OE}$, wobei auch Werte um $0,28 \text{ t C / t OE}$ noch leicht gehäuft auftreten.

4.4 Kapitelzusammenfassung

Für den wesentlichen Teil des anthropogenen Treibhauseffektes, die CO_2 -Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger und für die in Abschnitt 3.3 definierten sozio-ökonomischen Determinanten dieses Prozesses, die Bevölkerungs-, Wohlstands- und die beiden Technologiekomponenten Energieintensität und Kohlenstoffintensität konnte ein weltweit harmonisierter, jährlicher Datensatz auf nationalstaatlicher Ebene zusammengestellt werden. Unplausible Werte wurden im Datensatz belassen. Die in Abschnitt 4.2 definierten Mindestanforderungen an die einzelnen Zeitreihen wurden von 121 Staaten, in denen derzeit laut Weltbank 92% der Weltbevölkerung leben, erfüllt.

5. REGIONALE MUSTERERKENNUNG

Kapitel 5 versucht die grundlegende Hypothese dieser Arbeit, dass die Wirkmechanismen der sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen nicht für alle Länder gleich sind, es jedoch regional unterschiedliche Muster der Wirkungen gibt, zu verifizieren. Unter Region wird in diesem Zusammenhang eine Reihe von Ländern verstanden, die sich hinsichtlich der Wirkung der einzelnen sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen ähnlich sind.

Dafür wird in Abschnitt 5.1 das Konzept der Mustererkennung umrissen, in den Abschnitten 5.2 bis 5.4 im Detail theoretisch, statistisch vorgestellt, auf den in Abschnitt 4.3 vorgestellten Datensatz angewandt und im Anschluss die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Robustheit geprüft. Den Abschluss dieses Kapitels 5 bildet die aus der Mustererkennung gewonnene geopolitische Weltkarte der energiewirtschaftlichen Ländertypen in Abschnitt 5.5.

5.1 Konzept der Mustererkennung

Die inhaltliche Grundlage der Mustererkennung sind die in Kapitel 3 vorgestellten sozio-ökonomischen Determinanten der CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger, die laut (IPCC 2001) ca. 75% des anthropogenen Treibhauseffektes ausmachen. Die Beziehung dieser Determinanten entsprechend der Abbildung 6 ist:

$$\text{CO}_2\text{-Emissionen} = \text{Bevölkerung} \times \frac{\text{BIP}}{\text{Bevölkerung}} \times \frac{\text{Energieverbrauch}}{\text{BIP}} \times \frac{\text{CO}_2\text{-Emissionen}}{\text{Energieverbrauch}}$$

Der in Kapitel 4 beschriebene Datensatz dieser Determinanten anthropogener Kohlendioxidemissionen enthält eine große Menge an Informationen, die auf unterschiedlichste Arten analysiert werden können. Ziel dieses Kapitels ist es, die enthaltenen Informationen schrittweise so zu verdichten, dass aus den relevanten Zeitreihen der 121 Staaten regionale Muster entstehen, die sich hinsichtlich ihres Mensch-Umwelt-Verhaltens in bezug auf die Treibhausgasproblematik relativ ähnlich verhalten, untereinander jedoch durchaus verschiedene Entwicklungsrichtungen aufzeigen können.

Das entsprechende statistische Verfahren dafür ist die Clusteranalyse. Laut (Bacher, 1996; Everitt et al., 2001) sollen für eine Clusteranalyse die Daten möglichst wenig korreliert und ähnlich skaliert sein. Der hier auszuwertende Datensatz besteht aus Zeitreihen emissionsrelevanter Variablen auf nationalstaatlicher Ebene. Das heißt die Ausprägungen der

einzelnen Variablen sind sicher stark autokorreliert, sie haben sehr unterschiedliche Wertebereiche (siehe Abschnitt 4.3.1-4.1.4) und sind möglicherweise voneinander abhängig.

Der geopolitische Größenunterschied lässt sich durch die Verwendung von Verhältniszahlen relativieren. Dementsprechend wird für die Mustererkennung die Ausgangsgleichung wie folgt modifiziert:

$$\frac{\text{CO}_2\text{-Emissionen}}{\text{Bevölkerung}} = \frac{\text{BIP}}{\text{Bevölkerung}} \times \frac{\text{Energieverbrauch}}{\text{BIP}} \times \frac{\text{CO}_2\text{-Emissionen}}{\text{Energieverbrauch}}$$

Ausgehend von dieser Identität werden vor der eigentlichen Clusterung dieser 4 Verhältniszahlen die Autokorrelationen der Zeitreihen und die Korrelationen der Merkmale analysiert.

Die Mustererkennung wird deshalb stufenweise wie folgt vorgenommen:

1. Zeitliche Informationsverdichtung mittels Trendanalyse (Abschnitt 5.2)
2. Inhaltliche Informationsverdichtung mittels Korrelations- und Faktoranalyse (Abschnitt 5.3)
3. Räumliche Informationsverdichtung mittels Clusteranalyse (Abschnitt 5.4)

5.2 Zeitliche Informationsverdichtung

Dass die jährlichen Beobachtungen der vier Verhältniszahlen (CO₂-Emissionen pro Kopf (CO₂em pc), Kohlenstoffintensität (KI), Energieintensität (EI), Arbeitsproduktivität (AP)) autokorreliert sind, ist bei Betrachtung der Daten einleuchtend.

Für die zeitliche Informationsverdichtung dieser Verhältniszahlen wird davon ausgegangen, dass diese für einen begrenzten Beobachtungszeitraum als exponentiell wachsende Größen angesehen werden können und deren jeweilige Wachstumsrate (g) für den Zeitraum t_0 - t_1 mittels einer Exponentialfunktion wie folgt beschrieben werden kann:

$$A_{t_1} = A_{t_0} \cdot e^{g_A \cdot (t_1 - t_0)}$$

Handelt es sich bei den einzelnen Variablen für den Zeitraum t_0 - t_1 um exponentiell wachsende Größen, folgen die logarithmierten Werte $\ln(A_t)$ in der zeitlichen Darstellung über der Zeit t einer Geraden, deren Anstieg der Wachstumsrate g_A entspricht. Die Logarithmierung

$$\ln(A_t) = \ln(A_0) + g_A \cdot t \quad (5.1)$$

ermöglicht dann eine Schätzung der Parameter $\ln(A_0)$ und g_A durch die Methode der kleinsten Quadrate, d.h. durch eine lineare Regression der logarithmierten Werte als Zielgröße auf die Zeit als Einflussgröße. Anschließend wurde die exponentielle Wachstumsrate g_A in die substanzwissenschaftlich leichter interpretierbare Form g^*_A transformiert. g^*_A ist definiert durch

$$g^*_A = e^{g_A} - 1 = e^{\left(\frac{\ln A_{(t_1)} - \ln A_{(t_0)}}{t_1 - t_0}\right)} - 1 \quad (5.2)$$

Somit lässt sich die Wachstumsgleichung (3.6)

$$A_{(t_1)} = A_{(t_0)} \cdot e^{g_A \cdot (t_1 - t_0)}$$

ohne Verwendung der Exponentialfunktion e^x als

$$A_{(t_1)} = A_{(t_0)} \cdot (1 + g^*_A)^{(t_1 - t_0)} \quad (5.3)$$

formulieren.

Innerhalb dieser Arbeit wurden mit Hilfe der Kleinstquadratschätzung für den Zeitraum von 1980 bis 1998 für die 121 Länder, die die Mindestdatenanforderungen erfüllten (siehe Seite 38), Parameter $\ln(A_0)$ und g_A für die einzelnen Variablen geschätzt²⁰. Im Anschluss wurden die jeweiligen Zustandswerte (\hat{A}_{1995}) und Wachstumsgrößen (g^*_A) berechnet.

Als Bewertung aller 484 Parameterschätzungen der Zeitreihen der vier betrachteten Variablen für die 121 Länder dienten 2 Gütekriterien, die halblogarithmischen Darstellungen und das Bestimmtheitsmaß der Modelle.

Gütekriterium 1: visuelle Kontrolle der halblogarithmischen Plots.

Für alle 121 Länder wurden Graphiken angefertigt, die zum einen die logarithmierten tatsächlichen Beobachtungen (Kreuze für die Basiswerte und Punkte für die Verhältniszahlen) und zum anderen die entsprechenden Schätzungen (durchgezogene Linie) zeigen. Exemplarisch werden diese Darstellungen für Deutschland, Indien und Georgien in Abbildung 12 wiedergegeben.

²⁰ Das entsprechende SAS-Script 2 zur zeitlichen Informationsverdichtung ist im Anhang V wiedergegeben.

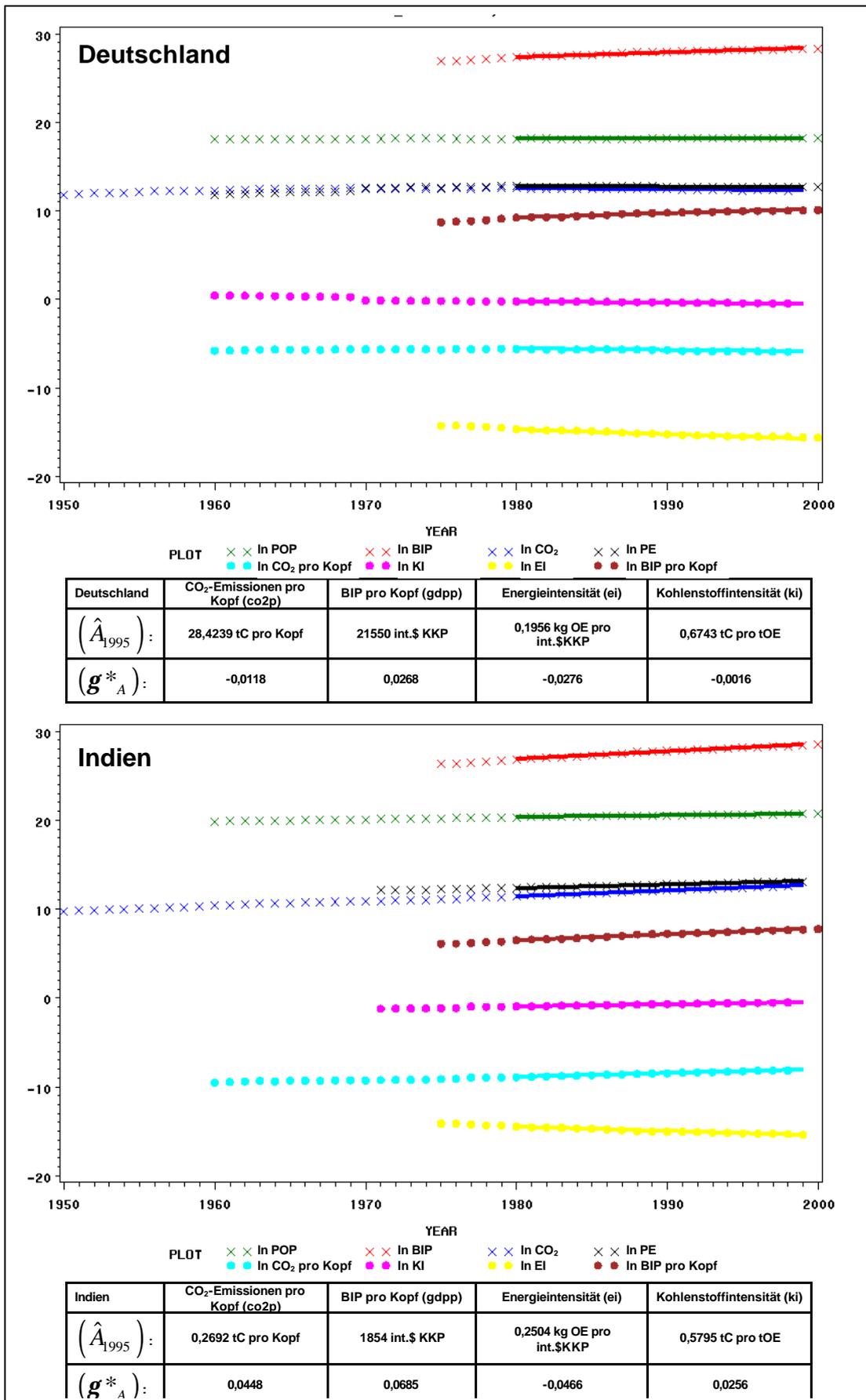


Abbildung 12a: Darstellung der zeitlichen Informationsverdichtung für ausgewählte Länder (Deutschland und Indien)

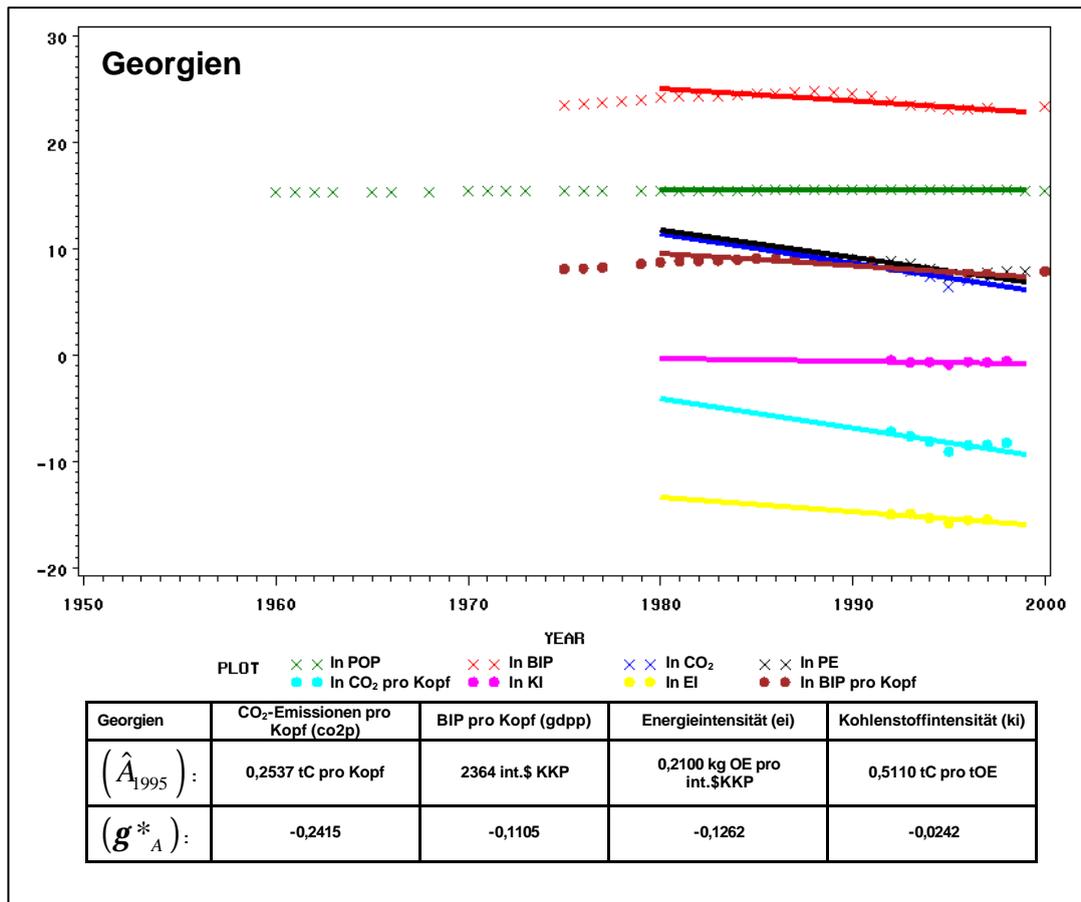


Abbildung 12b: Darstellung der zeitlichen Informationsverdichtung für ausgewählte Länder (Georgien)

In Ländern mit starken Umbrüchen und Veränderungen ist diese Näherung jedoch nur bedingt aussagekräftig und die Schätzung der Zustands- und Wachstumsgrößen kann auch nicht als robust bezeichnet werden (eine Veränderung des Beobachtungszeitraumes würde beispielsweise völlig andere mittlere Wachstumsraten bewirken).

Gütekriterium 2: Das Bestimmtheitsmaß (R^2)²¹

Für die 484 Schätzungen betrug der Median der Bestimmtheitsmaße 0,832. Dieser Wert spiegelt den natürlichen Sachverhalt wider, dass das angenommene exponentielle Wachstum eine Näherung ist, das für die Entwicklungsverläufe der analysierten Verhältniszahlen vieler Länder durchaus zutrifft, für einige Länder jedoch nur bedingt gültig ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für die Mehrzahl der Länder die einzelnen Zeitreihen der Variablen CO₂-Emissionen pro Kopf, BIP pro Kopf, Kohlenstoffintensität und Energieintensität näherungsweise als exponentielle Wachstumsprozesse betrachtet werden

²¹ Maßzahl für die Güte einer Modellanpassung. Die Berechnung des R^2 basiert auf der Varianzzerlegung in die durch das Model erklärte und die nicht erklärte Teilvarianz und kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Je größer das R^2 desto besser ist die Regressionsfunktion zur Erklärung der Abhängigkeit geeignet. (Rönz. und Strohe, 1994).

können und dass sich dementsprechend die Zeitreihen weitgehend durch die jeweiligen Zustandswerte (\hat{A}_{1995}) und Wachstumsgrößen (g^*_A) beschreiben lassen.

Da bei der Clusteranalyse die Daten möglichst wenig autokorreliert sein sollen, werden für die 121 Länder statt der Zeitreihen (von 1991-1998) der einzelnen Variablen die jeweiligen Zustandswerte (\hat{A}_{1995}) und Wachstumsgrößen (g^*_A) der jeweiligen Zeitreihen für die weitere Analyse verwandt. Auf die Länder, für die diese Werte nur eingeschränkt aussagekräftig sind (Länder mit starken Umbrüchen wie die GUS-Staaten) wird in der weiteren Ergebnisinterpretation Rücksicht genommen werden.

5.3 Inhaltliche Informationsverdichtung

Ausgangspunkt des nächsten Schrittes der Informationsverdichtung sind die durch die Trendanalyse geschätzten Zustandswerte (\hat{A}_{1995}) und Wachstumsgrößen (g^*_A) der Variablen CO₂-Emissionen pro Kopf (CO₂em pc), des BIP pro Kopf (BIP pc), der Kohlenstoffintensität (KI) und der Energieintensität (EI) für 121 Länder. Diese Variablen werden auf Korreliertheit geprüft, um zu sehen, ob sie gegebenenfalls durch weniger „dahinter“ liegende Faktoren repräsentiert werden können.

Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse der Korrelationsanalyse. Korrelationskoeffizienten²² >0,5 sind hervorgehoben. In der Mehrheit der Fälle wurde relative lineare Unabhängigkeit der einzelnen Variablen zueinander festgestellt.

In lediglich drei von 28 Fällen wurde eine mittlere lineare Abhängigkeit durch den Korrelationskoeffizienten nachgewiesen.

²² Der Korrelationskoeffizient misst die Stärke und die Richtung des linearen Zusammenhangs zwischen 2 Merkmalen. Er kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen, wobei -1 ein völlig umgekehrt proportionales Verhalten der beiden Merkmale signalisiert, +1 ein proportionales und 0 eine lineare Unabhängigkeit der beiden Merkmale voneinander.

Pearson Korrelationskoeffizient, N= 121								
	\hat{CO}_2empc_{1995}	\hat{KI}_{1995}	\hat{EI}_{1995}	\hat{BIPpc}_{1995}	$g^*_{CO_2empc}$	g^*_{KI}	g^*_{EI}	$g^*_{BIPpc.}$
\hat{CO}_2empc_{1995}	1,0000	0,4946	0,2130	0,6831	0,0441	-0,1251	0,1057	0,0750
\hat{KI}_{1995}		1,0000	-0,0267	0,2381	0,1434	0,1093	0,0428	0,0877
\hat{EI}_{1995}			1,0000	-0,2493	-0,3726	-0,1704	0,1108	-0,4496
\hat{BIPpc}_{1995}				1,0000	0,1521	-0,1741	0,0084	0,3176
$g^*_{CO_2empc}$					1,0000	0,5736	0,3040	0,7362
g^*_{KI}						1,0000	-0,1529	0,2138
g^*_{EI}							1,0000	-0,2135
$g^*_{BIPpc.}$								1,0000

Tabelle 7: Korrelationsanalyse zur inhaltlichen Informationsverdichtung

Diese relative mittlere lineare Abhängigkeit wurde zwischen den geschätzten Zustandswerten der CO₂-Emissionen pro Kopf und den geschätzten Zustandswerten der Kohlenstoffintensität und des BIP pro Kopf sowie zwischen der geschätzten jährlichen Wachstumsrate der pro Kopf Emissionen und ebenfalls den geschätzten jährlichen Wachstumsraten der Kohlenstoffintensität und des pro Kopf BIP beobachtet. Zwischen dem Niveau der Energieintensität und der Wachstumsrate des BIP pro Kopf wurde durch die Korrelationsanalyse eine mittlere umgekehrte lineare Abhängigkeit sichtbar.

Als Gütekriterium für das Zusammenfassen einzelner Variablen zu Faktoren schlagen Backhaus und Plinke (2000) das *Kaiser's Measure of Sampling Adequacy* (MSA) in der Literatur auch *Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium* genannt vor, das auf die Korrelationsanalyse aufbaut. Das MSA-Kriterium ist ein Indikator, ob eine Faktoranalyse sinnvoll erscheint oder nicht. Sein Wertebereich liegt zwischen 0 und 1. Laut Kaiser und Rice (1974) ist ein MSA-Wert < 0,5 untragbar und erst ein MSA-Wert = 0,7 ein mittelguter Indikator, dass eine Faktoranalyse zu einer sinnvollen Informationsverdichtung führen kann.

Das MSA des hier verwendeten Variablen beträgt 0,25. Dieser geringe Wert empfiehlt keine weitere Zusammenfassung durch eine Faktoranalyse. Von einer zusätzlichen Reduktion des Variablenraumes wird daher abgesehen.

5.4 Räumliche Informationsverdichtung

Statistisch kann die Gruppierung der Länder mittels Clusteranalyse durchgeführt werden. Die Clusteranalyse ist ein statistisches Klassifizierungsverfahren, das die einzelnen Untersuchungseinheiten (hier Länder) aufgrund ihrer Merkmalsausprägungen in Gruppen (Cluster) zusammenfasst. Länder innerhalb eines Clusters sollen dabei möglichst ähnlich, Länder in verschiedenen Clustern möglichst verschieden sein.

Es gibt viele Methoden zur Bildung von Clustern auf Basis von Daten, eine universell beste Methode für die Clusteranalyse gibt es jedoch nicht. Auch für die Bestimmung der optimalen Anzahl der zu findenden Cluster gibt es kein bestes Verfahren (Everitt, 2001; Seite 102ff). Daher wurden verschiedene methodologische Ansätze angewandt und deren Ergebnisse miteinander verglichen.

In Abschnitt 5.4.1 werden zunächst die verschiedenen Verfahren der Clusteranalyse skizziert, in Abschnitt 5.4.2 wird die Vorgehensweise innerhalb dieser Arbeit dargestellt und in Abschnitt 5.4.3 erfolgt die Anwendung und ein Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Methoden, um Aussagen zur Robustheit der Ergebnisse machen zu können.

5.4.1 Methoden der Clusteranalyse

Das Prinzip der Clusteranalyse besteht darin, die Abstände der Merkmalsausprägungen zwischen Untersuchungseinheiten zu quantifizieren, um dann die Untersuchungseinheiten mit den geringsten Abständen zueinander zu einer Gruppe (Cluster) zusammenzufassen. Für die Messung der Merkmalsausprägungen der Untersuchungseinheiten wurden verschiedene Abstandsmaße (oder auch Ähnlichkeitsmaße) entwickelt. Neben der Unterscheidung der verschiedenen Verfahren zur Clusteranalyse anhand des jeweils verwendeten Abstandsmaßes lassen sie sich nach der Art der Gruppenbildung in sogenannte hierarchische und partitionierende Analyseverfahren einteilen.

Bei den *hierarchischen Verfahren* werden unter allen Untersuchungseinheiten diejenigen gesucht, deren Merkmalsausprägungen den geringsten definierten Abstand zueinander haben. Diese werden zu einer Gruppe zusammengefasst und bilden die neue Untersuchungseinheit für den nächsten Schritt. Diese Iteration wird so lange wiederholt, bis alle Untersuchungseinheiten zu einer Gruppe zusammengefasst sind. Bei den hierarchischen Verfahren bildet die hierarchische Struktur (Clusterbaum) eine wichtige Hilfestellung bei der Bestimmung der Anzahl der Gruppen. Einmal gebildete Gruppen können nicht mehr aufgelöst werden.

Bei den *partitionierenden Verfahren* werden die Untersuchungseinheiten in eine vorher festzulegende Anzahl von Clustern eingeteilt und der jeweilige Abstand der einzelnen Objekte innerhalb eines Clusters zueinander bestimmt. Dann erfolgt eine zielgerichtete iterative Umgruppierung, ein erneutes Bestimmen des Abstands der Objekte innerhalb eines Clusters zueinander und der Vergleich von neuem und alten Wert, um die Clusterung mit dem kleineren Abstand herauszufinden. Der Vorgang der Umgruppierung ist beendet, wenn sich die Abstände der Objekte innerhalb eines Clusters durch Iterationsprozesse nicht mehr wesentlich verändern. Bei partitionierenden Verfahren können einzelne Objekte während des Iterationsprozesses die Gruppe wechseln, die Anzahl der Cluster muss jedoch vorher festgelegt werden²³. Hilfestellungen zur Wahl der Gruppenanzahl bieten die partitionierenden Verfahren in der Regel nicht.

5.4.1.1 hierarchisch agglomerative Verfahren zur Clusteranalyse

Ein weiteres Unterscheidungskriterium bei den Clusteranalyseverfahren ist die Art und Weise den Abstand der Merkmalsausprägungen zwischen den Objekten zu bestimmen.

Unter der Vielzahl der inzwischen veröffentlichten, hierarchisch agglomerativen Verfahren zur Clusteranalyse nennen Dillon und Goldstein (1984) in Übereinstimmung mit Everitt et al. (2001) die Single-Linkage, Complete-Linkage, Average-Linkage, sowie das Verfahren von Ward als die wesentlichen Standardverfahren zur hierarchischen Clusteranalyse²⁴. Diese werden nachfolgend im Überblick kurz vorgestellt. Für eine weiterreichende Beschreibung sei an dieser Stelle auf die spezifische Literatur verwiesen (Dillon und Goldstein, 1984; Bacher, 1996; SAS-Institute, 1999; Everitt et al., 2001).

Methode	Abstandsdefinition zwischen Clustern
Single-Linkage	kleinster paarweiser Abstand zwischen einem Element des einen und einem Element des anderen Clusters (prinzipiell für alle Abstandsmaße möglich)
Complete-Linkage	größter paarweiser Abstand zwischen einem Element des einen und einem Element des anderen Clusters (prinzipiell für alle Abstandsmaße möglich)
Average-Linkage	durchschnittlicher paarweiser Abstand zwischen einem Element des einen und einem Element des anderen Clusters (prinzipiell für alle Abstandsmaße möglich)
Ward	Zunahme der Quadratsummen zwischen den Clustern über alle Merkmale summiert (nur für Euklidisches Abstandsmaß)

Tabelle 8: Abstandsmaße hierarchisch agglomerative Standardclusterverfahren

²³ Bei den partitionierenden Verfahren kann es vorkommen, dass die endgruppenzahl kleiner ist als die definierte Zielgruppenzahl (dann entstehen Cluster ohne untersuchungseinheiten).

²⁴ Everitt et al. (2001) beschreibt darüber hinaus noch das Centroid-Linkage und Median-Linkage-Verfahren.

Single-Linkage-Methode

Die Single-Linkage-Methode verwendet als Definition des Abstandes zweier Cluster den kleinsten paarweisen Abstand zwischen einem Element des einen und einem Element des anderen Clusters. Das heißt, dass der Abstand zweier Cluster C_i und C_j durch Gleichung 5.4 definiert wird.

$$d(C_i, C_j) = \min \{d(x, y)\} \text{ mit } x \in C_i \text{ und } y \in C_j \quad (5.4)$$

Demzufolge wird diese Methode auch die Methode des nächsten Nachbarn (nearest-neighbour-method) genannt. Die Single-Linkage-Methode wurde zuerst von Florek et al. (1951) und Sneath (1957) beschrieben.

In der Anwendung führt das Single-Linkage-Verfahren oft zu einer sogenannten „Verkettung“ (engl. „chaining“). Das bedeutet, dass insbesondere bei großen Datensätzen, wie sie in der vorliegenden Arbeit untersucht werden, dieses Verfahren dazu tendiert, sukzessive einen einzigen großen Cluster zu bilden (Everitt, Landau et al. 2001). Die Ergebnisse der Simple-Linkage-Methode werden jedoch wenig von einzelnen extremen Beobachtungen beeinflusst.

Complete-Linkage-Methode

Die Complete-Linkage-Methode geht auf Sørensen (1948) zurück. Im Gegensatz zur Single-Linkage-Methode wird bei der Complete-Linkage-Methode der Abstand zweier Cluster C_i und C_j nicht durch den kleinsten Abstand, sondern durch den größten Abstand zwischen einem Element des ersten Clusters und einem Element des zweiten Clusters definiert (siehe Gleichung 5.5).

$$d(C_i, C_j) = \max \{d(x, y)\} \text{ mit } x \in C_i \text{ und } y \in C_j \quad (5.5)$$

Dementsprechend wird sie auch als die Methode des fernsten Nachbarn (furthest-neighbour-method) bezeichnet. Die Complete-Linkage-Methode tendiert dazu kompakte Cluster mit ähnlichen Durchmesser zu finden.

Laut Bacher (1996) neigt die Complete-Linkage-Methode jedoch dazu, viele kleine Cluster zu bilden.

Average-Linkage-Methode

Bei der Average-Linkage-Methode wird der arithmetische Mittelwert aller Abstände zwischen je einem Element des ersten Clusters und je einem Element des zweiten Clusters als Maß für den Abstand zweier Cluster verwendet (siehe Gleichung 5.6).

$$d(C_i, C_j) = \frac{\sum d(x, y)}{|C_i| \cdot |C_j|} \text{ mit } x \in C_i \text{ und } y \in C_j \quad (5.6)$$

wobei $|C_i|$ die Anzahl der Objekte in Cluster C_i bezeichnet. Die Average-Linkage-Methode wurde zuerst von Sokal und Michener (1958) beschrieben. Sie stellt einen Kompromiss zwischen der Methode des nächsten und der Methode des entferntesten Nachbarn dar und gilt als relativ robust.

Methode von Ward

Die Methode von Ward (Ward 1963) basiert bei der Berechnung der Abstände zwischen 2 Objekten auf dem Ansatz der kleinsten Quadrate, der Euklidischen Distanz.

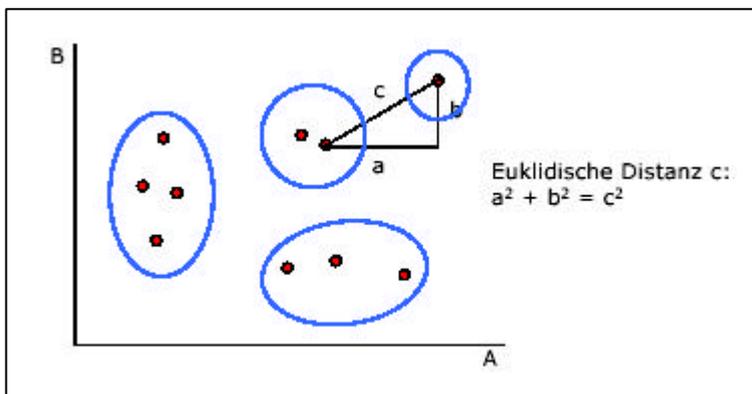


Abbildung 13:
Die Euklidische Distanz

Es werden in jedem Schritt die beiden Cluster zusammengefasst, die den kleinsten Anstieg der innerhalb-der-Cluster Quadratsumme (within cluster sum of squares) $E = \sum_{m=1}^g E_m$ haben.

Die einzelne der innerhalb-der-Cluster Quadratsumme ist definiert durch Gleichung 5.7.

$$E_m = \sum_{l=1}^{n_m} \sum_{k=1}^p (x_{m,l,k} - \bar{x}_{m,k})^2 \quad (5.7)$$

wobei

$$\bar{x}_{m,k} = \frac{\sum_{l=1}^{n_m} x_{m,l,k}}{n_m} \quad (5.8)$$

den arithmetischen Mittelwert des k -ten Merkmals des m -ten Clusters bezeichnet. Hierbei steht $x_{m,l,k}$ für den Wert des k -ten Merkmals des m -ten Clusters für die l -te

Untersuchungseinheit. Die Anzahl der Cluster wird in den Formeln mit p , die Anzahl der Elemente im m -ten Cluster wird mit n_m bezeichnet.

Auf grund des beschriebenen Euklidischen Abstandsmaßes wird die Methode von Ward auch als Minimum-Varianz-Methode bezeichnet. Sie tendiert dazu, Cluster von gleicher Größe zu finden.

5.4.1.2 Partitionierende Verfahren zur Clusteranalyse

k-means-Methode

Die *k*-means-Methode ist ein partitionierendes Clusterverfahren, das, wie die Methode von Ward, die euklidische Distanz zugrunde legt. Die Objekte werden hierbei in eine vorher festgelegte Anzahl von k Clustern eingeteilt. Dabei soll ähnlich wie beim Verfahren von Ward die innerhalb-der-Cluster-Quadratsumme (Gleichung 5.9) minimiert werden (siehe (SAS-Institute 1999) Abschnitt 27 PROC FASTCLUS).

$$E = \sum_{m=1}^k \sum_{l=1}^{n_m} \sum_{j=1}^p (x_{m,l,j} - \bar{x}_{m,j})^2 \quad (5.9)$$

Hierbei bezeichnet

$$\bar{x}_{m,j} = \frac{\sum_{l=1}^{n_m} x_{m,l,j}}{n_m} \quad (5.10)$$

den arithmetischen Mittelwert des j -ten Merkmals des m -ten Clusters und $x_{m,l,j}$ steht für den Wert des j -ten Merkmals des m -ten Clusters für die l -te Untersuchungseinheit. Die Anzahl der Cluster wird in den Formeln mit k , die Anzahl der Elemente im m -ten Cluster wird mit n_m bezeichnet.

Die Anzahl von Möglichkeiten, n Objekte in k Cluster einzuteilen ist jedoch immens. So gibt es zum Beispiel $2^{121}-1$ Möglichkeiten, die 121 untersuchten Länder in zwei Cluster einzuteilen, d.h. es müssten rund $1,33 \cdot 10^{36}$ mögliche Zerlegungen untersucht werden, um das Minimum der innerhalb-der-Cluster Quadratsumme E zu ermitteln. Es ist offensichtlich, dass dieses Vorgehen aus rechentechnischen Gründen nicht sinnvoll ist. Daher wird für die Anwendung folgender approximativer *k*-means-Algorithmus verwendet, der allgemein durch vier Schritte beschrieben werden kann.

1. Zu Beginn des k -means-Algorithmus werden k sogenannte Clusterseeds als Startwerte bestimmt. Hierbei kann es sich um realisierte Beobachtungen oder um andere Punkte im Datenraum handeln.
2. Jedes der zu klassifizierenden Objekte wird demjenigen Clusterseed zugeordnet, zu dem es den geringsten euklidischen Abstand besitzt.
3. Nach erfolgter Zuordnung der Objekte zu den Clusterseeds werden für jeden der derart gebildeten k -Cluster die jeweiligen Clustermittelwerte berechnet. Diese werden dann als Clusterseeds für die nächste Iteration verwendet.
4. Die Schritte 2 und 3 werden solange wiederholt, bis die Änderung der innerhalb-der-Cluster-Quadratsumme von einer Iteration zur nächsten kleiner als ein vorgegebenes Abbruchkriterium wird.

Wie bereits erwähnt liegt der Vorteil der partitionierenden Verfahren in der Möglichkeit dass einzelne Objekte auch während des Prozesses gebildeten Cluster noch einmal verlassen können. Dafür muss die Anzahl der zu bildenden Cluster vor der Analyse festgelegt werden.

5.4.1.3 Zusammenfassender Vergleich der Methoden im Hinblick auf den Untersuchungsgegenstand

Für die Auswahl einer Methode der Clusteranalyse gibt es kein uniformes Optimalitätskriterium, es gibt also keine einheitlich beste Methode. Je nach Art der in den Daten enthaltenen Cluster erzeugen die verschiedenen Methoden verschieden gute Ergebnisse.

Die Methode von Ward eignet sich besonders für ellipsoidförmige Cluster. Sie ergibt nach einer Simulationsstudie von Hands und Everitt (1987) gute Ergebnisse, wenn die in den Daten vorhandenen Cluster ungefähr die gleiche Anzahl von Elementen besitzen, und nicht so gute Ergebnisse, wenn die Anzahl von Elementen in den einzelnen Clustern grob unterschiedlich ist. Laut Everitt et al. (2001) funktioniert die Methode von Ward in der Praxis auch dann noch gut, wenn die eigentlich von ihr geforderte geometrische Interpretation nicht mehr gewährleistet sei.

Die Linkage-Methoden sind dann besser als die Ward-Methode im Erkennen von Clustern, wenn die Cluster eine Form haben, die sich deutlich von einem mehrdimensionalen Ellipsoid unterscheidet. Dafür haben die Linkage-Methoden die Eigenschaft der Verkettung, d.h. sie

tendieren oft dazu, sukzessive einen einzigen großen Cluster zu bilden. Diese Verkettung führt oft zu unbrauchbaren Ergebnissen (Everitt, Landau et al. 2001).

Für die empirische Untersuchung der zeitlich verdichteten sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen ist die Form der in diesem 8-dimensionalen Datensatz potentiell enthaltenen Cluster a priori unbekannt. Es wird jedoch im ersten Ansatz von einer eher ellipsoidförmigen Gestalt der Cluster ausgegangen. Das heißt, dass zur räumlichen Informationsverdichtung der sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen zuerst eine Clusterung nach der Methode von Ward durchgeführt wird.

Danach werden die anderen Methoden angewandt und miteinander verglichen, um so Aussagen zur Robustheit der Analyseergebnisse machen zu können.

5.4.2 Vorgehensweise zur räumlichen Informationsverdichtung

Die Clusteranalyse mit der Methode von Ward bildet den Ausgangspunkt für die räumliche Informationsverdichtung der sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen in dieser Arbeit.

Um den Einfluss der unterschiedlichen Skalen zu eliminieren, werden die einzelnen Variablen standardisiert nach der Gleichung 5.11.

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (5.11)$$

bei der \bar{x} den Mittelwert und s die Standardabweichung der Beobachtungswerte bezeichnet. Diese Standardisierung hat im wesentlichen zwei Effekte:

1. ein Wechsel der Maßeinheit (z.B. Energieverbrauch in kWh statt in OE) der Werte x_i hat keinen Einfluss auf die Werte z_i
2. da die Variabilitäten der Werte z_i für jedes Merkmal gleich (=1) sind, bekommt jede Variable bei Clustern dasselbe Gewicht.

Mit Hilfe des hierarchisch agglomerativen Gruppierungsalgorithmus wird dann die Anzahl der Gruppen festgelegt. Danach werden die anderen der in Abschnitt 5.4.1 vorgestellten Clusteralgorithmen angewendet und miteinander verglichen. Dieser Vergleich der Ergebnisse soll Anhaltspunkte über deren Robustheit hinsichtlich der ausgewählten Clustermethode bringen. Laut Rönz und Strohe (1994) wird unter Robustheit „die Eigenschaft eines statistischen Verfahrens, auch bei Abweichungen von den eigentlich erforderlichen

Voraussetzungen noch hinreichend zuverlässige Ergebnisse zu liefern, also unempfindlich oder robust gegenüber den Modellvoraussetzungen zu sein“ verstanden. Klassische Verfahren zur Schätzung der Robustheit (Methoden der Monte-Carlo-Simulation) testen jeweils eine Methode dementsprechend und empfehlen bei Nichtrobustheit eine andere Methode zu wählen.

In dieser Arbeit werden von vornherein alle als wesentlich definierten Methoden angewandt und deren Ergebnisse miteinander verglichen. Dabei wird zuerst untersucht, ob die angewandte Methode tatsächlich eine Gruppenbildung erreicht, oder ob auf grund der Verkettungseigenschaft einiger Verfahren lediglich „Ausreißer“ und „Sammelbecken“ entstehen.

Führt die angewandte Methode zu einer Gruppenbildung, wird in einem nächsten Schritt die Übereinstimmung der Gruppen durch 2 Verfahren untersucht. Diese Übereinstimmung wird anhand zweier Kriterien vorgenommen:

1. Zweidimensionale Kontingenztabelle der Clusterlösungen

Dazu werden für jede der zu vergleichenden Clustermethoden zuerst alle $\binom{121}{2} = 7260$ ungeordneten Länderpaare gebildet. Dann wird für jede Clustermethode die dichotome Variable *Länderpaar im gleichen Cluster* mit den Ausprägungen *Ja* oder *Nein* bestimmt. Anschließend wird eine Kontingenztabelle dieser Variablen von jeweils 2 Methoden erstellt, die zeigt, in wie vielen Fällen Länderpaare durch die zu vergleichenden Methoden gleich oder verschieden zugeordnet wurden.

2. κ -Koeffizient als statistisches Maß der Übereinstimmung zweier Klassifikationen

Als Maß für die Übereinstimmung von zwei Klassifikationen hat Cohen (1960) den κ -Koeffizient (griechisch kappa) eingeführt. Für die Berechnungsgrundlagen sei an dieser Stelle auf die Literatur verwiesen.

Falls die beobachteten Übereinstimmungen zweier Klassifikationen rein zufällig sind, ist der κ -Koeffizient gleich 0. Stimmen die beiden untersuchten Klassifikationen genau überein, ist der κ -Koeffizient gleich 1. Wenn die Übereinstimmung zwischen den beiden untersuchten Klassifikationen überzufällig ist, dann ist der κ -Koeffizient positiv und um so größer, je größer dieser Koeffizient ist. Der Vollständigkeit halber sollte noch erwähnt werden, dass der κ -Koeffizient auch negativ werden kann, falls weniger als die zufällig erwarteten Übereinstimmungen beobachtet werden sollten. Auch für die Berechnung der

Konfidenzintervalle und die Teststatistik sei an dieser Stelle auf die Literatur (Fleiss, 1981) verwiesen.

5.4.3 Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Clusteranalyseverfahren

5.4.3.1 *Clusterverteilung - Methode von Ward*

Der zeitlich verdichtete weltweite Datensatz der sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen wurde durch eine Clusteranalyse mit der Methode von Ward räumlich verdichtet. Die Baumstruktur in Abbildung 14 zeigt die einzelnen Schritte der Gruppierung.

Ein Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Methoden der Clusteranalyse ist nur dann sinnvoll, wenn stets auf die gleiche Anzahl von Clustern bezug genommen wird. Auf die Darlegung der Zwischenschritte wird an dieser Stelle verzichtet. Für das Resultat ist es letztendlich irrelevant, durch welche Zwischenschritte eine Methode zu ihrem Ergebnis gekommen ist. Die Ergebnisse sollen jedoch verglichen werden und deshalb muss vor einem Methodenvergleich die Anzahl der Cluster festgelegt werden, um dann stets für die gleiche Anzahl von Clustern die Analyse durchzuführen.

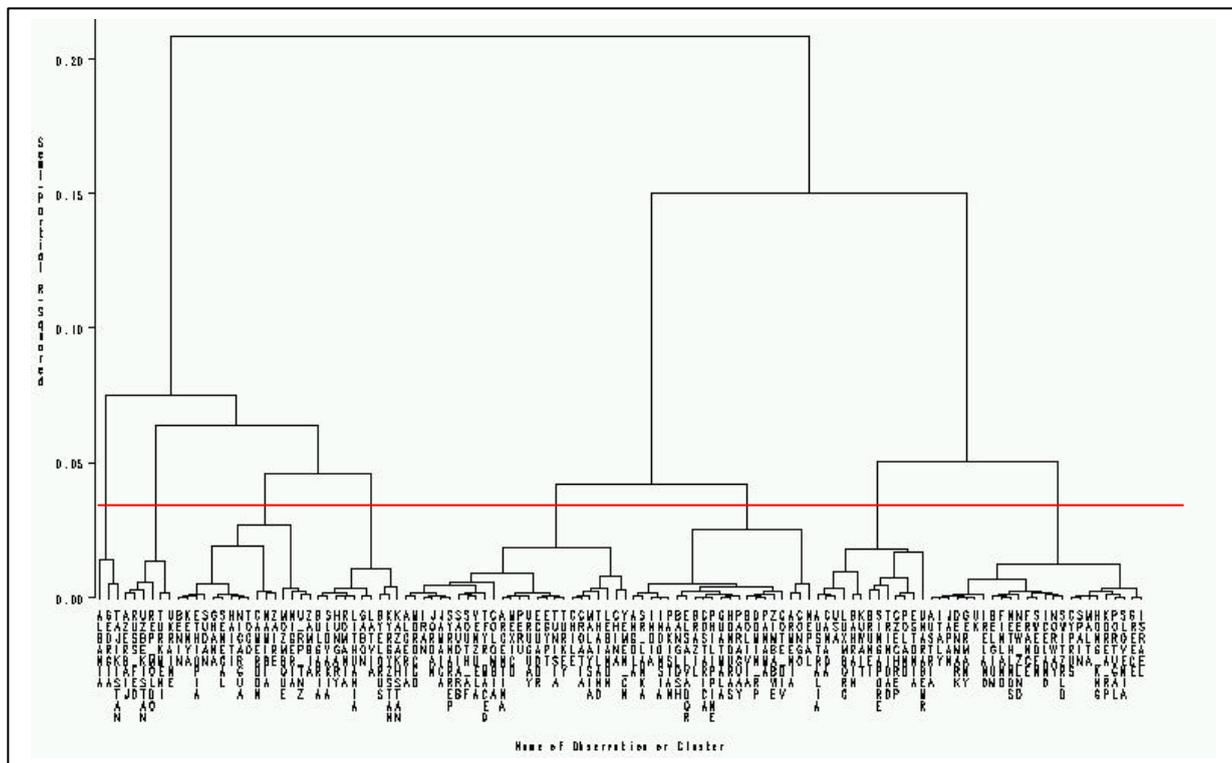


Abbildung 14: Baumstruktur der hierarchischen Clusterung des zeitlich verdichteten Kaya-Datensatzes

Jede Wahl der Anzahl der Cluster enthält ein Moment der subjektiven Entscheidung. Lässt man zu viele Cluster zu, bleibt die Analyse den ähnlich komplex wie die Ausgangssituation

(ist also in gewisser Weise informationserhaltend), kommt aber dem Sinn und Zweck der Clusteranalyse – Datenverdichtung und Strukturierung der Information – nicht mehr ausreichend nach. Reduziert man die Clusteranzahl zu stark, droht eine zu einfache Sicht der Dinge und der Vorteil einer differenzierten Betrachtung geht verloren. Hier muss also ein Mittelweg gefunden werden. Normalerweise wird diese Wahl von der Interpretierbarkeit maßgeblich geleitet, es gibt aber auch einige statistische Maßzahlen als Entscheidungshilfe. Da im nächsten Schritt die verschiedenen statistischen Methoden miteinander verglichen werden sollen, wird auch die Anzahl der Cluster mit Hilfe dieser Größen festgelegt.

Eine solche statistische Maßzahl ist das partielle Bestimmtheitsmaß (SP R^2), das in Abbildung 14 die Höhe des Clusterbaumes (vertikale Achse) bestimmt. Das partielle Bestimmtheitsmaß gibt an, wie stark die erklärte Varianz durch eine weitere Fusion zweier Cluster abnimmt. Beim Übergang von 8 zu 7 Clustern würde sich dieses partielle Bestimmtheitsmaß fast verdoppeln (siehe Tabelle 9), $SP R^2 > 0.4$.

Anzahl der Cluster	partiell. Bestimmtheitsmaß (SP R^2)	Abstand des SP R^2 zur nächsten Stufe	Bestimmtheitsmaß (R^2) ²⁵
11	0,0188	0,0006	0,707
10	0,0194	0,0058	0,688
9	0,0252	0,0075	0,663
8	0,0270	0,0150	0,636
7	0,0420	0,0041	0,594
6	0,0461	0,0045	0,548
5	0,0506	0,0133	0,497
4	0,0639	0,0113	0,433
3	0,0752	0,0751	0,358
2	0,1499	0,0579	0,208
1	0,2080	-	0,000

Tabelle 9: Relevante statistische Maßzahlen als Entscheidungshilfe zur Bestimmung der Gruppenzahl

Dementsprechend würde sich eine Teilung in 8 Cluster anbieten (rote Linie in Abbildung 14 und Tabelle 9).

²⁵ Normalerweise Maßzahl für die Güte einer Modelanpassung (siehe Fußnote 21 auf Seite 43). Im Rahmen dieser Clusteranalyse gibt sie an, wie viel der gesamten Varianz (im 120-Länderraum) im entsprechenden Clusterraum noch enthalten ist.

Cluster	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit	Länder
1	22	18,18%	Angola, Armenien, Bangladesch, Bolivien, Brasilien, Kongo, Costa Rica, Elfenbeinküste, Dominikanische Republik, El Salvador, Guatemala, Honduras, Indien, Indonesien, Nepal, Pakistan, Panama, Paraguay, Philippinen, Sri Lanka, Vietnam, Zimbabwe
2	25	20,66%	Osterreich, Belgien, Zypern, Dänemark, Finnland, Frankreich, Deutschland, Griechenland, Hongkong, Island, Irland, Israel, Italien, Japan, Korea, Malta, die Niederlande, Neuseeland, Norwegen, Portugal, Slowenien, Spanien, Schweden, Schweiz, Großbritannien
3	16	13,22%	Benin, Cameroun, Äthiopien, Ghana, Haiti, Kenia, Mozambique, Namibia, Nicaragua, Nigeria, Senegal, Sudan, Togo, Tansania, Zaire, Zambia
4	26	21,49%	Algerien, Argentinien, Chile, China, Kolumbien, Kroatien, Ecuador, Ägypten, Iran, Jamaika, Jordanien, Libanon, Malaysia, Mexiko, Marokko, Peru, Saudi-Arabien, Südafrika, Syrien, Thailand, Mazedonien, Tunesien, Türkei, Uruguay, Venezuela, Yemen
5	10	8,26%	Weißrussland, Bulgarien, Gabun, Ungarn, Kasachstan, Kirgisien, Lettland, Litauen, Rumänien, Slowakei
6	13	10,74%	Australien, Bahrain, Brunei, Kanada, Tschechische Republik, Estland, Kuwait, Luxemburg, Polen, Singapur, Trinidad, Vereinigte Arabische Emirate, USA
7	6	4,96%	Aserbaidschan, Moldawien, Russland, Turkmenistan, Ukraine, Usbekistan
8	3	2,48%	Albanien, Georgien, Tadschikistan

Tabelle 10: Clusterverteilung - Methode von Ward

Die Verteilung der Länder auf die einzelnen Gruppen wird in Tabelle 10 gezeigt. Es wird deutlich, dass 5 Cluster gebildet wurden, in denen sich jeweils 10% - 22% der Grundgesamtheit befinden. In den Clustern 5, 7 und 8 sind zwar absolut weniger Länder enthalten, wenn aber die geopolitische Größe dieser Länder berücksichtigt wird, relativieren sich die Aussagen zur Häufigkeitsverteilung jedoch erheblich. So befinden sich in Cluster 7 z.B. Russland und die Ukraine.

Lediglich 3 Länder (Albanien, Georgien und Tadschikistan) blieben als „Ausreißer“²⁶ bestehen und wurden nicht weiter zusammengefasst. Damit konnten die Beobachtungen von Hands und Everitt (1987) (siehe Abschnitt 5.4.2) auch in dieser Analyse beobachtet werden.

Für den weiteren Vergleich der unterschiedlichen Methoden wird eine Anzahl von 8 Clustern festgelegt. Das heißt, dass auch bei allen weiteren Verfahren die 8 Cluster-Ergebnisse betrachtet und für den Vergleich zu Grunde gelegt werden.

5.4.3.2 Clusterverteilung – Single- und Average-Linkage-Methode

Wie Tabelle 11 belegt, sind die Single-Linkage-Methode und Average-Linkage-Methode zur Clusterbildung für die Analyse des in dieser Arbeit verwendeten Datensatzes ungeeignet. Sie bilden im wesentlichen nur einen einzigen großen Cluster. Auf diese Eigenschaft der Linkage-Methoden, bevorzugt einen großen Cluster zu bilden (Verkettung) (siehe auch

²⁶ Als „Ausreißer“ werden innerhalb dieser Arbeit Länder verstanden, die auf grund ihrer Analyseeingangsdaten (Zustands- und Wachstumsgrößen CO₂-Emissionen pro Kopf, BIP pro Kopf, Energieintensität und Kohlenstoffintensität) durch die Clusterung nicht mit anderen Ländern zusammengefasst werden konnten.

Everitt et al. 2001), wurde bereits in Abschnitt 5.4.2 hingewiesen. Auch in dieser Analyse wurde die Neigung der Methoden zur Verkettung deutlich.

Cluster	Single Linkage Methode		Average Linkage Methode	
	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit
1	111	91,74%	93	76,86%
2	3	2,48%	4	3,31%
3	2	1,65%	7	5,79%
4	1	0,83%	6	4,96%
5	1	0,83%	7	5,79%
6	1	0,83%	2	1,65%
7	1	0,83%	1	0,83%
8	1	0,83%	1	0,83%

Tabelle 11: Clusterverteilung – Single- und Average-Linkag-Methode

Die Single-Linkage-Methode fasst 111 der 121 untersuchten Länder (91,74%) zu einem einzigen Cluster zusammen. Moldawien, Albanien, Georgien, Tadschikistan und die Vereinigten Arabischen Emirate bilden jeweils einen eigenen Cluster, d.h. fünf der acht Cluster umfassen nur ein einziges Land. Die anderen beiden Cluster werden von den drei afrikanischen Ländern Kamerun, Namibia und Zaire beziehungsweise von zwei ehemaligen Sowjetrepubliken, Turkmenistan und der Ukraine gebildet.

Nicht viel anders als für die Single-Linkage-Methode sieht es für die Average-Linkage-Methode aus. Auch hier wird die überwiegende Anzahl der untersuchten Länder zu einem einzigen Cluster zusammengefasst, der 93 der 121 Länder (76,86%) enthält. Luxemburg und Albanien bilden je ein einelementiges Cluster, Turkmenistan und Georgien ein zweielementiges Cluster. Die verbleibenden vier Cluster umfassen zwischen 4 und 7 Länder.

5.4.3.3 Clusterverteilung Complete-Linkage-Methode

Von den drei Linkage-Methoden liefert die Complete-Linkage-Methode eine Einteilung der Länder in acht Cluster, die noch am ehesten eine weiterführende Untersuchung der von dieser Methode gebildeten Cluster sinnvoll erscheinen lässt. Hier umfasst der größte Cluster noch 62,8% der Beobachtungen des Ausgangsdatensatzes, d. h. 76 der 121 Länder. Der kleinste Cluster enthält wiederum die beiden Länder Turkmenistan und Georgien.

Cluster	Complete Linkage Methode	
	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit
1	76	62,81%
2	14	11,57%
3	8	6,61%
4	4	4,96%
5	7	5,79%
6	4	3,31%
7	6	4,96%
8	2	1,66%

Tabelle 12: Clusterverteilung – Complete-Linkage-Methode

Die beschriebenen Ergebnisse der drei Linkage-Methoden zeigen schon einen Weg auf, die Ergebnisse auf Robustheit bezüglich der Methodenwahl zu untersuchen. So bilden beispielsweise die beiden Länder Turkmenistan und Georgien einen Cluster unabhängig davon, ob als Clustermethode Single-, Average-, oder Complete-Linkage verwendet wird. Im Gegensatz dazu zählt Luxemburg bei Single-, und Complete-Linkage zum großen Cluster während es bei Average-Linkage zu einem einelementigen Cluster wird. Man kann also sagen, dass die Einteilung von Turkmenistan und Georgien bezüglich der Wahl des spezifischen Linkage-Algorithmus relativ robust ist, während dies für Luxemburg nicht unbedingt gilt.

Idealtypischerweise würde gelten, dass zwei Länder unabhängig vom gewählten Clusteralgorithmus entweder immer in einem Cluster oder immer in verschiedenen Clustern sind. Diese Übereinstimmung kann jedoch doch nur dann für alle Länderpaare gelten, wenn die verglichenen Clusteralgorithmen absolut identische Resultate liefern. In der Praxis kommt es daher auch bei sehr guter Übereinstimmung der untersuchten Clustermethoden zu Abweichungen. Interessant ist dann, welche der Länder je nach verwendeter Methode anders eingeteilt werden und demzufolge als Grenzfälle betrachtet werden können.

Um die Robustheit des Algorithmus von Ward mit dem des Complete-Linkage zu

untersuchen, wurden daher zunächst alle $\binom{121}{2} = 7260$ ungeordneten Länderpaare gebildet

und für jedes dieser Länderpaare die dichotome Variable *Länderpaar im gleichen Cluster* mit den möglichen Ausprägungen *Ja* oder *Nein* für jede der Clustermethoden gebildet. Anschließend wurde eine Kreuztabelle dieser Variablen erstellt. Für den Vergleich der Methode von Ward mit den Ergebnissen des Complete-Linkage-Verfahrens ergibt sich:

abs. Häufigkeit rel. Häufigkeit (%) Reihe (%) Spalte (%)C	Vergleich der Clustermethoden Ward versus Complete-Linkage			
	Ward	Complete-Linkage		total
		verschiedene Cluster	gleicher Cluster	
		4007	2128	6135
verschiedene Cluster		55,19%	29,13%	84,50%
		65,13%	34,69%	
		94,46%	70,51%	
gleicher Cluster		235	890	1125
		3,24%	12,26%	15,50%
		20,89%	79,11%	
	5,54%	29,49%		
Total		4242	3018	7260
		58,43%	41,57%	100,00%

Tabelle 13: Vergleich der Clustereinteilung mit den Methoden Ward vs. Complete-Linkage

Die beiden Verfahren Ward und Complete-Linkage zeigen eine gute Übereinstimmung, wenn man bedenkt, wie unterschiedlich die prinzipielle Vorgehensweise dieser Algorithmen ist. Über zwei Drittel der Länderpaare sind gemäß beider Verfahren entweder stets im gleichen oder stets in verschiedenen Clustern. Nur 3,24% aller Länderpaare sind gemäß dem Wardverfahren in einem Cluster und gemäß dem Complete-Linkage-Verfahren in verschiedenen Clustern. 12% der Länderpaare sind jedoch gemäß dem Complete-Linkage-Verfahren im gleichen Cluster während das Verfahren von Ward sie verschiedenen Clustern zuordnet, was dem großen Cluster 1 der Complete-Linkage-Methode geschuldet ist. Der Grund für diese Diskrepanz liegt darin, dass das Complete-Linkage-Verfahren 3018 der Länderpaare in das selbe Cluster einteilt, während dies beim Verfahren von Ward bedingt durch die ausgewogeneren Clustergrößen nur für 1125 Länderpaare der Fall ist.

Es stellt sich natürlich die Frage, wie diese Abweichungen von der idealtypischen perfekten Übereinstimmung der beiden Verfahren zur Clusteranalyse zu bewerten sind. Die beobachteten Übereinstimmungen können ja auch rein zufällig zustande gekommen sein, obwohl die beiden untersuchten Verfahren tendenziell keine einheitlichen Cluster bilden. Als Maß für die Übereinstimmung von zwei Klassifikationen hat Cohen (1960) den κ -Koeffizienten (griechisch kappa) eingeführt (siehe Abschnitt 5.4.2). Beim Vergleich der beiden Gruppierungen die mittels dem Verfahren von Ward einerseits und mittels der Complete-Linkage-Methode andererseits erzielt wurde, ergab sich ein κ -Koeffizient von 0,2633 mit einem 95%-Konfidenzintervall von (0,2441; 0,2825), der signifikant von Null

verschieden ist ($p < 0,0001$), d.h. die beobachtete Übereinstimmung der beiden Klassifikationen ist nicht rein zufällig, auch wenn diverse Unterschiede zu beobachten waren.

5.4.3.4 Clusterverteilung k-means-Methode

Die k-means-Methode, als ein partitionierendes Clusteranalyseverfahren, führt im Gegensatz zu den Single-, Average- und Complete-Linkage-Verfahren nicht zu einem dominanten Cluster, der mehr als die Hälfte aller untersuchten Länder umfasst. Der größte Cluster umfasst beim k-means-Verfahren gut 42% der Länder. Das ist immerhin fast der doppelte Anteil des größten Clusters beim Verfahren von Ward mit 21,5% der Länder.

Cluster	k-means-Methode	
	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit
1	7	5,79%
2	2	1,65%
3	5	4,13%
4	23	3,33%
5	11	9,09%
6	16	13,22%
7	51	42,15%
8	6	4,96%

Tabelle 14: Clusterverteilung – k-means-Methode

Interessanterweise umfasst der kleinste Cluster gemäß der k-means-Methode nicht wie bei den anderen vier untersuchten Methoden die ehemaligen Sowjetrepubliken Turkmenistan und Georgien sondern Georgien und Tadschikistan. Für den Vergleich der Methode von Ward mit den Ergebnissen des k-means-Verfahrens ergibt sich:

abs. Häufigkeit rel. Häufigkeit (%) Reihe (%) Spalte (%)C	Vergleich der Clustermethoden Ward versus k-means			
	Ward	k-means		total
		verschiedene Cluster	gleicher Cluster	
		5097	1038	6135
	verschiedene Cluster	70,21%	14,30%	84,50%
		83,08%	16,92%	
		92,50%	59,31%	
	gleicher Cluster	413	712	1125
		5,69%	9,81%	15,50%
		36,71%	63,29%	
		7,50%	40,69%	
	Total	5510	1750	7260
		75,90%	24,10%	100,00%

Tabelle 15: Vergleich der Clustereinteilung mit den Methoden Ward vs.k-means-Verfahren

Die beiden Verfahren Ward und k-means führen zu wesentlich besseren Übereinstimmungen in den Ergebnissen, als die Verfahren Ward und Complete-Linkage. Für über 80% aller möglichen Länderkombinationen stimmen beide Klassifikationen überein. Diese bessere Übereinstimmung zeigt sich auch im κ -Koeffizienten der mit 0,3780 und einem 95%-Konfidenzintervall von (0,3526; 0,4034) deutlich höher ausfällt als der κ -Koeffizient für den Vergleich des Verfahrens von Ward mit dem des Complete-Linkage-Algorithmus. Die beobachtete Übereinstimmung der beiden Klassifikationen ist wiederum nicht rein zufällig, da der κ -Koeffizient signifikant von Null verschieden ist ($p < 0,0001$).

Die vorstehende Untersuchung der Auswirkung der Wahl eines anderen Verfahrens zur Clusteranalyse als das Ward-Verfahren zeigte, dass die empirischen Ergebnisse dieser Arbeit hinreichend robust bezüglich der Wahl des statischen Verfahrens zur Clusteranalyse sind, wenn die Single- und Average-Linkage-Verfahren ausgeklammert werden, die auf grund der Verkettung nicht zu Gruppenbildungen führten.

5.5 Kapitelzusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für die räumliche Verdichtung der sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen drei der fünf getesteten Methoden zu einer sinnvollen Informationsverdichtung führten. Die Ergebnisse des präferierten hierarchisch agglomerativen Verfahrens von Ward wurden im wesentlichen vom Complete-Linkage-Verfahren (67%ige Übereinstimmung der paarweisen Zuordnung, siehe Tabelle 13 auf Seite 67) und vom k-means-Verfahren (80%ige Übereinstimmung der paarweisen Zuordnung, siehe Tabelle 15 auf Seite 68) bestätigt.

Das hierarchische Verfahren nach Ward brachte jedoch ein klares Ergebnis mit acht Clustern (siehe Tabelle 10), das zudem substanzwissenschaftlich gut interpretierbar ist. Methodisch wurde also das hierarchische Verfahren nach Ward favorisiert und angewandt.

Auf weitere Analysen zu Test der Robustheit der Analyseergebnisse (Monte-Carlo-Simulationen) wurde verzichtet, da wie in den Kapiteln 4 und 5.2 bereits erwähnt, auch die Eingangsdaten nicht in jedem Fall als wirklich robust bezeichnet werden können. Es sei an dieser Stelle auf die Schwierigkeiten bei der Datenerhebung in einigen Ländern, Fehlern im internationalen Datensatz und die Probleme bei der Bestimmung der Wachstumsraten in Ländern, die sich im wirtschaftlichen Umbruch befinden, verwiesen.

Trotz all dieser „Unsicherheiten“ entstand eine Ländergruppierung, die diesen Problemen Rechnung zu tragen scheint. Anhand der Tabelle 10 auf Seite 64 wird jedoch deutlich, dass

drei der acht Ländergruppen im wesentlichen durch die Länder der ehemaligen Sowjetunion bestimmt werden. Diese Länder nehmen im gesamten Datenraum eher Außenseiterpositionen ein, da dort ein massiver wirtschaftlicher Zusammenbruch zu beobachten war, der sich in extremen negativen Wachstumsraten (-3% bis -12%) widerspiegelte. Die Zuverlässigkeit der Daten insgesamt wird als vermindert bewertet, was die Ausreißerproblematik der z.B. von allen Methoden erkannten Länder Georgien und Tadschikistan relativiert. Auf grund des substanzwissenschaftlichen Hintergrundwissens wird von der rein statistisch induzierten Differenzierung (SP R^2) in drei Gruppen von GUS-Ländern abgewichen. Für die weitere Betrachtung werden diese zu einem Block zusammengefasst.

Die nachfolgende Abbildung 15 zeigt die gebildeten energiewirtschaftlichen Ländercluster anhand einer geopolitischen Weltkarte.

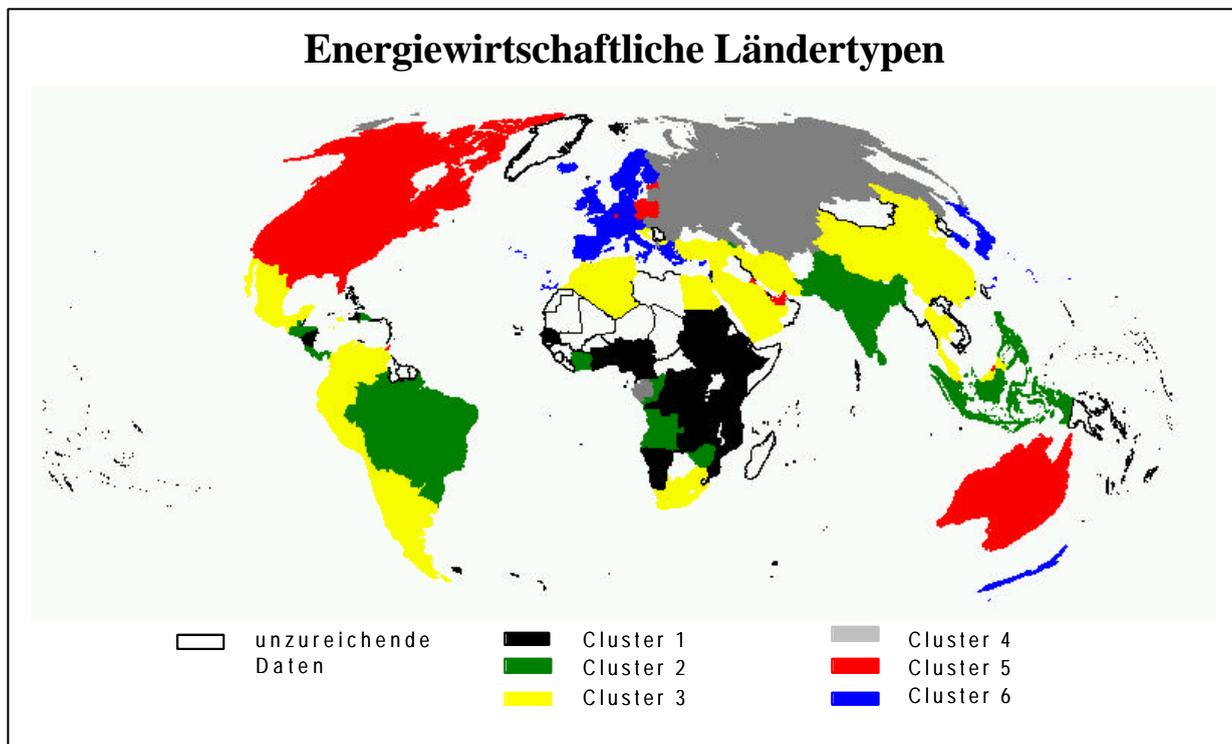


Abbildung 15: Weltkarte mit energiewirtschaftlichen Ländertypen

Die einzelnen Cluster wurden substanzwissenschaftlich begründet umsortiert.

Im folgenden Kapitel werden diese Ergebnisse der Clusterung interpretiert und die einzelnen Cluster näher beschrieben.

6. DIE ENERGIEWIRTSCHAFTLICHEN LÄNDERTYPEN

Anhand der Verfahren zur Mustererkennung (Kapitel 5) konnten über die definierten sozio-ökonomischen Determinanten (Abschnitt 3.3) die 121 Länder mit ausreichender Datenbasis (92% der Weltbevölkerung) zu Regionen oder energiewirtschaftlichen Ländertypen zusammengefasst werden. Doch wodurch zeichnen sich die einzelnen Ländertypen aus? Was sind deren wesentliche, charakteristische Merkmale?

Die Charakterisierung der energiewirtschaftlichen Ländertypen, kann auf vielfältige Weise erfolgen und wird doch nie wirklich vollständig sein. Schwerpunkt dieses Kapitels wird eine Beschreibung sein, die sich auf die Lage der Clustermittelpunkte im Vergleich zu den einzelnen Länderpositionen stützt und auch die Abgrenzung oder Überlappung der einzelnen energiewirtschaftlichen Ländertypen (Cluster) deutlich machen soll. Dadurch soll, ähnlich wie beim Vergleich der Clustermethoden, herausgefunden werden, welche Länder sich eher im Clustermittelpunkt und welche sich eher am Rand zu anderen Clustern befinden, um so weitere Anhaltspunkte hinsichtlich der Robustheit der Länderzuordnung zu erhalten.

Bevor die Lage der Länder und der entsprechenden Cluster hinsichtlich der einzelnen Analysevariablen (jeweils Niveau und Wachstum der CO₂-Emissionen pro Kopf, des BIP pro Kopf der Kohlenstoffintensität und der Energieintensität) betrachtet werden kann (Abschnitt 6.2), wird in Abschnitt 6.1 auf die Berechnung der Clusterwerte und –mittelpunkte eingegangen.

Abschnitt 6.3 charakterisiert und bezeichnet die einzelnen Cluster noch einmal zusammenfassend hinsichtlich ausgewählter makroökonomischer Größen und der sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen.

6.1 Die Daten der Ländertypen

Da die definierten sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger im wesentlichen Verhältniszahlen sind, lassen sich die Clustermittelpunkte nicht einfach als Mittelwert der einzelnen Werte gewinnen. Anhand der Kohlenstoffintensität soll diese Problematik, die in vielen vor allem populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen schlicht übergangen wird, noch einmal veranschaulicht werden.

Die Kohlenstoffintensität ist als Verhältniszahl aus den CO₂-Emissionen in Mio t C geteilt durch den fossilen Primärenergieverbrauch in Mio t OE definiert. Die Bestimmung der Kohlenstoffintensität für eine Gruppe von Ländern ergibt sich richtigerweise als

$$\frac{\sum_{\text{Länder}} \text{CO}_2\text{-Emissionen}}{\sum_{\text{Länder}} \text{Primärenergieverbrauch}} \quad (6.1)$$

Dieser Quotient zweier Summen ist im allgemeinen von der Summe der Quotienten, die für die jeweiligen Länder einzeln berechnet wurden, durchaus verschieden, da der Größeneffekt der Länder im letzteren Fall völlig negiert werden würde.

Zur Bestimmung der einzelnen Clustermittelpunkte wurde in einem ersten Schritt ein Clusterdatensatz gebildet. Im Anhang V (S. Anhang /27) zeigt das SAS-Script 4 die Vorgehensweise zur Berechnung der einzelnen Clusterdatensätze, die im Anhang III (S. Anhang / 3) im Detail abgebildet sind.

Eine Summierung von Werten einzelner Länder kann natürlich nur für absolute Werte erfolgen. Sind diese Clustersummen der in Abschnitt 4.2 beschriebenen Basisdaten gebildet, kann die weitere Berechnung der Verhältniszahlen erfolgen.

Für die korrekte Bildung der Clustersummen müssen natürlich von allen zugehörigen Ländern die einzelnen kompletten Zeitreihen vorliegen. Die definierten Minimalanforderungen an die vorhandenen Daten wurden jedoch bewusst niedrig gehalten (von 1991-1998 mussten pro Variable mindestens 5 Werte vorliegen, siehe Abschnitt 4.2), um möglichst viele Länder in die Mustererkennung einbeziehen zu können. Eine automatische Summierung ist bei lückenhaften und unterschiedlich langen Einzelzeitreihen nicht ohne weiteres möglich.

Deshalb wurden die einzelnen Zeitreihen der Länder pro Cluster manuell geprüft. Wenn lediglich einzelne Werte fehlten, wurden mit Hilfe der in Abschnitt 5.2 beschriebenen Schätzung via organischem Wachstum einzelne Lücken geschlossen. Bei der Extrapolation wurde jedoch sehr vorsichtig vorgegangen. Bei zu großen Datenlücken wurden einzelne Länder aus der Berechnung ausgeschlossen. Das betraf in Cluster 1 (Abbildung 15 schwarz) Namibia, in Cluster 2 (Abbildung 15 grün) Armenien, in Cluster 3 (gelb) Kroatien, Libanon, Mazedonien und Jemen, in Cluster 5 (Abbildung 15 rot) Brunei, die Tschechische Republik, Estland und Polen und in Cluster 6 (Abbildung 15 blau) Slowenien. Der nachträglich zusammengefasste Cluster 4 (grau) der osteuropäischen und der GUS-Länder wurde insgesamt verkürzt und nur von 1991-1999 betrachtet.

Tabelle 16 gibt einen Überblick über die ersetzten fehlenden Werte.

Variable		absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit
CO ₂ -Emissionen	vorhandene Werte	2293	94,71%
	geschätzte Werte	128	5,29%
Bevölkerung	vorhandene Werte	2421	100,00%
	geschätzte Werte	0	0,00%
BIP	vorhandene Werte	2372	97,98%
	geschätzte Werte	49	2,02%
Primärenergieverbrauch	vorhandene Werte	2408	99,46%
	geschätzte Werte	13	0,54%

Tabelle 16: Überblick über die ersetzten fehlenden Werte für die Bildung des Clusterdatensatzes

Die Bevölkerungszeitreihen waren komplett vorhanden, es mussten keine fehlenden Werte ersetzt werden. Für den Primärenergieverbrauch wurden im gesamten Datensatz lediglich 13 fehlende Werte (das entspricht 0,54%) ersetzt, für das BIP waren es 49 (das entspricht 2,02%). Die Zeitreihen der CO₂-Emissionen lagen im Originaldatensatz nur bis 1998 vor, deshalb wurden für alle Länder die Werte für 1999 geschätzt, was den relativ hohen Anteil der geschätzten Werte von 128 (entspricht 5,29%) erklärt und relativiert.

Nachdem für die einzelnen energiewirtschaftlichen Ländertypen die vollständigen Summen über die Basiszeitreihen berechnet werden konnten, wurden anschließend die entsprechenden Verhältniszahlen pro Ländertyp berechnet. Für allgemeine Vergleichszwecke wurde noch eine „globale“ Summierung vorgenommen. Da der Cluster 4 jedoch nur über verkürzte Zeitreihen verfügen kann, wurde eine 5-Cluster-Welt (von 1975-1999) und eine 6-Cluster-Welt (von 1992-1999) zum Vergleich berechnet.

6.2 Die Lage der Ländertypen im Datenraum

Die Clusteranalyse wurde für einen 8-dimensionalen Datenraum vorgenommen. Da dieser Datenraum nur sehr schwer vorstellbar ist, wird er nachfolgend schrittweise durch 4 zweidimensionale Betrachtungen näher erläutert. Durch die vereinfachte Darstellung von lediglich zwei statt 8 Dimensionen kann mitunter der Eindruck entstehen, dass die Gruppierung nicht optimal sei, sie ist es ja auch nur näherungsweise für alle 8 Dimensionen zusammen.

Da die Berechnung der Clusterwerte über die Summierung der Basisvariablen erfolgte, prägen geopolitisch große Länder die Lage der Cluster im Datenraum viel stärker als kleine. Bei der nachfolgenden Betrachtung muss darüber hinaus bedacht werden, dass besonders im Cluster 5

(rot) einige Länder auf grund der stark verkürzten Zeitreihen nicht in der Summierung berücksichtigt werden konnten und dadurch die Prägung dieses Clusters durch seine „großen“ Länder Australien, Kanada und die USA noch unterstützt wird.

6.2.1 Die Lage der Ländertypen hinsichtlich der CO₂-Emissionen pro Kopf

Betrachtet man die Lage der energiewirtschaftlichen Ländertypen hinsichtlich Niveau und Wachstumsrate der CO₂-Emissionen pro Kopf ist eine sehr klare Trennung der Cluster 1, 2, 4 und 5 zu beobachten, lediglich zwischen Cluster 2 und 6 gibt es einige wenige Überschneidungen (siehe Abbildung 16). Deutlich sichtbar ist der Unterschied der beiden „reichen“ Ländertypen 5 und 6, mit doppelt so hohen CO₂-Emissionen pro Kopf für den Cluster 5. Cluster 1 zeichnet sich durch ein niedriges Niveau wirtschaftlicher Aktivität und eine geringe Wachstumsdynamik aus. Der Vergleich mit weiteren Quellen macht deutlich, dass zudem große Bevölkerungsgruppen in Armut leben. Dieser Situation der Wachstumsschwächen oder auch der „Armutsfalle“ scheinen die Länder aus den Clustern 2 und 3 sukzessive entkommen zu sein. Die manuelle Vereinigung des Clusters 4 aus ehemals 3 einzelnen Gruppen wird durch den relativ großen Datenraum dieses Clusters sichtbar. Klar abgeschlagen, die 2 „Ausreißer“ Tadschikistan und Georgien sowohl in Abbildung 16 als auch in Tabelle 17, auf die schon vermehrt eingegangen wurde.

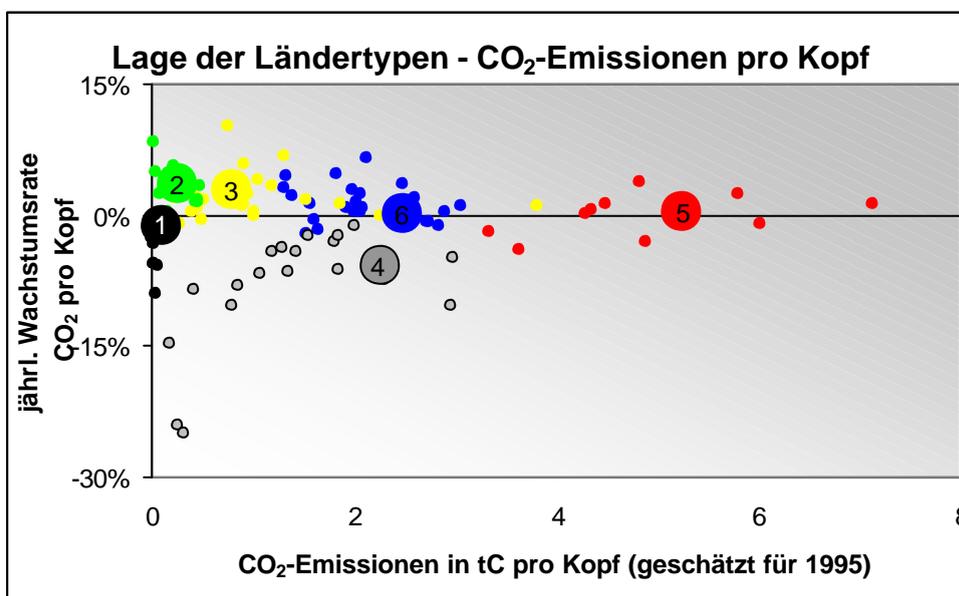


Abbildung 16: Die Lage der energiewirtschaftlichen Ländertypen hinsichtlich der CO₂-Emissionen

Die Länder, die in bezug auf die pro Kopf Emissionen am weitesten vom Clustermittelpunkt entfernt sind, sind in Tabelle noch einmal aufgelistet.

Cluster	Länder die relativ weit von Clustermittelpunkt entfernt sind			
	CO ₂ -Emissionen pro Kopf (1995 geschätzt)		jährliche Wachstumsrate der CO ₂ -Emissionen pro Kopf	
	Länder	rel. Abstand zum Clustermittelpunkt	Länder	rel. Abstand zum Clustermittelpunkt
Cluster 1	Nigeria Nicaragua Namibia	2,5 fach 1,8 fach 0,02 fach	Kamerun Mozambique Nicaragua	7,2 fach 4,5 fach 0,2 fach
Cluster 2	Dom.Republik Panama Nepal	1,8 fach 1,7 fach 0,01 fach	Nepal Angola Armenien	2,3 fach 0,1 fach negativ
Cluster 3	Saudi Arabien Yemen	4,7 fach 0,3 fach	Thailand Peru	3,5 fach negativ
Cluster 4	Kasachstan Russland Albanien	1,3 fach 1,3 fach 0,07 fach	Tadschikistan Georgien Slowenien	4,4 fach 4,2 fach 0,2 fach
Cluster 5	Ver.Arab.Emirate Polen	1,7 fach 0,5 fach	Singapur Estland	10,5 fach negativ
Cluster 6	Malta	0,5 fach	Südkorea Israel Schweden	38 fach 21 fach negativ

Tabelle 17: Abstände einzelner Länder zum Clustermittelpunkt hinsichtlich der CO₂-Emissionen

Auf die vorsichtige Interpretation der relativen Abstände sei an dieser Stelle noch einmal hingewiesen. Sie sollen lediglich ein Indiz für die Dimension geben. Hinter der 38 fachen Wachstumsrate der CO₂-Emissionen von Korea bezüglich des Mittelpunktes des Clusters 6 steckt eine durchschnittliche jährliche koreanische Wachstumsrate der CO₂-Emissionen von 6,51 % gegenüber einer mittleren jährlichen Wachstumsrate der Emissionen des gesamten Clusters 6 von 0,17%. Da Tabelle 17 jedoch lediglich eine Ergänzung zu Abbildung 16 sein soll, wurde auf die Listung der absoluten Werte verzichtet.

Insgesamt grenzen sich alle Cluster hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens relativ klar voneinander ab, lediglich Cluster 3 überschneidet sich ansatzweise mit Cluster 6.

6.2.2 Die Lage der Ländertypen hinsichtlich des Bruttoinlandsproduktes pro Kopf

Abbildung 17 zeigt eine relativ klare Abgrenzung der Cluster 1, 2, 3, 4 und 6 hinsichtlich des Niveaus und des Wachstums des BIP pro Kopf. Lediglich der Cluster 5 beinhaltet Länder mit stark unterschiedlichen BIP-Pro-Kopf-Werten. Kein anderer Cluster hat eine ähnlich große Spannbreite. Der hohe Clustermittelwert wurde von den drei dominierenden Ländern Australien, Kanada und USA geprägt, besonders auffällig sind die Länder Estland, Polen und Trinidad, die hinsichtlich ihres BIP Verhaltens eher zu Cluster 3 passen würden. Deutlich

sichtbar sind die Entwicklungsstufen der Cluster 1, 2 und 3 durch die Wachstumsraten des BIP.

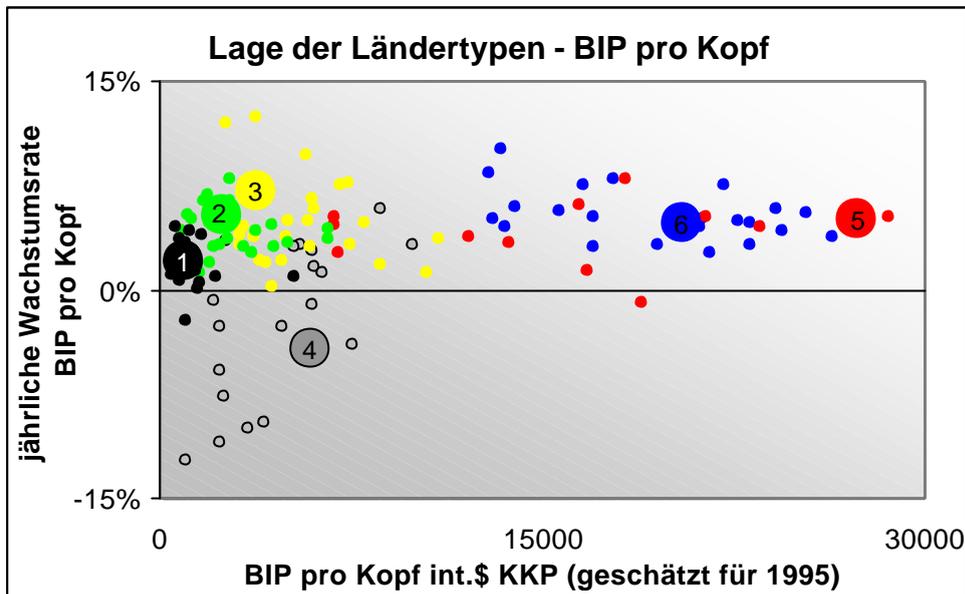


Abbildung 17: Die Lage der energiewirtschaftlichen Ländertypen hinsichtlich des BIP

Cluster	Länder die relativ weit von Clustermittelpunkt entfernt sind			
	BIP pro Kopf (1995 geschätzt)		jährliche Wachstumsrate der BIP pro Kopf	
	Länder	rel. Abstand zum Clustermittelpunkt	Länder	rel. Abstand zum Clustermittelpunkt
Cluster 1	Namibia Nicaragua Tansania	5,7 fach 2,5 fach 0,5 fach	Ghana, Sudan Zaire	2 fach negativ
Cluster 2	Brasilien, Costa Rica Kongo	2,7 fach 0,4 fach	Indonesien Elfenbeinküste	1,5 fach 0,2 fach
Cluster 3	Argentinien, Saudi Arabien Jemen	2,8 fach 0,2 fach	China, Libanon Mazedonien	1,7 fach 0,04 fach
Cluster 4	Ungarn Slowakei Tadschikistan	1,7 fach 1,5 fach 0,2 fach	Georgien Tadschikistan Slowakei	2,6 fach 2,8 fach positiv
Cluster 5	Estland Polen Trinidad	0,25 fach	Luxemburg Vereinigte arab. Emirate	1,75 fach negativ
Cluster 6	Malta	0,6 fach	Südkorea Hong Kong Deutschland	2,1 fach 1,6 fach 0,5 fach

Tabelle 18: Abstände einzelner Länder zum Clustermittelpunkt hinsichtlich des BIP Verhaltens

In Cluster 4 sind Länder mit stark unterschiedlichen BIP-Wachstumsraten zusammengefasst, doch wie in Abschnitt 5.2 bereits erwähnt, sind diese errechneten Werte gerade für diesen Cluster nur mit großer Vorsicht zu interpretieren.

Die Länder, die relativ weit vom Clustermittelpunkt hinsichtlich der BIP-Variablen entfernt sind, wurden in Tabelle 18 noch einmal aufgelistet.

Die Angaben zum relativen Abstand einzelner Länder bezüglich ihres jeweiligen Clustermittelpunktes sollten nur in Verbindung mit Abbildung 17 interpretiert werden. Relativ große Abstände lassen sich auf einem niedrigen Niveau natürlich viel eher erreichen als auf einem hohen Niveau.

Insgesamt kann gesagt werden, dass sich die Cluster 1 bis 4 hinsichtlich ihrer BIP-Position klar voneinander abheben, die Cluster 5 und 6 jedoch nicht.

6.2.3 Die Lage der Ländertypen hinsichtlich der Energieintensität

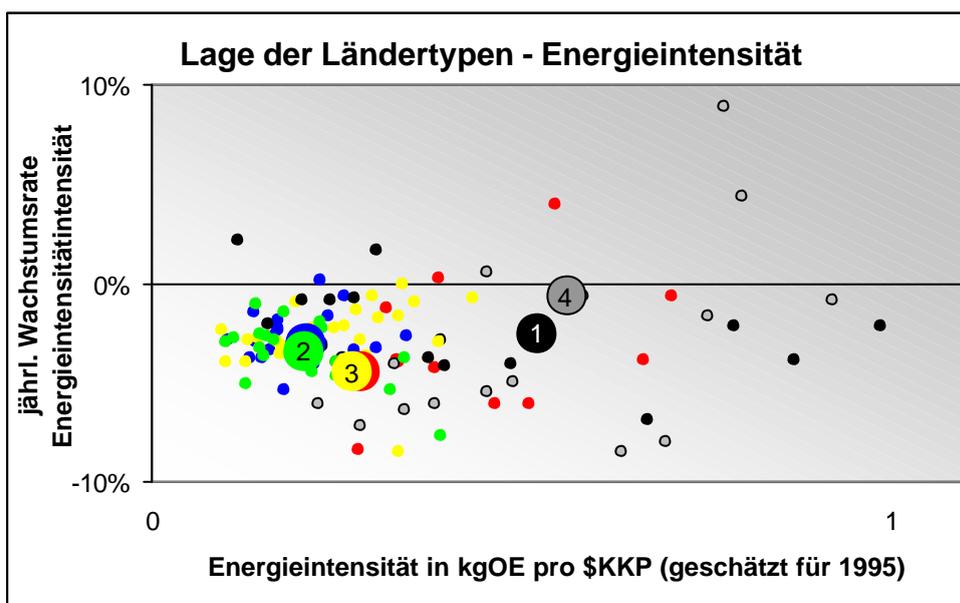


Abbildung 18: Die Lage der energiewirtschaftlichen Ländertypen hinsichtlich der Energieintensität

Hinsichtlich der Energieintensität trennen sich die Länder der einzelnen Cluster keineswegs. Auch die Clustermittelpunkte sind lediglich von Cluster 1 und 4 räumlich von den anderen getrennt, was durch die wirtschaftliche Situation dieser Ländergruppen, die den Nenner dieser Verhältniszahl bildet, zu erklären ist. Die Cluster 6 und 2 haben nahezu die gleiche Energieintensität und eine geringfügig kleinere als die Cluster 3 und 5, die ebenfalls fast deckungsgleich hinsichtlich dieses Parameters sind.

Cluster	Länder die relativ weit vom Clustermittelpunkt entfernt sind			
	Energieintensität (1995 geschätzt)		jährliche Wachstumsrate der - Energieintensität	
	Länder	rel. Abstand zum Clustermittelpunkt	Länder	rel. Abstand zum Clustermittelpunkt
Cluster 1	Tansania Nigeria Namibia	1,8 fach 1,7 fach 0,2 fach	Mozambique Namibia, Zaïre	2,7 fach gegensätzlich
Cluster 2	Kongo Zimbabwe Bangladesh	1,9 fach 1,6 fach 0,5 fach	Armenien Kongo Philippinen,Paraguay	3,1 fach 2,2 fach 0,35 fach
Cluster 3	Saudi Arabien Venezuela Uruguay,Morokko	1,6 fach 1,4 fach 0,3 fach	China Mazedonien	1,9 fach 0,5 fach
Cluster 4	Usbekistan Georgien Albanien	1,6 fach 0,4 fach 0,2 fach	Albanien,Georgien Turkmenistan, Ukraine	18 fach gegensätzlich
Cluster 5	Trinidad	2,5 fach	Luxemburg Ver.Arab.Emirate	1,9 fach gegensätzlich
Cluster 6	Island Hongkong	1,6 fach 0,5 fach	Irland Slowenien	1,8 fach gegensätzlich

Tabelle 19: Abstände einzelner Länder zum Clustermittelpunkt hinsichtlich der Energieintensität

Allen Clustern kann eine Entwicklung zur verbesserten Energieintensität nachgewiesen werden. Länder mit einem sich verschlechternden Verhältnis von Primärenergieverbrauch zu BIP bilden die Ausnahme und sind in Tabelle 19 größtenteils benannt.

6.2.4 Die Lage der Ländertypen hinsichtlich der Kohlenstoffintensität

Betrachtet man die Länder der einzelnen Cluster im Datenraum der Variablen der Kohlenstoffintensität, wird deutlich, dass sich nur die der Cluster 1, 2, 4 und 6 relativ klar voneinander trennen. Die Länder der Cluster 3 und 5 sind relativ vermischt hinsichtlich ihrer Kohlenstoffintensität. Die relativ klare Trennung der Clustermittelpunkte ist natürlich vor allem auf die dominanten Länder des Clusters 5 zurückzuführen.

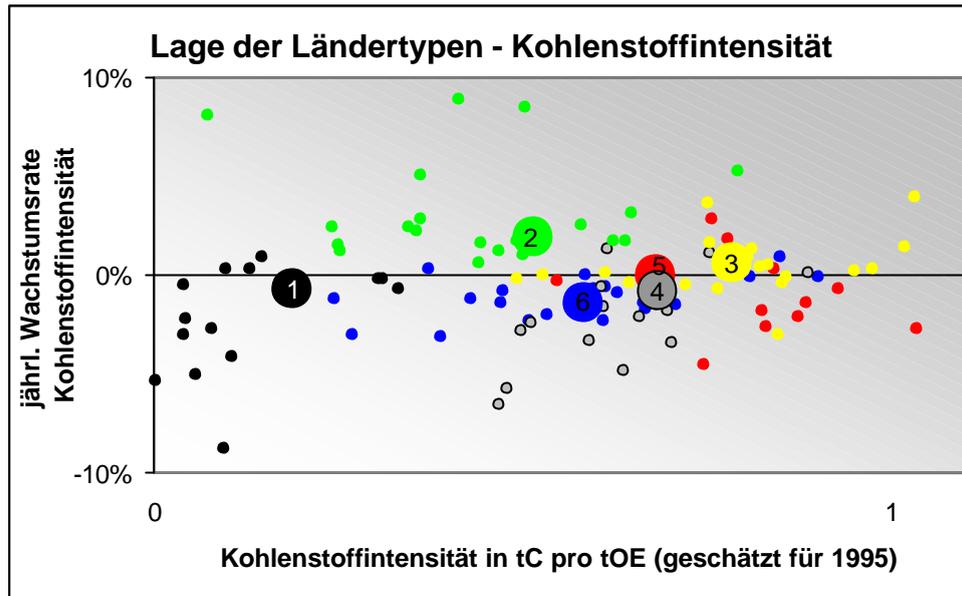


Abbildung 19: Die Lage der energiewirtschaftlichen Ländertypen hinsichtlich der Kohlenstoffintensität

Interessant ist bei der Differenzierung der Cluster hinsichtlich der Kohlenstoffintensität, dass die Cluster 1, 2 und 3 räumlich viel weiter auseinander liegen, als die Cluster 4, 5 und 6, was im klaren Gegensatz zum Pro-Kopf-Emissions- und Pro-Kopf-BIP-Verhalten steht.

Cluster	Länder die relativ weit vom Clustermittelpunkt entfernt sind			
	Kohlenstoffintensität (1995 geschätzt)		jährliche Wachstumsrate der - Kohlenstoffintensität	
	Länder	rel. Abstand zum Clustermittelpunkt	Länder	rel. Abstand zum Clustermittelpunkt
Cluster 1	Senegal, Nigeria Nicaragua Namibia	1,7 fach 1,6 fach 0,02 fach	Kamerun Namibia Haiti	12 fach 7,4 fach gegensätzlich
Cluster 2	Elfenbeinküste Nepal	1,5 fach 0,1 fach	Armenien Kongo Philippinen, Angola	4,7 fach 4,4 fach 0,6 fach
Cluster 3	Jemen Uruguay	1,3 fach 0,6 fach	Jemen Libanon	6,0 fach gegensätzlich
Cluster 4	Kasachstan Tadschikistan, Albanien	1,3 fach 0,7 fach	Tadschikistan Azerbajjan, Kirgisistan	7,8 fach gegensätzlich
Cluster 5	Estland Polen	1,5 fach 1,4 fach	Brunei Kuwait	114 fach gegensätzlich
Cluster 6	Griechenland Island	1,5 fach 0,4 fach	Schweden, Frankreich Israel	2,2 fach gegensätzlich

Tabelle 20: Abstände einzelner Länder zum Clustermittelpunkt hinsichtlich der Kohlenstoffintensität

Die Bezeichnung „gegensätzlich“ in Tabelle 20 für einzelne Länder ist so zu verstehen, dass z.B. in Cluster 6, der eine negative „Wachstumsrate“ hinsichtlich der Kohlenstoffintensität

hat, einzelne Länder durchaus einen Anstieg der Kohlenstoffintensität haben und umgekehrt Länder mit negativem Wachstum in einem Cluster sind, der insgesamt ein Anstieg der Kohlenstoffintensität besitzt, was aus klimapolitischer Sicht natürlich nicht als positiv bewertet werden kann.

Die geringere Kohlenstoffintensität der Cluster 1 und 2 im Vergleich zu den anderen Clustern hat seine Ursache im relativ hohen Anteil an traditioneller Biomasse (Holz, Kuhdung etc) im Energiemix dieser Länder. Einerseits basieren die Angaben zum Primärenergieverbrauch dieser Kategorie auf ersten sehr groben Schätzungen, bei denen selbst die IEA zur Vorsicht mahnt (IEA, 2001), andererseits wird das durch die Verbrennung entstehende CO₂ per Definition nicht beim anthropogenen Treibhauseffekt aus der Verbrennung fossiler Energieträger berücksichtigt. Gerade in Cluster 1 und 2 kann jedoch entwicklungsbedingt nicht von einer nachhaltigen Land- und Waldnutzung ausgegangen werden, so dass ein nicht unerheblicher Teil der in Abschnitt 2.1.2 beschriebenen CO₂-Emissionen durch Landnutzungsänderungen die „CO₂-Bilanz“ dieser Ländergruppe relativieren würde.

Die detaillierte Betrachtung der Lage der Cluster und der zugeordneten Länder zeigte, dass sich die einzelnen Cluster in bezug auf die meisten sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen relativ klar voneinander abgrenzen. Einige Länder wurden innerhalb der 4 mal 2 dimensional Betrachtung vermehrt am Rand des jeweiligen Clusters beobachtet. Das sind im wesentlichen:

- Cluster 1: Kamerun, Mozambique, Nicaragua und Nepal
- Cluster 2: Armenien, Kongo, Nepal
- Cluster 3: Peru, Saudi Arabien, Jemen
- Cluster 4: Georgien, Tadschikistan
- Cluster 5: Brunei, Estland, Polen, Vereinigte Arabische Emirate
- Cluster 6: Island, Israel, Südkorea, Malta, Schweden

6.3 Charakterisierung der energiewirtschaftlichen Ländertypen

Die energiewirtschaftlichen Ländertypen sollen im nächsten Schritt anhand der in Abschnitt 4.1 vorgestellten Basisdaten beschrieben werden.

In Abbildung 20 bilden die 6 Cluster dabei die „6-Cluster-Welt“, die natürlich nicht alle Länder der Erde umfasst. Wie auf Seite 38 beschrieben (siehe auch Anhang II, S. Anhang / 2), konnten 134 teilautonome Gebiete und Länder wegen mangelnder Daten vor allem hinsichtlich der CO₂-Emissionen, des BIP und des Energieverbrauchs für die Mustererkennung nicht berücksichtigt werden. Anhand der relativ vollständigen Bevölkerungsdaten lässt sich jedoch sagen, dass die analysierten 121 Länder, die zusammen die „6-Cluster-Welt“ bilden, 92% der Weltbevölkerung repräsentieren. Unter der Annahme, dass die Länder mit mangelhaften Daten die gleichen mittleren Pro-Kopf-CO₂-Emissionen, das gleiche mittlere Pro-Kopf-BIP und den gleichen mittleren Pro-Kopf-Primärenergieverbrauch haben wie der Cluster 1, entfallen auf die „6-Cluster-Welt“ 97,4% des jährlichen weltweiten Primärenergie-Verbrauches. Damit erzeugt die „6-Cluster-Welt“ 98,8% des weltweiten BIP und stößt 99,4% der weltweiten CO₂-Emissionen aus.

Näherungsweise wird diese „6-Cluster-Welt“ nachfolgend als Repräsentant der gesamten Welt für die zusammenfassende Beschreibung der einzelnen Cluster angenommen.

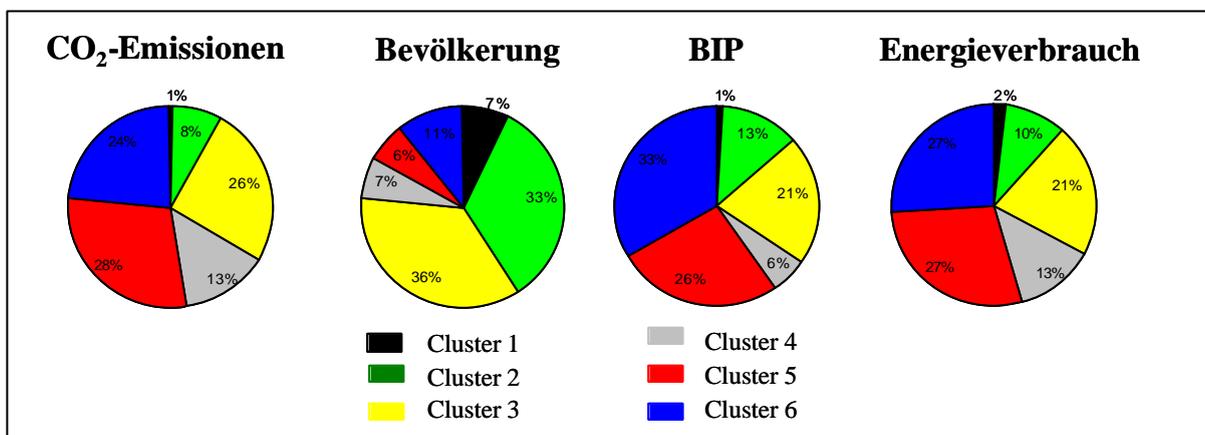


Abbildung 20: Anteile der Cluster an energiewirtschaftlichen Größen

Die in Abbildung 20 dargestellten Anteile sind die aus dem Clusterdatensatz (siehe Abschnitt 6.1) ermittelten Werte für 1995.

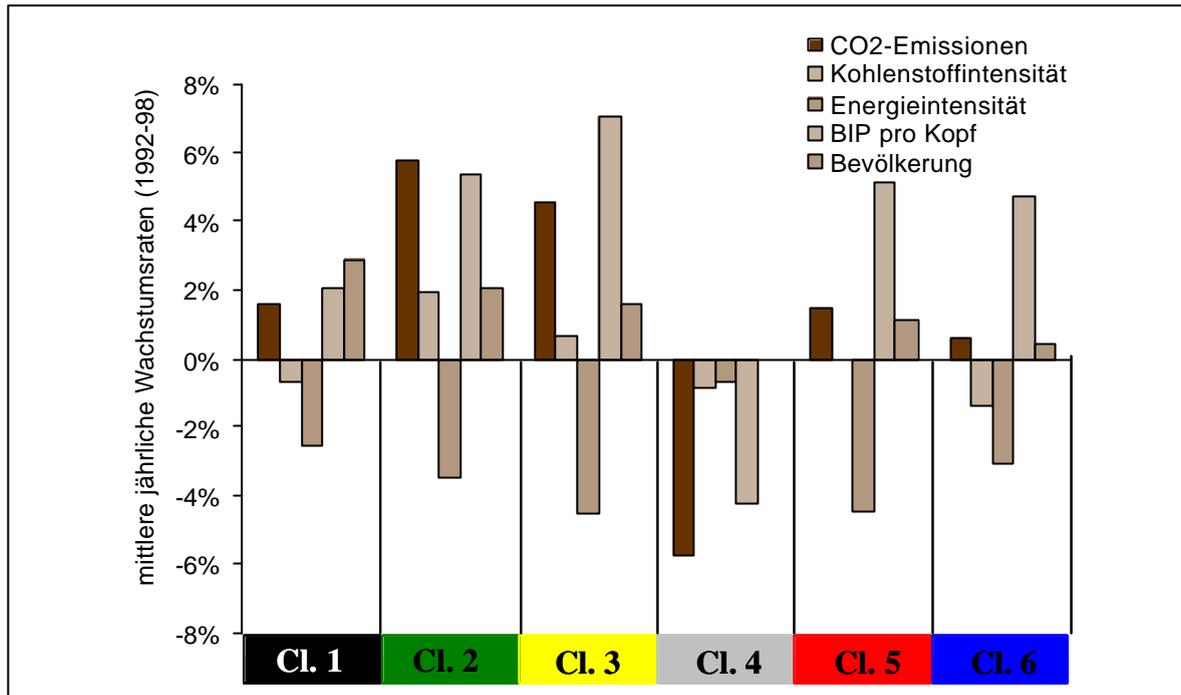
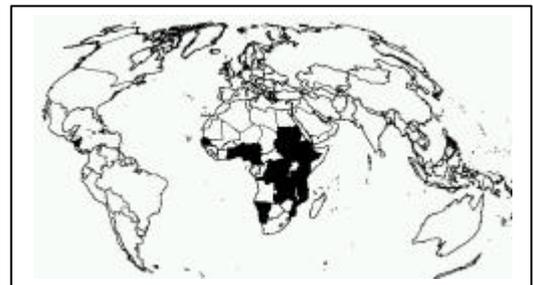


Abbildung 21: Die sozio-ökonomischen Determinanten der CO₂-Emissionen der energiewirtschaftlichen Ländertypen

Ausschlaggebend für eine stilisierte, vereinfachende Bezeichnung der Cluster sind die Klimawirkungen im Ländervergleich in pro Kopf-Emissionen ausgedrückt (siehe Abbildung 16 Seite 74). Die einzelnen sozio-ökonomischen Determinanten kommen gegebenenfalls als beschreibende Parameter für die Namensgebung hinzu.

Cluster 1
ARME KLIMASCHÜTZER

In Cluster 1 entstanden im Referenzjahr für die Clusteranalyse (1995) CO₂-Emissionen von ca. 0,090t C pro Kopf, das ist ca. 1,72% dessen, was in Cluster 5



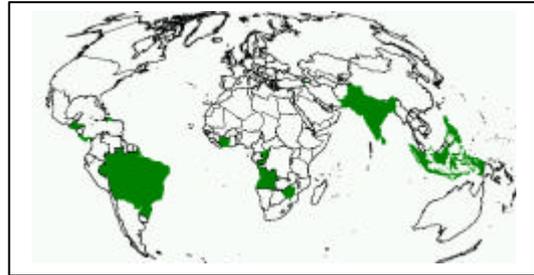
pro Kopf emittiert wurde. Kein anderer Cluster hat geringere Pro-Kopf-Emissionen, weshalb Cluster 1 den geringsten Beitrag zum anthropogenen Treibhauseffekt hat und deshalb als „Klimaschützer“ bezeichnet wurde. Diese geringen Emissionen resultieren jedoch aus der wirtschaftlichen Lage, nicht aus einer aktiven Klimaschutzpolitik. Cluster 1 beinhaltet die ärmsten Länder der Erde. Obwohl 7% der Gesamtbevölkerung in diesem Cluster leben, entsteht nur 1% des BIP und 1% der CO₂-Emissionen. Die wirtschaftlichen Zukunftsaussichten sind nicht vielversprechend. Der Cluster 1 hat das größte Bevölkerungswachstum im Vergleich zu den anderen Regionen und das geringste wirtschaftliche Wachstum (wenn man die diesbezügliche Sonderstellung von Cluster 4 außer

acht lässt), wobei erschwerend hinzu kommt, dass dieses moderate Wachstum ohnehin vom geringsten BIP-Niveau ausgeht. Die Wachstumsrate der Energieintensität ist ebenfalls nur im Cluster 4 noch geringer.

Cluster 2

ENERGIEHUNGRIGE KLEINEMITTENTEN

In Cluster 2 entstanden im Referenzjahr für die Clusteranalyse (1995) CO₂-Emissionen von ca. 0,262 t C pro Kopf. Das ist zwar schon knapp das



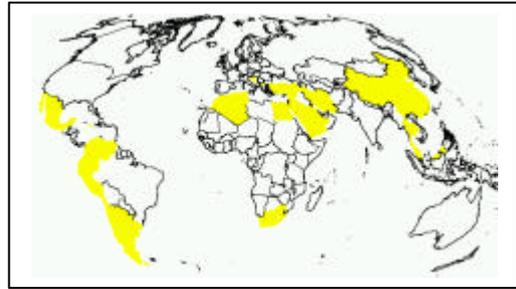
3-fache dessen, was pro Kopf in Cluster 1 emittiert wurde, aber immer noch ein Bruchteil dessen das, was in den anderen Clustern an CO₂-Emissionen entstand (ca. 5% der Emissionen pro Kopf und Jahr von Cluster 5).

Die Länder dieses Clusters sind im vergleichsweise noch immer relativ arm, auch wenn sie ein BIP pro Kopf und Jahr erzeugen, das ca. 2,5 mal so hoch ist wie das der *armen Klimaschützer*. 33% der Gesamtbevölkerung leben in diesem Cluster. Diese erzeugen 13% des gesamten BIP und verbrauchen dafür 10% der gesamten Energie. Diese Angabe zum Energieverbrauch ist jedoch mit Vorsicht zu betrachten. Nur noch Cluster 1 hat einen ähnlich hohen Anteil an traditioneller Biomasse am Gesamtenergieverbrauch wie Cluster 2 und diese Angaben zur Biomasse entstammen ja sehr groben ersten Schätzungen (laut IEA). Zukünftige Berechnungen werden diesbezüglich sicher zuverlässiger sein. Dieser relativ hohe Anteil an traditioneller Biomasse und auch anderer erneuerbarer Energieträger wie Wasserkraft am Gesamtenergiemix ist die Ursache des relativ günstigen Verhältnisses von Energieverbrauch zu CO₂-Emissionen des Clusters 2.

Betrachtet man die Entwicklung des Clusters 2, so unterscheidet sich diese grundlegend von der der *armen Klimaschützer*. Auch wenn die Länder dieses Clusters immer noch arm sind, also ein geringes Niveau von BIP haben, sind sie doch der Armutsfalle entkommen. Die Wachstumsraten belegen das deutlich, hinsichtlich des BIP pro Kopf, aber auch des Energieverbrauches und der CO₂-Emissionen. Der Preis ist der letzte Platz hinsichtlich der Kohlenstoffintensitätsentwicklung. In keiner anderen Gruppe verschlechtert sich dieses Verhältnis so schnell.

Cluster 3
AUFSTREBENDE KLEINEMITTENTEN

In Cluster 3 entstanden im Referenzjahr für die Clusteranalyse (1995) CO₂-Emissionen von ca. 0,803 t C pro Kopf. Auch wenn in Cluster 3 knapp 9 mal so viel CO₂ emittiert wurde wie in Cluster 1,

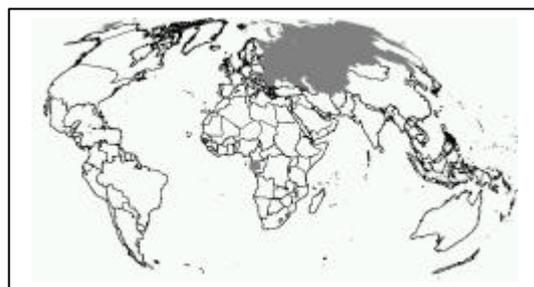


machen die Pro-Kopf-Emissionen des Clusters 3 nur 15,3% der des Clusters 5 aus, weshalb sie immer noch als Kleinemittenten bezeichnet werden.

Cluster 3 ist die bevölkerungsreichste Region, die 21% des gesamten BIP produziert und dafür einen ebenso großen Anteil an Primärenergie verbraucht. Wie auch bei den *energiehungrigen Kleinemittenten* verschlechtert sich das Verhältnis von Energieverbrauch zu CO₂-Emissionen im Zeitverlauf, wenn auch nicht mehr ganz so stark. Der Cluster 3 hatte im Beobachtungszeitraum die größte Dynamik, kein anderer Cluster ein größeres Wachstum sowohl in bezug auf das gesamte BIP als auch auf das BIP pro Kopf. Der Preis sind, wie bereits in Cluster 2, große Wachstumsraten hinsichtlich der gesamten CO₂-Emissionen als auch der relativen pro Kopf –Werte. Die Kohlenstoffintensität verschlechterte sich im Zeitverlauf, was dadurch begründet wird, dass fossile Brennstoffe zunehmend traditionelle Biomasse ersetzen und folglich deren Anteil am Gesamtenergiemix stark verringerte. Noch größere CO₂-Emissionen konnten im Cluster 3 nur durch das relativ günstige Verhältnis von Energieverbrauch zu BIP, ausgedrückt in der Energieintensität, verhindert werden.

Cluster 4
ABSTEIGENDE MITTELEMITTENTEN

In Cluster 4 entstanden im Referenzjahr für die Clusteranalyse (1995) CO₂-Emissionen in Höhe von 2,264 t C pro Kopf, ein deutlicher Unterschied zu den ersten 3 Clustern aber auch noch weit weg von Cluster 5 und der Grund, warum Cluster 4 als Mittelemittent bezeichnet wurde.



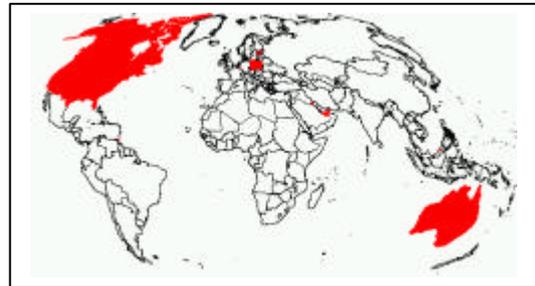
Insgesamt wird der wirtschaftliche Zusammenbruch, den diese Länder in den 90er Jahren erlebten, an allen hier betrachteten Merkmalen deutlich: Die Bevölkerung leicht zurückging, das war sonst in keinem anderen Cluster der Fall. Sowohl BIP als auch BIP pro Kopf sanken. Rückgang auch beim Primärenergieverbrauch und den CO₂-Emissionen. Das jedoch von einem relativ hohen Niveau aus. Der Energieverbrauch konnte jedoch nicht annähernd so schnell reduziert werden, wie die wirtschaftliche Leistung zurück ging. So belegt Cluster 4 den letzten Platz hinsichtlich der Dynamik der Energieintensität.

Im Cluster 4 wurden etliche „Ausreißer“ (siehe Abschnitt 5.5) zusammengefasst. Gerade für diese Ländergruppe ist eine gemeinsame Quantifizierung der sozio-ökonomischen Determinanten der CO₂-Emissionen besser als eine national-singuläre Betrachtung. Bestimmte unplausible Werte (wie z.B. negative Wachstumsraten, siehe Abschnitt 5.2), können so relativiert werden, ohne dass man sie explizit als Extremwert betrachten muss.

Cluster 5

ENERGIEINTENSIVE SPITZENEMITTENTEN

In Cluster 5 entstanden im Referenzjahr für die Clusteranalyse (1995) CO₂-Emissionen in Höhe von 5,245 t C pro Kopf, der absolute Spitzenwert



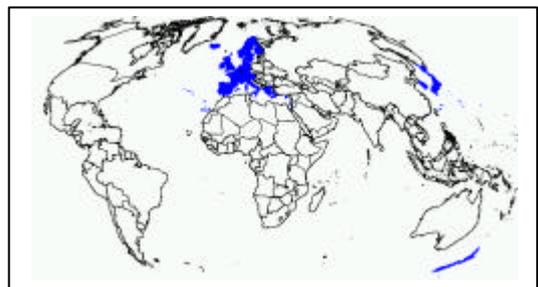
im Vergleich der energiewirtschaftlichen Ländertypen. Das ist 58,3 mal soviel wie in Cluster 1 emittiert wurde und immer noch mehr als das doppelte zu Cluster 6, der an 2.Stelle der Pro-Kopf-Emissionen steht, und ein relativ ähnliches Wohlstandsniveau hat.

In Cluster 5 sind die reichsten Länder, lediglich 6% der Gesamtbevölkerung produzieren 26% des BIP. Dieser Reichtum geht mit einem sehr hohen Energieverbrauch und in Folge dessen mit extrem hohen CO₂-Emissionen absolut und pro Kopf einher. Die wirtschaftliche Entwicklung hat sich im Beobachtungszeitraum glücklicherweise von der Entwicklung des Energieverbrauches abgekoppelt. So konnte das wirtschaftliche Wachstum durch die gesteigerte Energieintensität nahezu kompensiert werden. Die Kohlenstoffintensität blieb unverändert. Von einer positiven Entwicklung hinsichtlich der CO₂-Emissionen ist dieser Cluster jedoch weit entfernt. Die Wachstumsraten der Emissionen sind sowohl absolut als auch pro Kopf mehr als doppelt so hoch wie in Cluster 6.

Cluster 6

ENTKARBONISIERENDE MITTELEMITTENTEN

In Cluster 6 entstanden im Referenzjahr für die Clusteranalyse (1995) CO₂-Emissionen in Höhe von 2,481 t C pro Kopf, deutlich weniger als



Cluster 5 aber auch ein Vielfaches von den Emissionen der Cluster 1 bis 3 und der Grund warum Cluster 6 als Mittelemittent bezeichnet wurde.

In Cluster 6 befindet sich die zweite Gruppe der Reichen. 11% der Bevölkerung aller Cluster erwirtschaften 33% des Bruttoinlandsproduktes, verbrauchen 27% der gesamten

Primärenergie und sind für 24% der CO₂-Emissionen aller in der Analyse berücksichtigten 121 Länder verantwortlich. Auch wenn die wirtschaftliche Entwicklung nicht ganz so dynamisch ist wie im Cluster 5, wird dieser Wohlstand durch weit weniger verbrauchter Energie erreicht. In keiner anderen Region hat sich die Kohlenstoffintensität ähnlich günstig entwickelt. Dieses günstigere Verhältnis von CO₂-Emissionen zu Primärenergieverbrauch im Cluster 6 ist im Beobachtungszeitraum jedoch durch den Ausbau der Kernenergie und nicht durch den spürbaren Anstieg der Nutzung erneuerbarer Energien entstanden.

6.4 Kapitelzusammenfassung

Durch die verschiedenen statistischen Verfahren der Informationsverdichtung sind energiewirtschaftliche Ländertypen entstanden, die sich anhand der sozio-ökonomischen Determinanten hinreichend voneinander abgrenzen. Obwohl einige unplausible oder fehlerhafte Daten im Analysedatensatz belassen wurden, konnte eine plausible, gut zu interpretierende Gruppierung der Länder erreicht werden. Länder, die sich hinsichtlich einzelner sozio-ökonomischer Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen eher an den Rändern einzelner Cluster befanden, wurden identifiziert.

Anhand der aus sozio-ökonomischer Sicht wichtigen charakteristischen Merkmale wurden die einzelnen energiewirtschaftlichen Ländertypen beschrieben.

Diese Art der Gruppierung, die die sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen bereits bei der Gruppierung berücksichtigt, ist eine Alternative zur klassischen geo- und/oder wirtschaftspolitischen Regionalisierung und bildet eine Grundlage für die Regionalisierung und von Simulationsmodellen zum sozio-ökonomischen Beziehungsgeflecht innerhalb des anthropogenen Treibhauseffektes.

7. DEKOMPOSITION - EINE ANALYSEMÖGLICHKEIT VON IDENTITÄTS- GLEICHUNGEN

Nachdem die bisherige Arbeit eine sinnvolle Klassifizierung anhand der unterschiedlichen Muster des Einflusses der sozio-ökonomischen Determinanten auf die anthropogenen CO₂-Emissionen ergab, beschäftigt sich dieses Kapitel mit der Frage wie stark dieser Einfluss der Determinanten im einzelnen ist. Gibt es Unterschiede zwischen den einzelnen energiewirtschaftlichen Ländertypen hinsichtlich der Stärke des Einflusses der einzelnen Determinanten? Hat sich dieser Einfluss der Determinanten im Zeitverlauf verändert?

Diese Fragen sollen mit Hilfe der sogenannten Dekompositionsanalyse beantwortet werden. In Abschnitt 7.1 werden zunächst die mathematischen Grundlagen erläutert. In Abschnitt 7.2 wird diese Analyse zur weiteren Beschreibung der energiewirtschaftlichen Regionen benutzt, wobei zuerst eine globale und dann eine regionale vorgenommen wird.

7.1 Mathematische Grundlagen

Wie in Abschnitt 3.3 bereits erläutert, sind die sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen durch eine Identitätsgleichung miteinander verknüpft.

In Kapitel 5 wurde gezeigt, wie man auf der Grundlage dieser Determinanten durch eine schrittweise Informationsverdichtung Muster unterschiedlicher Entwicklungsstadien und -verläufe sichtbar machen kann und wie man auf deren Grundlage zu einer regionalen Einteilung der Länder kommt.

Eine weitere Möglichkeit der Analyse von Identitäten besteht in der Quantifizierung der einzelnen Determinanten an der zu untersuchenden Größe. Da es sich bei Identitäten um vollständig erklärte Modelle handelt, können mit Hilfe statistischer Verfahren keine Parameter zur relativen Bedeutung der einzelnen bestimmenden Variablen geschätzt werden und auch mittels Differenzierung keine Aussagen hinsichtlich der Dynamik gemacht werden.

Die Verfahren zur Untersuchung der Einflüsse der erklärenden Variablen, die durch vollständig erklärte Modelle miteinander verknüpft sind, werden Dekompositionsverfahren oder im englischen Sprachgebrauch insgesamt *Decomposition Analysis* genannt.

Diese Veränderungen der einzelnen Variablen können prinzipiell entweder absolut (mengenmäßige Veränderungen) oder relativ (Wachstumsraten) untersucht werden. Auch ist

zu unterscheiden, ob die einzelnen Variablen des Prozesses als stetig oder diskret in der Zeit betrachtet werden können²⁷.

Die Variablen die zur Quantifizierung der sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen herangezogen werden, sind Variablen über diskreter Zeit, d.h. über Zeitintervalle gemessene Werte. Dadurch entstehen diskrete Zeitreihen.

Die mathematische Analyse des diskreten Prozesses ist in jedem Fall möglich, die eines stetigen jedoch auch. In der Literatur werden beide Wege verfolgt, wobei die Anwendung diskreter Analysemöglichkeiten überwiegt (Ang und Zhang 2000) und auch nachfolgend beschrieben und angewandt wird.

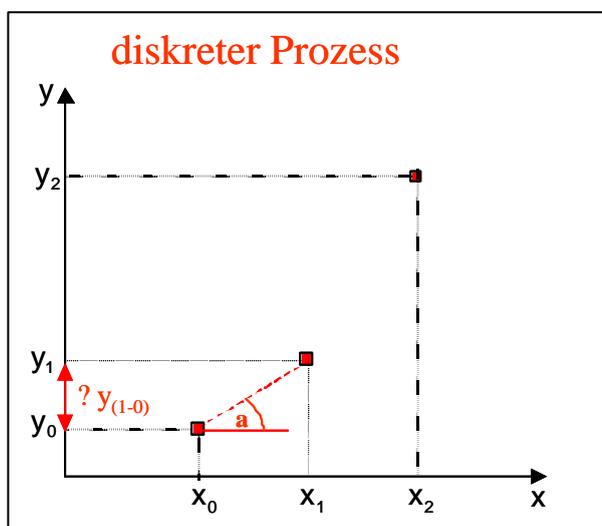


Abbildung 22: Graphische Darstellung diskreter und stetiger Prozesse

Bei diskreten Prozessen sind einzelne Messpunkte bekannt, absolute Änderungen werden durch Differenzbildung bestimmt, relative Änderungen durch den Anstieg der die Messpunkte verbindenden Geraden (in Abbildung 23 der Winkel $\tan(a)$) aus dem sich die Wachstumsrate berechnen lässt (unter der Annahme von exponentiellem Wachstum wird die Rate

entsprechend Gleichung 5.2 berechnet ($g_Y^* = e^{g_Y} - 1 = e^{\left(\frac{\ln y_1 - \ln y_0}{x_1 - x_0}\right)} - 1$)). In dieser Arbeit sollen

Aussagen zum Einfluss der Kohlenstoffintensität $\left(\frac{CO_2em}{PE}\right)$, der Energieintensität $\left(\frac{PE}{BIP}\right)$,

des Wohlstandes gemessen in BIP pro Kopf $\left(\frac{BIP}{POP}\right)$ und der Bevölkerung auf die CO₂-

Emissionen und deren Veränderungen gemacht werden.

²⁷ Diskrete (diskontinuierlich) Variablen können nur endlich oder abzählbar unendlich viele Werte annehmen. Sie ergeben sich häufig durch Zählvorgänge, wie z.B. die Wohnbevölkerung eines Landes. Stetige (kontinuierliche) Variablen können in jedem beliebig kleinen Intervall überabzählbar unendlich viele Werte annehmen und ergeben sich in der Regel durch Messvorgänge z.B. gemessene Schadstoffkonzentrationen in der Luft. Man spricht von quasi-stetigen Variablen, wenn diskrete Variablen in einem gegebenen Intervall eine sehr große Anzahl von Ausprägungen annehmen können wie z.B. das jährliche BIP eines Landes. (Rönz und Strohe, 1994).

Die nachfolgende Analyse zum Einfluss der einzelnen sozio-ökonomischen Determinanten auf die Veränderungen der CO₂-Emissionen beruht auf einer diskreten Betrachtung. Das erleichtert die Zerlegung in Jahresschritte und ist auch für die Interpretation einzelner Cluster, die sich in energiewirtschaftlich schwierigen Situationen befinden, besser.

Die diskrete *Dekomposition Analysis* basiert im wesentlichen auf der Indexzahlenanalyse. Im Laufe der Entwicklung entstand eine Vielzahl von Verfahren mit jeweils spezifischen Vor- und Nachteilen.

Fisher (1972) entwickelte eine Reihe von Tests, um Eigenschaften von Indexzahlen zu bewerten (den *time reversal test*, $(D_{0,T}=1/D_{T,0})$, den *factor reversal test* (die zerlegten Elemente ergeben wieder das Aggregat) und den *circlar test* $(D_{0,T}=D_{0,A} \cdot D_{A,T})$). De Bruyn (2000) verglich die verschiedenen Verfahren zur Dekompositionsanalyse und wies nach, dass bei diskreter Betrachtung nur die *refined Laspeyres index method* alle vorgestellten Tests besteht²⁸, und mit der Maßgabe der kompletten Zerlegbarkeit als „robust“ zu bezeichnen ist. Deshalb konzentriert sich diese Arbeit auf die Anwendung dieser Methode. Beispiele für frühere Anwendungen sind z.B. Hankinson und Rhys (1983); Reitler und Rudolph (1987); Howarth et al. (1991); Schipper et al. (1997). Eine Erweiterung der Methode wird in Sun (1998) vorgestellt und in Sun und Ang (2000) näher erläutert und soll nachfolgend beschrieben werden.

Dabei wird das Prinzip der Dekompositionsanalyse zuerst prinzipiell an Hand einfacher Identitätsgleichungen beschrieben (Abschnitt 7.1.1), bevor in Abschnitt 7.1.2 auf die eigentliche *refined Laspeyres index method* eingegangen wird.

7.1.1 Dekomposition einfacher Identitätsgleichungen

Die zeitliche Veränderung der Identitätsgleichung wird durch die Differenz der Werte zu einem Anfangszeitpunkt t_0 und einem Endzeitpunkt t_1 dargestellt. Die Gleichungen 7.1 bis 7.3 zeigen, wie sich für die einfachste Form einer Identitätsgleichung die absoluten Veränderungen vom Zeitpunkt t_1 gegenüber dem Zeitpunkt t_0 errechnen lassen.

$$A = \frac{A}{B} \cdot B = C \cdot B$$

$$\Delta A = A_{t_1} - A_{t_0} = C_{t_1} \cdot B_{t_1} - C_{t_0} \cdot B_{t_0} \quad (7.1)$$

$$\Delta A = (C_{t_1} - C_{t_0}) \cdot B_{t_0} + (B_{t_1} - B_{t_0}) \cdot C_{t_0} + (C_{t_1} - C_{t_0}) \cdot (B_{t_1} - B_{t_0}) \quad (7.2)$$

²⁸ Die *Paasche index method* und die *Marshall-Edgeworth method* bestehen diese Indexzahlen-Tests jedoch nicht (De Bruyn, 2000). Nachfolgend wird auf die Beschreibung dieser Verfahren deshalb verzichtet.

$$\Delta A = \Delta C \cdot B_{t_0} + \Delta B \cdot C_{t_0} + \Delta C \cdot \Delta B \quad (7.3)$$

Die detaillierte Herleitung ist im Anhang IV (S. Anhang / 9) wiedergegeben. In Gleichung 7.3. stellt der Term $\Delta C \cdot B_{t_0}$ die Veränderung der Variable C gewichtet mit dem Wert der Variable B zum Basiszeitraum dar und wird als direkter Effekt der Variable C auf die Variable A verstanden. Dem entsprechend wird der Term $\Delta B \cdot C_{t_0}$ als direkter Effekt der Variable B auf die Variable A verstanden. Auf grund der Gewichtung der Veränderung einer Variable mit dem Basiswert der anderen Variable wird diese Zerlegung *Laspeyres index method* genannt.

Der verbleibende Term $\Delta C \cdot \Delta B$ wird dann als Residualterm bezeichnet. Frühe Studien ließen diesen Residualterm teilweise unberücksichtigt (Hankinson und Rhys, 1983; Reitler und Rudolph, 1987; Howarth et al., 1991) oder, da die Variablen B und C in der Regel nicht voneinander unabhängig sind, interpretierten ihn als Interaktionen der Variablen C und B (z.B. Park, 1992). Wird der Residualterm vernachlässigt, können die Veränderungen von A nicht vollständig erklärt werden. Wird der Residualterm als Interaktion interpretiert, lässt er „a new puzzle for the reader“ (Sun und Ang, 2000). Ang und Lee (1994) behaupten, dass ein im Vergleich zu den berechneten direkten Effekten relativ großer Residualterm ein Zeichen dafür sei, dass die ausgewählten Verhältniszahlen ungeeignet sind, den Prozess zu beschreiben.

Diesem Argument folgend hat sich in der neueren Literatur durchgesetzt, den Residualterm mit dem Argument „gemeinsam entstanden, gemeinsam verteilt“ den einzelnen Effekten anteilig zuzurechnen (Sun, 1998; Sun und Ang, 2000) so dass Beziehung 7.6 gilt.

$$C_{effekt} = B_{t_0} \cdot \Delta C + \frac{1}{2} \cdot \Delta C \cdot \Delta B \quad (7.4)$$

$$B_{effekt} = C_{t_0} \cdot \Delta B + \frac{1}{2} \cdot \Delta C \cdot \Delta B \quad (7.5)$$

und

$$\Delta A = C_{effekt} + B_{effekt} \quad (7.6)$$

Eine fast beliebige Erweiterung der Ausgangsidentität ist möglich (wenn auch rechenaufwendig).

Anwendung auf die Kaya-Identität

Die Anwendung dieses Prinzips auf die Kaya-Identität (Abbildung 6) lautet dann wie folgt:

$$\Delta CO_2em = CO_2em_{(t_1)} - CO_2em_{(t_0)} = \left(\frac{CO_2em}{PE} \right)_{(t_1)} \cdot \left(\frac{PE}{BIP} \right)_{(t_1)} \cdot \left(\frac{BIP}{POP} \right)_{(t_1)} \cdot (POP)_{(t_1)} - \left(\frac{CO_2em}{PE} \right)_{(t_0)} \cdot \left(\frac{PE}{BIP} \right)_{(t_0)} \cdot \left(\frac{BIP}{POP} \right)_{(t_0)} \cdot (POP)_{(t_0)}$$

oder kürzer in Anlehnung an die IPAT Terminologie:

$$\Delta I = I_{(t_1)} - I_{(t_0)} = P_{(t_1)} \cdot A_{(t_1)} \cdot T1_{(t_1)} \cdot T2_{(t_1)} - P_{(t_0)} \cdot A_{(t_0)} \cdot T1_{(t_0)} \cdot T2_{(t_0)} \quad (7.7)$$

Die Ausmultiplizierung und Zuordnung ergibt die Berechnung der einzelnen Effekte:

$$\begin{aligned} P_{effekt} &= \Delta P \cdot A_{(t_0)} \cdot T1_{(t_0)} \cdot T2_{(t_0)} \\ &+ \frac{1}{2} \cdot (\Delta P) \cdot \left[(\Delta A) \cdot T1_{(t_0)} \cdot T2_{(t_0)} + A_{(t_0)} \cdot (\Delta T1) \cdot T2_{(t_0)} + A_{(t_0)} \cdot T1_{(t_0)} \cdot (\Delta T2) \right] \\ &+ \frac{1}{3} \cdot (\Delta P) \cdot \left[(\Delta A) \cdot (\Delta T1) \cdot T2_{(t_0)} + A_{(t_0)} \cdot (\Delta T1) \cdot (\Delta T2) + (\Delta A) \cdot T1_{(t_0)} \cdot (\Delta T2) \right] \\ &+ \frac{1}{4} \cdot (\Delta P) \cdot (\Delta A) \cdot (\Delta T1) \cdot (\Delta T2) \end{aligned} \quad (7.8)$$

Wobei der erste Teil der Gleichung 7.8 $(\Delta P \cdot A_{(t_0)} \cdot T1_{(t_0)} \cdot T2_{(t_0)})$ den singulären Einfluss der Bevölkerungskomponente an der Änderung des ‚Impacts‘ im Zeitraum t_0 bis t_1 und die weiteren Teile anteilig die Einflüsse der Interaktionen zwischen den jeweiligen Variablen darstellen.

Analog ergeben sich A_{effekt} (Wohlstandseffekt), $T1_{effekt}$ (Energieintensitätseffekt) und $T2_{effekt}$ (Kohlenstoffintensitätseffekt), die auf grund der anteiligen Zuordnung der Kreuzprodukte auch die Veränderungen des Umweltschadens (I) vollständig erklären können, und Gleichung 7.9 gilt.

$$\Delta I = P_{effekt} + A_{effekt} + T1_{effekt} + T2_{effekt} \quad (7.9)$$

Nach dem selben Prinzip können die relativen Veränderungen untersucht werden, wobei die additive Verknüpfung in Gleichung 7.9 durch eine Division mit $I_{(t_0)}$ erweitert wird.

$$\frac{\Delta I}{I_{(t_0)}} = \frac{P_{effekt}}{I_{(t_0)}} + \frac{A_{effekt}}{I_{(t_0)}} + \frac{T1_{effekt}}{I_{(t_0)}} + \frac{T2_{effekt}}{I_{(t_0)}} \quad (7.10)$$

oder

$$\frac{I_{(t_1)}}{I_{(t_0)}} = 1 + \frac{P_{effekt}}{I_{(t_0)}} + \frac{A_{effekt}}{I_{(t_0)}} + \frac{T1_{effekt}}{I_{(t_0)}} + \frac{T2_{effekt}}{I_{(t_0)}} \quad (7.11)$$

7.1.2 Dekomposition von Identitätsgleichungen mit Summenterm

Einige der in Abschnitt 7.1.1 bereits erwähnten Studien, versuchen die Identitätsgleichung durch eine sogenannte Strukturdeterminante zu erweitern. Dabei wird eine Variable in Unterbereiche aufgegliedert, wobei die Summe der Unterbereiche wieder dem Gesamtprozess entspricht.

$$A = \frac{A}{B} \cdot B = \sum_i \frac{A_i}{B_i} \cdot \frac{B_i}{B} \cdot B \quad (7.12)$$

Die meisten Anwendungen dieses Prinzips der Zerlegung stammen aus dem Bereich der Energiewirtschaft (Sun und Ang, 2000). In diesen Studien wurde die jeweilige Volkswirtschaft in seine Wirtschaftssectoren aufgeteilt und der neuentstandene Term Strukturdeterminante bezeichnet (siehe z.B. Liu et al., (1992); Schipper et al., (1996); de Bruyn, (2000)). In diesen Studien steht in der Regel der in Gleichung 7.12 mit A bezeichnete Term für den Energieverbrauch, der mit B bezeichnete Term für die Wirtschaftsleistung und i für die Anzahl der untersuchten wirtschaftlichen Sektoren. Das heißt, dass mit $\frac{A_i}{B_i}$ eine Intensitätsdeterminante I_i (z.B. Energieverbrauch pro Wirtschaftsleistung), mit $\frac{B_i}{B}$ eine Strukturdeterminante S_i und mit B der Einfluss der gesamten wirtschaftlichen Entwicklung (dort normalerweise mit Y oder Q bezeichnet) dargestellt wird, so dass die vereinfachte Darstellung von Gleichung 7.12 heißt:

$$A = \sum_i I_i \cdot S_i \cdot B \quad (7.13)$$

Mit der Strukturdeterminante wird versucht, den Stand der wirtschaftlichen Entwicklung zu thematisieren. Damit ist in der Regel der Stand des wirtschaftlichen Wandels von der agrarbasierten über die industrielle zur dienstleistungsbasierten Wirtschaft gemeint, der mit einer Entmaterialisierung oder mit vermindertem Ressourcenverbrauch einhergehen soll (de Bruyn, 2000).

Dieses Verfahren der Zerlegung wird seit den 80er Jahren in den Untersuchungen zum Energieverbrauch angewendet und in einer Reihe von Publikationen diskutiert.

Die derzeit besten Überblicksarbeiten hinsichtlich der zu Grunde liegenden Mathematik dieser Art der Zerlegung sind Ang und Zhang (2000) und de Bruyn (2000). In einigen Anwendungen wird eine Volkswirtschaft dabei in seine Sektoren untergliedert. Vereinzelt Studien versuchen diese Art der Zerlegung auf andere Bereiche zu übertragen, wobei die

Interpretation der entstehenden Terme nicht immer klar wird (Luukkanen und Kaivo-oja (2002) haben beispielsweise die Struktur determinante in eine Länderdeterminante für eine Region transferiert). Wie schon für die Zerlegung einfacher Identitätsgleichungen (siehe Abschnitt 7.1.1) sollte auch bei der Zerlegung mit Summenterm die Interpretierbarkeit der entstehenden Faktoren vor aufwendigen Berechnungen besonders bedacht werden.

Aus der Vielzahl der möglichen Verfahren empfiehlt de Bruyn (2000) für makroökonomische Analysen, die in der Regel nicht auf weltweit verfügbaren Input-Output-Datentabellen zurückgreifen können, die sogenannte *Index Number Decomposition*, die formell von Liu et al. (1992) entwickelt, weiterbearbeitet von Ang (1994) und von Sun und Ang (2000) verallgemeinert und stark erweitert wurde. Dieser Ansatz kann analog der Zerlegung einfacher Identitätsgleichungen (siehe Abschnitt 7.1.1) analysiert werden, indem die Gleichungen 7.7 und 7.8 um den Summenterm und den neuen Faktor aus Gleichung 7.13 erweitert werden.

$$\Delta A = \sum_i (I_{i,t_1} \cdot S_{i,t_1} \cdot B_{t_1}) - \sum_i (I_{i,t_0} \cdot S_{i,t_0} \cdot B_{t_0}) \quad (7.14)$$

$$\Delta A = \sum_i \left[(I_{i,t_1} \cdot S_{i,t_1} \cdot B_{t_1}) - (I_{i,t_0} \cdot S_{i,t_0} \cdot B_{t_0}) \right] \quad (7.15)$$

Die wie in Abschnitt 7.1.1 bereits beschriebene anteilige Zuordnung des Residualterms mit dem Argument „gemeinsam entstanden, gemeinsam verteilt“ zu den einzelnen Effekten ergibt in der allgemeinen Terminologie:

$$\begin{aligned} I_{effect} &= \sum_i (\Delta I_i) \cdot S_{i,(t_0)} \cdot B_{(t_0)} \\ &+ \frac{1}{2} \sum_i (\Delta I_i) \cdot \left[(\Delta S_i) \cdot B_{(t_0)} + S_{i,(t_0)} \cdot (\Delta B) \right] \\ &+ \frac{1}{3} \sum_i (\Delta I_i) \cdot (\Delta S_i) \cdot (\Delta B) \end{aligned} \quad (7.16)$$

Der I_{effekt} quantifiziert den Anteil der Intensitätsdeterminante an den Gesamtänderungen der Zielvariable A im Zeitraum t_0 bis t_1 . Analog ergeben sich S_{effekt} und B_{effekt} . Wie für die Gleichung 7.8 stellt auch in Gleichung 7.16 der erste Teil $(\sum_i (\Delta I)_i \cdot S_{i,t_0} \cdot B_{i,t_0})$ den singulären Einfluss der I-Determinante an der Änderung der Zielgröße im Zeitraum t_0 bis t_1 und die anderen beiden Teile den anteiligen Einfluss der Interaktionen zwischen den jeweiligen Determinanten dar. Dieses Verfahren wird in der Literatur als *refined Laspeyres index method* bezeichnet. Unter einem Laspeyres-Index wird allgemein eine Indexzahl verstanden, die die

durchschnittliche relative Änderung einer Variable unter Berücksichtigung einer Gewichtsgröße des Basiszeitraumes misst (Rönz und Strohe, 1994). Die beschriebene Methode der Dekompositionsanalyse für die Berechnung der einzelnen Effekte (siehe Gleichung 7.16) wird *refined Laspeyres index method* genannt, weil im ersten Teil der Gleichung die Änderung der jeweiligen Variable mit den Basiswerten der anderen Variablen gewichtet wird. Die folgenden Teile sind lediglich die anteiligen Effekte der Kreuzprodukte und bilden zusammen den sogenannten Residualterm. Sie sollten im Vergleich zum ersten Teil relativ klein sein (Ang und Lee, 1994).

Auch dieses Verfahren lässt sich für beliebig viele Faktoren innerhalb dieser einen Summengleichung erweitern (und auch hier wird wegen der Kreuzprodukte die Formel mit der Zunahme der Anzahl der Determinanten unübersichtlich und programmieraufwendig, aber prinzipiell möglich). Sun und Ang (2000) stellen in ihrem Artikel eine allgemeine Formel für n Variablen vor²⁹.

Die Anwendung der einzelnen Verfahren der Dekompositionsanalyse erfolgte in den 80er Jahren vor allem im Bereich der Energiewirtschaft, um nach den Ölkrisen die Ursachen für die Veränderungen des Energieverbrauchs zu analysieren. Dabei wurde die Grundgleichung 7.13 z.B. wie folgt erweitert:

$$PE = \sum_i \frac{PE_i}{BIP_i} \cdot \frac{BIP_i}{BIP} \cdot BIP \quad (7.17)$$

mit PE als Energieverbrauch, BIP als Bruttoinlandsprodukt und i als sektorale Untergliederung einer Volkswirtschaft (z.B. Hankinson und Rhys 1983). Diese Anwendung stellt aber relativ hohe Anforderungen an die Daten, die Energieverbrauch und BIP sektoral aufgeschlüsselt verlangt und deshalb, meist dann nur für einzelne Länder durchgeführt werden konnte. Etliche Studien thematisierten in den Folgejahren vor allem die methodologischen Aspekte der Dekompositionsverfahren, so z.B. Reitler und Rudolph (1987); Boyd et al. (1988); Ang und Zhang (2000); Ang (1995); Greening et al. (1997); Ang et al. (1998); Sun und Ang (2000), Ang und Choi (2003) ohne sie explizit anzuwenden.

Von den Analysen zum Energieverbrauch bis zu denen die die CO₂-Emissionen thematisierten, war es nur ein Schritt, da die vermehrten anthropogenen CO₂-Emissionen im wesentlichen durch den Primärenergieverbrauch entstehen (siehe Abschnitt 2.1.2). Bei diesen Analysen muss jedoch unterschieden werden, ob die weitere Untergliederung auf einzelne

Wirtschaftsbereiche einer Volkswirtschaft erfolgte, oder ob die Untergliederung auf eine regionale Aufschlüsselung transferiert wurde. Alle diesbezüglich analysierten Arbeiten haben eine unterschiedliche Anzahl von Ländern oder die Länder einer einzigen Region miteinander verglichen. Die nachfolgende Tabelle 21 gibt einen Überblick über die Publikationen, in denen mit Hilfe der Dekompositionsanalyse unterschiedliche Effekte, die Änderungen der CO₂-Emissionen nach sich zogen, quantifiziert.

Referenz	Länder	Zeit	Faktoren	Summierung über	Wichtigste Ergebnisse	Kommentare
Torvanger (1991)	USA, Japan, Frankreich, Deutschland, Italien, Großbritannien, Dänemark, Norwegen, Schweden	1973-87	Wohlstand Brennstoffmix Energieintensität Struktur Ländereffekt	volkswirtschaftliche Bereiche Energieträger Länder	größte Effekte wurden durch die verringerte Energieintensität erreicht, zweitgrößte durch Strukturänderungen	zu untersuchende Variable ist die Kohlenstoffintensität
Scholl et al. (1995)	USA, Japan, Frankreich, Deutschland, Italien, Großbritannien, Dänemark, Norwegen, Schweden	1973-92	Wohlstand Struktur Kohlenstoffintensität Energieintensität Brennstoffmix	Transportmittel	CO ₂ -Emissionen stiegen im Transportsektor in allen Ländern, in den USA wurde drei mal so viel CO ₂ pro Kopf emittiert wie in anderen Ländern Wohlstandseffekt war am größten; EI-effekt am geringsten	nur für den Transportsektor <i>Laspeyres index method</i>
Han und Chatterjee (1996)	Brasilien, Chile, Kolumbien, Indien, Korea, Mexiko, Philippinen, Thailand, Sambia,	1972-90 (2 Subintervalle)	Wohlstand Struktur Brennstoffmix Energieeffizienz	volkswirtschaftliche Bereiche Energieträger	Wohlstandswachstum hatte größten Effekt; Energieeffizienz hatte einen vergleichsweise (zu OECD) geringeren Effekt auf die CO ₂ -em.	<i>Laspeyres index method</i>
Ang und Pandiyan (1997)	China Südkorea Taiwan	China: 1980-91 Südkorea: 81-93 Taiwan: 1980-93	Energieintensität Kohlenstoffintensität Brennstoffmix Struktur	volkswirtschaftliche Bereiche Energieträger	Energieintensität hatte den größten Effekt auf die CO ₂ -Emissionen	Methodenvergleich <i>Laspeyres index method</i>
Schipper et al. (1997)	10 OECD Länder	1973-1991	Wohlstand Energieintensität Kohlenstoffintensität Struktur	volkswirtschaftliche Bereiche	CO ₂ -Emissionen werden steigen, wenn sich die Effekte durch EI und KI nicht verstärken, dies erfordert auch politische und Verhaltensänderungen und technische Innovationen	<i>Laspeyres index method</i>
Chung (1998)	Japan China Südkorea	Japan: 1990 China: 1987 Südkorea: 1990	Brennstoffeffizienz Produktionstechnik Konsummuster Wohlstand	Länder	Länder mit vergleichsweise hoher Emissionsintensität können mit geringeren Kosten reduzieren (z.B. China)	<i>input-output model</i>

²⁹ In den Formeln 7-10 des Artikels muss es jedoch heißen $\sum_{j \neq i}$ und nicht $\sum_{j=1}$.

Referenz	Länder	Zeit	Faktoren	Summierung über	Wichtigste Ergebnisse	Kommentare
Ang et al. (1998)	China Südkorea	1985-1990	Wohlstand Emissionsfaktor Energimix Energieintensität	volkswirtschaftliche Bereiche	<i>logarithmic mean Divisia index</i> empfehlenswert	Methodenvergleich
Viguié (1999)	Ungarn, Polen, Russland Frankreich, Großbritannien und die USA	1971-94	Emissionsfaktor Brennstoffmix Struktur Energieintensität	volkswirtschaftliche Bereiche Energieträger Länder	in Umbruchländern resultieren hohe Emissionsintensitäten aus hohen Energieintensitäten	Vergleich der Emissionen von SO ₂ , NO _x und CO ₂ zu untersuchende Variable ist die Kohlenstoffintensität
Ang und Zhang (1999)	regionaler Vergleich OECD:-Pazifik, Nordamerika, Europa global: OECD, frühere Sowjetunion & Osteuropa, Rest der Welt	1993	Energimix Emissionsfaktor Energieintensität Wohlstand Bevölkerung.	Energieträger	die relative Bedeutung der einzelnen Effekte hängt ab von der untersuchten Region	<i>logarithmic mean Divisia index method</i>
Liaskas et al. (2000)	13 EU-Länder	1973-93 (73-82 83-93)	Wohlstand Energieintensität Brennstoffmix Struktureffekt	volkswirtschaftliche Bereiche	Entkopplung des wirtschaftlichen Wachstums vom Energieverbrauch, d.h. Senkung der CO ₂ -Emissionen müssen keine negativen Effekte auf die wirtschaftliche Entwicklung haben	
Albrecht et al. (2002)	Belgien, Deutschland, Frankreich, Großbritannien	1960-96 (60-73, 74-86, 87-96)	Faktoren entsprechend der Kaya-Identität (siehe Abbildung 6)	volkswirtschaftliche Bereiche	EI und KI spielen eine wichtige Rolle, Bevölkerungseffekt kann für einige Länder bedeutender sein als KI	eigene <i>Dekompositions-Methode</i>
Luukkanen und Kaivo-oja (2002)	Argentinien, Brasilien, China, Indien, Korea, Mexiko, Südafrika und die USA	1971-98	Intensitäten Struktur Wohlstand	Länder	wichtige Entwicklungsländer haben jeweils ihren Intensitätseffekt in bezug auf den Energieverbrauch nicht sehr verbessern können	Vergleich von Intensitätseffekten hinsichtlich Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen
Ang und Choi (2003)	Südkorea	1980-93	Emissionsfaktor Wohlstand Energieintensität Energieverbrauch pro Sektor	volkswirtschaftliche Bereiche Energieträger	<i>refined Divisia index method</i> ist eine Methode, die keine Residuen lässt und auch dass Problem der Logarithmierung bei Null-Werten umgeht	methodische Weiterentwicklung zu untersuchende Variable ist die Kohlenstoffintensität (KI)
Sun (2003)	104 Länder	1990-98	Energieintensität aus fossilen und nichtfossilen Energieträgern	Energieträger	Bedeutung des Brennstoffmixes und der politischen Handelns ist wichtig	zu untersuchende Variable ist KI keine <i>Dekompositions-analyse</i> im eigentlichen Sinn

Tabelle 21: Überblick über die Veröffentlichungen zur Decomposition Analysis angewandt auf CO₂-Emissionen

Aus den in Tabelle 21 genannten Analysen wird deutlich, dass die Effekte des Wohlstands, der Bevölkerung und auch der Technologie (Kohlenstoff- und Energieintensität) je nach analysiertem Land und Zeitraum unterschiedlich stark sind. Eine großräumigere weitgehend

globale Untersuchung wurde nur durch Sun (2003) und „nur“ hinsichtlich des Verbrauchs von fossilen und nichtfossilen Energieträgern vorgenommen. Albrecht et al. (2002) haben erstmalig alle Determinanten der Kaya-Identität mit Hilfe der Dekompositionsanalyse für vier europäische Länder untersucht.

Auch die zeitliche Auflösung war bei den genannten Studien sehr unterschiedlich. In der Regel bezogen sich die Daten auf zwei bis vier Zeitpunkte, so dass daraus ein bis drei Zeiträume, die sich jeweils über mehrere Jahre erstreckten, betrachtet werden konnten. Die chronologische, jährliche Untersuchung wurde nur von Luukkanen und Kaivo-oja (2002) für einzelne Länder und für ausgewählte Faktoren vorgenommen.

Innerhalb dieser Arbeit soll, entsprechend dem definierten Forschungsfokus, die Bedeutung der durch die Kaya-Identität definierten sozio-ökonomischen Determinanten auf die anthropogenen CO₂-Emissionen quantifiziert werden.

Anwendung auf die KAYA-Identität

Eine mögliche Anwendung des Prinzips der Dekomposition könnte wie in Gleichung 7.18 aussehen.

$$CO_2em = \sum_i \frac{CO_2em_i}{PE_i} \cdot \frac{PE_i}{BIP_i} \cdot \frac{BIP_i}{BIP} \cdot \frac{BIP}{POP} \cdot POP \quad (7.18)$$

was auch

$$CO_2em = \sum_i T2_i \cdot T1_i \cdot S_i \cdot A \cdot P \quad (7.19)$$

entspricht. Wobei i , abhängig von der Datenbasis, die Anzahl der zu untersuchenden Länder oder Regionen, der volkswirtschaftlichen Sektoren oder auch der Energieträger sein kann.

Die Berechnung der einzelnen Effekte an den Veränderungen der CO₂-Emissionen für Gleichungen 7.18 erfolgt dann nach dem gleichen Prinzip wie für die Gleichung 7.16. Für die genaue Notation sei an dieser Stelle auf die allgemeine Form in Sun und Ang (2000) und für die Anwendung auf die Gleichung 7.18 auf das SAS-Script 6 im Anhang V (S. Anhang / 39) verwiesen.

Der T2- oder KI_{effekt} in Gleichung 7.18 quantifiziert entsprechend der allgemeinen Terminologie dieser Arbeit den Anteil CO₂-Emissionsänderungen der durch Kohlenstoffintensitätsveränderungen im Zeitraum t_0 bis t_1 erreicht wurde. Analog ergeben sich die Anteile der Energieintensität als T1- oder EI_{effekt}, des Struktureffektes als S_{effekt} und des Wohlstandseffektes A_{effekt}. an den CO₂-Emissionen. Wie für die Gleichung 7.8 stellt auch

hier der erste Teil den singulären Einfluss der jeweiligen Determinante an der Änderung der Zielvariable im Zeitraum t_0 bis t_1 und die anderen vier Teile den anteiligen Einfluss der Interaktionen zwischen den jeweiligen Variablen dar.

Jede Erweiterung der Identitätsgleichung sollte jedoch von der inhaltlichen Interpretierbarkeit und der empirischen Umsetzbarkeit getrieben werden. Neben der Interpretierbarkeit der einzelnen Determinanten ist zu überlegen, worauf sich die durch den Summenterm induzierte Untergliederung bezieht, auf Länder einer Region, auf Wirtschaftssektoren eines Landes, oder gar auf unterschiedliche Energieträger. Da der Fokus dieser Arbeit auf dem Vergleich von Ländern und Regionen liegt, wird auch der Summenterm für ein regionales *downscaling* in Abschnitt 7.3 verwandt.

7.2 Quantifizierung des Einflusses der sozio-ökonomischen Determinanten auf die anthropogenen CO₂-Emissionen

Wie in Abschnitt 7.1 gezeigt kann mit Hilfe der Dekompositionsanalyse der Einfluss einzelner definierter Größen innerhalb einer Identitätsgleichung quantifiziert werden. Grundlage der Dekompositionsanalyse dieser Arbeit ist die in Abschnitt 3.3 vorgestellte Identitätsgleichung der sozio-ökonomischen Determinanten der CO₂-Emissionen, die vier Bestimmungsfaktoren der anthropogenen CO₂-Emissionen definiert (Bevölkerung (P), Wohlstand (A) und die beiden Technologiedeterminanten Energieintensität (EI) und Kohlenstoffintensität (KI)).

$$\boxed{\text{CO}_2\text{-Emissionen}} = \boxed{\text{Bevölkerung}} \times \boxed{\frac{\text{Produktion}}{\text{Bevölkerung}}} \times \boxed{\frac{\text{Energieverbrauch}}{\text{Produktion}}} \times \boxed{\frac{\text{CO}_2\text{-Emissionen}}{\text{Energieverbrauch}}}$$

Die Analysenmöglichkeiten durch Dekomposition sind sehr groß. Innerhalb dieser Arbeit wird ein *top down Ansatz* zuerst in zeitlicher, dann in räumlicher Dimension verfolgt. Die Analyse beginnt mit einer globalen Quantifizierung der definierten vier Determinanten der CO₂-Emissionen für den gesamten Beobachtungszeitraum (1975-1998) und zeigt danach, durch die Zerlegung des Beobachtungszeitraumes in einzelne Jahre, welche unterschiedlichen Einflüsse diese Determinanten auf die anthropogenen CO₂-Emissionen im Zeitverlauf hatten. Nach der globalen Betrachtung (Abschnitt 7.2.1) wird dieser Analyseansatz räumlich auf die 6 energiewirtschaftlichen Ländertypen (siehe Abschnitt 7.2.2) disaggregiert. Abschließend wird in Abschnitt 7.3 die Anzahl der Determinanten um eine Struktur determinante erweitert und die derzeitigen Möglichkeiten und Grenzen in der internationalen Anwendung dargestellt. Hauptaugenmerk liegt natürlich in der näheren Beschreibung der in Kapitel 6 vorgestellten

energiewirtschaftlichen Ländertypen. Die Dekompositionsanalyse erfolgte mit dem im Anhang V (S. Anhang / 32) wiedergegebenen SAS-Script.

7.2.1 Globale Betrachtung

Für die globale Analyse und die damit einhergehende Zerlegung in Regionen wurde der in Abschnitt 6.1 beschriebene regionale Datensatz (siehe Anhang III S. Anhang / 3) verwendet. Für eine solche globale Analyse muss die Entscheidung getroffen werden, ob einer längerfristigen Analyse (1975-1998), die nicht unter Berücksichtigung der GUS-Länder (Cluster 4) möglich ist, oder einer regional vollständigeren Analyse (mit den GUS-Ländern des Clusters 4), dann allerdings für einen verkürzten Zeitraum (1991-1998), der Vorrang einzuräumen ist.

Beim Vergleich der beiden Vorgehensweisen der globalen Dekompositionsanalyse wurde deutlich, dass die Einbeziehung der GUS-Staaten im wesentlichen 2 Auswirkungen hatte. Erstens sind die Änderungen der CO₂-Emissionen leicht geringer wenn die GUS-Staaten mit berücksichtigt werden. Das ist verständlich, da diese Länder ihren hohen CO₂-Ausstoß nicht sofort reduzieren konnten, sondern dazu einen gewissen Zeitraum brauchten. Zweitens hätte sich durch die Veränderung der Kohlenstoffintensität global gesehen ein größeres Einsparpotential ergeben. Da die Einbeziehung des Clusters 4 nicht völlig neue Verläufe mit sich bringt, werden nachfolgend die Ergebnisse der Dekompositionsanalyse der „5-Cluster-Welt“ (siehe Abschnitt 6.1) vorgestellt, weil für diese ein längerer Zeitraum betrachtet werden kann.

Wie in Kapitel 7 bereits erwähnt, wird mit Hilfe der Dekomposition die Veränderung der Zielvariable, hier der CO₂-Emissionen, innerhalb eines Zeitraumes und die jeweiligen Anteile der einzelnen Determinanten analysiert und quantifiziert. Es werden im Anschluss zuerst die Ergebnisse der in Abschnitt 7.1.1 beschriebenen Analyse einfacher Identitätsgleichungen vorgestellt, die zunächst für den Gesamtzeitraum in Tabelle 22 zusammengefasst sind.

Effekte (Mio t C)	Zeitraum 1975-1998	mittlerer jährlicher Effekt	Standardabweichung der beobachteten Werte	Minimum	Maximum
ΔCO_2em	1959	85,195	87,01	-101,40	225,64
P-Effekt	1627	70,76	4,51	63,58	77,57
A-Effekt	4981	216,55	126,28	-2,64	466,20
EI-Effekt	-4400	-191,31	126,63	-507,57	-7,27
KI-Effekt	-248	-10,80	30,68	-73,82	36,32

Tabelle 22: Effekte der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen im Zeitraum von 1975-98- global

Bis zum Jahr 1998 haben die energiewirtschaftlichen Ländertypen (ohne Cluster 4 - GUS) insgesamt zusätzlich zu den CO₂-Emissionen von 1975 (in Höhe von 3221 Mio t C) Emissionen in Höhe von 1959 Mio t C emittiert (? CO₂em in Tabelle 22), was zusätzlichen mittleren jährlichen Emissionen in Höhe von 85,19 Mio t C entspricht. Die zeitliche Disaggregation zeigt jedoch, dass diese zusätzlichen Emissionen von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich waren, von 1975 bis 1998 kam es teils zu Verminderungen um bis zu 101 Mio t C oder Mehremissionen um bis zu 225 Mio t C im Vergleich zum Vorjahr.

Als Determinanten dieser Änderungen wurden Bevölkerung (P), Wohlstand (A) und die 2 Technologiefaktoren Kohlenstoff- (KI) und Energieintensität (EI) untersucht.

Der Bevölkerungsdeterminante wurden im beobachteten Zeitraum von 1975 bis 1998 insgesamt 1627 Mio t C zugeschrieben, das heißt, dass innerhalb der „5-Cluster-Welt“ 25 % der entwicklungsbedingten Mehremissionen auf das Bevölkerungswachstum zurückgeführt werden können. Das entspricht einem jährlichen, relativ gleichbleibenden Wert von ca. 70 Mio t C. Der Bevölkerungseffekt ist der mit der geringsten Standardabweichung im Vergleich zu den anderen untersuchten Effekten, ein Indiz dafür, wie träge die demographische Determinante in diesem beschriebenen Zusammenspiel der Kräfte ist.

Die Wohlstandsdeterminante konnte als eindeutige Ursache für die Zunahme von CO₂-Emissionen im gesamten Zeitraum von 1975 bis 1998 identifiziert werden 75% der Mehremissionen wurde durch die vorgenommene Zerlegung dem Wohlstandswachstum zugerechnet. Durch die Wohlstandsentwicklung der 5 Cluster wären zusätzliche CO₂-Emissionen in Höhe von 4981 Mio t C entstanden, wenn die anderen Bedingungen unverändert geblieben wären. Der Wohlstandseffekt unterlag im Beobachtungszeitraum relativ großen Schwankungen, wirtschaftlich schwierige Jahre brachten kaum zusätzliche Emissionen, in starken Wachstumsperioden zog der Wohlstandseffekt jedoch Mehremissionen bis zu 466 Mio t C pro Jahr nach sich. Die relativ hohe Standardabweichung, und die Spanne zwischen Minimum und Maximum spiegeln die große Schwankungsbreite dieses Effektes wieder.

Beide Technologiedeterminanten, Kohlenstoff- und Energieintensität konnten im Gesamtzeitraum von 1975-98 den Bevölkerungs- und Wohlstandseffekt hinsichtlich der Änderungen der CO₂-Emissionen nicht kompensieren.

Durch die Dekompositionsanalyse wurden dem Effekt der Kohlenstoffintensität (KI) im Gesamtzeitraum 248 Mio t C weniger CO₂-Emissionen zugerechnet. Auch hier sind die

mittleren jährlichen Emissionsminderungen in Höhe von 10,80 Mio tC nur bedingt aussagekräftig, wenn man bedenkt, dass die Spanne dieses Effektes von verminderten Emissionen in Höhe von 73,82 Mio tC pro Jahr bis zu Mehremissionen von 36,32 Mio tC reicht.

Der Energieintensität konnten die meisten Einsparungen von CO₂-Emissionen zugerechnet werden, im Gesamtzeitraum 4400 Mio tC. Es ist der einzige Effekt, der zu keinem Zeitpunkt des Beobachtungszeitraumes zu vermehrten Emissionen führte.

Die Zerlegung des Beobachtungszeitraumes in einzelne Jahre ermöglicht eine zeitlich detailliertere Betrachtung der unterschiedlichen Einflüsse der vier Determinanten auf die Veränderungen der anthropogenen CO₂-Emissionen (siehe Abbildung 23).

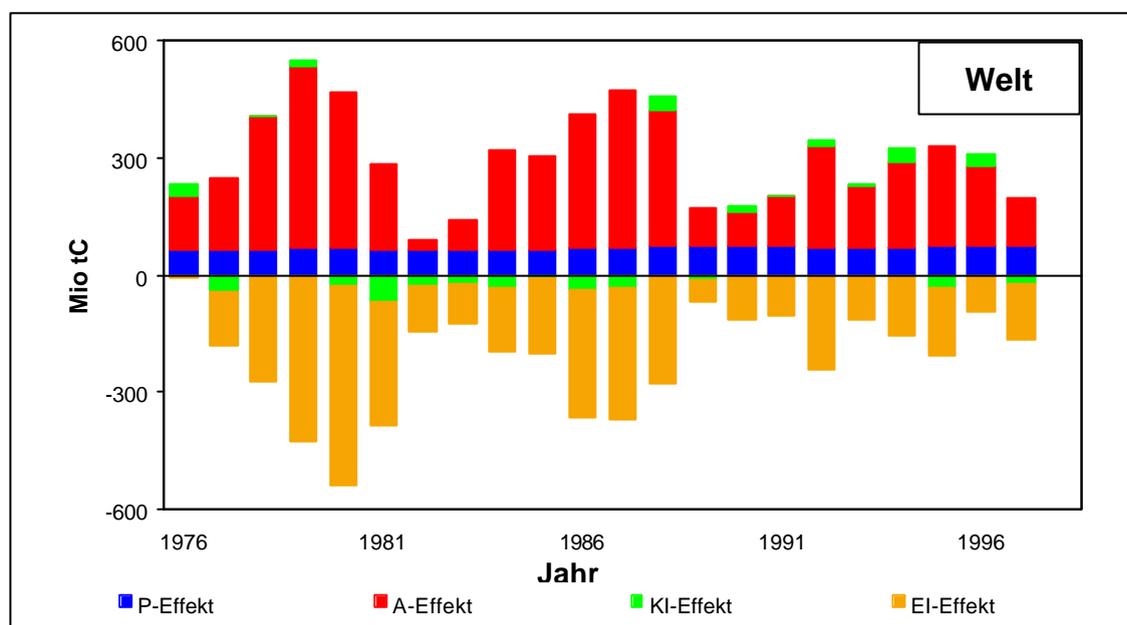


Abbildung 23: Anteile der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen im Zeitverlauf - global

Der Bevölkerungseffekt (P-Effekt) in bezug auf die Änderungen der CO₂-Emissionen ist auch bei der zeitlichen Disaggregation relativ konstant. Über den gesamten Zeitraum wurden relativ gleichbleibende zusätzliche Emissionen in Höhe von 70 Mio tC pro Jahr dem Bevölkerungseffekt zugeschrieben.

Der Effekt der Bevölkerungsdeterminante (P-Effekt) an den Änderungen der CO₂-Emissionen ist der stabilste und gleichmäßigste im Gesamtgefüge der definierten Bestimmungsfaktoren. Das heißt implizit, dass die Analyse der Änderungen der gesamten CO₂-Emissionen im Vergleich zur Analyse der Pro-Kopf-Emissionen nicht wesentlich verzerrt sein dürfte, auch

wenn die errechneten absoluten Werte natürlich unterschiedliche Größenordnungen aufweisen. Ein Vergleich der Analyseergebnisse bestätigte dies.

Der Wohlstandseffekt (A-Effekt) gemessen in BIP pro Kopf zeigt im zeitlichen Verlauf ein viel uneinheitlicheres Bild. In Jahren mit hohem Wohlstandswachstum wurden diesem auch die wesentlichen Mehremissionen zugeschrieben. Die 2.Ölkrise Anfang der 80er Jahre zeichnet sich deutlich ab, als das Jahr in dem wohlstandsbedingte Mehremissionen am geringsten waren.

Auffällig ist ein ähnlich spiegelbildlicher Verlauf des Wohlstands- und Energieintensitätseffektes. Es zeigt, dass der größte Teil (88%) der wohlstandsbedingten Mehremissionen durch eine bessere Energieintensität verhindert werden konnten, also keinen proportional veränderten Energieverbrauch nach sich zogen. Hier werden die Grenzen der relativ komplexen Zerlegung der Veränderungen von Verhältniszahlen deutlich. Da die Bevölkerung ein relativ konstanter Term ist, zeichnet die Wohlstandsdeterminante (BIP/POP) im Zeitverlauf im wesentlichen den Verlauf des BIP nach. Der spiegelbildliche Verlauf der zweiten Verhältniszahl, in diesem Fall die Energieintensität (PE/BIP) kann daher kommen, dass der Primärenergieverbrauch sich ähnlich entwickelte wie die Bevölkerung.

Obwohl im Mittel jährlich 10,8 Mio tC weniger CO₂-Emissionen durch eine verbesserte Kohlenstoffintensität erreicht werden konnten, macht Abbildung 23 deutlich, dass dieser positive Effekt vor allem bis 1987 zu beobachten war und dann erst wieder in den späten 90er Jahren auftrat. Ein Grund für den Verlauf in den 80er Jahren ist sicher der starke Ausbau der Kernenergie. Aus dem isolierten Blickwinkel der Treibhausgasemissionen schneidet die Kernenergie sehr positiv ab. Eine große Menge an Energie kann bereit gestellt werden, ohne nennenswert Treibhausgase in die Atmosphäre zu emittieren. Die „Schwachstelle“ der Kernenergie ist, dass sie nicht oder nur sehr schwer quantifizierbare Risiken und mögliche Folgen mit sich bringt, führt in empirischen Studien natürlich zu dieser einseitigen Betrachtung und muss bei der Ergebnisinterpretation nachträglich eingefügt werden.

In der Literatur zur Dekompositionsanalyse werden oft die Residualterme mit erwähnt (siehe Abschnitt 7.1.1 auf S.89) und diskutiert. Sie werden meist als Interaktionen der einzelnen Determinanten interpretiert. Große Residuen seien ein Zeichen, dass die definierten Determinanten sich voneinander nicht genug abheben und ungeeignet sind, den Prozess zu erklären. Was allerdings als groß gilt, bleibt in der genannten Literatur unklar. In dieser

Arbeit, werden Residuen, die mehr als 20% des Gesamteffektes ausmachen, als groß bezeichnet.

Die globale Analyse der Residuen ergab, dass alle Residualterme der definierten Determinanten nicht als groß bezeichnet werden konnten (der Residualterm lag zwischen 0,1% und 5,6%, der Median bei 0,9%). Das heißt, dass die Interpretierbarkeit der den einzelnen Effekten zugeschriebenen Änderungen an CO₂-Emissionen, nicht stark durch die Residualterme verzerrt wurden.

Um herauszufinden, welcher Effekt der sozio-ökonomischen Determinanten am ehesten mit der Zielvariable *Änderungen der antropogenen CO₂-Emissionen* in Verbindung gebracht werden kann, wurden die Korrelationskoeffizienten der Änderungen der CO₂-Emissionen zu den einzelnen Effekten errechnet (siehe Tabelle 23) und in Abbildung 24 graphisch dargestellt. Für die Berechnung der Korrelationskoeffizienten wurde ebenfalls die „5-Cluster-Welt“ zugrunde gelegt, da für die „6-Cluster-Welt“ auf grund der verkürzten Zeitreihe des Clusters 4 (GUS) nur Werte von sechs Zeitschritten vorhanden sind, bei der „5-Cluster-Welt“ dagegen 23.

ΔCO_2em	P-Effekt	A-Effekt	KI-Effekt	EI-Effekt
Pearson Korrelationskoeffizient, N = 23	0,10708	0,24484	0,75619	0,25592

Tabelle 23: *Korrelationskoeffizienten der Änderungen der CO₂-Emissionen zu den durch Dekomposition ermittelten Effekten der sozio-ökonomischen Determinanten – global*

Die Korrelationsanalyse zeigt, dass im zeitlichen Verlauf die Änderungen der CO₂-Emissionen und der Kohlenstoffintensitätseffekt (KI-Effekt) eine mittlere lineare Abhängigkeit aufweisen. Die Änderungen der CO₂-Emissionen und der Bevölkerungseffekt, der Effekt mit der geringsten Streuung, haben den kleinsten Korrelationskoeffizienten³⁰ im Vergleich zu den anderen Effekten. Das heißt, dass diese beiden Werte die geringste lineare Abhängigkeit zueinander haben. Auch das Verhältnis der Emissionsänderungen zum Wohlstands- und zum Energieintensitätseffekt kann nicht durch eine lineare Abhängigkeit beschrieben werden auch wenn die errechneten Korrelationskoeffizienten höher sind als der des Bevölkerungseffektes zu den CO₂-Änderungen.

Abbildung 24 veranschaulicht diese Tatsachen noch einmal. Tabelle 23 und Abbildung 24 können so interpretiert werden, dass sich im Beobachtungszeitraum (1975-1998) Veränderungen der Kohlenstoffintensität am direktesten auf die Änderungen der CO₂-

30 siehe Fußnote 22

Emissionen ausgewirkt haben. Um die Möglichkeit der Scheinkorrelation bei trendbehafteten Reihen zu prüfen, wurden in Abbildung 24d die Jahreszahlen der jeweiligen Wertepaare mit angegeben. Es wird deutlich, dass keine kontinuierliche zeitliche Entwicklung der Kohlenstoffintensität und der Änderungen CO₂-Emissionen zum Korrelationskoeffizienten von 0,76 führte.

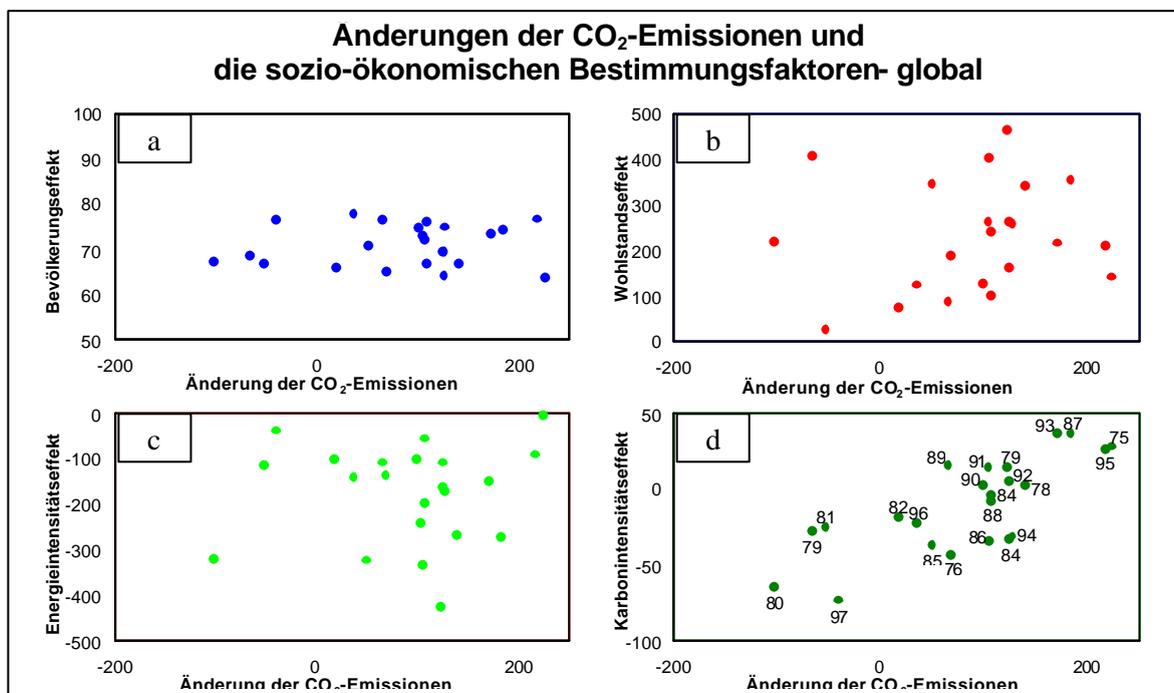


Abbildung 24: Abhängigkeit der Änderungen der CO₂-Emissionen von den sozio-ökonomischen Determinanten

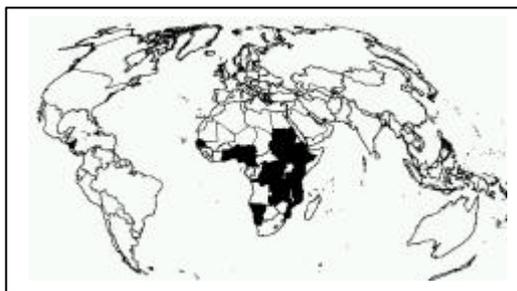
Veränderungen der zweiten Technologiedeterminante, der Energieintensität, konnten nicht im selben Maße Änderungen der CO₂-Emissionen nach sich ziehen. Zudem muss bei der Energieintensitätseffekt berücksichtigt werden, dass er zu weiten Teilen als reziproker Wert das BIP nachzeichnet. Die errechneten hohen Emissionsminderungen der Energieintensitätsdeterminante liegen nicht in einem tatsächlich verminderten Energieverbrauch, sondern vielmehr im Wirtschaftswachstum bei nicht entsprechenden Mehrverbrauch an Energie. Wie Abbildung 24 verdeutlicht, können ähnlich große Energieintensitätseffekte mit sehr unterschiedlichen Änderungen an CO₂-Emissionen in Verbindung gebracht werden.

Demzufolge sollten im derzeitigen Gefüge im globalen Maßstab politische Maßnahmen, die eine weitere Senkung der Kohlenstoffintensität fokussieren, erfolgversprechender hinsichtlich der Senkung CO₂-Emissionen sein, als Maßnahmen, die allein auf eine Verbesserung der Energieintensität gerichtet sind.

Durch die Dekomposition ergibt sich eine sehr große Vielfalt von Vergleichs- und Interpretationsmöglichkeiten. Das weitere Vorgehen ist auf bestimmte Phänomene fokussiert, ohne den Anspruch zu haben, sämtliche Ergebniskombinationen aufzuführen. Es wird von der Frage bestimmt, welchen Einfluss haben die in Abschnitt 3.3 definierten sozio-ökonomischen Determinanten auf die antropogenen CO₂-Emissionen, und gibt es globale, regionale und/oder nationale Unterschiede? Dazu werden die in Kapitel 5 ermittelten Regionen genauer analysiert.

7.2.2 Betrachtung der Ländertypen

Bevor die Ergebnisse der Dekompositionsanalyse für die einzelnen, der in Kapitel 6 bereits vorgestellten, energiewirtschaftlichen Ländertypen dargestellt werden, sei darauf hingewiesen, dass die regional errechneten Effekte sich nicht zu dem global ermittelten Effekt aufsummieren lassen. Auf grund der unterschiedlichen Größe der einzelnen Länder und Regionen prägen diese den globalen Effekt unterschiedlich stark.



7.2.2.1 *Arme Klimaschützer (Cluster 1)*

Zu dieser in Kapitel 6 bereits näher beschriebenen Ländergruppe gehören, nach der in dieser Arbeit verwandten Wohlstandsdefinition, gemessen in BIP pro Kopf, die ärmsten Länder dieser Erde, die die wenigsten CO₂-Emissionen (ca. 1%) zu verantworten haben. Obwohl in dieser Region 1975 6,2% und 1998 bereits 8,2% der Bevölkerung der „5-Cluster-Welt“ lebten, wurden anfangs 1,50% und am Ende nur noch 1,07% des BIP aller fünf Regionen erzeugt.

Die Dekompositionsanalyse ergab folgendes Bild für den Gesamtzeitraum:

Effekt (Mio tC)	Zeitraum 1975-1998	mittlerer jährlicher Effekt	Standardabweichung der beobachteten Werte	Minimum	Maximum
ΔCO_2em	10,15	0,44	2,65	-4,28	6,13
P-Effekt	19,58	0,85	0,12	0,64	1,10
A-Effekt	15,79	0,69	1,07	-0,94	3,21
KI-Effekt	-6,99	-0,30	2,83	-5,44	5,23
EI-Effekt	-18,23	-0,79	1,19	-3,13	0,67

Tabelle 24: *Effekte der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen im Zeitraum von 1975-98 – Cluster 1*

Dem Bevölkerungseffekt wurden in Cluster 1 zusätzliche jährliche CO₂-Emissionen von etwa 0,85 Mio tC pro Jahr zugeschrieben, was 55,4% der Mehremissionen entspricht. Die CO₂-Emissionen waren insgesamt so gering (21 Mio tC 1975 zu 31 Mio tC 1998 was lediglich 0,6% der Gesamtemissionen der 5-Cluster-Welt ausmacht), dass auch die jährlichen Veränderungen nur bei 0,5 Mio tC lagen und nur im Zeitraum 1991-92 mit 6,13 Mio tC CO₂-Mehremissionen zu verzeichnen waren.

Dem Wohlfahrtseffekt, der in dieser Region eher als Armutseffekt zu bezeichnen ist, wurden durch die Dekomposition im gesamten Zeitraum von 1975-1998 Mehremissionen von ca. 16 Mio tC zugerechnet, weniger als dem Bevölkerungseffekt. Kein anderer Cluster hat ein ähnliches Bild dieser beiden Effekte.

Diese theoretischen Mehremissionen wurden zum großen Teil durch die beiden Technologiedeterminanten abgefangen, 72,6% durch eine verbesserte Energieintensität, also dem Verhältnis von BIP zu Energieverbrauch und zu 24,6% durch die Kohlenstoffintensität, also dem Verhältnis von CO₂-Emissionen zu Energieverbrauch.

Die zeitliche Aufgliederung der Dekomposition ergibt die folgende Abbildung 25.

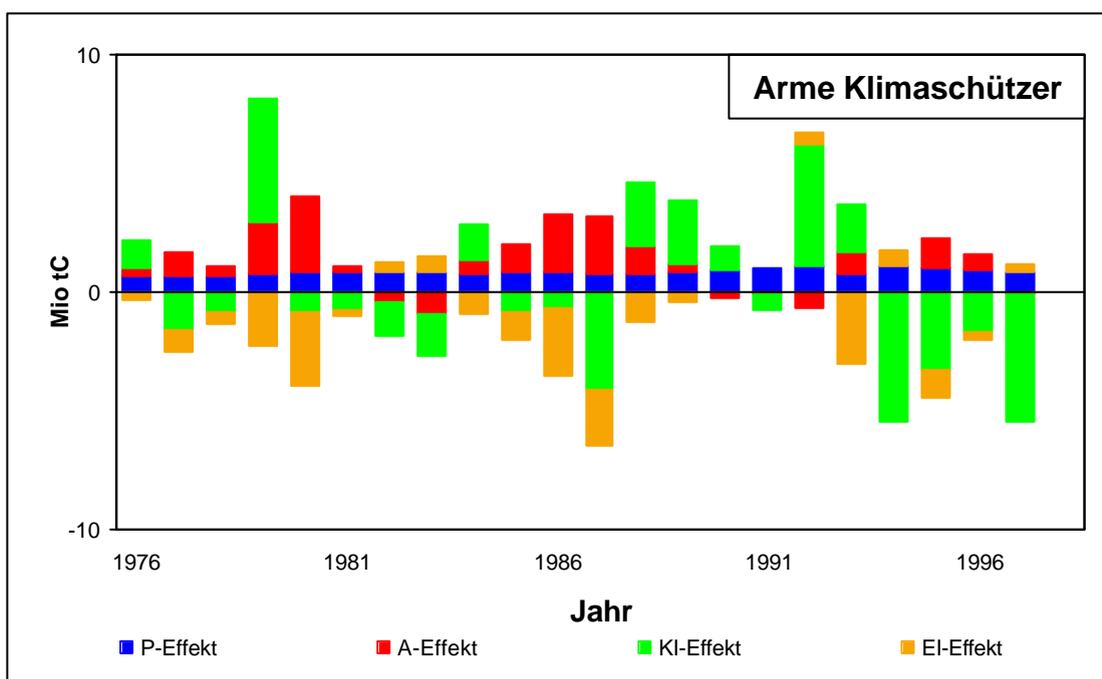


Abbildung 25: Cluster 1: Anteile der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen im Zeitverlauf

Der Bevölkerungseffekt ist über den gesamten Zeitraum relativ konstant. Wie in der globalen Betrachtung (siehe Abbildung 23) verlaufen die der Wohlstands- und der Energieintensitätseffekt in hohem Maße spiegelbildlich.

Da die gesamten CO₂-Emissionensänderungen vollständig den definierten Determinanten zugeordnet werden, 2 Effekte (A und EI) sich gegenseitig fast aufheben, der dritte Effekt (P) relativ konstant ist, werden die Veränderungen der CO₂-Emissionen nahezu vollständig durch den Kohlenstoffintensitätseffekt erklärt. Das wird durch die Korrelationsanalyse (Tabelle 25) bestätigt.

ΔCO_2em	P-Effekt	A-Effekt	KI-Effekt	EI-Effekt
Pearsons Korrelationskoeffizient (N = 23)	-0,0087	-0,02398	0,98197	-0,07686

Tabelle 25: Korrelationskoeffizienten der Änderungen der CO₂-Emissionen zu den durch Dekomposition ermittelten Effekten der sozio-ökonomischen Determinanten – Cluster 1

Fast alle Änderungen der CO₂-Emissionen wurden im zeitlichen Verlauf im Beobachtungszeitraum 1975-98 in Cluster 1 durch den Kohlenstoffintensitätseffekt bestimmt.

Dieses Bild der Dekomposition in Cluster 1 muss hinsichtlich der Kohlenstoffintensität jedoch teilweise relativiert werden.

Der erste Grund ist inhaltlicher Natur, der zweite rechnerischer.

Wie in Abschnitt 4.1.1 beschrieben, werden bei den Daten des CDIAC nur die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe berücksichtigt. Das hat durchaus seine Berechtigung, da nur dieser Kohlenstoff lange Zeit nicht im Atmosphärenkreislauf des Kohlenstoffs war. Bei der Verbrennung von Biomasse entsteht jedoch genauso Kohlendioxid, das in die Atmosphäre gelangt. Nur wenn man von einer nachhaltigen Landnutzung ausgeht, also nur soviel Biomasse entnommen wird, wie nachwächst, entnehmen die Pflanzen der Atmosphäre die Menge an CO₂, die später bei deren Verbrennung wieder zurückemittiert wird. Nur dann kann von einer relativ ausgeglichenen CO₂-Bilanz gesprochen werden. Da in der hier beschriebenen Ländergruppe jedoch armutsbedingt nicht von einer nachhaltigen Landnutzung ausgegangen werden kann, ist der Indikator Kohlenstoffintensität dementsprechend verzerrt.

Die Ergebnisse der Dekompositionsanalyse des Clusters 1 werden weiter relativiert, wenn man sich die Höhe der Residuen der einzelnen Effekte näher ansieht (siehe Abschnitt 7.1.1).

Die Dekomposition über den Clusterdatensatz zeigt schon leicht erhöhte Residuen, die in Übereinstimmung mit Park (1992), Ang und Lee (1994) und Sun und Ang (2000) als Interaktionen der einzelnen Faktoren interpretiert werden und als Indiz dafür gelten, dass die ausgewählten Faktoren nicht besonders gut geeignet sind, den beschriebenen Prozess zu

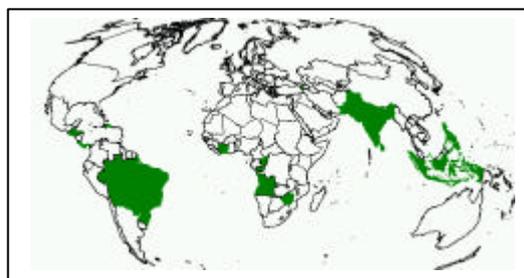
erklären. Was durch die Summierung über die Länder insgesamt noch kaschiert wird, tritt beim weiteren *downscaling* auf die Länder des Clusters weit deutlicher zu Tage.

Bei der nationalen Dekomposition des Clusters 1 weisen 14% der Fälle Residuen auf, die mehr als 10% der Gesamteffekte ausmachen³¹, bei 3,1% der Fälle machen diese Residuen sogar mehr als 20% aus. Diese hohen Residuen betrafen zu 87% den Energieintensitätseffekt (EI), zu 51% den Wohlstandseffekt (A) und zu 45% den Bevölkerungseffekt (P). In nur einem einzigen Fall (1,8%) hatte jedoch der Effekt der Kohlenstoffintensität (KI) einen Residualanteil von 12% (Doppelnennungen waren natürlich möglich).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für den Cluster 1, als der Gruppe der Ärmsten, die definierten sozio-ökonomischen Determinanten nur bedingt geeignet sind, die Prozesse, die für den Ausstoß von CO₂-Emissionen verantwortlich sind, zu erklären. Durch die Analyse wurde deutlich, dass einzig der Kohlenstoffintensität im Untersuchungszeitraum Auswirkungen auf die Änderungen der CO₂-Emissionen nachzuweisen waren. Die derzeit mögliche Art der Quantifizierung dieses Faktors, geht an der Realität dieser Ländergruppe jedoch teilweise vorbei, da auf grund der nichtnachhaltigen Landnutzung deren CO₂-Bilanz nicht ausgeglichen ist und demzufolge CO₂-Emissionen aus traditionellen Energieträgern für die Berechnung der Kohlenstoffintensität mit berücksichtigt werden müssten..

7.2.2.2 Energiehungrige Kleinemittenten (Cluster 2)

Die Länder des Clusters 2 sind ebenfalls als arm zu bezeichnen, sie haben jedoch einen ersten Schritt aus der Armutsfalle geschafft. Eine wirtschaftliche Entwicklung ist, wenn auch schwierig, so doch erkennbar. Für einen detaillierteren Einblick in die allgemeine wirtschaftliche Situation dieser Länder sei an dieser Stelle auf Kapitel 6 verwiesen.



Die Länder dieses Clusters haben im Beobachtungszeitraum 1975-98 ihre CO₂-Emissionen um das 3,5fache gesteigert. Die Dekomposition zeigte, dass ohne die „Einsparungen“, die sich durch verbesserte Energieintensität ergaben, eine Steigerung um das 4,2 fache erfolgt wäre. Diese Mehremissionen wurden zu ca. 22,5% dem Bevölkerungseffekt, zu 57,5% dem Wohlstandseffekt und zu 20% der verschlechterten Kohlenstoffintensität zugerechnet. Die

³¹ Das sind vor allem Kamerun, Ethiopien, Nicaragua, Benin, Haiti, Nigeria, Senegal und Togo.

beschriebenen Effekte konnten im Cluster 2 zu 40% von der verbesserten Energieintensität abgefangen werden.

Effekt (Mio tC)	Zeitraum 1975-1998	mittlerer jährlicher Effekt	Standardabweichung der beobachteten Werte	Minimum	Maximum
ΔCO_2em	370,82	16,12	10,26	4,12	47,14
P-Effekt	140,62	6,11	1,60	3,73	9,29
A-Effekt	360,62	15,68	10,03	-5,27	31,17
KI-Effekt	122,94	5,35	7,43	-4,59	26,77
EI-Effekt	-253,35	-11,02	8,64	-29,51	3,48

Tabelle 26: Effekte der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen im Zeitraum von 1975-98 – Cluster 2

Betrachtet man den zeitlichen Verlauf der einzelnen Effekte (Abbildung 26), wird deutlich, dass der Bevölkerungseffekt während des gesamten Beobachtungszeitraumes kontinuierlich anstieg von ca. 3,5% im Jahre 1975 auf ca. 9,5% in 1998.

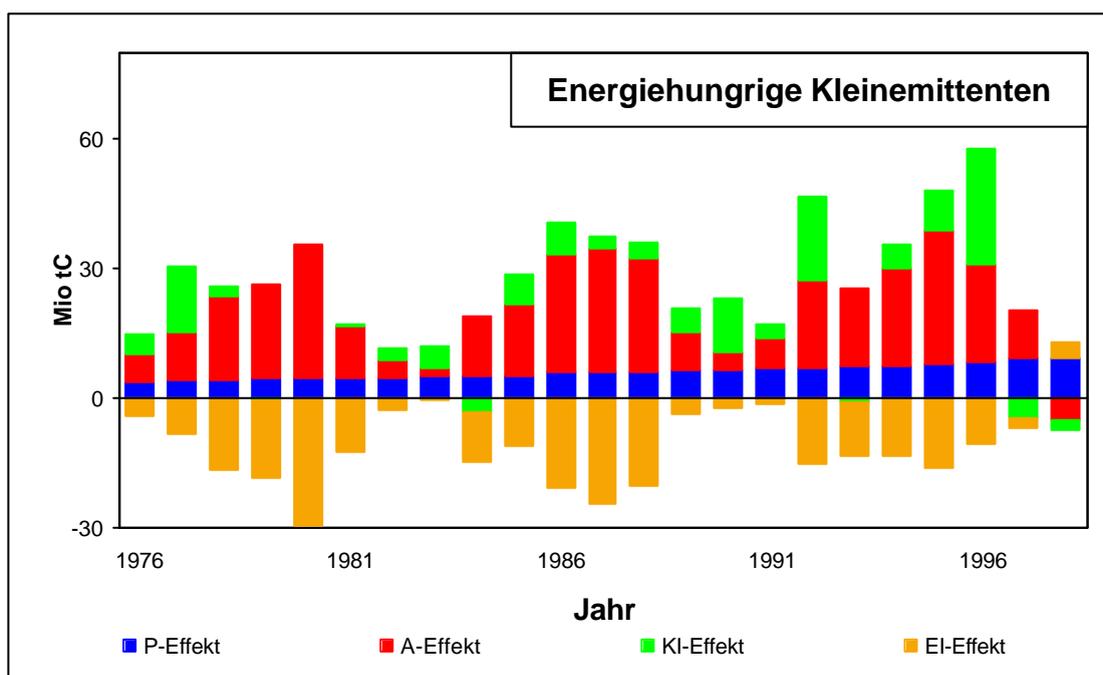


Abbildung 26: Cluster 2: Anteile der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen im Zeitverlauf

Die Wohlstands- und Energieintensitätseffekte verlaufen weitgehend spiegelbildlich. Sie weisen eine, im Vergleich zum Cluster 1, größere Spreizung auf. Jedoch kann der Energieintensitätseffekt (EI-Effekt) nur etwa 70% des Wohlstandseffektes (A-Effekt) abfangen. Die allgemeinen wirtschaftlichen Konjunkturzyklen sind in Cluster 2 deutlich zu sehen. Bezeichnend für Cluster 2 ist die sich verschlechternde Kohlenstoffintensität. Sie

führte in den allermeisten Beobachtungszeiträumen zu zusätzlichen CO₂-Emissionen, was durch die zunehmende Verwendung fossiler Brennstoffe statt traditioneller Biomasse verursacht wurde. Die Korrelationsanalyse der jährlichen Emissionsänderungen mit den Effekten der definierten sozio-ökonomischen Bestimmungsfaktoren quantifiziert diese Beobachtungen wie folgt:

ΔCO_2em	P-Effekt	A-Effekt	KI-Effekt	EI-Effekt
Pearsons Korrelationskoeffizient (N = 23)	0,44174	0,33230	0,89347	-0,04993

Tabelle 27: Korrelationskoeffizienten der Änderungen der CO₂-Emissionen zu den durch Dekomposition ermittelten Effekten der sozio-ökonomischen Determinanten – Cluster 2

Die Änderungen der CO₂-Emissionen wurden im Beobachtungszeitraum 1975-98 im zeitlichen Verlauf in Cluster 2 maßgeblich durch den Kohlenstoffintensitätseffekt bestimmt. Auch Bevölkerungseffekt und Veränderungen der CO₂-Emissionen zeigten im Cluster 2 eine mittlere lineare Abhängigkeit zueinander. Weiter abgeschwächt aber immer noch leicht linear war die Beziehung zwischen Wohlstandseffekt und Emissionsänderungen. Für den Energieintensitätseffekt konnte kein linearer Zusammenhang zur Änderung der CO₂-Emissionen nachgewiesen werden, auch wenn diesem durch die Dekompositionsanalyse die größten absoluten Reduktionen zukamen.

Die Analyse der Residuen zeigt ein prinzipiell ähnliches Muster wie in Cluster 1. Beim Clusterdatensatz (siehe Abschnitt 6.1) treten durch die Dekomposition keine nennenswerten Residualterme auf. Bei der Dekompositionsanalyse der einzelnen Länder des Clusters 2 weisen 17% (Cluster 1 14%) der Fälle Residuen auf, die mehr als 10% der Gesamteffekte ausmachen³², bei 3,4% der Fälle machen diese Residuen sogar mehr als 20% aus. Diese hohen Residuen betrafen wieder vor allem den Energieintensitätseffekt (EI) mit 90%, zu je 47% den Wohlstandseffekt (A) und den Bevölkerungseffekt (P).

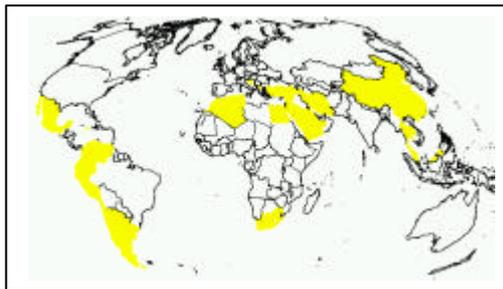
Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in Cluster 2 die Kohlenstoffintensität den Prozess der Änderungen der CO₂-Emissionen dominiert, aber auch die Bevölkerungsdeterminante ihren erklärenden Anteil am Gesamtprozess im Vergleich zu Cluster 1 steigern konnte. Die Energieintensität, die laut Dekompositionsanalyse zwar die meisten „Mehremissionen“ verhindern konnte, eignet sie sich nicht als erklärende Variable der Emissionsänderungen im Cluster 2.

³² Das sind vor allem Kongo, Elfenbeinküste, Dominikanische Rep., Guatemala, Indonesien, Nepal, Panama, Paraguay und Sri Lanka.

7.2.2.3 Aufstrebende Kleinemittenten

(Cluster 3)

Die Länder des Clusters 3 haben die nächste Stufe der Wohlstandsentwicklung erreicht. Wobei es schwer fällt, die Länder des Nahen Ostens mit beispielsweise China gemeinsam zu charakterisieren.



Die Cluster-3-Länder haben im Beobachtungszeitraum 1975-98 ihre CO₂-Emissionen um das 2,7 fache gesteigert, wobei sie 1975 bereits ein leicht höheres Niveau hatten als die Länder des Cluster 2 am Ende des Untersuchungszeitraumes 1998.

Die Dekompositionsanalyse ergab, dass, ohne die „Einsparungen“, durch eine verbesserte Energieintensität, eine Steigerung um das 3,7fache erfolgt wäre. Diese Mehremissionen wurden zu ca. 18% dem Bevölkerungseffekt, zu 79% dem Wohlstandseffekt und zu 3% der verschlechterten Kohlenstoffintensität zugerechnet. Diese Effekte konnten zu 54% von der verbesserten Energieintensität aufgefangen werden.

Effekt (Mio tC)	Zeitraum 1975-1998	mittlerer jährlicher Effekt	Standardabweichung der beobachteten Werte	Minimum	Maximum
ΔCO_2em	981,49	42,67	27,80	-37,84	91,15
P-Effekt	381,98	16,61	3,18	11,20	19,87
A-Effekt	1689,57	73,46	37,73	11,46	130,77
KI-Effekt	68,37	2,97	18,00	-39,54	35,26
EI-Effekt	-1158,42	-50,37	33,05	-109,74	0,81

Tabelle 28: Effekte der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen im Zeitraum von 1975-98 – Cluster 3

Zerlegt man den gesamten Beobachtungszeitraum in einzelne Zeitschritte, wird ein kontinuierlicher Anstieg des Bevölkerungseffektes von ca. 11 Mio tC im Jahre 1975 auf ca. 19 Mio tC in 1998 sichtbar. Die Wohlstands- und Energieintensitätseffekte, die in Cluster 1 und 2 noch weitgehend umgekehrt proportional zueinander verliefen, zeigen vor allem in den letzten Jahren erste Entkopplungen. Diese Entkopplung verlief nur leider nicht in die emissionsenkende Richtung. Das heißt, dass vor allem in den letzten Jahren die wohlstandsbedingten CO₂-Emissionssteigerungen nicht mehr von Energieintensitätssteigerungen kompensiert werden konnten.

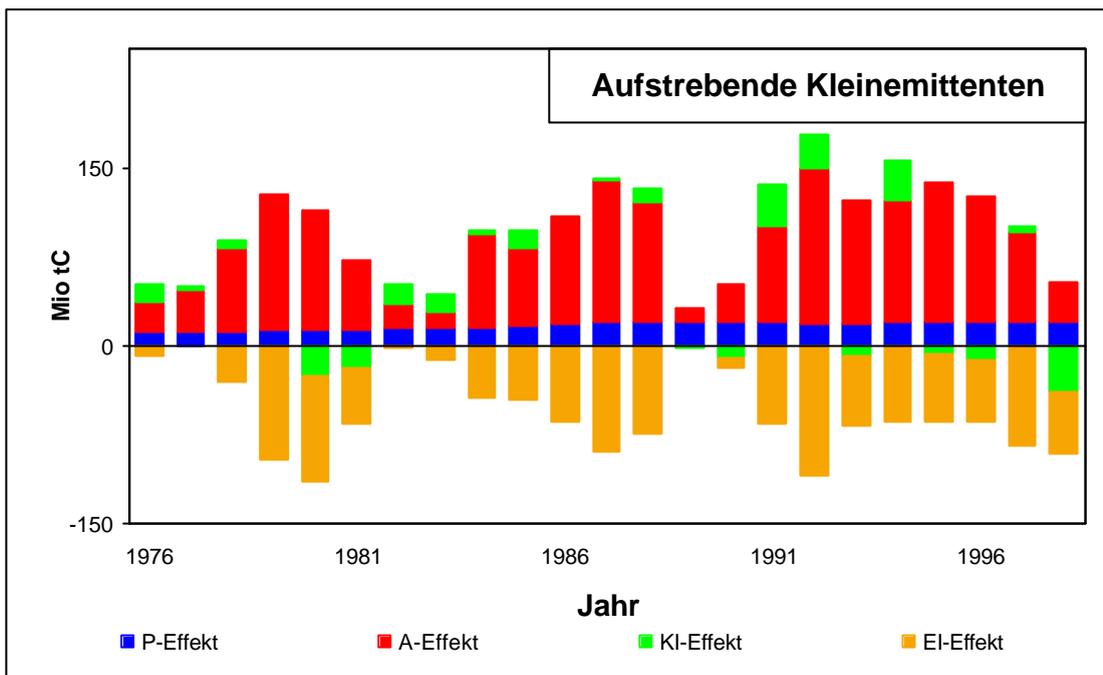


Abbildung 27: Cluster 3: Anteile der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen im Zeitverlauf

Die Kohlenstoffintensität konnte nur in 10 von 23 Zeitintervallen theoretisch eine Verringerung der CO₂-Emissionen bewirken. In 13 Zeitintervallen führte das ungünstigere Verhältnis von CO₂-Emissionen zu Primärenergieverbrauch zu zusätzlichen Emissionen. Ein Zeichen, dass auch in Cluster 3 in beträchtlichen Maße traditionelle Biomasse durch fossile Brennstoffe ersetzt wurde.

Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse der Emissionsänderungen mit den Effekten der definierten Determinanten zeigt Tabelle 29.

ΔCO_2em	P-Effekt	A-Effekt	KI-Effekt	EI-Effekt
Pearsons Korrelationskoeffizient (N = 23)	0,16647	0,41013	0,73875	-0,04528

Tabelle 29: Korrelationskoeffizienten der Änderungen der CO₂-Emissionen zu den durch Dekomposition ermittelten Effekten der sozio-ökonomischen Determinanten – Cluster 3

Der Bevölkerungseffekt hatte im Beobachtungszeitraum 1975-98 im Cluster 3 keinen nennenswerten Einfluss auf die Änderungen der CO₂-Emissionen. Erstmals jedoch der Wohlstandseffekt, dessen Korrelationskoeffizient von Cluster zu Cluster anstieg. So wie der Wohlstandseffekt von Cluster zu Cluster an Aussagekraft bezüglich der Änderungen der CO₂-Emissionen gewinnt, nimmt die des KI-Effektes ab. Auch in Cluster 3 ist der zeitliche Verlauf der CO₂-Änderungen von dem des Energieintensitätseffektes losgelöst.

Die Analyse der Residuen zeigt wiederum ein besseres Bild als bei Cluster 1 und 2. Beim Clusterdatensatz entstanden keine nennenswerten Residualterme.

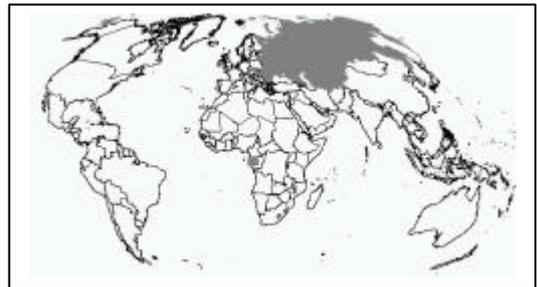
Bei der Analyse der einzelnen Länder des Clusters 3 weisen zwar noch immer 15% der Fälle Residuen auf, die mehr als 10% der Gesamteffekte ausmachen³³, aber bei nur noch 1,5% der Fälle machen diese Residuen mehr als 20% aus. Diese Residuen, die zwischen 10 und 20% des Gesamteffektes ausmachten, betrafen wieder mehrheitlich Energieintensitätseffekt (EI) mit 78%, in Cluster 3 jedoch auch die 3 anderen Effekte zu je 16%.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in Cluster 3 der zeitliche Verlauf der Effekte, die auf die Kohlenstoffintensität zurückzuführen sind, den Verlauf der CO₂-Änderungen am stärksten prägen, die der Wohlstandsdeterminante jedoch auch. Die zeitliche Veränderung des Bevölkerungseffektes ist nahezu unabhängig von den Emissionsänderungen, genauso wie die der Energieintensität. Auch wenn durch die verbesserte Energieintensität ein Großteil der durch die anderen Effekte verursachten Mehremissionen abgefangen werden konnten, eignet sie sich nicht als erklärende Variable der Emissionsänderungen im Cluster 3.

7.2.2.4 Absteigende Mittelemittenten

(Cluster 4)

Die absteigenden Mittelemittenten sind im wesentlichen die ehemals planwirtschaftlich organisierten Länder Südost- und Osteuropas, deren wirtschaftlicher Zusammenbruch dem politischen Zusammenbruch des Sozialismus Anfang der 90er Jahre des vergangenen Jahrhunderts folgte.



Der Cluster 4 lässt sich nur sehr bedingt mit den anderen Clustern vergleichen, da die ihm zugeordneten Staaten erst seit Anfang der 90er Jahre existieren und deren Datenerfassung sicher noch manche Schwachstelle haben dürfte. Etliche der unplausiblen Werte des Ausgangsdatensatzes (siehe Kapitel 4) traten den Ländern auf, die zu Cluster 4 zusammengefasst wurden. Für alle anderen Cluster konnten mit geringfügigen Inter- oder Extrapolationen komplette Zeitreihen für den Zeitraum von 1975 bis 1998 erstellt werden (siehe Abschnitt 6.1). Für die Cluster-4-Länder macht das ganz offensichtlich keinen Sinn. Der Basisdatensatz umfasst deshalb lediglich den Zeitraum 1991 bis 1998. Bei allen Langfristanalysen der vorliegenden Arbeit wurde dieser Cluster deshalb nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse der Dekompositionsanalyse für Cluster 4 werden zum besseren Lesefluss

³³ Das betrifft vor allem Algerien, Ecuador, Jamaica, Jordanien, Malaysia, Saudi Arabien, Syrien und Thailand.

genauso dargestellt wie für die anderen Cluster, sollten jedoch insgesamt zurückhaltend interpretiert werden.

Die Dekomposition wurde für den Zeitraum von 1991-98 vorgenommen, was bei Quervergleichen zwischen den Clustern berücksichtigt werden sollte.

Im Cluster 4 sanken in diesem Beobachtungszeitraum die tatsächlichen CO₂-Emissionen um ca. 30%, etwa 300 Mio tC. Damit ist der Cluster 4 der einzige mit tatsächlichen Emissionsminderungen, wenn auch nur für den verkürzten Zeitraum 91-98. Das ist eine klare Folge des wirtschaftlichen Zusammenbruchs, den die Länder dieses Clusters durchlebten. Der Großteil dieser Verminderungen wurde durch die Dekomposition dem Wohlstandseffekt (A-Effekt) zugerechnet. Auch das Verhältnis von CO₂-Emissionen zum Energieverbrauch führte zu rechnerischen Minderemissionen.

Effekt (Mio tC)	Zeitraum 1991-1998	mittlerer jährlicher Effekt	Standardabweichung der beobachteten Werte	Minimum	Maximum
ΔCO_2em	-306,17	-43,74	38,09	-113,35	-16,64
P-Effekt	0,20	0,03	1,27	-1,30	1,93
A-Effekt	-271,87	-38,84	41,99	-94,26	5,79
KI-Effekt	-42,63	-6,09	9,36	-22,27	4,95
EI-Effekt	8,14	1,16	28,47	-36,76	54,00

Tabelle 30: Effekte der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen im Zeitraum von 1975-98 – Cluster 4

Der Energieintensitätseffekt (EI), der in allen anderen Clustern die größten CO₂-Minderungen verbuchen konnte, hatte in Cluster 4 insgesamt kein Einsparpotential. Im Gesamtzeitraum von 1991-1998 hat sich das Verhältnis von Energieverbrauch zu BIP so ungünstig verändert, das es sogar zu zusätzlichen CO₂-Emissionen kam. Für den Cluster 4 heißt das, dass insgesamt das BIP schneller zu zurück ging als der Energieverbrauch, ein allgemeines Phänomen, das die relative Trägheit des Energieverbrauches im Vergleich zur wirtschaftlichen Entwicklung deutlich macht.

Der Bevölkerungseffekt kann im Cluster 4 für den Beobachtungszeitraum als unbedeutend eingeschätzt werden.

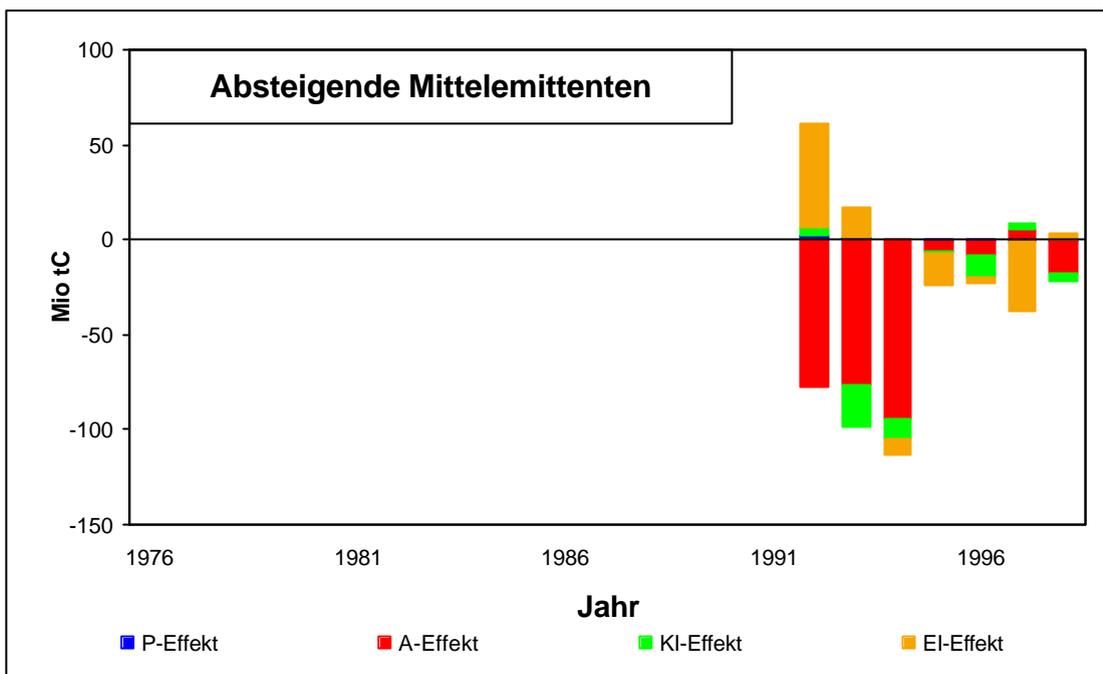


Abbildung 28: Cluster 4: Anteile der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen im Zeitverlauf

Die Analyse in jährlichen Zeitschritten ist auf grund des verkürzten Beobachtungszeitraumes natürlich eingeschränkt. Bis 1995 war der Systemzusammenbruch besonders deutlich. Das Nachhinken des Energieverbrauchs hinter dem wirtschaftlichen Rückgang wird anhand des Energieintensitätseffektes besonders deutlich, der gerade in den ersten Zusammenbruchsjahren zu Mehr- anstatt zu Minderemissionen führte.

Die Korrelationsanalyse als Indiz für die lineare Abhängigkeit, die die einzelnen Effekte der Determinanten auf die Änderungen der CO₂-Emissionen haben, belegt die Sonderstellung des Clusters 4 im Gesamtgefüge der 6 energiewirtschaftlichen Ländertypen.

ΔCO_2em	P-Effekt	A-Effekt	KI-Effekt	EI-Effekt
Pearsons Korrelationskoeffizient (N = 8)	-0,29908	0,70629	0,63795	0,10011

Tabelle 31: Korrelationskoeffizienten der Änderungen der CO₂-Emissionen zu den durch Dekomposition ermittelten Effekten der sozio-ökonomischen Determinanten – Cluster 4

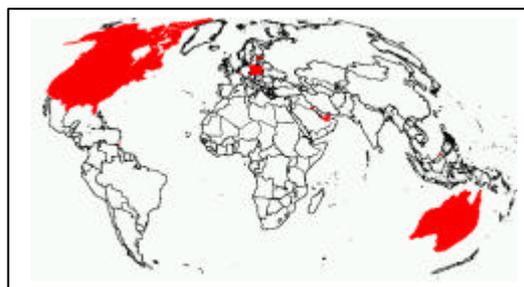
Den Veränderungen der CO₂-Emissionen konnte kein nennenswerter linearer Zusammenhang zum Bevölkerungs- (P) und zum Energieintensitätseffekt (EI) durch die Korrelationsanalyse nachgewiesen werden. Der Wohlstandseffekt ist für Cluster 4 als bester Indikator für die Emissionsveränderungen zu verstehen. Der Korrelationskoeffizient zwischen dem Kohlenstoffintensitätseffekt und den CO₂-Veränderungen weist auf einen mittleren linearen Zusammenhang hin.

Die Analyse der Residuen zeigte in 1,7% der Fälle Residuen, die mehr als 20% des Gesamteffektes ausmachten (das betraf den Wohlstandseffekt von Georgien, genau die BIP-Daten, die aus der UNO-Datenbank zusätzlich genommen wurden, weil die Weltbank keine enthielt). In 7% der Fälle machten die Residuen mehr als 10% des Gesamteffektes aus mehrheitlich waren diese erhöhten Residuen beim Energieintensitätseffekt zu beobachten.

7.2.2.5 Energieintensive Spitzenemittenten

(Cluster 5)

Die Länder des Clusters 5 sind im wesentlichen sehr reiche Länder. Sie haben einen hohen Wohlstand, der allerdings auch mit den höchsten CO₂-Emissionen einhergeht, sowohl absolut als auch in noch stärkerem Maße pro Kopf der Bevölkerung.



Im Beobachtungszeitraum 1975-98 sind die Emissionen weiter um 30% gestiegen, dieses Wachstum basierte jedoch auf bereits sehr hohem Niveau. Die zusätzlichen Emissionen wurden insgesamt im wesentlichen durch den Bevölkerungseffekt (17%) und den Wohlstandseffekt (83%) verursacht. Der überwiegende Teil der wohlstands- und bevölkerungsbedingten Mehremissionen konnte jedoch von den beiden Technologiedeterminanten Kohlenstoff- und Energieintensitätseffekt abgefangen werden. Ohne diesen Technologieeffekt wäre der zusätzliche CO₂-Ausstoß im Beobachtungszeitraum noch um das 5,3fache höher gewesen.

Effekt (Mio tC)	Zeitraum 1975-1998	mittlerer jährlicher Effekt	Standardabweichung der beobachteten Werte	Minimum	Maximum
ΔCO_2em	437,30	19,01	38,56	-66,90	88,15
P-Effekt	397,11	17,27	3,21	12,97	23,02
A-Effekt	1929,36	83,89	56,75	-39,53	204,62
KI-Effekt	-36,56	-1,59	16,20	-41,29	34,00
EI-Effekt	-1852,61	-80,55	56,68	-216,44	-4,84

Tabelle 32: Effekte der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen im Zeitraum von 1975-98 – Cluster 5

Die „Einsparungen“ beruhten im wesentlichen auf dem Energieintensitätseffekt (EI), der 98% der Mehremissionen verhinderte. Das heißt, dass der große Wohlstandsgewinn (das BIP stieg auf das 4,7 fache von 1975-98) dieses Clusters mit vergleichsweise geringem zusätzlichen

Energieverbrauch (der Energieverbrauch stieg um 36% im Beobachtungszeitraum) geschafft wurde. Es heißt aber nicht, dass der Energieverbrauch insgesamt zurückging. In keinem anderen Cluster wurde die Wohlstandsentwicklung (gemessen in BIP pro Kopf) so stark durch die Entwicklung der Energieintensität kompensiert.

Der Kohlenstoffintensitätseffekt war sehr unterschiedlich im Cluster 5. In manchen Jahren konnte sich das Verhältnis von CO₂-Emissionen zu Primärenergieverbrauch so verändern, dass dieses Verhältnis ein Einsparpotential von 41 Mio t C (1978) hatte, in anderen Jahren wurden diesem Effekt zusätzliche Emissionen bis zu 34 Mio t C (1993) zugerechnet.

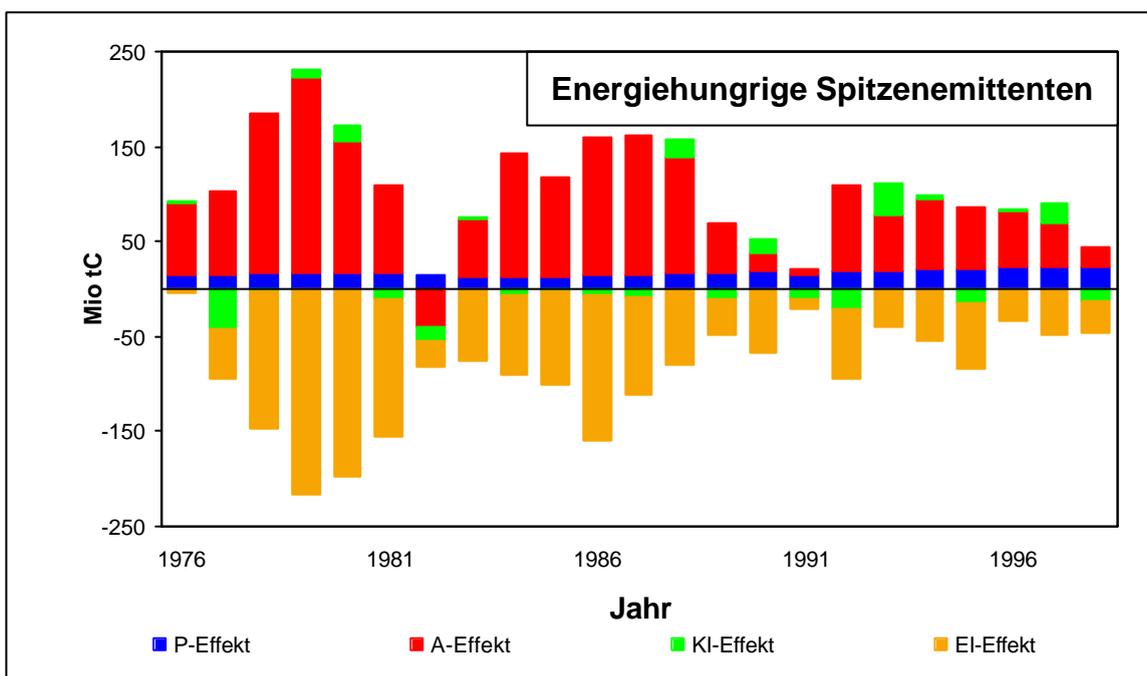


Abbildung 29: Cluster 5: Anteile der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen im Zeitverlauf

Zu Beginn der 80er Jahre ist ein deutlicher Rückgang sowohl der CO₂-Änderungen als auch des Wohlstandseffektes zu verzeichnen. Von 1981 bis 82 ist der einzige Zeitraum in Cluster 5 in dem es wohlstandsbedingt zu Senkungen der CO₂-Emissionen kam, eine kurzzeitige Folge der Ölkrise, die in keinem anderen Cluster ähnlich starke Auswirkungen hatte.

Wie in allen anderen Clustern auch, konnte durch die Dekomposition der Bevölkerung ein sehr kontinuierlicher und leicht wachsender (von 14,5 bis 23 Mio t C) Effekt auf die CO₂-Emissionen innerhalb des gesamten Wirkmechanismus der sozio-ökonomischen Bestimmungsfaktoren nachgewiesen werden.

Auch in Cluster 5 wird der spiegelbildliche Verlauf des Wohlstands- und Energieintensitätseffektes sichtbar, der in den 90er Jahren leicht zurück geht.

Mit Hilfe der Korrelationsanalyse sollte herausgefunden werden, wie stark der lineare Zusammenhang der Effekte der einzelnen Determinanten zu den Änderungen der CO₂-Emissionen in Cluster 5 war. Die Ergebnisse sind in Tabelle 33 zusammengefasst.

ΔCO_2em	P-Effekt	A-Effekt	KI-Effekt	EI-Effekt
Pearsons Korrelationskoeffizient (N = 23)	0,10182	0,32040	0,37955	0,24535

Tabelle 33: Korrelationskoeffizienten der Änderungen der CO₂-Emissionen zu den durch Dekomposition ermittelten Effekten der sozio-ökonomischen Determinanten – Cluster 5

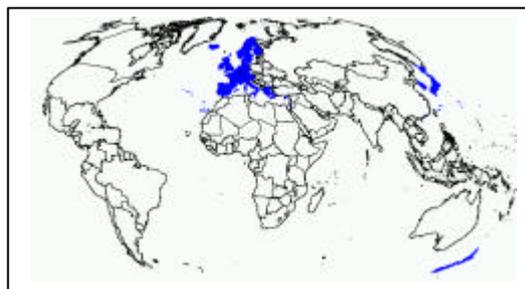
Auch hier zeigt sich wieder, dass der Bevölkerungs- und der Energieintensitätseffekt keine guten Indikatoren für die Änderungen der CO₂-Emissionen sind. Im Zeitraum 1975-98 war im Cluster 5 ein schwacher linearer Zusammenhang des zeitlichen Verlaufs von Wohlstandseffekt und den Emissionsänderungen zu beobachten. Bemerkenswert ist jedoch die Entkopplung von CO₂-Änderungen zum Kohlenstoffintensitätseffekt, in keinem Cluster ist eine geringere zeitliche Gleichentwicklung zu beobachten gewesen.

Die Analyse der Residuen ergab, dass in 17% der Fälle mehr als 10% des jeweiligen Effektes in deren Residualterm steckte (das trat vor allem in Bahrain, Kuwait, Singapur, Trinidad und Tobago und den Vereinigten Arabischen Emiraten auf), in 3,4% lag dieser Anteil bei über 20%. Auch entfielen diese Residualterme erstmals auf alle 4 Effekte mehr oder weniger gleich.

7.2.2.6 Entkarbonisierende Mittelemittenten

(Cluster 6)

Der Cluster 6 ist die zweite Gruppe der reichen Länder. Dieser Reichtum ist allerdings mit weniger großem Energieverbrauch und demzufolge mit geringeren CO₂-Emissionen erreicht worden. Die Pro-Kopf-Emissionen des Clusters 6 sind nicht einmal halb so groß wie die des Clusters 5.



Im gesamten Beobachtungszeitraum 1975-1998 sind die Emissionen auch in diesem Cluster gestiegen, wenn auch um vergleichsweise moderate 13% und auch im Vergleich zu den Clustern 1-3 auf einem hohen Niveau. Dieser Anstieg der Emissionen wurde im wesentlichen durch die wirtschaftliche Entwicklung verursacht, der durch die Dekompositionsanalyse 92% der gesamten Mehremissionen zugerechnet wurden. 8% der Mehremissionen entfielen auf den Bevölkerungseffekt im Zeitraum 1975-1998 für den Cluster 6. Auch in Cluster 6 wurde der größte Teil dieser potentiellen Mehremissionen durch die Technologiedeterminanten

abgefangen (91%). Der größte Teil dieses Einsparpotentials entfiel auf die Energieintensität. Jedoch konnte die Kohlenstoffintensität ebenfalls 23% des Einsparpotentials für sich verbuchen. Das schaffte keine andere Ländergruppe in vergleichbarem Maße.

Effekt (Mio tC)	Zeitraum 1975-1998	mittlerer jährlicher Effekt	Standardabweichung der beobachteten Werte	Minimum	Maximum
ΔCO_2em	159,73	6,94	36,64	-4,32	82,50
P-Effekt	139,78	6,08	1,23	4,34	8,52
A-Effekt	1670,42	72,63	42,52	-13,53	160,89
KI-Effekt	-382,29	-16,62	13,87	-37,11	9,48
EI-Effekt	-1268,17	-55,14	48,82	-181,77	19,14

Tabelle 34: Effekte der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen im Zeitraum von 1975-98 – Cluster 6

Der Kohlenstoffintensitätseffekt konnte vor allem in den 80er Jahren einen nennenswerten Beitrag für die Änderungen der CO₂-Emissionen im Cluster 6 leisten, was zu einem nicht unerheblichen Teil durch den Ausbau der Kernenergie geschah. Mehremissionen konnten in viel geringerem Maße als in Cluster 5 auf das Verhältnis von CO₂-Emissionen zu Energieverbrauch zurückgeführt werden. Erreichte dieser Bestimmungsfaktor der CO₂-Emissionen in Cluster 6 mit zusätzlichen Emissionen in Höhe von 9,4 Mio t C (Zeitraum 1995 – 96) seinen schlechtesten Wert, so lag er in Cluster 5 mit 34 Mio t C (92-93) um ein Vielfaches höher.

In Cluster 6 konnten im Vergleich zu Cluster 5 30% weniger wohlstandsbedingte Mehremissionen von CO₂ durch eine verbesserte Energieintensität verhindert werden.

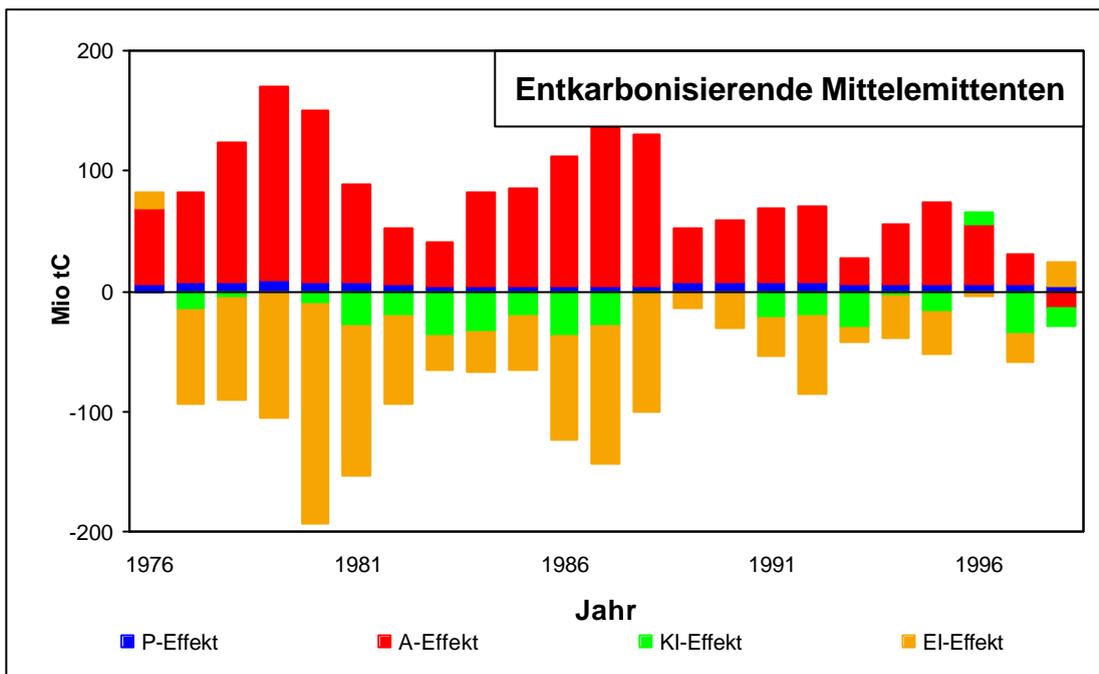


Abbildung 30: Cluster 6: Anteile der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen im Zeitverlauf

Analysiert man nun den linearen Zusammenhang der Änderungen der CO₂-Emissionen zu den durch die Dekompositionsanalyse berechneten Effekten der einzelnen definierten Determinanten ergeben sich weitere Unterschiede zwischen den Clustern.

ΔCO_2em	P-Effekt	A-Effekt	KI-Effekt	EI-Effekt
Pearsons Korrelationskoeffizient (N = 23)	0,1472	0,1464	0,9667	0,2221

Tabelle 35: Korrelationskoeffizienten der Änderungen der CO₂-Emissionen zu den durch Dekomposition ermittelten Effekten der sozio-ökonomischen Determinanten – Cluster 6

Im zeitlichen Verlauf folgen die CO₂-Emissionen nach wie vor am stärksten dem Kohlenstoffintensitätseffekt (KI), jedoch hat erstmalig auch die zweite Technologiedeterminante (EI) eine Entwicklung genommen, die einen Erklärungsgehalt für die Emissionsänderungen hat.

Die Entwicklung der Bevölkerungs- (P) und Wohlstandsdeterminante (A) konnte keinen Erklärungsbeitrag zu den Änderungen der CO₂-Emissionen liefern.

Die Analyse der Residuen ergab, dass im Cluster 6 weit weniger Fälle mit relativ großen Residualtermen auftraten als in den anderen Ländergruppen. In 4% der Fälle traten Residuen auf, die mehr als 10% des Gesamteffektes ausmachten. In nur 0,3% machten diese Residuen gar mehr als 20% aus. Diese hohen Residuen traten überwiegend beim Energieintensitätseffekt (EI) auf, sind jedoch auch bei den anderen 3 Effekten entstanden.

7.2.3 Die Wirkung der sozio-ökonomischen Determinanten auf die Änderung der CO₂-Emissionen - ein Überblick

Anhand der Abbildung 31 sollen die Wirkungen der einzelnen sozio-ökonomischen Determinanten auf die Änderungen der CO₂-Emissionen, die mit Hilfe der Dekompositionsanalyse quantifiziert wurden, noch einmal im Überblick dargestellt werden. Dabei stellen in der Abbildung 31 die kleinen Punkte die errechneten Effekte der jährlichen Dekomposition für die einzelnen Cluster in deren spezifischen Farben dar, die größeren Kreise sind die errechneten Effekte des Gesamtzeitraumes 1975-1998.

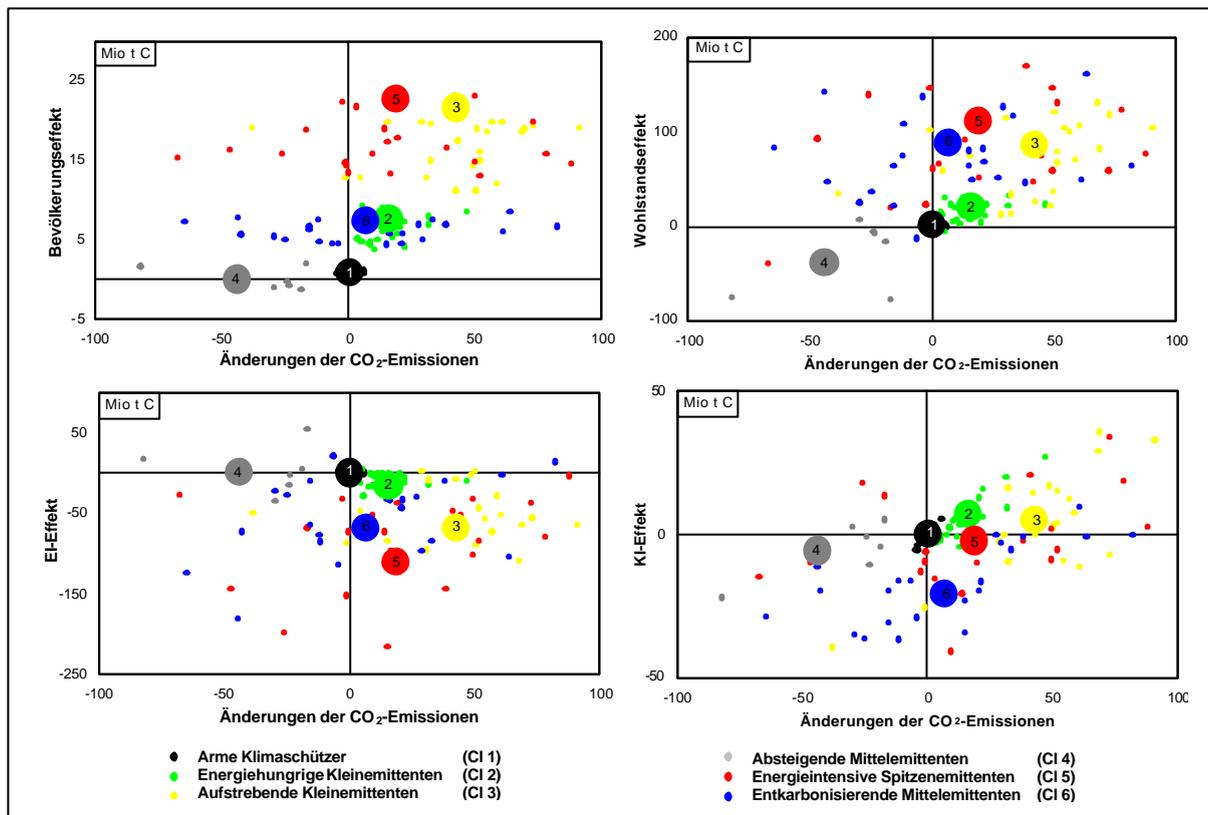


Abbildung 31: Energiewirtschaftliche Ländertypen: Effekte der sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen

Der Bevölkerungseffekt führte bis auf die *armen Klimaschützer* (Cl 1) und die *absteigenden Mittelemittenten* (Cl 4) in der Summe zu vermehrten CO₂-Emissionen im Beobachtungszeitraum. Zerlegt man den gesamten Zeitraum jedoch in einzelne Jahressegmente wird deutlich, dass die Änderungen der CO₂-Emissionen relativ unabhängig vom Bevölkerungseffekt waren (Abbildung 31 links oben).

Interessant ist die Betrachtung des Wohlfandseffektes auch vor dem Hintergrund der Diskussion um die Existenz der *Environmental Kuznets Curve* bei globalen Umweltveränderungen wie dem anthropogenen Treibhauseffekt (siehe Abschnitt 3.2 S. 13).

Zusätzlich zur Abbildung 31 rechts oben werden die jeweiligen Korrelationskoeffizienten der Änderungen der CO₂-Emissionen und der durch Dekomposition errechneten Wohlstandseffekte (A-Effekt) der energiewirtschaftlichen Ländertypen in Tabelle 36 zusammengefasst. Der Cluster 4 wurde in dieser Tabelle nicht berücksichtigt. Auf grund seines verkürzten Beobachtungszeitraumes lässt sich dessen Korrelationskoeffizient nicht oder nur sehr eingeschränkt mit denen der anderen energiewirtschaftlichen Ländertypen vergleichen. Darüber hinaus ziehen sich die in Kapitel 4 bereits angesprochenen Zweifel an der Datenzuverlässigkeit etlicher Länder dieses Clusters natürlich durch jede Analyse.

Pearsons Korrelationskoeffizient (N=23) zwischen ΔCO_2em und A-Effekt				
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 5	Cluster 6
-0,02398	0,33230	0,41013	0,32040	0,14641

Tabelle 36: Die Stärke des linearen Zusammenhangs zwischen den Änderungen der CO₂-Emissionen und dem durch Dekomposition errechneten Wohlstandseffekt (A-Effekt) in den energiewirtschaftlichen Ländertypen

Tabelle 36 zeigt, dass in Cluster 1, der Gruppe der Ärmsten, die Änderungen der CO₂-Emissionen linear unabhängig zum durch Dekomposition ermittelten Wohlstandseffekt (A-Effekt) sind. Mit zunehmender Entwicklung (Cluster 2 und Cluster 3) findet ein leichter Kopplungsprozess statt, eine Tendenz, dass sich die lineare Abhängigkeit der Änderungen der CO₂-Emissionen zum Wohlstandseffekt erhöht, in Abbildung 31 rechts oben wird diese Beobachtung graphisch dargestellt. Mit weiter zunehmender Entwicklung tritt jedoch wieder eine Entkopplung der Änderungen der CO₂-Emissionen zum ermittelten Wohlstandseffekt auf. Hinsichtlich dieses Phänomens unterscheiden sich die *energieintensiven Spitzenemittenten* (CI 5) von den *entkarbonisierenden Mittelemittenten* (CI 6), bei denen diese Entkopplung schon weiter fortgeschritten ist. Aus der Sicht des Umweltschutzes sollte es jedoch ein Entwicklungsziel sein, zu einer zunehmenden umgekehrten Proportionalität von Änderungen der CO₂-Emissionen und Wohlstandseffekt zu kommen. Davon war jedoch auch Cluster 6 im Beobachtungszeitraum noch weit entfernt.

Im Zusammenspiel der definierten sozio-ökonomischen Determinanten waren im Beobachtungszeitraum 1975-98 die Bevölkerungs- und die Wohlstandsdeterminante die beiden, die zu erheblichen Mehremissionen an Kohlendioxid geführt haben. Ein Großteil (70% weltweit) dieser Mehremissionen konnte jedoch technologiebedingt verhindert werden. Tabelle 37 zeigt, wie stark die technologiebedingte Kompensation der bevölkerungs- und

wohlstandsbedingten Mehremissionen innerhalb der energiewirtschaftlichen Ländertypen variierte.

1975-98	CI 1	CI 2	CI 3	CI 5	CI 6
Anteil der Mehremissionen, der technologiebedingt kompensiert werden konnte	71%	40%	54%	81%	91%
Anteil der Kohlenstoffintensität (KI) an den technologiebedingten „Minderemissionen“ ³⁴	28%	-48%	-6%	2%	23%

Tabelle 37: Anteile der technologiebedingten „Minderemissionen“

In keinem Cluster reichte der technische Fortschritt aus, die bevölkerungs- und wohlstandsbedingten Mehremissionen vollständig zu kompensieren. Tatsächliche Emissionsreduktionen konnten im Beobachtungszeitraum nur dann erreicht werden, wenn es zu Einbrüchen hinsichtlich des wirtschaftlichen Wachstums kam (siehe Cluster 4 oder den Zeitraum Anfang der 80er Jahre in allen energiewirtschaftlichen Ländertypen).

Der Energieintensitätseffekt, der in allen energiewirtschaftlichen Ländertypen zwar die meisten wachstumsbedingten Mehremissionen verhindern konnte, zeigt in Abbildung 31 links unten jedoch kaum einen systematischen Zusammenhang zu den Änderungen der CO₂-Emissionen.

Pearsons Korrelationskoeffizient (N=23) zwischen ΔCO_2em und EI-Effekt				
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 5	Cluster 6
-0,07686	-0,04993	-0,04528	0,24535	0,42221

Tabelle 38: Die Stärke des linearen Zusammenhangs zwischen den Änderungen der CO₂-Emissionen und dem durch Dekomposition errechneten Energieintensitätseffekt (EI-Effekt) in den energiewirtschaftlichen Ländertypen

Tabelle 38 lässt die Vermutung zu, dass auf einem hohen Wohlstandsniveau eine Kopplung von Energieintensitätseffekt und den Änderungen der CO₂-Emissionen entstehen kann. Das also durch die Verbesserung der Energieintensität nicht nur der Wachstumseffekt kompensiert wird, sondern darüber hinaus tatsächliche Änderungen der CO₂-Emissionen erzielt werden können. Im Beobachtungszeitraum ist das jedoch nicht tatsächlich passiert.

Der stärkste Zusammenhang der Emissionsänderungen konnte innerhalb der definierten sozio-ökonomischen Determinanten zum Kohlenstoffintensitätseffekt nachgewiesen werden.

³⁴ Negative Anteile an Minderemissionen sind Mehremissionen (siehe Abbildung 26 S.109 und Abbildung 27 S.112).

Pearsons Korrelationskoeffizient (N=23) zwischen ΔCO_2em und KI-Effekt				
Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 5	Cluster 6
0,98197	0,89347	0,73875	0,37955	0,69667

Tabelle 39: Die Stärke des linearen Zusammenhangs zwischen den Änderungen der CO_2 -Emissionen und dem durch Dekomposition errechneten Kohlenstoffintensitätseffekt (KI-Effekt) in den energiewirtschaftlichen Ländertypen

Laut Abbildung 31 und Tabelle 39 bewirkten Veränderungen der Kohlenstoffintensität am direktesten Emissionsänderungen. Die leichten Entkopplungserscheinungen zwischen Cluster eins, zwei und drei sind ursprünglich sicher eine Folge der Armut, der die einzelnen Cluster schrittweise entkommen sind. In Cluster 5 fällt der, im Gegensatz zu den anderen Clustern, relativ niedrige Korrelationskoeffizient zwischen den Änderungen der CO_2 -Emissionen und der Kohlenstoffintensität auf, der bei genauer Datenanalyse auf die USA zurückzuführen ist, die große Schwankungen in ihren Zeitreihen haben. Die anderen Länder dieses Clusters haben ähnliche Werte wie die des Clusters 6, können großenbedingt die Clustersummen jedoch nicht in dem Maße prägen. Würden die USA bei der Berechnung der Clusterwerte nicht berücksichtigt, ergäbe sich für den Cluster 5 ohne die USA ein Korrelationskoeffizient von 0,74339.

Insgesamt hat die Analyse des Beobachtungszeitraumes gezeigt, dass Änderungen der Kohlenstoffintensität am direktesten Änderungen der CO_2 -Emissionen nach sich ziehen konnten. Die derzeitige amerikanische Klimapolitik die im wesentlichen auf die Steigerung der Energieintensität ausgerichtet ist, scheint mit den Ergebnissen der Dekompositionsanalyse dieses Kapitels überdenkenswert.

7.3 Die Struktur determinante

In Abschnitt 7.1.2 wurde die Möglichkeit der Zerlegung von einzelnen Determinanten in Teildeterminanten durch die Einführung von Summentermen in die ursprüngliche Identitätsgleichung bereits theoretisch vorgestellt. Dadurch erhält man ohne die Einführung inhaltlich neuer Variablen eine zusätzliche Determinante, die in der Literatur allgemein als Struktur determinante bezeichnet wird.

Die entsprechende Ausgangsgleichung ist zum besseren Verständnis noch einmal abgebildet (siehe Abschnitt 7.1.2).

$$CO_2em = \sum_i \frac{CO_2em_i}{PE_i} \cdot \frac{PE_i}{GDP_i} \cdot \frac{GDP_i}{GDP} \cdot \frac{GDP}{POP} \cdot POP$$

Die Zerlegung des Gesamtprozesses in i-Unterprozesse kann inhaltlich durchaus verschieden sein. In der Regel dient diese Art der Dekomposition jedoch der Einführung der sogenannten

Strukturdeterminante $\left(\frac{GDP_i}{GDP}\right)$, die deutlich macht, wie die Anteile der einzelnen i-

Unterprozesse den Gesamtprozess beeinflusst haben. Innerhalb dieser Arbeit soll eine solche Zerlegung der weiteren Beschreibung der Regionen dienen, die mit Hilfe von verschiedenen statistischen Verfahren zur Mustererkennung ermittelt wurden (siehe Kapitel 6). Dementsprechend wird in einem ersten Schritt der Entstehungsprozess der weltweiten Emissionen in die einzelnen Prozesse der energiewirtschaftlichen Ländertypen untergliedert.

Die Strukturdeterminante besagt dann, wie groß der Anteil der Wirtschaftskraft des jeweiligen energiewirtschaftlichen Ländertyps an der Wirtschaftskraft aller ist. Der mit Hilfe der Dekomposition ermittelte Struktureffekt (S-Effekt) gibt an, wie diese strukturellen Änderungen in einem bestimmten Zeitraum zu vermehrten oder verminderten Emissionen geführt haben.

Die Berechnung erfolgte anhand von SAS-Script 6 zur Dekompositionsanalyse mit Summenterm, das im Anhang V (S. Anhang / 39) wiedergegeben ist. Tabelle 40 zeigt die mit Hilfe der Dekomposition ermittelten Anteile der einzelnen Effekte an den Änderungen der CO₂-Emissionen (?CO₂em).

ΔCO_2em (Mio tC)		EI-Effekt (Mio tC)	P-Effekt (Mio tC)	A-Effekt (Mio tC)	KI-Effekt (Mio tC)	S-Effekt (Mio tC)
72,63	mittlerer jährlicher Effekt	-207,02	70,86	211,73	-10,67	7,72
1670,43	Effekt insgesamt (75-98)	-4761,35	1629,69	4869,90	-245,35	177,53

Tabelle 40: Effekte der einzelnen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen

Zusätzlich zum Niveau von 1975 wurden CO₂-Emissionen in Höhe von 1670 Mio tC weltweit emittiert, was durchschnittlichen jährlichen Mehremissionen in Höhe von 73 Mio tC entspricht. Diese Mehremissionen sind in erster Linie auf die Wohlstandsentwicklung zurückzuführen. Wären im Zeitraum 1975-98 alle anderen Bedingungen unverändert geblieben, hätte der Wohlstandseffekt zu Mehremissionen in Höhe von 4870 Mio tC geführt. Auch durch das Bevölkerungswachstum entstanden Mehremissionen, im genannten Zeitraum in Höhe von 1630 Mio tC. Auf räumlich strukturelle Änderungen sind vergleichsweise

geringe zusätzliche CO₂-Emissionen in Höhe von 180 Mio tC im Beobachtungszeitraum zurückzuführen, das sind lediglich 2,7% der gesamten theoretischen Mehremissionen. Das heißt, dass im Beobachtungszeitraum energiewirtschaftliche Ländertypen, in denen überproportional mehr CO₂ emittiert wurde, im Gesamtgefüge der energiewirtschaftlichen Ländertypen an Bedeutung gewannen.

Diese theoretischen, wachstumsbedingten, Mehremissionen konnten durch die beiden Technologiedeterminanten nur zu 75% verhindert werden. Die meisten CO₂-Emissionen konnten durch die verbesserte Energieintensität vermieden werden. Es wird deutlich, dass sich die Wohlstandsentwicklung deutlich vom zusätzlichen Energieverbrauch abgekoppelt hat. Die wohlstandsbedingten Mehremissionen wurden durch die verbesserte Energieintensität im wesentlichen abgefangen. Eine verbesserte Kohlenstoffintensität hatte im Zeitraum von 1975-98 global nicht viel Vermeidungspotential.

Aus Tabelle 40 wird deutlich, dass diese definierten räumlichen strukturellen Veränderungen insgesamt den kleinsten Erklärungsbeitrag hinsichtlich der Änderungen der CO₂-Emissionen geliefert haben.

Bei der Analyse der länderbezogenen Struktur determinante wurde für den Zeitraum von 1975-91 natürlich die „5-Cluster-Welt“ als gesamte Bezugseinheit zugrunde gelegt, danach wurde auf die „6-Cluster-Welt“ erweitert, was bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden wird.

Wie die detaillierte zeitliche Darstellung in Abbildung 32 zeigt, kann im Zeitraum 1975-91 ein relativ geringer Anteil der vermehrten CO₂-Emissionen auf strukturelle Veränderungen zurückgeführt werden. Diese strukturellen Änderungen sind sicher auf das Erstarken der *Aufstrebenden Kleinemittenten* (Clusters 3) zurückzuführen. Die durch strukturelle Veränderungen erklärten leicht verminderten Emissionen in der ersten Hälfte der 90er Jahre sind mit dem wirtschaftlichen Zusammenbruch der *Absteigenden Mittelemittenten* (Cluster 4) in Verbindung zu bringen.

Abbildung 32 veranschaulicht, welcher kleiner Teil der wohlstandsbedingten Mehremissionen auf strukturelle Änderungen zurück geführt werden konnten.

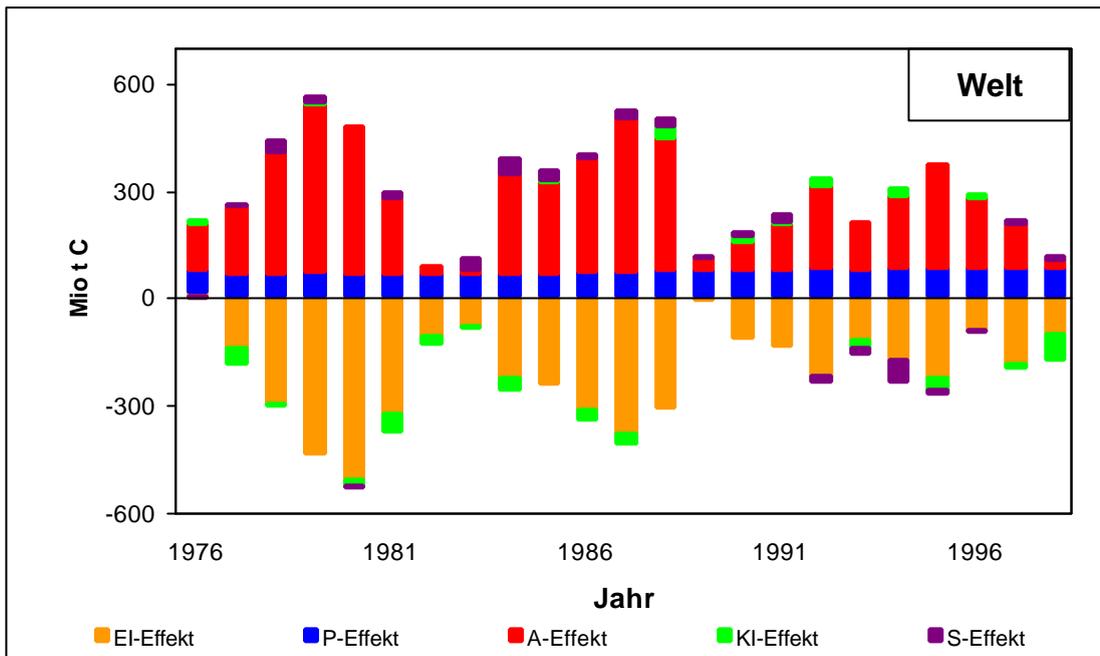


Abbildung 32: Anteil der Strukturterminante im Vergleich zu den sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der CO₂-Emissionen – global

Wie auch bei der Beschreibung der Ergebnisse der Dekompositionsanalyse in Abschnitt 7.2 erfolgt nach der globalen Analyse die zu den einzelnen energiewirtschaftlichen Ländertypen.

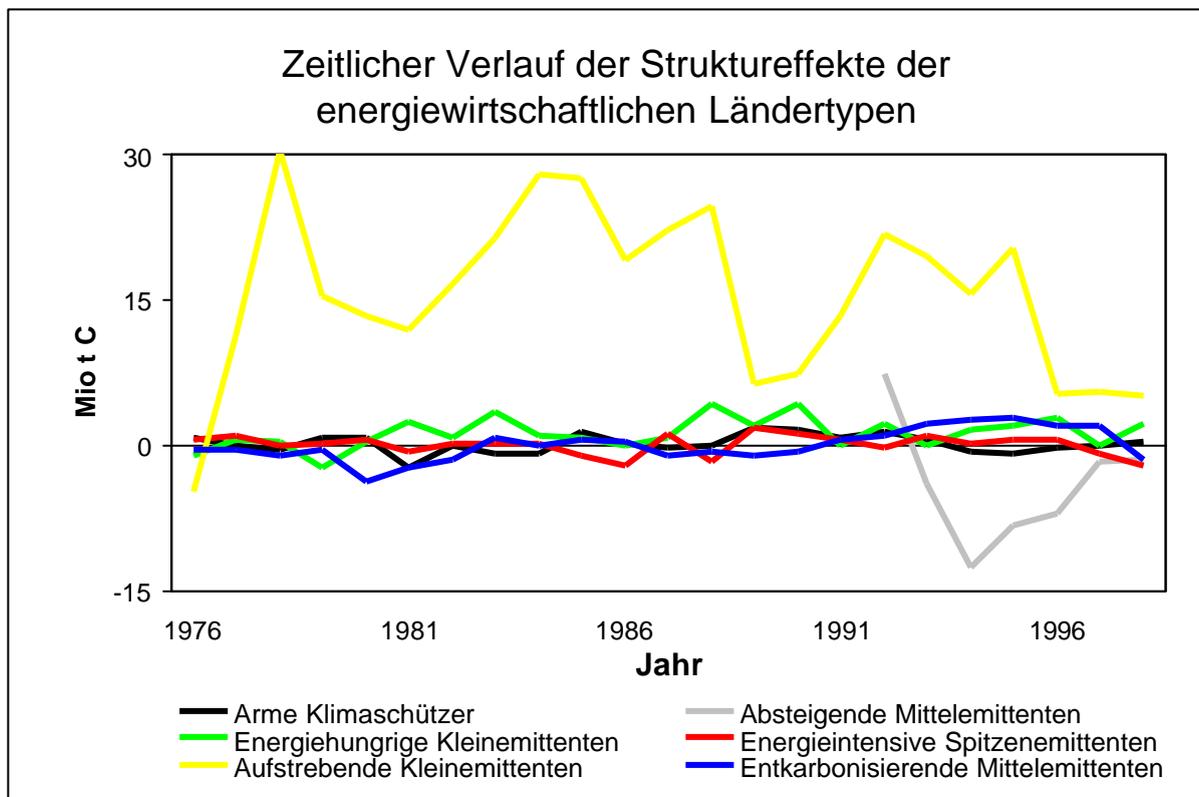


Abbildung 33: Zeitlicher Verlauf der Struktureffekte der energiewirtschaftlichen Ländertypen

Dieses *downscaling* zeigt, dass lediglich bei zwei energiewirtschaftlichen Ländertypen geringfügige Struktureffekte beobachtet werden konnten. Das betraf zum einen den Cluster 3, die *aufstrebenden Kleinemittenten* (Abbildung 33 gelb) was auf das überproportionale Wachstum Chinas zurückgeführt werden kann und zum anderen den Cluster 4, die *absteigenden Mittelemittenten* (Abbildung 33 grau) im wesentlichen hervorgerufen durch die bereits bekannten Länder Georgien und Tadschikistan, bei denen die Qualität der Daten, wie bereits mehrfach beschrieben, vermindert ist.

Damit ist diese länderbezogene Struktur determinante als weitere sozio-ökonomische Determinante der anthropogenen CO₂-Emissionen nicht interessant.

Eine viel größere Bedeutung kommt der Struktur determinante innerhalb dieser Arbeit jedoch als weiterer Indikator für die Güte der regionalen Mustererkennung zu. Die regionale Clusterung über die sozio-ökonomischen Determinanten der CO₂-Emissionen (siehe Abschnitt 5.4) sollte Länder zusammenfassen, deren Determinanten sich möglichst ähnlich hinsichtlich der jeweiligen CO₂-Emissionen verhalten und dass sowohl vom Niveau als auch von der Dynamik her. Wenn die Clusterung gut ist, sollte die Entwicklung der sozio-ökonomischen Determinanten der CO₂-Emissionen der zusammengefassten Länder ähnlich sein. Eine in sich relativ homogene Gruppe sollte keine nennenswerten länderbezogenen Struktureffekte innerhalb der Gruppe haben. Für die *armen Klimaschützer* (die strukturbedingte Mehremissionen im gesamten Beobachtungszeitraum 1975-98 in Höhe von 4,5 Mio tC, das entspricht 11% der theoretischen Mehremissionen dieses Clusters), die *energiehungrigen Kleinemittenten* (mit strukturbedingten Mehremissionen im Zeitraum 1975-98 in Höhe von 28,9 Mio tC (4%)), die *energieintensiven Spitzenemittenten* (mit strukturbedingten Mehremissionen in Höhe von 1,42 Mio tC (0,06%)) und die *entkarbonisierenden Mittelemittenten* (als einziger Cluster mit strukturbedingten Mindermissionen in Höhe von -0,1 Mio tC (0,006%)) trifft das in hohem Maße zu. Abbildung 33 bestätigt dies sehr anschaulich.

Wie bereits erwähnt, sind die größeren länderspezifischen Struktureffekte der *aufstrebenden Kleinemittenten* im wesentlichen auf das überproportionale Wachstum Chinas im Beobachtungszeitraum zurückzuführen, doch auch in diesem Cluster sind macht der länderspezifische Struktureffekt im Beobachtungszeitraum lediglich 15% der theoretischen Mehremissionen aus (das sind absolut 358 Mio tC in 23 Jahren).

Die *absteigenden Mittelemittenten* wurden durch die Clusteranalyse (siehe Abschnitt 5.4) eigentlich in 3 Cluster geteilt und im Anschluss substanzwissenschaftlich begründet zusammengefasst. Das lässt sich an der leicht auffälligeren länderspezifischen Struktur determinante dieses Clusters (siehe Abbildung 33) erkennen.

7.3.1 Grenzen in der internationalen Anwendung

Eine weitere Untergliederung auf einzelnen Wirtschaftssektoren (Landwirtschaft, Industrie, Dienstleistungen usw.), um die wirtschaftliche Struktur in Form einer tatsächlichen Wirtschaftsstruktur determinante abzubilden und deren möglichen Einfluss auf die Zielvariable *Änderung der CO₂-Emissionen* zu quantifizieren, stellt erhebliche Anforderungen an die Datenbasis. Die damit einhergehende weitere Aufgliederung des Technologieterms würde die Aufschlüsselung der CO₂-Emissionen, des Energieverbrauches und auch Bruttoinlandsproduktes auf verschiedene, aber jeweils gleich definierte Bereiche einer Volkswirtschaft nötig machen. Die derzeit verfügbaren internationalen Datenquellen (UNO, UNIDO, OECD) können eine solche Aufgliederung maximal für ausgewählte Länder und auch dann nur sehr bruchstückhaft gewährleisten, wobei derzeit die große Schwachstelle in der Quantifizierung der Wohlstandsdeterminante liegt. Torvanger (1991), der für 9 OECD Länder eine Untergliederung nach volkswirtschaftlichen Bereichen vorgenommen hat, gibt als einzige Quelle seiner Daten zur Quantifizierung der Wohlstandsdeterminante die interne Datenbank der Lawrence Berkeley Laboratory an. Auch die anderen diesbezüglichen Publikationen (Han und Chatterjee, 1996; Ang und Pandiyan 1997; Schipper et al., 1997; Ang et al., 1998; Viguier, 1999; Liaskas et al., 2000; Albrecht et al., 2002 und Ang und Choi, 2003) analysieren nur einzelne Länder. Eine Anfrage 2003 bei der United Nations Industrial Development Organisation (UNIDO, einer Unterorganisation der Vereinten Nationen) nach weltweiten sektoralen Wohlstandskennzahlen wurde negativ beantwortet. Die OECD liefert in ihrem *Statistical Compendium* nur sehr bruchstückhafte Daten, die für eine systematische Analyse unzureichend ist.

Die Energiebilanzen der IEA zeigen den Verbrauch der einzelnen Energieträger in bestimmten Wirtschaftssektoren zwar einerseits sehr detailliert an, (Transformationssektor, industrieller Sektor, Transportsektor und sonstiges), diese Gliederung stimmt im Detail jedoch nicht mit der, auf die sich die internationalen volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen stützen (ISIC), überein. Bei den Energiebilanzen kommt erschwerend hinzu, dass bei jeder der jährlichen Aktualisierungen der Energiebilanzen der IEA, die in den letzten 4 Jahren beobachtet wurden, die einzelnen Zeitreihen für die Nutzer nicht transparent auch viele Jahre

rückwirkend verändert wurden, was eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse erheblich erschwert.

Von einer weiteren Untergliederung in Unterprozesse wird in dieser Arbeit aus oben genannten Gründen abstand genommen.

7.3.2 Ergebnisse der Dekompositionsanalyse im Vergleich zu ähnlichen Publikationen

Auch wenn die in Tabelle 21 vorgestellten Publikationen zur Anwendung der Dekompositionsanalyse auf die Problematik der vermehrten CO₂-Emissionen im Detail unterschiedliche Methoden verwandten, ergeben sich doch wesentliche Resultate, die sich mit denen dieser Arbeit decken.

Ang und Zhang (1999) zeigten, dass die relative Bedeutung der einzelnen Effekte von der untersuchten Region abhängt. Die Ergebnisse der Dekompositionsanalyse der energiewirtschaftlichen Ländertypen bestätigten das sehr anschaulich (siehe Abbildung 25-30). Nur bei den *armen Klimaschützern* hatte die Bevölkerungsentwicklung einen größeren Effekt als die Wohlstandsentwicklung. Bei den *energiehungrigen Kleinemittenten* führte die Kohlenstoffintensität insgesamt zu den meisten vermehrten CO₂-Emissionen. Der Anteil der theoretischen wachstumsbedingten Mehremissionen, der nicht durch eine verbesserte Energieintensität kompensiert werden konnte, war in keinem Ländertyp so groß wie bei den *aufstrebenden Kleinemittenten*. Der wirtschaftliche Zusammenbruch der *absteigenden Mittelemittenten* zeichnet ein völlig eigenständiges Bild im Vergleich zu den anderen Clustern: Die Bevölkerungsentwicklung führte nur dort nicht zu vermehrten Emissionen, den größten Einspareffekt hatte die wirtschaftliche Entwicklung, die Energieintensität führte nur in diesem Cluster zu vermehrten Emissionen. Bei den *energieintensiven Spitzenemittenten* konnte die Energieintensität zu einem sehr hohen Anteil die wohlstandsbedingten Mehremissionen verhindern (96%), jedoch schwankte der Effekt der Kohlenstoffintensität von Jahr zu Jahr sehr stark. In keiner anderen Ländergruppe konnten durch die verbesserte Kohlenstoffintensität so viele CO₂-Emissionen verhindert werden wie bei den *entkarbonisierenden Mittelemittenten*.

Han und Chatterjee (1996) fanden heraus, dass das Wohlstandswachstum größten Effekt auf die Änderungen der CO₂-Emissionen hatte und der Effekt der Energieeffizienz, als reziprokem Wert der Energieintensität, vergleichsweise geringer war. Durch die Dekompositionsanalyse der energiewirtschaftlichen Ländertypen, kann diese Aussage vollständig bestätigt und verallgemeinert werden. Im Beobachtungszeitraum 1975-98 hatte

die Wohlstandsentwicklung in allen Ländertypen den größten Effekt auf die Änderungen der CO₂-Emissionen und die Energieintensität hatte einen vergleichsweise geringeren.

Torvanger (1991) fand heraus, dass für 9 OECD-Länder der größte Effekt hinsichtlich der CO₂-Emissionen der verbesserten Energieintensität zugerechnet werden konnte. Ang und Pandiyan (1997) wiesen für China, Südkorea und Taiwan den größten Effekt auf die Änderungen der CO₂-Emissionen ebenfalls der Energieintensität zu. Albrecht et al. (2002) zeigten dass in Belgien, Deutschland Frankreich und Großbritannien sowohl die Energie- als auch die Kohlenstoffintensität eine wichtige Rolle hinsichtlich der Änderungen der CO₂-Emissionen spielen. Auch in dieser Arbeit wurde deutlich, dass im Beobachtungszeitraum 1975-98 die verbesserte Energieintensität in allen gebildeten energiewirtschaftlichen Ländertypen (bis auf die *absteigenden Mittelemittenten*) klar den größten Anteil an der Vermeidung noch größerer Mengen an CO₂-Emissionen geliefert hat. Nur bei den *entkarbonisierenden Mittelemittenten*, zu denen auch die von Albrecht et al. (2002) untersuchten Länder gehörten, konnte die Kohlenstoffintensität einen nennenswerten Einspareffekt hinsichtlich der CO₂-Emissionen verbuchen.

Luukkanen und Kaivo-oja (2002) behaupten, dass wichtige Entwicklungsländer ihre Intensitätseffekte hinsichtlich Energieverbrauch und CO₂-Emissionen nicht sehr verbessern konnten. Auch diese Aussage konnte vor allem bei der Entwicklung der *energiehungrigen* und der *aufstrebenden Kleinemittenten* bestätigt werden (siehe Abbildung 26 und 27).

Albrecht et al. (2002) behaupten, dass in einigen europäischen Ländern der Bevölkerungseffekt bedeutender sein kann als die Effekte durch die Kohlenstoffintensität. Auch innerhalb dieser Arbeit wurde gezeigt, dass hinsichtlich der CO₂-Emissionen im Beobachtungszeitraum 1975-98 global der Bevölkerungseffekt etwa 6,5 mal größer war als der Effekt der Kohlenstoffintensität. Auch bei der Analyse der einzelnen energiewirtschaftlichen Ländertypen war der Bevölkerungseffekt meistens größer. Lediglich bei den *absteigenden* und den *entkarbonisierenden Mittelemittenten* war das nicht der Fall. Die von Albrecht et al. (2002) untersuchten Länder gehören jedoch ausnahmslos zu den letzteren, so dass deren Ergebnisse in dieser Arbeit nicht in vollem Umfang bestätigt werden können.

Liaskas et al. (2000) wiesen durch ihre Dekompositionsanalyse nach, dass eine Entkopplung des wirtschaftlichen Wachstums vom Energieverbrauch zu beobachten war und kommen zu dem Schluss, dass eine Senkung der CO₂-Emissionen keine negativen Effekte auf die

wirtschaftliche Entwicklung haben müsse. Innerhalb dieser Arbeit wurde ebenfalls gezeigt, dass das wirtschaftliche Wachstum in den energiewirtschaftlichen Ländertypen (bis auf die *armen Klimaschützer* und die *absteigenden Mittelemittenten*, bei denen im Beobachtungszeitraum kein wirtschaftliches Wachstum erkennbar war) von der Entwicklung des Energieverbrauchs weitgehend abgekoppelt war (spiegelbildlicher Verlauf von Wohlstands- und Energieintensitätseffekt in den Abbildung 25 bis 30). Tatsächliche CO₂-Reduktionen gingen im Beobachtungszeitraum mehrheitlich mit wirtschaftlichen Problemen einher (siehe die *absteigenden Mittelemittenten*, oder die CO₂-Reduktionen bei allen Ländertypen Anfang der 80er Jahre). Da jedoch die CO₂-Emissionen als zu erklärende Größe (Wirkung) unter anderem durch die Wohlstandsentwicklung (Ursache) analysiert wurde, können Aussagen auch nur zu diesem Ursache-Wirkungsverhältnis gemacht werden.

Schipper et al. (1997) behaupteten, dass die CO₂-Emissionen steigen werden, wenn sich die Effekte durch die Energie- und die Kohlenstoffintensität nicht verstärken. Dem stimmt die vorliegende Arbeit voll und ganz zu. Im Beobachtungszeitraum konnten in keinem energiewirtschaftlichen Ländertyp³⁵ die Effekte der Energie- und Kohlenstoffintensität die der Wohlstands- und Bevölkerungsentwicklung kompensieren.

7.4 Kapitelzusammenfassung

Mit Hilfe der Dekompositionsanalyse wurden die jeweiligen Anteile der definierten sozio-ökonomischen Determinanten an den veränderten anthropogenen CO₂-Emissionen für den Zeitraum von 1975-98 quantifiziert. Ausgehend von einer globalen Betrachtung wurde die Analyse anschließend auf die in Kapitel 6 vorgestellten energiewirtschaftlichen Ländertypen ausgedehnt, um diese näher zu beschreiben und auf deren Unterschiede einzugehen. Mit Hilfe der Dekompositionsanalyse konnten die Unterschiede zwischen den einzelnen Clustern sehr anschaulich herausgearbeitet werden (siehe Abschnitt 7.2).

Die Annahme, dass durch Mustererkennung mittels schrittweiser Informationsverdichtung der sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen Cluster entstehen, bei denen die Länder eines Clusters sich relativ ähnlich sind, die Cluster untereinander sich jedoch klar voneinander abgrenzen, konnte durch den Struktureffekt innerhalb der Dekompositionsanalyse weiter untermauert werden (siehe Abschnitt 7.2.2).

³⁵ bis auf die *absteigenden Mittelemittenten*

Auch die definierten sozio-ökonomischen Determinanten der vermehrten anthropogenen CO₂-Emissionen konnten durch die Dekompositionsanalyse genauer beschrieben werden (siehe Abschnitt 7.2.3).

Bis auf die Ländergruppe der *absteigenden Mittelemittenten* (Cluster 4 GUS) kam es in allen energiewirtschaftlichen Ländertypen auf grund des Bevölkerungswachstums kontinuierlich zu vermehrten Emissionen. Hauptursache der vermehrten CO₂-Emissionen war jedoch das Wirtschaftswachstum (außer bei den *armen Klimaschützern* - Cluster 1 und den *absteigenden Mittelemittenten* - Cluster 4). Im Beobachtungszeitraum 1975-98 konnten die CO₂-Emissionen nur verringert werden, wenn wirtschaftsbedingte Krisensituationen entstanden.

Die beiden Technologiedeterminanten Energieintensität und Kohlenstoffintensität konnten diese Mehremissionen zu keinem Zeitpunkt ausgleichen, geschweige denn überkompensieren, um zu tatsächlichen verminderten Emissionen zu gelangen.

Ein interessantes Phänomen hinsichtlich der beiden Technologiedeterminanten konnte aufgedeckt werden. Die verbesserte Energieintensität konnte im wesentlichen jeweils den Großteil der wachstumsbedingten Mehremissionen verhindern. Die Änderungen der CO₂-Emissionen wurden jedoch maßgeblich durch den Trend der Kohlenstoffintensität geprägt.

Der Strukturdeterminante (Abschnitt 7.3) konnte kein nennenswerter Einfluss auf die Änderungen der CO₂-Emissionen nachgewiesen werden. Sie dient innerhalb dieser Arbeit jedoch als weiteres Gütekriterium der regionalen Mustererkennung und bestätigte, dass sich die Länder innerhalb eines Clusters relativ ähnlich sind.

Die 6 energiewirtschaftlichen Ländertypen können vereinfacht als Repräsentanten unterschiedlicher Entwicklungsstufen angesehen werden, wobei die Cluster 1, 2 und 3 klar die Entwicklung von Armut hin zur wirtschaftlich entwickelteren Region aufzeigen, und vor allem Cluster 5 und 6 unterschiedliche Konzepte hochentwickelter Wirtschaftssysteme verdeutlichen.

8. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

8.1 Zusammenfassung anhand der forschungsleitenden Fragen

Die Arbeitshypothese dieser Dissertation ging davon aus, dass die wesentlichen sozio-ökonomischen Prozesse, die die anthropogenen CO₂-Emissionen verursachen, vereinfacht durch ausgewählte Determinanten beschrieben werden können. Innerhalb dieser Arbeit wurde gezeigt, dass die Einflüsse dieser Determinanten nicht für alle Länder der Erde gleich sind. Durch verschiedene statistische Verfahren zur Informationsverdichtung konnten unterschiedliche Muster des Einflusses dieser Determinanten auf den Gesamtprozess der anthropogenen CO₂-Emissionen als Hauptfaktor des anthropogenen Treibhauseffektes herausgearbeitet und beschrieben werden.

Dazu sollen die in der Einleitung genannten forschungsleitenden Fragestellungen noch einmal zusammenfassend beantwortet werden.

Was sind wichtige sozio-ökonomische Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen und wie lassen sich diese quantifizieren?

Der derzeitige Wissensstand hinsichtlich der wesentlichen sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen besagt, dass die Beschränkung auf den Wohlstand als einziger Determinante zur Beschreibung der anthropogenen CO₂-Emissionen eine zu große Vereinfachung darstellt und bestimmte Einflüsse völlig unberücksichtigt bleiben. Weitere wichtige Determinanten für die Beschreibung der anthropogenen CO₂-Emissionen sind die Bevölkerungsgröße und die verwendete Technik.

Die Quantifizierung der Bevölkerungsdeterminante erfolgt durch die geschätzte Wohnbevölkerung eines Landes, die Wohlstandsdeterminante bedient sich des Konstruktes des Bruttoinlandsproduktes pro Kopf der Bevölkerung eines Landes gemessen in Kaufkraftparitäten und die Technikdeterminante wird einerseits durch die Energieintensität (dem Verhältnis aus Primärenergieverbrauch und Bruttoinlandsprodukt) und andererseits durch die Kohlenstoffintensität (dem Verhältnis aus CO₂-Emissionen und Primärenergieverbrauch) erfasst. Die Zeitreihen von 121 Staaten, in denen derzeit laut Weltbank 92% der Weltbevölkerung leben, wurden zu einem Datensatz zusammengestellt.

Da dem globalen Prozess der Entstehung anthropogener CO₂-Emissionen auch eine globale Analyse der Ursachen gegenüberstehen soll, sind der Einbeziehung weiterer Determinanten

aufgrund der schwierigen weltweiten gleichen Quantifizierbarkeit enge Grenzen gesetzt. Auf eine weitere Zerlegung wurde deshalb an dieser Stelle verzichtet.

Sind in den anthropogenen CO₂-Emissionen und deren Bestimmungsfaktoren Muster erkennbar, die auf Unterschiede zwischen den Verursachern hindeuten? Wenn ja, wie sehen diese Muster im einzelnen aus? Was sind deren wesentliche charakteristische Merkmale?

Mit Hilfe verschiedener statistischer Verfahren konnten die Daten schrittweise verdichtet werden, bis sechs energiewirtschaftliche Ländertypen entstanden sind, die sich anhand der sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen klar und plausibel voneinander abgrenzen. Das sind die entsprechend ihrer charakteristischen Eigenschaften bezeichneten sogenannten *armen Klimaschützer (1)*, die *energiehungrigen Kleinemittenten (2)*, die *aufstrebenden Kleinemittenten (3)*, die *absteigenden Mittelemittenten (4)*, die *energieintensiven Spitzenemittenten (5)* und die *entkarbonisierenden Mittelemittenten (6)*. Für die nähere Beschreibung dieser Ländertypen sei auf die Kapitel 6 und 7 verwiesen.

Die Annahme, dass durch Mustererkennung mittels schrittweiser Informationsverdichtung der sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen Cluster entstehen, bei denen die Länder eines Clusters sich relativ ähnlich sind, die Cluster untereinander sich jedoch klar voneinander abgrenzen, konnte durch die Dekompositionsanalyse weiter untermauert werden

Diese energiewirtschaftlichen Ländertypen können vereinfacht als Repräsentanten unterschiedlicher Entwicklungspfade angesehen werden, wobei die Ländertypen 1, 2 und 3 klar den die Entwicklung von Armut bis hin zur wirtschaftlich besser entwickelten Region aufzeigen, und vor allem Cluster 5 und 6 unterschiedliche Konzepte hochentwickelter Wirtschaftssysteme deutlich machen.

Diese Art der Informationsverdichtung, die die sozio-ökonomischen Determinanten der CO₂-Emissionen bereits bei der Gruppierung berücksichtigt, ist eine Alternative zur klassischen geo- und/oder wirtschaftspolitischen Regionalisierung.

Wie wirken die sozio-ökonomischen Determinanten? Welchen Anteil haben sie innerhalb dieser Muster hinsichtlich der anthropogenen CO₂-Emissionen und hat sich deren Wirkung im Zeitverlauf verändert?

Mit Hilfe der Dekompositionsanalyse wurde der Anteil der definierten sozio-ökonomischen Determinanten an den Änderungen der anthropogenen CO₂-Emissionen für den Zeitraum von 1975-98 quantifiziert.

Die beobachteten CO₂-Emissionen konnten nur in wirtschaftlichen Krisensituationen verringert werden.

Bis auf die *absteigenden Mittelemittenten* kam es in allen energiewirtschaftlichen Ländertypen auf grund des Bevölkerungswachstums kontinuierlich zu vermehrten CO₂-Emissionen. Hauptursache der vermehrten CO₂-Emissionen war jedoch das Wirtschaftswachstum (außer bei den *armen Klimaschützern* und den *absteigenden Mittelemittenten*). Im Beobachtungszeitraum 1975-98 verringerten sich die wirtschaftswachstumsbedingten Mehremissionen im Zeitverlauf.

Die beiden Technologiedeterminanten Energieintensität und Kohlenstoffintensität konnten in Zeiten normalen Wirtschaftswachstums diese bevölkerungs- und wirtschaftswachstumsbedingten Mehremissionen zu keinem Zeitpunkt ausgleichen, geschweige denn überkompensieren, um zu verminderten Emissionen zu gelangen. Ein interessantes Phänomen hinsichtlich der beiden Technologiedeterminanten ist, das die verbesserte Energieintensität im wesentlichen jeweils den Großteil der wachstumsbedingten Mehremissionen verhindern konnte, die Änderungen der CO₂-Emissionen wurden jedoch maßgeblich durch den Trend der Kohlenstoffintensität geprägt.

8.2 Ausblick

Mit der vorliegenden Arbeit wurden empirisch fundierte, globale Muster der CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger, als dem Hauptfaktor des anthropogenen Treibhauseffektes, und deren wesentlicher sozio-ökonomischer Determinanten erkannt und analysiert. Diese Arbeit kann als Ausgangspunkt für weitere empirisch basierte Forschungen innerhalb der Global Change Forschung genutzt werden. Die Aktualisierung der Datenbasis, die Erweiterung der sozio-ökonomischen Determinanten, die Verbesserung der Methodik und deren weitere Anwendung auf andere Bereiche der Global-Change-Forschung eröffnen weitere Forschungsmöglichkeiten.

Aktualisierung der Datenbasis

Die vorgestellten statistischen Verfahren zur Mustererkennung innerhalb des Datensatzes der anthropogenen CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger und deren definierter sozio-ökonomischen Determinanten haben für den Zeitraum 1975-1998 klar voneinander abgrenzbare und interpretierbare energiewirtschaftliche Ländertypen ergeben. Es bleibt zu prüfen, inwieweit die Integration der inzwischen verlängerten Zeitreihen bis zum Jahr 2000 zu Änderungen hinsichtlich der Zuordnung einzelner Länder zu den jeweiligen Ländertypen führt.

Erweiterung der sozio-ökonomischen Determinanten der anthropogenen CO₂-Emissionen

Die Anzahl der sozio-ökonomischen Determinanten kann erweitert werden. Eine Erweiterung der Technologiedeterminante hinsichtlich der Investitionen im Energiesektor und die Einführung einer Politikdeterminante, wie in Unruh und Moomaw (1998) vorgeschlagen, würde sicher zur weiteren besseren Beschreibung des Sachverhaltes beitragen. Die sehr eingeschränkte Verfügbarkeit weltweit harmonisierter Daten stellt diese möglichen Erweiterungen jedoch vor harte Grenzen.

Methodische Weiterentwicklung

Die methodische Weiterentwicklung ist auf verschiedene Weise möglich. Die in dieser Arbeit verwandten sozio-ökonomischen Determinanten sind bis auf die Bevölkerungsdeterminante mit dem heutigen Wissensstand bereits schwer zu definierende Größen, die entsprechend ihrer unterschiedlichen Definitionen in der Regel nicht direkt quantifizierbar sind, sogenannte latente Variablen. Der Austausch des der Analyse zu Grunde gelegten vollständig erklärten Modells, in Form einer Identitätsgleichung, durch ein latentes Variablenmodell, bei dem die eigentlich nicht messbaren latenten Variablen (Wohlstand, Technik, Politik) durch messbare manifeste Variablen beschrieben werden, eröffnet weitere Möglichkeiten der sozio-ökonomischen, empirischen Erforschung des anthropogenen Treibhauseffektes wie in Strohe (1993); Strohe und Geppert (1997); und Strohe et al. (1999) durch die dynamische Modellierung mit latenten Variablen gezeigt. Das mehrfach angesprochene Problem der Datenverfügbarkeit besteht auch bei diesem Modellierungsansatz. Da jedoch nicht nur metrisch skalierte Variablen, sondern auch nominal und ordinal skalierte Variablen bei der Modellbildung berücksichtigt werden können, eröffnet diese Art der Modellierung neue Möglichkeiten hinsichtlich der empirisch fundierten Theoriebildung.

Anwendung auf andere Bereiche der Global-Change-Forschung

Die in dieser Arbeit entwickelten Verfahren zur schrittweisen Informationsverdichtung wurden innerhalb der Studie *Lebensstile und Energie* für den Wissenschaftlichen Beirat Globale Umweltfragen (WBGU) der deutschen Bundesregierung verwendet (Reusswig et al., 2003) und lassen sich auch auf andere Bereiche übertragen. So entstand z.B. im Rahmen der *Population – Environment Research Network* die folgende Weltkarte mit Regionen unterschiedlich energieintensiver Nahrungsgewohnheiten, durch die in Kapitel 5 beschriebene Methode der schrittweisen Informationsverdichtung der Determinanten *Wohlstand* (BIP pro Kopf), *Energiegehalt der Nahrung* (Kalorien pro Kopf und Tag), *Nahrungszusammensetzung* (% tierischer Produkte am gesamten Kalorienverbrauch) und *Umwelteinfluss* (kg Getreide pro kg Fleisch) (Reusswig et al., 2003).

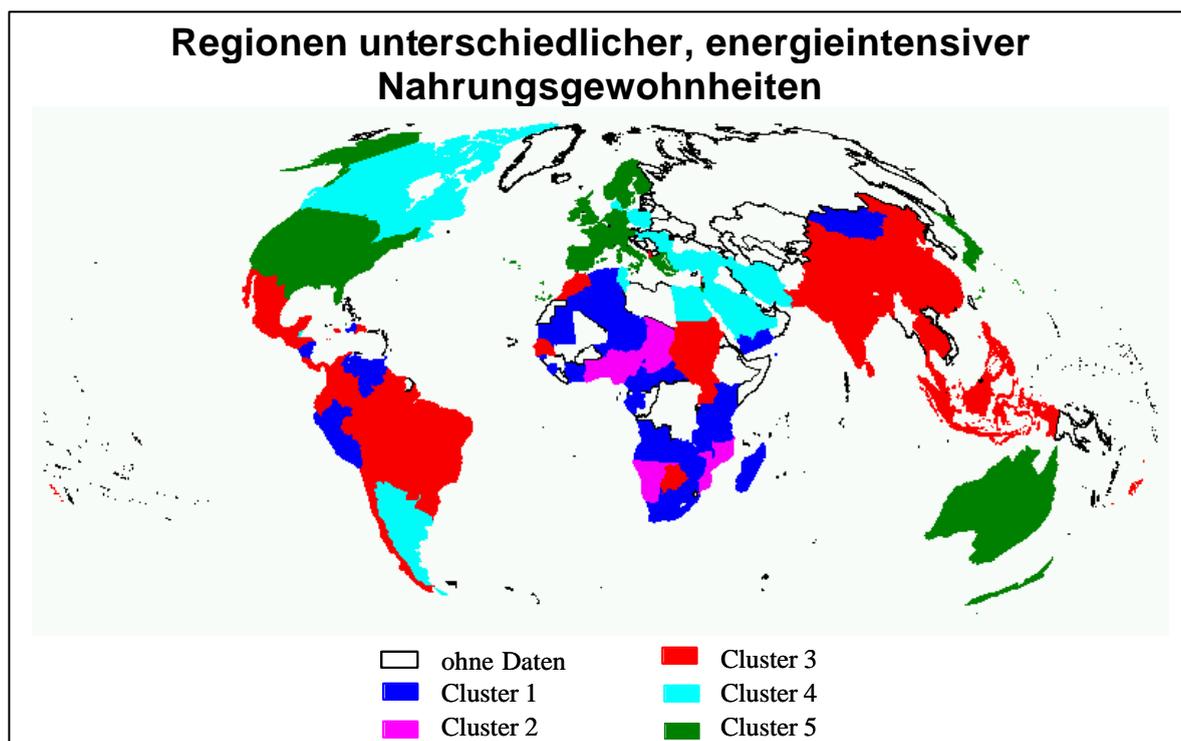


Abbildung 34: Regionen unterschiedlich energieintensiver Nahrungsgewohnheiten

Cluster 1 sind die Länder mit dem geringsten BIP-Wachstum, bei dem der tägliche Kalorienverbrauch pro Kopf in der beobachteten letzten Dekade sogar sank. Cluster 2 sind ebenfalls arme Länder, deren täglicher Kalorienverbrauch ist jedoch in der letzten Dekade stark gestiegen. Cluster 3 sind die bevölkerungsreichsten Länder der Erde, die in den 90er Jahren ein sehr starkes BIP-Wachstum hatten. In den Ländern des Clusters 3 ist der Anteil an

tierischen Eiweißen am stärksten gestiegen (3,4 % pro Jahr). Im Cluster 4 sind Länder mit hohem bis mittlerem BIP pro Kopf zusammengefasst, die die größte Menge Getreide verbrauchen, um ihre tierischen Eiweiße zu produzieren. Deren sehr hoher Anteil an tierischen Eiweißen an der täglichen Nahrungszusammensetzung ist in den 90er Jahren immerhin leicht gesunken. Im Cluster 5 sind ausnahmslos reiche Industrieländer mit einem hohen Anteil an tierischen Eiweißen am gesamten Kalorienverbrauch (28%), deren Landwirtschaft jedoch nicht so intensiv ist wie die des Clusters 4. Für weiterreichende Details sei an dieser Stelle Reusswig et al., (2003) verwiesen.

Diese abschließende Anwendung der innerhalb dieser Arbeit entwickelten Methode zur schrittweisen Informationsverdichtung ausgewählter energiewirtschaftlicher Größen, zeigt, dass eine fachübergreifende Anwendung möglich ist.

LITERATURVERZEICHNIS

- Albrecht, J., D. Francois und K- Schoors (2002). "A Shapley decomposition of carbon emissions without residuals." *Energy Policy*.
- Andres, R. J., D. J. Fielding, G. Marland, T.A. Boden, N. Kumar, A.T. Kearney (1999). "Carbon dioxide emissions from fossil-fuel use, 1751-1950." *Tellus Series B - Chemical and physical Meteorology* 51(4): 759-765.
- Ang, B. W. (1994). "Decomposition of industrial energy consumption, The energy intensity approach." *Energy Economics* 16(3): 163-174.
- Ang, B. W. (1995). "Decomposition Methodology in Industrial Energy Demand Analysis." *Energy* 20(11): 1081-1095.
- Ang, B. W. and K.-H. Choi (2003). "Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method." *The Energy journal*: 59-73.
- Ang, B. W. und S. Y. Lee (1994). "Decomposition of industrial energy consumption, some methodological and application issues." *Energy Economics* 16(2): 83-92.
- Ang, B. W. und G. Pandiyan (1997). "Decomposition of energy-induced CO₂ emissions in manufacturing." *Energy Economics* 19: 363-374.
- Ang, B. W. und F. Q. Zhang (1999). "Inter-regional comparisons of energy-related CO₂ Emissions using the decomposition technique." *Energy* 24: 297-305.
- Ang, B. W. und F. Q. Zhang (2000). "A survey of index decomposition analysis in energy and environmental Studies." *Energy* 25: 1149-1176.
- Ang, B. W., F. Q. Zhang, und K.H. Choi (1998). "Factorizing changes in energy and environmental indicators through Decomposition." *Energy* 23(6): 489-495.
- Angermann, O. und C. Stahmer (1984). "Berechnung von Kaufkraftparitäten im Rahmen der internationalen Organisationen." *Wirtschaft und Statistik* 5.
- Ansuategi, A. (2003). "Economic growth and transboundary pollution in Europe: An empirical analysis." *Environmental & Resource Economics* 26(2): 305-328.
- Ansuategi, A. und M. Escapa (2002). "Economic Growth and greenhouse gas emissions." *Ecological Economics* 40: 23-37.
- Arrow, K. J., B. Bolin, R. Constanza, C. Dasgupta, C. Folke, S. Holling, S. Levin, K.-G. Mäler, C. Perrings und D. Pimentel (1995). "Economic growth, carrying capacity and the environment." *Science* 268: 520-521.
- Bacher, J. (1996). *Clusteranalyse*. München Wien, R. Oldenburg Verlag.
- Backhaus, E. und W. Plinke (2000). *Multivariate Analyse Methoden, Eine anwendungsorientierte Einführung*, Springer.
- Beckermann, W. (1992). "Economic Growth and the Environment: Whose Growth? Whose Environment?" *World Development* 20 (4): 481-496.
- Boden, T. A., D. Kaiser, P., R.J. Sepanski und F.W. Stoss (1994). "Trends' 93: A Compendium of Data on Global Change." *CDIAC Communications*(20).
- Bongaarts, J. (1992). "Population Growth and Global Warming." *Population and Development Review* 21 (4): 299-319.
- Boyd, G. A., D. A. Hanson und T. Sterner (1988). "Decomposition of changes in energy intensity: a comparison of the Divisia index and other methods." *Energy Economics* 10(4): 309-312.
- Carson, R. (1962). *Silent Spring*.
- Carson, R. T. und Y. Jeon (1997). *The Relationship between Air Pollution Emissions and Income: U.S. Data*. Department of Economics, University of California, San Diego La Jolla CA 92093.
- Chung, H.-S. (1998). "Industrial structural and source of carbon dioxide emissions in east Asia: estimation and comparison." *Energy & Environment* 9(5): 509-533.

- Cohen, J. (1960). "A Coefficient of Agreement for Nominal Scales." *Educational and Psychological Measurement* 20: 37-46.
- Cole, M. A., A. J. Rayner und J.M. Bates (1997). "The environmental Kuznets curve: an empirical analysis." *Environment and Development Economics* 2: 401-416.
- Commoner, B. (1971). *The Closing circle*. London, Jonathan Cape.
- Commoner, B. (1991). Rapid population growth and environmental stress. *Consequences of rapid Population Growth on Developing Countries*. Proceedings of the United Nations/Institute d'études démographiques Expert Group Meeting. New York, Ny, USA, Taylor and Francis: 161-190.
- Coondoo, D. und S. Dinda (2002). "Causality between income and emission: a country group-specific econometric analysis." *Ecological Economics* 40(3): 351-367.
- Cramer, J. C. (1998). "Population growth and air quality in California." *Demography* 35(1): 45-56.
- Daly, G. C. (1991). *Stady State Economics: Second Edition with New Essays*. Washington DC, Island Press.
- Dasgupta, C. und G. Heal (1979). *Economic Theory and Exhaustible Resources*. Oxford, Cambridge University Press.
- de Bruyn, S. M. (2000). *Economic Growth and the Environment*. Dordrecht, kluwer Academic Publ.
- de Bruyn, S. M. und R.J. Heintz (1999). The environmental Kuznets curve hypothesis. *Handbook of Environmental and Resource Economics*. J. C. J. M. van den Bergh. Cheltenham, UK, Edward Elgar: 656-677.
- de Bruyn, S. M., J. C. J. M. van den Bergh und J.B. Opschoor (1998). "Economic growth and emissions: reconsidering the empirical basis of Environmental Kuznets Curves." *Ecological Economics* 25: 161-175.
- Dietz, T. und E. R. Rosa (1994). "Rethinking the Environmental Impacts of Population, Affluence and Technology." *Human Ecology Review* 1: 277-300.
- Dietz, T. und E. R. Rosa (1997). "Effects of population and affluence on CO₂ emissions." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 94(1): 175-179.
- Dillon, W. R. und M. Goldstein (1984). *Multivariate Analysis, Methods and Applications*. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Ehrlich, P. und J. Holdren (1972). "Review of Closing Circle." *Environment* April 1972: 24-39.
- Ekins, P. (1997). "The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence." *Environment and Planning* 29: 805-830.
- Everitt, B. S., S. Landau und M. Leese (2001). *Cluster Analysis*. London, Arnold.
- Fisher, I. (1972). *The making of index numbers*. Boston, MA, Houghton Mifflin.
- Fleiss, J. L. (1981). *Statistical Methods for Rates and Proportions, Second Edition*. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Florek, K., L. Lukaszewicz, L. Perkal, H. Steinhaus und S. Zortchi (1951). "Sur la liason et la division des points d'un ensemble fini." *Colloquium Mathematicum* 2: 282-285.
- Focacci, A. (2003). "Empirical evidence in the analysis of the environmental and energy policies of a series of industrialised nations, during the period 1960-1997, using widely employed macroeconomic indicators." *Energy Policy* 31(4): 333-352.
- Galeotti, M. und A. Lanza (1999). "Richer and Cleaner? A study on Carbon Dioxide Emissions in Developing Countries."
- Gilbert, M. und I. B. Kravis (1954). *An International Comparison of National products and Purchasing Power of Countries*. Paris, OEEC.
- Greening, L. A., W. B. Davis, L.J. Schipper und M. KHrushch (1997). "Comparison of six decomposition methods: application to aggregate energy intensity for manufacturing in 10 OECD countries." *Energy Economics* 19: 375.

- Grossman, G. und A. Krueger (1995). "economic growth and the environment." *Quarterly Journal of Economics*: 353-377.
- Han, X. und L. Chatterjee (1996). "Impacts of Growth and Structural Change on CO2 Emissions of Developing Countries." *World Development* 25(3): 395-407.
- Hands, S. und B. S. Everitt (1987). "A Monte Carlo study of the recovery of cluster structure in binary data by hierarchical clustering techniques." *Multivariate Behavioral Research* 22: 235-245.
- Hankinson, G. A. und J. M. W. Rhys (1983). "Electricity consumption, intensity and industrial structure." *Energy Economics*: 146-152.
- Harrison, P. (1992). *The Third Revolution: Environment, Population and a Sustainable world*. London, UK, I.D. Tauris and Company in association with Penguin Books.
- Hettige, H. und R. E. B. Lucas (1992). "The toxic Intensity of Industrial Production: global patterns, trends and trade policy." *American Economic Review* 82(2): 478-481.
- Holdren, J. (1991). "Population and the Energy Problem." *Population and Environment* 12(3): 231-255.
- Holtz-Eakin, D. und T. M. Selden (1995). "Stoking the fire? CO₂ emissions and economic growth." *Journal of public Economics* 57: 85-101.
- Howarth, R. B., L. J. Schipper, P.A. Duerr und A. Strom (1991). "Manufacturing energy use in eight OECD countries: Decomposition the impacts of changes in output, industry structure and energy intensity." *Energy Economics* 13: 135-142.
- Huntington, H. G. und J. G. Myers (1987). *Sectoral Shift and industrial energy demand: what have we learned. The changing structure of American industry and energy use patterns*. A. Farunqui, J. Broehl und C. W. Gellings. Columbus, OH, Battelle Press: 353-388.
- IEA (2001). *Energy Balances*. Paris.
- IPCC (2000). *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001, Mitigation*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- Jarret, H. (1966). *Environmental Quality in a Growing Economy*. Baltimore, Johns Hopkins University Press.
- Kaiser, H. F. und J. Rice (1974). "Little Jiffy, marc IV." *Educational and Psychological Measurement* 34: 111 ff.
- Kates, R. W. (2000). "Population and Consumption." *Environment* 42 No.3: 10-19.
- Kaya, Y. (1990). *Impact of Carbon dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios*. Paper presented to the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group. Paris.
- Kravis, I. B., A. Heston und R. Summers (1982). *United nations International Comparison Project III, World Product and Income*. Baltimore, London.
- Kuznets, S. (1955). "Economic Growth and income Inequality." *American Economic Review* XLV: 1-28.
- Liaskas, K., M. Mavrotas, M. Mandaraka und D. Diakoulaki. (2000). "Decomposition of industrial CO₂ emissions: The case of European Union." *Energy Economics* 22: 383-394.
- Lippe, P. v. d. (1996). *Wirtschaftsstatistik*. Stuttgart, Lucius & Lucius.
- Liu, X. Q., B. W. Ang und H.L. Ong (1992). "The application of the Divisia index to the decomposition of changes in industrial energy consumption." *The Energy Journal* 13(4): 161-177.
- Luukkanen, J. und J. Kaivo-oja (2002). "Meaningful participation in global climate policy? Comparative analysis of the energy and CO₂ efficiency dynamics o key developing countries." *Global Environmental Change* 12: 117-126.

- MacKellar, L., W. Lutz, C. Prinz und A. Goujon (1995). "Population, Households, and CO₂ Emissions." *Population and Development Review* 21(4): 849-865.
- Marland, G. (2000). "Kyoto-Related Fossil-Fuel CO₂ Emissions." *CDIAC Communications*(27): 4.
- Martinez-Zarzoso, I. and A. Bengochea-Morancho (2004). "pooled mean group estimation of an environmental Kuznets curve for CO₂." *Economic Letters* 82(1): 121-126.
- Meadows, D., D. Meadows, E. Zahn und P. Milling (1972). *The Limits to Growth*. New York, Universe Books.
- Moomaw, W. R. und G. C. Unruh (1997). "Are Environmental Kuznets Curves Misleading Us? The Case of CO₂ Emissions." *Environment and Development Economics* 2 (4): 451-463.
- Panayotou, T. (1993). *Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development*. World Employment Research Programme, Working Paper. International Labour Office, Geneva.
- Panayotou, T. (2000). *Economic Growth and the Environment*. CID Working Paper No. 56. Harvard University.
- Panayotou, T., A. Peterson und J. Sachs (2000). *Is the environmental Kuznets Curve driven by Structural Change? Discussion Paper Serie of consultine Assistance an Economic Reform II (CAER)*.
- Panayotou, T., J. Sachs und A. Peterson (1999). *Developing Countries and the control of Climate Change: empirical Evidence*. CAER Discussion paper. Cambridge, MA.
- Park, S. H. (1992). "Decomposition of industrial energy consumption: an alternative method." *Energy Economics* 14(4): 265-270.
- Ravallion, M., M. Heil, und J.Jyotsna (1997). *A less poor world, but a hotter one? Cabon emissions, economic growth and income inequality*. World Bank Oktober 15.
- Reitler, W. und M. Rudolph (1987). "Analysis of the factors influencing energy consumption in industry: a revised method." *Energy Economics* 9(3): 145-148.
- Reusswig, F., K. Gerlinger und O.Edenhofer (2003). *Lebensstile und globaler Energieverbrauch - Analyse und Straterieansätze zu einer nachhaltigen Energiestruktur*. Berlin, Heidelberg, WBGU materiealien.
- Reusswig, F., H. Lotze-Campen, und K. Gerlinger (2003). *Changing Global Lifestyle and Consumption Patterns: The Case of Energy and Food. Population, Consumption and Environment Dynamics: Theory and Method*, Montréal, Canada, <http://www.populationenvironmentresearch.org/workshops.jsp>.
- Rönz, B. und H. G. Strohe (1994). *Lexikon Statistik*. Wiesbaden, Gabler.
- Rosa, E. A., R. York und T. Dietz. *Modernization and the Environment: Modelling the Impacts of Economic Development*.
- Roberts, J. T. und P. E. Grimes (1997). "Carbon Intensity and Economic Development 1962-91: A brief Exploration of the Environmental Kuznets Curve." *World Development* 25(2): 191-198.
- Rothmans, J. (1998). "Methods for IA: The challenges and opportunities ahead." *Environmental Modelling and Assessment* 3: 143-145.
- SAS-Institute, I. (1999). *SAS/QC® User's Guide Version 8*. Cary, NC, SAS Institute Inc.
- SAS-Institute, I. (1999). *SAS/STAT® User's Guide, Version 8*. Cary, NC., SAS Institute Inc.
- Schipper, L. J., R. Haas und C. Scheinbaum (1996). "Recent Trends in Residential Energy use in OECD countries and their Impact in Carbon Dioxide Emissions: A Compatitive analysis of the Period of 1973-1992." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 1: 167-196.
- Schipper, L. J., M. Ting, M. Khrushch und W. Golove (1997). "The evolution of carbon dioxide emissions from energy use in industrialized countries: an end-use analysis." *Energy Policy* 25(Nos. 7-9): 651-672.

- Schmalensee, R., T. M. Stoker und R.A. Judson (1998). "World Carbon Dioxide Emissions: 1950-2050." *Review of Economics and Statistics* LXXX: 15-27.
- Scholl, L., L. J. Schipper und N. Kiang (1995). "CO₂ Emissions from passenger transport. A comparison of international trends from 1973 to 1992." *Energy Policy* 24(1): 17-30.
- Schulze, P. C. (2002). "I=PBAT." *Ecological Economics* 40: 149-150.
- Selden, T. M. und D. Song (1994). "Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions?" *Journal of Environmental Economics and Management* 27: 147-162.
- Sengupta, P. (1996). "CO₂ Emission-Income Relationship: Policy approach for climate Control." *Pacific and Asian Journal of Energy*: 207-229.
- Shafik, N. (1994). "Economic development and environmental quality: An econometric analysis." *Oxford Economic Papers* 46: 757-773.
- Shafik, N. und S. Bandyopadhyay (1992). *Economic Growth and Environmental Quality. Time-Series and Cross-Country Evidence. Background Paper for World Development Report 1992.*
- Shrestha, R. M. und G. R. Timilsina (1996). "Factors affecting CO₂ intensities of power sector in Asia: A Divisia decomposition analysis." *Energy Economics* 18: 283-293.
- Simon, J. L. (1981). *The Ultimate Resource*. Princeton, New Jersey, Princeton University Press.
- Sneath, P. H. A. (1957). "The application of computers to taxonomy." *Journal of General Microbiology* 17: 201-226.
- Sokal, R. R. und C. D. Michener (1958). "A statistical method for evaluating systematic relationships." *University of Kansas Science Bulletin* 38: 1409-1438.
- Solow, R. M. (1974). "Intergenerational Equity and Exhaustible Resource." *Review of Economic Studies* 41: 29-45.
- Sørensen, T. (1948). "A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its applications to analyses of the vegetation on Danish commons." *Biologiske Skrifter* 5: 1-34.
- Stokey, N. L. (1998). "Are There Limits to Growth?" *International Economic Review* 39: 1-31.
- Strohe, H. G. (1993). "Weiche Modellierung umweltökonomischer Zusammenhänge." *Allgemeines Statistisches Archiv* 77(3): 281-310.
- Strohe, H. G. und F. Geppert (1997). *DPLS - Algorithmus und Computerprogramm für dynamische Partial-Least-Squares-Modelle*. Universität Potsdam Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät Statistische Diskussionsbeiträge. Potsdam.
- Strohe, H. G., W. Härdle, und F. Geppert (1999). *DPLS in XploRe - A PLS Approach to Dynamic Path Models*. Humboldt-Universität zu Berlin Quantifikation und Simulation Ökonomischer Prozesse Discussion Paper. Berlin.
- Summers, R. und A. Heston (1991). "The Penn World Tables (Mark 5): an expanded set of international comparisons, 1050-1988." *Quarterly Journal of Economics* 106(2, May): 327-68.
- Sun, J. W. (1998). "Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model." *Energy Economics* 20: 85-100.
- Sun, J. W. (2003). "The natural and social properties of CO₂ emissions intensity." *Energy Policy* 31: 2003-2009.
- Sun, J. W. und B. W. Ang (2000). "Some properties of an exact energy decomposition model." *Energy* 25: 1177-1188.
- Torvanger, A. (1991). "Manufacturing sector carbon dioxide emissions in nine OECD countries, 1973-1987: A Divisia index decomposition to changes in fuel mix, emission coefficients, industry structure, energy intensities and international structure." *Energy Economics* 13: 168-196.

- UNFPA (1991). Population , Resources and the Environment: The Challenges Ahead. New York, NY, USA, United Nations.
- UNO (1993). System of National Accounts.
- Unruh, G. C. und W. R. Moomaw (1998). "An alternative analysis of apparent EKC-type transitions." *Ecological Economics* 25: 221-229.
- Viguier, L. (1999). "Emissions of SO_x, NO_x and CO₂ in transition economies: emission inventories and Divisia index analysis." *The Energy journal* 20(2): 59-87.
- Ward, J. H. (1963). "Hierarchical grouping to optimize an objective function." *Journal of the American statistical Association* 58: 236-244.
- WorldBank (1992). *The World Bank Development Report 1992: Development and the Environment*. Washington D.C., The World Bank.
- Yamaji, K., R. Matsushashi, Y. Nagata und Y. Kaya (1991). *An integrated Systems for CO₂/Energy/GNP Analysis:Case Studies on Economic Measures for CO₂ Reduction in Japan*. Workshop on CO₂ Reduction and Removal: Measures for the Next Century, 19-21. March 1991, Laxenburg, Austria, International Institute for Applied Systems Analysis.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Abbildung
AP	Arbeitsproduktivität
BIP	Bruttoinlandsprodukt
GDP	Gross Domestic Product
BSP	Bruttosozialprodukt
CDIAC	Carbon Dioxide Information and Analysis Center
CD-ROM	Compact Disk – Read Only Memory
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
EI	Energieintensität
EKC	Environmental Kuznets Curve (S. 13)
GUS	Gemeinschaft Unabhängiger Staaten (ein Großteil der ehemaligen Sowjetunion)
H ₂ O	chemisches Zeichen für Wasser
IEA	International Energy Agency oder Internationale Energieagentur (Unterorganisation der OECD)
IPAT	Impact = Population x Affluence x Technologie seit den 70er Jahren geprägter Begriff zur Beschreibung des „Umwelt-Mensch“-Verhältnisses (siehe S. 21)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (siehe S. 3)
ISIC	
KI	Kohlenstoffintensität
Kkp	Kaufkraftparitäten
ppp	Purchase power parities
ln	natürlicher Logarithmus
MSA	Measure of Sampling Adequacy; Statistisches Gütekriterium (S.53)
OE	Erdöleinheiten (Maßzahl für den Energieverbrauch)
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Organisation für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
PE	Primärenergie
POP	Population, Bevölkerung
SP R ²	partiell Bestimmtheitsmaß; statistisches Maß der Clusteranalyse
ppm	parts per million (Anteile pro Million)
ppb	parts per billion (Anteile pro Milliarde)
ppt	parts per trillion (Anteile pro Billion)
UN, UNO	United Nations Organisation oder Vereinte Nationen
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UNFPA	United Nations Population Fund (formerly United Nations Fund for Population Activities)
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization
US\$	Währung der USA
USA	United Nations of America
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung
SNA	System of National Accounts
WB	Weltbank, Unterorganisation der UNO
z.B.	zum Beispiel

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen, die mich auf vielfältigste Art beim Schreiben dieser Arbeit unterstützt haben, bedanken.

Ein besonderer Dank gilt Ottmar Edenhofer. Mit ihm zusammen ist die Idee zu dieser Dissertation entstanden und durch zahllose hilfreiche Gespräche bis zu seiner Fertigstellung begleitet worden.

Hans Georg Strohe und Christoph Gerlinger möchte ich vor allem für die Diskussionen und Kommentare in bezug auf die statistischen Teile der Dissertation herzlich danken.

Ein weiterer Dank gilt Hannes-Friedrich Ullbrich und Fritz Reusswig für das kritische Lesen.

Abschließend möchte ich sagen, dass ich am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung eine hervorragende interdisziplinäre Forschungsatmosphäre fand, die ich bei der Arbeit an dieser Dissertation sehr geschätzt habe.

Länderliste mit ausreichender Datenbasis

- Ägypten
- Albanien
- Algerien
- Angola
- Argentinien
- Armenien
- Australien
- Aserbaidschan
- Bahrain
- Bangladesh
- Belarus
- Belgien
- Benin
- Bolivien
- Brasilien
- Bulgarien
- Cameron
- Kanada
- Chile
- China
- Columbia
- Kongo
- Costa Rica
- Kroatien
- Dänemark
- Deutschland
- Dominikanische Republik
- Ecuador
- El Salvador
- Elfenbeinküste
- Estland
- Äthiopien
- Finnland
- Frankreich
- Gabon
- Ghana
- Griechenland
- Guatemala
- Haiti
- Honduras
- Hong Kong
- Island
- Indien
- Indonesien
- Iran, Islamische Republik
- Irland
- Israel
- Italien
- Jamaika
- Japan
- Jemen
- Jordanien
- Kazachstan
- Kenia
- Kuwait
- Kirgizstan
- Litauen
- Libanon
- Litauen
- Luxemburg
- Malaysia
- Malta
- Mazedonien
- Mexiko
- Marokko
- Mozambique
- Namibia
- Nepal
- Die Niederlande
- Neuseeland
- Nicaragua
- Nigeria
- Norwegen
- Österreich
- Pakistan
- Panama
- Paraguay
- Peru
- Philippinen
- Polen
- Portugal
- Republik Moldawien
- Rumänien
- Russland
- Sambia
- Saudi Arabien
- Senegal
- Singapur
- Slowakei
- Slowenien
- Südafrika
- Spanien
- Sri Lanka
- Südkorea
- Schweden
- Schweiz
- Syrische arabische Republik
- Tansania
- Thailand
- Togo
- Trinidad & Tobago
- Tschechische Republik
- Tunesien
- Türkei
- Turkmenistan
- Ukraine
- Ungarn
- Uruguay
- USA
- Usbekistan
- Venezuela
- Vereinigte Arabische Emirate
- Vereinigtes Königreich
- Vietnam
- Zaire
- Zimbabwe
- Zypern

Länderliste mit unzureichender Datenbasis

- Antarktische Fischereigebiete
- Afghanistan
- Amerikanisch Samoa
- Andorra
- Anguilla
- Antigua und Barbuda
- Aruba
- Äquatorial Guinea
- Äthiopien (ohne Eritrea)
- Bahamas
- Barbados
- Belize
- Bermudas Inseln
- Bhutan
- Bosnien und Herzegowina
- Botswana
- Britische Territorien im Indischen Ozean
- Britische Virgin Inseln
- Bundesrepublik Deutschland
- Burkina Faso
- Burundi
- Kaiman Inseln
- Zentralafrikanische Republik
- Tschad
- Cook Inseln
- Demokratische Republik Vietnam
- Demokratischer Jemen
- Deutsche Demokratische Republik
- Dschibuti
- Dominika
- Eritrea
- Faeroe Inseln
- Falkland Inseln (Malvinen)
- Fidschi Inseln
- Föderation von Malaysia-Singapur
- Französisch Equatorial Afrika
- Französisch Guyana
- Französisch Indochina
- Französisch Polynesien
- Französisch West-Afrika
- frühere Panama-Kanal Zone
- Gambia
- Gazastreifen [Palästina]
- Gibraltar
- Grönland
- Grenada
- Guadeloupe
- Guam
- Guinea
- Guinea-Bissau
- Guyana
- Irak
- Insel of Man
- Japan (ohne die Ruyuku Inseln)
- Jemen (früherer)
- Jugoslawien
- Jugoslawien, Soz. Bundesrepublik
- Kambodscha
- Kanalinseln
- Kap Verde
- Komoren
- Kuwait und Teile der neutralen Zone
- Kuwaitische Ölfeuer
- Kiribati
- Kuba
- Leeward Inseln
- Lesotho
- Liberia
- Libyen
- Liechtenstein
- Macau
- Madagaskar
- Malawi
- Maldiven
- Mali
- Marshall Inseln
- Martinique
- Mauritien
- Mauritien
- Mayotte
- Mikronesien
- Monaco
- Mongolei
- Montserrat
- Myanmar
- Niederländische Antillen und Aruba
- Nauru
- Niederländische Antillen
- Neu Kaledonien
- Niger
- Niue
- Nördlichen Mariana Inseln
- Oman
- Ost & West Pakistan
- Osttimor
- Pazifische Inseln (Palau)
- Panama
- Papua Neu Guinea
- Pitcairn
- Puerto Rico
- Qatar
- Republik von Südvietnam
- Reunion
- Rhodesien-Naysaland
- Ruanda
- Ruanda-Burundi
- Ryukyu Inseln
- Sabah
- Sarawak
- Saudi Arabien und Teile der Neutralen Zone
- St. Kitts-Nevis-Anguilla
- Saint Helena
- Saint Kitts und Nevis
- Saint Lucia
- Saint Pierre und Miquelon
- Saint Vincent und die Grenadinen
- Samoa
- San Marino
- Sansibar
- Sao Tome und Principe
- Seychellen
- Sierra Leone
- Solomon Inseln
- Somalia
- Sudan
- Suriname
- Svalbard und Jan Mayen Inseln
- Swasiland
- Tanganyika
- Taiwan, Provinz von China
- Tadschikistan
- Tokelau
- Tonga
- Tschechischslowakische Republik
- Turks und Caicos Inseln
- Tuvalu
- UdSSR
- Uganda
- Vanuatu
- Vatikanstadt
- Vereinigte Staaten der Virgin Inseln
- Volksrepublik Korea
- Volksrepublik Laos
- Wake Inseln
- Wallis und Futuna Inseln
- Weihnachtsinseln [Australien]
- West Bank [Palästina]
- Westliche Sahara

Cluster 1 Arme Klimaschützer

Jahr	POP (mio)	PE (mio t OE)	CO ₂ em (mio t C)	BIP (Kkp mrd intern. \$)	CO ₂ em pro Kopf (t C pro Kopf)	POP pro Einheit CO ₂ em (Anzahl pro tC)	PE pro Kopf (t OE pro Kopf)	BIP in Kkp pro Kopf (int.\$ pro Kopf)	KI (tC pro tOE)	EI (tOE pro int\$)
1975	214	111	22	110	0,10	9,89	0,52	516	0,20	1003
1976	220	114	23	116	0,11	9,37	0,52	526	0,21	988
1977	226	118	23	125	0,10	9,99	0,52	552	0,19	948
1978	233	122	22	131	0,10	10,38	0,52	563	0,18	925
1979	240	125	28	147	0,12	8,46	0,52	612	0,23	850
1980	247	129	29	170	0,12	8,68	0,52	686	0,22	761
1981	255	133	29	176	0,11	8,93	0,52	692	0,21	753
1982	263	137	28	180	0,11	9,40	0,52	685	0,20	761
1983	271	140	27	177	0,10	10,12	0,52	655	0,19	788
1984	279	142	29	188	0,10	9,73	0,51	672	0,20	756
1985	288	146	29	202	0,10	10,03	0,51	702	0,20	724
1986	296	148	28	225	0,10	10,40	0,50	759	0,19	660
1987	305	153	25	255	0,08	12,12	0,50	835	0,16	601
1988	314	157	29	275	0,09	10,98	0,50	877	0,18	571
1989	323	161	32	283	0,10	10,10	0,50	877	0,20	570
1990	332	165	34	289	0,10	9,87	0,50	869	0,20	571
1991	342	170	34	299	0,10	10,08	0,50	873	0,20	568
1992	352	174	40	302	0,11	8,79	0,49	858	0,23	576
1993	359	168	41	315	0,11	8,82	0,47	876	0,24	534
1994	370	176	37	325	0,10	9,98	0,48	878	0,21	542
1995	381	181	35	347	0,09	10,91	0,48	912	0,19	523
1996	391	188	34	363	0,09	11,35	0,48	927	0,18	519
1997	402	195	30	371	0,08	13,30	0,49	924	0,16	525
1998	412	199	32	379	0,08	12,97	0,48	919	0,16	525
1999	422	203	37	413	0,09	11,46	0,48	978	0,18	490

Cluster 2 energiehungrige Kleinemittenten

Jahr	POP (mio)	PE (mio t OE)	CO ₂ em (mio t C)	BIP (Kkp mrd intern. \$)	CO ₂ em pro Kopf (t C pro Kopf)	POP pro Einheit CO ₂ em (Anzahl pro tC)	PE pro Kopf (t OE pro Kopf)	BIP in Kkp pro Kopf (int.\$ pro Kopf)	KI (tC pro tOE)	EI (tOE pro int\$)
1975	1119	425	149	788	0,13	7,50	0,38	704	0,35	540
1976	1147	442	160	842	0,14	7,18	0,39	735	0,36	525
1977	1174	460	182	924	0,15	6,45	0,39	787	0,40	498
1978	1203	478	191	1050	0,16	6,29	0,40	873	0,40	455
1979	1231	499	199	1197	0,16	6,18	0,41	972	0,40	417
1980	1260	514	205	1429	0,16	6,14	0,41	1134	0,40	359
1981	1289	524	210	1553	0,16	6,14	0,41	1205	0,40	338
1982	1319	540	219	1625	0,17	6,03	0,41	1232	0,41	332
1983	1348	556	230	1657	0,17	5,85	0,41	1229	0,41	336
1984	1378	574	235	1810	0,17	5,87	0,42	1313	0,41	317
1985	1408	601	252	1986	0,18	5,58	0,43	1411	0,42	303
1986	1439	630	272	2236	0,19	5,29	0,44	1554	0,43	282
1987	1471	653	285	2549	0,19	5,15	0,44	1733	0,44	256
1988	1502	681	302	2858	0,20	4,98	0,45	1902	0,44	238
1989	1534	707	319	2963	0,21	4,81	0,46	1932	0,45	239
1990	1566	724	339	3062	0,22	4,61	0,46	1955	0,47	237
1991	1597	752	355	3203	0,22	4,49	0,47	2005	0,47	235
1992	1628	777	387	3440	0,24	4,20	0,48	2114	0,50	226
1993	1658	804	400	3664	0,24	4,15	0,48	2210	0,50	219
1994	1688	837	422	3956	0,25	4,00	0,50	2343	0,50	212
1995	1719	882	454	4338	0,26	3,79	0,51	2524	0,51	203
1996	1750	920	501	4620	0,29	3,49	0,53	2640	0,54	199
1997	1782	953	514	4802	0,29	3,46	0,54	2695	0,54	199
1998	1814	967	520	4851	0,29	3,49	0,53	2674	0,54	199
1999	1848	990	567	5191	0,31	3,26	0,54	2810	0,57	191

Cluster 3 Karbonintensive Kleinemittenten

Jahr	POP (mio)	PE (mio t OE)	CO ₂ em (mio t C)	BIP (Kkp mrd intern. \$)	CO ₂ em pro Kopf (t C pro Kopf)	POP pro Einheit CO ₂ em (Anzahl pro tC)	PE pro Kopf (t OE pro Kopf)	BIP in Kkp pro Kopf (int.\$ pro Kopf)	KI (tC pro tOE)	EI (tOE pro int\$)
1975	1320	818	584	1343	0,44	2,26	0,62	1018	0,71	609
1976	1345	857	627	1401	0,47	2,15	0,64	1042	0,73	612
1977	1368	922	677	1488	0,49	2,02	0,67	1087	0,73	620
1978	1392	993	736	1632	0,53	1,89	0,71	1173	0,74	608
1979	1416	1035	767	1886	0,54	1,85	0,73	1333	0,74	549
1980	1439	1069	767	2159	0,53	1,88	0,74	1500	0,72	495
1981	1463	1102	771	2353	0,53	1,90	0,75	1608	0,70	468
1982	1490	1147	820	2461	0,55	1,82	0,77	1652	0,72	466
1983	1517	1170	853	2504	0,56	1,78	0,77	1650	0,73	467
1984	1543	1236	905	2785	0,59	1,71	0,80	1805	0,73	444
1985	1570	1286	957	3038	0,61	1,64	0,82	1935	0,74	423
1986	1598	1344	1001	3340	0,63	1,60	0,84	2090	0,74	403
1987	1628	1410	1051	3831	0,65	1,55	0,87	2354	0,75	368
1988	1658	1470	1108	4283	0,67	1,50	0,89	2583	0,75	343
1989	1687	1512	1137	4330	0,67	1,48	0,90	2567	0,75	349
1990	1716	1569	1170	4511	0,68	1,47	0,91	2629	0,75	348
1991	1743	1614	1239	4913	0,71	1,41	0,93	2818	0,77	328
1992	1769	1665	1308	5497	0,74	1,35	0,94	3107	0,79	303
1993	1794	1747	1363	5994	0,76	1,32	0,97	3342	0,78	291
1994	1818	1821	1454	6531	0,80	1,25	1,00	3592	0,80	279
1995	1842	1922	1527	7164	0,83	1,21	1,04	3889	0,79	268
1996	1866	2014	1588	7743	0,85	1,18	1,08	4150	0,79	260
1997	1889	2026	1603	8184	0,85	1,18	1,07	4333	0,79	248
1998	1912	2028	1566	8506	0,82	1,22	1,06	4449	0,77	238
1999	1934	2031	1785	9061	0,92	1,08	1,05	4685	0,88	224

Cluster 4 absteigende Mittelemittenten

Jahr	POP (mio)	PE (mio t OE)	CO ₂ em (mio t C)	BIP (Kkp mrd intern. \$)	CO ₂ em pro Kopf (t C pro Kopf)	POP pro Einheit CO ₂ em (Anzahl pro tC)	PE pro Kopf (t OE pro Kopf)	BIP in Kkp pro Kopf (int.\$ pro Kopf)	KI (tC pro tOE)	EI (tOE pro int\$)
1991	337	1375	972	2501	2,88	0,35	4,08	7424	0,71	550
1992	338	1345	955	2314	2,83	0,35	3,98	6857	0,71	581
1993	338	1260	873	2133	2,58	0,39	3,73	6310	0,69	591
1994	338	1111	760	1907	2,25	0,44	3,29	5641	0,68	582
1995	338	1078	736	1898	2,18	0,46	3,19	5616	0,68	568
1996	338	1061	713	1872	2,11	0,47	3,14	5543	0,67	567
1997	337	1013	684	1882	2,03	0,49	3,00	5581	0,67	538
1998	337	993	665	1843	1,98	0,51	2,95	5472	0,67	539
1999	336	1009	606	1981	1,80	0,55	3,01	5899	0,60	509

Cluster 5 energiehungrige Spitzenemittenten

Jahr	POP (mio)	PE (mio t OE)	CO ₂ em (mio t C)	BIP (Kkp mrd intern. \$)	CO ₂ em pro Kopf (t C pro Kopf)	POP pro Einheit CO ₂ em (Anzahl pro tC)	PE pro Kopf (t OE pro Kopf)	BIP in Kkp pro Kopf (int.\$ pro Kopf)	KI (tC pro tOE)	EI (tOE pro int\$)
1975	258	1909	1341	2058	5,19	0,19	7,39	7960	0,70	928
1976	261	2031	1429	2199	5,47	0,18	7,77	8419	0,70	923
1977	264	2104	1439	2374	5,45	0,18	7,97	8991	0,68	886
1978	267	2165	1478	2695	5,53	0,18	8,11	10088	0,68	804
1979	270	2173	1493	3113	5,53	0,18	8,04	11521	0,69	698
1980	273	2110	1467	3462	5,37	0,19	7,73	12674	0,70	610
1981	276	2057	1421	3744	5,14	0,19	7,45	13555	0,69	549
1982	279	1982	1354	3693	4,85	0,21	7,10	13223	0,68	537
1983	282	1980	1354	3849	4,80	0,21	7,02	13646	0,68	514
1984	285	2065	1406	4301	4,94	0,20	7,25	15107	0,68	480
1985	287	2093	1423	4689	4,95	0,20	7,28	16315	0,68	446
1986	290	2102	1423	5197	4,90	0,20	7,24	17902	0,68	404
1987	293	2189	1473	5855	5,02	0,20	7,46	19962	0,67	374
1988	296	2277	1551	6456	5,23	0,19	7,68	21783	0,68	353
1989	300	2321	1571	6658	5,24	0,19	7,74	22209	0,68	349
1990	303	2277	1554	6820	5,12	0,20	7,51	22478	0,68	334
1991	306	2291	1553	6947	5,07	0,20	7,48	22680	0,68	330
1992	310	2343	1568	7438	5,06	0,20	7,56	23991	0,67	315
1993	314	2400	1641	7804	5,23	0,19	7,65	24864	0,68	308
1994	318	2459	1686	8280	5,30	0,19	7,74	26056	0,69	297
1995	322	2486	1689	8749	5,25	0,19	7,72	27178	0,68	284
1996	326	2557	1739	9155	5,33	0,19	7,84	28059	0,68	279
1997	331	2587	1780	9535	5,39	0,19	7,83	28845	0,69	271
1998	335	2604	1778	9817	5,31	0,19	7,78	29324	0,68	265
1999	339	2683	1794	10433	5,30	0,19	7,92	30797	0,67	257

Cluster 6 entkarbonisierende Mittelemittenten

Jahr	POP (mio)	PE (mio t OE)	CO ₂ em (mio t C)	BIP (Kkp mrd intern. \$)	CO ₂ em pro Kopf (t C pro Kopf)	POP pro Einheit CO ₂ em (Anzahl pro tC)	PE pro Kopf (t OE pro Kopf)	BIP in Kkp pro Kopf (int.\$ pro Kopf)	KI (tC pro tOE)	EI (tOE pro int\$)
1975	519	1478	1125	2921	2,17	0,46	2,85	5634	0,76	506
1976	521	1576	1194	3085	2,29	0,44	3,02	5918	0,76	511
1977	524	1585	1189	3306	2,27	0,44	3,02	6306	0,75	480
1978	527	1628	1216	3689	2,31	0,43	3,09	6997	0,75	441
1979	530	1708	1275	4285	2,40	0,42	3,22	8078	0,75	399
1980	533	1664	1236	4853	2,32	0,43	3,12	9097	0,74	343
1981	536	1619	1185	5198	2,21	0,45	3,02	9690	0,73	312
1982	539	1593	1147	5373	2,13	0,47	2,96	9974	0,72	296
1983	541	1606	1128	5429	2,09	0,48	2,97	10038	0,70	296
1984	543	1672	1147	5872	2,11	0,47	3,08	10820	0,69	285
1985	545	1725	1170	6356	2,15	0,47	3,17	11669	0,68	271
1986	547	1761	1163	6984	2,13	0,47	3,22	12774	0,66	252
1987	549	1796	1164	7917	2,12	0,47	3,27	14427	0,65	227
1988	551	1848	1195	8867	2,17	0,46	3,35	16097	0,65	208
1989	554	1897	1229	9091	2,22	0,45	3,43	16417	0,65	209
1990	557	1938	1256	9475	2,26	0,44	3,48	17021	0,65	205
1991	560	1988	1264	9925	2,26	0,44	3,55	17737	0,64	200
1992	562	2000	1255	10427	2,23	0,45	3,56	18543	0,63	192
1993	565	2022	1242	10631	2,20	0,46	3,58	18816	0,61	190
1994	567	2065	1265	11116	2,23	0,45	3,64	19589	0,61	186
1995	570	2121	1282	11770	2,25	0,44	3,72	20655	0,60	180
1996	572	2196	1337	12168	2,34	0,43	3,84	21263	0,61	181
1997	574	2213	1315	12409	2,29	0,44	3,85	21602	0,59	178
1998	576	2222	1302	12459	2,26	0,44	3,86	21617	0,59	178
1999	578	2251	1342	13069	2,32	0,43	3,89	22604	0,60	172

Herleitung der Formel 7.2 aus Kapitel 7

$$\Delta A = A_{t_1} - A_{t_0} = C_{t_1} \cdot B_{t_1} - C_{t_0} \cdot B_{t_0} \quad (7.1)$$

wird durch Null-Terme erweitert zu

$$\Delta A = C_{t_1} \cdot B_{t_1} - C_{t_0} \cdot B_{t_0} + (C_{t_1} \cdot B_{t_0} - C_{t_1} \cdot B_{t_0}) + (C_{t_1} \cdot B_{t_0} - C_{t_0} \cdot B_{t_0}) + (C_{t_0} \cdot B_{t_1} - C_{t_0} \cdot B_{t_1}) \quad (7.1a)$$

durch Umsortieren der Produkte erhält man

$$\Delta A = C_{t_1} \cdot B_{t_0} - C_{t_0} \cdot B_{t_0} + C_{t_0} \cdot B_{t_1} - C_{t_0} \cdot B_{t_0} + C_{t_1} \cdot B_{t_1} - C_{t_0} \cdot B_{t_1} - C_{t_1} \cdot B_{t_0} + C_{t_0} \cdot B_{t_0} \quad (7.1b)$$

das neue Setzen von Klammern führt zu

$$\Delta A = (C_{t_1} \cdot B_{t_0} - C_{t_0} \cdot B_{t_0}) + (C_{t_0} \cdot B_{t_1} - C_{t_0} \cdot B_{t_0}) + (C_{t_1} \cdot B_{t_1} - C_{t_0} \cdot B_{t_1}) - (C_{t_1} \cdot B_{t_0} + C_{t_0} \cdot B_{t_0}) \quad (7.1c)$$

was sich zusammenfassen lässt zu

$$\Delta A = [(C_{t_1} - C_{t_0}) \cdot B_{t_0}] + [C_{t_0} \cdot (B_{t_1} - B_{t_0})] + [(C_{t_1} - C_{t_0}) \cdot B_{t_1} - (C_{t_1} - C_{t_0}) \cdot B_{t_0}] \quad (7.1d)$$

und

$$\Delta A = [(C_{t_1} - C_{t_0}) \cdot B_{t_0}] + [(B_{t_1} - B_{t_0}) \cdot C_{t_0}] + [(C_{t_1} - C_{t_0}) \cdot (B_{t_1} - B_{t_0})] \quad (7.1e)$$

ergibt

$$\Delta A = (C_{t_1} - C_{t_0}) \cdot B_{t_0} + (B_{t_1} - B_{t_0}) \cdot C_{t_0} + (C_{t_1} - C_{t_0}) \cdot (B_{t_1} - B_{t_0}) \quad (7.2)$$

und

$$\Delta A = \Delta C \cdot B_{t_0} + \Delta B \cdot C_{t_0} + \Delta C \cdot \Delta B \quad (7.3)$$

SAS-Script 1: Datenaufbereitung und Qualitätskontrolle

```
*****
* Datenaufbereitung und Qualitätskontrolle *
* *
* Katrin Gerlinger, 14.02.2003; *
*****;

* persönliche SAS Einstellungen;

libname library 'D:\daten\sasfiles';
options mprint;
goptions ftitle=centbi ;

* A Zusammenfügen der Einzelreihen *
*****;

* A1 Primärenergieverbrauch *
*****;
data pe;
set library.pe;
* Frankreich muss umgesetzt werden, Monaco wird vernachlässigt;
if land_name eq 'France' then do;
land_name = 'FRANCE (INCLUDING MONACO)' ;
sas_id = 350;
end;
* check ob Monaco auch fehlt;
if upcase(land_name) eq 'MONACO' then error 'Monaco doch vorhanden!';

* Italien muss umgesetzt werden, San Marino wird vernachlässigt;
if land_name eq 'Italy' then do;
land_name = 'ITALY (INCLUDING SAN MARINO)';
sas_id = 480;
end;
* check ob San Marino auch fehlt;
if upcase(land_name) eq 'SAN MARINO' then error
'San Marino doch vorhanden!';
run;

proc sort data=pe;
by land_name year;
run;

* A2 Bevölkerung Bruttoinlandsprodukt *
*****;
data pop_gdp;
set library.pop_gdp;
* Frankreich muss umgesetzt werden, Monaco wird vernachlässigt;
if land_name eq 'France' then do;
land_name = 'FRANCE (INCLUDING MONACO)' ;
sas_id = 350;
end;
* check ob Monaco auch fehlt;
if upcase(land_name) eq 'MONACO' and pop ne . then error
'Monaco doch vorhanden!';
* Italien muss umgesetzt werden, San Marino wird vernachlässigt;
if land_name eq 'Italy' then do;
land_name = 'ITALY (INCLUDING SAN MARINO)';
sas_id = 480;
end;
```

```

* check ob San Marino auch fehlt;
if upcase(land_name) eq 'SAN MARINO' and pop ne . then error
    'San Marino doch vorhanden!';
run;

proc sort data=pop_gdp;
    by land_name year;
run;

* A3 CO2-Emissionen *
*****;
data co2;
    set library.co2;
    * Italy (including San Marino) bekommt SAS_id;
    if land_name eq 'ITALY (INCLUDING SAN MARINO)' then sas_id = 480;
    * check ob San Marino auch fehlt;
    if upcase(land_name) eq 'SAN MARINO' and co2 ne . then error
        'San Marino doch vorhanden!';
    if land_name eq 'FRANCE (INCLUDING MONACO)' then sas_id = 350;
    * check ob Monaco auch fehlt;
    if upcase(land_name) eq 'MONACO' and co2 ne . then error
        'Monaco doch vorhanden!';
run;

* retrospektive Wiedervereinigung;
* CO2 Zeitreihen von Deutschland sind für 1945-1989 geteilt
  und müssen wieder zusammengefügt werden;

data co2a co2b;
    set co2;
    select (abbrev);
        when ('GERMAN_D', 'GRMNY_FR') output co2a;
        otherwise output co2b;
    end;
run;

proc summary data=co2a nway;
    var co2;
    class year;
    output out=co2c sum=co2;
run;

data co2d;
    set co2c;
    drop _freq_ _type_;
    length abbrev $10 land_name $46;
    abbrev='GERMANY';
    land_name = 'Germany';
    sas_id = 394;
    if year eq 1945 then co2=.*un gla ubwü rdige Daten!;
run;

proc sort data=co2b;
    by abbrev year;
run;
data co2;
    set co2b(where=(not((abbrev = 'GERMANY')and(year in (1945,1946)))));
    co2d;
    by abbrev year;
run;

```

```

proc sort data=co2;
    by land_name year;
run;

* A4 Einzeldatensatz zusammenfügen;
*****;

data rohdate;
    merge co2 pop_gdp pe ;
    by land_name year;
run;

* UNO-Daten zusätzlich einspielen;

data rohdaten;
    merge rohdate library.uno_zusatz(keep=land_name year gdp_ppp);
    by land_name year;
run;

data library.rohdaten;
    set rohdaten;
    * Italy soll nicht rausfliegen;
    if land_name = 'ITALY (INCLUDING SAN MARINO)' then do
        land_name='Italy';
    end;
    *France soll nicht rausfliegen;
    if land_name = 'FRANCE (INCLUDING MONACO)' then do
        land_name = 'France';
    end;
    rename gdp_ppp = gdp;
run;

*einheitlichen Rohdatensatz erzeugen ;
*****;

proc sort data=library.rohdaten;
    by land_name year;
run;

*          B Filtern von Datensätzen mit ungenügender Qualität          *
*****;

* Definition für brauchbar:
im Zeitraum von 1991-98 existieren mindestens 5 Datenpunkte pro Zeitreihe;

%let von = 1991;
%let bis = 1998;

* zähle Jahre mit vorhandenen co2 gdp pop pe pro land von &von-&bis;
proc summary data=library.rohdaten nway;
    where (&von le year le &bis) and co2 ne . and pe ne .
        and pop ne . and gdp ne . ;
    class land_name; var year;
    output out=liste max=year n=n;
run;

* finde Länder mit Werten für co2, pe, gdp, pop in 5 von 8 Jahren;
data liste_ok;
    set liste;
    where _freq_ > 4;

```

```

        keep land_name;
run;

* Datensatz teilen in gut (daten_ok)und schlecht (daten_raus);
* andere Länder kommen in daten_raus;
data library.daten_ok daten_raus;
    merge library.rohdaten liste_ok(in=in);
    by land_name ;
    if in then output library.daten_ok; else output daten_raus;
run;

* Übersicht über den Ausschuss;

proc summary data=daten_raus nway;
    class land_name;
    output out=liste_raus;
run;

* Aufräumen;
proc datasets nolist library=work mt=data;
    delete liste pe pop_gdp co2 rohdate rohdaten;
run;
quit;

*          C Berechnung von Niveau und Wachstumsparametern pro Land          *
*****;

* Teildatensatz aus daten_ok extrahieren;
data a;
    set library.daten_ok;
        label co2 = 'Total CO2 Emission from fossil fuels
                    (1000 metric tons of C)(CDIAC)'
              pe  = 'Total Primary Energy Supply (KTOE) (IEA)'
              pop = 'Population (total)(WB)'
              gdp = 'GDP, PPP (current intern. $(WB))';
run;

* Indexzahlen aus den geprüften Daten berechnen;
data b;
    set a;
    co2p = co2 / pop;
    popc = pop /co2;
    pep  = pe /pop;
    gdpp = gdp /pop;
    ki   = co2 / pe;
    ei   = pe / gdp;
    label co2p = 'CO2 Emission per capita (co2/pop)'
          popc = 'Population per kt C(pop/co2)'
          pep  = 'Primary Energy per capita (pe/pop)'
          gdpp = 'GDP per capita (gdp/pop)'
          ki   = 'Carbon Intensity (co2/pe)'
          ei   = 'Energy Intensity (pe/gdp)';
run;

* permanenten Datensatz mit den Logarithmen der Zeitreihen erzeugen;
* library.basisdaten ist Eingangsdatensatz für SAS-Script Regression;
data library.basisdaten;
    set b;
    l_pop = log(pop);
    l_gdp = log(gdp);
    l_co2 = log(co2);

```

```

    l_pe = log(pe);
    l_gdpp = log(gdpp);
    l_co2p = log(co2p);
    l_popc = log(popc);
    l_pep = log(pep);
    l_ki = log(ki);
    l_ei = log(ei);
run;

*           D deskriptive Statistik zum Datensatz           *
*****;

data c;
    set library.basisdaten (keep= land_name year co2p ki ei gdpp);
    where 1974 < year <1999;
    co2p = co2p * 1000;
    ei   = ei * 1000000;
    label co2p = 'tC per capita'
          ki   = 'Carbon Intensity (tC/tOE)'
          ei   = 'kg per ppp'
          gdpp = 'BIP pro Kopf (int.$ KKP)';
run;

proc univariate data=c;
    var co2p ki ei gdpp;
run;

proc capability data=c normaltest;
    title font=duplex 'CO2 Emissionen pro Kopf';
    where 0 le co2p le 10;
    *footnote "where 0 le co2p le 10";
    var co2p ;
    histogram co2p / kernel (k=normal) cfill=blue ;*midpoints=(0 to 1 by
                                                    0.0005);
    inset n (6.0) mean std skewness min q1 median q3 max
    / height=3 format=8.4 header='Descriptive Statistics' position=ne ;
run;

proc capability data=c normaltest;
    title font=duplex 'Kohlenstoffintensitaet';
    var ki ;
    where 0 le ki le 1.5;
    *footnote "where 0 le ki le 1.5";
    histogram ki / kernel (k=normal) cfill=blue;* midpoints=(0 to 12 by
                                                    0.25);
    inset n (6.0) mean std skewness min q1 median q3 max
    / height=3 format=8.4 header='Descriptive Statistics' position=ne ;
run;

proc capability data=c normaltest;
    title font=duplex 'Energieintensitaet';
    var ei ;
    where 0 le ei le 10;
    *footnote "where 0 le ei le 10";
    histogram ei / kernel (k=normal) cfill=blue;* midpoints=(0 to 12 by
                                                    0.25);
    inset n (6.0) mean std skewness min q1 median q3 max
    / height=3 format=8.4 header='Descriptive Statistics' position=ne ;
run;

```

```
proc capability data=c normaltest;
  title font=duplex 'BIP pro Kopf';
  var gdpp ;
  where 300 le gdpp le 30000;
  histogram gdpp / kernel (k=normal) cfill=blue;* midpoints=(0 to 12
                                                    by 0.25);
  inset n (6.0) mean std skewness min q1 median q3 max
  /height=3 format=8.4 header='Descriptive Statistics' position=ne ;
run;

*           E Arbeitsfolder Work aufräumen           *
*****;

proc datasets nolist library=work mt=data;
  delete a b c co2a co2b co2c co2d daten_raus liste_ok liste_raus;
run;
quit;

*****;
*           Scriptende           *
*****;
```

SAS-Script 2: Zeitliche Informationsverdichtung

```
*****
* Qualitätskontrolle von Datensätzen *
* *
* Katrin Gerlinger, 20.10.2003; *
*****;

* persönliche SAS Einstellungen;

libname library 'D:\daten\sasfiles';
options mprint;
goptions ftitle=centbi ;

* A Berechnung von Niveau und Wachstumsparametern via *
* linearer Regression der Variablen pro Land *
*****;

%macro regression (begin, end, indata, outdata);

* regression pro Variable und Land;
proc reg data=&indata outest=reg rsquare;
  where &begin le year le &end;
  by land_name;
  model l_pop = year;
  model l_gdp = year;
  model l_co2 = year;
  model l_pe = year;
  model l_gdpp = year;
  model l_co2p = year;
  model l_popc = year;
  model l_pep = year;
  model l_ki = year;
  model l_ei = year;
run;
quit;

* Datensatz bauen;
proc transpose data=reg out=reg_b0;
  by land_name;
  var intercept;
  id _depvar_;
run;

* intercept;
data b0a;
  set reg_b0;
  b0_pop = l_pop;
  b0_gdp = l_gdp;
  b0_co2 = l_co2;
  b0_pe = l_pe;
  b0_gdpp = l_gdpp;
  b0_co2p = l_co2p;
  b0_popc = l_popc;
  b0_pep = l_pep;
  b0_ki = l_ki;
  b0_ei = l_ei;
run;

data b0;
```

```

        set b0a;
        keep land_name b0_pop b0_gdp b0_co2 b0_pe b0_gdpp b0_co2p b0_popc
b0_pep b0_ki b0_ei;
run;

```

```

* Anstieg;
proc transpose data=reg out=reg_b1;
  by land_name;
  var year;
  id _depvar_;
run;

```

```

data bla;
  set reg_b1;
  b1_pop = l_pop;
  b1_gdp = l_gdp;
  b1_co2 = l_co2;
  b1_pe = l_pe;
  b1_gdpp = l_gdpp;
  b1_co2p = l_co2p;
  b1_popc = l_popc;
  b1_pep = l_pep;
  b1_ki = l_ki;
  b1_ei = l_ei;
run;

```

```

data b1;
  set bla;
  keep land_name b1_pop b1_gdp b1_co2 b1_pe b1_gdpp b1_co2p b1_popc
        b1_pep b1_ki b1_ei;
run;

```

```

* Datensätze zusammen führen;
* Werte für 1995 und Wachstumsrate bestimmen;
data b0_b1;
  merge b0 b1;
  by land_name;
  yzu_pop_95 = exp(b0_pop + b1_pop * 1995);
  yzu_gdp_95 = exp(b0_gdp + b1_gdp * 1995);
  yzu_co2_95 = exp(b0_co2 + b1_co2 * 1995);
  yzu_pe_95 = exp(b0_pe + b1_pe * 1995);
  yzu_gdpp_95 = exp(b0_gdpp + b1_gdpp * 1995);
  yzu_co2p_95 = exp(b0_co2p + b1_co2p * 1995);
  yzu_popc_95 = exp(b0_popc + b1_popc * 1995);
  yzu_pep_95 = exp(b0_pep + b1_pep * 1995);
  yzu_ki_95 = exp(b0_ki + b1_ki * 1995);
  yzu_ei_95 = exp(b0_ei + b1_ei * 1995);
  ywa_pop = exp(b1_pop )-1;
  ywa_gdp = exp(b1_gdp )-1;
  ywa_co2 = exp(b1_co2 )-1;
  ywa_pe = exp(b1_pe )-1;
  ywa_gdpp = exp(b1_gdpp)-1;
  ywa_co2p = exp(b1_co2p)-1;
  ywa_popc = exp(b1_popc)-1;
  ywa_pep = exp(b1_pep )-1;
  ywa_ki = exp(b1_ki )-1;
  ywa_ei = exp(b1_ei )-1;
run;

```

```

* Konkordanzliste der Länderbezeichnungen;

```

```

proc sort data=library.somalaender (keep=land_name abbrev sas_id) out=ko;
  by land_name;
run;

data &outdata;
  merge ko b0_b1 (in=in);
  by land_name;
  if in;
  drop b0_pop b0_gdp b0_co2 b0_pe b0_gdpp b0_co2p
        b0_popc b0_pep b0_ki b0_ei
        b1_pop b1_gdp b1_co2 b1_pe b1_gdpp b1_co2p
        b1_popc b1_pep b1_ki b1_ei ;
  if land_name eq 'FRANCE (INCLUDING MONACO)' then do;
    abbrev = 'FRANCE' ;
    sas_id = 350;
  end;
  if land_name eq 'ITALY (INCLUDING SAN MARINO)' then do;
    abbrev = 'ITALY';
    sas_id = 480;
  end;
run;

* Aufräumen;
proc datasets nolist library=work mt=data;
  delete a b b0 b0a b0_b1 b1 bla co2a co2b co2c co2d ko reg_b0 reg_b1;
run;
quit;

*           B halblogarithmischer plot der Zeitreihen pro Land_name
*
*****;

*title1 'Halblogarithmische Darstellung der relevanten Zeitreihen';
*title2 ' ';
data anno;
  set reg;
  retain xsys ysys '2' when 'a' size 3;
  length color $8;
  select (_depvar_);
    when ('l_pop')   color = 'green';
    when ('l_gdp')  color = 'red';
    when ('l_co2')  color = 'blue';
    when ('l_pe')   color = 'black';
    when ('l_co2p') color = 'cyan';
    when ('l_ki')   color = 'magenta';
    when ('l_ei')   color = 'yellow';
    when ('l_gdpp') color = 'brown';
    otherwise delete; *color='white ' ;
  end;
  function = 'move';
  y = intercept + &begin * year;
  x = &begin;
  output;
  function = 'draw';
  y = intercept + &end * year;
  x = &end;
  output;
run;
proc gplot data=&indata ;
  axis1 label=none;
  axis2 order=(1950 to 2000 by 10);

```

```

symbol1 i=none value=x c=green;
symbol2 i=none value=x c=red;
symbol3 i=none value=x c=blue;
symbol4 i=none value=x c=black;
symbol5 i=none value=dot c=cyan;
symbol6 i=none value=dot c=magenta;
symbol7 i=none value=dot c=yellow;
symbol8 i=none value=dot c=brown;
plot (l_pop l_gdp l_co2 l_pe l_co2p l_ki l_ei l_gdpp)*year
      /overlay anno=anno legend vaxis=axis1 haxis=axis2;
by land_name notsorted;
run; quit;

%mend;

%regression (1980, 1998, library.basisdaten, wachstum);
%regression (1980, 1998, library.clusterbasisdaten, clusterwachstum);
%regression (1980, 1998, library.weltbasisdaten, weltwachstum);

* erst nach der Kontrolle permanent ablegen;
data library.wachstum;
  set wachstum;
  label yzu_pop_95 = 'yzu_pop_95 (capita)'
        yzu_gdp_95 = 'yzu_gdp_95 ($ppp)'
        yzu_co2_95 = 'yzu_co2_95 (1000t C)'
        yzu_pe_95  = 'yzu_pe_95 (1000t OE)'
        yzu_gdpp_95 = 'yzu_gdpp_95 ($ppp per capita)'
        yzu_co2p_95 = 'yzu_co2p_95 (1000tC per capita)'
        yzu_popc_95 = 'yzu_popc_95 (capita per 1000tC)'
        yzu_pep_95  = 'yzu_pep_95 (1000t OE per capita)'
        yzu_ki_95   = 'yzu_ki_95 (1000tC per 1000tOE)'
        yzu_ei_95   = 'yzu_ei_95 (1000tOE per $ppp)'
        ywa_pop     = 'ywa_pop (%)'
        ywa_gdp     = 'ywa_gdp (%)'
        ywa_co2     = 'ywa_co2 (%)'
        ywa_pe      = 'ywa_pe (%)'
        ywa_gdpp    = 'ywa_gdpp (%)'
        ywa_co2p    = 'ywa_co2p (%)'
        ywa_popc    = 'ywa_popc (%)'
        ywa_pep     = 'ywa_pep (%)'
        ywa_ki      = 'ywa_ki (%)'
        ywa_ei      = 'ywa_ei (%)'
        ;
run;

data library.clusterwachstum;
  set clusterwachstum;
  if land_name = '1 - arme Klimaschützer' then do;
    abbrev = 'cl1';
    sas_id = .;
    cl6    = 1;
  end;
  if land_name = '2 - energiehungrige Kl' then do;
    abbrev = 'cl2';
    cl6    = 2;
  end;
  if land_name = '3 - karbonintensive Kl' then do;
    abbrev = 'cl3';
    cl6    = 3;
  end;

```

```

end;
if land_name = '4 - absteigende Mittel' then do;
    abbrev = 'cl4';
    cl6    = 4;
end;
if land_name = '5 - karbonhungrige Spi' then do;
    abbrev = 'cl5';
    cl6    = 5;
end;
if land_name = '6 - entkarbonisierende ' then do;
    abbrev = 'cl6';
    cl6    = 6;
end;
label yzu_pop_95 = 'yzu_pop_95 (mio)'
      yzu_gdp_95 = 'yzu_gdp_95 (mrd $ppp)'
      yzu_co2_95 = 'yzu_co2_95 (miot C)'
      yzu_pe_95  = 'yzu_pe_95 (mio t OE)'
      yzu_gdpp_95 = 'yzu_gdpp_95 ($ppp per capita)'
      yzu_co2p_95 = 'yzu_co2p_95 (tc per capita)'
      yzu_popc_95 = 'yzu_popc_95 (capita per tC)'
      yzu_pep_95  = 'yzu_pep_95 (t OE per capita)'
      yzu_ki_95   = 'yzu_ki_95 (tC per tOE)'
      yzu_ei_95   = 'yzu_ei_95 (kgOE per $ppp)'
      ywa_pop     = 'ywa_pop (%)'
      ywa_gdp     = 'ywa_gdp (%)'
      ywa_co2     = 'ywa_co2 (%)'
      ywa_pe      = 'ywa_pe (%)'
      ywa_gdpp    = 'ywa_gdpp (%)'
      ywa_co2p    = 'ywa_co2p (%)'
      ywa_popc    = 'ywa_popc (%)'
      ywa_pep     = 'ywa_pep (%)'
      ywa_ki      = 'ywa_ki (%)'
      ywa_ei      = 'ywa_ei (%)'
;
run;

data library.weltwachstum;
set weltwachstum;
if land_name = '5cl_welt' then do;
    abbrev = '5cl_welt';
    sas_id = .;
    cl6    = 55;
end;
if land_name = '6cl_welt' then do;
    abbrev = '6cl_welt';
    sas_id = .;
    cl6    = 66;
end;
label yzu_pop_95 = 'yzu_pop_95 (mio)'
      yzu_gdp_95 = 'yzu_gdp_95 (mrd $ppp)'
      yzu_co2_95 = 'yzu_co2_95 (miot C)'
      yzu_pe_95  = 'yzu_pe_95 (mio t OE)'
      yzu_gdpp_95 = 'yzu_gdpp_95 ($ppp per capita)'
      yzu_co2p_95 = 'yzu_co2p_95 (tc per capita)'
      yzu_popc_95 = 'yzu_popc_95 (capita per tC)'
      yzu_pep_95  = 'yzu_pep_95 (t OE per capita)'
      yzu_ki_95   = 'yzu_ki_95 (tC per tOE)'
      yzu_ei_95   = 'yzu_ei_95 (kgOE per $ppp)'
      ywa_pop     = 'ywa_pop (%)'
      ywa_gdp     = 'ywa_gdp (%)'
      ywa_co2     = 'ywa_co2 (%)'

```

```
        ywa_pe   = 'ywa_pe (%)'  
        ywa_gdpp = 'ywa_gdpp (%)'  
        ywa_co2p = 'ywa_co2p (%)'  
        ywa_popc = 'ywa_popc (%)'  
        ywa_pep  = 'ywa_pep (%)'  
        ywa_ki   = 'ywa_ki (%)'  
        ywa_ei   = 'ywa_ei (%)'  
    ;  
run;  
  
*           C Arbeitsfolder Work aufräumen           *  
*****;  
  
proc datasets nolist library=work mt=data;  
    delete anno reg wachstum clusterwachstum weltwachstum;  
run;  
quit;  
  
*****;  
*           Scriptende           *  
*****;
```

SAS-Skript 3: Räumliche Informationsverdichtung

```
*****
* Clusteranalyse mit Weltkartenerzeugung
*
*
* Katrin Gerlinger, 11.01.2004;
*****;

* persönliche SAS Einstellungen;

libname library 'D:\daten\sasfiles';
options mprint;
goptions ftitle=centbi ;

*druckt macrocode in log;

* (A) Macro zur Clusteranalyse ;
*****;

%macro tus (indata, vars, nvars, nclus);
* indata = Quelldaten;
* vars = liste der Clustervariablen;
* nvars = anzahl der Clustervariablen;
* nclus = anzahl der zu zeigenden Cluster > 2!;

* ***** CLUSTER METHODE (im weitern Sinne);
* standardisiere Indices auf mean=0 std=1;

title1 "Clusterung von &vars.";

proc sort data=&indata out=data;
  by abbrev;
run;

proc standard data=data mean=0 std=1 out=std_cluster;
  var &vars;
run;

proc cluster data=std_cluster method=ward outtree=baum;
  var &vars;
  id abbrev;
run;

proc sort data=library.somalaender (keep=land_name abbrev sas_id) out=ko;
  by abbrev;
run;

proc tree data=baum;
  goptions htext=6 pt;
run;

%do blatt=&nclus %to 8 %by -1;
  title2 "Proc Cluster mit &blatt Clustern";
  proc tree data=baum nclusters=&blatt out=baumhaus noprint;
    * ncluster gibt die Anzahl der "Zimmer" im Baumhaus an;
    goptions htext=6 pt;
    where
      %scan(&vars,1) ne .
      %do i = 2 %to &nvars;
```

```

        and %scan(&vars,&i) ne .
    %end;
;
id abbrev;
run;

proc sort data=baumhaus(drop= clusname);
    by abbrev;
run;

data cluster&blatt;
    merge baumhaus data;
    by abbrev;
run;

proc sort data=cluster&blatt;
    by cluster;
run;

proc summary data=cluster&blatt nway;
    class cluster;
    var &vars;
    output out=sum&blatt
        mean= %do j=1 %to &nvars; mean_%scan(&vars, &j) %end;
        std= %do j=1 %to &nvars; std_%scan(&vars, &j) %end;
        ;
run;

data baumhaus1;
    merge ko baumhaus(in=in);
    by abbrev;
    id = sas_id ;
    if cluster eq . then cluster =0;
run;

/** k-means Clusterung;

title2 "Proc FastClus mit &blatt Clustern";
proc fastclus maxclusters=&blatt data=std_cluster
means=fastclus_means_&blatt out=zelt;
    var &vars;
run;

proc sort data=zelt;
    by abbrev;
run;

proc summary data=zelt nway;
    class cluster;
    var &vars;
    output out=par_sum&blatt
        mean= %do j=1 %to &nvars; mean_%scan(&vars, &j) %end;
        std= %do j=1 %to &nvars; std_%scan(&vars, &j) %end;
        ;
run;

data zelt1;
    merge ko zelt(in=in);
    by abbrev;
    id=sas_id;
    if cluster eq . then cluster = 0;

```

```

run;

proc gmap map=maps.world data=zelt1;
  goptions htext=12 pt;
  id id;
  choro cluster /discrete;
  pattern1 c=black v=me;
run;
quit;
**/
%end;
%mend tus;
*tus (library.wachstum, yzu_co2p_95 yzu_ki_95 yzu_ei_95 yzu_gdpp_95
ywa_co2p ywa_ki ywa_ei ywa_gdpp, 8, 8);

* (B) Clusterliste GUS zusammenfassen, umsortieren ;
*****;

data cl6_liste;
  set baumhaus1;
  if sas_id eq . then delete;
  if cluster = 0 then do cl6 = 0; end;
  if cluster = 1 then do cl6 = 2; end;
  if cluster = 2 then do cl6 = 6; end;
  if cluster = 3 then do cl6 = 1; end;
  if cluster = 4 then do cl6 = 3; end;
  if cluster = 5 then do cl6 = 4; end;
  if cluster = 6 then do cl6 = 5; end;
  if cluster = 7 then do cl6 = 4; end;
  if cluster = 8 then do cl6 = 4; end;
* drop cluster sas_id;
label id = 'sas_id';
run;

* (C) Weltkarte ;
*****;

title1;
title2 " ";
proc gmap map=maps.world data=cl6_liste;
  goptions htext=12 pt;
  id id;
  choro cl6 /discrete;
  pattern1 c=black v=me;
  legend1 label=none value=(f=swiss);
  pattern1 c=black v=me;
  pattern2 c=black;
  pattern3 c=green;
  pattern4 c=yellow;
  pattern5 c=grew;
  pattern6 c=red;
  pattern7 c=blue;
  pattern8 c=orange;
run;
quit;

proc sort data=cl6_liste out=library.cl6_liste;
  by cl6 land_name;
run;
* Clusterdatensatz bauen;

```

```

proc sort data=library.cl6_liste out=cl6;
  by land_name;
run;

proc sort data=library.daten_ok out=daten_ok;
  by land_name;
run;

data a;
  merge cl6 daten_ok;
  by land_name;
run;

proc sort data=a out=b;
  by cl6 land_name year;
  where year ge 1975;
run;

proc summary data=b nway;
  class cl6 year;
  var pop pe co2 gdp_ppp;
  output out=b1 n=n_pop n_pe n_co2 n_gdp_ppp;
run;

%macro clusterwerte (source,n, von, bis);
  %do i=1 %to n;
    proc summary data=&source nway;
      where cl6=&i;
      where same and &von le year le &bis;
      where same and co2 ne . and pop ne . and gdp_ppp ne . and pe ne
.;
      class land_name ;
      output Out=hilf1_&source;
run;

data hilf2_&source;
  set hilf1_&source;
  if _freq_ eq %eval(&bis-&von+1);
run;

data _null_;
  set hilf2_&source end=end;
  call symput('n' || left(_N_), land_name);
  if end then call symput ('ende', _n_);
run;

proc summary data=&source nway;
  class &source year;
  where co2 ne . and pop ne . and gdp_ppp ne . and pe ne .;
  where same and land_name in (
    %do i = 1 %to &ende;
      "&n&i"
    %end;
  );
  var co2 pop gdp_ppp pe;
  output out=b_&source sum=sum_co2 sum_pop sum_gdp_ppp sum_pe;
run;

```

```
data c_&source;
  set b_&source;
  co2p = sum_co2 / sum_pop;
  popc = sum_pop /sum_co2;
  pep = sum_pe /sum_pop;
  gdpp = sum_gdp_ppp /sum_pop;
  ki = sum_co2 / sum_pe;
  ei = sum_pe / sum_gdp_ppp;
  label co2p = 'CO2 Emission per capita (co2/pop)'
        popc = 'Population per kt C(pop/co2)'
        pep = 'Primary Energy per capita (pe/pop)'
        gdpp = 'GDP per capita (gdp/pop)'
        ki = 'Carbon Intensity (co2/pe)'
        ei = 'Energy Intensity (pe/gdp)';
run;
PROC EXPORT DATA= WORK.c_&source
  OUTFILE= "D:\daten\graphik_&source"
  DBMS=EXCEL5 REPLACE;
RUN;

%mend;
options mprint;
%clusterwerte (b, 6, 1975, 2000 );

*           D Arbeitsfolder Work aufräumen           *
*****;

proc datasets nolist library=work mt=data;
  delete a b b1 baum baumhaus baumhaus 1 cl6 cl6_liste
        cluster8 data daten_ok ko std_cluster sum8;
run;
quit;

*****;
*           Scriptende           *
*****;
```

SAS-Script 4: Berechnung der Clusterwerte

```
*****
* Berechnung der Clusterwerte *
* *
* Katrin Gerlinger, 14.01.2004; *
*****;

* persönliche SAS Einstellungen;

libname library 'D:\daten\sasfiles';
options mprint;
goptions ftitle=centbi ;

* A Datensatz mit Länderzeitreihen vorbereiten *
*****;

* Länder mit zu kurzen Datensätzen aus der Länderliste ausschließen;

proc sort data=library.cl6_liste out=cl6;
  by land_name;
  where sas_id not in (135, 232, 310, 331, 440, 540,
                     574, 730, 789, 821, 965);
run;

* Originaldaten sortieren;

proc sort data=library.daten_ok out=daten_ok;
  by land_name;
run;

* Zusammenfügen der Länderliste mit den Originaldaten;
* Verkürzung der Zeitreihen auf 1975 - 1999 ;
* für Cluster 4 (GUS) auf 1992 - 1999 ;

data a;
  merge cl6 daten_ok(in=in);
  by land_name;
  if in and cl6 ne .;
  if 1975 le year le 1999;
  if cl6=4 and year lt 1991 then delete;
run;

* Datensatz der via Regression der logarithmierten Werte
* bestimmten Niveaus und Anstiege aller Länderzeitreihen integrieren;
* fehlende Datenpunkte der Originaldaten durch geschätzte Werte ersetzen;
* geschätzte Werte markieren;

data a1;
  merge a(in=in) library.wachstum;
  by land_name ;
  if in;

  if pop eq . then do;
    pop = yzu_pop_95*(1+ywa_pop)**(year-1995);
    pop_ersetzt = 1; *wahr;
  end;
  else pop_ersetzt = 0; *falsch;

  if pe eq . then do;
```

```

        pe = yzu_pe_95*(1+ywa_pe)**(year-1995);
        pe_ersetzt = 1; *wahr;
    end;
    else pe_ersetzt = 0; *falsch;

if co2 eq . then do;
    co2 = yzu_co2_95*(1+ywa_co2)**(year-1995);
    co2_ersetzt = 1; *wahr;
end;
else co2_ersetzt = 0; *falsch;

if gdp eq . then do;
    gdp = yzu_gdp_95*(1+ywa_gdp)**(year-1995);
    gdp_ersetzt = 1; *wahr;
end;
else gdp_ersetzt = 0; *falsch;
drop ywa_co2--yzu_popc_95;
run;

* permanenten vollständigen Länderdatensatz daten_ok_komplett erzeugen;

data library.daten_ok_komplett;
set a1 (keep= land_name abbrev cl6 sas_id year co2 pop gdp pe);
co2p = co2 / pop;
popc = pop /co2;
pep = pe /pop;
gdpp = gdp /pop;
ki = co2 / pe;
ei = pe / gdp;
label co2 = 'Total CO2 Emission from fossil fuels (1000 metric tons
of C)'
        pe = 'Total Primary Energy Supply (KTOE)'
        pop = 'Population (total)'
        gdp = 'GDP, PPP (current intern. $)'
        co2p = 'CO2 Emission per capita (co2/pop)'
        popc = 'Population per kt C(pop/co2)'
        pep = 'Primary Energy per capita (pe/pop)'
        gdpp = 'GDP per capita (gdp/pop)'
        ki = 'Carbon Intensity (co2/pe)'
        ei = 'Energy Intensity (pe/gdp)';
run;

* Prüfung der relativen Häufigkeit der ersetzten Werte;
* Ausgabe SAS-Tabellen in html-Format;

proc freq data=a1 ;
table (pop_ersetzt pe_ersetzt co2_ersetzt gdp_ersetzt)/ norow nocol ;
table (cl6 land_name)* co2_ersetzt / nopercent nocol ;
run;

*
* B Clusterdatensatz berechnen
*
*****;

* Bevölkerung Energieverbrauch CO2-Emissionen und GDP als absolute Werte
* pro Cluster summieren;

proc summary data=a1 nway;
class cl6 year;
var pop pe co2 gdp;

```

```

        output out=b sum=pop pe co2 gdp;
run;

* Kontrollgraphik pro Cluster;

proc gplot data=b;
    plot (pop pe co2 gdp)*year=cl6;
run;
quit;

* Namen der Cluster einfügen mit Variablenname land_name
  (um alle sas-skripte ohne Umprogrammierung nutzen zu können);
* Umrechnungen von CO2, POP, GDP und PE in lesbare Zahlen;
* Berechnung der Verhältniszahlen CO2 pro Kopf, Primärenergie pro Kopf,
  GDP pro Kopf, Kohlenstoffintensität, Energieintensität pro
Cluster;
* library.clusterdaten Ausgangsdatensatz der Clusterzeitreihen;

data library.clusterdaten;
    set b;
    rename _FREQ_ = n;
    label _FREQ_ = 'Number of countries';
    if cl6 = 1 then do
        land_name = '1 - arme Klimaschützer';
        abbrev = 'cl1';
        sas_id = .;
    end;
    if cl6 = 2 then do
        land_name = '2 - energiehungrige Kleinemittenten';
        abbrev = 'cl2';
    end;
    if cl6 = 3 then do
        land_name = '3 - karbonintensive Kleinemittenten';
        abbrev = 'cl3';
    end;
    if cl6 = 4 then do
        land_name = '4 - absteigende Mittelemittenten';
        abbrev = 'cl4';
    end;
    if cl6 = 5 then do
        land_name = '5 - karbonhungrige Spitzenemittenten';
        abbrev = 'cl5';
    end;
    if cl6 = 6 then do
        land_name = '6 - entkarbonisierende Mittelemittenten';
        abbrev = 'cl6';
    end;
    sas_id = .;
    co2 = co2 / 1000;
    pop = pop / 1000000;
    gdp = gdp / 1000000000;
    pe = pe / 1000;
    co2p = co2 / pop;
    popc = pop / co2;
    pep = pe / pop;
    gdpp = gdp / pop * 1000;
    ki = co2 / pe;
    ei = pe / gdp;
    label co2 = 'Total CO2 Emission from fossil fuels (mio metric tons
        of C)';
        pe = 'Total Primary Energy Supply (mio tons of OE) '

```

```

        pop      = 'Population (mio)';
        gdp      = 'GDP, PPP (mrd current intern. $)';
        co2p     = 'CO2 Emission per capita (co2/pop) (tC per capita)';
        popc     = 'Population per kt C(pop/co2) (capita per tC)';
        pep      = 'Primary Energy per capita (pe/pop) (tOE per capita)';
        gdpp     = 'GDP per capita (gdp/pop)(int$ per capita)';
        ki       = 'Carbon Intensity (co2/pe)(tC per tOE)';
        ei       = 'Energy Intensity (pe/gdp) (kgOE per int$)';
    drop _TYPE_ ;
run;

*          C Weltdatensatz berechnen          *
*****;

* Bevölkerung Energieverbrauch CO2-Emissionen und GDP als absolute Werte
* über die Cluster summieren;
* 6 cluster Welt erst ab 1992 möglich, wegen Russland (Daten erst ab 1992);

proc summary data=library.clusterdaten nway;
    class year;
    where year >1991;
    var pop pe co2 gdp;
    output out=cc sum=pop pe co2 gdp;
run;

* 5 cluster Welt ohne Cluster 4 (Russland);

data aa;
    set library.clusterdaten;
    where cl6 ne 4;
run;

proc summary data=aa nway;
    class year;
    var pop pe co2 gdp;
    output out=c sum=pop pe co2 gdp;
run;

data d;
    set c;
    land_name = '5cl_welt';
    abbrev = '5cl';
run;

data dd;
    set cc;
    land_name = '6cl_welt';
    abbrev = '6cl';
run;

data welten;
    set d dd;
    drop _TYPE_ _FREQ_;
run;

data library.weltdaten;
    set welten;
    sas_id = .;
    co2p = co2 / pop;
    popc = pop /co2;
    pep  = pe /pop;

```

```

gdpp = gdp /pop * 1000;
ki = co2 / pe;
ei = pe / gdp;
label co2p = 'CO2 Emission per capita (co2/pop) (tC per capita)'
      popc = 'Population per kt C(pop/co2) (capita per tC)'
      pep  = 'Primary Energy per capita (pe/pop) (tOE per capita)'
      gdpp = 'GDP per capita (gdp/pop)(int$ per capita)'
      ki   = 'Carbon Intensity (co2/pe)(tC per tOE)'
      ei   = 'Energy Intensity (pe/gdp) (kgOE per int$)';
run;

*          D Logarithmen berechnen                                *
*          library.clusterbasisdaten Eingangsdatsatz für Regression.sas *
*****;

* Logarithmen der Zeitreihen;
* library.clusterbasisdaten ist Eingangsdatsatz für SAS-Script
Regression;

data library.clusterbasisdaten;
set library.clusterdaten;
l_pop = log(pop);
l_gdp = log(gdp);
l_co2 = log(co2);
l_pe  = log(pe);
l_gdpp = log(gdpp);
l_co2p = log(co2p);
l_popc = log(popc);
l_pep  = log(pep);
l_ki   = log(ki);
l_ei   = log(ei);
run;

data library.weltbasisdaten;
set library.weltdaten;
l_pop = log(pop);
l_gdp = log(gdp);
l_co2 = log(co2);
l_pe  = log(pe);
l_gdpp = log(gdpp);
l_co2p = log(co2p);
l_popc = log(popc);
l_pep  = log(pep);
l_ki   = log(ki);
l_ei   = log(ei);
run;

*          D Arbeitsfolder Work aufräumen                            *
*****;

proc datasets nolist library=work mt=data;
delete a aa a1 b c cc d dd b0 b0a b0_b1
      b1 bla cl6 daten_ok reg reg_b0 reg_b1 welten;
run;
quit;

*****;
*          Scriptende                                                *
*****;

```

SAS-Script 5: Dekompositionanalyse

```
*****
* Dekompositionsanalyse entlang der KAYA-Identität ohne Summenterm      *
*                                                                           *
* Katrin Gerlinger, 20.01.2004;                                         *
*****;

*      persönliche SAS Einstellungen;

libname library 'D:\daten\sasfiles';
options mprint;
options ftitle=centbi ;

*      A Datensatz mit Länderzeitreihen vorbereiten                      *
*****;

* nur Länder mit vollständigen Zeitreihen verwenden;
* library.daten_ok_komplett hat komplette Länderzeitreihen;
* library.Clusterdaten hat komplette Closterzeitreihen;

proc sort data=library.daten_ok_komplett out=a;
  by land_name year;
run;

data c11 c12 c13 c14 c15 c16;
  set a;
  if c16 eq 1 then output c11;
  if c16 eq 2 then output c12;
  if c16 eq 3 then output c13;
  if c16 eq 4 then output c14;
  if c16 eq 5 then output c15;
  if c16 eq 6 then output c16;
run;

*      B Berechnung der P-, A-, T1- und T2-Effekte                      *
*****;

*macro identity berechnet die Faktoren für einen Zeitschritt;
*macro alle_jahre_wieder ruft alle Zeitschritte nacheinander auf;

%macro identity ( base_year, end_year, indata, outdata);

data aa;
  merge &indata (where=(year eq &end_year))
        &indata (where=(year eq &base_year))
        rename=(co2=b_co2 pop=b_pop gdp=b_gdp
pe=b_pe));
  by land_name;

  * Kontrolle nur vollständige Datensätze;
  if NOT (b_co2 ne . and co2 ne . and
          b_pe ne . and pe ne . and
          b_gdp ne . and gdp ne . and
          b_pop ne . and pop ne .) then do;
    ERROR 'Missing Data';
    delete;
  end;
endmacro;


```

```

end;

t1 = co2 / pe;
  b_t1 = b_co2 / b_pe;
  d_t1 = t1 - b_t1;

t2 = pe / gdp;
b_t2 = b_pe / b_gdp;
d_t2 = t2 - b_t2;

a = gdp / pop;
b_a = b_gdp / b_pop;
d_a = a - b_a;

p = pop;
b_p = b_pop;
d_p = p - b_p;

i = co2;
b_i = b_co2;
d_i = i - b_i;

t1_effect_1 = d_t1*b_t2*b_a*b_p;
t1_effect_2 = 1/2 * d_t1 *(d_t2*b_a*b_p+b_t2*d_a*b_p+b_t2*b_a*d_p);
t1_effect_3 = 1/3 * d_t1 *(d_t2*d_a*b_p+b_t2*d_a*d_p+d_t2*b_a*d_p);
t1_effect_4 = 1/4 * d_t1*d_t2*d_a*d_p;
t1_effect_res = t1_effect_2 + t1_effect_3 + t1_effect_4;
t1_effect = t1_effect_1 + t1_effect_res;

t2_effect_1 = d_t2*b_t1*b_a*b_p;
t2_effect_2 = 1/2 * d_t2 * (d_t1*b_a*b_p+b_t1*d_a*b_p+b_t1*b_a*d_p);
t2_effect_3 = 1/3 * d_t2 * (d_t1*d_a*b_p+b_t1*d_a*d_p+d_t1*b_a*d_p);
t2_effect_4 = 1/4 * d_t1*d_t2*d_a*d_p;
t2_effect_res = t2_effect_2 + t2_effect_3 + t2_effect_4;
t2_effect = t2_effect_1 + t2_effect_res;

a_effect_1 = d_a*b_t1*b_t2*b_p;
a_effect_2 = 1/2 * d_a *(d_t1*b_t2*b_p+b_t1*d_t2*b_p+b_t1*b_t2*d_p);
a_effect_3 = 1/3 * d_a *(d_t1*d_t2*b_p+b_t1*d_t2*d_p+d_t1*b_t2*d_p);
a_effect_4 = 1/4 * d_t1*d_t2*d_a*d_p;
a_effect_res = a_effect_2 + a_effect_3 + a_effect_4;
a_effect = a_effect_1 + a_effect_res;

p_effect_1 = d_p*b_t1*b_t2*b_a;
p_effect_2 = 1/2 * d_p *(d_t1*b_t2*b_a+b_t1*d_t2*b_a+b_t1*b_t2*d_a);
p_effect_3 = 1/3 * d_p *(d_t1*d_t2*b_a+b_t1*d_t2*d_a+d_t1*b_t2*d_a);
p_effect_4 = 1/4 * d_t1*d_t2*d_a*d_p;
p_effect_res = p_effect_2 + p_effect_3 + p_effect_4;
p_effect = p_effect_1 + p_effect_res;

*Kontrollvariable der kompletten Zerlegung;
control=(t1_effect + t2_effect + a_effect + p_effect) - d_i;
if abs(control) gt 1E-10 then put 'ERROR: Control ' Control;
controll = ( t1*t2*a*p-i );
if abs(controll) gt 1E-10 then put 'ERROR: Controll ' Controll;
control2 = ( b_t1*b_t2*b_a*b_p-b_i );
if abs(control2) gt 1E-10 then put 'ERROR: Control2 ' Control2;

run;

data &outdata;
set aa (keep=land_name abbrev sas_id year

```

```

                                i d_i
                                t1_effect_1 t2_effect_1 a_effect_1 p_effect_1
                                t1_effect_res t2_effect_res a_effect_res
p_effect_res
                                t1_effect t2_effect a_effect p_effect
                                control);
    base_year = &base_year;
    end_year = &end_year;
run;

%mend;

%macro alle_jahre_wieder (von, bis, indata, outdata);
    %do index = &von %to %eval(&bis-1);
        %identity (&index, %eval(&index+1), &indata,
_&outdata._&index);
    %end;
    data a;
        set
            %do index = &von %to %eval(&bis-1);
                _&outdata._&index
            %end;
        ;
    run;

    proc sort data=a;
        by land_name year;
    run;

    * %-Anteil der Residualwerte am gesamten Effekt;
    data &outdata._control;
        set a;
        t1_res = t1_effect_res / t1_effect;
        if t1_res gt 0.2 then res_t1 = 1;
        t2_res = t2_effect_res / t2_effect;
        if t2_res gt 0.2 then res_t2 = 1;
        a_res = a_effect_res / a_effect;
        if a_res gt 0.2 then res_a = 1;
        p_res = p_effect_res / p_effect;
        if p_res gt 0.2 then res_p = 1;
        if res_t1 eq . and res_t2 eq . and res_a eq . and res_p
eq . then delete;
        drop i d_i t1_effect_1 t1_effect_res t1_effect
            t2_effect_1 t2_effect_res t2_effect
            a_effect_1 a_effect_res a_effect
            p_effect_1 p_effect_res p_effect;
    run;

%mend;

%alle_jahre_wieder (1975, 1999, cl1, cl1_dec);
%alle_jahre_wieder (1975, 1999, cl2, cl2_dec);
%alle_jahre_wieder (1975, 1999, cl3, cl3_dec);
%alle_jahre_wieder (1992, 1999, cl4, cl4_dec);
%alle_jahre_wieder (1975, 1999, cl5, cl5_dec);
%alle_jahre_wieder (1975, 1999, cl6, cl6_dec);
%alle_jahre_wieder (1975, 1999, library.clusterdaten, cluster_dec);

```

```
%macro clearing (von, bis, name);

    proc datasets nolist library=work mt=data;
        delete %do index = &von %to %eval(&bis-1);
            &name&index
        %end;
    run;
quit;

%mend clearing;
%clearing (1975, 1999, _cl1_dec_);
%clearing (1975, 1999, _cl2_dec_);
%clearing (1975, 1999, _cl3_dec_);
%clearing (1992, 1999, _cl4_dec_);
%clearing (1975, 1999, _cl5_dec_);
%clearing (1975, 1999, _cl6_dec_);
%clearing (1975, 1999, _cluster_dec_);

data grosse_interaktionen;
    set cl1_dec_control
        cl2_dec_control
        cl3_dec_control
        cl4_dec_control
        cl5_dec_control
        cl6_dec_control
        cluster_dec_control;
run;

data library.co2_decom;
    set cl1_dec cl2_dec cl3_dec cl4_dec cl5_dec cl6_dec cluster_dec;
run;

proc sort data=library.co2_decom out=c;
    by land_name year;
run;

title1 'Decomposition of Kaya - Components';

proc gplot data=cluster_dec;
    symbol1 i=J;
    by land_name;
    plot (d_i p_effect a_effect t1_effect t2_effect) * base_year
/ overlay legend;
run;quit;

title2 'Population Effect';

proc gplot data=cluster_dec;
    symbol1 i=J;
    plot (p_effect) * end_year=land_name / overlay legend;
run;quit;

title2 'Affluence Effect';

proc gplot data=cluster_dec;
    symbol1 i=J;
    plot (a_effect) * end_year=land_name / overlay legend;
run;quit;

title2 'Energy Intensity Effect';
```

```
proc gplot data=cluster_dec;
  symbol1 i=J;
  plot (t1_effect) * end_year=land_name / overlay legend;
run;quit;

title2 'Carbon Intensity Effect';

proc gplot data=cluster_dec;
  symbol1 i=J;
  plot (t2_effect) * end_year=land_name / overlay legend;
run;quit;

proc sort data=cluster_dec out=cc;
  by land_name d_i;
run;

title2 'Population Effect';

proc gplot data=cc;
  symbol1 i=J;
  plot (p_effect) * d_i=land_name / overlay legend;
run;quit;
title2 'Affluence Effect';

proc gplot data=cc;
  symbol1 i=J;
  plot (a_effect) * d_i=land_name / overlay legend;
run;quit;

title2 'Energy Intensity Effect';

proc gplot data=cc;
  symbol1 i=J;
  plot (t1_effect) * d_i=land_name / overlay legend;
run;quit;

title2 'Carbon Intensity Effect';

proc gplot data=cc;
  symbol1 i=J;
  plot (t2_effect) * d_i=land_name / overlay legend;
run;quit;

proc corr data=alle noprint outp=b;
  var d_i;
  with p_effect a_effect t1_effect t2_effect;
  by land_name;
run;

proc transpose data=b out=bb;
  by land_name;
  var d_i;
  id _name_;
run;
```

```
data a_list;
    set library.somalaender (keep=land_name abbrev sas_id);
    if land_name = '' then delete;
run;

proc sort data=a_list;
    by land_name;
run;

proc sort data=bb;
    by land_name;
run;

data kaya_corr;
    merge a_list bb;
    by land_name;
    drop _name_;
    if p_effect eq . then delete;
run;
/**
proc sort data=b out=b1;
    where _type_ in ( 'CORR' 'N' );
    by land_name descending _type_ descending inv_inc_net;
run;

proc gplot data=alle;
    symbol1 i=J;
    plot (t1_effect ) * end_year =land_name / legend;

run;quit;

%macro alle_cluster (von, bis, indata, outdata);
    %do cl_wbgu = 1 %to 6;
        title1 "Cluster &cl_wbgu";
        %alle_jahre_wieder (&von, &bis, &indata,
                            &outdata._CL&cl_wbgu.,
%str(cl_wbgu=&cl_wbgu));
        %end;
    %mend;
/**
%alle_cluster (1992, 1998, aa, alle );

data cl_1;
    set aa (keep=land_name cl_wbgu);
run;

proc sort data=cl_1 out=cl_list nodup;
    by land_name;
run;

data cl_coun;
    merge c_alle cl_list;
    by land_name;
run;

proc sort data=cl_coun out=cl_countries;
    by cl_wbgu;
run;

data clus;
```

```
merge alle_cl1 alle_cl2 alle_cl3 alle_cl4 alle_cl5 alle_cl6;
by whereclause;
run;

data clu;
set clus (keep=_freq_ c_effect i_effect s_effect y_effect base_year
end_year whereclause);
cl_wbgu = substr(whereclause,9,1);
drop whereclause;
run;

title1 "Countries worldwide";

proc gplot data=cl_countries;
symbol1 i=join v='A';
symbol2 i=join v='B';
symbol3 i=join v='C';
symbol4 i=join v='D';
symbol5 i=join v='E';
symbol6 i=join v='F';
symbol7 i=join v='G';
symbol8 i=join v='H';
symbol9 i=join v='I';
symbol10 i=join v='J';
symbol11 i=join v='K';
symbol12 i=join v='L';
plot (c_effect i_effect s_effect)*year=abbrev / nolegend;
run;
quit;

proc gplot data=cl_countries;
plot (c_effect i_effect s_effect)*year=abbrev;
run;
quit;

title1 "cluster worldwide";
goptions;
proc gplot data=clu;
symbol1 i=join v='1';
symbol2 i=join v='2';
symbol3 i=join v='3';
symbol4 i=join v='4';
symbol5 i=join v='5';
symbol6 i=join v='6';
plot (c_effect i_effect s_effect y_effect)*end_year=cl_wbgu;
run;
quit;

title1 "countries clusterwide";

proc gplot data=cl_countries;
title1 ;
plot (c_effect i_effect s_effect)*year=abbrev;
by cl_wbgu;
run;
quit;
```

SAS-Script 6: Dekompositionsanalyse mit Summenterm

```

*****
* Dekompositionsanalyse mit Summenterm *
* *
* Katrin Gerlinger, 20.01.2004; *
*****;

* persönliche SAS Einstellungen;

libname library 'D:\daten\sasfiles';
options mprint;
goptions ftitle=centbi ;

* (A) Vorbereiten des Datensates mit Länderzeitreihen ;
*****

* nur Länder mit vollständigen Zeitreihen verwenden;
* library.daten_ok_komplett hat komplette Länderzeitreihen;
* library.Clusterdaten hat komplette Clusterzeitreihen;

proc sort data=library.daten_ok_komplett out=a;
    by land_name year;
run;

data c11 c12 c13 c14 c15 c16;
    set a;
    if c16 eq 1 then output c11;
    if c16 eq 2 then output c12;
    if c16 eq 3 then output c13;
    if c16 eq 4 then output c14;
    if c16 eq 5 then output c15;
    if c16 eq 6 then output c16;
run;

* (B) Macro zu Dekompositionsanalyse ;
*****;

%macro decomposition ( base_year, end_year, indata, outdata, whereclause);

%* indata muss sortiert sein nach land_name und year!;
proc sort data=&indata out=aa;
    by land_name year;
run;

data _a1;
    merge aa (where=(year eq &end_year) )
          aa (where=(year eq &base_year)
              rename=(co2=b_co2 pop=b_pop gdp=b_gdp pe=b_pe ) );
    by land_name;

    %if "&whereclause" ne "" %then if &whereclause;;

    * NUR Länder mit vollständigen Datensätzen!;
    if NOT (b_co2 ne . and co2 ne . and
            b_pe ne . and pe ne . and
            b_gdp ne . and gdp ne .) then do;
        ERROR 'Missing Data';
        delete;
    end;

```

```

* Notation wie in Formel (18) Sun+Ang energy 25, Seite 1183;

c = co2/pe;
b_c = b_co2/b_pe;
d_c = c-b_c;

i = pe/gdp;
b_i = b_pe/b_gdp;
d_i = i-b_i;

merge_dummy = 1;
run;

proc summary data=_a1 nway;
var gdp b_gdp co2 b_co2 pop b_pop;
output out=_a2 sum=y b_y e b_e p b_p;
by merge_dummy;
run;

data _a;
merge _a1 _a2(keep=y b_y e b_e p b_p merge_dummy);
by merge_dummy;
drop merge_dummy;

s = gdp/y;
b_s = b_gdp/b_y;
d_s = s-b_s;

a = y/p;
b_a = b_y/b_p;
d_a = a-b_a;

d_p = p-b_p;
d_e = e-b_e;
run;

data _b1;
set _a;
* erste Formel Sun+Ang energy 25, Seite 1184;
* Summierung über die Länder erfolgt unten mit PROC Summary;
* Berechnung von einer Variable als summe;
* Gewichtungsfaktor 1/k berücksichtigt!;

c_effect_1 = D_c*b_i*b_s*b_a*b_p;
c_effect_2 = 1/2 * D_c *(D_i*b_s*b_a*b_p +
b_i*D_s*b_a*b_p +
b_i*b_s*D_a*b_p +
b_i*b_s*b_a*D_p );
c_effect_3 = 1/3 * D_c *(D_i*D_s*b_a*b_p +
D_i*b_s*D_a*b_p +
D_i*b_s*b_a*D_p +
b_i*D_s*D_a*b_p +
b_i*D_s*b_a*D_p +
b_i*b_s*D_a*D_p );
c_effect_4 = 1/4 * D_c *(D_i*D_s*D_a*b_p +
D_i*D_s*b_a*D_p +
D_i*b_s*D_a*D_p +
b_i*D_s*D_a*D_p );
c_effect_5 = 1/5 * D_c*D_i*D_s*D_a*D_p;

```

```

c_effect = c_effect_1 + c_effect_2 + c_effect_3 + c_effect_4 +
c_effect_5;

i_effect_1 = D_i*b_c*b_s*b_a*b_p;
i_effect_2 = 1/2 * D_i *(D_c*b_s*b_a*b_p +
b_c*D_s*b_a*b_p +
b_c*b_s*D_a*b_p +
b_c*b_s*b_a*D_p );
i_effect_3 = 1/3 * D_i *(D_c*D_s*b_a*b_p +
D_c*b_s*D_a*b_p +
D_c*b_s*b_a*D_p +
b_c*D_s*D_a*b_p +
b_c*D_s*b_a*D_p +
b_c*b_s*D_a*D_p );
i_effect_4 = 1/4 * D_i *(D_c*D_s*D_a*b_p +
D_c*D_s*b_a*D_p +
D_c*b_s*D_a*D_p +
b_c*D_s*D_a*D_p );
i_effect_5 = 1/5 * D_i*D_c*D_s*D_a*D_p;
i_effect = i_effect_1 + i_effect_2 + i_effect_3 + i_effect_4 +
i_effect_5;

s_effect_1 = D_s*b_c*b_i*b_a*b_p;
s_effect_2 = 1/2 * D_s *(D_c*b_i*b_a*b_p +
b_c*D_i*b_a*b_p +
b_c*b_i*D_a*b_p +
b_c*b_i*b_a*D_p );
s_effect_3 = 1/3 * D_s *(D_c*D_i*b_a*b_p +
D_c*b_i*D_a*b_p +
D_c*b_i*b_a*D_p +
b_c*D_i*D_a*b_p +
b_c*D_i*b_a*D_p +
b_c*b_i*D_a*D_p );
s_effect_4 = 1/4 * D_s *(D_c*D_i*D_a*b_p +
D_c*D_i*b_a*D_p +
D_c*b_i*D_a*D_p +
b_c*D_i*D_a*D_p );
s_effect_5 = 1/5 * D_s*D_c*D_i*D_a*D_p;
s_effect = s_effect_1 + s_effect_2 + s_effect_3 + s_effect_4 +
s_effect_5;

a_effect_1 = D_a*b_c*b_i*b_s*b_p;
a_effect_2 = 1/2 * D_a *(D_c*b_i*b_s*b_p +
b_c*D_i*b_s*b_p +
b_c*b_i*D_s*b_p +
b_c*b_i*b_s*D_p );
a_effect_3 = 1/3 * D_a *(D_c*D_i*b_s*b_p +
D_c*b_i*D_s*b_p +
D_c*b_i*b_s*D_p +
b_c*D_i*D_s*b_p +
b_c*D_i*b_s*D_p +
b_c*b_i*D_s*D_p );
a_effect_4 = 1/4 * D_a *(D_c*D_i*D_s*b_p +
D_c*D_i*b_s*D_p +
D_c*b_i*D_s*D_p +
b_c*D_i*D_s*D_p );
a_effect_5 = 1/5 * D_a*D_c*D_i*D_s*D_p;
a_effect = a_effect_1 + a_effect_2 + a_effect_3 + a_effect_4 +
a_effect_5;

p_effect_1 = D_p*b_c*b_i*b_s*b_a;

```

```

p_effect_2 = 1/2 * D_p *(D_c*b_i*b_s*b_a +
                        b_c*D_i*b_s*b_a +
                        b_c*b_i*D_s*b_a +
                        b_c*b_i*b_s*D_a );
p_effect_3 = 1/3 * D_p *(D_c*D_i*b_s*b_a +
                        D_c*b_i*D_s*b_a +
                        D_c*b_i*b_s*D_a +
                        b_c*D_i*D_s*b_a +
                        b_c*D_i*b_s*D_a +
                        b_c*b_i*D_s*D_a );
p_effect_4 = 1/4 * D_p *(D_c*D_i*D_s*b_a +
                        D_c*D_i*b_s*D_a +
                        D_c*b_i*D_s*D_a +
                        b_c*D_i*D_s*D_a );
p_effect_5 = 1/5 * D_p*D_c*D_i*D_s*D_a;
p_effect = p_effect_1 + p_effect_2 + p_effect_3 + p_effect_4 +
p_effect_5;

run;

proc summary data=_b1 nway;
var c_effect i_effect s_effect a_effect p_effect;
output out=_b2 sum= c_effect i_effect s_effect a_effect p_effect;
by d_e; * zur Kopie in den Outputdatensatz;
run;

data &outdata;
set _b2;
base_year = &base_year;
end_year = &end_year;
length whereclause $200.;
whereclause = "&whereclause";
checksum = d_e - (c_effect+i_effect+s_effect+a_effect+p_effect);
run;

data c_&outdata;
set _b1 (keep=land_name abbrev sas_id year c_effect i_effect
s_effect a_effect p_effect);
run;

%mend;

%macro alle_jahre_wieder (von, bis, indata, outdata, whereclause);
%do index = &von %to %eval(&bis-1);
%decomposition (&index, %eval(&index+1), &indata,
_&outdata._&index, &whereclause );
%end;
data &outdata;
set
%do index = &von %to %eval(&bis-1);
_&outdata._&index
%end;
;
run;

data c_&outdata;
set
%do index = &von %to %eval(&bis-1);
c_&outdata._&index
%end;

```

```

;
run;

proc sort data=c_&outdata;
    by land_name year;
run;

*title2 'complete effects';

proc gplot data=&outdata;
    symbol1 i=J;
    plot (c_effect i_effect s_effect a_effect p_effect d_e) *
end_year / overlay legend;
run;quit;

*title2 'interactions';
/**
    proc gplot data=&outdata;
        symbol1 i=J;
        plot (c_interaction i_interaction s_interaction y_effect d_e)
* end_year / overlay legend;
run;quit;
**/
%mend;

title1 'World';
%alle_jahre_wieder (1975, 1998, a, alle, );

%macro alle_cluster (von, bis, indata, outdata);
    %do cl_wbgu = 1 %to 6;
        title1 "Cluster &cl_wbgu";
        %alle_jahre_wieder (&von, &bis, &indata,
            &outdata._CL&cl_wbgu., %str(cl6=&cl_wbgu));
    %end;
%mend;

%alle_cluster (1975, 1998, aa, alle );

*
(C) Graphiken
*****;

data plot_mich;
    merge
        alle (keep=end_year s_effect rename=(s_effect=Welt))
        alle_cl1 (keep=end_year s_effect rename=(s_effect=cl1))
        alle_cl2 (keep=end_year s_effect rename=(s_effect=cl2))
        alle_cl3 (keep=end_year s_effect rename=(s_effect=cl3))
        alle_cl4 (keep=end_year s_effect rename=(s_effect=cl4))
        alle_cl5 (keep=end_year s_effect rename=(s_effect=cl5))
        alle_cl6 (keep=end_year s_effect rename=(s_effect=cl6))
    ;
    by end_year;
run;

title1 'S-Effekte Welt und Cluster 1-6';
proc gplot data=plot_mich;
    plot (Welt cl1 - cl6) * end_year / overlay legend;

run;

```

```

quit;

data effekte;
  set alle alle_cl1 alle_cl2 alle_cl3 alle_cl4 alle_cl5 alle_cl6;
  by end_year;
  d_e      = d_e      / 1000;
  c_effect = c_effect / 1000;
  i_effect = i_effect / 1000;
  s_effect = s_effect / 1000;
  a_effect = a_effect / 1000;
  p_effect = p_effect / 1000;
  label    d_e      = 'd_e (Mio tC)'
           c_effect = 'c_effect (Mio tC)'
           i_effect = 'i_effect (Mio tC)'
           s_effect = 's_effect (Mio tC)'
           a_effect = 'a_effect (Mio tC)'
           p_effect = 'p_effect (Mio tC)';

run;

proc sort data=effekte;
  by whereclause end_year;
run;

proc summary data=effekte nway;
  var d_e c_effect i_effect s_effect a_effect p_effect;
  output out=effekte_sum sum= d_e c_effect i_effect s_effect a_effect
p_effect;
  by whereclause;
run;

*           D Arbeitsfolder Work aufräumen           *
*****;

proc datasets nolist library=work mt=data;
  delete a aa alle alle_cl1 alle_cl2 alle_cl3 alle_cl4 alle_cl5 alle_cl6
        cl1 cl2 cl3 cl4 cl5 cl6 c_alle c_alle_cl1 c_alle_cl2
c_alle_cl3
        c_alle_cl4 c_alle_cl5 c_alle_cl6;
run;
quit;

*****;
*           Scriptende           *
*****;

```