

Volkswirtschaftliche Bewertung von Szenarien mit System Dynamics

**Bewertung von nachhaltigen Verkehrsszenarien mit ESCOT
(Economic assessment of Sustainability poliCies Of Transport)**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
Wirtschaftswissenschaften (Dr. rer. pol.)

der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Fridericiana Karlsruhe
(Technische Hochschule)

vorgelegte

Dissertation

von

Diplom-Wirtschaftsingenieur Burkhard Schade

Tag der mündlichen Prüfung: 04.05.2005

Referent: Prof. Dr. Werner Rothengatter

Korreferent: Prof. Dr. Otto Rentz

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW) der Universität Karlsruhe (TH). Hier war ich zunächst in der Sektion ‚Verkehr und Kommunikation‘ und anschließend in der Sektion ‚Systemdynamik und Innovation‘ tätig. Daher gilt mein Dank als erstes meinem Doktorvater Professor Dr. Werner Rothengatter und Professor Dr. Hariolf Grupp für deren fachliche Unterstützung und das in mich gesetzte Vertrauen.

Bei meinen Kollegen möchte ich mich stellvertretend bei Eckhard Szimba und Lorenz Kleist bedanken. Beide haben durch ihren Humor und ihr Interesse an tiefsinnigen Gesprächen dazu beigetragen, dass es mir viel Spaß gemacht hat, am Institut zu arbeiten. Auch allen anderen Kollegen möchte ich für die sehr angenehme Arbeitsatmosphäre danken.

Ein großes Dankeschön geht natürlich auch an meine Familie und Renate Murr-Grobe, die mich in meinen Vorhaben immer gefördert haben. Durch ihre Aufmunterungen und ihre Überzeugung in meine Fähigkeiten haben sie zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Für moralische und praktische Unterstützung möchte ich mich bei Ramona Wander bedanken. Sie hat mir in kritischen Situationen immer mit ihrer positiven Einstellung weitergeholfen. Ihrem Verständnis und ihrer Geduld ist es zu verdanken, dass der Fortgang der Arbeit ohne allzu große Schwierigkeiten vonstatten ging.

Jürgen Woita danke ich für sein Verständnis und seine Aufmerksamkeit. Er hat mir in den entscheidenden Momenten mit den richtigen Worten und Taten beigestanden. Seiner Unterstützung ist es zu verdanken, dass ich mir immer wieder meine langfristigen Ziele vergegenwärtigt habe.

Zum Abschluss möchte ich auch meinen Freunden vom Theater und der Literatur danken. Zunächst hat ihre geistige Beweglichkeit meine kreative Ader gefördert, die man auch in der Wissenschaft braucht. Schließlich danke ich ihnen für den Verzicht auf die gemeinsame Abende, die ich in der Schlussphase der Dissertation mit der Arbeit statt mit ihnen verbracht habe.

Burkhard Schade

Abstract

Anlass zu der Dissertation ist das von der OECD initiierte Projekt „Environmentally Sustainable Transport“ (EST). Ziel des Projekts ist es, Wege zu einer dauerhaft nachhaltigen Verkehrsentwicklung zu finden und zu beschreiben. Die Szenarien zum nachhaltigen Verkehr gehen einher mit einer Reduktion der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor um 50% (EST-50%-Szenario) bzw. 80% (EST-80%-Szenario) bis zum Jahr 2030 gegenüber 1990.

In der vorliegenden Dissertation wird das Modell „Economic assessment of Sustainability poliCies Of Transport“ (ESCOT) entwickelt. Die zentrale Aufgabe von ESCOT ist die volkswirtschaftliche Bewertung der Szenarien zum nachhaltigen Verkehr. Bei der Bewertung sind der lange Zeitraum und die Komplexität des Problems zu berücksichtigen. Deswegen liegt es nahe, den System Dynamics Ansatz als Methode zur Modellerstellung anzuwenden.

ESCOT umfasst ein Makro-, Regionalwirtschafts-, Verkehrs- und Umweltmodell sowie die politische Sphäre. Von besonderer Wichtigkeit ist die Modellierung des Makromodells. Auf der Nachfrageseite stellen Konsum, Investitionen, Export und Endnachfrage wesentliche Größen dar. Zur verbesserten Abbildung der sektoralen Investitionen wurde eine Investitionsmatrix erstellt und in ESCOT implementiert.

Sektorale Produktionsfunktionen bilden den Kern auf der Angebotsseite des Makromodells. Hier wird eine „Constant Elasticities of Scale“ (CES)-Produktionsfunktion verwendet und deren Parameter geschätzt. Mit den Ergebnissen lässt sich eine Einteilung in arbeits- und kapitalintensive Sektoren vornehmen. Ebenso kann man Sektoren nach der Höhe der Skalenerträge und der Substitutionselastizität unterscheiden. In einer erweiterten CES-Produktionsfunktion gehen die sektoralen FuE-Aufwendungen mit einer Zeitverzögerung ein. Den FuE-Aufwendungen kann so ein Teil des technischen Fortschritts zugeschrieben werden.

Die auf der Nachfrage- und der Angebotsseite bestimmten Größen fließen in die Berechnung der Input-Output-Tabelle ein. Da für die Bestimmung der Vorleistungen Input-Koeffizienten benötigt werden, wird die Entwicklung der Input-Koeffizienten geschätzt. Als weitere Einflussgrößen werden Änderungen der Fahrzeugtechnologie und der Preise im Verkehr berücksichtigt.

Die Bewertung der EST-Szenarien zeigt, dass eine Abkehr von der am Pkw und Straßengüterverkehr orientierten Verkehrspolitik bei weitem nicht zu einem wirtschaftlichen Zusammenbruch führen wird. Die Effekte auf die aggregierten Wirtschaftsindikatoren sind eher gering, sektoral hingegen zeigen sich durchaus größere Unterschiede.

Mit dieser Dissertation wird die wissenschaftliche Forschung in zweifacher Weise vorangetrieben. Aus systemdynamischer Sicht wird die Darstellung volkswirtschaftlicher Zusammenhänge verbessert. Dies umfasst sowohl die Einbettung von keynesianischen und neoklassischen Theorien in System Dynamics als auch die Anwendung von statistischen Verfahren bei der Modellerstellung. Die zweite Erweiterung besteht in der Verbindung von System Dynamics, sektoralen Produktionsfunktionen und Input-Output-Tabellen. Hiermit wird ein leistungsfähiges Werkzeug zur volkswirtschaftlichen Bewertung komplexer, interdisziplinärer Szenarien geschaffen.

Inhaltsverzeichnis

1	<i>Einleitung</i>	1
2	<i>Das EST-Projekt</i>	3
2.1	Allgemeines	3
2.2	EST-Projekt	3
2.2.1	Motivation	3
2.2.2	Nachhaltigkeitskriterien	5
2.2.3	Annahmen der Szenarien	7
2.2.4	Politische Maßnahmen	11
2.2.5	Zeitplan der Maßnahmen.....	15
2.2.6	Abschätzung der Wirkungen	17
2.3	Zusammenfassung	18
3	<i>System Dynamics</i>	20
3.1	Einleitung	20
3.2	Systemtheorie und Kybernetik	20
3.2.1	Historie.....	20
3.2.2	Grundgedanken der Systemtheorie.....	21
3.3	System Dynamics	24
3.3.1	Historie.....	24
3.3.2	Theoretische Grundlagen	25
3.3.3	Vorgehensweise bei der Modellierung	26
3.4	Klassifizierung von System Dynamics Modellen	35
3.5	Kritische Bewertung	38
3.6	Zusammenfassung	39
4	<i>Abgrenzung von System Dynamics zu anderen Methoden</i>	41
4.1	Ökonometrie	41
4.1.1	Ein- und Mehrgleichungsmodelle.....	42
4.1.2	Statistische Probleme Ein- und Mehrgleichungsmodellen.....	43
4.1.3	Kritische Bewertung der Ökonometrie	44
4.2	Gleichgewichtsmodellierung	45
4.2.1	Theoretische Fundierung von Gleichgewichtsmodellen	45
4.2.2	Zeitliche Aspekte in Gleichgewichtsmodellen.....	47
4.2.3	Neuere Entwicklungen der Gleichgewichtsmodellierung.....	48
4.2.4	Implementation von Gleichgewichtsmodellen.....	48
4.2.5	Bewertung von Gleichgewichtsmodellen	49
4.3	Vergleich von Ökonometrie, Gleichgewichtsmodellierung und System Dynamics ... 50	
4.3.1	Integration von Ökonometrie in System Dynamics	50
4.3.2	Integration von Gleichgewichtsmodellen in System Dynamics.....	52
4.4	Zusammenfassender Vergleich	56
5	<i>System Dynamics und Makroökonomie</i>	59
5.1	Ökonomische Theorie und System Dynamics	59
5.1.1	Evolutorische Ökonomie und System Dynamics.....	59
5.1.2	Keynes in System Dynamics	60
5.1.3	Neoklassik in System Dynamics.....	60

5.2	Makroökonomische Modelle in System Dynamics	61
5.2.1	System Dynamics National Model	61
5.2.2	Modell von Nathan Forrester	62
5.2.3	Threshold 21	63
5.2.4	Zusammenfassender Vergleich.....	64
5.3	Das makroökonomische Modell KEYNEO	65
5.3.1	Qualitativer Entwurf des Modells.....	65
5.3.2	Erstellung des System Dynamics Modells.....	67
5.3.3	Analyse und Bewertung des Modells	72
5.4	Zusammenfassung	76
6	<i>Beschreibung von ESCOT und der BAU/EST-80%-Annahmen</i>	77
6.1	Allgemein	77
6.2	Struktur von ESCOT.....	77
6.3	Makromodell.....	79
6.3.1	Nachfrageseite	80
6.3.2	Angebotsseite	90
6.3.3	Verbindung zwischen Angebot und Nachfrage	104
6.3.4	Input-Output-Tabelle.....	104
6.3.5	Steuern.....	110
6.4	Verkehrsmodell.....	111
6.4.1	Basisdaten Verkehr	112
6.4.2	Personenfernverkehr.....	125
6.4.3	Personennahverkehr	135
6.4.4	Güterfernverkehr	137
6.4.5	Güternahverkehr.....	140
6.5	Regionalmodell.....	141
6.5.1	Räumliche Abbildung im Regionalmodell	141
6.5.2	Bevölkerung	143
6.5.3	Raumentwicklung.....	145
6.5.4	Regionale Beschäftigung.....	146
6.6	Emissionsmodell.....	147
6.7	Politikmodell	150
6.8	Zusammenfassung	152
7	<i>Assessment der Szenarien</i>	153
7.1	Allgemeines.....	153
7.2	Ergebnisse des Verkehrsmodells.....	153
7.3	Ergebnisse des Umweltmodells.....	157
7.4	Ergebnisse des Makromodells	158
7.4.1	Nachfrageseite	158
7.4.2	Angebotsseite	163
7.4.3	Sensitivitätsanalysen.....	165
7.4.4	Gesamtbetrachtung über die makroökonomische Bewertung.....	168
7.5	Qualitative Bewertung der Szenarien.....	168
7.6	Zusammenfassung des Assessment	170
8	<i>Zusammenfassung und Ausblick</i>	171
Anhang A:	<i>Literatur</i>	175
Anhang B:	<i>Tabellen, Auswertungen und Klassifikationen.....</i>	187
Anhang C:	<i>Ergänzende Erläuterungen.....</i>	211

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Projektstruktur EST	5
Abbildung 2-2: Verkehrsleistung im Personenverkehr	10
Abbildung 2-3: Verkehrsleistung im Güterverkehr.....	11
Abbildung 2-4: Emissionsgrenzwerte für CO ₂	13
Abbildung 2-5: Mineralölsteuer in EST-80%	14
Abbildung 3-1: Analytische Schritte und synthetische Schritte.....	21
Abbildung 3-2: Unterschied zwischen Kompliziertheit und Komplexität.....	23
Abbildung 3-3: Systemgrenze	28
Abbildung 3-4: Negative Rückkopplung	29
Abbildung 3-5: Positive Rückkopplung	30
Abbildung 3-6: Tragödie der Kollektivgüter am Beispiel Nationalpark.....	30
Abbildung 3-7: Archetypen und Lösungen	31
Abbildung 3-8: Elemente von System Dynamics und eine Beispielanwendung	31
Abbildung 4-1: Grundstruktur eines Gleichgewichtsmodells	46
Abbildung 4-2: Bundesbank-Modell in Vensim	51
Abbildung 4-3: Abbildung eines statischen Gleichgewichtsmodells in Vensim	54
Abbildung 4-4: Abbildung eines quasi-dynamischen Gleichgewichtsmodells in Vensim	55
Abbildung 4-5: Schematischer Verlauf einer Lohnsteuererhöhung im quasi-dynamischen Modell	56
Abbildung 5-1: Zentrale Rückkopplungen in KEYNEO	66
Abbildung 5-2: Vollständige Übersicht über die Rückkopplungen in KEYNEO.....	67
Abbildung 5-3: Nachfrageseite (Rückkopplung 1) in KEYNEO.....	68
Abbildung 5-4: GDP, Produktionspotenzial und Produktionslücke	70
Abbildung 5-5: Kalibrationsergebnisse für Konsum, Investitionen und Endnachfrage.....	72
Abbildung 5-6: Kalibrationsergebnisse für die Beschäftigung	73
Abbildung 5-7: Kalibrationsergebnisse für die Nominalzinsen	74
Abbildung 6-1: Struktur des System Dynamics Modells ESCOT	78
Abbildung 6-2: Makromodell in ESCOT.....	80
Abbildung 6-3: Konsum in ESCOT.....	82
Abbildung 6-4: Ablauf der Bestimmung der Investitionen	83
Abbildung 6-5: Investitionen in ESCOT.....	88
Abbildung 6-6: Jährliche, sektorale Arbeitszeit pro Beschäftigtem.....	92
Abbildung 6-7: FuE-Aufwendungen ausgewählter Sektoren.....	94
Abbildung 6-8: FuE-Aufwendungen.....	95
Abbildung 6-9: Ergebnisse des Signifikanztests zwischen FuE und Output	96
Abbildung 6-10: Grenzerträge von FuE-Aufwendungen	103
Abbildung 6-11: Input-Output-Tabelle	105
Abbildung 6-12: Vorgehensweise bei der Bestimmung der Input-Koeffizienten	106
Abbildung 6-13: Änderung des Konsums in einem Sektor.....	109

Abbildung 6-14: Sukzessive Berechnung der Input-Output-Tabelle	110
Abbildung 6-15: Verkehrsmodell.....	111
Abbildung 6-16: Kosten (Pkw)	114
Abbildung 6-17: Kosten im Lkw-Bereich.....	115
Abbildung 6-18: Kosten im Schienen- und Flugverkehr	116
Abbildung 6-19: Straßenfahrzeuge	117
Abbildung 6-20: Pkw und Lkw-Flotte	118
Abbildung 6-21: Flotten-Anteile im Lkw-Bereich.....	119
Abbildung 6-22: Straßenbelastung.....	120
Abbildung 6-23: Widerstände, Zeiten und Reiseweiten Straße	123
Abbildung 6-24: Widerstände, Zeiten und Reiseweiten Schiene.....	124
Abbildung 6-25: Personenfernverkehr	125
Abbildung 6-26: Verkehrsaufkommen.....	126
Abbildung 6-27: Modal Split	129
Abbildung 6-28: Verkehrsleistung Straße und Schiene	133
Abbildung 6-29: Luftverkehr	134
Abbildung 6-30: Güterfernverkehr.....	139
Abbildung 6-31: Bevölkerungssektor	143
Abbildung 6-32: Abbildung der Bevölkerungsentwicklung	144
Abbildung 6-33: Raumentwicklung	145
Abbildung 6-34: Regionale Beschäftigung	146
Abbildung 6-35: Berechnung der Emissionen durch Personenfernverkehr	147
Abbildung 6-36: Wirkung der Maßnahme Mineralölsteuer.....	150
Abbildung 6-37: Weitere Wirkungen der Mineralölsteuer	151
Abbildung 7-1: Straßenpersonenverkehr außerorts für BAU, EST-50% und EST-80%	154
Abbildung 7-2: Vergleich Personenverkehr 1990 und 2030 für BAU, EST-80% und EST-50%	155
Abbildung 7-3: Vergleich Güterverkehr 1990 und 2030 für BAU, EST-80% und EST-50%	156
Abbildung 7-4: Jährliche CO ₂ -Emissionen	157
Abbildung 7-5: Nachfrage nach Kraftwagen (Umsatz in Sektor 17).....	158
Abbildung 7-6: Nachfrage nach Eisenbahndienstleistungen (Umsatz in Sektor 23) und der Landverkehrsleistungen (Umsatz in Sektor 24).....	159
Abbildung 7-7: Gesamter Konsum für BAU, EST-50% und EST-80%	159
Abbildung 7-8: Gesamte Investitionen für BAU, EST-50% und EST-80%	162
Abbildung 7-9: Auswirkungen einer Erhöhung des exogenen technischen Fortschritt der Eisenbahndienstleistungen verglichen mit EST-50%	166
Abbildung 7-10: Unterschied in der Endnachfrage bei Variation von Spillover-Effekten verglichen mit EST-50%	166
Abbildung 7-11: Vergleich der Vorleistungen der Messtechnik zwischen einem Sensitivitätslauf und BAU.....	167

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Langfristige Trends der Umweltbelastungen	4
Tabelle 2-2: Kriterien und Zielwerte der deutschen Fallstudie	6
Tabelle 2-3: Technische Annahmen	9
Tabelle 2-4: Übersicht über politische Maßnahmen von EST-80%	12
Tabelle 2-5: Politische Maßnahmen in EST-50%	15
Tabelle 2-6: Zeitplan von Maßnahmen von EST-80%	16
Tabelle 2-7: Wirkung der Maßnahmen auf das Verhalten	17
Tabelle 3-1: Vergleich Analytischer Ansatz und Systemansatz	22
Tabelle 3-2: Systembegriffe	24
Tabelle 3-3: Vorgehensweise bei der Modellierung	27
Tabelle 4-1: Gründe für Marktversagen	49
Tabelle 4-2: Vergleich zwischen Ökonometrie, Gleichgewichtsmodellierung und System Dynamics	57
Tabelle 5-1: Tabellarische Kalibrationsergebnisse von KEYNEO	73
Tabelle 5-2: Ergebnisse der Parameterschätzung in KEYNEO	75
Tabelle 6-1: Input-Koeffizienten-Matrix im Jahr 1995	84
Tabelle 6-2: Investitionskoeffizienten-Matrix im Jahr 1995	85
Tabelle 6-3: Investitionskennziffern	88
Tabelle 6-4: Zusammenhang von FuE zu Output im gleichen Jahr [in %]	95
Tabelle 6-5: Zeitliche Verzögerung der Auswirkung von FuE-Aufwendungen [Jahre]	96
Tabelle 6-6: Sektorale CES-Produktionsfunktionen mit exogenem technischem Fortschritt (ohne FuE)	98
Tabelle 6-7: CES-Produktionsfunktion mit exogenem Fortschritt und FuE	102
Tabelle 6-8: Steigung der Input-Koeffizienten-Matrix	107
Tabelle 6-9: Wachstumsraten des Verkehrsnetzes	112
Tabelle 6-10: Übersicht über die wichtigen Kosten-Variablen	113
Tabelle 6-11: Kosten im Güterverkehr	116
Tabelle 6-12: Kosten im Flugverkehr	117
Tabelle 6-13: Fahrzeugvariablen	118
Tabelle 6-14: Flotten-Anteile im Pkw-Bereich	119
Tabelle 6-15: Werte für Straßenbelastungsberechnung Pkw	121
Tabelle 6-16: Werte für Straßenbelastungsberechnung Lkw	122

Tabelle 6-17: Werte zur Modal-Split-Berechnung.....	132
Tabelle 6-18: Punkt Elastizitäten	132
Tabelle 6-19: Werte zur Berechnung der Verkehrsleistung mit nationalem Flugverkehr....	134
Tabelle 6-20: Werte zur Berechnung der Verkehrsleistung international	135
Tabelle 6-21: Maßnahmen zur Senkung des Verkehrsaufkommens	136
Tabelle 6-22: Entwicklung der Verkehrsleistung in den Städten.....	136
Tabelle 6-23: Maßnahmen zur Senkung der Verkehrsleistung des Lkw-Güterverkehrs	140
Tabelle 6-24: Entwicklung der Güterverkehrsleistung in den Städten.....	141
Tabelle 6-25: Siedlungsstrukturelle Regionstypen.....	142
Tabelle 6-26: Siedlungsstrukturelle Gebietstypen.....	142
Tabelle 6-27: Bevölkerungsentwicklung.....	143
Tabelle 6-28: Migration.....	144
Tabelle 6-29: Einfluss von Regionalindikatoren auf die Pkw-Besitzrate	146
Tabelle 6-30: Emission von CO ₂ und NO _x	148
Tabelle 6-31: Emission von VOC und PM	149
Tabelle 7-1: Emissionen von CO ₂ , NO _x , VOC und Ruß.....	157
Tabelle 7-2: Vergleich der Investitionen zwischen BAU und EST-50%	160
Tabelle 7-3: Investitionen in Fahrzeuge	161
Tabelle 7-4: Ergebnis für die Komponenten der Endnachfrage für BAU, EST-50% und EST-80%	163
Tabelle 7-5: Sektorales Kapital und sektorale Beschäftigung in BAU und EST-50%	164
Tabelle 7-6: Angebotsseite für das BAU-Szenario und die EST-Szenarien	165

Abkürzungsverzeichnis

ASTRA	Assessment of Transport Strategies
BAU	Business-as-usual Szenario
BLUE	best linear unbiased estimator
ccm	Kubikmeter Hubraum
CEI	Central European Initiative
CES	Constant Elasticity of Substitution
CGE	Gleichgewichtsmodell (Computable General Equilibrium)
CO ₂	Kohlendioxid
DICE	Dynamic Integrated Climate Economy
Dmnl	Dimensionslos (dimensionless)
DPCi	Pkw vom Typ i mit Dieselmotor
DTr	Lkw mit Dieselmotor
E3ME	Energy-Environment-Economy Model for Europe
ESCOT	Economic assessment of Sustainability poliCies Of Transport
EST	Environmentally Sustainable Transport
EST-50%	Nachhaltigkeitsszenario mit CO ₂ -Reduktionsziel von 50%
EST-80%	Nachhaltigkeitsszenario mit CO ₂ -Reduktionsziel von 80%
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe
FuE	Forschung und Entwicklung
Fzkm	Fahrzeugkilometer
GAMS	General Algebraic Modelling System
GEM-E3	General Equilibrium Model for Energy-Economy-Environment
GDP	Bruttoinlandsprodukt
GPCi	Pkw vom Typ i mit Benzinmotor
GTr	Lkw mit Benzinmotor
HDV	Lkw > 3.5 t
IC	Innenstadtverkehr (InnerCity)
LDV	Lkw < 3.5 t
Mill	Millionen

Mrd	Milliarden
NICE	aNother Integrated Climate Economy
NO _x	Stickoxide
NO ₂	Stickstoffdioxid
OECD	Organisation for Economic Co-Operation and Development
O ₃	Ozon
Pkm	Personenkilometer
PM	Rußpartikel (Particulate Matter)
PM _{2,5}	Partikel kleiner als 2.5 µm
POP	Persistente organische Verbindungen
REXS	Resource EXergy Services
SD	System Dynamics
SDM	System Dynamics Modell
Tkm	Tonnenkilometer
TREMOD	Transport Emission Estimation Model
Vkm	Fahrzeugkilometer
VOC	Flüchtige Kohlenwasserstoffe (Volatile Organic Compound)

1 Einleitung

In den letzten Jahren sieht sich die Wirtschaftspolitik in zunehmendem Maße mit immer komplexer werdenden Fragestellungen konfrontiert. Dies betrifft auch die Verkehrspolitik, die einen hohen Einfluss auf die Transportaktivitäten einer Reihe von Wirtschaftssektoren und ebenso auf die Lebensbedingungen der Bevölkerung ausübt.

Betrachtet man die Veränderungen in der Verkehrspolitik, so stößt man schnell auf einen hohen Grad an Vernetztheit interdisziplinärer Teilbereiche. Verkehr, Siedlungswesen, Wirtschaft und Umwelt sind unverkennbar miteinander verknüpft und bedingen sich gegenseitig. Die Vernetztheit verschiedener Teilbereiche führt zu einer immer größer werdenden Komplexität der betrachteten Problemstellung.

Zusätzlich wird die Komplexität durch den zeitlichen Aspekt erhöht. Zum Einen besteht im Verkehrsbereich zum aktuellen Zeitpunkt politischer Handlungsbedarf. Die verkehrsbelasteten Innenstädte, die Steigerung des Güterverkehrs, das geänderte Reiseverhalten der Bevölkerung und die Umweltbelastungen durch den Verkehr – um nur einige zu nennen - sind Aspekte, auf die politisch reagiert werden muss. Auf der anderen Seite entfalten Entscheidungen in der Verkehrspolitik ihre volle Wirkung oft erst mit zeitlicher Verzögerung. Infrastrukturmaßnahmen bestimmen Verkehrsnetze über Jahrzehnte, Umweltbelastungen häufen sich und bauen sich teilweise erst nach langer Zeit ab.

Die Idee der Nachhaltigkeit im Verkehr, die in dieser Dissertation betrachtet wird, muss sich mit beidem auseinandersetzen: mit der Komplexität, die durch die Vernetztheit zwischen Umwelt, Verkehr und Wirtschaft entsteht, und mit dem langen Zeithorizont, innerhalb dessen die Teilbereiche eine Auswirkung haben.

Anlass zu der Dissertation ist das von der OECD initiierte Projekt „Environmentally Sustainable Transport“ (EST) (Kapitel 2). Dieses wurde 1994 von der Arbeitsgruppe Verkehr der OECD mit dem Ziel gegründet, Wege zu einer dauerhaft nachhaltigen Verkehrsentwicklung zu finden und zu beschreiben. An dem Projekt beteiligten sich eine Reihe von Ländern, die entweder Länder- oder Gebietsstudien anfertigten. Für Deutschland wurde die Fallstudie unter der Projektleitung des Umweltbundesamtes erstellt. Neben dem Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW) war das Wuppertal Institut ein weiterer Projektpartner.

In den ersten Projektabschnitten wurden gemeinsam verschiedene zukünftige Verkehrsszenarien ausgearbeitet. Als Referenzszenario wurden die gegenwärtig erkennbaren Trends für die zukünftige Entwicklung fortgeschrieben. Für umweltorientierte Szenarien wurden politische Maßnahmen angenommen, die zu gravierenden Änderungen im Verkehrs- und Umweltbereich führen. Dies warf die Frage nach der Bewertung der verschiedenen Szenarien auf.

In der Dissertation wird das Modell ESCOT (Economic assessment of Sustainability poliCies Of Transport) entwickelt, das die Bewertung von Verkehrsszenarien ermöglicht. Bei der Bewertung sind besonders der lange Zeitraum der Szenarien und die Komplexität des Problems zu berücksichtigen. Wegen dieser Eigenschaften liegt es nahe, den System Dynamics Ansatz als Methode zur Modellerstellung anzuwenden. Die Beschreibung von System Dynamics zeigt auf, wo die Stärken und Schwächen von System Dynamics bei der Bearbeitung der Fragestellung liegen (Kapitel 3).

Durch die Wahl von System Dynamics als Modellierungswerkzeug, entsteht die Notwendigkeit, diesen Ansatz von anderen abzugrenzen. Daher werden die Ökonometrie und die Gleichgewichtsmodellierung mit System Dynamics verglichen. Außerdem werden Über-

legungen angestellt, wie diese anderen Methoden in System Dynamics integriert werden können (Kapitel 4).

Ein Schwerpunkt der Arbeit liegt darin, die volkswirtschaftlichen Auswirkungen mit System Dynamics abzuschätzen. Zu diesem Zweck wird untersucht, auf welcher ökonomischen Theorie System Dynamics sinnvollerweise aufbauen sollte. Des weiteren wird der Stand in diesem Bereich dargelegt (Kapitel 5).

Nachfolgend wird ein kleines, eng an keynesianische und neoklassische Theorien angelehntes Modell entwickelt. Dieses Modell erläutert grundsätzliche Wirkungsweisen des komplexeren ESCOT und hat den Vorteil, an einem längeren Zeitraum und mit exakteren Methoden kalibriert worden zu sein (ebenfalls Kapitel 5).

Anschließend erfolgt die Beschreibung von ESCOT mit den Teilmodellen Wirtschaft, Verkehr, Umwelt, Regionalwirtschaft, der politischen Sphäre und den Modellschnittstellen untereinander. Gerade bei der Entwicklung des wirtschaftlichen Modells wird versucht, eine problemadäquate Struktur zu finden. Von Bedeutung ist dabei die integrierte Input-Output-Tabelle, die den Kern des volkswirtschaftlichen Modells bildet (Kapitel 6).

Im letzten Schritt werden die Modellergebnisse von ESCOT dokumentiert und interpretiert. Darauf folgt ein Vergleich mit Ergebnissen, die mit anderen Methoden für ähnliche Fragestellungen gewonnen wurden (Kapitel 7). Die quantitativen Modellergebnisse werden durch qualitative Betrachtungen ergänzt.

Zum Abschluss werden die wesentlichen Erkenntnisse, die mit dieser Dissertation gewonnen wurden, noch einmal zusammengefasst und ein Blick auf weitere Forschungsarbeiten geworfen (Kapitel 8).

2 Das EST-Projekt

„In order to avoid a continued rapid growth of CO₂ in the atmosphere, severe reductions on emissions will be necessary.“ IPCC¹

2.1 Allgemeines

Das in dieser Dissertation beschriebene systemdynamische Modell „Economic assessment of Sustainability poliCies Of Transport“ (ESCOT) beruht zum großen Umfang auf Arbeiten, die im Rahmen des Projektes „Environmentally Sustainable Transport“ (EST) anfielen. Annahmen und Datenbasis des Projektes bilden die Grundlage für Modellentwicklung und Modellkalibration von ESCOT.

Dies macht es erforderlich, das EST-Projekt zu beschreiben. Es existieren umfangreiche und sehr detaillierte Arbeiten zu dem EST-Projekt, auf die nicht im einzelnen eingegangen werden kann. Im Rahmen dieser Dissertation wird hier die deutsche Fallstudie zum EST-Projekt beschrieben. Wesentliche Punkte sind dabei die Formulierung von Umweltzielen, der Entwurf verschiedener Szenarien und das Aufstellen politischer Instrumente.

2.2 EST-Projekt

Das EST-Projekt wurde 1994 von der Arbeitsgruppe Verkehr und Umwelt der OECD initiiert, um die Möglichkeiten einer weitestgehenden Vermeidung der verkehrsbedingten Umweltbelastungen zu untersuchen. An diesem Projekt beteiligten sich zunächst die Länder Schweden, Norwegen, die Niederlande, Kanada, Frankreich, die Schweiz, Österreich, Italien und Deutschland mit insgesamt 6 Fallstudien².

Schweden, Deutschland und die Niederlande entwickelten jeweils eine Länderstudie. Von den anderen teilnehmenden Ländern wurden regionale Studien für den Quebec-Windsor-Korridor, die Alpenregion und den Osloer Großraum entworfen. Weitere Fallstudien wurden von Japan und 14 mittel- und osteuropäischen Staaten der Central European Initiative (CEI) mit engem Bezug zum EST-Projekt erstellt³.

Den Abschluss des Projekts bildete die OECD Konferenz in Wien im Jahr 2000, bei der die Projektergebnisse vorgestellt und politische Handlungsempfehlungen den Umweltministern der OECD Mitgliedstaaten überreicht wurden. Die Handlungsempfehlungen wurden 2001 von den Umweltministern der OECD unterzeichnet.

Die folgenden Abschnitte gehen, wenn nicht anders erwähnt, auf die deutsche Fallstudie ein, die vom Umweltbundesamt, dem Wuppertal Institut und dem Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung der Universität Karlsruhe bearbeitet worden ist.

2.2.1 Motivation

Betrachtet man die Umweltbelastungen des Verkehrs, so ergibt sich innerhalb der OECD ein uneinheitliches Bild (siehe Tabelle 2-1).

¹ IPCC (1990), S. 17

² vgl. OECD (1996a, 1996b, 1999a, 1999b, 1999c, 2000)

³ vgl. OECD (1996a, 1996b, 1999a, 1999b, 1999c, 2000)

Tabelle 2-1: Langfristige Trends der Umweltbelastungen⁴

Ebene	Umweltbelastung ⁵	OECD	Nicht-OECD	Hauptverursacher
Lokal	Lärm	=	++	Lkw, Flugzeuge
	NO ₂ , PM _{2,5}	-	++	Lkw
Regional	O ₃ , Versauerung	-	++	Pkw, Lkw
	Wasser, Meer	+	++	Schiffe
Global	CO ₂ , FCKW	++	+++	Pkw, Lkw, Flugzeuge
	POP, Müll	+++	+++	Pkw, Flugzeug

Zwar zeichnen sich bei einigen Umweltbelastungen, wie z.B. Stickstoffdioxid und Partikeln, eine leicht sinkende Tendenz ab (einfaches Minus), aber gerade bei den globalen Umweltbelastungen unter die auch CO₂ fällt, lässt sich ein weiterer Anstieg (zwei-dreifaches Plus) prognostizieren.

Die Problematik der weiterhin steigenden globalen Umweltbelastung durch den Verkehr wurde zum Anlass genommen, das EST-Projekt zu initiieren, um Wege zu einem dauerhaft umweltgerechten Verkehr zu finden. Dabei wurde das Projekt in vier Phasen eingeteilt:

1. Identifikation von Schlüsselkriterien für nachhaltigen Verkehr
2. Entwicklung von Verkehrsszenarien
3. Wahl geeigneter politischer Instrumente
4. Bewertung und Machbarkeitsprüfung der Szenarien

Die erste Phase macht sich zum Ziel, den Begriff Nachhaltigkeit im Bezug auf den Verkehr zu definieren und geeignete Kriterien zur Messbarkeit von Nachhaltigkeit zu bestimmen.

Die nächste Phase dient der Entwicklung von verschiedenen Szenarien. Als erstes wurde ein „Business-As-Usual“- (BAU)-Szenario erstellt. Das BAU-Szenario zeigt auf, wie die weitere nicht nachhaltige Entwicklung des Verkehrs bei Fortschreibung der bisherigen Trends wahrscheinlich aussehen wird. Als Alternative zum BAU-Szenario werden EST Szenarien gebildet, die im Zieljahr des Szenarios die Nachhaltigkeitskriterien erfüllen sollen.

In der dritten Phase sollen die politischen Instrumente, die zu den EST-Szenarien führen, ausgewählt und diskutiert werden.

Die vierte Phase besteht darin, die EST-Szenarien hinsichtlich ihrer technischen, wirtschaftlichen und politischen Durchführbarkeit zu prüfen. Der zentrale Punkt liegt dabei in der ökonomischen Bewertung der EST-Szenarien.

⁴ OECD (2000), S. 7

⁵ Stickstoffdioxid (NO₂), Partikel kleiner als 2.5 µm (PM_{2,5}), Ozon (O₃), Kohlendioxid (CO₂), Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW), Persistente organische Verbindungen (POP)

In Abbildung 2-1 ist die Vorgehensweise des Projekts graphisch abgebildet.

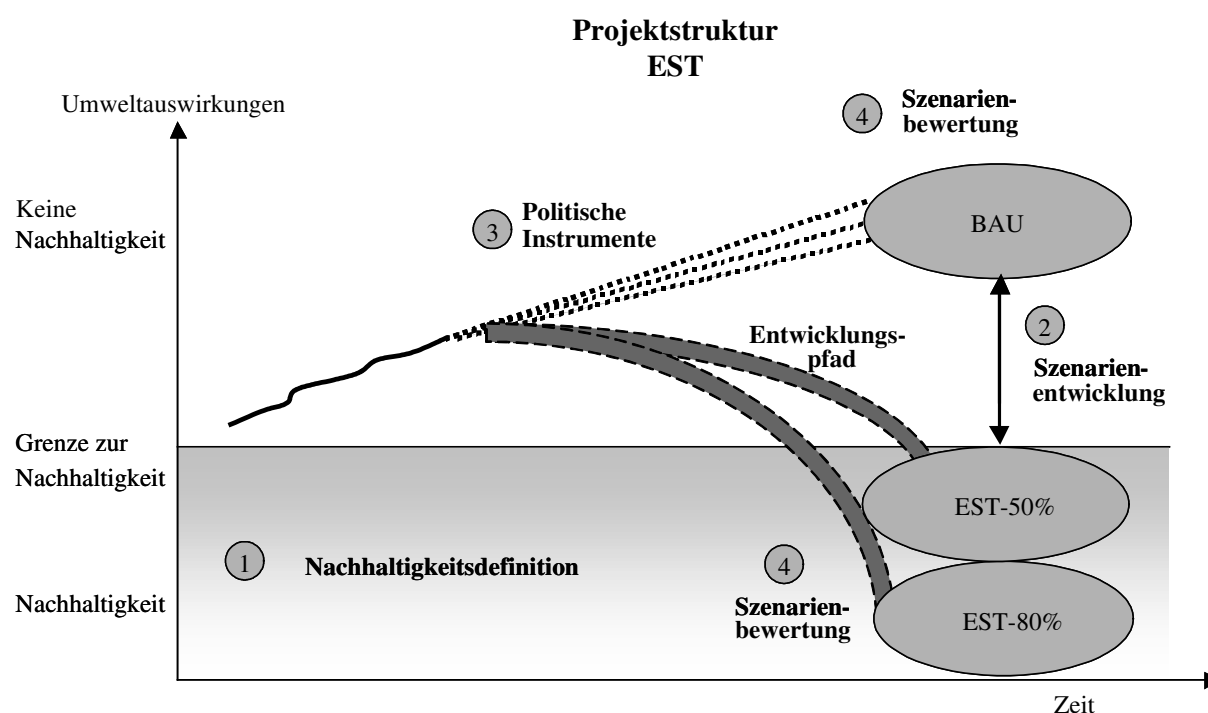


Abbildung 2-1: Projektstruktur EST⁶

Aus der Graphik wird deutlich, dass es sich bei der Vorgehensweise um einen Backcasting-Ansatz handelt. Bei der Verwendung der Forecasting-Methode wird ein wahrscheinlicher Szenarienvorlauf vom gegenwärtigen Zeitpunkt aus entworfen. Bei der Backcasting-Methode wird ein möglicher bzw. gewünschter zukünftiger Zustand betrachtet⁷. Unter Anvisieren dieses zukünftigen Zustandes können Überlegungen angestellt werden, auf welchem Wege dieser Zustand erreicht wird. Es wird also ein Pfad gesucht, der den gegenwärtigen Zustand mit einem zukünftigen Zustand verbindet.

2.2.2 Nachhaltigkeitskriterien

Ziel der ersten Phase des EST-Projekts war die Aufstellung von Kriterien, die Nachhaltigkeit beschreiben. Nach der Brundlandt-Kommission beschreibt eine nachhaltige Entwicklung die Situation, in der die Bedürfnisse der gegenwärtigen Generation erfüllt werden, ohne die Möglichkeiten der zukünftigen Generation zu verschlechtern, ihre Bedürfnisse zu erfüllen⁸. Die Definition schließt umweltbezogene, ökonomische und soziale Aspekte ein. Das EST-Projekt setzt den Fokus zunächst auf den Umweltaspekt. Ökonomische und soziale Fragestellungen wurden in diesem Stadium noch ausgeklammert⁹.

Angewendet auf Umweltaspekte sollten folgende Regeln für Nachhaltigkeit erfüllt sein¹⁰:

- Die Abbauraten erneuerbarer Ressourcen dürfen ihre Erneuerungsraten nicht übersteigen.

⁶ vgl. OECD (2000), S. 9

⁷ vgl. Geurs, van Wee (2000), S. 47ff; vgl. Geerlings (1999), S. 59f

⁸ vgl. Brundtland (1987), S. 43. "Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs."

⁹ vgl. Adams (2000), S. 95ff. Adams diskutiert soziale Aspekte der Szenarien. Adams wurde im Verlauf des EST-Projekts miteingebunden. Ökonomische Aspekte wurden von einigen Ländern mit einer Impact-Path-Analyse analysiert. Für Deutschland wurde zusätzlich das vorliegende systemdynamische Modell entwickelt.

¹⁰ vgl. Daly (1990), S. 1ff

- Die Abbauraten nicht-erneuerbarer Ressourcen dürfen die Rate ihres Ersatzes durch Substitute nicht übersteigen.
- Die Menge des Schadstoffausstoßes darf die Aufnahmefähigkeit der Umwelt nicht überlasten.

Nachhaltigkeit im Verkehr wird im EST-Projekt vor allem unter dem Gesichtspunkt betrachtet, dass der Schadstoffausstoß die Aufnahmefähigkeit der Umwelt im lokalen, regionalen und globalen Bereich nicht überschreitet. Vor diesem Hintergrund entwickelten die am EST-Projekt teilnehmenden Länder ihre Kriterien für Nachhaltigkeit¹¹.

Die in der deutschen Fallstudie berücksichtigten Kriterien und deren Zielwerte sind in der folgenden Tabelle 2-2 zusammengefasst:

Tabelle 2-2: Kriterien und Zielwerte der deutschen Fallstudie

Kriterium	Zielwert	Spezifikation
CO ₂	- 80%	Emissionsreduktion des Verkehrssektors bis zum Jahr 2030 im Vergleich zu 1990
NO _x	- 90%	
VOC	- 90%	
PM	- 99%	
Lärm	≤ 65 dB(A)	alle Gebiete
	≤ 55 dB(A) tagsüber	Wohngebiete
	≤ 45 dB(A) nachts	
Flächennutzung	Kriterium muss noch entwickelt werden	Stadtgebiete
	kein Neubau von Verkehrsinfrastruktur	ländliche Gebiete

Als wichtigste Kriterien für die Charakterisierung einer nachhaltigen Verkehrsentwicklung wurden die Luftschadstoffe Kohlendioxid (CO₂), Stickoxide(NO_x), flüchtige organische Kohlenwasserstoffe (VOC) und Partikel (PM) identifiziert. Daneben werden auch der Verkehrslärm und die Flächeninanspruchnahme für Verkehrszwecke betrachtet¹².

Unter den Emissionen in die Luft stellt CO₂ langfristig das gravierendste Problem dar. Daher werden im weiteren die anderen Luftschadstoffe vernachlässigt. Der erwartete Rückgang von NO_x, VOC und PM beruht zum Einen auf der Annahme über die Wirkung der Euronormen für Fahrzeuge, die zu einer starken Reduktion dieser Emissionen pro gefahrenem Fahrzeugkilometer führen¹³. Zum Anderen wird deren Emissionsausstoß durch die niedrigere Fahrleistung in einem nachhaltigen Verkehrsszenario soweit gemindert, dass die Kriterien ohne weitere zusätzliche Maßnahmen erfüllt wären.

Für die Flächennutzung wird angenommen, dass in EST teilweise sogar die Straßeninfrastruktur zurückgebaut werden kann, und keine weitere Zerschneidung der Natur durch neue Infrastruktur erfolgt. Daher braucht auch das Kriterium Flächennutzung nicht berücksichtigt zu werden.

Aus diesen Gründen wird bei der folgenden Entwicklung der Szenarien und später bei der Aufstellung der politischen Maßnahmen als zentrales Kriterium CO₂ angesehen. Verkehrs-

¹¹ OECD (1996a)

¹² OECD (1996a)

¹³ Berücksichtigt werden EURO IV für Pkw und EURO IV/V für Nutzfahrzeuge.

lärm als eigenständiger und von den anderen Kriterien weitgehend unabhängiger Parameter wird jeweils gesondert betrachtet.

2.2.3 Annahmen der Szenarien

Zunächst ist es wichtig, den Begriff Szenario von der Prognose zu unterscheiden. Das Ziel von Prognosen ist es, unter Verwendung einer bestimmten Methode, meist mit Berücksichtigung von Vergangenheitsentwicklung und gegenwärtigen Zuständen, zukünftige Entwicklungen vorherzusagen. Anhand dieser zukünftigen Entwicklungen können dann in einem weiteren Schritt Entscheidungen, die in der Gegenwart und innerhalb des Prognosezeitraums getroffen werden müssen, bewertet werden. Nach Voß¹⁴ konnten die Prognosen diesem Anspruch in der Vergangenheit nicht gerecht werden.

Ein Ausweg wird in der Erstellung von Szenarien gesucht. In der Szenariotechnik wird statt einer Prognose eine Reihe alternativer Zukunftsentwicklungen gebildet. Die Verbindlichkeit der Aussagen wird dadurch gemindert, dass immer mehrere mögliche Entwicklungen generiert werden und jedes dieser Szenarien wiederum nur unter ganz bestimmten von Szenario zu Szenario variierenden Annahmen seine Gültigkeit hat¹⁵.

Alle Szenarien beziehen sich auf Deutschland für das Basisjahr 1990 und das Zieljahr 2030. Das „Business-as-usual“ (BAU)-Szenario nimmt an, dass im Verkehrsbereich keine signifikanten politischen und keine größeren technologischen Änderungen stattfinden werden. Nur solche strukturellen Änderungen und technologischen Innovationen, die aus heutiger Sicht schon erwartet werden können, sind in BAU berücksichtigt.

Das „Environmentally Sustainable Transport“ (EST)-Szenario beschreibt einen Pfad zum nachhaltigen Verkehr, der die identifizierten Kriterien im Jahr 2030 erreicht. Zum besseren Verständnis wird das EST-Szenario als EST-80% bezeichnet, weil das Ziel dieses Szenarios die CO₂-Reduktion um 80% bis zum Jahr 2030 ist.

Im Verlauf des EST-Projekts wurde noch ein weiteres Szenario entwickelt, das „EST-50%“. EST-50% hat wie EST-80% ein CO₂-Reduktionsziel um 80%, nur der Zeithorizont ist verschieden. Für EST-80% soll die Reduktion bis zum Jahr 2030 erreicht werden, für EST-50% hingegen erst im Jahr 2050. Bis zum Jahr 2030 wird für EST-50% ein Reduktionsziel von 50% angestrebt, was für die ökonomische Bewertung ausschlaggebend ist, da das Assessment der Szenarien bis zu diesem Jahr durchgeführt wird¹⁶. Mit EST-50% können wir also die ökonomischen Auswirkungen betrachten, wenn wir denselben Zeithorizont benutzen und die ökologischen Ziele innerhalb dieses Zeitraums abschwächen, ohne das Gesamtziel "Nachhaltiger Verkehr" zu verändern. Weil EST-50% erst im Verlauf des EST-Projekts entwickelt wurde, werden hier die genauen technischen Annahmen und Verhaltensannahmen nicht diskutiert.

Die Annahmen, die in den folgenden Abschnitten beschrieben werden, sind vom Umweltbundesamt und dem Wuppertal Institut getroffen worden¹⁷. Die Auswahl der politischen Maßnahmen und der Zeitpunkt deren Einführung wurden vom Umweltbundesamt vorgenommen¹⁸.

¹⁴ vgl. Voß (1991), S. 81ff

¹⁵ vgl. Gausemeier (1995), S. 83ff

¹⁶ Zu beachten ist, dass IPCC die Erfüllung ihrer ökologischen Ziele ebenfalls für das Jahr 2050, und nicht für 2030, anstrebt. Demnach sollen anthropogene Emissionen bis zum Jahr 2050 um 50% gesenkt werden. Vgl. IPCC (1990), S. 18

¹⁷ Umweltbundesamt, Wuppertal Institut (1997)

¹⁸ Umweltbundesamt, IWW (2000)

(a) Allgemeine und Technische Annahmen

BAU- und EST-80%-Szenario beruhen auf Annahmen, die in Tabelle 2-3 aufgelistet sind. Bezüglich der Entwicklung von Bevölkerung und Wirtschaftswachstum sind sie identisch. Bis 2020 (82,8 Mill. Pers.) wird die Bevölkerungszahl in Deutschland wachsen und bis zum Jahr 2030 deutlich zurückgehen (81,2 Mill. Pers.)¹⁹. Für die Wirtschaft wird von einem moderaten Wachstum ausgegangen. Bei der Entwicklung der Verkehrsbereiche differieren die Annahmen zwischen den Szenarien stark. Bei Infrastrukturen wird in BAU angenommen, dass die Projekte im Bundesverkehrswegeplan (BVWP)²⁰ realisiert werden und die Kraftstoffpreise moderat steigen.

Weil BAU keine signifikanten politischen und keine größeren technologischen Änderungen im Verkehrsbereich annimmt, lässt sich die Entwicklung des zukünftigen Verkehrs aus den heutigen Trends extrapolativ bestimmen.

Bei den Pkw-Motoren geht man davon aus, dass der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch um ein Drittel gesenkt wird. Zwar bestehen Reduktionspotentiale bei Dieselmotoren von 40% und Pkw mit Ottomotoren von 50%, aber eine Änderung der Verkehrspolitik wäre Voraussetzung für deren Realisierung.

Da CO₂-Emissionen und Kraftstoffverbrauch proportional zueinander stehen, kann man aus dem Kraftstoffverbrauch einen Emissionsfaktor von 120 g CO₂ pro Fzkm (Fahrzeugkilometer) berechnen. Dies entspricht dem Vorschlag der EU-Umweltminister für neuzugelassene Pkw ab 2005.

Weitere Annahmen für BAU betreffen die Zusammensetzung des Pkw-Marktes und die Energieeffizienz der Verkehrsträger. Demnach erreicht der Marktanteil von Pkw mit Dieselantrieb 30% und von Elektroautos 10%. Bei Flugzeugen steigt die Energieeffizienz um 45%²¹, bei Zügen und Schiffen um 10 bzw. 25%.

Für EST-80% hingegen müssen andere Annahmen getroffen werden. Das EST-80% setzt auf den konventionellen Antrieb im Verkehr. Die Wasserstofftechnik wird aufgrund des hohen Energieverbrauchs, der bei Produktion, Behandlung und Lagerung anfällt, als ineffizient und kostenintensiv angesehen. Konventionelle, aber effiziente Technik hat diese Nachteile nicht. Durch geringeren Roll- und Luftwiderstand und durch Einsatz neuer Materialien werden kraftstoffsparende Motoren ermöglicht. Der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch sinkt in diesem Szenario auf 2,5 l pro 100 km. Dabei werden nur Pkw mit Ottomotor eingesetzt. Aufgrund der Problematik mit Partikeln erhalten Dieselfahrzeuge keine Zulassung mehr²².

Schwere Nutzfahrzeuge, Züge, Reisebusse (Überland) und Schiffe werden weiterhin mit Diesel betrieben. Bei den Stadtbussen geht man in EST-80% davon aus, dass sich die Fahrzeugflotte jeweils zur Hälfte aus Oberleitungsbussen und gasbetriebenen Bussen zusammensetzt.

¹⁹ Für die deutsche Fallstudie wurde mit der damals aktuellen Bevölkerungsprognose des Statistischen Bundesamts (2020 84,9 Mill. Pers. und 2030 81,1 Mill. Pers.) gerechnet. Vgl. Umweltbundesamt, Wuppertal Institut (1997), S. 8ff. Für die Phase 3 des EST-Projekts wurden die Annahmen auf die später veröffentlichte Bevölkerungsprognose angepasst. Dort stieg die Bevölkerung bis zum Jahr 2010 an (82,1 Mill. Pers.) und sank dann bis zum Jahr 2030 (74,4 Mill. Pers.). Vgl. Statistisches Bundesamt (1996); vgl. Schade et. al. (2002), S. 92. Im vorliegenden ESCOT wird die neueste Veröffentlichung des Statistischen Bundesamts berücksichtigt. Vgl. Statistisches Bundesamt (2003), S. 26 u. S. 47. Die Szenarien orientieren sich an der mittleren Variante der Bevölkerungsprognose.

²⁰ BVU et. al. (2001)

²¹ Die NO_x-Emissionsfaktoren für Flugzeuge entwickeln sich gegen den Trend. Hier wird eine Steigerung von 25% angenommen.

²² Neuere Entwicklungen bei Partikelfiltern mindern diese Problematik. Vgl. BUWAL (2005), S. 1

Bezüglich der Energieeffizienz werden in EST-80% stärkere Verbesserungen angenommen. So sinkt zum Beispiel für Flugzeuge der Kraftstoffverbrauch um 55% statt wie in BAU um 45%. Im Schienenverkehr stammen 50% der genutzten Energie aus regenerativen Energiequellen und sind damit CO₂-neutral²³.

Tabelle 2-3: Technische Annahmen²⁴

Technische Annahmen	BAU	EST-80%
Bevölkerung	Langsames Wachstum bis 2020 (82,8 Mill. Pers.) und dann leichter Rückgang bis 2030 (81,2 Mill. Pers.)	
Wirtschaftswachstum	2% BIP-Wachstum pro Jahr	
Infrastruktur	Bundesverkehrswegeplan (führt in Summe zu einem Wachstum des Straßennetzes um 1% pro Jahr)	Etwa eine Verdopplung des Schienenverkehrsnetzes bis zum Jahr 2030, kein Ausbau des Straßennetzes nach 2010
Kraftstoffpreis	Moderates Wachstum um 1% pro Jahr	Verdopplung der Kraftstoffkosten pro gefahrenem Kilometer
Spezifische Schadstoffemissionen für Straßenfahrzeuge	Reduktion (z. B. Reduktion der spez. CO ₂ Emissionen im selben Verhältnis wie Reduktion der Kraftstoffverbräuche)	Starke Reduktion
Spezifischer Energieverbrauch der Verkehrsträger	Rückgang (z. B. für Benzinverbrauch von 8,9 l/100 km auf 5,8 l/100 km für Pkw)	Starker Rückgang (z. B. für Benzinverbrauch auf 2,5 l/100 km für Pkw)
Lärmemissionen	Moderate Reduktion	Starke Reduktion (z. B. Rückgang der Lärmgrenzwerte von 71 dB(A) auf 62 dB(A))
Anteil Diesel-Pkw an allen Pkw	Anstieg von 15% auf 30% bis zum Jahr 2030	0%
Anteil Elektro-Pkw an allen Pkw	Anstieg auf 10% im Jahr 2030	0%
Energie	Ähnlich wie im Jahr 2000 (6% der Energieerzeugung stammt aus Erneuerbaren Energiequellen)	50% aus Erneuerbaren Energiequellen

(b) Annahmen über Verhalten im Verkehr

Im Folgenden wird betrachtet, wie sich die Bevölkerung unter den unterschiedlichen Rahmenbedingungen der Szenarien verhält. In BAU geht man beim Pkw-Besitz von einem steigenden Trend bis auf 820 Pkw pro 1000 Einwohner²⁵ aus. Die Pkw-Flotte wächst von 36,0 Mill. Pkw im Jahr 1992 und 45,0 in Mill. Pkw im Jahr 2004²⁶ auf 57,6 Mill. Fahrzeuge im Jahr 2030 an.

Mit diesem Trend verbunden ist auch ein Rückgang des Pkw-Besetzungsgrades, da mehr Menschen ein Pkw besitzen und weniger auf Fahrgemeinschaften angewiesen sind. Innerorts geht man von einem Rückgang von 1,49 auf 1,30 aus, außerorts von 1,24 auf 1,15²⁷.

Bei den Verkehrsleistungen weist der Personenverkehr ein Wachstum von 46% - jeweils bezogen auf die Daten von 1990 – und der Flugverkehr steigt aufgrund der hohen Wachs-

²³ Ergänzende Annahmen zu technischen Annahmen von EST-80% finden sich im Anhang B.

²⁴ Umweltbundesamt, Wuppertal Institut (1997)

²⁵ Höhere Werte werden in einigen Bundesstaaten der USA bereits erreicht. Vgl. Umweltbundesamt (2001), S. 13

²⁶ vgl. Kraftfahrt-Bundesamt (2004), S. 8

²⁷ vgl. Umweltbundesamt (2001), S. 13

tumsraten auf mehr als das Fünffache²⁸. Im Güterverkehr ragt der Straßengüterverkehr mit einem Wachstum von 150% heraus. Insgesamt steigen die Verkehrsleistungen im Personenverkehr um etwa 60% und im Güterverkehr um etwa 80%.

Für EST wird davon ausgegangen, dass der Straßenverkehrsausbau nach 2010 gestoppt wird und die Kraftstoffpreise signifikant angehoben werden. Unter diesen Voraussetzung nimmt man an, dass in EST-80% die Pkw-Besitzrate mit 490 Pkw pro 1000 Einwohner wieder die Höhe von 1990 erreicht. Dies entspricht einer Pkw-Flotte von 36 Mill. Fahrzeugen. Die niedrigere Pkw-Besitzrate hat Einfluss auf den Pkw-Besetzungsgrad, der innerorts auf 1,9 und außerorts 1,7 ansteigt.

Die Ergebnisse der Verkehrsleistungen in den beiden Szenarien sind in den Abbildung 2-2 und Abbildung 2-3 veranschaulicht:

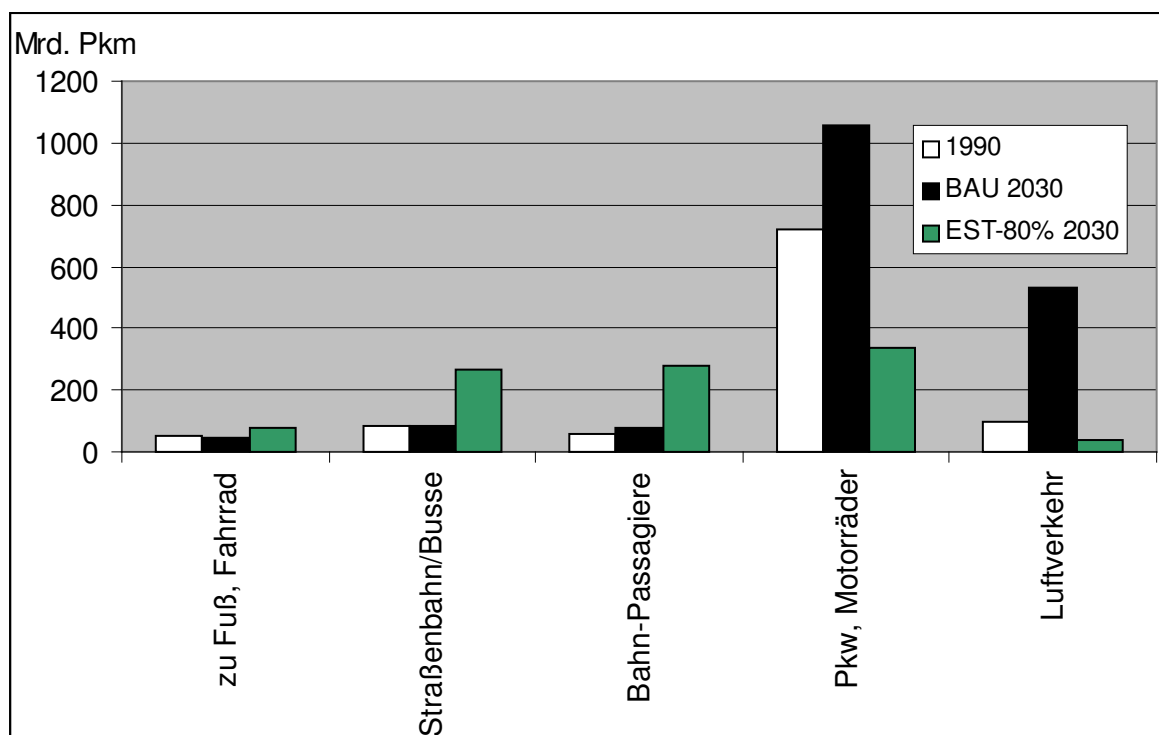
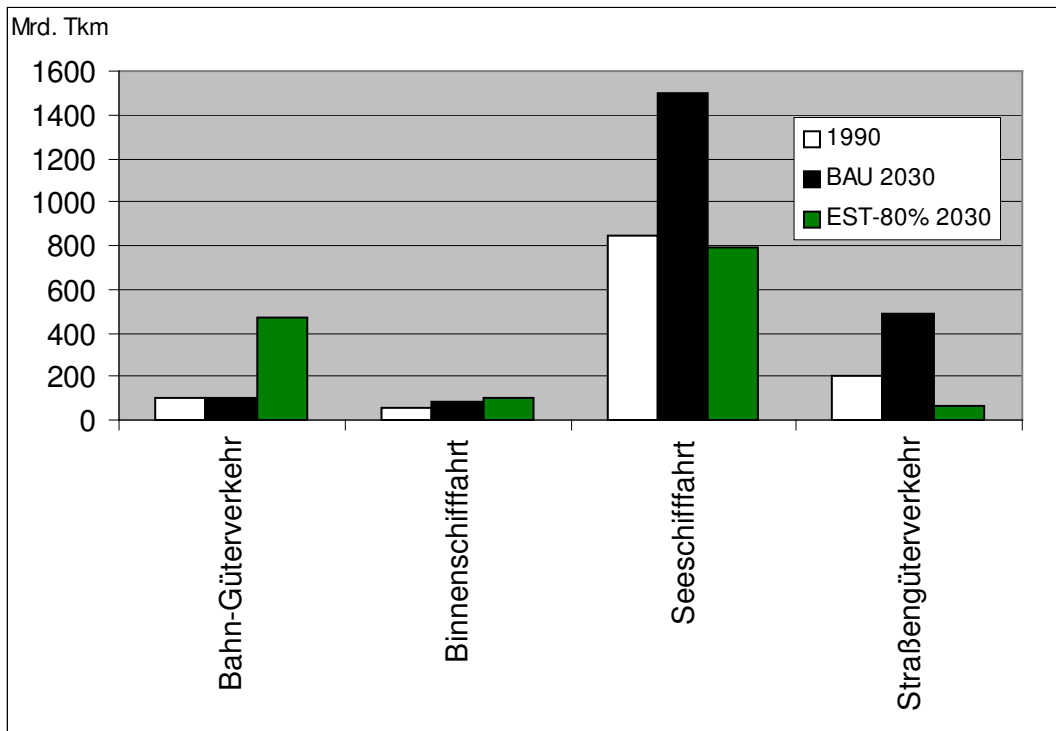


Abbildung 2-2: Verkehrsleistung im Personenverkehr²⁹

Bei den Verkehrsleistungen wird im Personenverkehr ein deutliche Verlagerung von Straße und Luft auf Schiene angenommen. Während sich die Verkehrsleistung für die Schiene nahezu vervierfacht, sinkt sie bei der Straße und Luft um mehr als 50%. Noch deutlicher wirkt sich die Verlagerung beim Güterverkehr von Straße auf Schiene und Wasserwege aus. Eine Reduktion der Verkehrsleistung auf der Straße um fast 70% steht einem Wachstum bei der Schiene um 350% und einer Verdoppelung auf Wasserwegen gegenüber. Insgesamt erreichen die Verkehrsleistungen im Personenverkehr wieder die Werte von 1990, während sie beim Güterverkehr leicht ansteigen.

²⁸ Beim internationalen Flugverkehr werden die von Deutschland ausgehenden Flüge in ihrer gesamten Länge berücksichtigt.

²⁹ Umweltbundesamt (2001), S. 23

Abbildung 2-3: Verkehrsleistung im Güterverkehr³⁰

2.2.4 Politische Maßnahmen

Nach der Bestimmung der Nachhaltigkeitskriterien und der Verkehrsszenarien in Phase 1 und 2 des EST-Projekts folgt in Phase 3 die Auswahl der geeigneten politischen Instrumente. Die politischen Instrumente sind notwendig, um nach dem Backcasting-Ansatz den Entwicklungspfad einzuschlagen, der zur Realisierung von EST im Jahr 2030 führt.

(a) Politische Maßnahmen für EST-80 %

(i) Übersicht

Die Auswahl der Maßnahmen bestimmt sich in der Hauptsache über ihren Beitrag zur CO₂-Reduktion. Für die Flächeninanspruchnahme und die anderen drei Luftschadstoffe nimmt man an, dass mit flankierenden Maßnahmen, die Zielwerte erreicht werden. Gesonderte Maßnahmen wurden für Lärm und den Flugverkehr ausgearbeitet.

Die politischen Maßnahmen lassen sich zu 13 Maßnahmenblöcken bündeln, von denen die für EST-80% wichtigsten politischen Instrumente einer solchen Verkehrspolitik in Tabelle 2-4 aufgeführt sind.

³⁰ Umweltbundesamt (2001), S. 24

Tabelle 2-4: Übersicht über politische Maßnahmen von EST-80%³¹

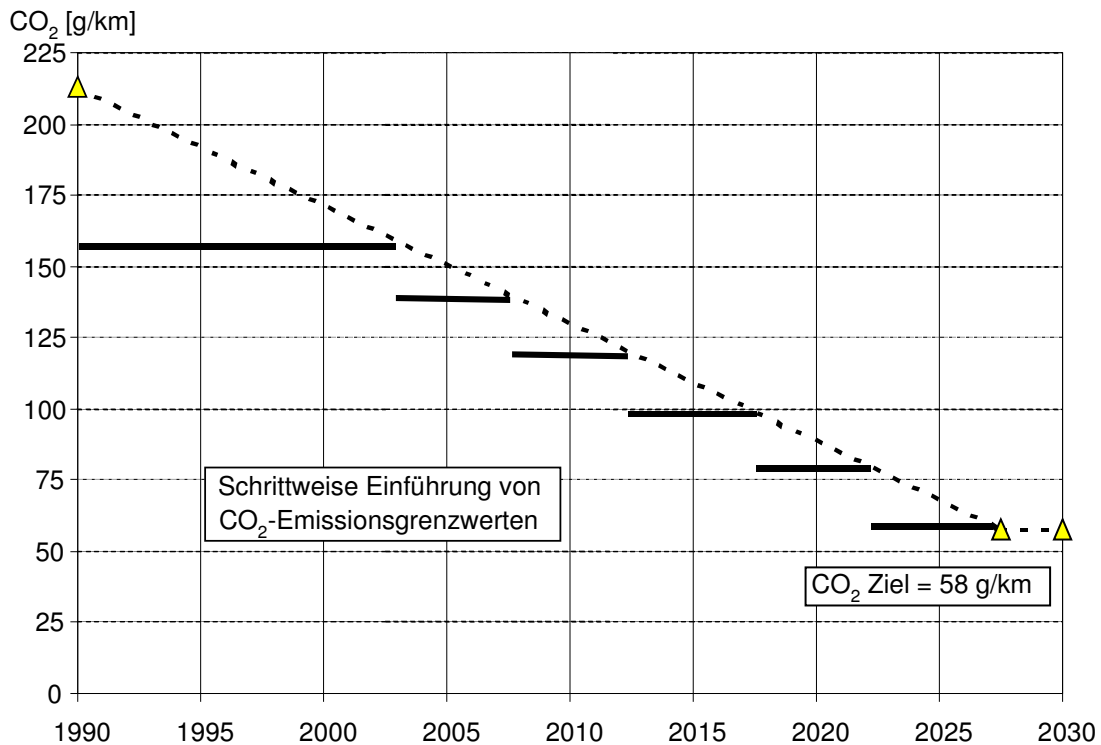
Maßnahme	Ausprägung	Wirkung
Emissionsgrenzwerte	Stufenweise Einführung von CO ₂ -Emissionsgrenzwerten	Senkung des Kraftstoffverbrauchs um 75%
Mineralölsteuer	Schrittweise Anhebung der Mineralölsteuer	Halbierung der Fahrleistung für Pkw
Road Pricing (Straßenbenutzungsgebühr)	Einführung und schrittweise Anhebung des Road Pricings	Halbierung des Straßengüterverkehrs
Neue Infrastrukturpolitik	Ausbau des Schienennetzes, Ausbaustopp für Straßennetz	Shift von Straße auf Schiene, Kapazitätserhöhung der Schiene
Verkehrsbeschränkung in Städten	Förderung umweltfreundlicher Verkehrsmittel (Tempo 30 etc.), Eindämmung des Straßenverkehrs	In Städten: Senkung des Verkehrsaufkommen und des Lärms, weniger Unfälle
Verbesserung des Eisenbahnangebots	Logistikzentren der Bahn, Verbesserung der Schnittstelle Straße und Schiene	keine Aussage machbar
Verbesserung des Öffentlichen Verkehrs	Flächendeckendes ÖPNV-Angebot, kürzere Taktzeiten	Verlagerung des Motorisierten Individualverkehr auf ÖPNV
Regionale Wirtschaftsstruktur	Unterstützung regionaler Wirtschaftskreisläufe	Reduktion des Straßengüterverkehrs
Lokaler/Regionaler Tourismus	Mehr Naturschutzgebiete, mehr Nah-Erholungsmöglichkeiten	Änderung des Reiseverhaltens
Flächennutzung	Verkehrsarme Siedlungsstrukturen	Reduktion der Verkehrsleistung
Energieproduktion	CO ₂ -Energiesteuer	50% der Energie aus Erneuerbaren Energiequellen, Reduktion des CO ₂ -Ausstoßes um 80% bei der konventionellen Energieproduktion
Lärm	Senkung der Lärmgrenzwerte für Verkehrswege und Fahrzeuge, Technik zur Lärmreduktion	Reduktion des Lärmpegels in urbanen Gebieten um 16 – 18%
Flugverkehr	Einführung von Emissionsgrenzwerten, niedrigeren Lärmgrenzwerten	Senkung der Emissionsfaktoren von NO _x um 70% und CO ₂ um 50%

Den einzelnen Maßnahmen werden unterschiedliche Wichtigkeiten zugeordnet. Die Maßnahmen Emissionsgrenzwerte, Mineralölsteuer, Road Pricing und neue Infrastrukturpolitik haben die höchste Bedeutung. Die darauf folgenden Maßnahmen unterstützen die Wirkung der Hauptmaßnahmen oder sie beziehen sich auf Teilprobleme.

(ii) Die Hauptmaßnahmen von EST

Die zentrale Maßnahme zur Erreichung der technischen EST-Ziele ist die Festsetzung von Emissionsgrenzwerten. Als Neuerung werden hier CO₂-bezogene Emissionsgrenzwerte für neuzugelassene Pkw eingeführt (siehe Abbildung 2-1).

³¹ vgl. Umweltbundesamt, IWW (2000), S. 5ff

Abbildung 2-4: Emissionsgrenzwerte für CO₂³²

Die Emissionsgrenzwerte werden nach zehn Jahren schrittweise abgesenkt, bis ein Zielwert von 58 g CO₂/km erreicht ist, der dem angestrebten Verbrauch von 2,5 l/100 km entspricht. In der Anfangsphase sollte der Grenzwert noch in Bezug zum Fahrzeuggewicht stehen, um den Herstellern die Möglichkeiten zu geben, Fahrzeuge verschiedener Größenklassen zu produzieren. Als flankierende Maßnahmen soll die Kfz-Steuer dazu dienen, den Bestand an Altfahrzeugen, deren Emissionswerte noch oberhalb der Grenzwerte liegen, zu reduzieren.

Die Mineralölsteuer gilt als bedeutendste Maßnahme für EST. Die Implementierung dieses Instruments sieht ein Anwachsen der Mineralölsteuer auf 6,59 €/l vor³³. Dieser Anstieg wirkt auf den Kraftstoffverbrauch, die Nachfrage nach kraftstoffsparenden Pkw, den Modal Split, die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs, die Verteilung der Einkaufszentren und die ländliche Zersiedelung ein.

Ein Sinken des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs durch ein verändertes Angebot von Seiten der Industrie und ein verändertes Kaufverhalten bei den Nutzern dämpft die Auswirkungen der Mineralölsteuererhöhung. Bezogen auf die Fahrleistung verdoppelt sich infolgedessen bis zum Jahr 2030 der Kraftstoffpreis.

³² Umweltbundesamt, IWW (2000), S. 7

³³ in Preisen von 1995

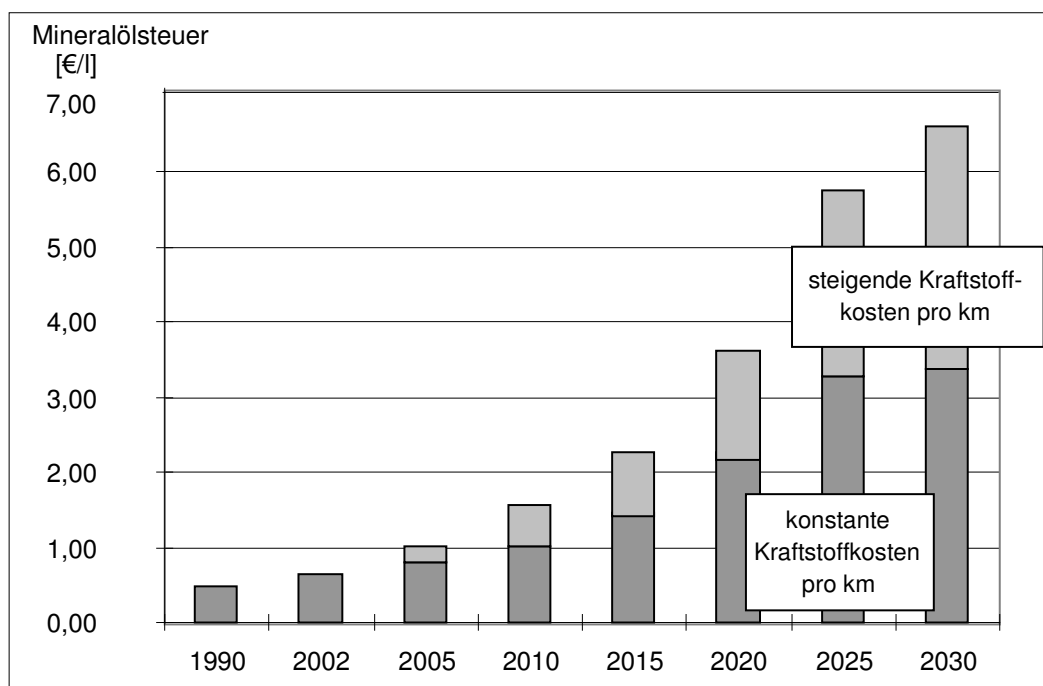


Abbildung 2-5: Mineralölsteuer in EST-80%³⁴

Das Road Pricing soll nach der Einführung von 29 Cent/km schrittweise bis auf 1,44 €/km angehoben werden. Die Einführung des Road Pricings in der Höhe verfolgt verschiedene Ziele:

Zunächst wird durch das Road Pricing der Güterverkehr reduziert, der zu den erhöhten Kosten nicht mehr wirtschaftlich durchgeführt werden kann.

Als zweites dient das Road Pricing dazu, die Infrastrukturkosten verursachergerecht zuzuweisen. Mit dem Road Pricing werden Wettbewerbsvorteile des Straßengüterverkehrs gegenüber dem Schienenverkehr ausgeglichen. Dies hat eine starke Verlagerung von der Straße auf Schiene und Wasserweg zur Folge.

Ein weiteres Ziel besteht darin, die Entwicklung emissionsarmer Fahrzeugtechniken zu fördern und eine steigende Nachfrage nach ihnen zu schaffen.

In der Höhe des Road Pricing ist berücksichtigt, dass Road Pricing auch die Mineralölsteuer für den Güterverkehr ersetzen soll. Die Mineralölsteuer kann im grenzüberschreitenden Güterverkehr leicht umgangen werden. Daher wird der Straßengüterverkehr von der Belastung durch die Mineralölsteuer befreit.

In EST-80% findet eine starke Verlagerung von Straße auf Schiene statt, die mit einer Erhöhung der Verkehrsleistung um 350% auf der Schiene verbunden ist. Dies wirft Fragen nach deren Realisierbarkeit auf.

Anhand von Studien über Kapazitätsreserven der Bahn kann davon ausgegangen werden, dass sich die Kapazitäten mit einfachen Verbesserungen, wie dem Einsatz von Doppeldeckerwaggons, verdoppeln lassen³⁵.

Durch ein Umdenken in der Infrastrukturpolitik würden Ausbaumaßnahmen im Straßennetz gestoppt und die finanziellen Mittel in den Ausbau der Schieneninfrastruktur umgelenkt

³⁴ Umweltbundesamt, IWW (2000), S. 9. Die Preise sind an die neuen Annahmen über die Bevölkerungsentwicklung angeglichen.

³⁵ HaCon (1996)

werden. Nach einer längeren Planungsphase könnte mit dem Ausbau begonnen werden, der zu einer Verdoppelung des gesamten Schienennetzes führen würde.

Durch die Verdoppelung der Kapazitätsreserven und die Verdoppelung des Schienennetzes wird die starke Erhöhung der Verkehrsleistung auf der Schiene ermöglicht.

(b) Politische Maßnahmen für EST-50%

Für EST-50% werden dieselben vier politischen Hauptmaßnahmen verwendet, nur der Grad der Implementierung der Maßnahmen unterscheidet sich. Die anderen, flankierenden Maßnahmen bleiben unverändert. Die Veränderung zwischen EST-80% und EST-50% beträgt im Einzelnen:

Tabelle 2-5: Politische Maßnahmen in EST-50%³⁶

Maßnahme	Ausprägung EST-80%	Ausprägung EST-50%	Ausprägung von EST-50% zu EST- 80%
Emissionsgrenzwerte	Senkung der Emissionsgrenzwerte von 160 auf 58 g CO ₂ /km	Senkung der Emissionsgrenzwerte von 160 auf 90 g CO ₂ /km	70%
Mineralölsteuer	Anstieg der Mineralölsteuer auf 6,59 €/l	Anstieg der Mineralölsteuer auf 3,29 €/l	50%
Road Pricing	Road Pricing steigt auf 1,44 €/km	Road Pricing steigt auf 0,72 €/km	50%
Neue Infrastrukturpolitik	Ausweitung der Schieneninfrastruktur um 100%.	Ausweitung der Schieneninfrastruktur um 70%.	70%

In EST-50% liegen die Emissionsgrenzwerte im Jahr 2030 bei ca. 90 g CO₂/km. Die Mineralölsteuer steigt lediglich bis auf 3,29 €/l statt auf 6,59 €/l wie in EST-80%. Im gleichen Verhältnis wird auch im Road Pricing eine geringere Gebühr erhoben. In EST-50% wird die Schieneninfrastruktur weniger stark ausgebaut.

Insgesamt ist der Unterschied bei dem Verhältnis der Maßnahmen von EST-50% zu EST-80% nicht in allen Fällen gleich. Bei den technisch orientierten Maßnahmen liegt die Ausprägung in EST-50% bei 70% der korrespondierenden Werte von EST-80%. Die preispolitischen Maßnahmen werden noch deutlicher reduziert. Hier liegt der Unterschied zwischen EST-50% und EST-80% bei 50%.

Diese Faktoren sind deshalb wichtig, weil sie ein Indikator dafür sind, dass in EST-50% die Gewichtung zwischen technisch orientierten und preispolitischen Maßnahmen anders gesetzt ist. In EST-50% erhalten die technisch orientierten Maßnahmen ein höheres Gewicht.

2.2.5 Zeitplan der Maßnahmen

Die Maßnahmen teilen sich in Einzelmaßnahmen auf, die ebenfalls in unterschiedliche Abschnitte gegliedert werden können. Für alle Einzelmaßnahmen und deren Abschnitte wurde ein detaillierter Zeitplan erstellt:

³⁶ vgl. Umweltbundesamt (2001), S. 29 u. 31; vgl. Schade et. al. (2002), S. 25ff

Tabelle 2-6: Zeitplan von Maßnahmen von EST-80%³⁷

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	
CO2 Grenzwerte für Kfz	Vorber.	1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe	4. Stufe	5. Stufe	6. Stufe	
Mineralölsteuer	Vorber.	1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe	4. Stufe	5. Stufe	6. Stufe	
fahrstreckenbez. Schwerverkehrsabgabe	Vorber.	1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe	4. Stufe	5. Stufe	6. Stufe	
Verkehrsberuhigung in Städten								
Tempo 30 innerorts		sofortige Umsetzung, Wirkungseintritt praktisch ohne Verzögerung						
Parkraumbewirtschaftung		Bek.äm.ill. Park.	Beginn Umsetzung					
Ausweit. der Flächen für Fuß-/Radverkehr, ÖPNV		Plan.	Beginn Umsetzung					
Fahrverbote für Kfz		Plan.	Beginn Umsetzung					
ÖPNV								
Vorrang für Busse u. Straßenbahnen		sofortige Umsetzung, Wirkungseintritt praktisch ohne Verzögerung						
verbesserte Informationssysteme	Vorber.	Umsetzung						
höhere Taktfrequenz, Ausweitung d. Netzes		Planung	Umsetzung 1. Stufe		Umsetzung 2. Stufe			
Mobilitätsmanagementzentralen	Vorber.	Umsetzung						
Bahnverkehr								
Ausbau des Streckennetzes	Planung		Umsetzung 1. Stufe		Umsetzung 2. Stufe			
verbessertes Kombiverkehr Schiene/Straße		Vorbereitung	Umsetzung 1. Stufe	Umsetzung 2. Stufe				
internat. Harmonis. bei Technik u. Vorschriften		Vorbereitung	Umsetzung 1. Stufe	Umsetzung 2. Stufe				
Ausweitung des Wettbewerbs	Vorber.	Beginn Umsetzung						
Verbesserungen bei Service u. Logistik	Vorber.	Umsetzung						
Regionale Wirtschaftsstrukturen								
Reform der regionalen Wirtschaftsförderung		Vorbereitung	Umsetzung					
Förderung regionaler Märkte		Vorbereitung	Umsetzung					
Regionaler Tourismus								
Förderung der Vermarktung		Beginn Umsetzung						
verbessertes Naturschutz	Vorber.	Beginn Umsetzung						
Flächennutzung								
Abgaben auf Flächeninanspruchnahme		Vorber.	Beginn Umsetzung					
Planung verkehrsarmer Strukturen		Umsetzung						
verbesserte Kooperation der Planungsämter		Vorber.	Umsetzung					
Reform der Bauordnungen	Vorber.	Umsetzung						
Besteuerung von Parkraum		Vorber.	Umsetzung					
Reform der Wohnungsbauförderung		Vorber.	Umsetzung					
Förderung der Stadterneuerung		Umsetzung						
Energieversorgung								
Reform der Energiegesetze	Vorber.	Umsetzung						
Förderung von Energiespartechniken	Vorber.	Umsetzung						
CO2- / Energiesteuer	1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe	4. Stufe	5. Stufe	6. Stufe		
Lärmmission								
Grenzwerte für die Lärmbelastung an Straßen	1. Stufe	2. Stufe						
Lärmgrenzwerte für Schienenfahrzeuge	Vorber.	1. Stufe	2. Stufe					
Lärmgrenzwerte für Kfz	Vorber.	1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe	4. Stufe			
Lärmgrenzwerte für Reifen	Vorber.	2. Stufe	2. Stufe					
Lärmgrenzwerte für Straßenoberflächen	Vorber.	Umsetzung						
Flugverkehr								
Emissionsgrenzwerte für NOx und CO2	Vorber.	1. Stufe	2. Stufe					
emissionsbezogene Abgaben	Vorber.	Umsetzung						
Besteuerung von Kerosin	Vorber.	1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe	4. Stufe	5. Stufe	6. Stufe	
Optimierung des Luftverkehrsmanagements	Vorber.	1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe	4. Stufe			
handelbare CO2-Emissionszertifikate				Vorber.	1. Stufe	2. Stufe		
		erste Auswirkungen			Wirkung vollständig realisiert			

³⁷ Umweltbundesamt, IWW (2000), S. 32

2.2.6 Abschätzung der Wirkungen

Im nächsten Schritt wurde eine Grobabschätzung der Wirkung der Maßnahmen vorgenommen. Wirkungen werden in Technik- und Verhaltensänderungen aufgeteilt. Für die technischen Änderungen lassen sich die Wirkungen verhältnismäßig einfach bestimmen. So ergeben sich Wirkungen bei Emissionsfaktoren und Lärm aus der Maßnahme selbst (siehe Tabelle 2-7).

Schwieriger gestaltet sich die Wirkungsabschätzung bei Maßnahmen, die das Verhalten der Verkehrsteilnehmer ändern. In der nachfolgenden Tabelle 2-7 findet man den Beitrag der Maßnahmen zur Verhaltensänderung im Straßenverkehr in Prozent.

Tabelle 2-7: Wirkung der Maßnahmen auf das Verhalten³⁸

Maßnahme		Wirkung (in % der gesamten CO ₂ -Reduktion)							
		Pkw außerorts		Pkw innerorts		Lkw außerorts		Lkw innerorts	
		EST-80%	EST-50%	EST-80%	EST-50%	EST-80%	EST-50%	EST-80%	EST-50%
Verhalten	Senkung der Emissionsgrenzwerte	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mineralölsteuer	-50	-25	-50	-25	--- ³⁹		-25	-13
	Road Pricing	---	---	---	---	-50	-25	---	---
	Neue Infrastrukturpolitik	-3	-2	0	0	-10	-7	0	0
	Verkehrsbeschränkung in Städten	---	---	-8	-8	---	---	-5	-5
	Verbesserung des Öffentlichen Verkehrs	0	0	-3	-3	---	---	---	---
	Verbesserung des Eisenbahnangebots	---	---	---	---	-3	-3	0	0
	Regionale Wirtschaftsstruktur	---	---	---	---	-5	-5	0	0
	Lokaler/ Regionaler Tourismus	-2	-2	0	0	---	---	---	---
	Flächennutzung	-15	-15	-10	-10	-15	-15	-15	-15
	Gesamtwirkung Verhalten	-70	-44	-71	-46	-83	-55	-45	-33
	Gesamtwirkung Technik		-30	-56	-29	-54	-17	-45	-55
Gesamtwirkung (Verhalten + Technik)		-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100

³⁸ vgl. Schade et. al. (2002), S. 26

³⁹ Mineralölsteuer wird durch Road Pricing ausgeglichen.

Die prozentualen Angaben in Tabelle 2-7 bezeichnen den Anteil der Wirkung einer Maßnahme an der Gesamtreduktion von CO₂. Für Pkw außerorts trägt die Erhöhung der Mineralölsteuer zur Hälfte der gesamten CO₂-Reduktionen bei. Die anderen Maßnahmen wie neue Infrastrukturpolitik führen zu weiteren 20% der gesamten CO₂-Reduktion, so dass aus Verhaltensänderungen insgesamt 70% der gesamten CO₂-Reduktion resultiert. Die fehlenden 30% werden den technischen Änderungen zugeordnet.

Für EST-50% verschieben sich die Anteile zugunsten technischer Änderungen. Hier tragen Verhaltensänderungen für Pkw außerorts nur noch 44% bei, während die Wirkung der technischen Änderung bei 56% der gesamten CO₂-Änderung liegt.

Die Annahmen über die Wirkungen der Maßnahmen auf das Verkehrsverhalten beruhen zumeist auf Expertenschätzungen. So finden sich in der Literatur keine exakten Abschätzungen über Wirkungen einer geänderten Flächennutzung auf Verhaltensweisen.

Die Wirkung einer Erhöhung der Mineralölsteuer wird in Anlehnung an Elastizitäten bestimmt.

Storchmann ermittelt zwischen Kraftstoffpreis und Fahrleistung je Pkw eine Elastizität von -0.43 ⁴⁰. Teilweise werden in der Literatur auch deutlich niedrigere Elastizitäten angegeben⁴¹.

Bei der Anwendung von Elastizitäten muss berücksichtigt werden, dass Elastizitäten im allgemeinen auf der Basis kleiner Veränderungen geschätzt werden. Nimmt man, wie in diesen Szenarien, drastische Preisänderungen an, werden die Reaktionen möglicherweise überschätzt⁴². Daher werden die genannten Elastizitäten als Obergrenze angesehen.

Aus diesen Faktoren ergibt sich, dass die starke Erhöhung der Kraftstoffpreise, welche durch Reduktion des spezifischen Kraftstoffverbrauchs gedämpft wird, zu einer Reduktion der Fahrleistungen um 50% führt.

2.3 Zusammenfassung

Die Aufgabe des Modells, das Inhalt der vorliegenden Dissertation ist, besteht in der Bewertung der Szenarien des EST-Projekts der OECD. Das EST-Projekt wurde initiiert, um Wege zu finden, die zu nachhaltigem Verkehr führen. Als zentrales Kriterium für nachhaltigen Verkehr kristallisiert sich CO₂ heraus. Die Emissionen von CO₂ müssten vom heutigen Standpunkt drastisch gesenkt werden, damit die Nachhaltigkeitsziele erreicht werden.

Um sich ein genaues Bild vom nachhaltigen Verkehr zu machen und ihn bewerten zu können, wurden verschiedene Szenarien entwickelt. Als erstes wurde ein BAU-Szenario unter der Annahme entworfen, dass im Verkehrsbereich keine signifikanten politischen und keine größeren technologischen Änderungen stattfinden werden. Das EST-80%-Szenario hingegen stellt einen wünschenswerten Zustand dar und beschreibt einen Pfad zum nachhaltigen Verkehr mit einer Reduktion von CO₂ um 80% bis zum Jahr 2030. Von diesem Szenario abgeleitet, jedoch mit abgeschwächten Umweltzielen, wird noch das EST-50%-Szenario betrachtet, welches ein CO₂-Reduktionsziel von 50% bis zum Jahr 2030 hat.

⁴⁰ vgl. Storchmann(1993), S. 372. Die Berechnung berücksichtigt Reduktionen des spezifischen Verbrauchs. Die Elastizität zwischen Kraftstoffpreis und spezifischem Kraftstoffverbrauch liegt bei $-0,29$.

⁴¹ Nach Johansson (Johansson, Schipper (1997), S. 290) liegen die Elastizitäten von Kraftstoffpreis und Fahrleistung je Pkw zwischen $-0,05$ und $-0,35$. Übersichten über Elastizitäten sind zu finden in Oum (1992) oder Litman (1998). Studien über Kreuz- und Eigenelastizitäten im innerstädtischen Verkehr liefert Wardman (1997a, 1997b).

⁴² vgl. Stiglitz (1999), S. 115f

Für BAU und EST-80% wurden detaillierte Szenarien erstellt, welche unter anderem die Bereiche Bevölkerung, Personenverkehr, Güterverkehr und Umwelt berücksichtigen. Die Szenarien umfassen im Verkehr weitreichende technische Änderung, wie z.B. drastische Senkung der spezifischen Emissionen von Fahrzeugen, aber auch Verhaltensänderung, wie z.B. eine starke Verlagerung von der Straße und Luft auf Schiene und Wasserweg.

Mit Hilfe eines Backcasting-Ansatz wurden politische Maßnahmenbündel aufgestellt, die das Erreichen der Verkehrs- und Umweltziele ermöglichen. Zu den technisch orientierten politischen Instrumenten gehören eine starke Herabsetzung der Emissionsgrenzwerte bezogen auf die CO₂ Emission und ein Umdenken bei der Infrastrukturpolitik hin zu einer Ausweitung des Schienennetzes. Zu den preispolitischen Maßnahmen zählen die Mineralölsteuer und das Road Pricing, mit deren Hilfe gravierende Verhaltensänderungen bewirkt werden sollen.

Aufbauend auf diesen detailliert entwickelten Szenarien soll im nächsten Schritt eine Methode ausgewählt werden, mit der man ein Modell der Szenarien entwickeln und verschiedene Politiken bewerten kann. Die Methode muss es ermöglichen, den langen Zeithorizont der Szenarien und die Vernetztheit verschiedener Teilbereiche zu berücksichtigen.

3 System Dynamics

„Ein Spezialwissen fördert das Urteilsvermögen nicht unmittelbar. Die Konzentration auf bestimmte Details kann im Gegenteil sogar ein ausgewogenes Urteil behindern.“ P. Dürr¹

3.1 Einleitung

Die Wahl einer Untersuchungsmethode hängt hauptsächlich von zwei Faktoren ab: Von dem Ziel der Untersuchung und von den Eigenschaften des zu untersuchenden Objekts².

Untersucht werden soll, wie ein gewünschter Zustand im Verkehrs- und Umweltbereich langfristig erreicht werden kann. Zu diesem Zweck müssen vor allem auch makroökonomische Aspekte berücksichtigt werden. Der Untersuchungsgegenstand zeichnet sich durch ausgeprägte Interdisziplinarität, einen langen Zeithorizont und hohe Komplexität aus. Da System Dynamics insbesondere zur Bearbeitung komplexer Probleme entwickelt wurde, liegt es nahe, System Dynamics als Untersuchungsmethode zu verwenden. Die Beschreibung von System Dynamics ist daher ein notwendiger und wichtiger Teil der vorliegenden Arbeit.

In diesem Kapitel werden zunächst die eng miteinander verknüpften Begriffe Systemtheorie und System Dynamics erläutert. Im nächsten Kapitel wird dann System Dynamics mit anderen Methoden verglichen und das darauf folgende Kapitel widmet sich volkswirtschaftlichen Anwendungen von System Dynamics.

3.2 Systemtheorie und Kybernetik

3.2.1 Historie

Die Wissenschaften der Kybernetik und der Systemtheorie entwickelten sich nach dem Zweiten Weltkrieg aus dem Wunsch heraus, immer komplexer werdenden Problemen mit ganzheitlichen Lösungsansätzen zu begegnen. Unter Kybernetik versteht man die Theorie der dynamischen Systeme, die Systemtheorie betont dagegen strukturelle Aspekte eines Systems³.

Ziel dieser Wissenschaftsrichtung war es, sich mit Systemen zu befassen und den Einzelwissenschaften allgemeine Vorgehensweisen und Methoden zur Verfügung zu stellen, die auf verschiedene Systeme angewendet werden können⁴. Die erste Ausformulierung der kybernetischen Systemtheorie erfolgte durch Norbert Wiener⁵. Die Systemtheorie erhielt zunächst Einzug in die Natur- und Ingenieurwissenschaften, vor allem in Biologie und Medizin. Durch die Regelungstechnik findet die Kybernetik ihre Anwendung in der Produktionstechnik und in der Automatisierung. Erst später folgten systemtheoretische Überlegungen in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften⁶.

Mit System Dynamics wurde dann ein Konzept geschaffen, welches die operative Umsetzung der Systemtheorie ermöglicht⁷. Insofern kann System Dynamics als inzwischen eigenständiger Teilbereich der Systemtheorie angesehen werden.

¹ vgl. Vester (1980), S. 294

² vgl. Milling (1972), S. 55

³ vgl. Buteweg (1988), S. 11

⁴ vgl. von Bertalanffy (1968), S. 30ff

⁵ Wiener (1948)

⁶ vgl. Ulrich, Probst (1988), S. 19f

⁷ Forrester (1961); Forrester (1972)

3.2.2 Grundgedanken der Systemtheorie

Inhaltlich grenzt sich die Systemtheorie vor allem vom analytischen, mechanistischen Ansatz ab (Abbildung 3-1). Im mechanistischen Ansatz wird eine Problemlösung isoliert von Abläufen in anderen Disziplinen gesucht. Man betrachtet nicht das Ganze, sondern untersucht detailliert die Einzelteile. Dabei wird ein Problem von der Komplexität und Unüberschaubarkeit befreit und man kommt zu einfachen, klaren, verlässlichen Aussagen. Nachteilig wirkt sich bei diesem Ansatz aus, dass die Auflösung des Ganzen in kleinere Einheiten (Einzelteile) mit Erkenntnisverlust verbunden ist. Insofern eignet sich der mechanistische Ansatz für klar abzugrenzende Fragestellungen, in denen Wechselwirkungen zwischen Elementen der betrachteten Einheit und Elementen anderer Einheiten vernachlässigbar sind.

In der Systemtheorie wird generell der Blick auf das Verhalten eines Systems als Ganzes gelenkt und die Wechselwirkungen verschiedener Einheiten berücksichtigt⁸.

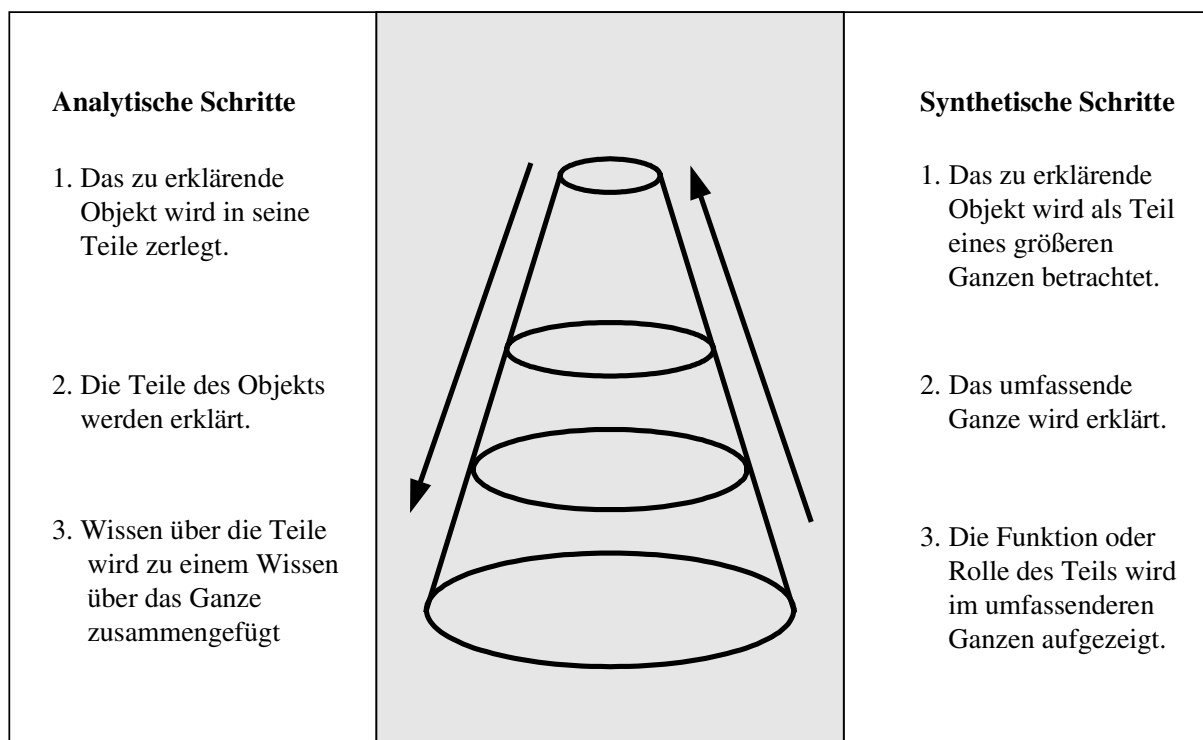


Abbildung 3-1: Analytische Schritte und synthetische Schritte⁹

Die Systemtheorie bemüht sich um eine ganzheitliche Sichtweise, ohne die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Einflussgrößen zu zerreißen. Grundannahme der Systemtheorie ist nämlich, dass die Eigenschaften eines Systems sich nicht aus den Eigenschaften der isolierten Einheiten, sondern aus Beziehungen der Einheiten untereinander und zum Ganzen ergeben. Deswegen ist es erforderlich, immer die wesentlichen Beziehungen der Einheiten eines Systems im Auge zu behalten.

Aus den Unterschieden zwischen den beiden Ansätzen ergibt sich, dass der analytische, mechanistische Ansatz Vorteile bei solchen Problemstellungen bietet, die sich in einzelne Problembereiche aufteilen lassen und innerhalb einer Disziplin zu bearbeiten sind. Diese Art von Problemen kann durchaus kompliziert aufgebaut sein und eine große Detailkenntnis verlangen.

⁸ vgl. Niemeyer (1977), S. 1

⁹ Ulrich, Probst (1988), S. 34

Folgende Übersicht (Tabelle 3-1) zeigt die Unterschiede zwischen den verschiedenen Ansätzen in tabellarischer Form:

Tabelle 3-1: Vergleich Analytischer Ansatz und Systemansatz¹⁰

Analytischer Ansatz	Systemansatz
Isolierende Betrachtungsweise	Verbindende Betrachtungsweise
Konzentration auf einzelne Elemente	Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen den Elementen
Untersuchungen der Art der Wechselwirkungen	Ergebnisse der Wechselwirkungen
Genaueste Detailbetrachtung	Globale Betrachtungsweise
Jeweilige Detailbetrachtung (ceteribus-paribus-Untersuchung)	Modifizierung von Gruppen aus mehreren Variablen
Betrachtete Erscheinungen sind unabhängig ihrer Dauer reversibel	Integration von Dauer und Irreversibilität
Aufbauend auf einer Theorie werden Experimente durchgeführt und ausgewertet	Die Bewertung der Ergebnisse resultiert aus dem funktionellen Vergleich des Modells mit der Realität
Präzise und detaillierte, aber nur mit großen Schwierigkeiten für Aktionen nutzbare Modelle wie ökonomische Modelle	Modelle, die als Wissensgrundlagen nicht ausreichend sind, aber nutzbar für Entscheidungen und Aktionen sind
Wirksamer Ansatz so lange die Wechselwirkungen linearer Art oder schwach sind	Nutzbarer Ansatz bei nichtlinearen und starken Wechselwirkungen
Innerhalb von Einzeldisziplinen fassbar	Interdisziplinär
Führt zu detaillierten, festgelegten Handlungen	Führt zu zielgerichteten Handlungen
Detaillkenntnisse mit schlecht definierten Zielen	Kenntnisse der Ziele bei unbestimmten Details

Im Gegensatz dazu eignen sich systemtheoretische Ansätze für komplexe Problemstellungen. Bezüglich der Komplexität von Systemen muss man bedenken, dass Komplexität und Kompliziertheit, obwohl sie umgangssprachlich oft als Synonyme verstanden werden, unterschiedlich sind (Abbildung 3-2). Kompliziertheit bezeichnet ein System, welches aus einer hohen Anzahl verschiedener Elemente besteht, die statisch miteinander verbunden sind und sich im Zeitverlauf nicht ändern, wie z. B. ein Auto. Die Funktionsweise eines Autos und seiner Einzelteile ist mit entsprechendem Aufwand vorhersehbar und prognostizierbar.

Komplexe Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sich der Zustand und die Beziehungen zwischen den Elementen permanent ändern können, wie z. B. Verkehrsströme, die sich zunächst durch den Bau einer Brücke verlagern, während sich auf längere Sicht wiederum die Siedlungsweise der Bevölkerung ändert, was neue Einflüsse auf die Verkehrsströme bewirkt. Die Variablen eines komplexen Systems können wechselseitig ihren Zustand und ihren Einfluss auf andere Variablen ändern.

¹⁰ vgl. de Rosnay (1979), S. 95f

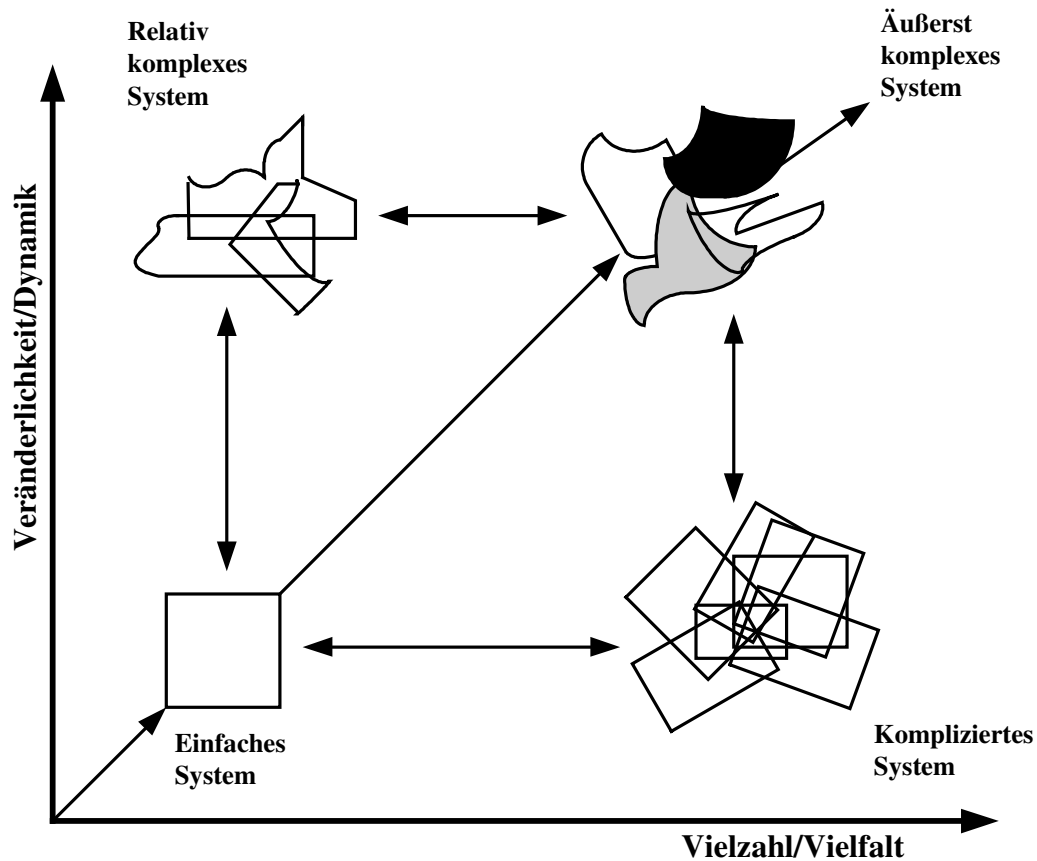


Abbildung 3-2: Unterschied zwischen Kompliziertheit und Komplexität¹¹

Ziel des systemtheoretischen Ansatzes ist es, Fehler die beim Umgang mit komplexen Systemen immer wieder auftauchen, zu vermeiden. Komplexe Systeme verlaufen gegen unsere Intuition, was Fehler zur Folge hat¹². Zu diesem Ergebnis kommt ebenfalls eine Untersuchung unter Studenten, die Kenntnis von systemtheoretischen Grundprinzipien hatten. Trotz dieses Wissens konnten sie Entwicklungen von Systemvariablen intuitiv schlecht erfassen¹³. Neben der Intuitionswidrigkeit zeigen sich als Hauptprobleme die Vernachlässigung von Nebenwirkungen, die schwere Abschätzbarkeit exponentieller Prozesse und die fehlerhafte Dosierung von Maßnahmen¹⁴.

Das Arbeiten mit Systemen soll durch die Systemtheorie erleichtert werden. Deshalb liefert die Systemtheorie zum einen Systembegriffe und Definitionen, die das Beschreiben und Verstehen von System ermöglichen, und zum Anderen stellen sie Vorgehensweisen und Methoden zur Verfügung, die sich auf verschiedene Systeme anwenden lassen.

¹¹ Ulrich, Probst (1988), S.61

¹² vgl. Forrester (1969), S. 70

¹³ vgl. Sterman (2002), S. 506ff

¹⁴ vgl. Dörner (2001), S. 51 u. 54 u. 271ff

Ein Übersicht über systemtheoretische Begriffe und Definitionen zeigt folgende Tabelle 3-2:

Tabelle 3-2: Systembegriffe¹⁵

Systembegriffe	Definition
System	Menge von Komponenten, die durch Interaktionsbeziehungen und Kombinationsbeziehungen untereinander verbunden sind
Komponenten	Teilsysteme oder Elemente des definierten Systems
Teilsysteme	Bestehen wiederum aus Elementen oder Komponenten
Elemente	Unteilbare Bestandteile eines Systems
Wirkpotenziale	Wirkungen, die von Komponenten und Elementen ausgehen („potentielle Energie“)
Aktivitäten	Veränderungen der Wirkpotenziale („kinetische Energie“)
Interaktionsbeziehungen	Einfluss von Komponenten auf Wirkpotenziale und auf Interaktionsbeziehungen anderer Komponenten
Kombinationsbeziehungen	Zusammensetzung eines Wirkpotenzials aus Wirkpotenzialen anderer Komponenten
Zustand eines Systems	Menge aller Wirkpotenziale zu einem bestimmten Zeitpunkt
Struktur	Menge aller Interaktions- und Kombinationsbeziehungen zu einem Zeitpunkt
Dynamik	Zustand und Struktur innerhalb eines Zeitraums
Kopplung	Interaktionsbeziehung zweier oder mehrerer Komponenten
Rückkopplung	Hier wirkt der Einfluss einer Komponente über Interaktionsbeziehungen mit anderen Komponenten wieder zurück auf die ursprünglich einflussgebende Komponente
Regelung	Erfassung eines Zustandes und Erreichung bzw. Stabilisierung eines gewünschten Zustandes
Modell	Systeme, die andere Systeme so darstellen, dass eine experimentelle Manipulation der abgebildeten Strukturen und Zustände möglich ist

Als Schlüsselbegriffe tauchen hier System, Elemente und Beziehungen auf. System wird verstanden als eine Menge von Elementen, die in einem Zusammenhang zueinander stehen. Die Elemente (auch Teilsysteme oder Komponenten) eines Systems sind durch Beziehungen miteinander verbunden.

Beziehungen von Elementen können

- einseitig sein (Interaktionsbeziehung),
- wechselseitig sein (Kopplung),
- nur im Verbund mit anderen Elementen wirken (Kombinationsbeziehung)
- oder über andere Elemente einen Einfluss auf sich selbst haben (Rückkopplung).

Mit Hilfe von Elementen und verschiedenen Arten von Beziehungen lassen sich Modelle entwerfen, die reale Objekte darstellen.

3.3 System Dynamics

3.3.1 Historie

Die Ansätze und Grundgedanken der Systemtheorie liefern den theoretischen Hintergrund für System Dynamics, dessen Schwerpunkt im Erstellen von quantitativen und qualitativen Modellen besteht¹⁶. System Dynamics wird als eine Methode zur Darstellung und Simulation

¹⁵ vgl. Niemeyer (1977), S. 2f

¹⁶ vgl. Ossimitz (1995), S. 1

sozioökonomischer und technischer Systeme auf der Basis eines systemtheoretischen und kybernetischen Modellansatzes angesehen¹⁷. Während innerhalb der Systemtheorie das Hauptanliegen auf der strukturellen Analyse von Systemen im Vordergrund steht, findet in System Dynamics eine Verlagerung zugunsten dynamischer und komplexer Systeme statt.

Die Grundideen von System Dynamics gehen auf Forrester¹⁸ zurück, der zunächst System Dynamics – damals veröffentlicht unter dem Begriff Industrial Dynamics – auf die Simulation von Ablauf- und Entscheidungsstrukturen in Unternehmen anwendete. Darin wurden aus der Steuerungs- und Regelungstechnik bekannte Prinzipien auf wirtschaftswissenschaftliche Problemstellungen angepasst¹⁹. Spätere Modellierungen beschäftigten sich mit der Darstellung städtischer Entwicklungen²⁰.

Größere Bekanntheit und Erweiterung der Methodik erreichte dieses Konzept durch die Entwicklung komplizierterer Simulationsmodelle²¹. Einer breiten Öffentlichkeit bekannt wurde System Dynamics mit der Simulation eines Weltmodells durch den Club of Rome. Ziel dieses Modells war, die Menschheitsentwicklung abzubilden und auf Gefahren durch Bevölkerungsentwicklung, Ressourcenverbrauch und Umweltverschmutzung aufmerksam zu machen²². Der Bericht des Club of Rome führte zu weltweiten Diskussionen und wurde zum Teil heftig kritisiert²³. Einen positiven Beitrag leistete die Veröffentlichung - neben der Steigerung des Bekanntheitsgrades - auf die weiteren Entwicklungen, die man unter dem Begriff ‚Sustainable Development‘ zusammenfassen kann²⁴.

3.3.2 Theoretische Grundlagen

System Dynamics hat vier theoretische Grundlagen²⁵:

- die Informations-Rückkopplungs-Theorie,
- die Entscheidungstheorie,
- mentale Problemlösungsprozesse und
- die experimentelle Computersimulation.

Die Informations-Rückkopplungs-Theorie geht davon aus, dass das Verhalten eines komplexen Systems in erster Linie von Rückkopplungen zwischen einzelnen Elementen des Systems bestimmt wird. Eine Rückkopplung existiert immer dann, wenn ein Systemelement Auswirkungen auf ein anderes oder mehrere andere Systemelemente hat, und diese wiederum einen Einfluss auf das sich ursprünglich ändernde Systemelement haben. Einfache Rückkopplungen wie in einem Thermostaten führen dazu, dass ein Systemzustand permanent überwacht wird. Bei einer Abweichung vom gewünschten Zustand wird eine Änderung des Systemelements Temperatur herbeigeführt, was wiederum den Thermostaten eine andere Temperatur messen lässt.

Als weitere Basis für System Dynamics dient die Entscheidungstheorie, die sich aus der Forschung zur Planung von Militärstrategien entwickelte. Die immer komplexer werdende Kriegsführung macht es notwendig, Instrumentarien zu schaffen, die sich nicht nur für

¹⁷ vgl. Niemeyer (1977), S. 217

¹⁸ Forrester (1968)

¹⁹ Forrester (1961)

²⁰ Forrester (1969)

²¹ Forrester (1961); Forrester (1969); Meadows et al. (1972)

²² Meadows et al. (1972)

²³ Freeman, Jahoda (1973); Hohensee (2002)

²⁴ vgl. Kuchenbecker (2000), S. 54. Zum Begriff ‚Sustainable Development‘ siehe auch Pearce (1990, 1993).

²⁵ vgl. Milling (1972), S. 58

taktische, kurzfristige Operationen eignen. Gesucht wurde nach Methoden, mit der sich langfristige Strategien entwickeln und testen lassen. Im Kern ermöglicht es die Entscheidungstheorie, Entscheidungsprozesse zu beschreiben und mathematisch zu formulieren. Dadurch kann Elementen eines Systems in Abhängigkeit vom Zustand ihrer Systemumgebung ein vorhersehbares Reaktionsmuster zugeordnet werden. Innerhalb eines Systems können Elemente mit exakt definierten Verhaltensweisen und eigenen Strategien definiert werden. Dies ermöglicht erst die Simulation eines Systems und die Bewertung einer Strategie über einen kompletten Simulationsablauf.

Eine subjektive Komponente von System Dynamics spiegelt sich in den mentalen Problemlösungsprozessen wider. Darunter versteht man, dass menschliche Fähigkeiten und Eigenschaften wie Kreativität und Fantasie durchaus Eingang in die Erstellung eines System Dynamics Modell finden kann. Ein Fundament der Systemtheorie ist, die wesentlichen Elemente eines Systems immer als Ganzes im Auge zu behalten. Dies beinhaltet zum Beispiel auch „weiche“ Faktoren oder Systemelemente, die nicht oder nur schwer messbar sind. Das Weglassen weicher Faktoren ist gleichzusetzen mit der Annahme, weiche Faktoren hätten den Einfluss Null. Deshalb empfiehlt Meadows, weiche Faktoren notfalls grob geschätzt in einem Modell zu berücksichtigen²⁶. Die Berücksichtigung von Expertenschätzungen und Wirkungsbeziehungen, die noch nicht wissenschaftlich fundiert sind, fallen ebenfalls unter die mentalen Problemlösungsprozesse. Problematisch an dieser Komponente ist, dass subjektive Einschätzungen in das Modell mit einfließen und dadurch einen Vergleich mit anderen Modellen erschweren.

Als vierte Grundlage von System Dynamics dient die Computersimulation. Die Entwicklung von immer leistungsfähigeren Computern ermöglicht es, komplexe System Dynamics Modelle abzubilden und auch nicht-lineare mathematische Beziehungen zwischen den Elementen zu verarbeiten. Selbst bei Modellen mit mehreren hunderttausend Gleichungen lassen sich mit geringem Zeitaufwand Simulationsläufe berechnen.

3.3.3 Vorgehensweise bei der Modellierung

Für das Entwerfen von System Dynamics Modellen sind eine Reihe von Vorgehensweisen entworfen worden, die sich in ihrer grundsätzlichen Struktur sehr ähneln²⁷. In Anlehnung an Bossel empfiehlt sich das Entwerfen von System Dynamics Modellen in 5 Phasen, in denen verschiedene Aufgaben bearbeitet werden (Tabelle 3-2):

²⁶ vgl. Forrester (1961), S. 57; Meadows, Robinson (1985), S. 80f

²⁷ vgl. Bossel (1994), S. 40ff; vgl. Sterman (2000), S. 79ff

Tabelle 3-3: Vorgehensweise bei der Modellierung²⁸

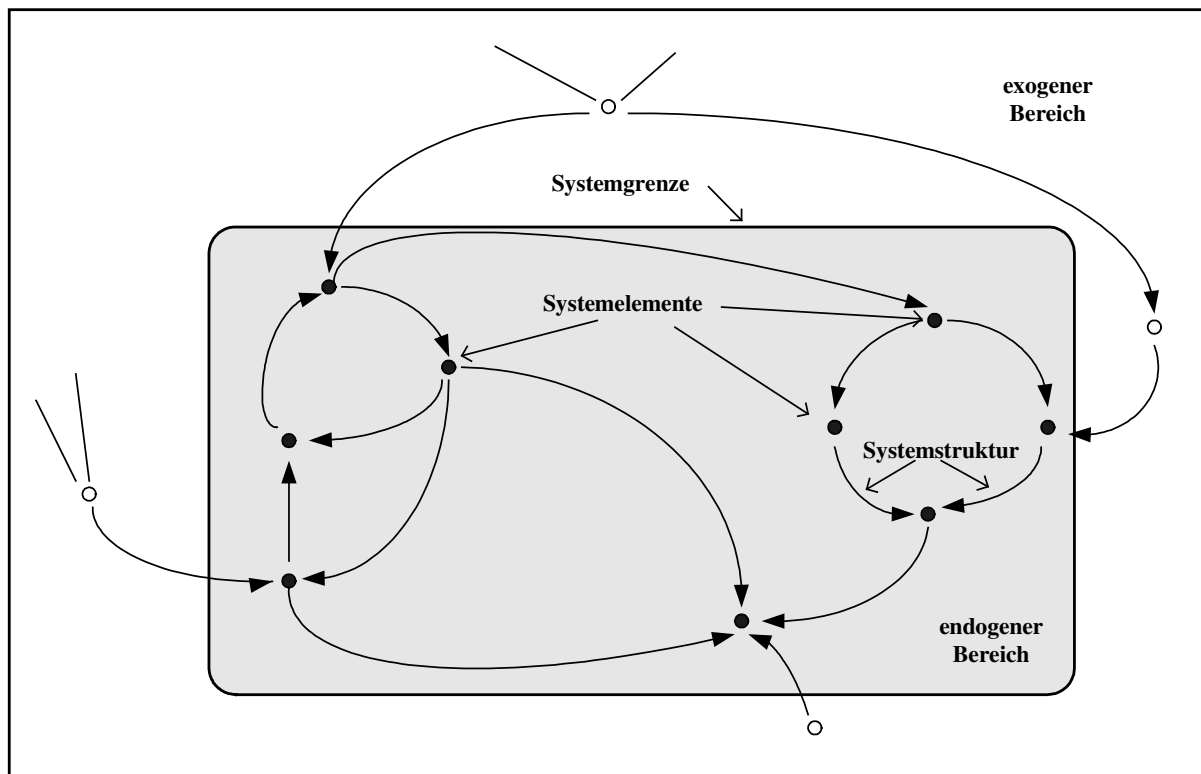
Phasen der Modellierung	Aufgaben innerhalb einer Phase
Problemspezifikation	Thema eingrenzen
	Zeithorizont festlegen
	Schlüsselvariablen definieren
	Vergangenheitsentwicklung der Schlüsselvariablen betrachten
Qualitativer Entwurf des Modells	Basisannahmen festlegen
	Wesentliche Variablen endogenisieren
	Graphische Darstellung entwerfen: Systemgrenzen festlegen
	Gesamtsystem in Untersysteme einteilen
	Rückkopplungen identifizieren
Erstellung des System Dynamics Modells	Struktur und Entscheidungsregeln festlegen
	Zustandsvariablen bestimmen
	Modell mit Zustands-, Fluss- und Hilfsvariablen entwerfen
	Wirkungsbeziehungen, Flussgleichungen und Startwerte bestimmen
	Parameter schätzen, Modell an Vergangenheitswerten kalibrieren
	Systemgrenzen prüfen
Analyse des Modells (Validierung)	Verhältnis von Modell zu Systemzweck prüfen
	Robustheit des Modells unter extremen Randbedingungen testen
	Sensitivitätsanalysen durchführen
	sonstige Tests, z. B. konventionelle Ansätze, erstellen
Politikentwürfe und -bewertung	Rahmenbedingungen für verschiedene Szenarien bestimmen
	Einfluss von Politiken auf Struktur abschätzen
	Evt. neue Entscheidungsregeln, Strategien und Strukturen entwickeln
	„Was wäre, wenn...“ – Analysen durchführen
	Mit Sensitivitätsanalysen Politiken bewerten
	Gesamtwirkung von mehreren einzelnen Politiken betrachten

(a) Problemspezifikation

In der ersten Phase muss das Thema spezifiziert werden. Diese Aufgabe umfasst die Festlegung eines bestimmten Modellzwecks²⁹. Auf der Basis dieses Modellzwecks werden dann der Zeithorizont und die Systemgrenzen festgelegt. Die Systemgrenze trennt den endogenen vom exogenen Bereich.

²⁸ vgl. Bossel (1994), S. 40ff

²⁹ vgl. Niemeyer (1977), S. 61

Abbildung 3-3: Systemgrenze³⁰

Wichtig bei der Festlegung der Systemgrenzen ist, dass die Variablen, welche für die Erklärung des Systemverhaltens notwendig sind, sich innerhalb der Systemgrenzen befinden³¹. Sie stellen die Schlüsselvariablen dar und müssen deshalb endogenisiert werden, damit das zu erstellende Modell bezüglich der Fragestellung einen hohen Erklärungsgehalt besitzt.

Gleichzeitig soll immer versucht werden, das Modell möglichst klein und die Anzahl der Variablen gering zu halten. Forrester schlägt vor, sich die Frage zu stellen, ob das Systemverhalten sich ändern würde, wenn man eine Variable wegließe. Wenn dies nicht der Fall sei, solle man die Variable weglassen³².

Bossel orientiert sich beim Aufstellen von Systemgrenzen daran, ob und wie stark Variablen an das System gekoppelt sind. Er empfiehlt die Festlegung der Systemgrenzen nach folgenden Kriterien:

- Die Kopplung zwischen System und Variablen des exogenen Bereichs sind sehr viel schwächer, als die Kopplung innerhalb des Systems.
- Die Kopplung zum exogenen Bereich ist nicht für die Funktion des System bedeutsam.
- Der Einfluss des exogenen Bereichs wird nicht durch das System beeinflusst und ist auch nicht mit dem System in irgendeiner Weise gekoppelt³³.

Die Systemgrenzen werden in den folgenden Phasen noch einmal geprüft und können sich durchaus in einem iterativen Prozess verändern.

³⁰ vgl. Rothengatter et al. (2004), S. 73

³¹ vgl. Forrester (1972), S. 89

³² vgl. Forrester (1968), S. 84

³³ vgl. Bossel (1994), S. 18; Kuchenbecker (2000), S. 58

(b) Qualitativer Entwurf des Modells

Die Struktur lässt sich durch einen Wirkungsgraphen abbilden und analysieren. Nach der System Dynamics Philosophie wird ein großer Teil des Systemverhaltens von seiner Struktur bestimmt. Deshalb legt die Systemanalyse mehr Gewicht auf Beziehungen zwischen den Elementen eines Systems, als auf die Genauigkeit der Input- und Outputdaten. Der Zusammenhang der Elemente untereinander wird zunächst mit einem Wirkungsgraphen untersucht.

In einem Wirkungsgraphen wird ein System mit seinen Elementen und den Beziehungen zwischen den Elementen graphisch dargestellt. Die Beziehungen zwischen den Elementen werden durch positive oder negative Beziehungspfeile ausgedrückt. Der Operator $+$ oder $-$ sagt aus, welchen Einfluss ein Element auf ein anderes Element ausübt, z. B. bedeutet eine steigende (sinkende) Differenz zwischen Soll und Ist eine steigende (senkende) Wirkung auf das andere Element.

In System Dynamics wird angenommen, dass sich das Systemverhalten aus den Rückkopplungen ergibt. Anhand der Wirkungsgraphen lassen sich auf eine einfache Weise Rückkopplungen identifizieren, indem ausgehend von einem Systemelement eine Folge von Beziehungspfeilen durchlaufen wird, die wieder zum Ursprungselement zurückführen, ohne dass ein Beziehungspfeil oder ein Element doppelt durchlaufen wird. Die Rückkopplungen müssen sich vollständig innerhalb der Systemgrenzen befinden.

Man unterscheidet zunächst zwei Arten von Rückkopplungen: positive und negative. Rückkopplungsschleifen sind die Hauptsystemkomponenten. Sie können in zwei Klassen unterteilt werden. Negative Rückkopplungsschleifen sind zielsuchend. Sie wirken tendenziell jeder Änderung entgegen und führen Systeme zu einem konstanten Zustand. Die Lagerhaltung in einem Betrieb ist ein Beispiel für eine negative Rückkopplungsschleife. Man definiert einen gewünschten Lagerbestand und misst den aktuellen Lagerbestand. Aus diesen beiden Größen berechnet sich die Differenz zwischen Soll-Bestand und Ist-Bestand, die Einfluss auf die Bestellmenge eines Lagergutes hat. Die Bestellmenge führt zeitverzögert (gekennzeichnet durch die Gleichheitszeichen) zu einer Erhöhung des aktuellen Lagerbestandes. Die skizzierte Rückkopplung ist zielsuchend und führt zu einem aktuellen Lagerbestand, der sich dem gewünschten Lagerbestand annähert. Graphisch lässt sich diese Rückkopplung in Form eines Wirkungsgraphen darstellen (Abbildung 3-4). Eine negative Rückkopplung lässt sich graphisch daran erkennen, ob ein Element nach einer Folge von Beziehungspfeilen wieder einen Einfluss auf sich selbst hat und die Folge eine ungeradzahlige Anzahl von negativen Beziehungspfeilen enthält.

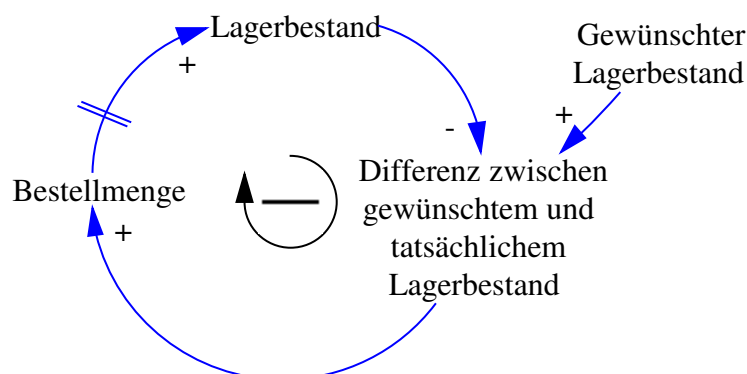


Abbildung 3-4: Negative Rückkopplung

Positive Rückkopplung bedeutet einen Prozess des Wachstums oder Sinkens. Das System neigt zur Explosion oder zum Niedergang. Die bekannte Abhängigkeit zwischen Lohn- und

Preisniveau ist ein Beispiel für eine positive Rückkopplung. Höhere Löhne führen zu Preiserhöhungen. Höhere Preise führen über Inflation zu höheren Lohnforderungen, die wiederum erhöhte Lohnforderungen nach sich ziehen (Abbildung 3-5).

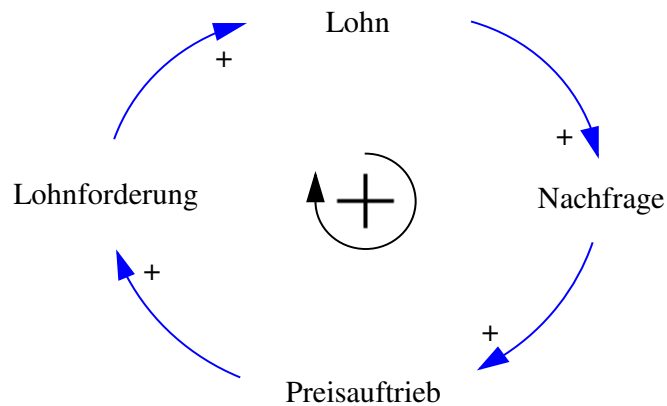


Abbildung 3-5: Positive Rückkopplung

Größere Systeme beinhalten oft eine Reihe von Rückkopplungen. Eine Kombination von Rückkopplungen macht es natürlich schwer, das Systemverhalten aus den Rückkopplungen abzuleiten.

Um Kombinationen aus Rückkopplungen besser zu verstehen, entwickelt Wolstenholme eine Menge von Archetypen, mit denen sich Systemverhalten darstellen lässt³⁴. In dem in Abbildung 3-6 abgebildeten Archetypus ‚Tragödie der Kollektivgüter‘ wird der Zusammenhang zwischen einer bestimmten Aktivität, dem daraus resultierenden Nutzen und dem Verbrauch einer allgemein verfügbaren Ressource beschrieben.

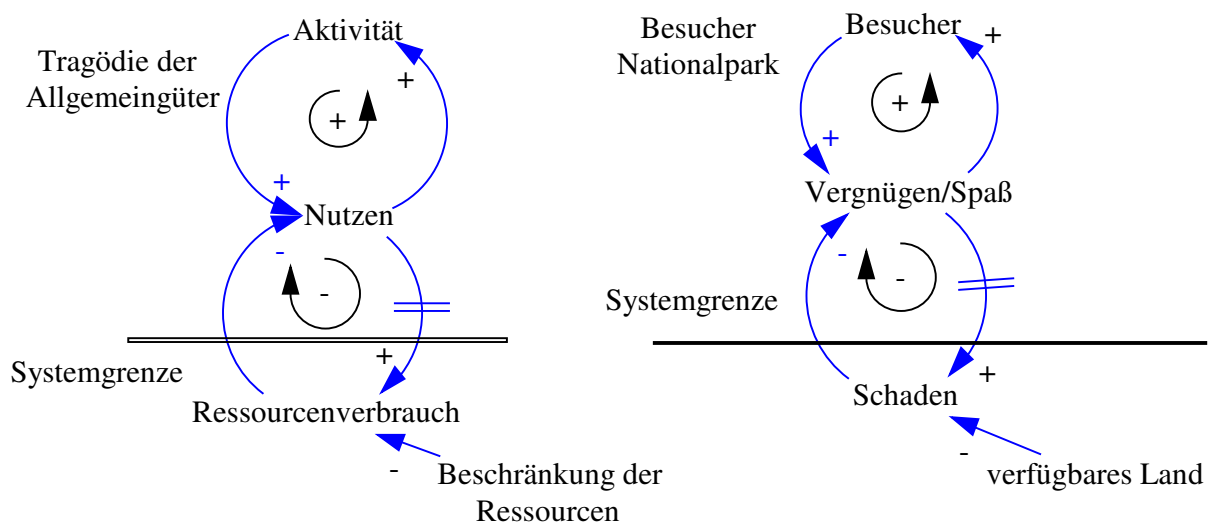


Abbildung 3-6: Tragödie der Kollektivgüter am Beispiel Nationalpark³⁵

Dieser allgemein bestimmte Archetypus lässt sich dann auf spezielle Fälle der Realität, z. B. Nationalparkbesucher, anwenden. Neben dem Archetyp ‚Tragödie der Gemeingüter‘ werden als wichtige Archetypen genannt: Grenzen des Wachstums, Fehlkorrektur, Problem-

³⁴ vgl. Wolstenholme (2003), S. 11ff; vgl. Wolstenholme (2004), S. 345ff; vgl. Senge (2001), S. 120ff

³⁵ vgl. Wolstenholme (2003), S. 13ff. Mit Systemgrenze wird hier die Wahrnehmungsgrenze des Nutzers bzw. Parkbesuchers bezeichnet. Die eigentliche Systemgrenze umschließt natürlich die Rückkopplungen.

verschiebung und Widersacher wider Willen. Diese Archetypen dienen als Werkzeuge, mit denen komplexere Systemstrukturen aufgedeckt werden können. Eine mögliche Vorgehensweise beim Aufspüren von Archetypen in einem System besteht darin, sich Kurvenläufe wichtiger Systemvariablen anzuschauen und mit den Kurvenverläufen von Archetypen zu vergleichen.

Nach der Identifikation des zu Grunde liegenden Problems kann für den jeweiligen Archetyp ein ganz bestimmter Lösungsweg aus dem Archetypus abgeleitet werden (Abbildung 3-7).

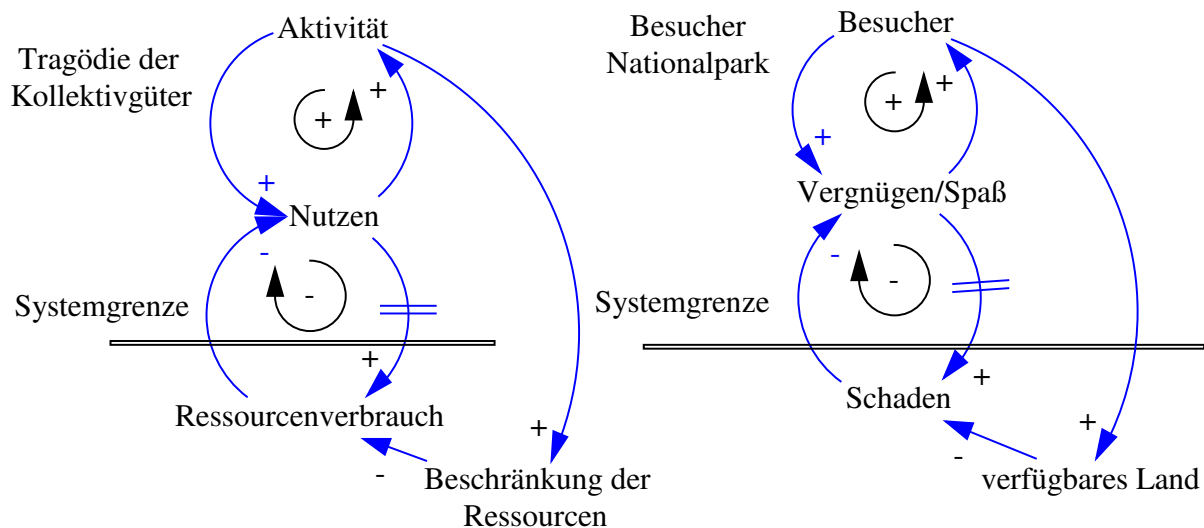


Abbildung 3-7: Archetypen und Lösungen³⁶

In diesem Fall wäre ein allgemeiner Lösungsvorschlag, die Ressourcenkapazität zu erhöhen, was im Nationalparkbeispiel einer Vergrößerung des verfügbaren Landes entspricht.

Insgesamt sind Rückkopplungen und ihre Erweiterung in Form der Archetypen ein hilfreiches Werkzeug, um Strukturen eines Systems zu verstehen.

(c) Erstellung des System Dynamics Modells

Nach Erstellung der Wirkungsgraphen erfolgt die eigentliche Modellentwicklung in System Dynamics. Die Modellspezifikation erfolgt mit Hilfe der System Dynamics Elemente. Sechs Elemente beschreiben System Dynamics Modelle:

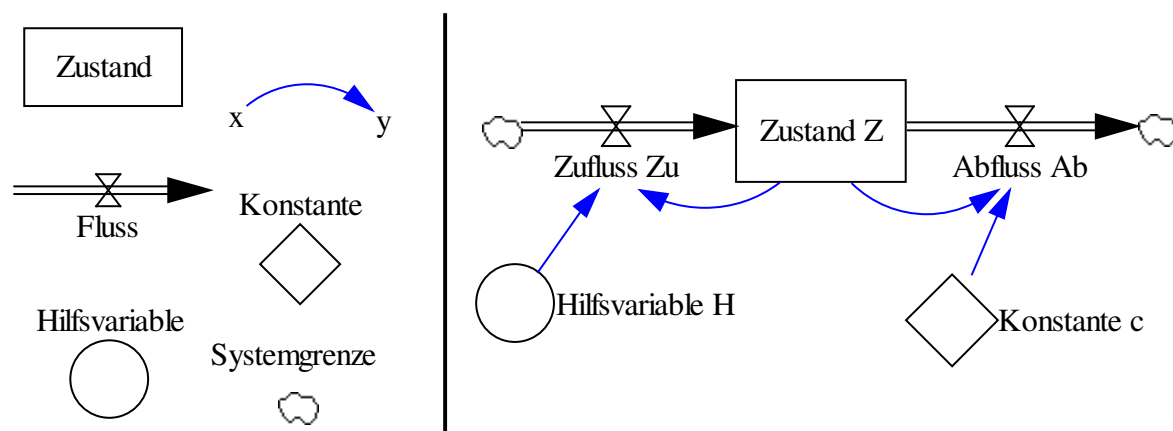


Abbildung 3-8: Elemente von System Dynamics und eine Beispielanwendung

³⁶ vgl. Wolstenholme (2003), S. 14

Die beiden wichtigsten Elemente in System Dynamics sind Zustandsvariablen (auch Bestandsvariablen oder Level genannt) und Flussvariablen (Flow, Rate). Die anderen Elemente sind Hilfsvariablen (Auxiliaries), Konstanten (Parameter), Beziehungspfeile und die Systemgrenze³⁷.

Zustände eines Systems beschreiben Elemente, die sich im Zeitverlauf kontinuierlich in Abhängigkeit anderer Größen ändern. Zum Beispiel: die Menge Benzin nimmt im Verlauf einer Fahrt kontinuierlich ab und würde daher als Zustand modelliert werden. Als Kriterium zur Bestimmung von Zuständen wird oft das Ruhelagekriterium angewandt. Man stelle sich vor, man könne ein System anhalten, dann sind die abzählbaren Elemente wie Pkw, Personen, Füllmengen etc. Zustände, während Elemente wie die Geschwindigkeit nicht als Zustände modelliert werden würden. Die Festlegung, ob ein Element ein Zustand ist, ist nicht immer eindeutig. So könnte ein Ventil, welches einen Flüssigkeitszufluss in einem Rohr regelt, als Zustand des Rohrs angesehen werden, auch weil es sich durch Drehung am Ventilrad nur kontinuierlich ändern lässt, oder man sieht es als Hilfsvariable an, die zu einem beliebigen Zeitpunkt auf einen beliebigen Wert einzustellen ist, ohne dass eine Zeitkomponente für die Veränderung des Ventilrades betrachtet werden muss.

Flüsse lassen sich unterteilen in Zu- oder Abflüsse. Sie führen im allgemeinen zu einer Erhöhung oder Senkung eines Zustandes. Ausnahme sind die Flüsse, die zu der Systemgrenze führen. Z. B. werden in einem Bevölkerungsmodell die Todesfälle als Flüsse modelliert, die zu einer Systemgrenze führen. Die Berechnung eines Flusses kann von anderen Zuständen, Flüssen, Hilfsvariablen oder Konstanten abhängen.

Hilfsvariablen werden in jedem Rechenschritt berechnet, ohne den Wert der Vorperiode zu berücksichtigen. Meist sind Hilfsvariablen Gleichungen, die in Abhängigkeit anderer Systemelemente berechnet werden.

Die Beziehungspfeile haben dieselbe Funktion wie die Pfeile in den Wirkungsgraphen. Hier wird die Information über den Wert eines Systemelementes an ein anderes weitergegeben. Meist wird die Information zur Berechnung einer Gleichung benötigt.

Konstanten können Parameter oder exogene Größen des Systems sein. Ihr Wert bleibt im Verlauf einer Simulation unverändert.

Die Systemgrenze bezeichnet den Übergang vom endogenen in den exogenen Bereich. Sie wird in den Modellen im allgemeinen nur bei Flüssen eingezeichnet.

(i) Mathematische Formulierung

Mathematisch werden Zustände mit Hilfe von Differentialgleichungen beschrieben.

$$Z(t + dt) = Z(t) + \int_{x=t}^{t+dt} (Zu(x) - Ab(x)) \cdot dx \quad (3.1)$$

mit: Z: Zustand
Zu: Zufluss
Ab: Abfluss

Der Zustand Z zum Zeitpunkt t+dt berechnet sich aus dem Wert seiner Vorperiode Z(t) zuzüglich des Integrals seiner Zu- und Abflüsse. Für die Berechnung mit Hilfe eines Computers ist problematisch, dass nicht von jeder Funktion das Integral existiert. Daher werden die Zustandsgleichungen in Form von Differenzgleichungen eingegeben:

³⁷ Gängigerweise werden für Zustände, Flüsse, Hilfsvariablen und Beziehungspfeile die dargestellten graphischen Objekte verwendet. Forrester (Forrester (1972), S. 144f) ordnet Konstanten zu den Hilfsvariablen. Zum schnelleren Erkennen von Systemstrukturen wird in dem vorliegenden Modell noch eine graphische Unterscheidung zwischen Konstanten und Hilfsvariablen vorgenommen.

$$Z(t + dt) = Z(t) + (Zu(t) - Ab(t)) \cdot dt \quad (3.2)$$

Der Zustand Z wird durch Addition der Zuflüsse und Subtraktion der Abflüsse berechnet. Zu- und Abflüsse werden mit dem Zeitintervall dt multipliziert.

Wichtig ist, dass Zustände nur von Flüssen und nicht von anderen Elementen beeinflusst werden können. Die anderen Variablen wie Hilfsvariablen und Flüsse haben diese Einschränkung nicht:

$$F(t) = f(Z, F, H, c, t) \quad (3.3)$$

$$H(t) = g(Z, F, H, c, t) \quad (3.4)$$

mit: F: Fluss (Zu- oder Abfluss)
H: Hilfsvariable
c: Konstante
f, g: Funktionen

In den Gleichungen kann abhängig vom Modellierungswerkzeug eine weitreichende Palette an nicht-linearen Funktionen verwendet werden. Dies umfasst u. a. Funktionen aus den Bereichen der Matrizenrechnung, Statistik, Exponentialfunktionen, Min/Max-Funktionen etc. In diesem Zusammenhang sind vor allem auch die Delay-Funktionen interessant, welche es ermöglichen, zeitverzögerte Variablen zu berücksichtigen.

(ii) Rechenverfahren

Bei einer Simulation wird in jedem Rechenschritt ein komplettes Modell durchgerechnet. Dabei hat man die Wahl zwischen verschiedenen iterativen Rechenmethoden. Gleichung 3.2 entspricht dabei der Euler-Cauchy-Integration.

Dabei gibt dt an, in welchem Zeitintervall ein Rechenschritt durchgeführt wird. Um die Genauigkeit zu erhöhen sollte dt möglichst gering gehalten werden. Bossel empfiehlt ein dt von 0,25. Für Modelle, bei denen es auf eine sehr hohe Genauigkeit ankommt, ist oft ein wesentlich niedrigeres dt erforderlich³⁸.

Alternativ kann das mehrstufige Runge-Kutta-Verfahren angewandt werden. In diesem Verfahren werden innerhalb jedes Zeitintervalls dt mehrere Rechnungen durchgeführt. Als Beispiel sei hier das vierstufige Runge-Kutta-Verfahren dargestellt:

$$k_1 = dt \cdot f(z, t) \quad (3.5)$$

$$k_2 = dt \cdot f(z + k_1 / 2, t + dt / 2) \quad (3.6)$$

$$k_3 = dt \cdot f(z + k_2 / 2, t + dt / 2) \quad (3.7)$$

$$k_4 = dt \cdot f(z + k_3, t + dt) \quad (3.8)$$

$$z(t + dt) = z(t) + k_1 / 6 + k_2 / 3 + k_3 / 3 + k_4 / 6 \quad (3.9)$$

Der Vorteil des Euler-Cauchy-Verfahrens liegt in seiner Schnelligkeit. Es wird daher für große Modelle angewendet. Das Runge-Kutta-Verfahren rechnet exakter und eignet sich für Anwendungen, in denen es auf Genauigkeit ankommt.

³⁸ Bei physikalischen Experimenten ist in manchen Fällen ein niedrigeres dt erforderlich. Vgl. Bossel (1994), S. 336

(iii) Software

Für die Simulation mit Hilfe eines Computers gibt es eine Reihe von Softwareprogrammen. iThink³⁹, Powersim⁴⁰ und Vensim⁴¹ gehören zu den kommerziell verfügbaren Programmen.

Die Softwareprogramme ermöglichen es, intuitiv die Strukturen eines Modells zu erfassen, helfen bei der Fehlersuche und erstellen Wirkungsgraphen des Modells. Nach vollständigem, mathematisch fehlerfreiem Aufbau eines Modells lassen sich Simulationsläufe durchführen.

Wegen seiner Leistungsfähigkeit wurde das Programm Vensim auserwählt. Vensim bietet eine Reihe von Zusatztools an. Darunter befinden sich u. a.:

- Optimierungsverfahren: sie erleichtern das Anpassen eines Modells an Vergangenheitsdaten.
- Sensitivitätsanalysen: sie ermöglichen es, durch Parametervariation eine Reihe von Simulationen durchzuführen.
- Verfahren zur Lösung von simultanen Gleichungssystemen: sie lassen sich anwenden, wenn Variablen durch mehrere Gleichungen bestimmt sind.

Diese Zusatztools erleichtern den Aufbau von Modellen und deren Validierung.

(d) Validierung von System Dynamics

Validierung umfasst die Tests und Analysen, mit denen die Güte eines Modells geprüft werden kann. Die Analyse kann auf drei Bereiche angewendet werden:

- die Modellstruktur,
- die Modellparameter und
- das Modellverhalten⁴².

Die Basis für die Modellstruktur bilden die zu Grunde liegenden Hypothesen eines Modells. An dieser Stelle muss noch einmal geprüft werden, ob diese Hypothesen gültig und in sich konsistent sind. Danach muss man untersuchen, ob das entstandene Modell die gewünschte Fragestellung erläutern kann oder ob hierzu entsprechende Modifikationen notwendig sind. Außerdem sollte hier noch einmal überlegt werden, ob alle wesentlichen Zusammenhänge innerhalb der Systemgrenzen abgebildet werden.

In quantitativ orientierten Modellen werden die Modellparameter mit Hilfe von Vergangenheitsdaten kalibriert. Bei der Validierung kann noch einmal geprüft werden, ob sich die Modellparameter auf empirisches Datenmaterial oder statistische Untersuchungen zurückführen lassen.

Bezüglich des Modellverhaltens können verschiedene Tests vorgenommen werden:

- Plausibilitätstests,
- Konsistenztests,
- Vorhersagetests.

³⁹ Die ersten Arbeiten von Forrester wurden mit dem selbstentwickelten Dynamo-Compiler durchgeführt. Weiterentwicklungen mündeten in STELLA, das später unter dem Namen iThink kommerziell genutzt wurde. Ein weiteres Softwareprogramm ist SIMPAS, das von Bossel benutzt wurde. Vgl. Bossel (1994), S. 142ff

⁴⁰ Powersim wird von Powersim Software AS entwickelt. Vgl. Powersim (2005)

⁴¹ Vensim wird von Ventana Systems entwickelt. Vgl. Vensim (2005)

⁴² vgl. Milling (1972), S. 208f

Mit Plausibilitätstests untersucht man, ob Modelle unter verschiedenen Ausgangsparametern sinnvolle Ergebnisse liefern oder ob die Vorzeichen der Änderung korrekt sind. Konsistenztests verwendet man, um zu prüfen, ob das Modell die vergangenen Verhaltensmuster einigermaßen realistisch abbildet. Mit Vorhersagetests untersucht man, ob die Modellergebnisse über die zukünftige Entwicklung sich mit Hilfe von Mustern aus der Vergangenheit interpretieren lassen.

(e) Politikentwurf und -bewertung

Eng mit der Validierung verbunden ist auch die letzte Phase. Hier wird das Modell benutzt, um verschiedene Szenarien zu berechnen. Durch Variation der Rahmenbedingungen lassen sich unterschiedliche Szenarien entwerfen. Wichtig ist, dass Strukturen in verschiedenen Szenarien beibehalten werden, und sich Variablen nur ändern, wenn sie in direkter Beziehung zu den Rahmenbedingungen stehen.

Zum Verständnis der Ergebnisse können auch Simulationen gestartet werden, die nur einen Teil der geänderten Rahmenbedingungen verwenden. Dadurch kann man genauere Kenntnis über die Auswirkungen einzelner Rahmenbedingungen gewinnen.

Die Angabe von Konfidenzintervallen bei den Simulationsläufen hilft, die Ergebnisse richtig einzuordnen. Außerdem liefern sie Informationen über die Robustheit des Modells selbst.

Die Phasen können durchaus in einem iterativen Prozess verbunden werden. Durch diesen Prozess mit Problemspezifikation, Modellerstellung, Validierung und Politikbewertung entstehen letztlich anwendungsfähige systemdynamische Modelle des realen Systems⁴³.

3.4 Klassifizierung von System Dynamics Modellen

Im vorigen Abschnitt wurde die Vorgehensweise bei der Modellierung von System Dynamics erläutert. Dies könnte den falschen Eindruck erwecken, als würden alle System Dynamics Modelle nach exakt der gleichen Methode entwickelt werden. In Wirklichkeit unterscheiden sich Modellentwicklungen teilweise deutlich voneinander. Diese Unterschiede betreffen vor allem

- die ‚mentale Kreativität‘,
- die Quantifizierung und
- die Validierung.

Wissen kann in numerisches, schriftlich festgehaltenes und mentales Wissen eingeteilt werden. Dabei habe das numerische Wissen den kleinsten und das mentale Wissen den größten Umfang⁴⁴. Daher kommt nach Forrester dem mentalen Wissen der höchste Stellenwert zu⁴⁵. Dieses mentale Wissen kann noch nicht numerisch erfasst werden, soll aber trotzdem in System Dynamics Modellen berücksichtigt werden. Wissen über weiche Variablen muss auf jeden Fall implementiert werden. Diese Variablen wegzulassen würde bedeuten, ihnen keinen Einfluss zuzuweisen, und das wäre der einzige Wert, der mit Sicherheit falsch ist⁴⁶.

Mit Bezug auf das numerische Wissen wird auf das Problem des ‚measurement without theory‘ verwiesen⁴⁷. Sowohl wegen des Unterschieds zwischen Korrelation und Kausalität als

⁴³ vgl. Kuchenbecker (2000), S. 57ff; vgl. Bossel (1994), S. 27ff

⁴⁴ vgl. Forrester (1980), S. 555ff

⁴⁵ vgl. Forrester (1980), S. 555ff

⁴⁶ vgl. Forrester (1961), S. 57

⁴⁷ vgl. Sommer (1978), S. 270

auch wegen der Verzerrung bei der Datenerhebung werden Erkenntnisse, die auf measurement without theory beruhen, abgelehnt.

System Dynamics weicht in diesem Punkt deutlich von den üblichen Verfahren einer Modellentwicklung ab. Letztere würden mit einer umfangreichen Datensammlung beginnen. Eine Alternative zur bloßen Datensammlung wären theoretische Erkenntnisse. Hierbei gibt Forrester jedoch der ‚mentalen Kreativität‘, die auch auf subjektiven Einschätzungen von Praktikern beruhen kann, gegenüber der Theorie den Vorzug⁴⁸.

Gleichzeitig findet man in der neueren Literatur sowohl methodisch⁴⁹ als auch in der Anwendung⁵⁰ andere Ansätze. So wird auch gefordert, dass nach der Problemformulierung und der Eingrenzung des Themas überprüft werden soll, ob nicht andere Methoden zur Lösung der Fragestellung besser geeignet wären⁵¹. Dies impliziert zum Beispiel auch, dass Teilmodelle eines systemdynamischen Modells durchaus mit einer anderen Methode, die für die spezielle Fragestellung besser geeignet ist, erstellt werden⁵².

Bezüglich der Quantifizierung lässt sich eine Einteilung von System Dynamics Modellen vornehmen:

- Qualitative Modelle,
- Modelle mit exemplarischen Zahlenwerten,
- Quantitative Modelle.

Die qualitativen Modelle bleiben auf der Ebene der Wirkungsgraphen oder bei der graphischen Darstellung in Zustands- und Flussvariablen stehen. Eine Begründung dafür kann darin liegen, dass eine Quantifizierung dem Modellierungszweck nicht dienlich ist. In Fällen, in denen sehr spekulative Strukturen abgebildet werden oder sehr viele weiche Variablen berücksichtigt werden müssen, wäre eine Quantifizierung nicht mehr sinnvoll, da sie Genauigkeit nur vortäuscht. Für diese Art von Anwendungen kann der Modellzweck in einer reinen Strukturdarstellung bestehen. Dies kann gerade bei Modellen aus der Systemtheorie sinnvoll sein, wenn nur strukturelle Fragestellungen untersucht werden, wie z. B. Wirtschaftssysteme, die Arzneimittelversorgung oder die Struktur eines Unternehmens⁵³.

Auch bei Anwendungen im Bereich des Group Model Buildings, deren Ziel darin besteht, das mentale Bild, das eine Gruppe von einem System hat, zu verdeutlichen, zu analysieren oder zu verändern, wird oft nur mit Wirkungsgraphen gearbeitet⁵⁴.

Allerdings kann ein Wirkungsgraph mit einigen Rückkopplungen und Archetypen von Rückkopplungen nur noch schwer erfasst werden. Komplizierte Diagramme von System Dynamics sind rein aus der Anschauung nicht zu verstehen⁵⁵. Daher müssen qualitative Modelle zwangsläufig in ihrer Größe begrenzt sein.

⁴⁸ vgl. Forrester (1980), S. 555ff; vgl. Sommer (1978), S. 271

⁴⁹ Randers (1980) erläutert anwendungsbezogene Methodiken zur Erstellung von System Dynamics Modellen. Sterman (in Sterman (2002), S. 524) betont den hohen Wert von Datenmessung und Quantifizierung der Modelle. Graham (1980, 2002) u. Graham et al. (2002) beschreiben Techniken zur Parameterschätzung.

⁵⁰ Schade (W) (2004). Im Modell ASTRA (Assessment of Transport Strategies) wird ein stark datenbasierter Ansatz angewendet. Schneider&Schade (Schneider, Schade (2004)) analysieren die Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen und Schade&Rothengatter (Schade, Rothengatter (2004)) bewerten Verkehrsszenarien ebenfalls stark datenbasiert.

⁵¹ vgl. Sterman (2000), S. 80

⁵² So gibt es zum Beispiel die Verbindung von System Dynamics und Agentenmodellen innerhalb eines kommerziellen Softwarepaketes anylogic. vgl. Anylogic (2005)

⁵³ vgl. Herder-Dorneich (1992), S. 132 u. S. 170f; vgl. Herder-Dorneich (1984), S. 76ff

⁵⁴ vgl. Vennix (1996), S. 109ff

⁵⁵ vgl. Vennix (1996), S. 108f

In die zweite Gruppe fallen Modelle, die über die bloße Erstellung der Wirkungsgraphiken hinausgehen und Wirkungsbeziehungen zwischen den Elementen quantifizieren. Dem stehen aber Hindernisse entgegen, weil viele Modelle Bereiche beschreiben, die nur unzureichend erforscht sind. In solchen Fällen erfolgt eine Quantifizierung, ohne auf eine reale Beobachtung aufzubauen oder ohne statistische Methoden zu Hilfe zu nehmen. Die Basis für die Schätzung von Gleichungen und Parametern beruht auf Annahmen. Auch werden diese Modelle nicht mit Vergangenheitsdaten kalibriert. Das Ziel dieser Gruppe von System Dynamics Modellen kann die Untersuchung von bestimmten Phänomenen sein. Da hier Variablen oft nur mit groben Annahmen geschätzt werden und damit die Robustheit der Modelle zum Problem werden kann, sind die Modelle ebenfalls eher klein.

In die letzte Kategorie fallen Modelle, die eine sehr detaillierte Quantifizierung – zumindest in Teilbereichen – vornehmen. In ihnen werden die Parameter mit Hilfe von Vergangenheitsdaten, kalibriert innerhalb eines ganzen Modells, bestimmt⁵⁶.

Ziel dieser Art von Modellen ist es, über eine bloße Strukturanalyse und über die Darstellung eines bestimmten Phänomens hinaus, eine komplexe Wirklichkeit mit Hilfe eines Modells realitätsnah darzustellen. Dabei wird versucht, eine Realitätsnähe zu erreichen, die es zum Beispiel ermöglicht, verschiedene Szenarien zu entwerfen oder bestimmte Politiken zu testen. Diese Art von Modellen gehen über die reine Erklärung eines Untersuchungsgegenstandes hinaus und ermöglichen es, Szenarienbewertungen zu erstellen. Ihre Anwendung finden diese Modelle in Bereichen, die recht gut erforscht sind, wo eine ausreichende Datengrundlage vorliegt und in denen die System Dynamics Modelle mit anderen quantitativen Modellen konkurrieren.

Quantitative Modelle können durchaus umfangreich werden, sofern die Entwicklung der wesentlichen Variablen überprüfbar und die Ergebnisse mit der Realität vergleichbar sind.

Ähnliche Unterschiede bei den Modellen findet man auch im Bereich der Validierung. Ein Großteil der Entwickler verzichtet auf eine Validierung. Die möglichst genaue Kalibrierung eines System Dynamics Modells an der Vergangenheit reiche aber nicht aus, um die Güte eines Modells zu bestimmen⁵⁷. Nach Meadows⁵⁸ ist eine genaue Kalibrierung zu einfach zu erzielen, so dass ihr diese Bedeutung nicht zukommen kann. Einem Modell könnten beliebig viele exogene Variablen hinzugefügt werden. Und dann würden die Vergangenheitsdaten extrem realitätsnah getroffen werden. Problematisch daran wäre, dass der Erklärungsgehalt durch die endogenen Variablen niedrig wäre. Eine Lösung könnte darin bestehen, die Anzahl der exogenen Variablen zu reduzieren bzw. bei der Validierung explizit auszuweisen, um die Kalibration zu bewerten.

Andere Richtungen in System Dynamics bemängeln die fehlende Validierung der System Dynamics Modelle. Obgleich eine ganze Reihe an Möglichkeiten der Parametrisierung seit den siebziger Jahren bestehen, finden sie erst langsam Einzug in die Modellierungen⁵⁹.

Vielfach gibt man sich mit der ungefähren Abbildung vergangener Kurvenverläufe⁶⁰ zufrieden. Die Einschätzung, wann ein Modell die realen Verläufe ungefähr abbildet, ist naturgemäß recht subjektiv.

Möglicherweise hängen die unterschiedlichen Ansprüche an die Validierung auch damit zusammen, mit welchen Methoden die jeweiligen System Dynamics Ansätze konkurrieren. In den Bereichen Verkehr, Energie und Volkswirtschaft wird System Dynamics mit exakt

⁵⁶ vgl. Mass, Senge (1980), S. 205ff

⁵⁷ vgl. Meadows, Robinson (1985), S. 80ff

⁵⁸ vgl. Meadows, Robinson (1985), S. 80ff

⁵⁹ vgl. Graham (2002), S. 5; vgl. Graham et al. (2002), S. 2ff; vgl. Vennix (1996), S. 89

⁶⁰ vgl. Sterman (1986), S. 89. Sterman spricht hier von „to mimic“.

arbeitenden anderen Methoden verglichen werden. Deshalb scheint in diesen Bereichen ein höherer Anspruch hinsichtlich der Genauigkeit und der Prüfbarkeit zu bestehen.

An der Klassifizierung verschiedener System Dynamics Modelle kann man erkennen, dass zwischen den Vorstellungen, wie System Dynamics Modelle zu entwerfen sind und wie sie schließlich aussehen, durchaus große Unterschiede bestehen.

3.5 Kritische Bewertung

Nachdem die ersten System Dynamics Modelle veröffentlicht wurden, wurden sie auch stark kritisiert. Zum Einen wurde bemängelt, dass grundsätzliche wissenschaftliche Erkenntnisse bei der Modellierung übersehen worden waren⁶¹, zum Anderen wurde darauf verwiesen, dass das Weltmodell in vielfacher Hinsicht auf willkürlichen Annahmen beruhte⁶². Bspw. wurde im Wirtschaftsmodell generell bemängelt, dass bei den Variablendefinitionen prinzipielle Unklarheiten und Widersprüchlichkeiten vorherrschten⁶³.

Zwar muss man zwischen der Kritik an einer einzelnen Anwendung und einer Modellphilosophie differenzieren, aber verallgemeinert kann man erkennen, dass sich die Hauptkritik gegen die Anwendung der mentalen Kreativität richtet⁶⁴. Speziell der Aspekt der mentalen Problemlösungsprozesse enthält die Gefahr, dass unbegründete und auch fehlerhafte Annahmen in ein System einfließen. Modelle, in die sehr viele subjektive Ansichten eingearbeitet sind, müssen sich dem Vorwurf der Beliebigkeit stellen⁶⁵.

Leider wurden hier in der Anfangsphase von System Dynamics Fehler gemacht, die verschiedene Ansätze und Verwendungsmöglichkeiten von System Dynamics klar zu trennen. Ein Bereich der System Dynamics Modellierung will nur die mentale Welt eines Menschen, bzw. im „Group Model Building“ einer Gruppe, abbilden. Bei diesen Modellen kann das Ziel darin bestehen, die Vollständigkeit eines Modells zu prüfen oder ein mentales Modell zu verbessern. Oder es dient dazu, den Umgang mit komplexen Modellen zu verbessern⁶⁶. Es kann auch darin bestehen, innerhalb einer Gruppe zu einem gemeinsamen Bild zu kommen. Daher wird in diesen Modellentwicklungen das Einfließen von Expertenwissen und wissenschaftlichen Ansichten explizit vermieden⁶⁷.

Andere Richtungen in System Dynamics betonen eher den wissenschaftlichen Charakter von Modellen⁶⁸. Hier wird versucht, ein genaues Abbild eines Problems oder eines Systems zu gewinnen. In diese Gruppe fallen eher die quantitativen und validierten Modelle. Und daher wird dort auch auf andere Wissensquellen zurückgegriffen. Die Komponente der mentalen Kreativität kommt hier natürlich trotzdem als ein wichtiges Element zur Anwendung. Sie ermöglicht es den Modellierern, subjektive Ansichten explizit in ein Modell einfließen zu lassen und sie nicht implizit in Modellen verstecken zu müssen.

Eine genaue Trennung in verschiedene System Dynamics Bereiche oder eine genauere Definition, wann ein Modell systemdynamisch ist und wann nicht, wurde bisher nicht

⁶¹ vgl. Julien, Freeman (1973), S. 101ff

⁶² vgl. Simmons (1973), S. 317ff

⁶³ vgl. Julien, Freeman (1973), S. 101ff

⁶⁴ vgl. Sommer (1978), S. 268ff

⁶⁵ vgl. Kirchgässner (1978), S. 191. Kirchgässner kritisiert, dass systemdynamische Modelle eher die Vorstellung des Modellierers darstellen als die Abbildung der Wirklichkeit.

⁶⁶ vgl. Dörner (2001), S. 32ff. Dörner arbeitet an systemdynamischen Modellen, die zum Trainieren von Fähigkeiten im Umgang mit komplexen Modellen dienen. Z. B. ist eine seiner Anwendungen eine Stadtsimulation, bei welcher der Anwender sich in der Rolle als Bürgermeister der Stadt zurechtfinden muss.

⁶⁷ Keller et al. (2000). Das System Dynamics Modell MODUM ist ein Beispiel für ein System Dynamics Modell über Verkehr, das bewusst nur das Wissen der Akteure im Verkehr und kein Expertenwissen in die Modellierung einbindet.

⁶⁸ vgl. Graham (1980), S. 143ff; vgl. Graham (2002); Mass, Senge (1980), S. 203ff

vollzogen. Eberlein meinte zur Forderung nach einer exakteren Definition von System Dynamics, die Erstellung sei langweilig und obendrein hindere es die Kreativität⁶⁹.

Unter den Systemdynamikern werden andere Schwierigkeiten genannt. Hauptproblem von System Dynamics sei die Einfachheit zu modellieren. Dies führe

- zu Modellierungen ohne Kenntnis der grundlegenden Philosophie,
- zur Erzeugung von unzähligen Modellvarianten und
- zur Entwicklung hochkomplexer und unübersichtlicher Modelle⁷⁰.

Diese Probleme lassen sich bei vielen Modellierungstechniken finden. Sie stellen für System Dynamics ein besonderes Problem dar, weil hier die Klarheit und Verständlichkeit ein hohes Gewicht besitzen⁷¹. Generell besteht der Wunsch nach möglichst genauer Darstellung der Wirklichkeit. Dieses Bestreben mündet in Modellen mit immer höherer Exaktheit im Detail. Die Detailgenauigkeit wirkt jedoch dem Verständnis des Modells und deren Wirkungsgefüge entgegen. Je größer jedoch das Unverständnis darüber ist, wie ein Modell funktioniert, desto geringer ist seine Nützlichkeit. Diese Problematik, dass Detailgenauigkeit und Nützlichkeit zwei widerstrebende Ziele sind, wird auch als Bonini Paradoxon bezeichnet⁷². Diesem Problem kann man nur begegnen, indem man immer versucht, einfache und transparente Modelle zu erstellen. In einigen Fällen ist das naturgemäß schwer möglich. Gerade wenn es um disaggregierte Modelle und hoch komplexe Fragestellungen geht⁷³, erscheinen umfangreichere System Dynamics Modelle als sinnvoll⁷⁴.

Neben den Schwierigkeiten von System Dynamics darf nicht übersehen werden, dass der Ansatz eine Reihe von Vorteile bietet. Einer liegt darin begründet, dass in System Dynamics bewusst das System als Ganzes betrachtet wird. Diese explizite Grundhaltung weicht von anderen Ansätzen ab. Sie bewirkt, dass sich System Dynamics gerade zur Behandlung von komplexen und interdisziplinären Fragestellungen eignet.

Die Betonung der Rückkopplung führt zu einer weiteren Stärke von System Dynamics Modellen. Rückkopplung wirkt sich meist mit einer gewissen Zeitverzögerung aus. Diese Zeitverzögerung gibt einem systemdynamischen Modell die Möglichkeit, Problemstellungen über längere Zeiträume zu betrachten. System Dynamics eignet sich somit für komplexe Fragestellungen, die über längere Zeiträume analysiert werden sollen.

Gelingt es einem also, die möglichen Schwierigkeiten, die mit System Dynamics verbunden sind, zu umgehen, dann lassen sich auch einfache, wissenschaftlichen Ansprüchen genügende Modelle entwickeln.

3.6 Zusammenfassung

Systemtheorie entwickelte sich aus dem Wunsch, den immer komplexer werdenden Problemen mit ganzheitlichen Lösungsansätzen zu begegnen. Inhaltlich grenzt sich die Systemtheorie vom analytischen, mechanistischen Ansatz ab, in dem Problemlösungen isoliert von Abläufen in anderen Disziplinen gesucht werden. Man betrachtet nicht das Ganze, sondern untersucht detailliert die Einzelteile. Die Systemtheorie dagegen bemüht sich um eine ganzheitliche Sichtweise, ohne die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Einflussgrößen zu zerreißen.

⁶⁹ Eberlein (2004)

⁷⁰ vgl. Meadows (1980), S. 34ff

⁷¹ vgl. Meadows (1980), S. 35

⁷² vgl. Vennix (1996), S. 89

⁷³ vgl. Meadows (1980), S. 35

⁷⁴ vgl. Forrester (1989), S. 20f

Mit System Dynamics wurde ein Konzept geschaffen, das die operative Umsetzung der Systemtheorie ermöglicht. Die theoretische Grundlage von System Dynamics beruht auf der Informations-Rückkopplungs-Theorie, der Entscheidungstheorie, mentalen Problemlösungsprozessen und experimentellen Computersimulationen.

Als zentrale Elemente werden in System Dynamics Rückkopplungen und Zustandsvariablen verstanden. Von den Rückkopplungen geht der stärkste Einfluss auf das Systemverhalten aus. Daher wird der Schwerpunkt bei der Modellentwicklung auf die korrekte und vollständige Identifikation von Rückkopplungen gelegt. Zustandsvariablen können sich nur über Zu- und Abflüsse ändern. Sie akkumulieren über die Zeit und werden mit Hilfe von Differentialgleichungen beschrieben.

In der Praxis zeigen sich bei System Dynamics Modellen große Unterschiede hinsichtlich der Modellentwicklung. Dies betrifft vor allem die Komponente ‚mentale Kreativität‘, die Quantifizierung und die Validierung. Die mentale Kreativität ist dabei von besonderer Bedeutung. Sie stellt einerseits die wesentliche Stärke von System Dynamics dar, die es den Modellierern ermöglicht, mentales Wissen in ein Modell einzubringen. Andererseits birgt sie die Gefahr, dass unbegründete, subjektive und auch fehlerhafte Annahmen des Entwicklers in das System einfließen. Quantifizierung und Validierung bilden dazu das Gegengewicht. Sie ermöglichen es, die Güte eines Modells zu prüfen und mindern damit die Gefahr von Fehlspezifikationen. Im Ergebnis entstehen dadurch Modelle, die auf wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen, sinnvolle und systemorientierte Erklärungen liefern und prüfbare Ergebnisse erzeugen.

4 Abgrenzung von System Dynamics zu anderen Methoden

*„A central problem of any methodology is how to strike a balance between precision and rigor on the one hand, and vagueness and suggestiveness on the other, and how to relate to the two so that they synergize rather than cancel each other“
Wilber, Harrison¹*

Für die Bearbeitung von makroökonomischen Fragestellungen dieser Art werden häufiger andere Methoden als System Dynamics herangezogen. Die wichtigsten Methoden sind:

- die Ökonometrie,
- die Gleichgewichtsmodellierung und
- die Input-Output-Analyse.

In der Input-Output-Analyse kann man prinzipiell zwischen statischen und dynamischen Input-Output-Analysen unterscheiden. Die dynamischen Input-Output-Analysen sind im allgemeinen entweder ökonometrisch oder gleichgewichtsorientiert.

Aus diesem Grund erfolgt hier nur ein Vergleich zwischen System Dynamics, der Ökonometrie und der Gleichgewichtsmodellierung. Der Vergleich ist notwendig, um die geeignete Methode für eine Problemstellung herauszuarbeiten. Dies gibt einen Hinweis darauf, welchen Beitrag System Dynamics bei der Klärung makroökonomischer Fragen überhaupt leisten kann.

Außerdem können in System Dynamics Wissen und Erkenntnisse aus den anderen Methoden verwendet werden. Diese Offenheit bezüglich anderer Wissensquellen erfordert es, die Möglichkeiten und Grenzen der Integration verschiedener Methoden in System Dynamics zu betrachten.

Daher werden nach einer kurzen Beschreibung und dem Vergleich der Methoden Überlegungen angestellt, wie Erkenntnisse aus anderen Methoden in System Dynamics integriert werden können.

4.1 Ökonometrie

An dieser Stelle kann nicht der Versuch unternommen werden, die Ökonometrie in ihrer Vollständigkeit zu beschreiben. Es werden lediglich die wesentlichen Elemente der Ökonometrie beschreiben, die notwendig sind, um einen Vergleich zwischen System Dynamics und Ökonometrie zu ziehen.

Als Ziel definierte die Econometric Society, eine Verbindung von ökonomischer Theorie mit Statistik und Mathematik zu erreichen, um die Kluft zwischen Theorie und Realität zu überbrücken². Untersuchungsgegenstand sind die Beziehungen zwischen makroökonomischen Größen. Auf Basis der ökonomischen Theorie wird zunächst ein ökonomisches Modell entworfen, das unter Berücksichtigung von Wahrscheinlichkeitstermen³ in ein ökonometrisches Modell aus linearen Gleichungen überführt wird.

¹ Wilber, Harrison (1978), S. 84

² vgl. Eckey et. al. (1995), S. 1

³ auch Störterm genannt

4.1.1 Ein- und Mehrgleichungsmodelle

In ökonometrischen Modellen kommen Definitionsgleichungen und Verhaltensgleichungen vor. In Definitionsgleichungen werden keine Wahrscheinlichkeitsterme verwendet.

In Verhaltensgleichungen berechnen sich die endogenen Variablen in Abhängigkeit von Variablen und Parametern. Die sich ergebende Differenz zwischen berechneten endogenen Variablen und der empirischen Beobachtung wird als Wahrscheinlichkeitsterm bezeichnet. Wahrscheinlichkeitsterme umfassen nicht beobachtbare oder nicht messbare Einflüsse auf die zu bestimmenden Variablen. Die Wahrscheinlichkeitsterme dürfen keinen systematischen Einfluss auf die erklärende Variable haben, denn dann müsste dieser Einfluss durch eine Variable in der Gleichung aufgenommen werden⁴. Als Beispiel sei hier ein ökonometrisches Eingleichungsmodell gegeben:

$$y_t = \sum_j \beta_j \cdot x_{jt} + e_t \quad (4.1)$$

mit: y: endogene Variable
β: Parameter
x: exogene (oder endogen aus anderen Gleichungen bestimmte) Variable
e: Wahrscheinlichkeitsterm
j: Anzahl der Parameter
t: Beobachtungszeitpunkte

Die Berücksichtigung von Wahrscheinlichkeiten gründet auf der Annahme, dass die makroökonomischen Größen keinen deterministischen Charakter haben, da die Wirtschaftssubjekte bei ihren Entscheidungen immer Freiheitsgrade haben. Es wird aber davon ausgegangen, dass allgemeine Bedingungen zu unterschiedlichen Entscheidungen führen können, denen jeweils Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden können⁵.

Die einfachsten Methoden zur Schätzung von Parameter sind die Methode der kleinsten Quadrate oder die Maximum-Likelihood-Schätzung. Bei der Methode der kleinsten Quadrate kann die Güte der Schätzung über das Bestimmtheitsmaß angegeben werden.

Die Maximum-Likelihood-Methode setzt Kenntnis über den Verteilungstyp voraus. Die Störvariable wird als normalverteilt angenommen. Mit Hilfe dieser Annahme lassen sich Hypothesen testen, die unter Einbeziehung eines Signifikanzniveaus abzulehnen oder anzunehmen sind⁶.

Mehrgleichungsmodelle bestehen aus einer Reihe von Einzelgleichungen. Die Schätzung der Parameter kann direkt oder nach Transformation eines Modells in seine reduzierte Form erfolgen. Als zentrale Schätzmethoden werden im wesentlichen Erweiterungen des Kleinst-Quadrate-Schätzers verwendet⁷.

Ein derart bestimmtes Gleichungssystem wird als Annäherung an die reale Struktur angesehen, die nicht bekannt ist und deshalb als Black Box betrachtet werden kann. Das auf ökonometrischer Basis geschätzte Modell wird als Annäherung an die wahre, unbekannt Struktur angesehen.

Um langfristige Zusammenhänge in einem ökonometrischen Modell zu berücksichtigen, wird das Konzept der Kointegration benutzt⁸. Beispielsweise wird im kointegrierten Modell der

⁴ vgl. Eckey et. al. (1995), S. 19

⁵ vgl. Eckey et. al. (1995), S. 5

⁶ Komplexere Schätzmethoden werden verwandt, wenn in das ökonometrische Modell zeitverzögerte Variablen, Softvariablen oder Strukturvariablen berücksichtigt werden sollen. Eine Übersicht über diese Methoden findet man in Eckey et. al. (1995) S. 125 u. S. 159.

⁷ vgl. Eckey et. al. (1995), S. 304. Daneben werden auch vektorautoregressive Modelle bestimmt, bei denen die Schätzung ohne genaue vorherige Festlegung der Modellstruktur erfolgt.

⁸ vgl. Eckey et. al. (1995), S. 209ff

Bundesbank ein Fehlerkorrekturmodell angewendet⁹. Als langfristiges Gleichgewicht kann man folgenden Zusammenhang annehmen¹⁰:

$$y_t = a + b \cdot x_t \quad (4.2)$$

mit: y: endogene Variable
x: exogene Variable
a, b: Parameter
t: Beobachtungszeitpunkte

Dann hat ein Fehlerkorrekturmodell allgemein die Struktur:

$$\Delta y_t = \sum_i \alpha_i \cdot \Delta y_{t-i} + \sum_j \beta_j \cdot \Delta x_{t-j} + \gamma \cdot (y_{t-1} - a - b \cdot x_{t-1}) + e_t \quad (4.3)$$

mit: y: endogene Variable
x: exogene Variable
 α, β : Parameter für endogene und exogene Variable
a, b: Parameter für langfristiges Gleichgewicht
 γ : Parameter für die Abweichung vom Gleichgewicht
e: Wahrscheinlichkeitsterm
i,j: Anzahl der Parameter
t: Beobachtungszeitpunkte

Die Veränderung von y beruht also auf zeitverzögerten Änderungen von y selbst und den exogenen Variablen. Weiterhin wird die Abweichung, sofern $\gamma < 0$ gilt, von y mit dem langfristigen Gleichgewicht eingerechnet. Das Verfahren erfordert a priori eine klare Trennung zwischen endogenen und exogenen Variablen¹¹.

4.1.2 Statistische Probleme Ein- und Mehrgleichungsmodellen

In der Ökonometrie werden als zentrale Problemfelder bei der Schätzung von Eingleichungsmodellen

- Multikollinearität,
- Heteroskedastizität und
- Autokorrelation angesehen¹².

Mit Multikollinearität wird das Problem bezeichnet, dass zwischen den exogenen Variablen Abhängigkeiten bestehen. Multikollinearität kann unter anderem durch Korrelationsanalysen aufgespürt werden. Als Lösung wird meist das ökonometrische Modell so spezifiziert, dass die Anzahl der exogenen Variablen reduziert wird, was immer auch einen Verlust an Information bedeutet. Eine Alternative besteht darin, mit Differenzen zu arbeiten. Dabei verliert der Schätzer allerdings seine BLUE-Eigenschaft¹³.

Heteroskedastizität bezeichnet die Problematik, dass sich die Varianz des Wahrscheinlichkeitsterms im Zeitverlauf oder im Querschnitt der Beobachtung signifikant ändert. Die Änderung der Varianz von Messdaten kann unter anderem darauf beruhen, dass die Größe einer exogenen Variable im Zeitverlauf stark ansteigt, und sich damit einhergehend auch deren Varianz vergrößert.

Autokorrelation ergibt sich dann, wenn die Wahrscheinlichkeitsterme verschiedener Gleichungen linear abhängig sind. Als Verfahren zum Aufspüren von Heteroskedastizität und Autokorrelation werden unter anderem der Goldfeldt-Quandt-Test oder der Durbin-Watson-Test herangezogen. Sie liefern eine Aussage über eine mögliche Fehlspezifikation des zu Grunde liegenden ökonometrischen Modells. Liegt Heteroskedastizität oder Autokorrelation

⁹ Deutsche Bundesbank (1996)

¹⁰ vgl. Eckey et. al. (1995), S. 215ff

¹¹ vgl. Eckey et. al. (1995), S. 220f

¹² vgl. Gujarati (1995), S. 319ff u. S. 355ff u. S. 400ff

¹³ vgl. Eckey et. al. (1995), S. 92ff. BLUE steht für „best linear unbiased estimator“.

vor, wendet man unter anderem die verallgemeinerte Methode der kleinsten Quadrate an (GLS)¹⁴.

Bei der Bestimmung von Mehrgleichungsmodellen muss im allgemeinen das Problem der Identifikation und die Unabhängigkeit der Störgrößen berücksichtigt werden¹⁵. Ein Identifikationsproblem liegt vor, wenn die endogenen Variablen eines Modells durch unterschiedliche Gleichungssysteme erklärbar ist. Dies lässt sich prüfen, indem ein Mehrgleichungsmodell in seine reduzierte Form umgewandelt wird. Entspricht die Anzahl der Gleichungen der reduzierten Form der Anzahl der endogenen Variablen so ist es eindeutig identifizierbar¹⁶. Ansonsten liegt Unter- oder Überidentifikation vor.

4.1.3 Kritische Bewertung der Ökonometrie

Bei der Bewertung der Ökonometrie wurden oft eine ganze Reihe von grundsätzlichen Schwierigkeiten genannt¹⁷:

- ceteris-paribus-Klausel
- Korrelation statt Kausalität
- Kausalstruktur a priori
- Wirkungsüberschätzung
- Diskrepanz zwischen Theorie und Praxis
- Versteckte Subjektivität
- Strukturkonstanz

Ein wichtiges gedankliches Konstrukt der Ökonometrie ist die ceteris-paribus-Klausel. Bei der Aufstellung der Gleichung und der Schätzung der Parameter wird angenommen, dass sich nur die betrachteten Variablen ändern, während alle anderen Variablen konstant bleiben. Dass Variablen der Umwelt eines Systems als konstant betrachtet werden, ermöglicht es, Beziehung zwischen Variablen eines Systems isoliert zu untersuchen¹⁸. Diese Annahme entspricht der mechanistischen Denkweise, nach der man ein System in seine Einzelteile zerlegt und getrennt analysiert.

Bezüglich des Zusammenhangs zwischen endogenen und exogenen Variablen ist hervorzuheben, dass bei der Aufstellung von ökonomischen und ökonometrischen Gleichungen keine Kausalität gefordert wird. Nimmt man an, dass die in der Vergangenheit beobachtete Korrelation auch in der Zukunft weiterhin Gültigkeit besitzt, können die beobachteten Zusammenhänge als Grundlage für die Prognose weiterverwendet werden¹⁹.

Eng mit dieser Problematik ist auch die Frage nach der Richtung der Zusammenhänge verbunden. Die Kausalstruktur - also die Bestimmung ob eine Variable endogen und exogen ist - wird a priori festgelegt. Mit statistischen Verfahren kann diese nur falsifiziert werden²⁰.

Die Orientierung an der Vergangenheit birgt eine weitere Gefahr. In manchen Fällen haben in der Vergangenheit nur kleine Änderungen stattgefunden. Werden die Parameter anhand Zeitperioden mit nur kleinen Änderungen geschätzt, fallen die Parameterwerte zu hoch aus. Wendet man nun die Modelle für Politikbewertungen mit drastischen Änderungen an, werden die Wirkungen von politischen Maßnahmen überschätzt²¹.

¹⁴ vgl. Eckey et. al. (1995), S. 98ff

¹⁵ vgl. Eckey et. al. (1995), S. 259 u. S. 242

¹⁶ vgl. Gujarati (1995), S. 657ff

¹⁷ vgl. Meadows, Robinson (1985), S. 42ff; Meadows (1980), S. 38ff

¹⁸ vgl. Buteweg (1988), S. 47ff

¹⁹ vgl. Eckey et. al. (1995), S. 4ff

²⁰ vgl. Gujarati (1995), S. 19ff

²¹ vgl. Stiglitz (1999), S. 115f

Obgleich der Ökonometrie komplexe mathematische und statistische Methode zur Verfügung stehen, um mögliche Fehler zu beheben, wird in der Praxis die Methode der kleinsten Quadrate am häufigsten angewendet²².

In der Ökonometrie spielen ebenfalls subjektive Ansichten eine Rolle. Dies betrifft die Phase der eigentlichen Schätzung und die Korrektur der Ergebnisse infolge Plausibilitätsüberlegungen. In der eigentlichen Schätzung werden z. B. oft Ausreißer weggelassen, um ein besseres Ergebnis zu erzielen. Dieses Verfahren führt dazu, dass eine Reihe von Informationen weggelassen werden, die durchaus zur Erklärung für ein Systemverhalten dienlich sein könnten. Zudem werden bei manchen Anwendungen a priori Annahmen getroffen. Stimmen die Ergebnisse der Schätzungen nicht mit den Annahmen überein, werden die Ergebnisse verworfen²³.

Bei der Anwendung von ökonometrischen Modellen für Prognosen wird davon ausgegangen, dass die Struktur, die ausgehend von Vergangenheitsdaten ermittelt wurde, für den Prognosezeitraum konstant bleibt. Bedingt durch diese Annahme eignen sich ökonometrische Modelle für kurz- und mittelfristige Prognosezeiträume.

4.2 Gleichgewichtsmodellierung

Die Gleichgewichtsmodellierung (CGE)²⁴ kann an dieser Stelle ebenfalls nicht vollständig beschrieben werden. Es werden lediglich die wesentlichen Elemente der Gleichgewichtsmodellierung beschrieben, die notwendig sind, um einen Vergleich zwischen System Dynamics und Gleichgewichtsmodellierung zu ziehen.

4.2.1 Theoretische Fundierung von Gleichgewichtsmodellen

Bei der Bildung von Gleichgewichtsmodellen steht die theoretische Fundierung eines Modells im Vordergrund. Gleichgewichtsmodelle unterliegen im allgemeinen den klassischen und neoklassischen Grundgedanken²⁵. Im folgenden wird zur Vereinfachung nur die neoklassische Gleichgewichtsmodellierung betrachtet, deren Ursprünge im wesentlichen auf den Arbeiten von Walras beruhen.

Im Zentrum der Neoklassik steht die Allokation gegebener Ressourcen. Für die Haushalte bedeutet dies die nutzenmaximale Verteilung des Einkommens auf die am Markt befindlichen Güter. Für Unternehmen bedeutet dies die Verteilung der finanziellen Ressourcen auf den Faktormärkten, sodass ein maximaler Produktionswert erzielt wird²⁶.

Die Gleichgewichtsmodellierung lässt sich – stark verkürzt – auf drei Grundprinzipien reduzieren:

- Grenzwertbetrachtung,
- Preis als zentraler Ausgleichsmechanismus und
- Gleichgewichtsbedingungen.

In der Neoklassik werden i. a. immer Grenzkosten und -preise betrachtet. Grenzkosten sind dabei die Kosten, die für die nächste Produktionseinheit anfallen würden bzw. den Preis, den

²² vgl. Meadows, Robinson (1985), S. 50

²³ vgl. Meyer, Lutz (2002), S. 457

²⁴ Computable General Equilibrium (CGE)

²⁵ Ein Vergleich der unterschiedlichen Grundannahmen von klassischen und neoklassischen Gleichgewichtsmodellen liefert Walsh (1980). Auch keynesianische Modell werden manchmal mit Hilfe von Gleichgewichten auf dem Güter- und Geldmarkt beschrieben. Der Arbeitsmarkt befindet sich dabei allerdings nicht im Gleichgewicht. Vgl. Sargent (1994), S. 47f

²⁶ vgl. Walsh (1980), S. 179

ein Konsument für das nächste Produkt zahlen würde. Wegen dieser Grenzwertbetrachtung hat die Neoklassik auch den Beinamen „Marginal Revolution“.

Preise nehmen innerhalb dieser Theorie eine zentrale Rolle ein. Sie signalisieren nicht nur die Knappheit eines Gutes und die Kosten seiner Bereitstellung, sondern sie bringen vor allem Angebot und Nachfrage ins Gleichgewicht. Dies gilt im allgemeinen für alle Güter- und Faktormärkte²⁷.

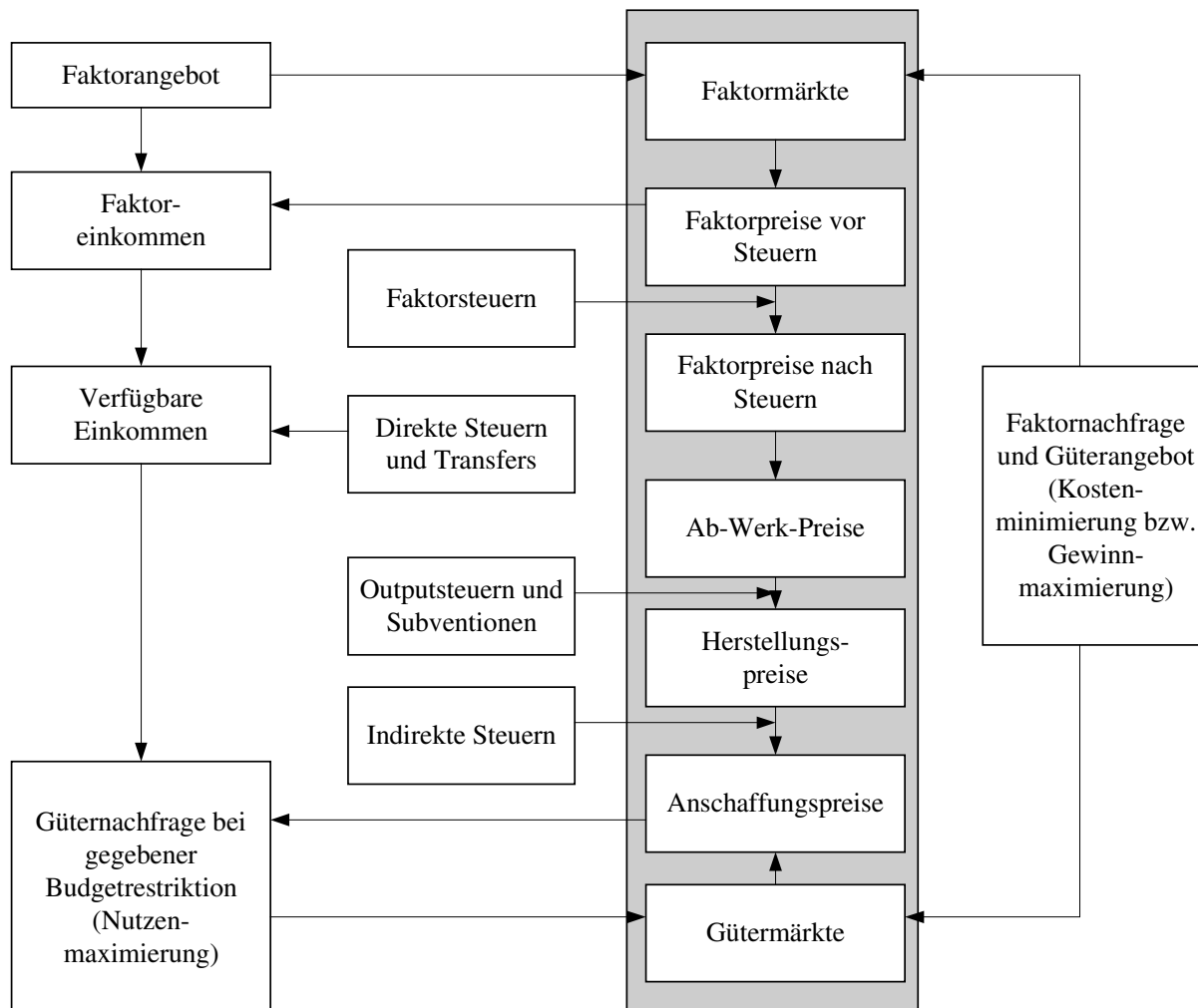


Abbildung 4-1: Grundstruktur eines Gleichgewichtsmodells²⁸

Abbildung 4-1 illustriert das Zusammenwirken von privaten Haushalten und Unternehmen (ohne Außenhandel etc.). Private Haushalte bestimmen ihr Faktorangebot und die Güternachfrage, die Unternehmen die Faktornachfrage sowie das Güterangebot. Den zentralen Ausgleichmechanismus leisten die Preise, deren jeweilige Höhe auch durch Staatseingriffe wie Steuern und Subvention beeinflusst wird²⁹.

Die Bestimmung der Variablen eines Gleichgewichtsmodells erfolgt nun unter Annahme von Gleichgewichtsbedingungen, die sich drei Kategorien zuordnen lassen³⁰:

- Markträumung aller Güter- und Faktormärkte,
- Produktionsaktivität an der Gewinnschwelle,
- Budgetrestriktionen.

²⁷ vgl. Böhringer, Wiegard (2002), S. 5

²⁸ vgl. Böhringer, Wiegard (2002), S. 7

²⁹ vgl. Böhringer, Wiegard (2002), S. 5

³⁰ Beispiel siehe Kapitel 5.3

Unter der Annahme von vollkommenen Märkten erreichen die Preise exakt die Höhe, in der Angebot und Nachfrage identisch sind. Sieht man von Lagern ab, entspricht dies der Markträumung.

Die Höhe der Produktionsaktivität wird durch den Punkt bestimmt, an dem die Unternehmen exakt keinen Gewinn mehr erzielen. Erzielten Unternehmen Gewinne, würden sie von Konkurrenten unterboten werden.

Schließlich befinden sich die Budgets der Wirtschaftsakteure im Gleichgewicht. Das Budget der privaten Haushalte bspw. setzt sich aus den Löhnen und Unternehmensgewinnen zusammen. Es wird, sofern Investitionen unberücksichtigt bleiben, vollständig in Konsum umgesetzt. Werden Investitionen berücksichtigt, so werden die Ersparnisse mit den Investitionen gleichgesetzt.

4.2.2 Zeitliche Aspekte in Gleichgewichtsmodellen

Gleichgewichtsmodelle lassen sich drei Typen zuordnen³¹:

- statisch
- quasi-dynamisch
- dynamisch

Bei den statischen Gleichgewichtsmodellen werden lediglich ein oder mehrere unverknüpfte Zeitpunkte abgebildet. Die endogenen Variablen bestimmen sich aus den Gleichgewichtsbedingungen. Die anderen Variablen werden für die benötigten Zeitpunkte exogen festgelegt.

In quasi-dynamischen Gleichgewichtsmodellen gibt es eine wechselseitige Kopplung zwischen den endogen aus Gleichgewichtsbedingungen bestimmten Variablen und anderen Variablen. So kann z. B. Kapital in die Gleichgewichtsbedingungen einfließen. Mit den Gleichgewichtsbedingungen werden dann die Investitionen bestimmt. Und die Investitionen verändern das Kapital in der nächsten Zeitperiode. Insgesamt handelt es sich dabei um einen rekursiven Vorgang³². GEM-E3³³ gehört z. B. zu diesen quasi-dynamischen Modellen.

In den dynamischen Gleichgewichtsmodellen haben die Wirtschaftsakteure Voraussicht über einen längeren Zeitraum und beziehen dies in ihre Entscheidungen ein. In diesem Fall wird das Optimum über mehrere Zeitpunkte³⁴ oder sogar eine unendliche Zeitperiode³⁵ bestimmt.

Es ist allerdings zu bemerken, dass in der Gleichgewichtsmodellierung die Dynamik anders verstanden wird, als in System Dynamics. In System Dynamics bedeutet „dynamisch“, dass die endogenen Variablen sich im allgemeinen aus Vergangenheitsdaten anderer Variablen berechnen (rekursiv). In der Gleichgewichtsmodellierung bedeutet dynamisch, dass Variablen über Gleichgewichtsbedingungen, die sich über mehrere zukünftige Zeitpunkte erstrecken, berechnet werden.

³¹ vgl. Ojha (2004), S. 6

³² vgl. Ojha (2004), S. 6

³³ GEM-E3 steht für „General Equilibrium Model for Energy-Economy-Environment“ und wird am Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (Mannheim) entwickelt. Vgl. Capros et al. (1997)

³⁴ Boeters et al. dokumentieren ein dynamisches Gleichgewichtsmodell, das jeweils das Gleichgewicht für fünf Jahre bestimmt. Vgl. Boeters et al. (2003), S. 6

³⁵ Als dynamische Gleichgewichtsmodellierung sind auch die Modelle zu bezeichnen, die mit „overlapping generations“ arbeiten. Hier wird das Gleichgewicht nicht mehr innerhalb einer einzigen Zeitperiode berechnet, sondern zwischen mehreren, die sich überlappen. Konkret sieht dies zum Beispiel so aus, dass das Einkommen eines Haushaltes mit dem Konsum gleichgesetzt wird, der zu einem Teil in derselben Zeitperiode und zum anderen Teil in der darauf folgenden Zeitperiode getätigt wird. Diese Konstruktion ermöglicht es, ein Gleichgewicht über mehrere Zeitperioden auszuweiten. Vgl. Borglin (2004), S. 221

4.2.3 Neuere Entwicklungen der Gleichgewichtsmodellierung

In der Gleichgewichtsmodellierung gibt es eine Reihe von neueren Entwicklungen, die sich mit den Unvollkommenheiten der Modellierung und den Erweiterungsmöglichkeiten beschäftigen. Zu den wesentlichen Entwicklungen zählen darunter:

- die Berücksichtigung unvollkommener Märkte,
- die Verwendung von empirischen Beobachtungen und
- die Disaggregation.

Gleichgewichtsmodelle beruhen im allgemeinen auf der Annahme von vollkommenen Märkten. Unter dieser Annahme machen die Unternehmen keinen Gewinn, da bei vollkommener Konkurrenz andere Unternehmer in den Markt eintreten und zu günstigeren Preisen ihre Produkte anbieten würden. Um die Gleichgewichtsmodelle in diesem Punkt realitätsnäher zu gestalten, wird hier auf eine methodische Erweiterung von Dixit&Stiglitz zurückgegriffen³⁶. Im Kern berücksichtigt sie steigende Skalenerträge. Damit kann Gütern ein monopolistischer Anteil zugewiesen werden, der es wiederum den Unternehmen ermöglicht, Gewinne zu machen³⁷.

In manchen Gleichgewichtsmodellen werden zusätzlich „Stilisierte Fakten“ mitverwendet³⁸. Diese „Stilisierte Fakten“ liefern z. B. Informationen, die aus Vergangenheitsbeobachtungen resultieren. So verwendet Böhringer eine Lohnkurve, die aus der Empirie abgeleitet wird, der aber eine mikroökonomische Fundierung fehlt³⁹.

Weiter kann man erkennen, dass die Gleichgewichtsmodellierung stärker disaggregiert. Dies betrifft bspw. die Gliederung in volkswirtschaftliche Sektoren und die Disaggregation der Haushalte⁴⁰. Ein weiterer Zweig beschäftigt sich mit der regionalen Disaggregation, die im wesentlichen auf Arbeiten von Krugmann aufbauen⁴¹.

4.2.4 Implementation von Gleichgewichtsmodellen

Ein wesentlicher Bestandteil bei der Implementation ist die Bestimmung der Parameter. Hier steht man wie auch in System Dynamics vor Problemen bei der ökonometrischen Schätzung eines Gleichungssystems mit nicht-linearen Gleichungen. Greift man auf unverbundene Schätzungen zurück, sind dagegen die Abhängigkeiten zwischen den Gleichungen nicht berücksichtigt. Daher wird hier die Kalibration verwendet⁴².

Die Kalibration von Gleichgewichtsmodellen steht oft vor dem Problem, dass für die gewünschten Daten keine getrennten Preis- und Mengenangaben vorhanden sind. Zumeist weisen Statistiken nur die bewerteten Güterströme (Konsumausgaben in einem Sektor) aus. Da in den Gleichgewichtsmodellen die relativen Preise wichtig sind, wird hier jeweils ein Preis von eins angenommen und der bewertete Güterstrom als Menge angesehen.

Ein solcherart bestimmter Ausgangsdatensatz dient dazu, die rechnerische Korrektheit eines Modells zu prüfen. Ob die dahinter liegende ökonomische Theorie korrekt ist, darüber lässt sich mit Hilfe des Ausgangsdatensatzes keine Aussage machen. Daher sollten mit den

³⁶ vgl. Dixit, Stiglitz (1977)

³⁷ Beispiele hierzu finden sich in Bröcker (2001).

³⁸ vgl. Manne, Rutherford (1991), S. 54. Hier wird die Kapitalrendite aus der Vergangenheit fortgeschrieben.

³⁹ vgl. Böhringer et al. (2004), S. 2. Das neoklassisch orientierte Gleichgewichtsmodell weicht durch die Vorgabe einer empirischen Lohnkurve von einem vollkommenen Markt ab. Das ist bemerkenswert, weil Sargent (Sargent (1994), S. 47) genau darin den Hauptunterschied zwischen neoklassischen und keynesianischen Modellen sieht. Nach Sargent können keynesianische Modelle durch Gleichgewichte mit Ausnahme des Arbeitsmarktes dargestellt werden.

⁴⁰ Robinson (2004) erklärt die Disaggregation zur Hauptaufgabe der Gleichgewichtsmodellierung.

⁴¹ vgl. Oosterhaven, Elhorst (2003), S. 6

⁴² vgl. Böhringer, Wiegard (2002), S. 7

Modellen Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden, um die Plausibilität der Modellwirkungen zu prüfen⁴³.

Mathematisch betrachtet besteht ein Gleichgewichtsmodell aus einer Menge von linearen und nicht-linearen Gleichungen. Diese werden in einer Matrix zusammengeführt und mit Hilfe von Matrizenrechnungen aufgelöst. Wichtig ist dabei, dass die Anzahl der ökonomischen Gleichungen mit der Anzahl der unbekanntenen Variablen übereinstimmt, und keine identischen Gleichungen im Gleichungssystem auftreten⁴⁴. Nach dem Gesetz von Walras befindet sich der n-te Markt im Gleichgewicht, wenn sich die Märkte 1 bis n-1 im Gleichgewicht befinden. Dies ermöglicht es, auf eine Gleichgewichtsbedingung zu verzichten und eine endogene Variable als Numeraire (auf 1 zu setzen) zu verwenden⁴⁵.

Allerdings sind nur sehr vereinfachte Gleichgewichtsmodelle analytisch lösbar. Deren Erkenntnisgewinn ist dann allerdings zu gering. Daher greift man auf numerische Lösungsverfahren zurück, mit Hilfe derer auch komplexere Gleichgewichtsmodelle lösbar sind⁴⁶.

Die ersten linearen Gleichgewichtssysteme wurden mit Hilfe der Linearen Programmierung bestimmt. Im Zuge der Weiterentwicklung wurde es notwendig, nicht-lineare Gleichungssysteme zu lösen. Hier stehen eine Reihe von modernen Werkzeugen wie GAMS⁴⁷ zur Verfügung⁴⁸.

4.2.5 Bewertung von Gleichgewichtsmodellen

Die Kritik an den Gleichgewichtsmodellen lässt sich in zwei Gruppen einteilen. Die eine betrachtet die Schwächen, die sich aus der Modellierung ergeben, die andere die neoklassischen Grundannahmen an sich. So führt z. B. Stocker⁴⁹ als Argumente gegen die Gleichgewichtsmodellierung jene Gründe, die auch für Marktversagen sprechen:

Tabelle 4-1: Gründe für Marktversagen⁵⁰

Steigende Skalenerträge	Steigende Skalenerträge bewirken, dass die Durchschnittskosten niedriger als die Grenzkosten liegen. Im Gleichgewichtspunkt entsprechen die Grenzkosten dem Marktpreis. Das heißt die Unternehmer machen Verlust ⁵¹ .
Externe Effekte	Externe Effekte, die zu suboptimalen Gleichgewichten führen, bleiben unberücksichtigt.
Öffentliche Güter	Öffentliche Güter schließen andere nicht von deren Nutzung aus. Deshalb führt hier eine steigende Nachfrage nicht zu steigenden Preisen und es kommt zur Fehlallokation.
Einkommensverteilung	Die primäre Einkommensverteilung wird durch staatliche Eingriffe verändert, um allzu starke Einkommensunterschiede zu vermeiden. Dies führt ebenfalls zu Effizienzverlusten.
Stabilisierungspolitik	Von manchen Ökonomen wird prinzipiell angenommen, dass die privaten Sektoren instabil sind. Aus diesem Grund müsste zur Effizienzsteigerung eine Stabilisierungspolitik einen Ausgleich schaffen.

Der Mangel an Realitätsnähe von Gleichgewichtsmodellen wird auch von Bröcker⁵² angesprochen. Die Modellierung unter diesen Annahmen erscheine dennoch sinnvoll, weil sie

⁴³ vgl. Böhringer, Wiegard (2002), S. 8

⁴⁴ vgl. Stocker (2001), S. 7

⁴⁵ vgl. Varian (2004), S. 25

⁴⁶ vgl. Böhringer, Wiegard (2002), S. 6

⁴⁷ General Algebraic Modelling System (GAMS)

⁴⁸ vgl. Rutherford (2002)

⁴⁹ Stocker (2001)

⁵⁰ vgl. Stocker (2001), S. 13; Stiglitz (1999), S. 385ff

⁵¹ Das Problem der steigenden Skalenerträgen wird mit Gütern des Dixit-Stiglitz-Typs behandelt (siehe Kapitel 4.2.3).

⁵² vgl. Bröcker (2001), S. 5

eine einfache Abbildung der theoretischen Funktionsweise eines Marktes darstellt. Diese Art der Modellierung habe den Vorteil, auf einem theoretisch konsistenten Rahmen zu beruhen und böten mehr Möglichkeiten, wirtschaftliche Zusammenhänge zu untersuchen.

Dieser Aussage ist insofern zu widersprechen, als dass die Übertragbarkeit der so gewonnenen Erkenntnisse nicht gegeben sein muss. Man müsste zumindest grob abschätzen, wie sich ein durch ein Gleichgewichtsmodell bestimmtes Ergebnis ändern könnte, wenn bspw. in einer Volkswirtschaft Arbeitslosigkeit existiert oder die Märkte nicht geräumt werden.

Bei der Validierung von Gleichgewichtsmodellen ergeben sich eine Reihe von Problemen. Die mit Hilfe eines Modells erzeugten Ergebnisse können in Größe und Vorzeichen stark von der funktionalen Form und den Parametern abhängen. Ein Weg, die Bedeutung der Ergebnisse zu erfassen, besteht im Analysieren der Modellstruktur. Daher ist es notwendig, die zu Grunde liegenden Hypothesen von Gleichgewichtsmodellen offen zu legen⁵³.

Erschwerend für das Verständnis wirkt sich die mangelnde Transparenz von Gleichgewichtsmodellen aus. Die Variablen sind immer eng mit vielen anderen Variablen verknüpft und bestimmen sich meist über mehrere verknüpfte Gleichgewichtsbedingungen. Die Interpretation wird auch dadurch erschwert, dass im allgemeinen keine zeitlichen Kurvenverläufe für Variablen angegeben werden können. Daher kann man das Ergebnis nicht untersuchen, indem man sich von Variable zu Variable hangelt.

4.3 Vergleich von Ökonometrie, Gleichgewichtsmodellierung und System Dynamics

Der Unterschied zwischen Ökonometrie und System Dynamics wurde in einigen wissenschaftlichen Arbeiten schon untersucht. So findet sich bei Sommer⁵⁴ eine Übersicht über wesentliche Unterschiedsmerkmale, die verschiedene Wissenschaftler herausgearbeitet haben.

Die Anzahl der Publikationen zum Vergleich zwischen Gleichgewichtsmodellierung und System Dynamics ist dagegen nicht so umfangreich. Lediglich Meadows vergleicht ‚Optimization‘ – den Vorläufer der Gleichgewichtsmodellierung – mit System Dynamics⁵⁵.

Um den Methodenvergleich aus dem Blickwinkel von System Dynamics durchzuführen, wird hier der Weg gewählt, jeweils ein Modell in System Dynamics zu integrieren. Dies gibt Aufschluss über die Unterschiede, zeigt aber auch, wie die anderen Methoden zur Fortentwicklung und Fundierung von System Dynamics beitragen können.

4.3.1 Integration von Ökonometrie in System Dynamics

Inhaltlich kann die in der Ökonometrie vorausgesetzte ceteris-paribus-Annahme ein Problem darstellen. Werden Ergebnisse aus ökonometrischen Parameterschätzungen in ein System Dynamics Modell integriert, hat unter Umständen eine als konstant angesehene Variable doch einen Einfluss auf eine endogene Variable. Zum Beispiel kann eine Elastizität zwischen Preis und Pkw-Besitzrate in einem System Dynamics Modell nicht einfach übernommen werden. Der Preis kann nämlich seinerseits Einfluss auf die Straßenbelastung haben, welche die Kaufentscheidung beeinflusst. In diesem Fall hat man direkte Effekte eines höheren Preises auf die Pkw-Besitzrate und indirekte Effekte, die möglicherweise zeitverzögert kompensierend wirken. Hier muss dann die Elastizität durch ihre Gesamtwirkung geschätzt werden.

Ergebnisse können ohne Änderung übernommen werden, wenn eine Gleichung vollständig durch die exogenen Variablen erklärt wird, und keine weiteren Einflüsse vorliegen. Dieser

⁵³ vgl. Böhringer, Wiegard (2002), S. 2

⁵⁴ vgl. Sommer (1978), S. 268

⁵⁵ vgl. Meadows, Robinson (1985), S. 64ff

Berechnung der Geld- und Preiszusammenhänge. Diese wirken dämpfend auf das Gesamtsystem.

Insgesamt zeigt sich, dass ökonometrische Modelle sich ebenfalls durch Rückkopplungen – zumeist positiven - auszeichnen. Diese werden jedoch nicht beim Modellaufbau als zentrales Element berücksichtigt, sondern ergeben sich implizit bei der Zusammensetzung eines Mehrgleichungsmodells aus seinen Einzelgleichungen.

Die geringe Anzahl an Rückkopplungen zeigt sich auch an anderen Modellen wie E3ME⁵⁹, dessen makroökonomisches Teilmodell aus drei Rückkopplungen besteht⁶⁰. Die niedrige Zahl der Rückkopplungen ist eng mit der Anforderung nach statistischer Sicherheit verbunden. Die statistische Sicherheit steigt an, wenn man sich auf die wesentlichen Variablen konzentriert. Schwächere Zusammenhänge zwischen Variablen lassen sich mit statistischen Verfahren nicht begründen und fallen daher weg. Daher enthält ein ökonometrisches Modell weniger Beziehungspfeile und Rückkopplungen als ein systemdynamisches Modell.

Vor allem eine niedrige Anzahl von negativen Rückkopplungen ist problematisch, da diese ein System dämpfen. Fehlen diese Rückkopplungen, so würden über einen längeren Zeitraum die Kurven exponentiell verlaufen. Im Modell der Bundesbank wird dies bspw. vermieden, indem ein Fehlerkorrekturterm verwendet wird, der Abweichungen der Modelldaten vom langfristigen Optimum vergleicht und im nächsten Rechenvorgang mitberücksichtigt⁶¹.

Auffällig an dem Modell ist auch die geringe Zahl an Zustandsvariablen. Auf der Angebots- und Nachfrageseite wird lediglich das Kapital als Zustand angesehen. In den Teilmodellen Geld und Preise finden sich weitere Zustände. Dies ist damit begründet, dass es dort einige Raten, wie Inflationsrate und erwartete Inflationsrate gibt. Um das Preisniveau und das erwartete Preisniveau zu berechnen, werden diese integriert.

4.3.2 Integration von Gleichgewichtsmodellen in System Dynamics

Im nächsten Abschnitt wird exemplarisch ein Gleichgewichtsmodell in Vensim implementiert.

Mathematisch stellt sich die Frage, wie Gleichgewichtsbedingungen in System Dynamics umgesetzt werden können. Vensim bietet die Möglichkeit, Gleichungen als Simultangleichungen zu kennzeichnen. Die Simultangleichungen werden ohne Zeitverzögerung (kein dt) mit einem iterativen Prozess berechnet. Nötig ist zusätzlich die Angabe von Startwerten für die Simultangleichungen⁶².

Ein Gleichgewichtssystem auf einem beliebigen Markt lässt sich wie folgt beschreiben:

$$x_A = f(p) \tag{4.2}$$

$$x_N = g(p) \tag{4.3}$$

$$x_A = x_N \tag{4.4}$$

Vensim benötigt für die Eingabe der Gleichung folgende Umformulierung:

$$x_A = f(p) \tag{4.5}$$

$$x_N = x_A \tag{4.6}$$

$$p = g^{-1}(x_N) \tag{4.7}$$

⁵⁹ E3ME steht für „Energy-Environment-Economy Model for Europe“ und wird von Cambridge Econometrics entwickelt.

⁶⁰ vgl. Barker et al. (1999), S. 3-4. In E3ME gibt es eine Rückkopplung für die Investitionen, eine für den Konsum und eine für den Außenhandel. In anderen Teilmodellen und über die Schnittstellen gibt es natürlich weitere Rückkopplungen.

⁶¹ siehe Kapitel 4.1

⁶² vgl. Ventana Systems(1999), S. 54

Eine der drei Gleichungen muss als Simultangleichung gekennzeichnet werden.

Mit Hilfe dieser Methode lassen sich auch vollständige Gleichgewichtsmodelle aufbauen. Als Beispiel wird im folgenden ein einfaches $2 \times 2 \times 1$ Gleichgewichtsmodell in Vensim implementiert⁶³. Das Modell besteht aus zwei Unternehmen (U_1, U_2), die zwei verschiedene Produkte (y_1, y_2) herstellen, sowie einem repräsentativen Haushalt. Auf der Nachfrageseite optimieren die Haushalte ihren Nutzen U :

$$\max_{y_1, y_2} U(y_1, y_2) \quad (4.8)$$

$$\text{unter der NB } m = p_1 y_1 + p_2 y_2 \quad (4.9)$$

$$\text{mit: } p_1: \text{ Preis des Produkts } y_1 \\ p_2: \text{ Preis des Produkts } y_2$$

Mit Hilfe einer Lagrangefunktion werden die partiellen Ableitung bestimmt. Aus diesen ergeben sich folgende Nachfragefunktionen:

$$y_1^d = y_1(p_1, p_2, m) \quad (4.10)$$

$$y_2^d = y_2(p_1, p_2, m) \quad (4.11)$$

Die Unternehmen versuchen kostenminimierend in Abhängigkeit der Kostenfunktion C zu produzieren. Es wird angenommen, dass es zwei Inputfaktoren (x_1^i und x_2^i) gibt. Daraus kann man folgendes für die Nachfrage nach Inputfaktoren ableiten:

$$\min_{x_1^i, x_2^i} C^i = w_1 x_1^i + w_2 x_2^i \quad (4.12)$$

$$\text{unter der NB } y^i = y(x_1^i, x_2^i) \quad (4.13)$$

$$\text{mit: } w_1: \text{ Faktorkosten der Inputfaktoren } x_1^i \\ w_2: \text{ Faktorkosten der Inputfaktoren } x_2^i$$

Aus der Bestimmung der partiellen Ableitung der Lagrangefunktion ergeben sich folgende Faktornachfragefunktionen:

$$x_1^i = x_1(w_1, w_2, y^i) \quad (4.14)$$

$$x_2^i = x_2(w_1, w_2, y^i) \quad (4.15)$$

Die Produktionsmenge, zu der ein maximaler Gewinn erzielt werden kann, ergibt sich aus:

$$\max_{y_i} \pi^i = p_i y_i - C^i(w_1, w_2, y_i) \quad (4.16)$$

Daraus erhält man die Angebotsfunktion für die beiden Güter:

$$y_i^s = y_i(p_i, w_1, w_2) \quad (4.17)$$

Das Haushaltseinkommen entspricht der Summe aus Einkommen und Gewinnen (π_1, π_2):

$$m = w_1(x_1^{1*} + x_1^{2*}) + w_2(x_2^{1*} + x_2^{2*}) + \pi_1 + \pi_2 \quad (4.18)$$

Schließlich wird für die Märkte ein Gleichgewicht angenommen. Für die Gütermärkte bedeutet dies:

$$y_1^s = y_1^d \quad (4.19)$$

$$y_2^s = y_2^d \quad (4.20)$$

Und auf den Faktormärkten gilt:

$$x_1^{\text{tot}} = x_1^{1,d} + x_1^{2,d} \quad (4.21)$$

$$x_2^{\text{tot}} = x_2^{1,d} + x_2^{2,d} \quad (4.22)$$

⁶³ Das Beispiel stammt aus Stocker (2001), S. 2ff. Es wird auch in Varian (Varian (2004), S. 20ff u. S. 25 u. S. 57ff u. S. 369ff u. S. 414f) in Einzelabschnitten beschrieben. Nähere Erläuterung siehe Anhang C.

Insgesamt gibt es 15 Gleichungen und 15 endogene Variablen. Daher kann eine Variable auf eins gesetzt werden und gilt als Numeraire. Das Faktorangebot ist exogen.

In Vensim implementiert ergibt sich folgendes Modell:

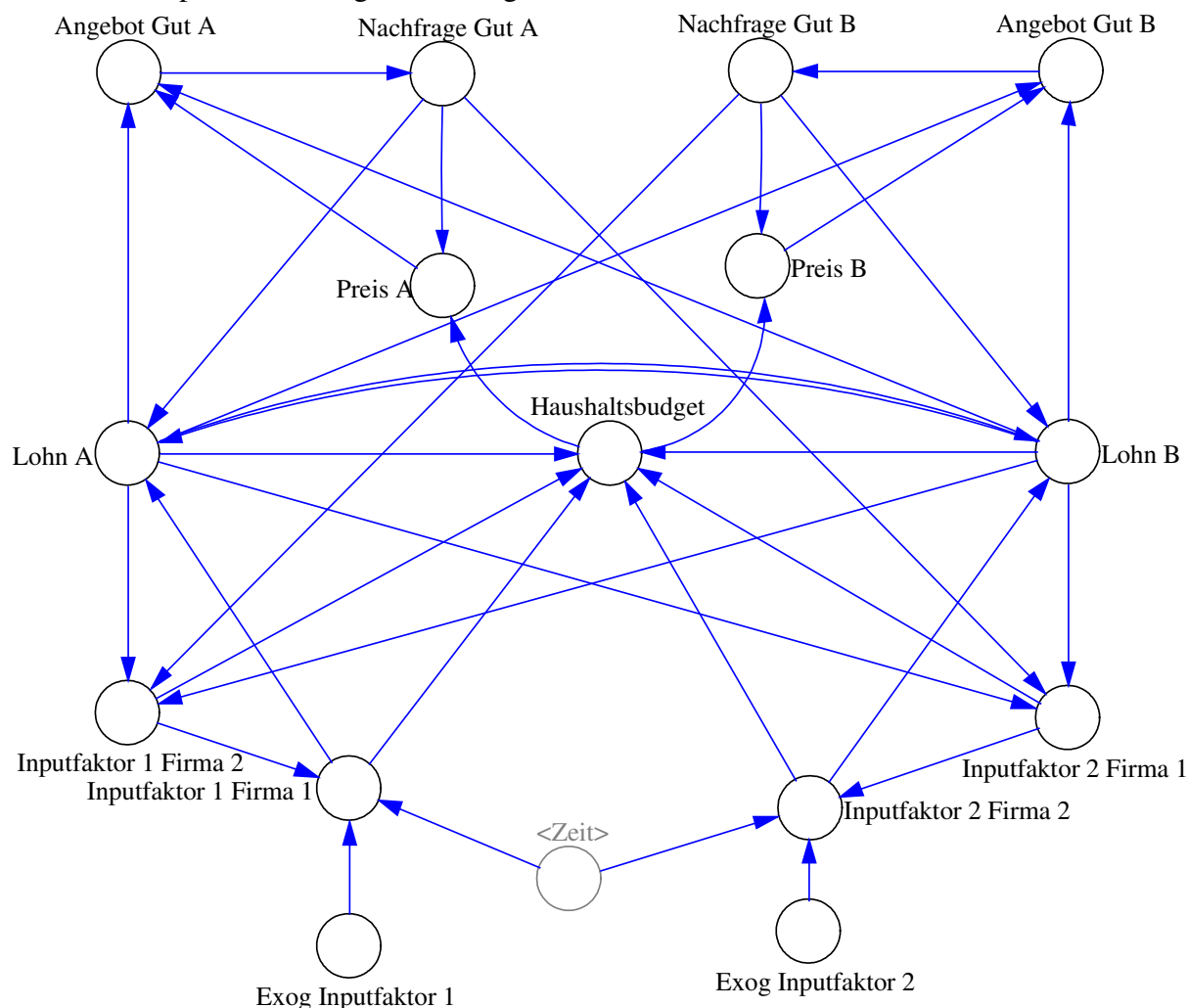


Abbildung 4-3: Abbildung eines statischen Gleichgewichtsmodells in Vensim

In Abbildung 4-3 ist zunächst die Vielzahl an Rückkopplungen deutlich erkennbar. Es zeigt sich, dass jeder einzelne Markt als negative Rückkopplung beschrieben werden kann. Da Gleichgewichtsmodelle aus einer Reihe von Partialmärkten bestehen, existieren in einem Gleichgewichtsmodell zwangsläufig viele negative Rückkopplungen. Daher kommt das System in diesen Märkten zum Gleichgewicht. Diese finden durch die Simultangleichungen sogar zum selben Zeitpunkt statt.

Zustandsvariablen fehlen in diesem Beispiel. Generell können nur die nicht durch Gleichgewichtsbedingungen bestimmten Variablen aus Vergangenheitsdaten abgeleitet und auch als Zustandsvariablen dargestellt werden.

Bezogen auf System Dynamics zeigt das Beispiel, dass sich Gleichgewichtsmodelle auch prinzipiell mit Vensim modellieren lassen. Es fehlen allerdings Elemente, die man generell auch in System Dynamics Modellen erwarten würde, wie positive Rückkopplungen und Zustandsgrößen.

Das Modell in Abbildung 4-3 ist statisch. Durch geringfügige Modifikationen lassen sich auch quasi-dynamische Gleichgewichtsmodelle bilden (Abbildung 4-4). Dies kann dadurch geschehen, dass bspw. eine Erhöhung der Arbeitskosten durch Steuern implementiert wird.

Mit der Erhöhung der Arbeitskosten geht eine Veränderung des Budgets (weil die Steuer abgezogen wird) und der Produktumsätze einher.

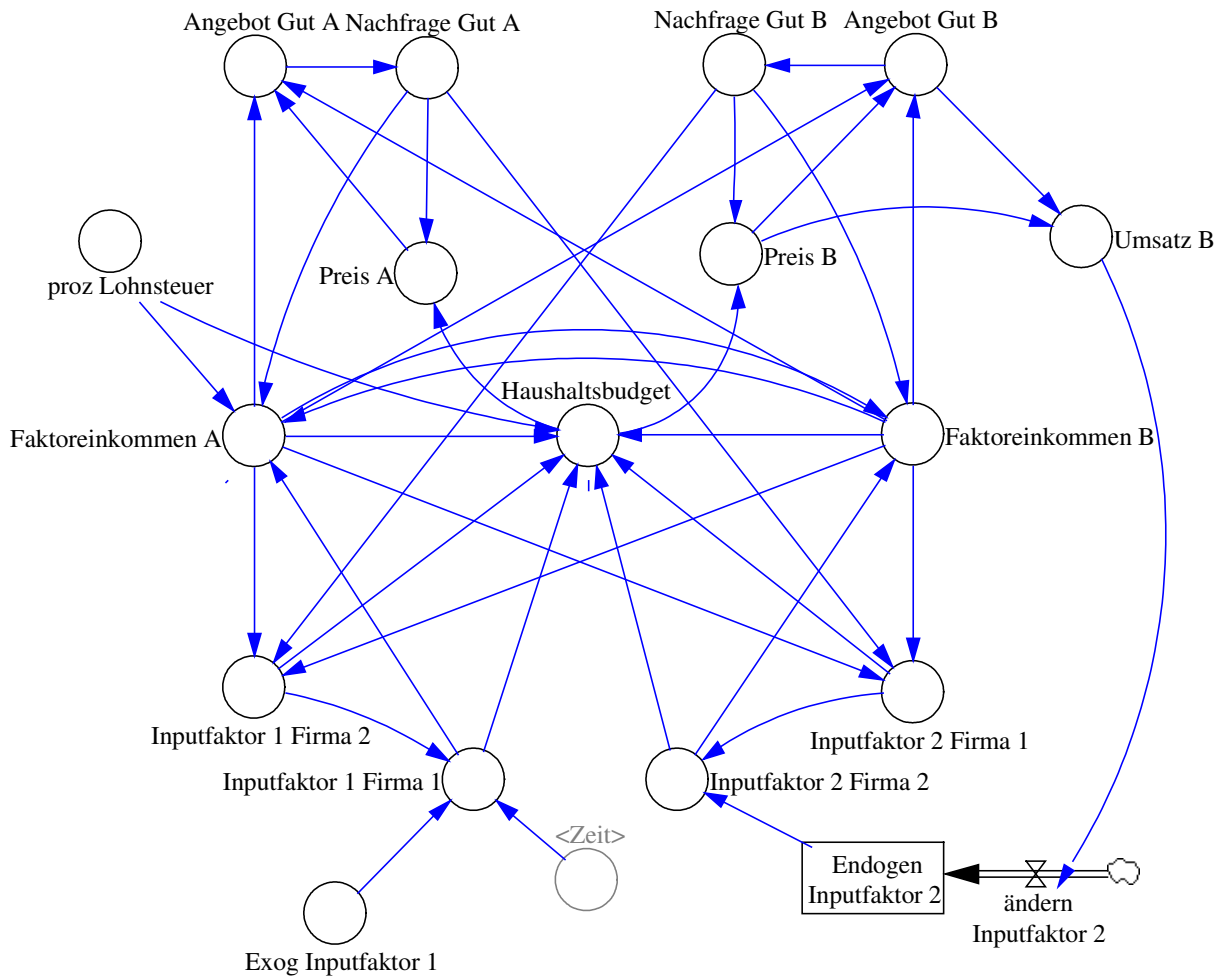


Abbildung 4-4: Abbildung eines quasi-dynamischen Gleichgewichtsmodells in Vensim

Es sei nun der Inputfaktor 2 das Kapital und dessen Veränderung die Investitionen. Man kann nun annehmen, dass die Investitionen und damit das Kapital sich aufgrund der erhöhten Umsätze ändert. Dadurch wird das Kapital endogenisiert und hat einen Einfluss auf die Gleichgewichtsbestimmung innerhalb der Folgeperioden.

In Abbildung 4-5 sind die Ergebnisse einer solchen Simulation zu sehen. Nach einer kurzen Einschwingphase stellt sich ein stabiles Gleichgewicht ein. Wegen dieses Einschwingprozesses muss das Rechenzeitintervall dt sehr klein gesetzt werden. In Periode drei findet dann die Steuererhöhung statt. Die Variablen des simultanen Gleichungssystems passen sich sofort an. Die Zustandsvariable Kapital erreicht erst nach einer gewissen Zeitspanne einen neuen Gleichgewichtswert.

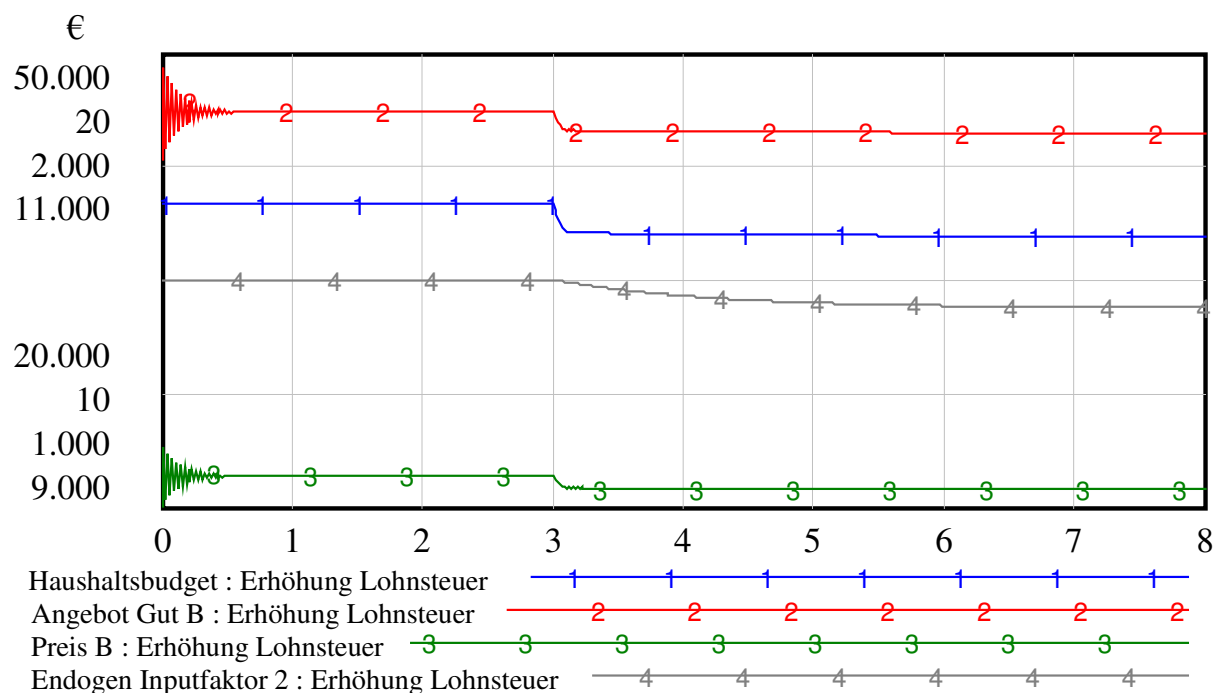


Abbildung 4-5: Schematischer Verlauf einer Lohnsteuererhöhung im quasi-dynamischen Modell

Im Ergebnis zeigt sich, dass man durch Rückkopplungen außerhalb des simultan zu lösenden Gleichungssystems und durch Zustandsvariablen die Gleichgewichtsmodelle zumindest von der technischen Seite systemdynamisch erweitern kann. Dadurch könnte man im Endeffekt Gleichgewichtsmodelle als nahezu abgeschlossene Partialmodelle in System Dynamics einbauen.

4.4 Zusammenfassender Vergleich

Aus Tabelle 4-2 ergeben sich die Unterschiede und Übereinstimmungen der drei betrachteten Methoden. Da die Ökonometrie auf statistischen Verfahren beruht, ist sie bei der Modellentwicklung eingeschränkt. Dies zeigt sich bei den Rückkopplungen, den linearen Gleichungen und der Parametrisierung. Durch diese Einschränkungen gehen viele Informationen, mit denen Systeme beschrieben werden können, verloren.

Die Gleichgewichtsmodellierung und System Dynamics bieten hier mehr Möglichkeiten. Die Verwendung nicht-linearer Gleichungen, die Vielzahl an Rückkopplungen und die Freiheitsgrade bei der Parametrisierung lassen eine differenziertere Systemabbildung zu.

Generell zeigt sich, dass die rechentechnischen Möglichkeiten der drei Methoden sich annähern. Anzeichen hierfür finden sich bei ökonometrischen Modellen, die langfristige Zusammenhänge durch Kointegration abbilden. Die Gleichgewichtsmodelle entwickeln sich weiter durch die Dynamisierung, die Verwendung von empirischen Beobachtungen und die Implementation imperfekter Märkte. In System Dynamics wurde die Möglichkeit zur Fundierung verbessert. Dies geschieht mit erweiterten Möglichkeiten bei der Kalibration und der Parameterschätzung sowie durch die Simultangleichungen. Dennoch ist wohl anzunehmen, dass trotz Annäherung rechentechnische Unterschiede und die Schwerpunkte der einzelnen Methoden erhalten bleiben.

Tabelle 4-2: Vergleich zwischen Ökonometrie, Gleichgewichtsmodellierung und System Dynamics

Kriterium		Ökonometrie	Gleichgewichtsmodellierung	System Dynamics
Zeitliche Entwicklung		Dynamisch	Statisch Quasi-Dynamisch Dynamisch	Dynamisch
Rückkopplungen		Implizit Einige wenige Rückkopplungen (meist positiv)	Implizit Viele negative Rückkopplungen	Explizit Viele positive und negative Rückkopplungen
Zustandsvariablen		Vorhanden	Nur außerhalb der Gleichgewichtsbedingungen	Vorhanden
Modellgleichungen		Linear	Nicht-Linear	Nicht-Linear
Modellkonzeption	Kern	Ökonometrische Schätzung	Ökonomische Theorie	Rückkopplungen, Mentale Kreativität
	Weitere Elemente	Ökonomische Theorie A priori Annahmen	Ökonometrische Schätzung Ad hoc Parameterschätzung	Ökonomische Theorie Ökonometrische Schätzung
Parametrisierung		Ökonometrische Schätzung	Ökonometrische Schätzung als Ausgangswert Begründete Annahmen	Ökonometrische Schätzung als Ausgangswert Begründete Annahmen
Validierung		Ökonometrische Schätzung	Kalibration des Startjahres	Kalibration über längere Zeitabschnitte

Insgesamt weist Tabelle 4-2 darauf hin, dass die Unterschiede schließlich eher im inhaltlichen Bereich zu suchen sind. Hier hat System Dynamics mit der mentalen Kreativität den großen Vorteil der relativ starken Flexibilität. Des weiteren zwingt die Benutzung von System Dynamics den Anwender nicht dazu, sich einer exakten volkswirtschaftlichen Schule wie Neoklassik oder Keynes zuzuordnen. Durch die bewusste Festlegung auf mentale Kreativität bei der Erstellung von System Dynamics Modellen, können unterschiedliche System Dynamics Modellentwickler deutlich voneinander abweichende makroökonomische Modelle entwerfen. Auch definiert der Modellentwickler selbst, inwiefern statistische Verfahren ihre

Berücksichtigung finden und auf welcher theoretischen Basis das System Dynamics Modell entstehen soll.

Die Flexibilität enthält auch die Gefahr einer gewissen Beliebigkeit. System Dynamics Modelle können in stärkerem Maße die Vororientierung des Entwicklers abbilden. Daher muss man versuchen, eine gute Fundierung für ein Modell zu finden. Notwendig ist es also, eine Brücke zwischen gängiger ökonomischer Theorie und System Dynamics zu schlagen.

Zusammenfassend lässt sich damit auch ein Hinweis auf die eingangs gestellte Frage geben, für welche Anwendungsfälle, welche Methode die am besten geeignete ist. Die Ökonometrie erscheint genau dann als die richtige Methode, wenn man davon ausgehen kann, dass man die tatsächliche kausale Struktur eines Problems nicht ganz erfassen kann, man aber annehmen kann, dass diese Struktur innerhalb des Prognosezeitraums unverändert bleibt. Unter diesen Voraussetzungen ist es nämlich möglich, die aus Vergangenheitsdaten extrahierte mathematische Struktur auf einen zukünftigen Zeithorizont zu übertragen.

Da die Gleichgewichtsmodellierung im allgemeinen auf den neoklassischen Theoriegebäude beruht, eignet sie sich für Fragestellungen, in denen Markt- und Staatsversagen nicht als wesentliches Merkmal auftreten. Die Annahme eines Gleichgewichts erschwert es, zeitverzögerte und evolutorische Entwicklungen abzubilden. Daher eignet sich die Gleichgewichtsmodellierung eher für grundsätzlichere Betrachtungen (z. B. Liberalisierung vs. Verstaatlichung).

System Dynamics erscheint genau dann als die am besten geeignete, wenn das Systemverhalten stark von den übergeordneten Rückkopplungen und Zustandsgrößen abhängig ist. Auch für Fragestellungen, in denen der Zeitverlauf einer Entwicklung (z. B. Investitionszyklen) oder die Integration mit anderen Disziplinen von großer Bedeutung ist, eignet sich System Dynamics durch seinen flexiblen Ansatz.

5 System Dynamics und Makroökonomie

„... the more money and time is invested in the model the more valid it might become. At the same time it will also become more complex and thus more difficult to understand...“ J. Vennix¹

Während im Kapitel 4 System Dynamics mit anderen Methoden verglichen wurde und die Möglichkeit der Integration in System Dynamics untersucht wurde, stellt sich nun die Frage, welche ökonomische Theorie sich als Fundament für System Dynamics eignet.

Danach wird der Frage nachgegangen, wieweit die Bearbeitung makroökonomischer Fragestellungen in System Dynamics vorangeschritten ist. Dabei wird ein kurzer Überblick über den gegenwärtigen Stand quantitativer, makroökonomischer Modellierung anhand von drei Modellen gegeben.

Im Anschluß daran erfolgt die Darstellung eines einfachen keynesianisch-neoklassischen System Dynamics Modells, das auch als Grundlage für das umfassendere ESCOT dient.

5.1 Ökonomische Theorie und System Dynamics

5.1.1 Evolutorische Ökonomie und System Dynamics

Die Verbindung zwischen der Evolutorischen Ökonomie und System Dynamics liegt nahe. Evolutorische Ökonomie lässt sich durch das Auftreten einer oder mehrerer Charakteristika beschreiben²:

- Pfadabhängigkeit
- Vielfach-Gleichgewichte
- Selbstorganisation
- Chaotisches Systemverhalten

Diese Kennzeichen finden sich auch weitgehend in systemdynamischen Ansätzen. Mit der Verwendung von Zustandsvariablen ist die Pfadabhängigkeit eines Systems automatisch enthalten. Dies ermöglicht es auch, irreversible Prozesse oder Hysterese abzubilden.

Gleichgewichte bei Zustandsvariablen entstehen, wenn deren Zu- und Abflüsse den gleichen Wert haben. Diese Situation kann für verschiedene Zustandsvariablen zeitversetzt oder sogar zur gleichen Zeit auftreten. Durch andere Systemvariablen können die Zu- und Abflüsse geändert und damit die Zustandsvariable aus dem Gleichgewicht gebracht werden.

Kennzeichen von selbstorganisierten Systemen ist, dass sie sich selbständig auf bestimmte Zielwerte hinbewegen. Dabei treten immer wieder Abweichungen durch Störeinflüsse auf, die ausgeglichen werden. Aber es können sich auch die Ziele selbst verändern. Die negativen Rückkopplungen sind ein Baustein, mit dem diese selbstorganisierten Prozesse beschrieben werden können.

Chaotisches Verhalten kann sich durch die Verwendung von nicht-linearen Gleichungen und durch die Rückkopplungen ergeben. Beides kann zu spontanen, sprunghaften Entwicklungen im System führen. Erratische Bewegungen und Oszillationen, deren Amplituden und Frequenzen sich permanent ändern, können damit modelliert werden³.

¹ Vennix (1996), S. 89. Die Überlegungen von Vennix beruhen auf einer Interpretation des Bonini-Paradoxons (siehe Kapitel 3.5).

² vgl. Radzicki, Sterman (1994), S. 64

³ vgl. Bossel (1994), S. 338ff

Die Gründer der evolutorischen Ökonomie wie Schumpeter⁴ haben es nicht vermocht ihre Gedanken vollständig in ein mathematisches Gerüst zu wandeln. Dies führte zu der Schlussfolgerung, dass evolutorische Ideen generell nicht mathematisch zu formulieren sind. Hier zeigt sich jedoch, dass System Dynamics Modelle neben Nelson/Winter⁵-Modellen und anderen einen Beitrag leisten kann, evolutorische Prozesse mit mathematischen Modellen nachzuvollziehen⁶.

5.1.2 Keynes in System Dynamics

Eine weiteres Gedankengebäude, welches als ökonomische Fundierung von System Dynamics dienen kann, sind die Arbeiten von Keynes. Zwischen den Aussagen von Keynes und der evolutorischen Ökonomie gibt es einige Überschneidungen. Eine Verbindung von Keynes zu Schumpeter wird von Goodwin aufgezeigt⁷.

So geht Keynes u. a. ebenfalls von Selbstorganisation, von Pfadabhängigkeit, chaotischem Verhalten und Marktungleichgewichten aus. Nach Keynes gibt es nicht auf allen Märkten stabile Gleichgewichte. Auf dem Gütermarkt befinden sich zwar ex-ante das Angebot mit der erwarteten Nachfrage in Übereinstimmung, ex-post kann jedoch die tatsächliche Nachfrage davon abweichen. Durch die Abweichung der tatsächlichen Nachfrage von der geplanten entstehen Rückkopplungen und Wirtschaftsakteure ändern ihre Verhaltensweisen. Aus diesen Vorgängen entstehen dynamische Anpassungsvorgänge, die auch als Selbstorganisation aufgefasst werden können⁸.

Die Pfadabhängigkeit ist in diesem Vorgang ebenfalls implizit enthalten. Die vergangenen Handlungen der Wirtschaftsakteure führen zu neuen Marktzuständen, die wiederum neue Handlungen hervorrufen. Auch Multiplikatoreffekte, bei denen z. B. das Investitionsniveau von der vergangenen Endnachfrage abhängt, sind eindeutig pfadabhängig.

Gleichwohl sich die Wirtschaftsakteure rational verhalten, können nach Keynes Phänomene wie die Liquiditätsfalle entstehen. Die Liquiditätsfalle kann durchaus als chaotisches Verhalten aufgefasst werden

Insgesamt lässt sich also sagen, dass die keynesianische Wirtschaftstheorie sich für systemdynamische Modelle eignet.

5.1.3 Neoklassik in System Dynamics

Nachdem bereits ein neoklassisches Modell in System Dynamics gezeigt wurde, stellt sich natürlich die Frage, ob die Neoklassik nicht ebenfalls als Fundierung dienen kann. Die Übereinstimmungen, die im Kapitel 4 gezeigt wurden, legen diesen Schluss nahe. Dennoch liegen einige Grundannahmen der Neoklassik, wie stabile Gleichgewichte, Zeitlosigkeit etc. in starkem Kontrast zu dem systemdynamischen Ansatz. Der zusätzliche wissenschaftliche Erkenntnisgewinn ein neoklassisches Modell systemdynamisch abzubilden wäre daher marginal.

Interessant könnte es nur dann sein, wenn neoklassische Ansätze als kleine Teilmodelle in System Dynamics Modellen eingebettet werden. In dem Fall könnte das neoklassische Teilmodell das kurzfristige Optimierungsverhalten der Wirtschaftsakteure und das übergeordnete Modell die langfristige, dynamische Entwicklung abbilden.

⁴ Schumpeter (1908); Schumpeter (1942)

⁵ Nelson, Winter (1982)

⁶ vgl. Radzicki (1988), S. 658

⁷ vgl. Goodwin (1991), S. 29

⁸ vgl. Goodwin (1991), S. 30

5.2 Makroökonomische Modelle in System Dynamics

Inzwischen gibt es eine Vielzahl von System Dynamics Modellen, die sich makroökonomischen Fragestellungen widmen. Schon in der ersten großen System Dynamics Anwendung, dem Weltmodell des Club of Rome, kamen stark vereinfachte Abbildungen von Volkswirtschaften vor⁹.

Die meisten Modelle, die gesamte Volkswirtschaften abbilden, haben dennoch bestimmte Schwerpunkte. Das System Dynamics National Model, sowie in den Arbeiten von Nathan Forrester und Hirschhäuser legen den Schwerpunkt auf Konjunkturzyklen. Das Hauptgewicht auf Energie und Wirtschaft findet sich in REXS/DICE¹⁰/NICE¹¹-Modellen und auch im System Dynamics National Modell. Verkehr und Umwelt bilden den Kern in Modellen des IWW.

Daneben finden sich auch volkswirtschaftliche Teilmodelle, die nur bestimmte Problemfelder wie Beschäftigung oder Wirtschaftswachstum untersuchen.

Das Modell von Kuchenbecker enthält ein rudimentär entwickeltes Makromodell. Hier wird die Volkswirtschaft in Angebot und Nachfrage geteilt. Die Nachfrageseite teilt sich auf in Konsum, Investitionen, Export und Staatsverbrauch. Export und Staatsverbrauch werden exogen bestimmt. Konsum und Investitionen sind mit dem Verkehrssektor verbunden. Dabei bestimmt sich der Konsum in Abhängigkeit des Pkw-Kaufs und die Investitionen in Abhängigkeit des Lkw-Kaufs¹².

In das Modell ASTRA wurde die erste vollständige Version des Makromodells von ESCOT übertragen. Dieses Makromodell wurde anschließend stark erweitert, um die europäischen Volkswirtschaften abzubilden. Die Erweiterung schließt ein Export-/ Importmodell und die Abbildung des Staatshaushaltes mit ein. Da ASTRA in Grundzügen ESCOT entspricht, wird an dieser Stelle ASTRA nicht weiter beschrieben und auf die entsprechenden Publikationen verwiesen¹³.

Der Stand der makroökonomischen Modellierung in System Dynamics kann am besten am System Dynamics National Model, dem Modell von Nathan Forrester und Threshold 21 ausgemacht werden.

5.2.1 System Dynamics National Model

Die ökonomische Fundierung des Modells beruht deutlich auf der Evolutorischen Ökonomie. Als Grundpfeiler bei der Modellkonstruktion werden die Ableitung des Makroverhaltens von der Mikrostruktur, die Berücksichtigung von Ungleichgewichten und Bounded Rationality genannt¹⁴.

Das Ziel des Modells besteht darin, die Theorie der langen Wellen (Kondratieff) zu untermauern. Deswegen haben die Modelle einen Zeithorizont von 1800 bis 1984. Dabei soll gezeigt werden, dass die langen Wellen endogen aus den Systemstrukturen folgen.

Die Validierung des Modells erfolgt darüber, dass die Kurvenverläufe, die sich in der Vergangenheit beobachten ließen, per Augenmerk in etwa mit dem übereinstimmen, was das Modell berechnet.

⁹ vgl. Meadows et. al. (1972); vgl. Meadows et. al. (1974); vgl. Forrester (1967)

¹⁰ Nordhaus (1992)

¹¹ REXS steht für „Resource EXergy Services“, DICE für „Dynamic Integrated Climate Economy“, NICE für „aNother Integrated Climate Economy“.

¹² vgl. Kuchenbecker (2000), S. 118ff

¹³ Schade (W) (2004)

¹⁴ vgl. Sterman (1986), S. 87ff; Forrester (1989), S. 7

Die Philosophie des System Dynamics National Modell weicht ähnlich wie auch das Weltmodell extrem von der traditionellen Ökonomie ab. Ein vollständiges Umschalten wird in allen Teilbereichen und damit eine Neuinterpretation der Ökonomie wird angestrebt.

Die Arbeiten am System Dynamics National Model waren 1988 noch nicht vollständig abgeschlossen¹⁵ und wurden bis jetzt nicht publiziert, gleichwohl eine Veröffentlichung mindestens seit 1989 unmittelbar vorgesehen ist¹⁶. Es gibt nur eine geringe Anzahl an Publikationen, die vorläufige Modellergebnisse beschreiben¹⁷. Deswegen kann die Güte des Modells nicht abschließend bewertet werden.

5.2.2 Modell von Nathan Forrester

Ein weiteres Makromodell in System Dynamics ist das volkswirtschaftliche Modell von Nathan Forrester. Mit diesem Modell sollen mittelfristige Konjunkturzyklen mehr aus der keynesianischen Sicht beschrieben werden. Das Modell verzichtet auf eine Kalibration und erläutert nur die Phasen wesentlicher makroökonomischer Größen. Es beruht auf vier Teilmodellen¹⁸:

- Multiplikator-Akzelerator-Modell
- IS-LM –Modell
- Geldangebot und -nachfragemodell
- Lagerhaltungsmodell

Konsum beeinflusst den Output einer Volkswirtschaft, der wiederum einen Einfluss auf den Konsum nachfolgender Perioden hat. Diese positive Rückkopplung wird auch als Multiplikator bezeichnet. Die Investitionen hängen ebenfalls von dem Konsum ab. Zusammen bilden sie ebenfalls eine positive Rückkopplung, die als Akzelerator bezeichnet wird.

Das Multiplikator-Akzelerator-Schema wird in einigen Bereichen erweitert. Diese Erweiterung betreffen die Art der Zeitverzögerung, die Einführung von Erwartungen, der Produktionskapazität und des Arbeitsangebotes.

Vom Multiplikator-Akzelerator zum IS-LM Modell von Hicks ist es nur ein kleiner Schritt. Als wesentliche Variable wird der Zinssatz eingeführt, der die Höhe der Investitionen beeinflusst. Die Höhe des Zinssatzes wird im Geldmodell berechnet.

Im Geldmodell ermittelt sich das Preisniveau aus der Arbeitslosenrate. Danach wird die Gleichheit von Angebot, das aus der Geldmenge und dem Zinssatz bestimmt wird, und die Nachfrage, die sich aus dem Güterangebot und dem Preisniveau bestimmt, unterstellt. Aus der Gleichsetzung lässt sich der Zinssatz (IS-LM-Modell) berechnen, der anschließend die Höhe der Investitionen (Multiplikator-Akzelerator-Modell) maßgeblich beeinflusst.

Das Lagerhaltungsmodell fügt eine weitere dämpfende Rückkopplung hinzu. Die Höhe der Lager berechnet sich aus der Differenz zwischen Output und Endnachfrage, und hat einen negativen Einfluss auf die langfristig erwartete Nachfrage.

Die Simulationsläufe zeigen, dass in dem Modell zwei Wirtschaftszyklen auftreten:

- kurzfristige Konjunkturzyklen (4 Jahre)
- langfristige Wirtschaftszyklen (24 Jahre)

¹⁵ vgl. Radzicki (1988), S. 647

¹⁶ vgl. Forrester (1989), S. 3

¹⁷ Forrester (1980); Forrester (1989); Sterman (1981); Sterman (1986)

¹⁸ vgl. Forrester (N) (1982), S. 66ff

Der Konjunkturzyklus entsteht durch das Lagerhaltungsmodell, nicht jedoch aus dem Multiplikator-Akzelerator-Prozess. Der Multiplikator-Akzelerator-Prozess führt zu den langfristigen Wirtschaftszyklen. Preisniveau und Zinssätze haben eine dämpfende Wirkung auf die langfristigen Wirtschaftszyklen¹⁹.

Forrester analysiert mit Hilfe des Modells die Phasenverschiebungen der einzelnen Variablen. Daraus resultiert ein detaillierteres Bild über den Verlauf der Wirtschaftszyklen. In einem weiteren Schritt werden die Auswirkungen politischer Maßnahmen auf die beiden Wirtschaftszyklen untersucht²⁰. Die meisten politischen Maßnahmen haben eine dämpfende Wirkung auf die Konjunkturzyklen und verstärken damit die Amplitude der langfristigen Wirtschaftszyklen.

Insgesamt kann die Arbeit als wichtiger Schritt angesehen werden, allgemein anerkannte ökonomische Zusammenhänge in einem System Dynamics Modell zu integrieren. Nachteilig wirkt sich aus, dass auf eine Kalibrierung an Vergangenheitsdaten verzichtet wurde. Dies erschwert es, die Güte des Modells zu bestimmen.

5.2.3 Threshold 21

Die Gruppe von Modellen, die unter dem Namen Threshold 21 laufen, berücksichtigen in ihrer Modellierung ebenfalls eine Reihe von Modelle, die nicht mit System Dynamics entwickelt wurden²¹. Grundidee von Threshold 21 ist es, ein zentrales Modell zu entwickeln, das nur auf die jeweiligen Ländergegebenheiten – zumeist Entwicklungsländer - angepasst wird²².

In Threshold 21 sind drei Teilmodelle verknüpft:

- Gesellschaft
- Wirtschaft
- Umwelt

Der Output im Wirtschaftsmodell teilt sich in die drei Sektoren Landwirtschaft, Industrie und Dienstleistungen. Der sektorale Output wird mit einer Cobb-Douglas-Funktion mit den Inputs Arbeit, Kapital, Technologie und Ressourcen berechnet²³.

Aus dem Output berechnet sich das Pro-Kopf-Einkommen, das die Nachfrageseite als zentrale Größe beeinflusst. Aus dem Pro-Kopf-Einkommen bestimmen sich die Staatseinnahmen, die Nachfrage und die privaten Investitionen. Die Staatseinnahmen haben einen Einfluss auf die Steuerhöhe und die Ausgabenpolitik des Staates.

Nachfrage und Angebot werden in dem Modell gleichgesetzt, ohne Lagerveränderungen in Betracht zu ziehen. Unter Berücksichtigung der Steuern lassen sich mit der Gleichsetzung die relativen Preise der drei Sektoren bestimmen. Diese beeinflussen wiederum die sektorale Nachfrage ohne Zeitverzögerung und die sektoralen Investitionen mit einer Zeitverzögerung von einem Jahr.

Um die Güte des Modells und der Teilmodelle zu bestimmen, werden die Variablen und Parameter mit Hilfe von Vergangenheitsdaten kalibriert. In Threshold 21 wurde z. B. der Algorithmus für die Einkommensverteilung für eine Reihe von Ländern getestet, unter anderem für die USA.

¹⁹ vgl. Forrester (N) (1982), S. 161f

²⁰ vgl. Forrester (N) (1982), S. 163ff

²¹ vgl. Millenium Institute (2000), S. 4

²² vgl. Millenium Institute (2000), S. 5f. Malawi, China, Northern Somalia

²³ vgl. Millenium Institute (2000), S. 8

5.2.4 Zusammenfassender Vergleich

Die drei Modelle bilden einen Querschnitt über die Modellierung ganzer Volkswirtschaften. In den ersten beiden Modellen wird der Schwerpunkt auf die dahinterliegende ökonomische Theorie gelegt. Diese basieren auf der Evolutorischen Ökonomie und auf Keynes. Dies lässt sich an der Berücksichtigung des IS-LM-Schemas, der Erwartungen und der Lagerhaltung erkennen. Die wesentliche positive Rückkopplung ist hier die Nachfrage und die Erwartung der Nachfrage, welche Investitionen nach sich zieht.

Betrachtet man Threshold 21 lässt sich schnell die Handschrift von gleichgewichtsorientierten Modellen erkennen. Dies zeigt sich an der Gleichsetzung von Angebot und Nachfrage ebenso wie an der Bedeutung, welche den relativen Preise zugeordnet wird. Im Gegensatz zu dem Modell von Forrester werden Erwartungen der Wirtschaftsakteure und die Lagerhaltung nicht berücksichtigt²⁴. Der Wachstumsprozess wird im wesentlichen durch die positive Rückkopplung zwischen Investitionen und dem Bruttoinlandsprodukt begründet.

Von seinem Anspruch und dem Modellierungsaufwand ist das System Dynamics National Model das ehrgeizigste²⁵. Mangels Veröffentlichungen kann der Wert der Arbeit schlecht geschätzt werden. Das System Dynamics National Model scheint vermutlich gerade wegen seines ehrgeizigen Anspruchs in ähnliche Schwierigkeiten wie das Weltmodell geraten zu sein.

Dem Modell von Nathan Forrester fehlt die Validierung auf empirischer Ebene. Als Ergebnis bildet es endogen Konjunkturzyklen und Informationen über Time-Lags, die nur aus der Anschauung mit realen Daten verglichen werden können.

Threshold 21 beruht in geringerem Maße auf Rückkopplungen und setzt damit wenige der systemdynamischen Konzepte ein. Der Schwerpunkt des Modells liegt eher auf der pragmatischen Anwendung. Dafür orientiert es sich eher an empirischen Daten. Einzelne Hypothesen werden für verschiedene Länder getestet und die Modelle werden mit Vergangenheitsdaten kalibriert, wobei für Entwicklungsländer oft nur wenige Daten vorliegen²⁶.

Die Modelle zusammen zeigen deutlich, welche unterschiedlichen Richtungen mit System Dynamics als Methode eingeschlagen werden können. Was aber eigentlich fehlt, ist ein Modell, das auf einen längeren Zeitraum (ca. 30 Jahre) ausgerichtet ist, auf ökonomischer Theorie aufbaut und gut mit den empirischen Beobachtungen übereinstimmt. Ein solches Modell wird im nächsten Abschnitt vorgestellt.

²⁴ vgl. Millenium Institute (2000), S. 11

²⁵ vgl. Forrester (1989), S. 3

²⁶ Pedercini (Pedercini (2004)) meint, dass es für die meisten Entwicklungsländer oft nur Importdaten gibt. Dann werden alle anderen volkswirtschaftlichen Größen (GDP, Konsum) mit Hilfe des Imports geschätzt.

5.3 Das makroökonomische Modell KEYNEO

Im Folgenden wird ein einfaches Modell entwickelt, mit dem die Grundstruktur, die später auch in ESCOT Verwendung findet, erläutert wird. Das Modell beruht auf keynesianischen und neoklassischen Elementen und wird daher KEYNEO (KEYnesianisch-NEOklassisch) genannt. Im Einzelnen besteht der Sinn der Modellerstellung darin,

- ein Modell über einen längeren Zeitraum zu kalibrieren,
- eine genaue Parameterschätzung durchzuführen,
- das Verstehen für das umfassende ESCOT zu erleichtern und
- als Verifikation von ESCOT zu dienen.

Die Bildung des volkswirtschaftlichen Modells beruht im wesentlichen auf keynesianischen Ansätzen. Anschließend werden Modifikationen und Erweiterungen durchgeführt, damit das Modell an Realdaten kalibriert werden kann. Die Kalibration des Modells erfolgt in den Zeiträumen von 1960 bis 1990 (Zeitraum 1) und von 1991 bis 2002 (Zeitraum 2). Die Bestimmung der Parameter erfolgt dann innerhalb eines vollständigen Modells mit Hilfe der Schweppe Statistik²⁷.

Das Modell ist auch prinzipiell so konzipiert, dass man auf der obersten Ebene Effekte ein- und ausschalten kann. So kann man generell bestimmen, ob das Modell bei Investitionen Zinsen berücksichtigt oder mit welchem Typ Produktionsfunktion integriert werden soll. Dies ermöglicht ein gezieltes Testen bestimmter Modellhypothesen.

5.3.1 Qualitativer Entwurf des Modells

Im ersten Schritt werden die übergeordneten Rückkopplungen des Modells bestimmt. Abbildung 5-1 zeigt die zentralen Rückkopplungsschleifen. Rückkopplung 1 ist eine positive Rückkopplung ausgehend vom Konsum über die Endnachfrage und das verfügbare Einkommen, und schließt wieder mit dem Konsum. Da alle Beziehungen zwischen den Elementen positiv sind, handelt es sich insgesamt um eine positive Rückkopplung.

Rückkopplung 2 ist der Investitionszyklus, bei dem Investitionen die Endnachfrage und damit auch die erwartete Endnachfrage erhöhen, was wiederum einen positiven Einfluss auf die Investitionen hat²⁸.

Rückkopplung 3 und 4 sind die Produktionspotenzialzyklen. Aus dem Produktionspotenzial²⁹ und dem tatsächlichen Bruttoinlandsprodukt (GDP) wird die Produktionslücke berechnet, die einen positiven Einfluss auf die Investitionen hat. Investitionen erhöhen das Anlagekapital. In der Rückkopplung 3 führt dies direkt zu einem Anstieg des Produktionspotenzials, in der Rückkopplung 4 führt dies über die Beschäftigung ebenfalls zu einem Anstieg des Produktionspotenzials.

²⁷ vgl. Ventana Systems (1999), S. 225ff; vgl. Peterson (1980), S. 226ff; Schweppe (1973)

²⁸ vgl. Sterman (1986), S. 102

²⁹ Das Produktionspotenzial wird als von Konjunkturzyklen bereinigtes GDP verstanden und daher am GDP kalibriert. Weitere Erläuterungen hierzu finden sich in Kapitel 5.3.2 Abschnitt b und c.

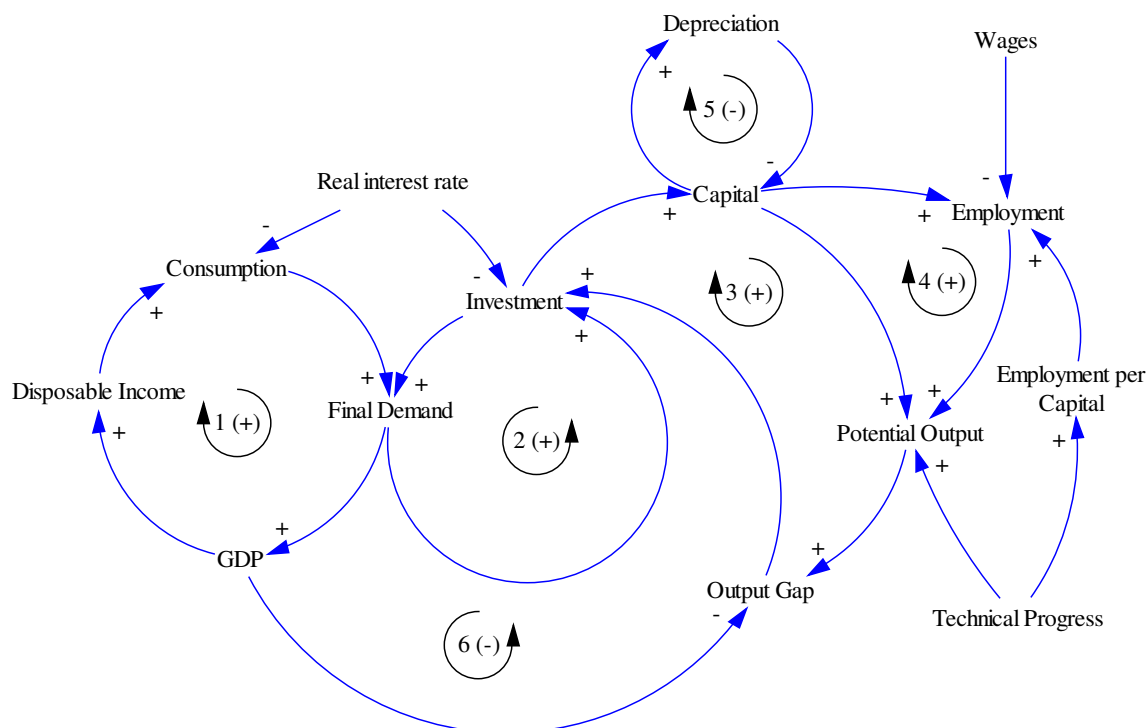


Abbildung 5-1: Zentrale Rückkopplungen in KEYNEO

Rückkopplung 5 dämpft die bisherigen positiven Wachstumsrückkopplungen. Die Rückkopplung beschreibt die Abschreibung, die von der Höhe des Kapitals abhängt. Rückkopplung 6 ist ebenfalls eine negative Rückkopplung. Sie beginnt bei den Investitionen und wirkt positiv auf die Endnachfrage und GDP. Die Erhöhung des GDP führt zur Verkleinerung der Produktionslücke und schwächt damit den Zwang zu investieren.

In Abbildung 5-2 finden sich weitere Rückkopplungen von KEYNEO. Rückkopplung 7 bezeichnet den Zinskreislauf. Niedrige Zinsen steigern die Investitionsbereitschaft (und auch die Konsumbereitschaft), diese führt zu einem Anstieg des GDP, der wiederum Einfluss auf eine Zinserhöhung ausübt.

Rückkopplung 8 gleicht Schwankungen der Grenzerträge der Arbeit aus. Eine Erhöhung der Grenzerträge der Arbeit führt zu einem Anstieg der Beschäftigung. Durch den Anstieg der Beschäftigung werden die Grenzerträge der Arbeit gesenkt.

Rückkopplung 9 entsteht durch die Abschreibungen, die vom GDP abgezogen werden, um das verfügbare Einkommen zu berechnen. Je niedriger die Abschreibungen, desto höher fällt das verfügbare Einkommen aus. Dies bewirkt einen Anstieg des Konsums und der Endnachfrage. Ein Anstieg der Endnachfrage verbessert das Investitionsklima und erhöht das Anlagekapital und damit die Abschreibungen. Gedämpft wird diese negative Rückkopplung allerdings dadurch, dass eine erhöhte Endnachfrage zu einer Erhöhung des GDP führt, welche ein Anstieg der Zinsen bewirkt (Rückkopplung 7). Dies wirkt sowohl dem Anstieg des Konsums als auch dem Anstieg der Investitionen entgegen.

Insgesamt besteht das Modell hauptsächlich aus vier positiven Rückkopplungen, die für das Wachstum im System verantwortlich sind. Die anderen, negativen Rückkopplungen wirken dämpfend auf das System.

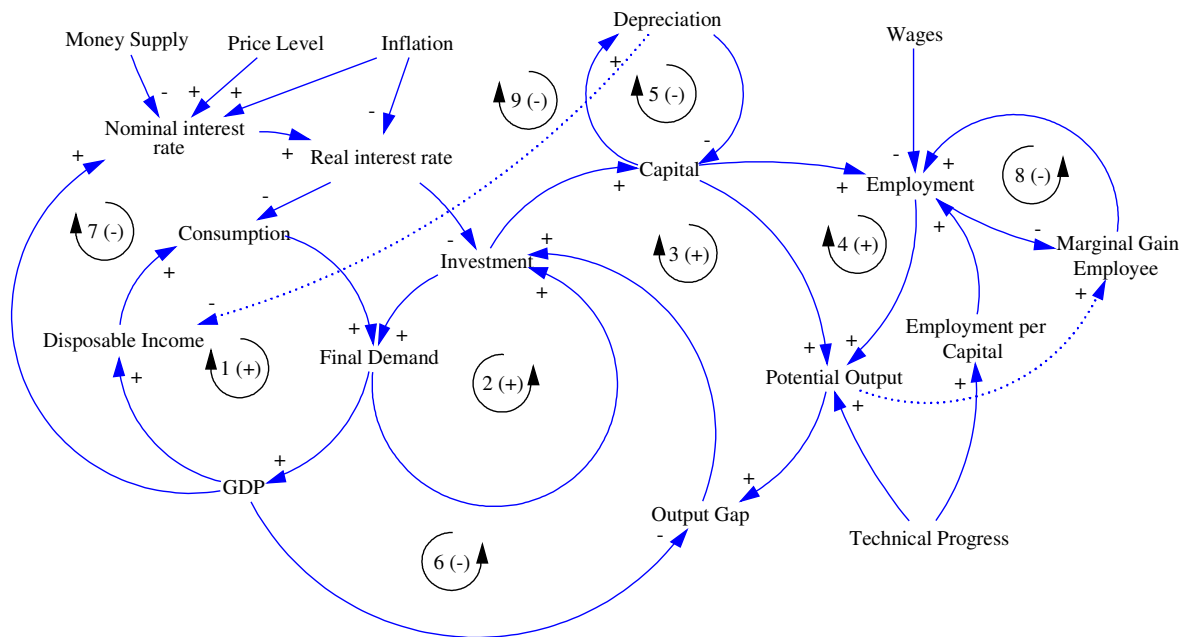


Abbildung 5-2: Vollständige Übersicht über die Rückkopplungen in KEYNEO

Aus Abbildung 5-2 kann man ersehen, dass KEYNEO stärker an Keynes angelehnt ist. Dies zeigt sich an der Bedeutung der Endnachfrage für die Investitionen, an dem Einfluss des Kapitals auf die Beschäftigung und der exogenen Bestimmung der Arbeitslöhne. Neoklassische Ansätze finden sich in der Produktionsfunktion und beim Einfluss der Grenzerträge auf die Beschäftigung.

5.3.2 Erstellung des System Dynamics Modells

(a) Nachfrageseite

Die wesentlichen Gleichungen auf der Nachfrageseite dienen der Bestimmung des Konsums und der Investitionen. Der Konsum berechnet sich aus dem verfügbaren Einkommen, einer Zeitverzögerung und den Zinsen:

$$C[t] = \alpha \cdot dihh \cdot DI[t-k]^\beta \cdot (1+r)^\gamma \quad (5.1)$$

- mit:
- C: Konsum (Consumption)
 - DI: Verfügbares Einkommen (Disposable Income)
 - dihh: Prozentualer Anteil der privaten Haushalte am verfügbaren Einkommen (Disposable Income HH to Total)
 - r: Realzins (Real Interest Rate estimated)
 - k: Zeitverzögerung des verfügbaren Einkommens (Delay Disposable Income Factor)
 - α, β, γ : Parameter

Die Zinsen werden einberechnet, weil die Bewertung des eigenen Vermögens von der Zinshöhe beeinflusst wird³⁰. Die Konsumausgaben richten sich nach dem eigenen Vermögen. Auch die Bundesbank verwendet in ihrer Formel zur Bestimmung des Konsums die Zinsen³¹.

Die Investitionen stellen einen ganz wesentlichen Baustein im Gesamtmodell dar. Als zentrale Einflussgröße ist hier die Nachfrage zu nennen³². Die schon auf Lager produzierten Waren der Vorperioden wirken dämpfend auf die Investitionen. Daneben spielen für die Investitionen die Zinshöhe und die Produktionslücke eine wichtige Rolle.

³⁰ vgl. Sargent (1994), S. 47f

³¹ vgl. Deutsche Bundesbank (1996), S. 32. Allerdings lässt sich der Einfluss der Zinsen empirisch nur schwer nachweisen.

³² vgl. Keynes (1973), S. 23ff

$$I[t]=\alpha \cdot (FD[t]-IN[t]) \cdot (1-OG)^{\beta} \cdot (1+r)^{\gamma} \tag{5.2}$$

mit: I: Investitionen (Investment)
 FD: Endnachfrage (Final Demand)
 IN: Lager (Inventory)
 OG: Produktionslücke (Output Gap)
 r: Realzins (Real Interest Rate estimated)
 α, β, γ : Parameter

Abbildung 5-3 zeigt wesentliche Teile der Nachfrageseite als Vensim-Graphik. Die inländische Endnachfrage berechnet sich aus den bereits bestimmten Variablen Konsum und Investitionen zuzüglich der exogen bestimmten Staatsausgaben und der Lagerhaltung. Nach Bestimmung der inländischen Endnachfrage werden mit Hilfe der exogenen Exporte auch die Endnachfrage und mit den exogenen Importen das GDP bestimmt. Ausgehend vom GDP erfolgt die Berechnung einer Reihe von makroökonomischen Größen bis zum verfügbaren Einkommen, das wiederum eine Einfluss auf Konsumententscheidung hat.

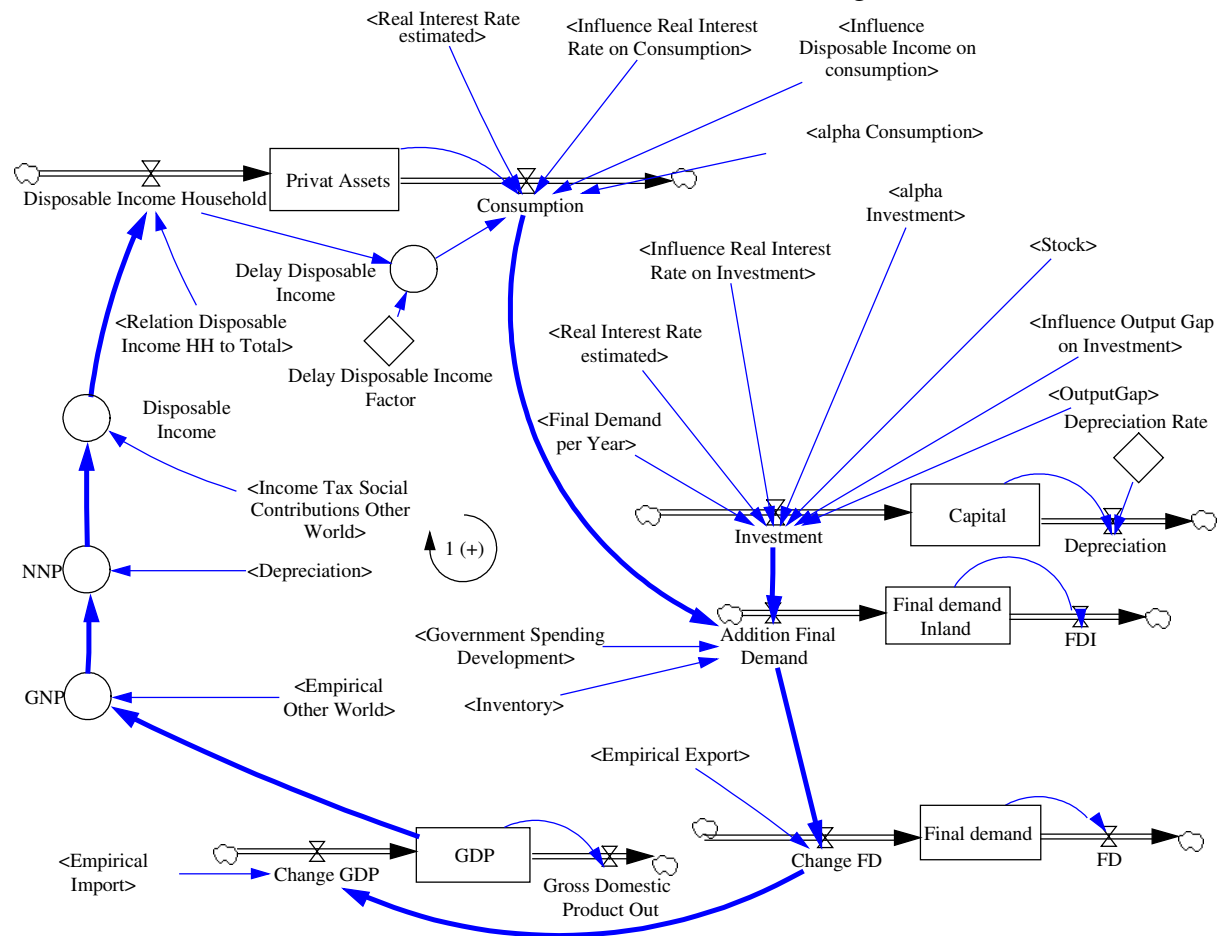


Abbildung 5-3: Nachfrageseite (Rückkopplung 1) in KEYNEO

(b) Angebotsseite

Auf der Angebotsseite werden im wesentlichen das Kapital, die Beschäftigung und das Produktionspotenzial bestimmt. Kapital errechnet sich über die Investitionen abzüglich der Abschreibungen. Da in dem vorliegenden Modell davon ausgegangen wird, dass sich die Abschreibung eher auf Basis von Abschreibungsregeln bestimmen lässt, wird hier von einer festen Abschreibungsrate ausgegangen.

$$K[t+1]=K[t] + (I[t] - K[t] \cdot dpr) \cdot dt \tag{5.3}$$

mit: K: Kapital (Capital)
 I: Investitionen (Investment)
 dpr: Abschreibungsrate (Depreciation Rate)
 dt: Zeitintervall

Eine zentrale Bestimmungsgröße auf der Angebotsseite ist die Beschäftigung. Zunächst wird die Beschäftigungshöhe bestimmt, die in der aktuellen Situation am günstigsten ist. Anschließend wird der Effekt berücksichtigt, dass die Arbeitsmärkte träge reagieren, indem sie sich erst mit einer gewissen Zeitverzögerung anpassen.

Für die Beschäftigungshöhe wird generell von einer Abhängigkeit von der Investitionsseite ausgegangen³³. Als geeignete Bestimmungsgröße erweist sich das Kapital multipliziert mit der Beschäftigung pro Kapital. Eine weitere Bestimmungsgröße bilden die Grenzerträge der Arbeit im Verhältnis zu den tatsächlichen Arbeitnehmerentgelten. Die Arbeitnehmerentgelte werden nicht auf einem Gleichgewichtsmarkt bestimmt, sondern sie entsprechen einer jeweiligen ganz spezifischen gesellschaftlichen Situation³⁴.

$$ELT = \alpha \cdot (K \cdot emp_c) \cdot \left(\frac{mge}{W} \right)^\beta \quad (5.4)$$

mit: ELT: Beschäftigung langfristig (Employment Long Term)
 K: Kapital (Capital)
 emp_c: Beschäftigung pro Kapital (Employment per Capital)
 mge: Grenzertrag der Arbeit pro Monat (Marginal Gain per Employee per Month)
 W: Arbeitslohn pro Monat (Empirical Wages Per Employee)
 α, β: Parameter

Die Beschäftigung pro Kapital wird als Zustand modelliert. Sie hat die Einheit Person pro Millionen DM³⁵ und ergibt sich aus der Beschäftigung pro Kapital der Vorperiode abzüglich eines bestimmten Betrages. Die Beschäftigung pro Kapital fällt also im Zeitverlauf. Wie stark die Beschäftigung sinkt, hängt zum Einen vom technischen Fortschritt ab. Zum Anderen wird berücksichtigt, dass das Absinken sich verlangsamt. Dies geschieht dadurch, dass die Variable Beschäftigung pro Kapital (<0) in der Flussvariablen ebenfalls berücksichtigt wird.

$$emp_c[t+1] = emp_c[t] - (\alpha \cdot emp_c[t]^\beta \cdot tp) \cdot dt \quad (5.5)$$

mit: emp_c: Beschäftigung pro Kapital (Employment per Capital)
 tp: technischer Fortschritt (Technical Progress)
 dt: Zeitintervall
 α, β: Parameter

Die Grenzerträge der Arbeit errechnen sich aus der Ableitung des Produktionspotenzials:

$$mge = \beta \cdot \frac{PP}{E} \cdot \frac{1}{12} \quad (5.6)$$

mit: mge: Grenzertrag der Arbeit pro Monat (Marginal Gain per Employee per Month)
 PP: Produktionspotenzial (Production Potential)
 E: Beschäftigung (Employment)
 β: Elastizität für Arbeit in der Produktionsfunktion

Für den Arbeitsmarkt wird davon ausgegangen, dass sich Veränderungen nicht sofort in vollem Umfang bemerkbar machen. Dies wird rechnerisch dadurch implementiert, dass sich die tatsächliche Beschäftigung nur zeitverzögert aus der langfristigen Beschäftigung bestimmt:

$$E[t+1] = E[t] + \alpha \cdot (ELT[t] - E[t]) \cdot dt \quad (5.7)$$

mit: E: Beschäftigung (Employment)
 ELT: Beschäftigung langfristig (Employment Long Term)
 α: Parameter

³³ vgl. Keynes (1973), S. 98f

³⁴ vgl. Keynes (1973), S. 5ff

³⁵ Für die Zeiträume von 1960 bis 1990 wird in DM auf Basis von 1985 gerechnet. Für die Zeit nach 1991 wird mit € auf Basis von 1995 gerechnet

In der Angebotsseite wird dann das Produktionspotenzial mit seinen Inputfaktoren berechnet. Als Produktionsfunktion wird hier eine klassische Cobb-Douglas-Funktion verwendet:

$$PP[t] = c \cdot e^{\lambda \cdot t} \cdot K[t]^{\alpha} \cdot E[t]^{\beta} \quad (5.8)$$

mit: PP: Produktionspotenzial (Potential Output)
 K: Kapital (Capital)
 E: Beschäftigung (Employment)
 c: positiver konstanter Faktor (Const GDP)
 λ: Rate des technischen Fortschritts (Lambda GDP)
 α: Produktionselastizität für Kapital (Alpha GDP)
 β: Elastizität für Arbeit (Beta GDP)

Als Inputfaktoren werden dabei das Kapital, die Arbeit und der technische Fortschritt verwendet.

Für die Bestimmung der Höhe des Produktionspotenzials gibt es verschiedene Ansätze. In einigen Ansätzen wird z. B. das Produktionspotenzial unter Annahme von Vollbeschäftigung oder Vollauslastung bestimmt. In dem vorliegenden Modell wird dagegen das Produktionspotenzial direkt am GDP gemessen.

(c) Zusammenführung von Angebot und Nachfrage

Der Unterschied zwischen dem GDP und dem Produktionspotenzial, welches anhand des GDP kalibriert wurde, ermöglicht es, die Differenz zwischen den beiden zu bestimmen³⁶. Diese Differenz wird als Produktionslücke bezeichnet (siehe Abbildung 5-4).

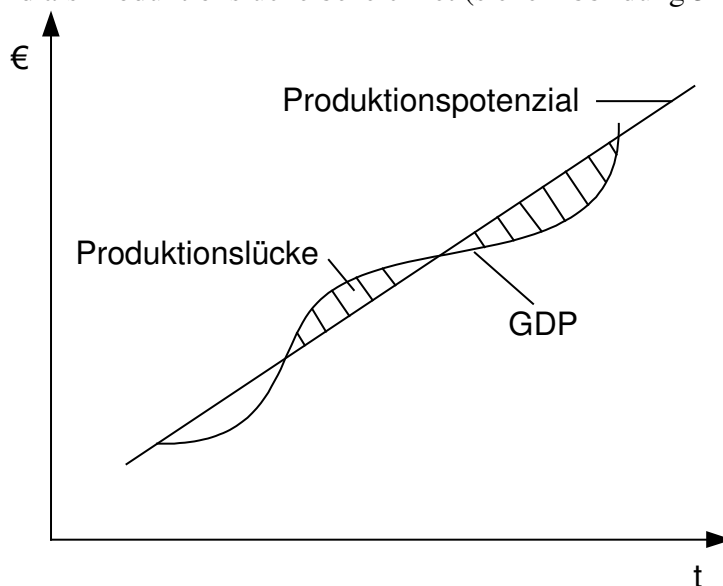


Abbildung 5-4: GDP, Produktionspotenzial und Produktionslücke

Die Produktionslücke berechnet sich wie folgt:

$$OG = (PP - GDP)/PP \quad (5.9)$$

mit: OG: Produktionslücke (Output Gap)
 PP: Produktionspotenzial (Potential Output)
 GDP: Bruttoinlandsprodukt (GDP)

Die Höhe der Produktionslücke fließt in die Bestimmung der Investitionen ein (siehe Gleichung 5.2). Liegt das Produktionspotenzial über dem tatsächlich realisierten GDP, so geht man von einer positiven Wirkung auf die Investitionen aus.

³⁶ vgl. Deutsche Bundesbank (2003), S. 44. Dieses Verfahren entspricht dem Verfahren der Bundesbank zur Bestimmung der Produktionslücke.

(d) Geld

Die Zinshöhe kann über Angebot und Nachfrage auf dem Geldmarkt berechnet werden. Daraus ergibt sich ein positiver Einfluss auf die Nominalzinsen bei einem Anstieg des GDP und des Preisniveaus, einen senkenden Einfluss hat eine Erweiterung der Geldmenge³⁷. Im Modell wird nur der Realzins endogen bestimmt, während die Inflation exogen ist.

$$nr = \alpha \cdot \frac{(GDP \cdot PN)^\beta}{M3^\gamma} \cdot (1 + \delta \cdot i) \quad (5.10)$$

mit: nr: Nominalzins (Nominal Interest Rate estimated)
 GDP: Bruttoinlandsprodukt (GDP)
 M3: Geldmenge M3 (Empirical M3)
 PN: Preisniveau (Empirical Price Level)
 i: Inflation (Empirical Inflation)
 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$: Parameter

Aus dem Nominalzins berechnet sich durch Abzug der Inflation der Realzins:

$$r = nr - i \quad (5.11)$$

mit: r: Realzins (Real Interest Rate estimated)
 nr: Nominalzins (Nominal Interest Rate estimated)
 i: Inflation (Empirical Inflation)

Der Realzins wiederum hat Einfluss auf Konsum und Investitionen (siehe Gleichung 5.1 und 5.2)

(e) Varianten

Bei der Modellentwicklung wurden eine Reihe von Varianten durchgetestet. Diese Varianten bezogen sich u. a. auch darauf, Konjunkturzyklen über Erwartungen der Wirtschaftsakteure zu erzeugen. Erwartungen können sich über einen längeren Zeitraum aufbauen, wenn z. B. die Endnachfrage über einige Jahre stark ansteigt, wird dieser Anstieg auf die zukünftige Entwicklung projiziert. Eine Abschwächung der Endnachfrage würde dann einen stärkeren Effekt haben, als wenn sich die Endnachfrage schon vorher schwach entwickelt hätte. Nach Keynes haben diese Erwartungen vor allem einen Einfluss auf die Beschäftigung³⁸.

Allerdings liefert die Berücksichtigung der Endnachfrage über einen längeren Zeitverlauf keine Verbesserungen der Modellergebnisse.

Dagegen kann über eine Einberechnung der Zinsentwicklung in der Vergangenheit eine Verbesserung erzielt werden. Berechnet werden die durchschnittlichen Zinsen der letzten Jahre über folgende Formel:

$$\bar{r}[t] = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k r[t-i] \quad (5.12)$$

mit: \bar{r} : durchschnittliche Realzinsen (Interest expected)
 r: Realzinsen (Real Interest Rate estimated)
 k: Anzahl der Jahre (Number of Years)

³⁷ vgl. Läufer (1994), S. 273ff

³⁸ vgl. Keynes (1973), S. 46ff

Tritt nun zu einem bestimmten Jahr ein starke Veränderung der Zinsen ein, wird diese Veränderung im Verhältnis zur durchschnittlichen Zinserwartung berechnet.

$$tr = \left(1 + \frac{r - \bar{r}}{100}\right)^\alpha \tag{5.13}$$

mit: tr: Trend der Zinsen (Trend Difference Interest Rate)
 \bar{r} : durchschnittliche Realzinsen (Interest expected)
 r: Realzinsen (Real Interest Rate estimated)
 α : Parameter

Berücksichtigt man diesen Faktor bei der Bestimmung der Beschäftigung, so lassen sich die tatsächlichen Verläufe der Beschäftigungshöhe besser nachzeichnen als ohne diesen Faktor.

Ein ähnlicher Indikator für Konjunkturzyklen wurde auch über die Erwartung der Endnachfrage gebildet. Hierbei wird ein bestimmtes Wachstum der Endnachfrage entsprechend dem Trend einer Anzahl vergangener Jahre erwartet. Diese Erwartung wird mit der tatsächlichen Entwicklung der Endnachfrage verglichen. Dieser Indikator führte allerdings weder bei den Investitionen noch bei der Beschäftigung zu einer besseren Übereinstimmung.

5.3.3 Analyse und Bewertung des Modells

Es wurden zwei Läufe mit KEYNEO durchgeführt. Ein Lauf bildet den Zeitraum von 1960 bis 1990 ab, der zweite den von 1991 bis 2002. Die Ergebnisse der Modellläufe sind in Abbildung 5-5 zusammengefasst dargestellt.

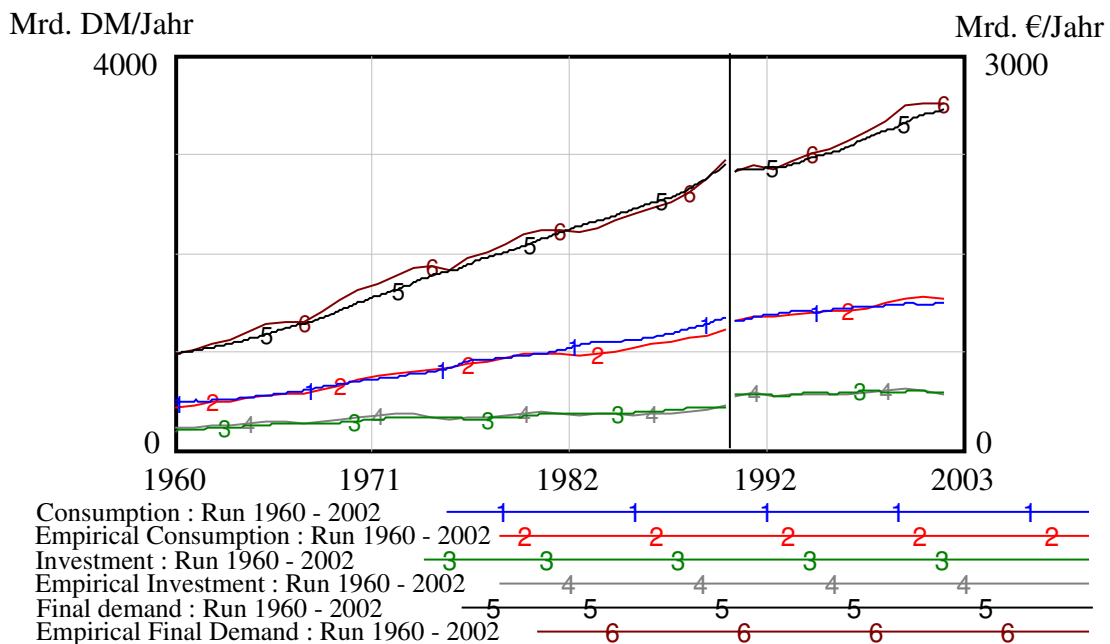


Abbildung 5-5: Kalibrationsergebnisse für Konsum, Investitionen und Endnachfrage

Für die wesentlichen Variablen der Nachfrageseite wie Konsum, Investitionen und Endnachfrage ergeben sich hohe Übereinstimmungen mit den empirischen Kurvenverläufen. Dies lässt sich auch anhand Tabelle 5-1 zeigen. Liegen die Abweichungen betragsmäßig unter der Anzahl der beobachtbaren Werte, dann befinden sich die Ergebnisse im 95% Signifikanzintervall³⁹. Für den Lauf von 1960 bis 1990 liegt die Anzahl der beobachtbaren Werte bei 31, für den zweiten Lauf bei 12.

In Tabelle 5-1 wird noch unterschieden zwischen den Läufen ohne Einberechnung von Konjunkturzyklen und denen mit. Durch die Berücksichtigung von Konjunkturzyklen wird hauptsächlich die Kalibration der Beschäftigung beim Lauf von 1960 bis 1990 verbessert.

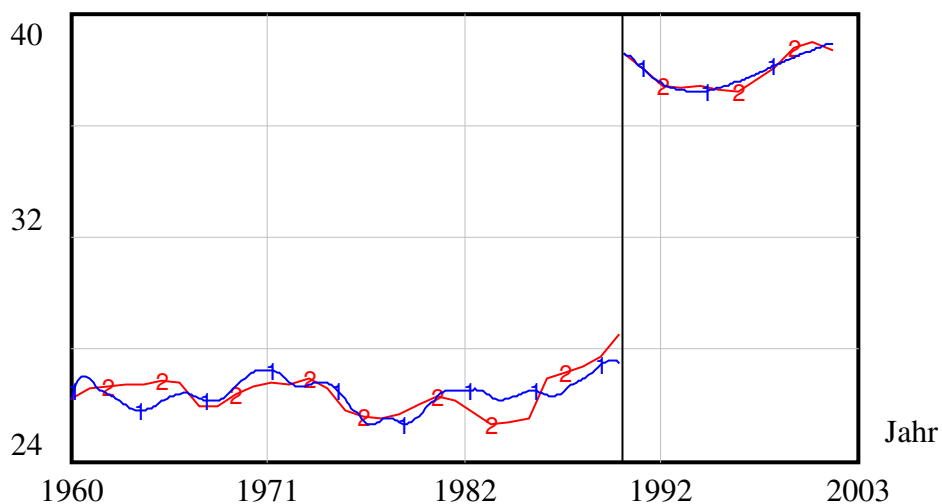
³⁹ vgl. Ventana Systems (1999), S. 225ff; vgl. Peterson (1980), S. 226ff; Schweppe (1973)

Tabelle 5-1: Tabellarische Kalibrationsergebnisse von KEYNEO

Werte [-]	Lauf 1960 bis 1990		Lauf 1991 bis 2002	
	mit Konjunktur- zyklen	ohne Konjunk- turzyklen	mit Konjunktur- zyklen	ohne Konjunk- turzyklen
Konsum	-0,751	-0,809	-1,868	-1,911
Investitionen	-5,067	-5,063	-6,348	-6,000
Endnachfrage	-0,488	-0,491	-0,835	-0,843
Bruttoinlandsprodukt	-0,598	-0,571	-1,203	-1,215
Abschreibung	-3,768	-1,188	-0,469	-0,456
Volkseinkommen	-1,658	-1,294	-2,781	-2,816
Anlagekapital	-0,030	-0,146	-1,082	-1,103
Beschäftigung	-17,271	-28,622	-1,060	-1,254
Produktionspotenzial	-0,944	-1,542	-3,931	-4,531
Nominalzins	-12,875	-13,359	-4,634	-4,625

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Kalibration in Tabelle 5-1, dass alle Werte, die an Real-
daten kalibriert wurden, im 95% Signifikanzintervall liegen. Die Werte für Beschäftigung,
Zinsen und Investitionen weichen am stärksten von den empirischen Daten ab. Allerdings
zeigt sich trotzdem, dass für die Beschäftigung die Schwankungen der empirischen Kurven-
verläufe gut nachgezeichnet werden.

Mill. Pers.



Employment : Run 1960 - 2002 + + + + + + + +
 Empirical Employees : Run 1960 - 2002 - - - - - - - -

Abbildung 5-6: Kalibrationsergebnisse für die Beschäftigung

Auch bei den Zinsen werden die empirischen Kurvenverläufe gut getroffen. Die Ausschläge
der empirischen Werte sind sowohl nach oben als auch nach unten stärker ausgeprägt als bei
der berechneten Zinskurve.

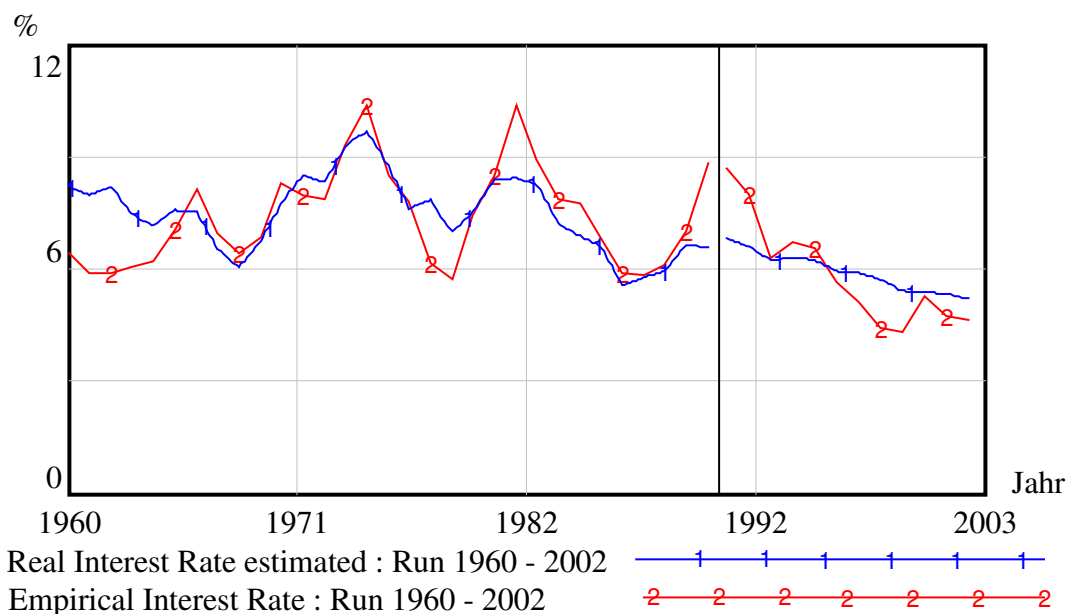


Abbildung 5-7: Kalibrationsergebnisse für die Nominalzinsen

Da die Läufe für zwei verschiedene Zeiträume durchgeführt wurden und auch die Anzahl der Kalibrationsjahre unterschiedlich ist, können die Ergebnisse der Parameterschätzung nicht identisch ausfallen. Dennoch ergeben sich für viele Parameter große Übereinstimmungen (Tabelle 5-2).

Bei den Investitionen ähneln sich die Schätzergebnisse für den Investitionsmultiplikator in allen vier Läufen. Bezogen auf die Endnachfrage liegt dieser bei etwa 0,19. Der Einfluss der Zinsen auf die Investitionen und andere makroökonomische Größen fällt für den Lauf ab 1991 schwächer aus. Die Abschreibungsrate bewegt sich für alle Läufe im Bereich von etwa 5%.

Bei der Berechnung der Beschäftigung pro Kapital zeigt sich für die aktuelleren Jahre ein abgeschwächt fallender Trend. Möglicherweise wurden hier die Auswirkungen des technischen Fortschritt durch andere Entwicklungen auf den Arbeitsmärkten kompensiert.

Für die Produktionsfunktion liegt der Exponent des Anlagekapitals höher als der Exponent der Beschäftigung. Für den Lauf ab 1991 verschieben sich die Faktoren noch einmal stark zum Anlagekapital hin. Der Parameter für den technischen Fortschritt liegt ebenfalls in allen Läufen eng beieinander.

Interessanterweise wechselt der Parameter für die Produktionslücke das Vorzeichen. Dieser Parameter wirkt auf die Investitionen und verbindet damit die Nachfrage- mit der Angebotsseite. Unabhängig vom Vorzeichen wird über diese Verbindung ein Ausgleich geschaffen. Der Vorzeichenwechsel kann folgendermaßen interpretiert werden. Im Lauf von 1960 bis 1990 dominiert die Produktionsfunktion, so dass eine positive Produktionslücke (Angebot > Nachfrage) die Investitionen ankurbelt. Nach 1991 dominiert die Nachfrage. Bei einer negativen Produktionslücke (Nachfrage > Angebot) steigen die Investitionen, bis sich das Angebot wieder der Nachfrage angleicht.

Betrachtet man die einzelnen Parameter, die sich aus der Gesamtschätzung ergeben, erhält man folgendes Bild:

Tabelle 5-2: Ergebnisse der Parameterschätzung in KEYNEO

Parameter	Lauf 1960 bis 1990		Lauf 1991 bis 2002	
	mit Konjunkturzyklen	ohne Konjunkturzyklen	mit Konjunkturzyklen	ohne Konjunkturzyklen
Konsum:	$C[t] = \alpha \cdot dihh \cdot DI[t-k]^\beta \cdot (1+r)^\gamma$ (5.1)			
α	1,000	1,000	0,921	0,921
β	1,000	1,000	1,000	1,000
γ	1,377	1,489	0,000	0,000
Investitionen:	$I[t] = \alpha \cdot (FD[t] - IN[t]) \cdot (1-OG)^\beta \cdot (1+r)^\gamma$ (5.2)			
α	0,189	0,191	0,186	0,186
β	2,040	2,186	-1,699	-1,663
γ	1,824	4,369	0,662	0,653
Kapital:	$K[t+1] = K[t] + (I[t] - K[t] \cdot dpr) \cdot dt$ (5.3)			
dpr	0,050	0,046	0,055	0,055
Beschäftigung langf.:	$ELT = \alpha \cdot (K \cdot empc) \cdot \left(\frac{mge}{W}\right)^\beta$ (5.4)			
α	1,021	0,980	1,006	1,006
β	1,150	1,016	0,142	0,147
Beschäftigung pro Kapital:	$empc[t+1] = empc[t] - (\alpha \cdot empc[t]^\beta \cdot tp) \cdot dt$ (5.5)			
α	4,894	4,960	2,992	2,899
β	1,102	1,085	1,054	1,054
Beschäftigung:	$E[t+1] = E[t] + \alpha \cdot (ELT[t] - E[t]) \cdot dt$ (5.7)			
α	0,310	0,310	0,300	0,300
Produktionspotenzial:	$PP[t] = c \cdot e^{\lambda \cdot t} \cdot K[t]^\alpha \cdot E[t]^\beta$ (5.8)			
c	34,966	35,754	24,444	24,467
λ	$7,01 \cdot 10^{-3}$	$7,56 \cdot 10^{-3}$	$7,92 \cdot 10^{-3}$	$8,09 \cdot 10^{-3}$
α	0,423	0,423	0,516	0,516
β	0,406	0,406	0,306	0,306
Nominalzins:	$nr = \alpha \cdot \frac{(GDP \cdot PN)^\beta}{M3^\beta} \cdot (1 + \delta \cdot i)$ (5.10)			
α	1,625	1,696	1,273	1,271
β	0,443	0,436	0,497	0,497
γ	0,586	0,565	0,734	0,734
δ	0,083	0,084	0,000	0,000
Erwarteter Zins:	$\bar{r}[t] = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k r[t-i]$ (5.12)			
k	1,000	-	1,224	-
Konjunkturfaktor:	$tr = \left(1 + \frac{r - \bar{r}}{100}\right)^\alpha$ (5.13)			
α	18,305	-	-3,348	-

Die Parameter der Zinsgleichung liegen ebenfalls sehr eng bei einander. Lediglich die Inflation hat im zweiten Lauf keinen Einfluss auf den Nominalzins. Hier kommt vermutlich zum Tragen, dass nach 1991 die Inflation deutlich geringer war als in den Jahren zuvor. Daher kann hier kein Zusammenhang abgeleitet werden.

Insgesamt kann man sagen, dass das Modell mit wenigen Modellgleichungen eine Volkswirtschaft gut beschreibt. Auch die Ergebnisse aus der Kalibration und der statistischen Analyse weisen auf eine gute Übereinstimmung mit den tatsächlichen Kurvenverläufen hin.

Es kann gezeigt werden, dass die Kalibrationen des Modells über einen längeren Zeitraum hinweg gelingt, wobei das 95% Signifikanzintervall eingehalten wird. Am schwierigsten zu kalibrieren sind die Beschäftigung, die Zinsen und die Investitionen. Die Zinsen können auch sehr stark von Variablen außerhalb der Systemgrenze abhängen. Wechselkurse können die Zinshöhe stark beeinflussen und werden im Modell nicht abgebildet. Investitionen und Beschäftigung weisen generell stark schwankende Kurvenverläufe aus. Bei der Beschäftigung macht sich sicherlich auch bemerkbar, dass weitere Informationen über Arbeitsmärkte wie z. B. Kündigungsschutz, Teilzeitarbeit und Staatsverschuldung fehlen.

Das Modell zeigt aber auch, dass eine Kombination aus keynesianischen und neoklassischen Elementen für die Entwicklung eines systemdynamischen Modells eine gute Basis bildet. Selbstverständlich werden einzelne Element durch die spezifische System Dynamics Sichtweise ergänzt und verändert, indem zum Beispiel Zeitverzögerung berücksichtigt werden.

5.4 Zusammenfassung

Das vorliegende Kapitel hat sich zunächst damit beschäftigt, ökonomische Theorien anzusprechen, die als Basis für System Dynamics Modelle dienen können. Als besonders geeignet erweisen sich dabei evolutorische und keynesianische Ansätze. Aber auch neoklassische Ansätze können in Einzelfällen zur Modellierung von Partialmodellen sinnvoll sein.

Die Betrachtung einer Reihe von makroökonomischen System Dynamics Modellen zeigt, dass die bisherigen System Dynamics Modelle vergangene Kurvenentwicklungen nachahmen, was dem Betrachter sehr viel Spielraum zur Interpretation lässt. Zudem standen oft gerade die ökonomischen Teilmodelle von System Dynamics Modellen in starker Kritik.

Mit dem Modell KEYNEO wird hier ein neuer Ansatz angewendet. Angelehnt an keynesianische und neoklassische Ansätze wurde mit wenigen Gleichungen ein Modell entworfen, das die wesentlichen volkswirtschaftlichen Variablen bestimmt. Dabei wird die Volkswirtschaft im ersten Schritt durch eine Anzahl von Rückkopplungen beschrieben. Im zweiten Schritt wurden dann die Gleichungen spezifiziert und die Parameter geschätzt. Damit können Ergebnisse über einen längeren Kalibrationszeitraum erzeugt werden, die sich im 95% Signifikanzintervall befinden. Insgesamt kann damit gezeigt werden, dass das hier bestimmte Modell als Grundstruktur für komplexere Modelle wie ESCOT dienen kann.

6 Beschreibung von ESCOT und der BAU/EST-80%-Annahmen

“Any long-term model that is being used to aid the policy-making process must be updated constantly to incorporate surprising new discoveries as they are made and to assess how they may change the options of human society.” D. Meadows²

6.1 Allgemein

Basisjahr für die Modellsimulation ist das Jahr 1986, der relevante Zeitabschnitt der Modellierung für das BAU/EST-80%-Szenario beginnt 1990 und geht bis 2030. Das BAU-Szenario basiert auf der deutschen Fallstudie und entspricht einer Entwicklung, welche die zur Zeit vorherrschenden Trends fortschreibt. BAU- und EST-80%-Szenario unterscheiden sich durch die Maßnahmen, die im EST-80%-Szenario ergriffen werden. Diese werden frühestens im Jahr 2000 implementiert.

Dabei wird der Zeitabschnitt von 1986 bis 1995 zur Kalibration des Modells benutzt. Als wesentlicher Input, vor allem auch für das Verkehrsmodell, diente die deutsche Fallstudie, die vom Umweltbundesamt und dem Wuppertal Institut innerhalb der Phase 2 des OECD Projekts EST entwickelt wurde. Die BAU- und EST-Szenarien basieren auf den dort entworfenen Rahmendaten für die jeweiligen Szenarien.

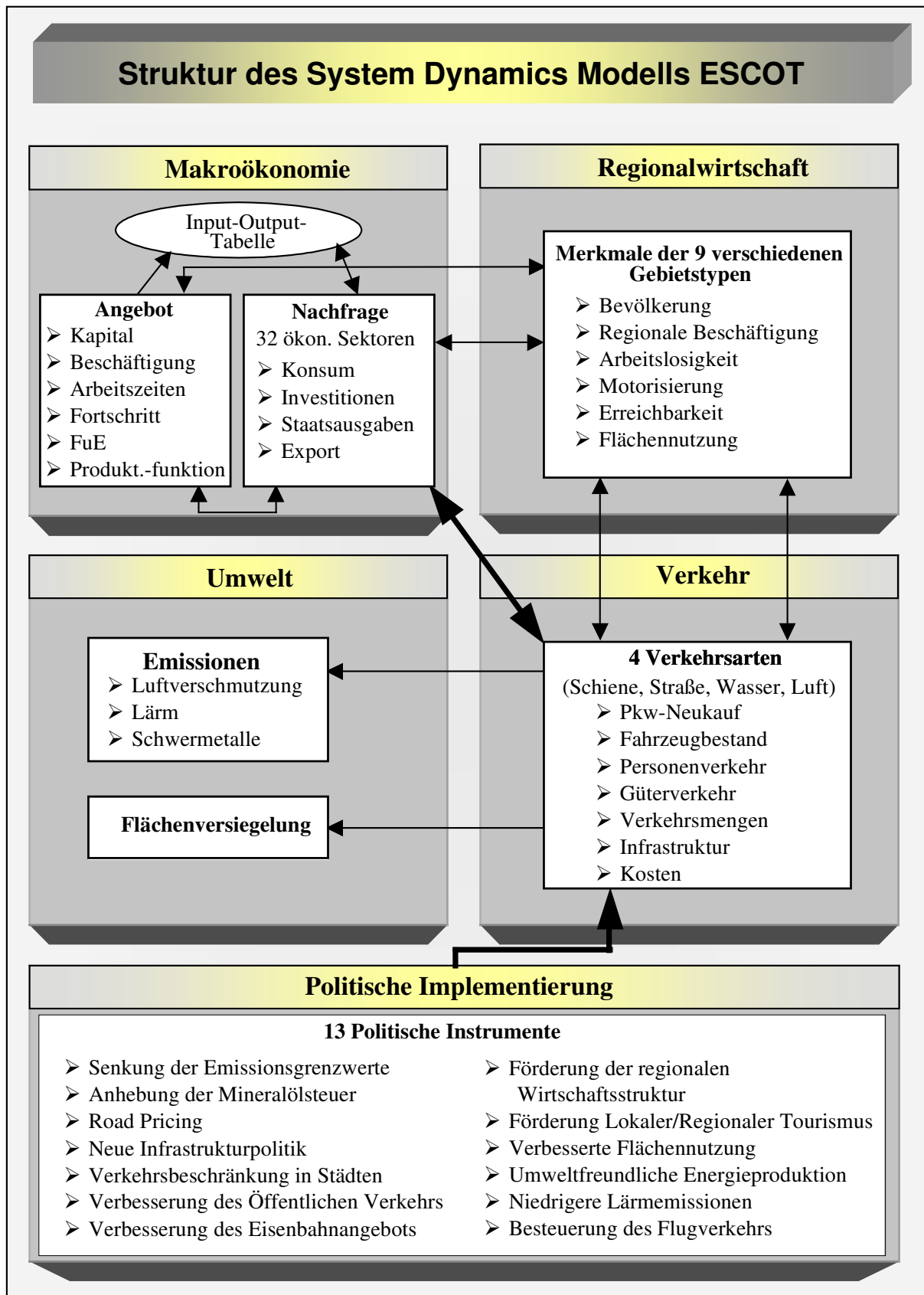
Die Daten des Modells beziehen sich auf Deutschland und berücksichtigen sowohl alte und neue Länder. Da für die Anfangsjahre der Modellierung nur eine unvollständige Datenbasis für die neuen Länder zur Verfügung steht und dieser Zeitabschnitt geringere Relevanz für die Modellierung hat, werden für die neuen Länder Daten aus aktuellen Jahren verwendet und in der Form zurückgerechnet, als hätte eine gleichartige Entwicklung wie in den alten Ländern stattgefunden.

6.2 Struktur von ESCOT

Die Struktur von ESCOT basiert auf fünf verschiedenen Modellen, welche die vier wichtigsten Subsysteme für die Beschreibung der betroffenen Bereiche sowie die politische Handlungssphäre abbilden.

Das Makromodell basiert auf der in KEYNEO entwickelten Grundstruktur. Es liefert Informationen über Kapital, Beschäftigung, FuE-Aufwendungen und dem Produktionspotenzial für 32 Wirtschaftssektoren. Auf der Nachfrageseite werden als wesentliche Größen der Konsum, die Investitionen und die Endnachfrage für die 32 Wirtschaftssektoren bestimmt. Das Regionalwirtschaftsmodell berechnet regionale Daten wie z. B. Bevölkerung und Pkw-Besitzrate für funktionale Gebietstypen (städtisch, ländlich etc.). Diese Gebietstypen werden auch im Verkehrsmodell verwendet. Zusätzlich unterscheidet dieses Modell zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln (Straße, Schiene, Wasser, Luft) und verschiedenen Typen von Infrastrukturverbindungen (z. B. Hochgeschwindigkeitsverbindungen zwischen Ballungsräumen). Das Umweltmodell berechnet die Emissionsdaten für die Verkehrsleistungen. Das politische Modell bildet die politischen Maßnahmenpakete ab. Da die meisten politischen Maßnahmen einen direkten Einfluss auf das Verkehrsmodell haben, stellt das Verkehrsmodell in der Regel den Ausgangspunkt für die Veränderungen des Gesamtmodells dar.

² vgl. Meadows et. al. (1974), S. 19



6.3 Makromodell

Die zentrale Aufgabe des Makromodells besteht darin, ökonomische Auswirkungen, die durch Veränderungen im Verkehrsbereich initiiert werden, abzuschätzen. Zur Bestimmung dieser ökonomischen Auswirkungen werden die Kenngrößen der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung verwendet.

Die Grundstruktur des Makromodells von ESCOT entspricht im wesentlichen der Struktur von KEYNEO³. In ESCOT kommen einige neue Elemente hinzu. Diese sind:

- Wirtschaftssektoren
- Input-Output-Tabelle
- Schnittstellen zu nicht-ökonomischen Modellen

Speziell der erste Punkt hat weitreichende Bedeutung. Da anzunehmen ist, dass sich Veränderungen im Verkehrsbereich nicht homogen auf alle Bereiche einer Volkswirtschaft auswirken, wird die Wirtschaft in 32 Sektoren eingeteilt⁴. Diese Gliederung beruht auf einer Aggregation der Gliederung der Input-Output-Tabellen⁵.

Die 32-Gliederung enthält im Produktionsbereich zwei Verkehrssektoren – Sektor Kraftwagen (Kraftwag) und Sektor Sonstiger Fahrzeugbau (So Fahr). Dem Sektor Sonstiger Fahrzeugbau wird die Produktion von Schiffen, Schienenfahrzeugen und Flugzeugen zugeordnet. Im Dienstleistungsbereich gibt es fünf Verkehrssektoren: Eisenbahndienstleistungen (Eisenb-DL), Sonstige Landverkehrsleistungen (Landv-DL), Schifffahrtsleistungen (Schiff-DL), Luftfahrtleistungen (Luft-DL) und Dienstleistungen bezüglich Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr (Sonst-DL). In dem Sektor Landverkehrsdienstleistungen sind die Bereiche Personen- und Güterbeförderung im Straßenverkehr und Transport in Rohrleitungen zusammengefasst⁶. Der Transport in Rohrleitungen ist von untergeordneter Bedeutung. In den Bereich Hilfs- und Nebentätigkeiten des Verkehrs fallen u. a. Frachtumschlag, Flughafenbetrieb, Speditionen und Reisebüros⁷. Eng mit den Verkehrssektoren verknüpft sind auch der Sektor Mineralölverarbeitung und der Sektor Bau⁸.

Abbildung 6-2 zeigt wie die Input-Output-Tabelle und die Schnittstellen zu anderen Modellen mit dem volkswirtschaftlichen Modell verknüpft sind. Die Input-Output-Tabelle wird im wesentlichen von Änderungen der Endnachfrage beeinflusst. Die Ergebnisse aus den Input-Output-Tabellen werden benötigt, um die Entwicklung der Investitionen zu bestimmen.

Es ist wichtig zu erkennen, dass die Auswirkungen des Verkehrs auf das Makromodell nicht einseitig, sondern wechselseitig erfolgen, weil die Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts und des Volkseinkommens die Entwicklung des Güterverkehrs und des Personenverkehrs nachhaltig beeinflussen. Daher ist es geboten, die wesentlichen Schnittstellen zwischen Makroökonomie und Verkehr sowie zwischen Makroökonomie und Regionalwirtschaft zu analysieren. In der Abbildung 6-2 ist lediglich eine von mehreren Rückkopplungen zu anderen Modellen illustriert.

³ siehe Kapitel 5.3

⁴ siehe Anhang B

⁵ siehe Anhang B. Die Gliederung der Wirtschaftssektoren der Input-Output-Tabellen beruht auf der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 1993 (WZ93) zu finden in Statistisches Bundesamt (2002b).

⁶ Statistisches Bundesamt (2002b), S. 41

⁷ Statistisches Bundesamt (2002b), S. 42

⁸ Statistisches Bundesamt (2002b), S. 14 u. 30f

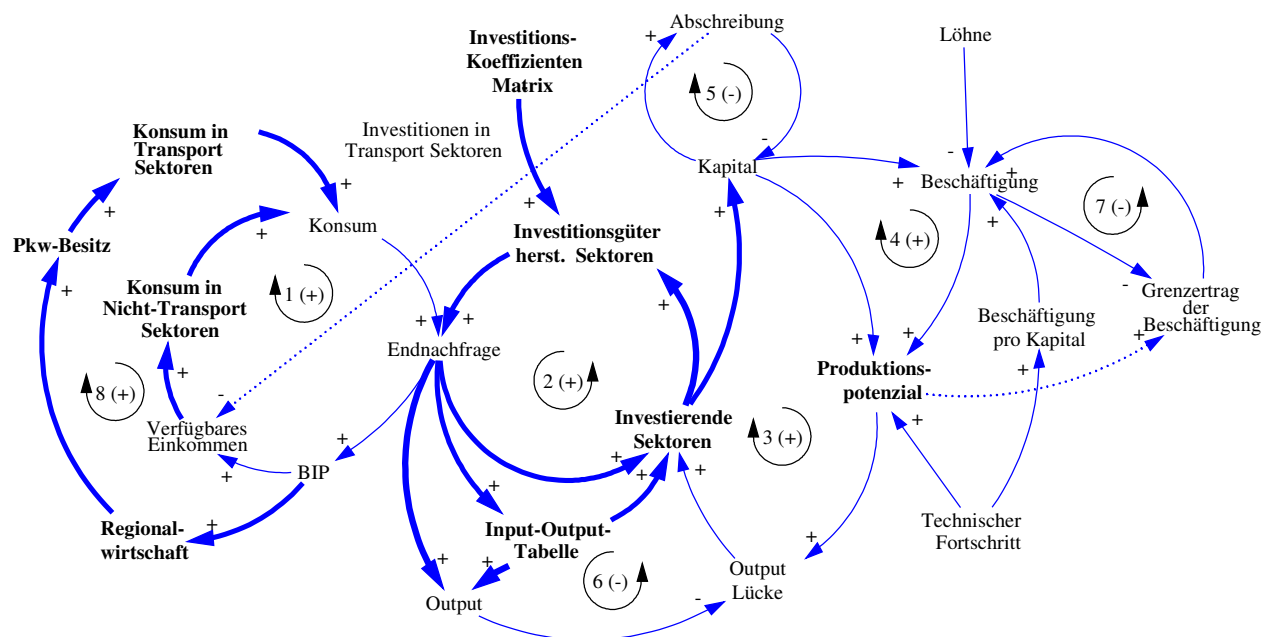


Abbildung 6-2: Makromodell in ESCOT

Aus dem Schaubild ergibt sich wie in KEYNEO als wesentliches Merkmal des Makromodells die Einteilung in Nachfrage- und Angebotsseite, welche der Bestimmung der jeweiligen Kenngrößen dienen. Diese Konstruktion ermöglicht es, dass sowohl Angebots- als auch Nachfrageseite als Treiber oder Bremser der ökonomischen Entwicklung wirken können. Diese Tatsache ist deshalb wichtig, da z. B. die ökologischen Szenarien auf der Nachfrageseite durch höhere Preise bremsen, während sie gleichzeitig durch das Forcieren des technischen Fortschritts auf der Angebotsseite die wirtschaftliche Entwicklung vorantreiben.

Für ESCOT wird davon ausgegangen, dass die gewählten politischen Maßnahmen auch in allen Ländern außerhalb des betrachteten Untersuchungsraumes Deutschland angewendet werden. Diese Annahme ermöglicht es, auf die Berücksichtigung von Wettbewerbseffekten und Arbitrage zu verzichten, da es den Wirtschaftsteilnehmern nicht möglich ist, auf leichte Weise z. B. eine Erhöhung der Transportpreise zu umgehen.

Alle Geldgrößen von ESCOT werden auf die einheitliche Preisbasis von 1995 auf- bzw. abgezinst und in Euro angegeben. Da das Modell zur Kalibration die Jahre 1986 bis 1995 berücksichtigt, ergibt sich im makroökonomischen Modell die spezielle Problematik der Wiedervereinigung. Für die Kalibration wurde die Wiedervereinigung in das Jahr 1986 quasi vorverlegt. Daher wurden die Werte der Jahre 1986 bis 1990 für die alten Länder um einen angenommenen Anteil der neuen Länder "ergänzt" und damit der zeitliche Verlauf der Variablen geglättet.

Benötigt das Modell Initialwerte für makroökonomische Kenngrößen, so werden hier die exakten Werte für die wiedervereinigte Bundesrepublik aus dem Jahr 1991 im System gespeichert und nur durch einzelne Faktoren auf das Jahr 1986 heruntergerechnet.

6.3.1 Nachfrageseite

Zentrale Aufgabe der Nachfrageseite ist die Beschreibung der Zusammenhänge zwischen der Endnachfrage und deren Inputs Konsum, Investitionen, Staatsverbrauch und Export.

(a) Konsum

Unter Konsum versteht man die jährlichen Konsumausgaben der privaten Haushalte. Der Konsum wird aufgeteilt in Konsum in Nicht-Verkehrssektoren und in Verkehrssektoren, weil die Verkehrssektoren mit detaillierteren Methoden im Verkehrsmodell berechnet werden.

(i) Konsum in Nicht-Verkehrssektoren

Der allgemeine Trend für die Konsumausgaben folgt dem verfügbaren Einkommen mit einer Zeitverzögerung.

$$COT[t] = \alpha \cdot (DI[t-k] - CIT[t])^\beta \quad (6.1)$$

mit: COT: Gesamter Konsum in Nicht-Verkehrssektoren (Consumption without Transport Sectors Total)
 DI: Verfügbares Einkommen privater Haushalte (Disposable Income Private Household)
 CIT: Gesamter Konsum in Verkehrssektoren (Consumption Transport)
 t: Laufzeitvariable in Jahren
 k: Zeitverzögerung in Jahren
 α, β : Parameter

Die Aufteilung des Konsums auf die Nicht-Verkehrssektoren wird mit Hilfe von Vergangenheitsdaten bestimmt. Die Aufteilung des Konsums ändert sich mit der Zeit.

$$SC_s[t+1] = SC_s[t] + TSC_s[t] \cdot dt \quad (6.2)$$

mit: SC_s : Anteile des Sektors s am gesamten Konsum (Shares of Consumption without Transport)
 s: Sektoren 1-32
 TSC_s : Veränderung der Anteile des Sektors s am gesamten Konsum (Trend Consumption without Transport)

Der Konsum in den jeweiligen Nicht-Verkehrssektoren berechnet sich dann durch Multiplikation der Anteile mit dem Gesamtkonsum in Nicht-Verkehrssektoren:

$$COT_s = COT \cdot SC_s \quad (6.3)$$

mit: COT_s : Konsum in Nicht-Verkehrssektoren (Consumption per Sector without Transport)
 COT: Gesamter Konsum in Nicht-Verkehrssektoren (Consumption without Transport Sectors Total)
 SC_s : Anteile des Sektor s am gesamten Konsum (Shares of Consumption without Transport)

(ii) Konsum in Verkehrssektoren

Für den Verkehrsbereich wurde der Konsum unabhängig von der Entwicklung makroökonomischer Größen bestimmt. Für diese Bereiche verwendet man exakte Daten über die Verkehrsleistung und die Kosten aus dem System. Zu den wichtigsten Bestandteilen der Konsumausgaben gehört der Kauf von Pkw (siehe Abbildung 6-3). Hierbei werden die gesamten Konsumausgaben auf Basis der Bevölkerungszahlen, der Pkw-Besitzrate, dem bisherigen Bestand an Pkw und den Kosten eines Pkw bestimmt.

Daneben werden die Verkehrsleistungen im Personenverkehr mit den jeweiligen Kosten für Flüge, Busfahrten, Eisen- und Straßenbahnfahrten multipliziert, um die jeweiligen Konsumausgaben zu berechnen.

Mit Hilfe der Fahrleistung und des Kraftstoffverbrauchs der jeweiligen Verkehrsträger berechnet sich der gesamte Kraftstoffverbrauch. Über den Mineralölpreis bestimmen sich die Konsumausgaben für Kraftstoffe und über die Mineralölsteuer die Steuereinnahmen. Im umweltfreundlichen Szenario erhöhen sich hier die Steuereinnahmen. Die Mehreinnahmen werden zum einen in den Aufbau der Infrastruktur investiert, zum anderen werden sie durch Steuererleichterungen der Bevölkerung wieder zurückgegeben und erhöhen so das verfügbare Einkommen der privaten Haushalte.

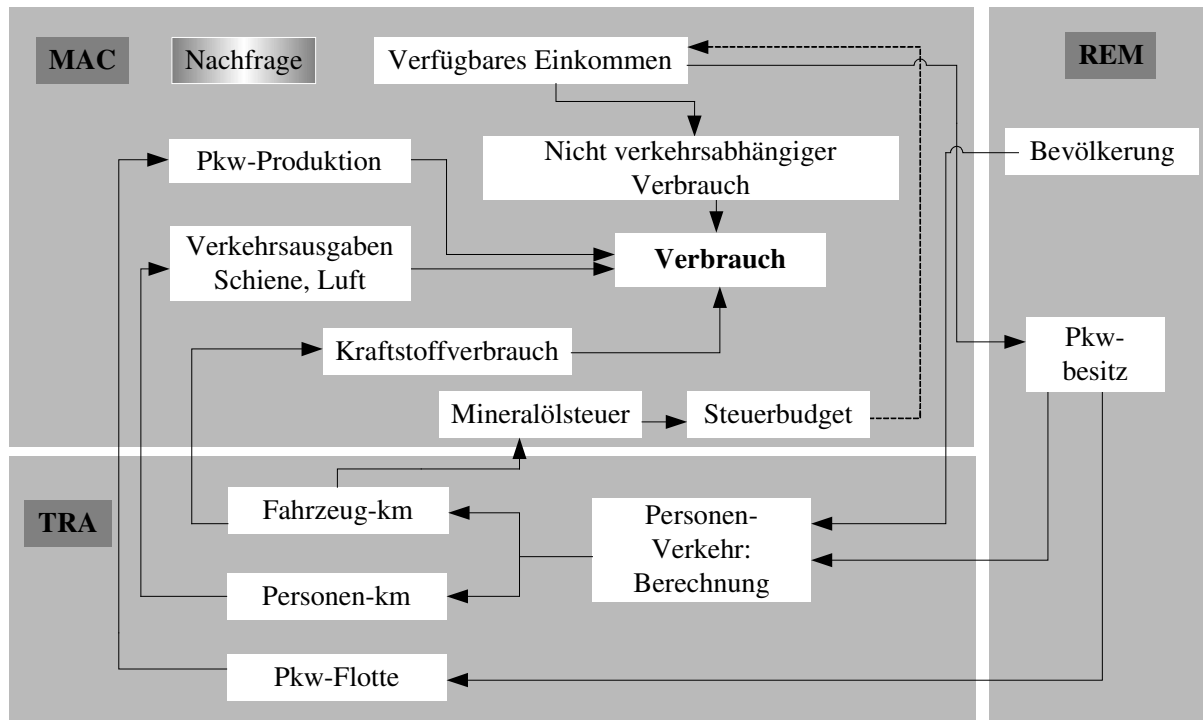


Abbildung 6-3: Konsum in ESCOT

(iii) Sektoraler Konsum insgesamt

Der gesamte sektorale Konsum berechnet sich aus der Summe des Konsums von Verkehrs- und Nicht-Verkehrssektoren:

$$C_s = COT_s + CIT_s \quad (6.4)$$

mit: C_s : Sektoraler Konsum (Consumption per Sector)
 COT_s : Konsum in Nicht-Verkehrssektoren (Consumption per Sector without Transport)
 CIT_s : Konsum in Verkehrssektoren (Rail Travel Consumption etc.)

(b) Investitionen

Unter Investitionen versteht man die staatlich und unternehmerisch getätigten Käufe für langlebige Wirtschaftsgüter in den 32 Sektoren. Im gesamten ESCOT werden bei den Investitionen immer die Anlageinvestitionen betrachtet. Um die Investitionen detailliert abzubilden wird nach investierenden Sektoren und Investitionsgüter herstellenden Sektoren unterschieden. Wie die Investitionen bestimmt werden, ist in Abbildung 6-4 dargestellt.

(i) Datengewinnung

Zunächst werden im ersten Schritt Zeitreihen für investierende Sektoren und Investitionsgüter herstellende Sektoren bestimmt. Zeitreihen der Investitionsgüter herstellenden Sektoren lassen sich den Input-Output-Tabellen entnehmen⁹. Informationen über investierende Sektoren bestimmen sich aus den Zeitreihen des sektoralen Anlagevermögens¹⁰. Unter Zuhilfenahme der jährlichen Abschreibungen¹¹ lassen sich aus ihnen Zeitreihen für investierende Sektoren ermitteln.

⁹ Statistisches Bundesamt (2002a, 2004a)

¹⁰ Statistisches Bundesamt (2004b)

¹¹ Statistisches Bundesamt (2002a, 2004a)

(ii) Investitionsmatrix

Diese Informationen entsprechen den Zeilen- und Spaltensummen einer Investitionsmatrix. Wenn sich aus den Zeilen- und Spaltensummen eine Matrix ermitteln lässt, gibt es automatisch unendlich viele Matrizen, welche die Bedingungen der Zeilen- und Spaltensummen erfüllen.

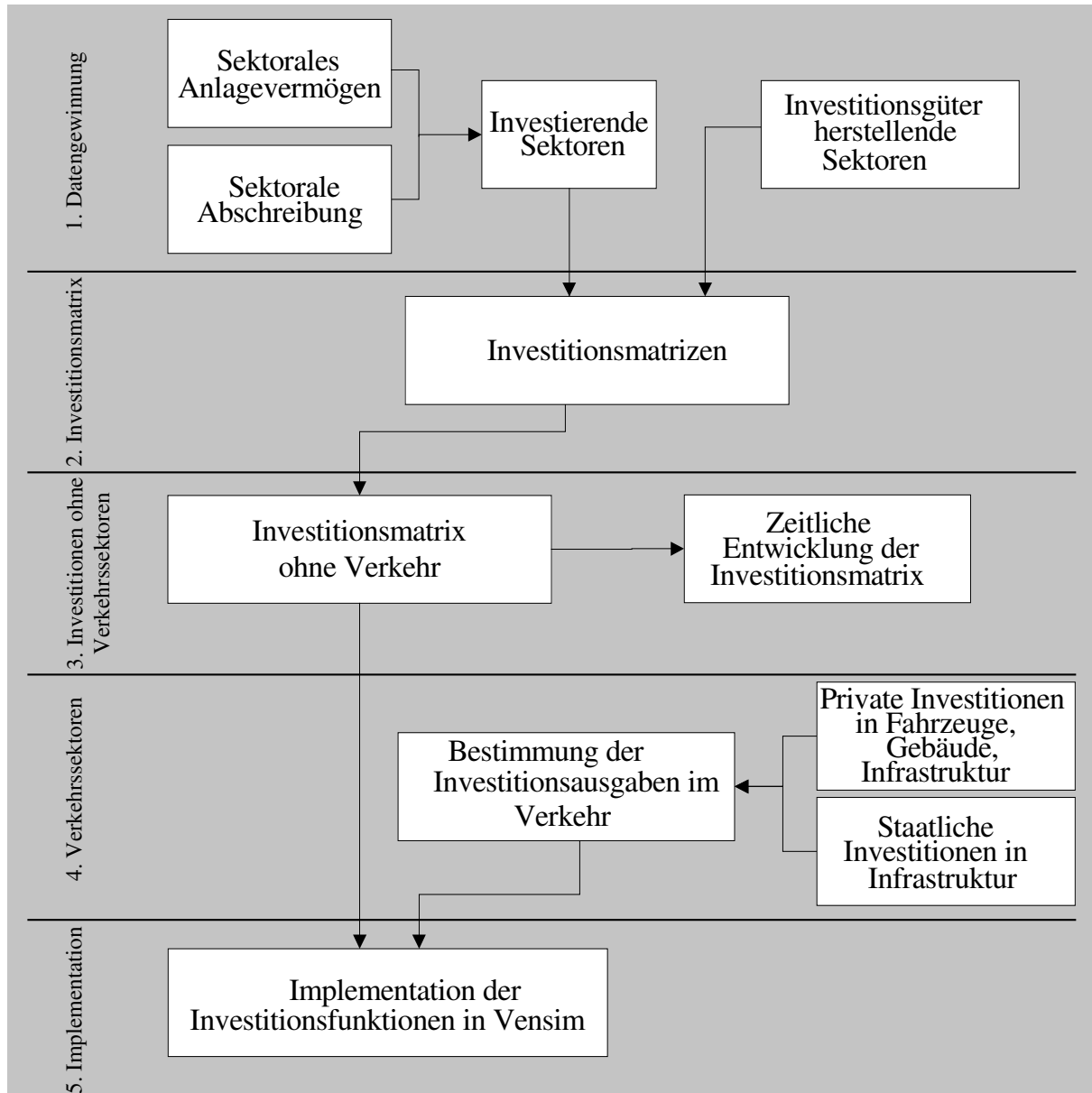


Abbildung 6-4: Ablauf der Bestimmung der Investitionen

Daher wird hier als zusätzliche Information die Input-Koeffizienten-Matrix verwendet. Dies beruht auf der Annahme, dass zwischen der sektoralen Verflechtungen der Vorleistungen und der Verflechtung der Investitionen zumindest in Grundzügen eine Ähnlichkeit besteht.

Im ersten Schritt nimmt man die Tabelle der Input-Koeffizienten (Tabelle 6-1) und multipliziert sie mit den Spaltensummen. Als Ergebnis erhält man eine Matrix deren IST- mit den SOLL-Spaltensummen übereinstimmt. Für die Zeilensumme weicht der IST-Wert vom SOLL-Wert ab.

Tabelle 6-1: Input-Koeffizienten-Matrix im Jahr 1995

1995	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
Input-Koeffizienten	Land	Kohle	Nahrung	Textil	Papier	Öl	Phar-	Che-	Kunst	Stein	Stahl	Masch	Buro	Elek-	triz	richt	wag	Fahr	Prod	sonst	Ver-	Bau	Har-	Eisen-	Land-	Schuf	Luft-	Sonst-	Nach-	Ver-	Unter-	Öff-	
	le	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng	ng
1 Land	6,2	0,4	35,3	2,5	2,5	0,0	0,0	0,1	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,3	0,2	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,8	0,0	0,8
2 Kohle	1,9	12,1	0,4	0,3	0,6	54,2	0,1	1,7	0,2	13,9	3,3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	26,2	2,0	0,2	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5
3 Nahrung	17,4	0,0	22,7	0,0	0,1	0,0	1,8	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	1,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	
4 Textil	0,3	0,1	0,0	48,2	0,0	0,0	0,8	0,1	1,4	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,4	0,4	0,9	5,0	0,0	0,5	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,5	
5 Papier	0,8	2,3	3,6	3,1	45,7	0,1	2,3	4,5	1,7	1,6	1,3	1,8	1,8	1,4	2,6	2,9	1,2	4,3	18,4	0,4	6,8	5,4	2,2	1,1	0,1	0,2	1,5	7,7	0,7	1,9	5,9	5,0	
6 Öl	1,9	0,5	0,2	0,1	0,2	21,2	0,0	4,1	0,1	0,9	1,8	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,4	3,7	0,6	0,6	2,1	4,4	4,9	18,3	0,6	0,6	0,0	0,3	0,6	
7 Pharma	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	
8 Chemie	11,4	3,0	0,6	15,3	6,2	4,0	34,6	32,3	43,0	4,3	2,5	2,6	0,7	1,7	2,6	1,6	3,0	1,6	4,6	0,3	2,1	0,4	0,6	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6	1,0
9 Kunst	0,9	0,4	1,8	0,8	1,1	0,1	3,3	2,3	15,9	1,1	1,2	3,7	0,8	2,5	3,8	3,7	7,6	2,1	3,2	0,0	8,0	1,5	0,3	1,2	0,0	0,0	0,2	0,3	0,0	0,0	0,4	0,7	
10 Steine	2,7	0,3	0,9	0,7	0,8	0,0	0,6	1,3	1,1	22,0	1,9	0,6	0,0	1,2	1,2	5,6	1,4	0,2	1,0	0,3	18,5	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	
11 Stahl	1,8	7,8	1,7	0,6	1,1	1,6	2,4	6,3	2,2	0,8	51,4	20,0	2,1	13,0	9,2	10,6	16,9	24,4	9,1	2,9	9,9	1,4	3,1	1,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	1,7	
12 Masch	4,1	12,1	0,8	1,5	1,0	0,6	0,3	2,2	3,0	1,6	3,9	31,3	0,1	2,7	0,5	4,4	4,2	6,2	2,3	2,0	1,9	0,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,3	0,0	0,5	0,0	1,3	
13 Büro	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
14 Elektriz	0,3	0,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,7	7,2	1,4	4,4	2,0	4,0	6,5	2,3	0,2	5,8	7,7	1,0	3,8	1,2	0,0	0,0	0,0	0,2	1,4	0,0	0,4	0,5	
15 Nachricht	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	13,7	0,4	46,1	8,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	
16 Mess	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,5	0,1	0,0	0,4	0,9	0,1	0,7	0,7	15,0	0,4	0,9	0,0	1,4	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	3,7	
17 Kraftweg	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	0,0	0,0	2,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
18 Sonst Fahr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,5	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	
19 Sonst Prod	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,4	17,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	
20 Versorgung	4,4	7,0	2,3	3,6	3,6	3,1	0,6	5,0	4,1	7,1	4,7	1,7	1,2	1,7	1,7	1,5	1,5	1,7	2,1	8,7	0,1	3,0	19,5	2,8	0,0	0,0	0,0	0,6	4,0	0,4	0,7	1,2	3,7
21 Bau	2,0	7,7	0,7	0,7	0,9	0,6	2,1	1,0	0,7	2,6	1,3	0,5	0,9	0,6	0,6	0,5	0,5	0,3	0,6	5,3	3,8	2,3	4,3	2,9	0,0	0,0	0,0	2,1	5,4	0,6	29,0	3,1	6,9
22 Handel	14,0	5,5	9,0	10,2	6,3	2,0	2,3	4,4	3,8	11,1	8,9	8,2	17,6	5,7	8,8	10,9	5,0	4,7	11,1	4,4	9,0	18,6	4,3	17,7	2,1	2,5	7,0	5,9	0,6	1,2	4,1	8,6	
23 Eisen-DL	0,2	0,6	0,0	0,1	0,3	0,7	0,2	0,3	0,3	0,9	0,6	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	1,4	0,1	0,2	16,7	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	1,0	
24 Landv-DL	2,0	0,7	1,5	1,2	2,3	0,8	0,8	1,0	1,4	4,1	1,4	0,9	0,2	0,4	0,5	0,6	0,9	0,5	1,5	0,6	1,4	0,4	0,2	7,6	0,2	0,6	0,4	0,1	0,0	0,0	0,3	1,3	
25 Schuft-DL	0,4	0,5	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,3	0,1	0,5	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	7,0	0,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0		
26 Luft-DL	0,0	1,0	0,1	0,2	0,3	0,1	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	1,0	0,2	0,4	0,8	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,7	0,2	0,0	0,8	0,8	
27 Sonst-DL	0,1	0,0	1,4	0,2	0,2	0,0	0,5	0,9	1,0	1,3	0,4	1,5	0,1	0,1	0,4	0,9	1,7	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,9	15,4	21,2	62,1	51,5	66,0	0,1	0,0	0,0	0,0	
28 Nach-DL	0,3	1,0	0,3	0,5	2,4	0,6	1,4	1,1	1,0	0,9	0,8	1,1	2,5	1,0	1,1	1,4	0,5	0,7	0,6	1,3	0,6	4,7	0,8	2,9	0,2	1,5	2,7	35,8	1,8	1,0	2,8	4,5	
29 Banken	1,3	1,0	0,4	0,2	0,9	0,7	0,7	1,1	0,8	0,9	0,5	0,4	0,5	0,9	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	2,3	1,2	2,2	2,6	7,6	0,3	0,4	1,9	1,9	76,5	2,6	1,6	2,0	
30 Vermuet	10,2	13,7	3,1	1,1	6,7	1,9	5,8	3,2	3,5	6,8	2,7	3,3	4,5	4,0	2,4	3,3	1,9	1,6	5,6	6,7	18,1	21,4	3,8	5,8	19,1	8,5	5,5	5,7	4,0	21,1	13,6	9,3	
31 Untern-DL	5,5	13,7	9,8	6,1	10,0	5,3	25,4	16,3	9,5	13,2	6,0	9,0	13,6	14,4	12,0	18,5	5,8	8,4	12,1	11,1	5,2	14,0	8,8	11,8	0,3	1,4	5,4	11,9	13,6	35,5	44,6	15,7	
32 Öff-DL	7,3	6,6	1,9	0,8	4,7	0,7	2,5	3,6	1,2	2,4	1,4	0,8	1,0	0,9	0,6	1,4	0,6	0,6	1,3	13,4	1,3	6,5	3,6	4,1	0,1	0,2	2,5	1,8	0,8	4,5	14,9	19,8	
Gesamt	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabelle 6-2: Investitionskoeffizienten-Matrix im Jahr 1995

1995	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
Investitions-	Land	Koh-	Nah-	Tex-	Pa-	Öl	Phar-	Che-	Kunst	Ste-	Stahl	Mäsch	Büro	Elek-	Nach-	Mess	Kraft-	Sonst	Ver-	Bau	Han-	Eisen-	Land-	Schiff-	Luft-	Sonst-	Nach-	Ban-	Ver-	Unter-	Öff-		
koeffizienten	le	run-	g	til	pie-	r	na	mie	ne	triz	richt	wag	Fahr	Prod	song	del	b-DL	v-DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL		
1 Land	3,3	0,1	38,0	2,7	2,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	2,3	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,4		
2 Kohle	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
3 Nahrung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
4 Textil	0,0	0,0	0,0	17,2	0,0	0,0	0,4	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
5 Papier	0,1	0,2	1,5	1,2	20,0	0,1	1,2	1,4	0,5	0,5	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,0	0,2	1,7	0,1	1,3	1,0	0,5	0,1	0,2	0,0	1,2	1,3	1,5	0,2	2,4	1,0	
6 Öl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
7 Pharma	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
8 Chemie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
9 Kunst	0,1	0,0	0,6	0,3	0,4	0,1	1,8	0,8	4,3	0,3	0,1	0,1	0,0	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,0	1,3	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	
10 Steine	0,3	0,0	0,2	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2	4,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
11 Stahl	4,4	7,9	8,4	3,2	5,7	17,3	15,0	23,1	7,8	3,1	60,6	9,5	2,2	14,3	7,0	12,5	3,3	14,7	9,5	7,3	21,5	3,1	8,3	3,1	11,9	0,0	6,0	1,1	0,5	0,2	2,0	3,9	
12 Masch	51,7	65,3	20,8	38,0	28,1	38,7	10,3	42,9	55,2	33,7	24,8	78,9	0,7	16,3	2,2	27,5	4,5	19,8	13,0	27,1	22,3	5,8	2,4	1,4	3,0	0,0	9,6	3,6	0,8	3,4	1,6	16,2	
13 Büro	0,1	0,2	0,7	0,5	0,8	0,8	3,1	1,3	1,1	1,1	0,3	0,1	52,1	0,7	0,8	1,6	0,0	0,0	0,3	1,0	0,1	0,9	1,7	0,8	0,8	0,2	8,2	3,5	3,5	0,2	10,8	4,9	
14 Elektriz	0,9	0,6	0,2	0,5	0,6	0,8	0,6	2,1	0,5	0,3	1,0	4,1	1,8	59,5	1,8	5,7	1,5	1,7	0,3	17,3	20,2	2,6	12,3	2,9	0,6	0,0	2,9	3,4	0,7	0,1	2,4	1,5	
15 Nachricht	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	1,9	33,8	1,1	82,6	24,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52,3	0,1	0,0	1,4	1,1	
16 Mess	0,0	0,1	0,3	0,0	0,1	3,0	2,5	2,0	0,7	0,4	0,5	0,4	0,2	0,9	0,6	19,1	0,1	0,6	0,0	3,9	0,1	0,3	0,1	0,2	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	9,3	
17 Kraftwag	13,4	0,4	0,9	1,3	0,0	0,0	2,2	1,6	7,8	0,0	1,5	2,0	0,1	0,7	0,0	0,0	88,3	1,9	9,1	0,0	0,0	54,8	0,0	53,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	
18 Sonst Fahr	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	57,7	0,0	0,0	0,0	0,0	36,7	5,8	38,4	95,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,8		
19 Sonst Prod	0,1	0,0	0,0	8,3	8,7	0,1	1,1	0,9	3,3	5,0	2,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	1,0	0,8	58,1	0,0	0,6	1,2	0,4	0,1	0,0	0,1	0,4	0,8	1,9	0,0	3,4	4,8	
20 Versorg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
21 Bau	12,3	20,4	8,7	9,5	11,8	18,1	34,4	9,6	6,8	26,7	4,2	0,7	2,5	1,8	1,2	1,7	0,2	0,5	1,7	33,9	21,4	13,1	29,7	14,3	4,4	0,6	47,7	27,3	42,8	88,7	37,9	41,3	
22 Handel	6,9	1,1	9,0	10,0	6,5	4,6	3,0	3,4	2,7	8,9	2,2	0,8	3,9	1,3	1,4	2,7	0,2	0,6	2,4	2,3	4,1	8,3	2,4	7,1	11,8	1,4	12,6	2,4	3,0	0,3	4,0	4,1	
23 Eisen-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
24 Landv-DL	2,0	0,3	3,1	2,4	4,9	3,8	2,1	1,6	2,0	6,6	0,7	0,1	0,0	0,2	0,1	0,3	0,0	0,1	0,6	0,6	1,3	0,4	0,2	6,1	2,6	0,7	1,6	0,1	0,3	0,0	0,6	1,3	
25 Schiff-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
26 Luft-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
27 Sonst-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
28 Nach-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
29 Banken	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
30 Vermiet	0,8	0,5	0,5	0,1	1,2	0,7	1,3	0,4	0,4	0,9	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,6	1,4	1,6	0,3	0,4	18,3	0,8	1,7	0,4	3,4	0,9	2,3	0,7	
31 Untern-DL	1,6	1,7	5,8	3,5	6,1	7,1	19,4	7,3	4,0	6,3	0,8	0,5	1,7	1,9	1,1	2,6	0,1	0,6	1,5	3,3	1,3	3,7	2,9	2,8	1,0	0,4	5,7	2,8	39,8	5,1	25,4	4,4	
32 Öff-DL	0,7	0,2	0,4	0,1	1,0	0,3	0,6	0,5	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,1	0,6	0,4	0,3	0,2	0,0	0,9	0,1	0,8	0,2	3,0	2,0
Gesamt	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Daher wird im zweiten Schritt der Faktor, der sich aus dem Quotient SOLL durch IST ergibt mit der Tabelle multipliziert. Dadurch ergibt sich eine Tabelle deren IST-Zeilensumme mit der SOLL-Zeilensumme übereinstimmt. In den Spaltensummen weicht nun der SOLL-Wert vom IST-Wert ab.

Deswegen wird im dritten Schritt der Quotient aus SOLL und IST gebildet und mit der Tabelle multipliziert. Anschließend wiederholt man Schritt zwei und drei solange bis Zeilen- und Spaltensummen in SOLL und IST übereinstimmen.

Anhand Tabelle 6-1 und Tabelle 6-2 lassen sich Unterschiede zwischen den Input-Koeffizienten und den Investitions-Koeffizienten erkennen. Zunächst fällt auf, dass die Diagonalelemente für viele Sektoren unbedeutend werden. Dies gilt z. B. für Öl, Pharma, Chemie und den überwiegenden Teil der Dienstleistungssektoren. Dies ist durchaus bedeutsam. Wird in anderen Analysen nicht zwischen investierenden und Investitionsgüter herstellenden Sektoren unterschieden, dann nimmt man implizit an, dass die Diagonalelemente der Investitionsmatrix alle gleich eins sind.

Worin investieren die Sektoren? Fast alle Sektoren investieren in Stahl und Maschinenbau. Der Bau und der Handel haben ebenfalls in den meisten Sektoren mit Ausnahme einiger Produktionssektoren eine hohe Bedeutung.

Auch eine Reihe von Einzelergebnissen erscheinen plausibel. In hohem Maße investiert z. B. der Sektor Unternehmensdienstleistungen in Büromaschinen (Feld 13, 31), die Landwirtschaft in Kraftwagen (Feld 17, 1), der Handel in Kraftwagen (Feld 22, 17), Bau und Eisenbahndienstleistungen in Elektrizitätseinrichtungen (Feld 14, 21 und Feld 14, 23) und die Öffentlichen Dienstleistungen in die Messtechnik (Feld 16, 32).

Auch aus den Produktions- und Dienstleistungssektoren des Verkehrs ergibt sich ein stimmiges Ergebnis (Feld 17, 23 bis Feld 18, 26). Der Sektor Landverkehrsdienstleistungen investiert im wesentlichen in Kraftwagen, die anderen Dienstleistungssektoren des Verkehrs in den sonstigen Fahrzeugbau.

(iii) Investitionsmatrix ohne Verkehr und zeitliche Entwicklung

Die Bestimmung der gesamten Investitionen erfolgt, wie auch beim Konsum, getrennt nach Nicht-Verkehrssektoren und Verkehrssektoren. Deswegen werden in der Investitionsmatrix die Produktions- und Dienstleistungssektoren des Verkehrs korrigiert. Die Investitionsausgaben für Lkw und Pkw, Gebäude (z. B. Bahnhöfe) und Infrastruktur werden aus den Tabellen herausgerechnet. Dies sind natürlich nicht alle Investitionen in den Verkehrssektoren, so dass die Verkehrssektoren in der veränderten Investitionsmatrix nicht Null sind.

Anhand mehrerer Jahrgänge von Investitionsmatrizen lassen sich die zeitlichen Veränderungen bestimmen¹². Die Veränderungen sind jedoch marginal. Es zeigt sich, dass Maschinenbau und Bauinvestitionen in manchen Sektoren eher abnehmen, Nachrichtentechnik, Messtechnik, Unternehmensdienstleistungen und Investitionen im Fahrzeugbau in einigen Sektoren tendenziell zunehmen¹³.

¹² siehe Anhang B

¹³ Da die Investitionen für Lkw und Pkw aus den Sektoren herausgerechnet wurden, handelt es sich in diesen Fällen entweder um andere Fahrzeuge dieser Sektoren oder es sind sonstige Investitionen (keine Fahrzeuge).

Die Investitionskoeffizienten-Matrix wird mit Hilfe dieser zeitlichen Entwicklungen berechnet:

$$\Pi_{sa, sb} [t+1] = \Pi_{sa, sb} [t] + T\Pi_{sa, sb} \cdot dt \quad (6.5)$$

mit: $\Pi_{sa, sb}$: Investitionskoeffizienten-Matrix ohne Verkehr (Investment Coefficient Matrix without Transport)

$T\Pi_{sa, sb}$: jährliche Veränderung der Investitionskoeffizienten-Matrix ohne Verkehr (ch Investment Coefficient Matrix without Transport)

sa: Sektoren 1-32 und sb: Sektoren 1-32

Die Änderung der Investitionen der Nicht-Verkehrssektoren hängt von der Entwicklung des Outputs ab¹⁴, die mit dem Investitionsmultiplikator multipliziert werden:

$$IV_s = \alpha_s \cdot OP_s \cdot (1 - OG_s)^{\beta_s} \cdot (1+r)^\gamma \quad (6.6)$$

mit: IV_s : Investitionen investierender Sektoren ohne Verkehr (Investing Sectors without Transport)

OP_s : Output (Output per Sector)

OG_s : Produktionslücke (Output Gap per Sector)

r: Realzins (Real Interest Rate estimated)

$\alpha_s, \beta_s, \gamma$: Parameter

Die Entwicklung der Investitionen der investierenden Sektoren wird noch durch einen Zeitfaktor gebremst. Anschließend werden die Investition der investierenden Sektoren mit der Investitionsmatrix multipliziert, um die Investitionen der Investitionsgüter herstellenden Sektoren zu erhalten.

$$IG_{sb} = \Pi_{sa, sb} \cdot IV_{sa} \quad (6.7)$$

mit: IG_{sb} : Investitionen in Investitionsgüter herstellende Sektoren ohne Verkehr (Investment Sectors without Transport)

IV_{sa} : Investitionen investierender Sektoren ohne Verkehr (Investing Sectors without Transport)

$\Pi_{sa, sb}$: Investitionskoeffizienten-Matrix ohne Verkehr (Investment Coefficient Matrix without Transport)

Damit sind die Investitionen der Investitionsgüter herstellenden Sektoren berechnet.

(iv) Investitionen in Verkehrssektoren

Investitionen in Verkehrssektoren werden explizit vom Modell bestimmt. Sie umfassen:

- Pkw- und Lkw-Käufe
- Fahrwege Straße und Schiene
- Investitionen in Fahrzeuge für Schiene, Wasser und Luft
- Investitionen in Gebäude für Straße, Schiene, Wasser und Luft

Die Berechnung der Lkw-Käufe erfolgt im Verkehrsbereich in Abhängigkeit der Preise für Lkw und in Abhängigkeit der Transportleistung auf der Straße. Die Kostenfaktoren bestimmen sich wie folgt¹⁵:

- Preis pro Lkw = 35806 €
- Preis pro Pkw = 12216 €
- Kosten pro Schienenkilometer₁ = (17,2; 4,6; 4,6) Mill. €¹⁶
- Kosten pro Straßenkilometer₁ = (7,5; 3,7; 3,7) Mill. €

1: Streckenverbindungstypen (Inter Urban Links, Inter Regional Links, Urban Links)

¹⁴ vgl. Fleissner (1993), S. 189

¹⁵ vgl. Kuchenbecker (2000), S. 134f

¹⁶ Für Hochgeschwindigkeitsstrecken wird ein Kostensatz von 23,61 Mill. € angenommen. Auf den Hauptstadtverbindungen sind nicht alle Strecken Hochgeschwindigkeitsstrecken.

Ebenso werden die Investitionen in die Fahrwege Straße und Schiene im Verkehrsmodell berechnet. Hier wird der exogen bestimmte Straßen- und Schienenausbau mit Kosten pro Kilometer multipliziert.

Die Investitionen für Fahrzeuge und Gebäude bei den anderen Verkehrsträgern berechnen sich aus Multiplikation der Verkehrsleistungen unter Berücksichtigung des Personen- und Güterverkehrs mit spezifischen Investitionsmultiplikatoren. Diese spezifischen Investitionsmultiplikatoren wurden vereinfacht dadurch bestimmt, dass die aktuelle Verkehrsleistung mit den jeweiligen Investitionen ins Verhältnis gesetzt wurde. Mit steigenden Investitionen sinken die Investitionsmultiplikatoren (Economies of Scale). Zum Startjahr ergeben sich folgende spezifische Investitionsmultiplikatoren:

Tabelle 6-3: Investitionskennziffern

Investitionsgut	Investition	Einheit
Gebäude Straße	1,60	Mill. € / Mrd. Tkm
Gebäude Schiene	19,00	Mill. € / (Mrd. (Tkm + 2 · Pkm))
Gebäude Wasser	8,20	Mill. € / Mrd. Tkm
Gebäude Luft	20,11	Mill. € / Mrd. Pkm
Fahrzeuge Schiene	10,05	Mill. € / (Mrd. (Tkm + 2 · Pkm))
Fahrzeuge Wasser	20,11	Mill. € / Mrd. Tkm
Fahrzeuge Luft	25,85	Mill. € / Mrd. Pkm

(v) **Sektorale Investitionen insgesamt**

Im letzten Schritt werden die Ergebnisse zusammengeführt (Abbildung 6-5).

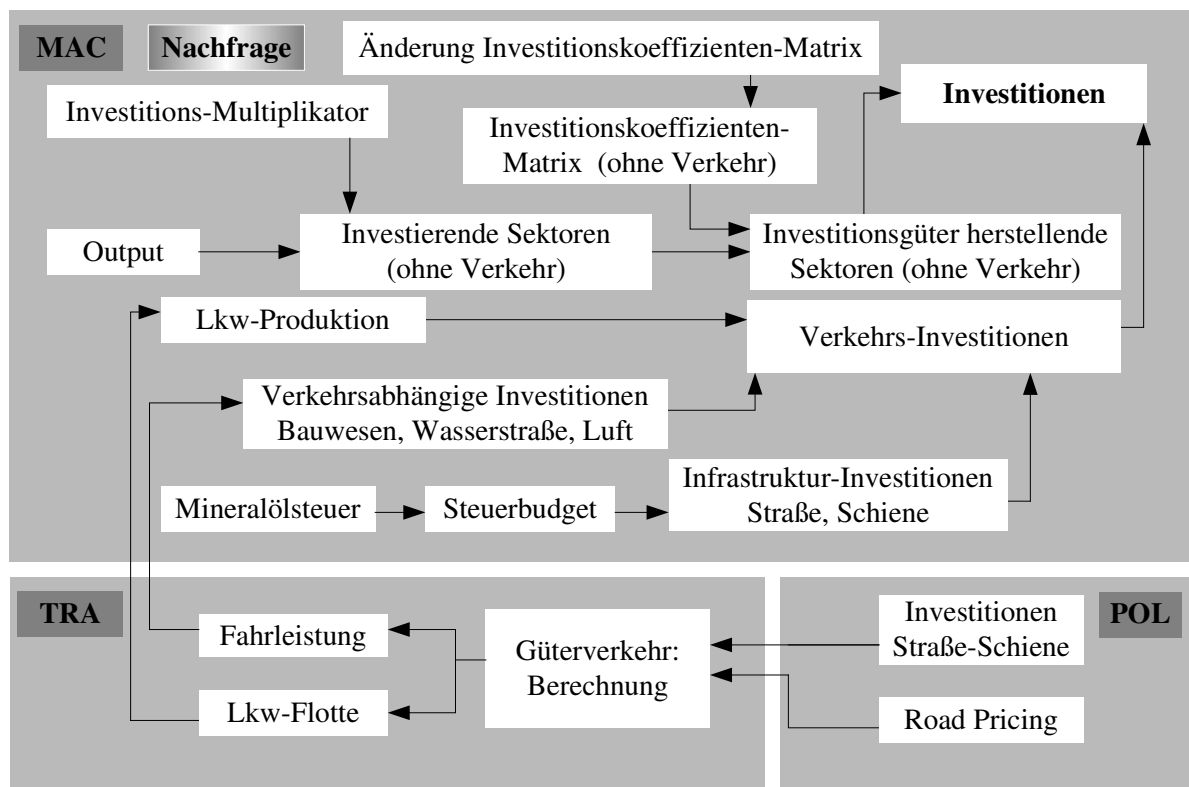


Abbildung 6-5: Investitionen in ESCOT

Aus den Verkehrs-Investitionen und den sektoralen Investitionen der Investitionsgüter herstellenden Sektoren bildet man durch Addition die gesamten sektoralen Investitionen der Investitionsgüter herstellenden Sektoren:

$$I_s = IG_s + VI_s \quad (6.8)$$

mit: I_s : Investitionen (Investment per Sector)
 IG_s : Investitionen in Investitionsgüter herstellende Sektoren ohne Verkehr
 (Investment Sectors without Transport)
 VI_s : Verkehrs-Investitionen (Road Vehicle Investment etc.)

(c) Endnachfrage

Zur Bestimmung der Endnachfrage werden noch die Entwicklung der Staatsausgaben und die des Exports benötigt. Die Staatsausgaben umfassen hier nur diejenigen Verwaltungsleistungen der Gebietskörperschaften und der Sozialversicherung, die der Allgemeinheit ohne spezielles Entgelt zur Verfügung gestellt werden (Verkehrsinvestitionen des Staates wurden schon im vorherigen Abschnitt bestimmt). Es wird angenommen, dass deren Umfang jährlich um 2% steigt, ausgehend von einem Anfangswert von 289 Mrd. € im Jahr 1986.

Der Export wird bestimmt unter der Annahme, dass das Ausland die gleichen politischen Maßnahmen durchführt. Daher ist keine Arbitrage möglich. Wenn das Ausland den gleichen Pfad einschlägt, finden dort vergleichbare Änderungen der Wirtschaftsstruktur und des Verkehrsverhaltens statt. Aus diesem Grund können Änderungen im Ausland aus Änderungen in Deutschland abgeleitet werden. Als Indikator werden die gewichteten Größen der inländischen Endnachfrage gewählt:

$$\text{extr}_s[t] = \alpha \cdot \frac{C_s[t] - C_s[t-1]}{C_s[t-1]} + \beta \cdot \frac{I_s[t] - I_s[t-1]}{I_s[t-1]} + \frac{G_s[t] - G_s[t-1]}{G_s[t-1]} \quad (6.9)$$

mit: extr_s : Prozentuales Wachstum des Exports in Sektor s
 C_s : Konsum in Sektor s (Consumption per Sector)
 I_s : Investitionen in Sektor s (Investment per Sector)
 G_s : Staatsverbrauch in Sektors s (Government Spending per Sector)
 α, β : Parameter

Der Export berechnet sich dann mit Hilfe des prozentualen Exportwachstums:

$$EX_s[t] = EX_s[t-1] + \text{extr}_s[t-1] \cdot EX_s[t-1] \cdot dt \quad (6.10)$$

EX_s : Export in Sektors s (Export per Sector)
 extr_s : Trend des Exports in Sektor s

Die Endnachfrage ergibt sich durch einfache Addition der Bestandteile Konsum, Investitionen, Staatsverbrauch und Export:

$$FD_s = C_s + I_s + G_s + EX_s \quad (6.11)$$

mit: FD_s : Endnachfrage in Sektor s (Final Demand per Sector)
 C_s : Konsum in Sektor s (Consumption per Sector)
 I_s : Investitionen in Sektor s (Investment per Sector)
 G_s : Staatsverbrauch in Sektors s (Government Spending per Sector)
 EX_s : Export in Sektors s (Export per Sector)

Aus den Vorleistungen und der Endnachfrage berechnet sich der sektorale Output:

$$OP_{sa} = FD_{sa} + \sum_{sb} IO_{sa,sb} \quad (6.12)$$

mit: OP_{sa} : Sektoraler Output (Output per Sector)
 FD_{sa} : Endnachfrage in Sektor s (Final Demand per Sector)
 $IO_{sa,sb}$: Vorleistungsmatrix (Intermediate Matrix)

6.3.2 Angebotsseite

Die angebotsseitigen Variablen im Makromodul von ESCOT sind Kapital, Arbeit und technischer Fortschritt. Diese bilden zugleich die Variablen der Produktionsfunktion. Die Beschreibung der Angebotsseite beginnt zunächst mit diesen Variablen. Anschließend wird die Schätzung der Produktionsfunktion erläutert.

(a) Kapital

Beim Kapital wird im wesentlichen das Anlagekapital berücksichtigt¹⁷. Zeitreihen über das sektorale Anlagekapital finden sich in den Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes. Für die Dienstleistungssektoren des Verkehrs werden diese aus den Veröffentlichungen von „Verkehr in Zahlen“¹⁸ ergänzt. In „Verkehr in Zahlen“ finden sich detailliertere Zeitreihen über Kapital in den Verkehrswegen und Gebäuden der jeweiligen Verkehrsträger.

In ESCOT wird das Kapital über die investierenden Sektoren berechnet. Vom Kapital wird jährlich in Abhängigkeit einer festen Abschreibungsrate abgeschrieben:

$$K_s[t+1] = K_s[t] + (IV_s[t] - K_s[t] \cdot dpr) \cdot dt \quad (6.13)$$

mit: K_s : Anlagekapital (Capital per Sector)
 IV_s : Investitionen investierender Sektoren (Investing Sectors)
 dpr : Abschreibungsrate (Depreciation Rate)
 dt : Zeitintervall

(b) Arbeit

(i) Beschäftigung

Die Beschäftigungshöhe wird - wie in KEYNEO - mehrstufig berechnet. Zunächst wird die kurzfristige sektorale Beschäftigung in Abhängigkeit von Kapital, Beschäftigte pro Kapital, Grenzerträgen der Arbeit und den Arbeitnehmerentgelten bestimmt. Neu in dieser Gleichung ist die sektorale Dimension. Die Variablen und Parameter beziehen sich jetzt jeweils auf einen Sektor.

$$ELT_s = \alpha_s \cdot (K_s \cdot emp_{cs}) \cdot \left(\frac{mge_s}{W_s}\right)^{\beta_s} \quad (6.14)$$

mit: ELT_s : Beschäftigung langfristig (Employment Long Term)
 K_s : Anlagekapital (Capital per Sector)
 emp_{cs} : Beschäftigung pro Kapitaleinheit (Employment per Capital)
 mge_s : Grenzertrag der Arbeit pro Monat (Marginal Gain per Employee per Month)
 W_s : Arbeitslohn pro Monat (Empirical Wages per Employee)
 α_s, β_s : Parameter

Beschäftigung pro Kapitaleinheit wird in Abhängigkeit der Zeit und des technischen Fortschritts bestimmt.

$$emp_{cs}[t+1] = emp_{cs}[t] - (\alpha_s \cdot emp_{cs}[t]^{\beta_s} \cdot \lambda_s) dt \quad (6.15)$$

mit: emp_{cs} : Beschäftigung pro Kapitaleinheit (Employment per Capital)
 λ_s : Technischer Fortschritt (lambda CESPF)
 dt : Zeitintervall
 α_s, β_s : Parameter

¹⁷ Unter Abschnitt d findet sich eine Alternativrechnung der Produktionsfunktion mit dem Ausrüstungskapital

¹⁸ DIW (2002)

Die Grenzerträge der Arbeit errechnen sich aus der Ableitung des Produktionspotenzials:

$$mge_s [t] = \frac{PP_s [E_s + 1, t] - PP_s [E_s, t]}{PP_s [E_s, t]} \cdot \frac{1}{12} \quad (6.16)$$

mit: mge_s : Grenzertrag der Arbeit pro Monat (Marginal Gain per Employee per Month)

PP_s : Produktionspotenzial (Production Potential per Sector)

E_s : Beschäftigung (Employment per Sector)

Die tatsächliche Beschäftigung wird zeitverzögert aus der langfristigen Beschäftigung bestimmt:

$$E_s [t+1] = E_s [t] + \alpha_s \cdot (ELT_s [t] - E_s [t]) \cdot dt \quad (6.17)$$

mit: E_s : Beschäftigung (Employment per Sector)

ELT_s : Beschäftigung langfristig (Employment Long Term)

α_s : Parameter

(ii) Arbeitsstunden

Die Entwicklung der Arbeitszeiten wird im Modell exogen bestimmt. Sie basiert auf der Entwicklung der Arbeitszeiten pro Beschäftigten eines Sektors von 1991 bis 2000.

Die Berechnung der Arbeitszeit pro Beschäftigten eines Sektors erfolgt in vier Schritten. Im ersten Schritt wird die Anzahl der Arbeitstage berechnet. Die Anzahl der effektiven Arbeitstage hängt ab von der Anzahl der kalenderbedingten Arbeitstage, den Urlaubstagen pro Sektor und dem Krankenstand in Tagen:

$$At_s = Kt - SaSo - Fe - Ur_s - Kr \quad (6.18)$$

mit: At_s : effektive Arbeitstage pro Sektor

Kt : Kalendertage

$SaSo$: Samstag und Sonntage

Fe : Feiertage

Ur_s : Urlaubstage pro Sektor

Kr : Krankenstand in Tagen

Im zweiten Schritt wird die betriebsübliche Arbeitszeit berechnet. Ausgehend von den Tarifverträgen geht hier die Teilzeitquote in die Berechnung ein.

$$BAZ_s = WAZ_s ((1 - TZQ_s) + TZVZ \cdot TZQ_s) \cdot At_s / 5 \quad (6.19)$$

mit: BAZ_s : Betriebsübliche Arbeitszeit

WAZ_s : tarifliche Wochenarbeitszeit

TZQ_s : Teilzeitquote

$TZVZ$: Verhältnis der tariflichen Wochenarbeitszeit von Teilzeitbeschäftigten zu Vollzeitbeschäftigten

At_s : effektive Arbeitstage pro Sektor

Die Teilzeitquote für Deutschland liegt für alle betrachteten Jahre vor. Lediglich die Teilzeitquote pro Sektor weist Lücken auf. Die Teilzeitquote pro Sektor liegt nur für einzelne Jahre sowohl für die alten Länder als auch für die neuen Länder vor. Ein Vergleich zeigt, dass sich Struktur und Trend bei den Teilzeitbeschäftigten beider Gebiete ähneln. Insofern reichen die vollständigeren Daten für die alten Länder unter Berücksichtigung der gesamten Teilzeitquote als Datenquelle für die Teilzeitquoten pro Sektor aus.

Im folgenden Schritt wird die tatsächliche Arbeitszeit berechnet aus der betriebsüblichen Arbeitszeit unter Berücksichtigung sonstiger Effekte wie Kurzarbeit, Erziehungsarbeit etc.

$$TAZ_s = BAZ_s - KU - ER - SO + NE + ZK \quad (6.20)$$

mit: TAZ_s: tatsächliche Arbeitszeit
 BAZ_s: Betriebsübliche Arbeitszeit
 KU: Kurzarbeit
 ER: Erziehungsurlaub
 SO: Sonstiges wie Schlechtwetter, Streik
 NE: Nebentätigkeit
 ZK: Zeitkonten

Im letzten Schritt wird die Anzahl der Beschäftigten mit der tatsächlichen Arbeitszeit multipliziert. In derselben Gleichung werden zusätzlich die Selbstständigen und deren geleistete Arbeitsstunden mitberechnet:

$$GAZ_s = TAZ_s \cdot EB_s + SAZ \cdot ES_s \quad (6.21)$$

mit: GAZ_s: gesamte Arbeitszeit
 EB_s: Anzahl der Beschäftigten
 SAZ: Arbeitszeit der Selbstständigen
 ES_s: Anzahl der Selbstständigen

Die jährliche, sektorale Arbeitszeit pro Beschäftigtem ergibt sich dann aus:

$$AZE_s = \frac{GAZ_s}{E_s} \quad (6.22)$$

mit: AZE_s: jährliche, sektorale Arbeitszeit pro Beschäftigtem
 GAZ_s: gesamte Arbeitszeit
 E_s: Beschäftigten

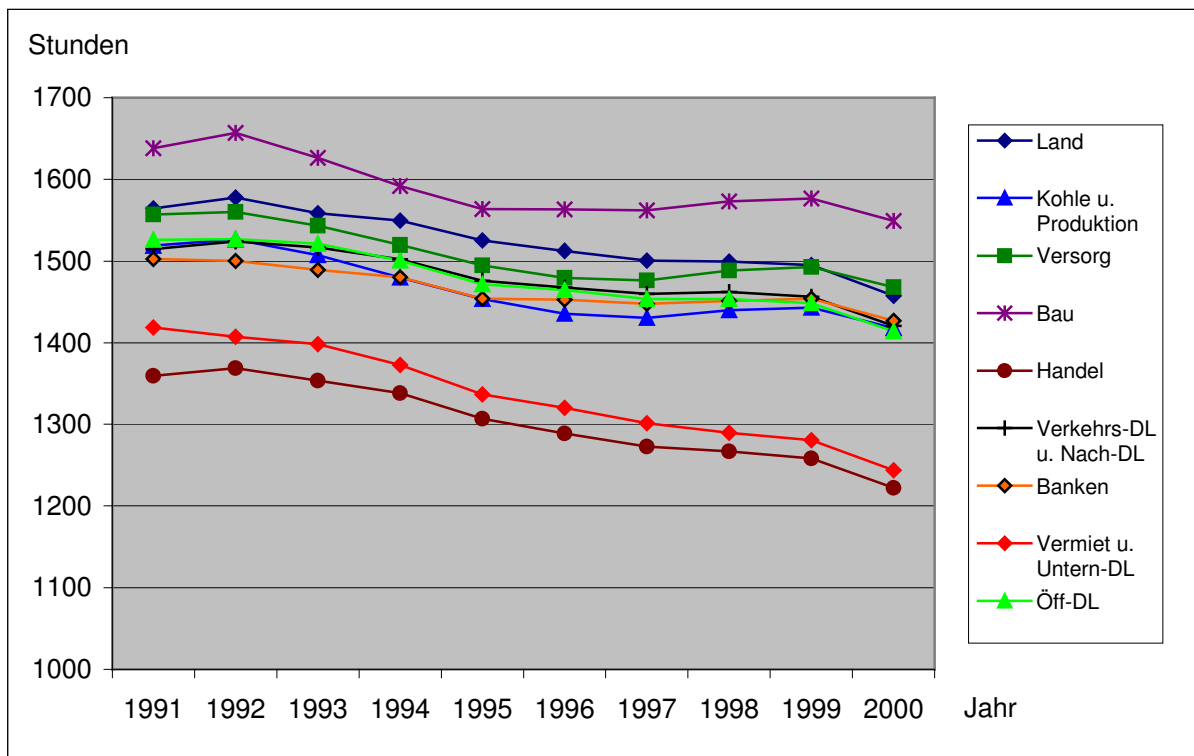


Abbildung 6-6: Jährliche, sektorale Arbeitszeit pro Beschäftigtem

In ESCOT bestimmen sich die jährlichen geleisteten Arbeitsstunden pro Sektor wie folgt:

$$L_s = AZ_s \cdot E_s \quad (6.23)$$

mit: L_s: jährliche, gesamte Arbeitszeit (Working Hours per Sector)
 AZE_s: jährliche, sektorale Arbeitszeit pro Beschäftigtem (Working Hours per Employee)
 E_s: Beschäftigung (Employment per Sector)

Insgesamt liegen die Daten nicht in der 32-Gliederung vor¹⁹. Daher werden die Produktionssektoren und der Sektor Kohle, die Verkehrsdienstleistungen und die Nachrichtendienstleistungen, sowie die Vermietungen und Unternehmensdienstleistungen zusammengefasst. Abbildung 6-6 zeigt die Ergebnisse der Zeitanalyse.

Wesentlicher Unterschied zwischen den Sektoren entsteht durch die unterschiedlichen Teilzeitquoten. Diese liegen gerade in der Landwirtschaft und den Dienstleistungssektoren zwischen 15- 35%, während sie im Verarbeitenden Gewerbe im allgemeinen zwischen 3 und 5% liegen²⁰. Der Trend zu mehr Teilzeitbeschäftigten wirkt sich zwar über alle Sektoren aus, dennoch kann man von keiner Angleichung sprechen. Tatsächlich lässt sich sogar beobachten, dass die Teilzeitbeschäftigung eher bei den Unternehmen anzutreffen ist, die sich mit einem weniger starken Wettbewerbsdruck auseinandersetzen müssen. Innovativere Unternehmen hingegen unterliegen stärkerem Wettbewerbsdruck und leisten sich weniger Teilzeitbeschäftigung.

Kritisch anzumerken ist, dass Informationen über Arbeitszeiten durch Fragebogen erhoben werden, bei denen das Antwortverhalten von Art und Aufbau des Fragebogens abhängen. So meint Schief²¹, dass Fragen zum Thema Überstunden niedrigere Angaben über gesamte Arbeitszeiten nach sich ziehen. Offenbar führt die Erwähnung von Überstunden dazu, dass nur die tarifliche Arbeitszeit und die bezahlten Überstunden berücksichtigt werden, während die unbezahlten Überstunden vernachlässigt werden.

Während sich die Anzahl der Beschäftigten endogen bestimmt, wird der zukünftige Trend der Arbeitszeit vorgegeben. Hier wird davon ausgegangen, dass eine Senkung der Arbeitszeiten in einem langsameren Tempo vonstatten geht als bisher. Diese Annahme lässt sich auch mit der aktuellen Diskussion verbinden, in denen in einzelnen Bereichen auch längere Arbeitszeiten gefordert werden. Eine weitere Begründung für das langsamere Tempo liegt darin, dass der Trend zur Teilzeitbeschäftigung abnimmt. Dies würde für eine Verlangsamung der Arbeitszeitverkürzung sprechen.

(c) Forschung und Entwicklung (FuE)

FuE-Aufwendungen sind ein Indikator für den Innovationsinput²². Sie können die Innovation jedoch nur zum Teil erfassen, weil Innovationen auch auf anderen Quellen wie z. B. Lizenzen oder Nachahmung beruhen können²³. Die Vorteile für die Verwendung von FuE-Aufwendungen liegen in ihrer einfachen Messbarkeit und in der besseren Übereinstimmung mit der Klassifikation der Sektoren in Input-Output-Tabellen als z. B. bei Patenten²⁴. Wenn man Patente als Indikator nehmen würde, würde man die Höhe der Patente wiederum auf die FuE-Aufwendungen zurückführen²⁵.

FuE-Daten werden in regelmäßigem Turnus alle zwei Jahre in den jeweils ungeradzahlig Jahren erhoben²⁶. Für die Zwischenjahre existieren Daten über die gesamten FuE-Aufwendungen und zusätzlich unvollständige Datensätze auf sektoraler Ebene. Bis 1995

¹⁹ siehe Anhang B

²⁰ vgl. IAB (2002)

²¹ vgl. Schief (2003), S. 189ff

²² vgl. Grupp (1997), S. 145

²³ vgl. Grupp (1997), S. 147

²⁴ Zwar findet sich in Schmoch et. al. (2003) eine überschneidungsfreie Konkordanzmatrix zwischen der Patentklassifikation und der WZ93. Die Konkordanzmatrix wurde allerdings mit Hilfe von Daten der 500 größten Unternehmen generiert.

²⁵ vgl. Carnitzki und Hussinger (2004), S. 19ff. Carnitzki&Hussinger finden hoch-signifikante Zusammenhänge zwischen FuE-Aufwendungen und Patenten.

²⁶ siehe Anhang B

einschließlich liegen die Daten in der Gliederung WZ79 vor, ab 1995 einschließlich liegen die Daten in der Gliederung WZ93 vor.

Der doppelte Datensatz des Jahres 1995 eignet sich zum Bestimmen eines Überföhrungsvektors, der es ermöglicht, die Jahre vor 1995 in eine geeignete Klassifizierung zu bringen.

Für die Jahrgänge 1996, 1998 und 2000 liegen sowohl für den Bereich DL (Büromaschinen, Elektrogeräte, Messtechnik etc.) mit Untergruppen 30-33 und auch für die Bereiche A (Landwirtschaft) und F-N (Dienstleistungen) nur in aggregierter Form vor. Hier werden die Anteile der anderen Jahre und deren Trends berücksichtigt, um die aggregierten Daten auf einzelne Sektoren herunterzurechnen.

Zum Abschluss werden die unvollständigen Datensätze der Zwischenjahre ergänzt. Dabei wird folgendermaßen vorgegangen. Aus den angrenzenden Jahren wird das arithmetrische Mittel gebildet. Dann wird die berechnete Zeitreihe mit einem Faktor multipliziert, der die Gesamtsumme an internen Aufwendungen der Unternehmen an die Entwicklung der FuE Gesamtaufwendungen angepasst.

Als Ergebnis erhält man die sektoralen FuE-Aufwendungen von 1983 bis 2001, die in Abbildung 6-7 dargestellt sind.

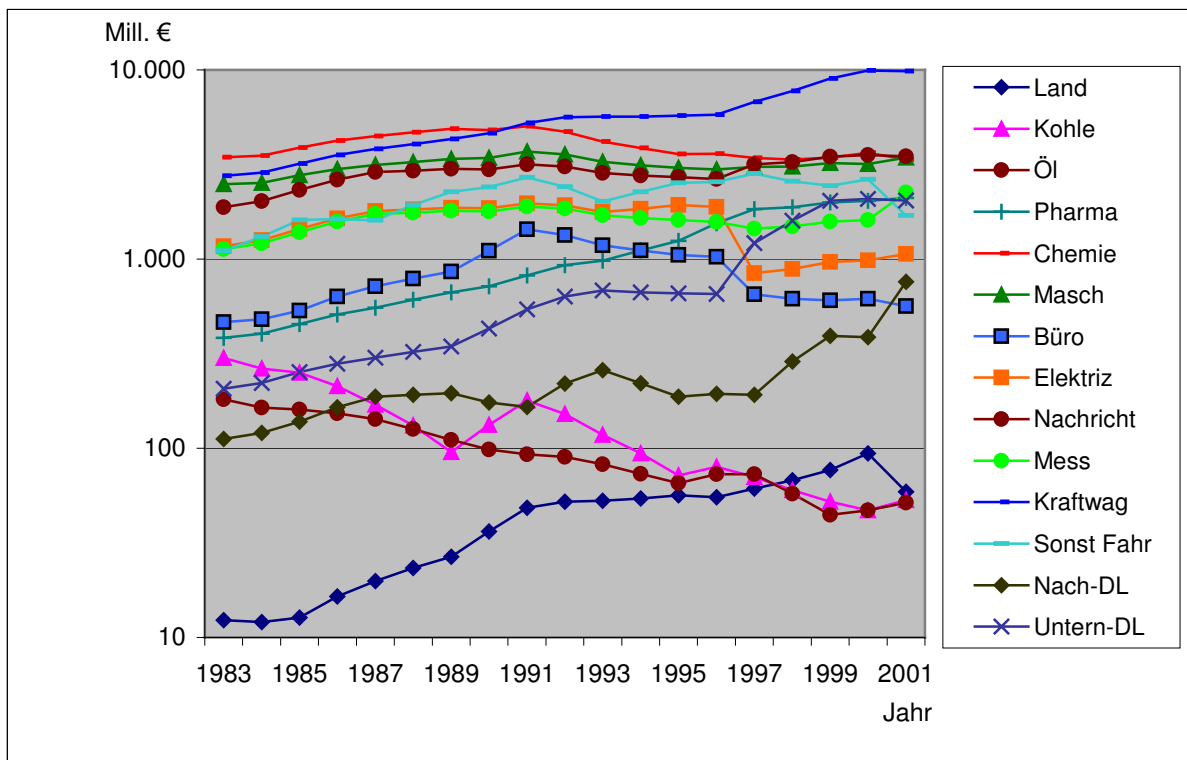


Abbildung 6-7: FuE-Aufwendungen ausgewählter Sektoren

Deutlich zu erkennen sind der starke Anstieg der FuE-Aufwendungen für Kraftwagen, Pharma, Unternehmensdienstleistungen, Nachrichtendienstleistungen und ausgehend von einem sehr niedrigen Niveau auch bei der Landwirtschaft. Generell auf hohem Niveau befinden sich die FuE-Aufwendungen der Sektoren Kraftwagen, Chemie, Maschinenbau, Nachrichten-, Messtechnik, Kraftwagen und sonstiger Fahrzeugbau.

Nach Abschluss der Datengewinnung wird ein Zusammenhang zwischen Output und FuE-Aufwendungen hergeleitet und die Zeit, bis FuE-Aufwendungen erhöhend auf den Output wirken, geschätzt (siehe Abbildung 6-8).

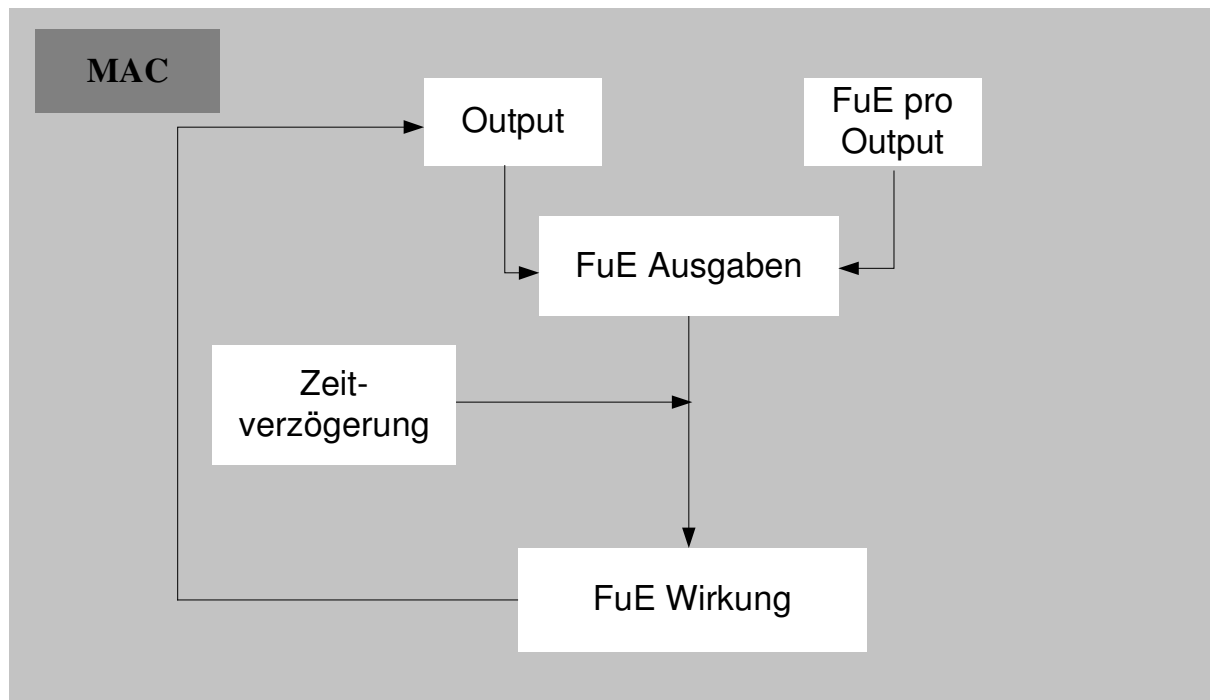


Abbildung 6-8: FuE-Aufwendungen

Der Zusammenhang zwischen FuE und Output wird über eine Regression geschätzt. Als Ergebnis erhält man Werte, die sich im Bereich von 0% bis 7% bewegen (siehe Tabelle 6-5).

Tabelle 6-4: Zusammenhang von FuE zu Output im gleichen Jahr [in %]

Sektor	Kürzel	FuE zu Output	Sektor	Kürzel	FuE zu Output	Sektor	Kürzel	FuE zu Output
1	Land	0,08	12	Masch	1,79	23	Eisenb-DL	-
2	Kohle	0,23	13	Büro	2,99	24	Landv-DL	-
3	Nahrung	0,12	14	Elektriz	1,85	25	Schiff-DL	-
4	Textil	0,15	15	Nachricht	6,52	26	Luft-DL	-
5	Papier	0,09	16	Mess	3,81	27	Sonst-DL	-
6	Öl	0,24	17	Kraftwag	3,23	28	Nach-DL	0,42
7	Pharma	4,53	18	Sonst Fahr	6,24	29	Banken	-
8	Chemie	3,68	19	Sonst Prod	0,37	30	Vermiet	-
9	Kunst	0,74	20	Versorg	0,18	31	Untern-DL	0,31
10	Steine	0,57	21	Bau	0,04	32	Öff-DL	-
11	Stahl	0,41	22	Handel	-		Gesamt	0,75

Implementiert werden die FuE-Aufwendungen über folgende Gleichung:

$$RD_s = \alpha_s \cdot OP_s \quad (6.24)$$

mit: RD_s : FuE-Aufwendungen (RandD Expenditure)
 OP_s : Output (Output per Sector)
 α_s : Parameter

Die Schätzung der Zeitverzögerung, mit der FuE auf Output wirkt, wird über den t-Test gewonnen. Grundüberlegung ist, dass mit Hilfe von einer Regression und der Anwendung des t-Tests in erstere Linie geprüft wird, ob ein Zusammenhang zwischen zu erklärender und erklärenden Variablen besteht²⁷. Für ausgewählte Sektoren ergibt sich ein Zusammenhang zwischen Output und FuE (siehe Abbildung 6-9).

²⁷ vgl. Eckey et. al. (1995), S. 66ff; vgl. Mass (1980), S. 206ff

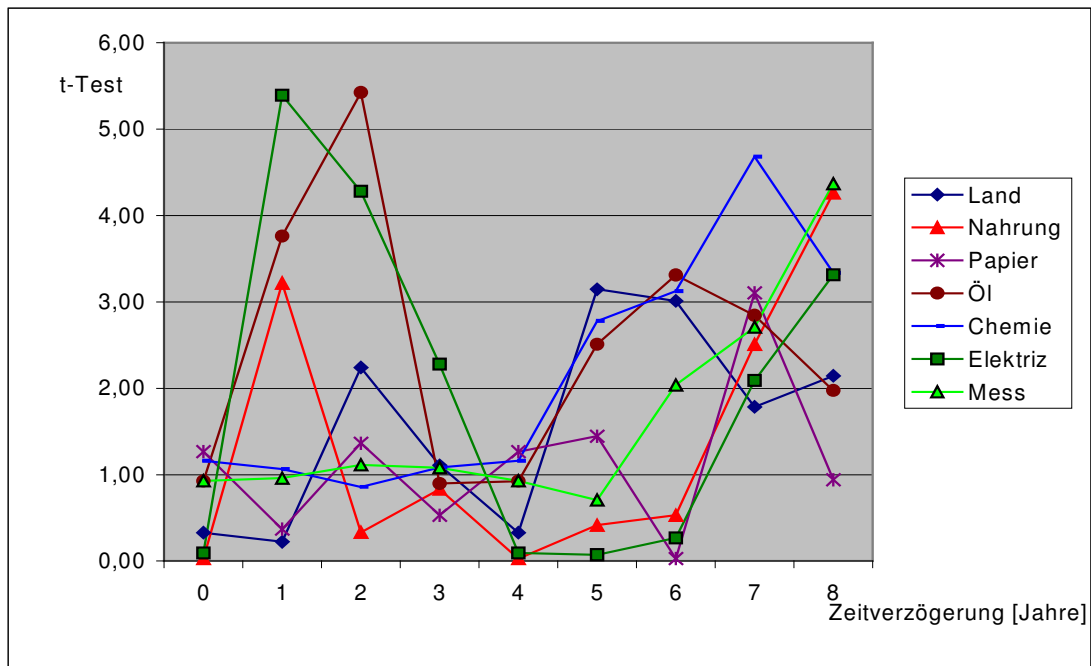


Abbildung 6-9: Ergebnisse des Signifikanztests zwischen FuE und Output

Man erhält eine hohe Signifikanz bei Zeitverzögerungen im Bereich von 0 bis 1 Jahren und von 4 bis 8 Jahren. Dies bestätigt die Annahme, dass sich die FuE-Aufwendungen zunächst unter dem Einfluss des Output getätigt werden und es erst nach einer Zeitverzögerung zu einer Steigerung des Outputs kommt.

Aus dieser Analyse wird für die Sektoren eine Zeitverschiebung der Wirkung der FuE-Aufwendungen auf den Output hergeleitet.

Tabelle 6-5: Zeitliche Verzögerung der Auswirkung von FuE-Aufwendungen [Jahre]

Sektor	Kürzel	Jahr	Sektor	Kürzel	Jahr	Sektor	Kürzel	Jahr
1	Land	5	12	Masch	8	23	Eisenb-DL	-
2	Kohle	5	13	Büro	8	24	Landv-DL	-
3	Nahrung	8	14	Elektriz	8	25	Schiff-DL	-
4	Textil	8	15	Nachricht	6	26	Luft-DL	-
5	Papier	7	16	Mess	8	27	Sonst-DL	-
6	Öl	6	17	Kraftwagen	4	28	Nach-DL	7
7	Pharma	6	18	Sonst Fahr	4	29	Banken	-
8	Chemie	7	19	Sonst Prod	7	30	Vermiet	-
9	Kunst	5	20	Versorg	7	31	Untern-DL	4
10	Steine	4	21	Bau	3	32	Öff-DL	-
11	Stahl	8	22	Handel	-		Gesamt	5

Als letztes sind bei der Implementierung noch intersektorale Spillover zu berücksichtigen. Ausmaß und Wirkung sind schwer zu schätzen. Dennoch besteht Klarheit darüber, dass sie einen Einfluss auf ökonomische Aktivitäten haben²⁸. Intersektorale Spillover sind vor allem deswegen wichtig, weil davon auszugehen ist, dass durch das EST-Szenario höhere FuE-Aufwendungen notwendig sind. Aufgrund dieser höheren FuE-Aufwendungen kann es in verwandten Sektoren zu Spillover-Effekten kommen. Betrachtet wird nur der Sektor

²⁸ vgl. Meyer-Krahmer (1999), S. 410; vgl. Smolny (2000), S. 313. Frantzen konstatiert einen Einfluss von intersektoralen Spillovers mit einer Analyse über 22 Produktionssektoren in Ländern der OECD. Vgl. Frantzen (2002), S. 291ff u. vgl. Frantzen (2000), S. 70ff

Kraftwagen, da dieser im EST-Szenario am stärksten von Änderungen beeinflusst wird. In der Vergangenheit konnten diese Effekte vor allem in der Textilindustrie, der Elektrotechnik und der Messtechnik beobachtet werden²⁹. Die Höhe der intersektoralen Spillover-Effekte wird je nach Sektor auf 2 – 3% geschätzt.

Implementiert werden Spillovereffekte über folgende Gleichung:

$$SO_s = \alpha_s \cdot RD_{17} \quad (6.25)$$

mit: SO_s : Spillovereffekte (Spillover RandD)
 RD_{17} : FuE-Aufwendungen im Sektor Kraftwagen (RandD Expenditure)
 α_s : Parameter

(d) CES-Produktionsfunktion

Die Berechnung des Outputs erfolgt mit einer „Constant Elasticities of Scale“ (CES)-Produktionsfunktion, die neben den klassischen Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital noch den technischen Fortschritt berücksichtigt.

(i) CES-Produktionsfunktion mit exogenem technischem Fortschritt

Die Funktion des sektoralen Outputs hat dann die allgemeine Form³⁰:

$$O = c \cdot [(1 - \delta) \cdot L^{-\rho} + \delta \cdot K^{-\rho}]^{-\frac{1}{\rho}} \cdot e^{\lambda \cdot t} \quad (6.26)$$

mit: O: Output angebotsseitig berechnet
L: Arbeitsstunden (Working Hours per Sector)
K: Anlagekapital (Capital per Sector)
c: konstanter Faktor (const CESPF)
 δ : Verteilungsparameter (delta CESPF)
 ρ : Elastizität der Inputfaktoren (pe CESPF)
r: Skalenelelastizität (scale CESPF)
 λ : Exogener technischer Fortschritt (lambda CESPF)

In dieser Form stecken bei entsprechender Wahl der Parameter als Spezialfälle sowohl die limitationale Produktionsfunktion von Leontieff (Substitutionselelastizität $\sigma = 0$) als auch die Cobb-Douglas-Funktion (Substitutionselelastizität $\sigma = 1$).

Der Vorteil dieser Produktionsfunktion liegt in der freieren Wahl der Parameter. Auf sektoraler Ebene wird oft mit einer limitationalen Produktionsfunktion gerechnet. Als Argument wird genannt, dass für ein existierendes Anlagevermögen genau eine Kombination von Arbeit zu Kapital günstig ist. Nur durch Investitionen in neue Anlagen erhält man andere Kombinationen von Inputfaktoren hinzu. Dies legt den Schluss nahe, dass die Substitutionselelastizität weder Null noch Eins ist. Die CES-Produktionsfunktion hat dabei den Vorteil, weil in ihr die Substitutionselelastizität nicht von vorneherein feststeht, sondern sich erst aus der Schätzung ergibt.

Bei der Wahl der Variablen für die CES-Produktionsfunktion gibt es mehrere Möglichkeiten. Zunächst kann die CES-Produktionsfunktion als erklärende Variable Output, Endnachfrage und Bruttoinlandsprodukt verwenden. Die Endnachfrage hat den Nachteil, dass einzelne Sektoren in der Hauptsache Vorleistungen für andere Sektoren produzieren. Andere Sektoren produzieren hauptsächlich für die Endnachfrage. Dadurch würden die Ergebnisse nur schwer vergleichbar sein. Beim Bruttoinlandsprodukt werden die Importe von der Endnachfrage abgezogen, so dass sich z. B. beim Sektor Öl negative Werte ergeben. Dies legt es nahe, den Output als zu erklärende Variable zu bestimmen. Von einer Einbeziehung der Auslastung wurde abgesehen. Hier liegen zu wenig robuste Daten über einzelne Sektoren vor.

²⁹ vgl. Grupp et. al. (2002), S. 118f

³⁰ Gleichung 6.26 wird zur Vereinfachung ohne Kennzeichnung der Sektoren dargestellt.

Die Schätzung wurde mit dem Kleinst-Quadrate-Schätzer iterativ für alle 32 Wirtschaftssektoren bestimmt. In Tabelle 6-6 bedeutet S die quadratische Abweichung, $R^2(1)$ ist das Bestimmtheitsmaß und $R^2(2)$ das korrigierte Bestimmtheitsmaß³¹.

Als Ergebnis der Schätzung erhält man folgende Werte:

Tabelle 6-6: Sektorale CES-Produktionsfunktionen mit exogenem technischem Fortschritt (ohne FuE)

Sektor	Kürzel	c	δ	ρ	r	λ	σ	S	$R^2(1)$	$R^2(2)$
1	Land	282,8	0,347	-0,110	0,958	0,0136	1,124	0,005	0,931	0,876
2	Kohle	199,2	0,234	0,292	1,390	0,1055	0,774	0,089	0,818	0,673
3	Nahrung	274,6	0,678	0,289	1,130	0,0047	0,776	0,002	0,910	0,839
4	Textil	271,3	0,459	0,095	1,135	0,0683	0,913	0,004	0,985	0,973
5	Papier	339,4	0,679	0,320	1,115	0,0454	0,758	0,021	0,748	0,546
6	Öl	793,0	0,867	0,300	1,022	0,0607	0,769	0,169	0,725	0,506
7	Pharma	390,3	0,453	-0,014	1,016	0,0449	1,014	0,008	0,995	0,991
8	Chemie	252,0	0,515	0,369	1,274	0,1106	0,731	0,042	0,817	0,671
9	Kunst	205,4	0,537	0,341	1,246	0,0323	0,746	0,005	0,947	0,905
10	Steine	281,9	0,677	0,075	0,973	0,0038	0,930	0,005	0,907	0,832
11	Stahl	253,8	0,580	0,315	1,184	0,0414	0,760	0,023	0,848	0,726
12	Masch	159,3	0,621	0,367	1,207	0,0583	0,732	0,013	0,963	0,934
13	Büro	174,3	0,474	0,363	1,362	0,2066	0,733	0,085	0,939	0,891
14	Elektriz	241,6	0,589	0,198	1,129	0,0460	0,835	0,008	0,950	0,911
15	Nachricht	130,2	0,497	0,232	1,248	0,1142	0,812	0,021	0,967	0,940
16	Mess	170,3	0,493	0,728	1,338	0,0720	0,579	0,016	0,912	0,842
17	Kraftwagen	115,3	0,494	0,502	1,373	0,0613	0,666	0,027	0,981	0,966
18	Sonst Fahr	80,3	0,467	0,517	1,427	0,1169	0,659	0,125	0,938	0,889
19	Sonst Prod	226,0	0,543	0,465	1,268	0,0503	0,683	0,009	0,912	0,841
20	Versorg	262,7	0,812	-0,074	0,797	-0,0178	1,080	0,005	0,857	0,743
21	Bau	241,4	0,607	0,156	1,071	-0,0030	0,865	0,004	0,978	0,960
22	Handel	283,5	0,557	0,342	1,138	0,0036	0,745	0,003	0,891	0,804
23	Eisenb-DL	299,0	0,804	-0,248	0,733	-0,0391	1,330	0,061	0,849	0,729
24	Landv-DL	251,2	0,489	0,075	1,013	0,0116	0,930	0,003	0,959	0,927
25	Schiff-DL	198,3	0,461	-0,155	0,866	0,0275	1,184	0,043	0,845	0,722
26	Luft-DL	339,7	0,646	-0,064	0,882	0,0747	1,069	0,002	0,995	0,992
27	Sonst-DL	287,3	0,505	0,076	1,070	0,0226	0,929	0,001	0,995	0,991
28	Nach-DL	273,8	0,718	0,540	1,163	0,0948	0,650	0,011	0,982	0,968
29	Banken	281,1	0,530	-0,011	0,981	0,0094	1,011	0,003	0,986	0,974
30	Vermiet	303,2	0,593	-0,109	0,829	0,0126	1,123	0,007	0,983	0,970
31	Untern-DL	494,4	0,455	-0,002	0,990	-0,0084	1,002	0,003	0,996	0,994
32	Öff-DL	282,1	0,557	-0,098	0,882	0,0029	1,109	0,001	0,989	0,981
	Gesamt	257,3	0,542	0,219	1,108	0,0209	0,820	0,002	0,980	0,964

Bei der Variable Arbeit kann man die Beschäftigung oder die Arbeitsstunden wählen. Hier zeigen die Schätzungen, dass sich mit den Arbeitsstunden genauere Ergebnisse erzielen lassen³². Beim Kapital besteht die Möglichkeit das gesamte Anlagekapital oder nur das Ausrüstungskapital zu nehmen. In Einzelfällen sind die Schätzergebnisse für das

³¹ Erläuterungen zu den Gütemaßen finden sich in Anhang C.

³² siehe Anhang B

Ausrüstungskapital sogar besser³³. Im Zuge der Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird allerdings konsequent das Anlagekapital verwendet.

Der exogene technische Fortschritt beinhaltet dabei eine Reihe von Parametern. Es kann sich um technisches Wissen, neue Produkte, Humankapital, organisatorische Komponenten, Infrastruktur etc. handeln.

Aus der Tabelle 6-6 lassen sich einige Zusammenhänge interpretieren. So liefert der Verteilungsparameter δ Informationen darüber, ob ein Sektor eher arbeits- (< 0.5) oder kapitalintensiv (> 0.5) ist. Aus der Elastizität der Inputfaktoren ρ lässt sich die Substitutionselastizität σ mit $\sigma = \frac{1}{1 + \rho}$ bestimmen. Eine Substitutionselastizität gibt an, wie leicht sich die

Inputfaktoren bei konstantem Output gegeneinander austauschen lassen. Eine Substitutionselastizität $\sigma = 1$ entspricht der Cobb-Douglas-Funktion, eine $\sigma = 0$ der Leontieff-Funktion. Die Skalenelastizität r zeigt, ob es in einem Sektor steigende oder fallende Skalenerträge gibt. Der exogene technische Fortschritt λ gibt an, wie sich das Verhältnis zwischen Output und Inputfaktoren über die Zeit ändert.

Zu den arbeitsintensiven Sektoren (weiß δ) gehören zunächst die Rohstoffsektoren (1 und 2). Diese lassen sich eher den Sektoren mit gering qualifizierten Arbeitskräften zuordnen.

Der größte Teil der Sektoren bewegt sich allerdings weder im ausgeprägten arbeitsintensiven noch im ausgeprägten kapitalintensiven Bereich (δ zwischen 0,4 und 0,6; hellgrau δ). Hierunter fallen Sektoren mit sowohl gering qualifizierten (z. B. Landverkehrsdienstleistungen) als auch der Hauptteil der Sektoren mit hoch qualifizierten Arbeitskräften (z. B. Büromaschinen). Möglicherweise führen hier die hohen Arbeitskosten zu einer starken Reduktion der Arbeitskräfte. Dies führt dann in der Schätzung dazu, dass der geringen Anzahl an Arbeitsstunden relativ betrachtet ein höheres Gewicht zugewiesen wird.

Interessant erscheinen auch die Ergebnisse für die kapitalintensiven und die stark kapitalintensiven Sektoren (grau und dunkelgrau δ). Zu den kapitalintensiven Sektoren zählen Sektoren mit hohem Anlagevermögen und eher gering qualifizierten Arbeitnehmern wie die Sektoren Steine und Erden, Holz, Papier und Bau, aber auch Sektoren wie Maschinenbau und Luftverkehrsdienstleistungen.

Zu den sehr kapitalintensiven gehören neben der Mineralölverarbeitung auch Sektoren, die ihren wirtschaftlichen Output in Zusammenhang mit Netzen erbringen. Dazu gehören die Versorgungsdienstleistungen, die Eisenbahndienstleistungen und die Nachrichtendienstleistungen. In diesen Sektoren wird der Output am stärksten von dem Anlagekapital bestimmt.

Über alle Sektoren zeigt der Verteilungsparameter, dass die deutsche Industrie eher kapitalintensiv ist.

Die Auswertung der Substitutionselastizität σ zeigt als generelles Bild zunächst, dass sich für die Dienstleistungssektoren höhere Substitutionselastizitäten (grau und dunkelgrau) als für die Produktionssektoren ergeben. Dieses Muster findet sich auch in sektoralen Analysen für USA³⁴. Daraus lässt sich ableiten, dass bei den Dienstleistungssektoren ein Inputfaktor leichter ersetzt werden kann als bei den Produktionssektoren. Für die Unterschiede bei der Höhe der Substitutionselastizitäten gibt es verschiedene Erklärungen³⁵.

³³ siehe Anhang B

³⁴ vgl. Cronin et. al. (1997)

³⁵ Welche Ursachen zu hohen oder niedrigen Substitutionselastizitäten führen ist noch umstritten.

Klump&Preissler (Klump, Preissler (2000), S. 50ff) verbinden eine hohe Substitutionselastizität u. a. mit geringem Einfluss von Gewerkschaften, hohem Wettbewerbsdruck und hohem Wissenstransfer. Nach Miyagiwa&Papageorgiou (Miyagiwa, Papageorgiou (2001), S. 4ff) zeichnen sich Länder mit hohen

Eine Erklärung dafür wäre, dass die Produktionssektoren einem höheren internationalen Wettbewerbsdruck ausgesetzt sind. Der hohe Wettbewerbsdruck verkleinert die Spielräume bei der Wahl der günstigen Kombination an Inputfaktoren. Je näher man einer effizienten Lösung an Inputfaktoren kommt, desto geringer sind die Variationsmöglichkeiten. Dies betrifft vor allem die Produktionssektoren, die sich den Gegebenheiten des internationalen Marktes in stärkerem Maße stellen müssten.

Die Substitutionselastizitäten der Dienstleistungssektoren wären dann höher, weil durch den geringeren Wettbewerbsdruck mehr Variationen beim Verhältnis der Inputfaktoren möglich wären.

Über alle Sektoren errechnet sich eine Substitutionselastizität von etwa 0,8, welche sich auch aus vergleichbaren Analysen ergibt³⁶.

In welchen Sektoren steigende oder fallende Skalenerträge zu erwarten sind, zeigt der Skalensparameter r an. Büromaschinen, Messtechnik, Kraftwagen und sonstiger Fahrzeugbau weisen die höchsten Skalenerträge auf³⁷. Insgesamt weisen alle Produktionssektoren Skalenerträge größer eins auf. Eine Erhöhung der Inputfaktoren könnte hier eine stärkere Erhöhung des Outputs nach sich ziehen. Ursachen hierfür können z. B. in einer Reduktion der Kosten bei erhöhtem Output sein. Bezüglich seiner Höhe liegt der Skalensparameter durchaus im Wertebereich vergleichbarer Analysen³⁸.

In den Dienstleistungssektoren wirken sich diese Economies of Scale geringfügiger aus. Deswegen liegen hier die Skalenerträge niedriger. Eine Ausnahme bildet nur der Nachrichtendienstleistungssektor mit Skalenerträgen deutlich über eins.

Insgesamt liegen die Skalenerträge ebenfalls über eins, was mit der starken Bedeutung der Produktionssektoren in der deutschen Wirtschaft einhergeht.

Zu den Sektoren, welche die Relation zwischen Output und Inputfaktoren über den gesamten Zeitverlauf verbessern konnten, zählen gleich eine Reihe von Sektoren aus den Rohstoff-, Produktions- und Dienstleistungssektoren. Zunächst fallen auch Sektoren wie Kohle, Öl und Chemie auf. Gründe hierfür sind in ganz speziellen Entwicklungen zu sehen. In den drei Sektoren wurden zunächst die Inputfaktoren Kapital und Arbeit bei sinkendem Output reduziert. 1999/2000 verdoppelte sich dann der Ölpreis, weswegen der Output sich wieder erhöhte. Dies bewirkt im Ergebnis eine deutliche Verbesserung der Relation zwischen Output und Inputfaktoren. Der hohe Wert für λ basiert also nicht auf technischen Änderungen, sondern ist durch den Preis bedingt.

Technologische und organisationelle Änderungen führen eher in der Textilindustrie zu einer Verbesserung. Hier hatte man bis etwa 1994 starke Rückgänge im Output und bei den Erwerbstätigen zu verzeichnen. Seit 1995 blieb der Output etwa konstant, während die Zahl der Erwerbstätigen und das Kapital um jeweils ein Drittel zurückgingen.

Die Sektoren Maschinenbau, Büromaschinen, Nachrichtentechnik, Messtechnik, Kraftwagen und Fahrzeugbau weisen ebenfalls hohe Änderungen des technischen Fortschritts aus. Unter den Dienstleistungssektoren finden sich noch die Sektoren Luftfahrtleistungen und Nachrichtendienstleistungen, in denen hohe Effizienzgewinne gemessen werden können.

Substitutionselastizitäten dagegen durch geringere Wachstumsraten des Kapitals aus. Auch Saam (Saam (2004), S. 18f) weist darauf hin, dass eine hohe Elastizität negative Effekte auf das Wachstum haben kann.

³⁶ vgl. Frohn (1972), S. 191ff

³⁷ Der Sektor Kohle wird hier von der Analyse ausgeklammert. Näheres hierzu findet sich bei den Erläuterungen zum exogenen Fortschritt.

³⁸ vgl. Frohn (1972), S. 191ff

In einzelnen Sektoren kann es nach diesem Messkonzept auch zu negativem technischen Fortschritt kommen. Dieser Fall tritt z. B. ein, wenn mit dem gleichen Input weniger Output produziert wird. Gründe dafür können darin liegen, dass die Importpreise im Zeitverlauf steigen oder dass der Absatz in dem Sektor lahm, ohne dass dies auf die Inputfaktoren eine Wirkung hat.

Insgesamt liegt der Wert für λ für die gesamte Wirtschaft mit 0,02 hoch im Vergleich mit anderen Analysen. Als Begründung kann hier genannt werden, dass in den Anfangsjahren des Beobachtungszeitraums durch die Wiedervereinigung ein Überhang an Arbeitskräften und -stunden bestand, der im Verlauf abgebaut wurde. Diese Reduktion der Inputfaktoren führt bei gleichzeitigem moderaten Wachstum des Outputs zu einem Wert für λ in der genannten Größenordnung.

Der Niveauparameter c sagt etwas darüber aus, in welchem Verhältnis Output und Inputfaktoren stehen (ohne zeitliche Dimension und ohne Skalenerträge). Ein hoher Wert beim Sektor Mineralölverarbeitung und Unternehmensdienstleistungen sagt z. B. aus, dass ein hoher Output mit geringem Kapitaleinsatz und Arbeitsstunden zu erzielen ist.

Vergleicht man diese Schätzung mit einer Schätzung, die auf Anlagekapital und Beschäftigung beruht, so ergibt sich prinzipiell ein sehr ähnliches Bild³⁹. Zu den wenigen Unterschieden zählt, dass der Verteilungsparameter, die Substitutionselastizität und auch der Skalenparameter höher liegen. Mit Berücksichtigung der Beschäftigung statt der Arbeitszeiten gewinnt das Kapital an Bedeutung (kapitalintensiver). Auch ergibt sich aus dem Vergleich, dass Beschäftigung leichter substituierbar ist als die Arbeitszeiten (höhere Substitutionselastizität). Dies zeigt insgesamt, dass die Arbeitszeiten ein höheres Erklärungspotenzial als die Beschäftigung besitzen.

Nimmt man als weiteren Vergleich die Schätzung mit Arbeitszeiten und Ausrüstungskapital ergeben sich nur sehr geringfügig Änderungen in beiden Richtungen. Lediglich bei Schifffahrtsleistungen und bei Unternehmensdienstleistungen gibt es deutliche Änderung. Hier liegt jeweils der Verteilungsparameter höher, was anzeigt, dass das Ausrüstungskapital mehr Bedeutung hat als das Anlagekapital. Auch die Werte des Kleinst-Quadrate-Schätzers S liegen hier niedriger. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird dennoch allgemein die CES-Produktionsfunktion, die auf Anlagekapital und Arbeitszeiten beruht, verwendet.

(ii) CES-Produktionsfunktion mit exogenem Fortschritt und FuE-Aufwendungen

Im nächsten Schritt wurden Überlegungen gemacht, den bisher nicht weiter spezifizierten Fortschritt aufzuteilen. Einige Analysen gehen davon aus, den Fortschritt durch eine einzelne Variable zu erklären. Diese Analysen führen zum Teil zu starken Überschätzungen diesen einen Faktors⁴⁰.

Führt man dagegen eine ganze Reihe von Indikatoren zur Messung des Fortschritts ein, so stößt man leicht auf Probleme der Multikollinearität. Deshalb wurde hier der Weg gewählt, nur eine zusätzliche Variable zur Erklärung des technischen Fortschritts einzuführen und die exponentielle Fortschrittskomponente beizubehalten. Der technische Fortschritt bildet das technologische Wissen ab, das durch FuE-Aufwendungen generiert wird. Die FuE-Aufwendungen gehen mit der in Abschnitt c bestimmten Zeitverzögerung ein. Von Spillover wird bei der Schätzung abgesehen.

Der Output wird mit folgender Gleichung geschätzt⁴¹:

³⁹ siehe Anhang B

⁴⁰ vgl. Gramlich (1994), S. 1183ff

⁴¹ Gleichung 6.27 wird zur Vereinfachung ohne Kennzeichnung der Sektoren dargestellt.

$$O[t] = c \cdot [(1 - \delta) \cdot L[t]^{-\rho} + \delta \cdot K[t]^{-\rho}]^{-\frac{r}{\rho}} \cdot e^{\lambda \cdot t} \cdot RD[t - k]^{\gamma} \quad (6.27)$$

- mit: O: Output angebotsseitig berechnet
L: Arbeitsstunden (Working Hours per Sector)
K: Anlagekapital (Capital per Sector)
RD: FuE-Aufwendungen (RandD Expenditure)
c: positiver konstanter Faktor (const CESPF)
 δ : Verteilungsparameter (delta CESPF)
 ρ : Elastizität der Inputfaktoren (pe CESPF)
r: Skalenelastizität (scale CESPF)
 λ : Exogener technischer Fortschritt (lambda CESPF)
 γ : Technischer Fortschritt (gamma CESPF)
k: Zeitverzögerung der FuE-Aufwendungen (Delay RandD)

Tabelle 6-7: CES-Produktionsfunktion mit exogenem Fortschritt und FuE

Sektor	Kürzel	c	δ	ρ	r	λ	γ	σ	S	R ² (1)	R ² (2)
1	Land	283,3	0,349	-0,104	0,956	0,0131	0,0057	1,116	0,005	0,930	0,875
2	Kohle	199,2	0,232	0,297	1,392	0,1058	0,0000	0,771	0,089	0,819	0,674
3	Nahrung	275,3	0,683	0,293	1,124	0,0047	0,0056	0,773	0,002	0,911	0,839
4	Textil	271,8	0,459	0,106	1,129	0,0684	0,0126	0,904	0,005	0,982	0,968
5	Papier	341,7	0,705	0,329	1,105	0,0449	0,0001	0,752	0,021	0,751	0,552
6	Öl	807,0	0,925	0,335	0,949	0,0558	0,0169	0,749	0,167	0,714	0,485
7	Pharma	390,8	0,455	-0,009	0,972	0,0406	0,0414	1,009	0,008	0,997	0,995
8	Chemie	251,8	0,492	0,405	1,254	0,1098	0,0287	0,712	0,045	0,811	0,660
9	Kunst	205,8	0,539	0,354	1,238	0,0324	0,0093	0,739	0,005	0,947	0,905
10	Steine	281,9	0,672	0,080	0,973	0,0046	0,0063	0,926	0,005	0,903	0,826
11	Stahl	255,0	0,595	0,326	1,176	0,0412	0,0042	0,754	0,023	0,848	0,727
12	Masch	159,3	0,597	0,411	1,158	0,0541	0,0587	0,709	0,013	0,961	0,930
13	Büro	173,5	0,449	0,359	1,340	0,2013	0,0226	0,736	0,083	0,941	0,895
14	Elektriz	241,6	0,581	0,203	1,113	0,0446	0,0200	0,831	0,008	0,951	0,911
15	Nachricht	130,4	0,450	0,286	1,238	0,1162	0,0436	0,778	0,021	0,967	0,940
16	Mess	168,5	0,464	0,736	1,226	0,0658	0,0821	0,576	0,023	0,874	0,773
17	Kraftwag	115,0	0,485	0,487	1,311	0,0581	0,0426	0,672	0,027	0,979	0,963
18	Sonst Fahr	80,0	0,435	0,974	1,392	0,1129	0,0630	0,507	0,142	0,936	0,885
19	Sonst Prod	226,1	0,535	0,481	1,274	0,0506	0,0013	0,675	0,009	0,912	0,842
20	Versorg	263,4	0,826	-0,089	0,788	-0,0185	0,0015	1,097	0,005	0,859	0,747
21	Bau	241,2	0,602	0,152	1,072	-0,0031	0,0000	0,868	0,004	0,978	0,967
22	Handel	284,0	0,554	0,364	1,146	0,0039	0,0000	0,733	0,003	0,894	0,841
23	Eisenb-DL	300,4	0,833	-0,288	0,726	-0,0393	0,0000	1,405	0,061	0,850	0,775
24	Landv-DL	251,6	0,493	0,069	1,004	0,0114	0,0000	0,936	0,003	0,957	0,935
25	Schiff-DL	198,0	0,448	-0,160	0,869	0,0274	0,0000	1,190	0,043	0,845	0,768
26	Luft-DL	341,1	0,657	-0,056	0,882	0,0745	0,0000	1,059	0,002	0,996	0,993
27	Sonst-DL	288,1	0,513	0,079	1,068	0,0226	0,0000	0,926	0,001	0,995	0,993
28	Nach-DL	279,9	0,793	0,564	1,121	0,0922	0,0086	0,639	0,011	0,982	0,967
29	Banken	282,3	0,537	0,007	0,989	0,0106	0,0000	0,993	0,003	0,985	0,978
30	Vermiet	304,0	0,601	-0,113	0,824	0,0129	0,0000	1,128	0,007	0,983	0,975
31	Untern-DL	495,9	0,462	-0,005	0,974	-0,0089	0,0101	1,005	0,003	0,997	0,995
32	Öff-DL	282,9	0,569	-0,112	0,872	0,0028	0,0000	1,126	0,001	0,989	0,984
	Gesamt	261,3	0,546	0,287	1,121	0,0219	0,0136	0,777	0,002	0,980	0,965

In Tabelle 6-7 findet man das Ergebnis dieser Schätzung. Es zeigt sich, dass die grundsätzliche Struktur der Ergebnisse für den Verteilungsparameter δ , die Substitutionselastizität σ und die Skalenelastizität r nicht wesentlich abweicht.

Das Ergebnis weist sowohl für die Sektoren Pharma und Chemie als auch für die Sektoren Maschinenbau, Büromaschinen, Elektrizitätsgeräte, Nachrichtentechnik, Messtechnik, Kraftwagen und sonstiger Fahrzeugbau sehr hohe Einflüsse der FuE-Aufwendungen aus (dunkelgrau). Dies entspricht auch den Sektoren, die man aufgrund der Höhe der FuE-Aufwendungen dort erwarten würde. Etwas niedrigere Werte ergeben sich für die Sektoren Textil, Öl und Unternehmensdienstleistungen (hellgrau).

Durch die neu eingeführte Variable senken sich für diese Sektoren auch die Beiträge des exogenen Fortschritts. Für eine ganze Reihe von Dienstleistungssektoren wird hier kein Einfluss nachgewiesen, was auch darauf beruht, dass hier keine FuE-Aufwendungen in Statistiken zu finden sind. Diese werden i. a. nur den Produktionssektoren zugewiesen.

Mit den Werten für γ aus Tabelle 6-7 lassen sich auch die Grenzerträge der FuE-Aufwendungen der einzelnen Werte bestimmen. Dies erscheint notwendig, um die Plausibilität zu prüfen. Betrachtet man die Grenzerträge der FuE der Sektoren mit hohen FuE-Aufwendungen zeigt sich, dass die Grenzerträge im wesentlichen zwischen 1 und 4 liegen (Abbildung 6-10).

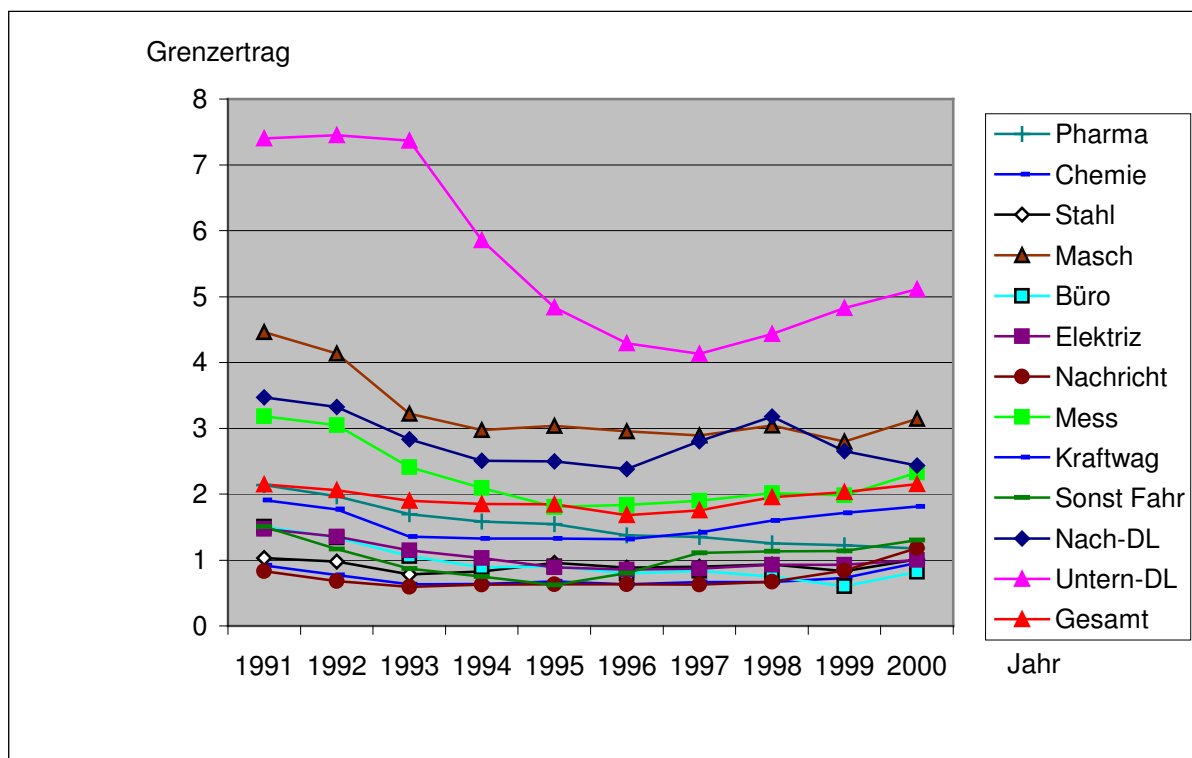


Abbildung 6-10: Grenzerträge von FuE-Aufwendungen

Implementiert wird die CES-Produktionsfunktion über das Produktionspotenzial. Das Produktionspotenzial entspricht der langfristigen Entwicklungen des Outputs bereinigt von konjunkturellen Einflüssen⁴².

⁴² vgl. Schumacher (2002), S. 58f; vgl. Bundesbank (2003), S. 44; vgl. Sachverständigenrat (2004), S. 412f u. 418ff

Als geringfügige Änderung zur Schätzung fließen jetzt auch die Spillovers in die Gleichung ein⁴³:

$$PP[t] = c \cdot [(1 - \delta) \cdot L[t]^{-\rho} + \delta \cdot K[t]^{-\rho}]^{-\frac{1}{\rho}} \cdot e^{\lambda \cdot t} \cdot (RD[t - k] + SO[t - k])^{\gamma} \quad (6.28)$$

mit: PP: Produktionspotenzial (Production Potential per Sector)
 L: Arbeitsstunden (Working Hours per Sector)
 K: Anlagekapital (Capital per Sector)
 RD: FuE-Aufwendungen (RandD Expenditure)
 SO: Spillovereffekte (Spillover RandD)
 c: positiver konstanter Faktor (const CESPF)
 δ: Verteilungsparameter (delta CESPF)
 ρ: Elastizität der Inputfaktoren (pe CESPF)
 r: Skalanelastizität (scale CESPF)
 λ: Exogener technischer Fortschritt (lambda CESPF)
 γ: Technischer Fortschritt (gamma CESPF)
 k: Zeitverzögerung der FuE-Aufwendungen (Delay RandD)

In ESCOT wird der exogene technische Fortschritt im Zeitverlauf gesenkt. Dies entspricht empirischen Beobachtungen, die ein Nachlassen der Produktivitätssteigerung feststellen konnten⁴⁴.

Für den Schienengüterverkehr ist in den EST-Szenarien von einem Trendbruch auch bei der exogenen Produktivität auszugehen⁴⁵. Daher wird hier der Wert für λ um 0,035 angehoben.

6.3.3 Verbindung zwischen Angebot und Nachfrage

Die Angebots- und Nachfrageseite wird über die Produktionslücke miteinander verbunden:

$$OG_s = (PP_s - OP_s)/PP_s \quad (6.29)$$

mit: OG_s: Produktionslücke (Output Gap per Sector)
 PP_s: Produktionspotenzial (Potential Output per Sector)
 OP_s: Sektoraler Output (Output per Sector)

Die Höhe der Produktionslücke fließt in die Bestimmung der Investitionen ein (siehe Gleichung 5.2).

6.3.4 Input-Output-Tabelle

Die bisher aufgeführten Gleichungen dienen der Berechnung des zweiten Quadranten einer Input-Output-Tabelle (Abbildung 6-11). Im Folgenden wird daher beschrieben wie der erste und dritte Quadrant sich bestimmen lassen. Daher wird zuerst erläutert, wie sich die Input-Koeffizienten errechnen und anschließend wie sich aus ihnen und den vorhandenen Informationen die fehlenden Quadranten bestimmen.

⁴³ Gleichung 6.28 wird zur Vereinfachung ohne Kennzeichnung der Sektoren dargestellt.

⁴⁴ vgl. Frantzen (1998), S. 502ff

⁴⁵ siehe Kapitel 2

Input-Output		Input				Endnachfrage					Verw.
		1...	16...	32	Σ	Konsum	Invest.	Staat	Export	Σ	Σ
Output	1		IO _{1,16}			C ₁	I ₁	G ₁	EX ₁	FD ₁	OP ₁

	16	IO _{16,1}	IO _{16,16}	IO _{16,32}	IMO ₁₆	C ₁₆	I ₁₆	G ₁₆	EX ₁₆	FD ₁₆	OP ₁₆

	32		IO _{32,16}			C ₃₂	I ₃₂	G ₃₂	EX ₃₂	FD ₃₂	OP ₃₂
	Σ		IMI ₁₆		IM	C	I	G	EX	FD	OP
Bruttowertschöpfung	Gewinn Einkom. Abschr.	De _{1...}	De _{16...}	De ₃₂	De						
		Ic _{1...}	Ic _{16...}	Ic ₃₂	Ic						
		P _{1...}	P _{16...}	P ₃₂	P						
	Σ	Gv _{1...}	Gv _{16...}	Gv ₃₂	Gv						
	Im ^{port}	Im _{1...}	Im _{16...}	Im ₃₂	Im						
Auf.	Σ	In _{1...}	In _{16...}	In ₃₂	In						

Abbildung 6-11: Input-Output-Tabelle

(a) Bestimmung der Input-Koeffizienten

Nach Fleissner kann davon ausgegangen werden, dass die Input-Koeffizienten mittel- und langfristig nicht konstant sind⁴⁶. Gleichwohl können wenig Aussagen getroffen werden, wie Änderungen der Input-Koeffizienten aussehen, weil die Wirkungszusammenhänge zu komplex erscheinen, um exakt modellierbar zu sein⁴⁷.

In der vorliegenden Arbeit wurde dennoch der Versuch unternommen, die Änderungen der Input-Koeffizienten in Abhängigkeit einiger Inputfaktoren zu bestimmen. Die Berechnung der Input-Koeffizienten berücksichtigt eine Trendschätzung, Überlegungen wie substantielle Änderungen von Kraftwagen sich auswirken, Veränderungen der Input-Koeffizienten aufgrund von Preisen und Zeiten sowie direkte Eingaben aus dem Verkehrsmodell (siehe Abbildung 6-12).

Die Trendentwicklung der Input-Koeffizienten wird anhand der Zeitreihen der Input-Output-Tabellen durch eine Regression bestimmt.

$$\text{IOCB}_{sa, sb} = \alpha_{sa, sb} + \beta_{sa, sb} \cdot t \quad (6.30)$$

mit: IOCB_{sa, sb}: Input-Koeffizienten-Basis-Matrix (Input Coefficient Base Matrix)

$\alpha_{sa, sb}$: Konstante der Input-Koeffizienten-Matrix (Constant Factor IO Matrix)

$\beta_{sa, sb}$: Steigung der Input-Koeffizienten-Matrix (Gradient IO Matrix)

sa: Sektoren 1-32

sb: Sektoren 1-32

⁴⁶ vgl. Fleissner (1993), S. 140

⁴⁷ vgl. Fleissner (1993), S. 140 u. 144ff

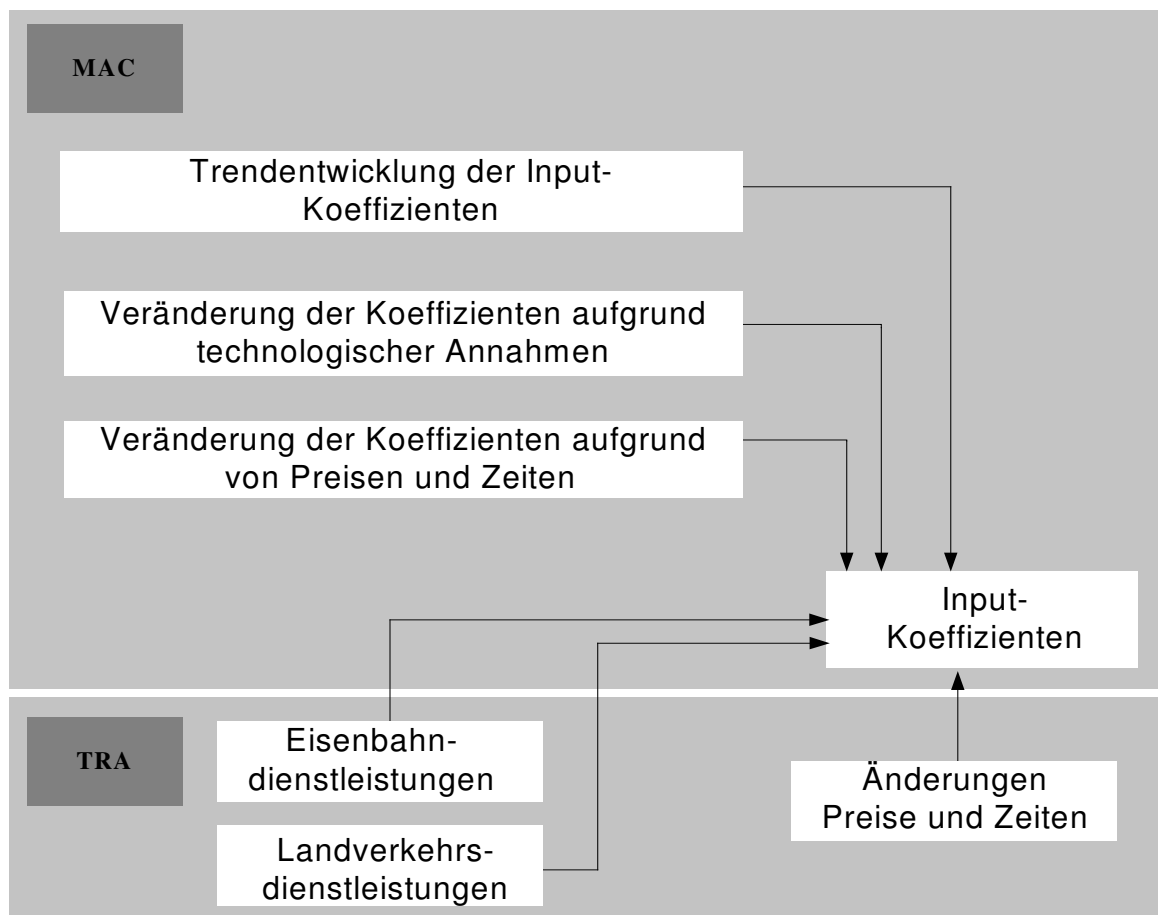


Abbildung 6-12: Vorgehensweise bei der Bestimmung der Input-Koeffizienten

Die Ergebnisse für die Entwicklung finden sich in Tabelle 6-8. Anhand der Diagonale kann man erkennen, dass die Sektoren Kraftwagen und sonstiger Fahrzeugbau ihren Anteil an Vorleistungen erhöhen konnten. Die meisten anderen Sektoren haben Anteile an Vorleistungen an andere Sektoren abgegeben. Generell kann man erkennen, dass der Sektor Unternehmensdienstleistungen am Anteil der Vorleistungen anderer Sektoren stark zugenommen hat. Dies spricht dafür, dass in den letzten Jahren mehr Outsourcing in diesem Bereich stattgefunden hat.

Die Entwicklungen aus Tabelle 6-8 werden als Trend für die folgenden Jahre angenommen. Zusätzlich muss man berücksichtigen, dass umweltfreundliche, politische Maßnahmen auch zu Veränderungen der Vorleistungsstruktur führen.

Mehlin⁴⁸ betrachtet technologische Potenziale zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs. Im Ergebnis zeigt sich, dass umweltfreundliche Fahrzeuge mit anderen, leichteren Materialien gebaut werden und mehr steuer-, mess- und regelungstechnische Bauteile enthalten. Daher wird hier exogen eine Verschiebung vom Sektor Stahl zu Kunststoffen und vor allem zur Messtechnik angenommen.

⁴⁸ vgl. Mehlin et. al. (2002), S. 24ff. Analysen über Änderungen der Fahrzeugtechnologie finden sich auch in Grahl (2000) und Kolke (1999).

Tabelle 6-8: Steigung der Input-Koeffizienten-Matrix

Steigung der Input-Koeffizienten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32		
	Land Kohle	Land Nah-	Land Nah-	Land Nah-	Land Nah-	Land Nah-	Land Nah-	Land Nah-	Land Nah-	Land Kunst-	Land Stahl-	Land Masch-	Land Büro-	Land Elek-	Land Nach-	Land Mess-	Land Kraft-	Land Fahr-	Land Sonst-	Land Ver-	Land Bau-	Land del	Land Eisen-	Land Land-	Land Schiff-	Land Luft-	Land Sonst-	Land Nach-	Land Bau-	Land Ver-	Land Unter-	Land Öff-		
	le	le	lung	til	pier	Öl	ma	rue	ne	ne	Stahl	Masch	Büro	Elek-	truz	nicht	wag	Fahr	Prod	sorg	Bau	del	b-DL	v-DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL			
1 Land	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
2 Kohle	0,0	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
3 Nahung	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
4 Textil	0,0	0,0	0,0	-0,4	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
5 Papier	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
6 Öl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7 Pharma	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8 Chemie	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	0,2	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9 Kunst	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10 Steine	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11 Stahl	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	0,0	0,0	-0,1	-0,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12 Masch	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13 Büro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14 Elektriz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15 Nachricht	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16 Mess	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17 Kraftwag	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18 Sonst Fahr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19 Sonst Prod	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20 Versorg	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21 Bau	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22 Handel	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0
23 Eisen-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24 Landv-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25 Schiff-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26 Luft-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27 Sonst-DL	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,7	-0,4	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28 Nach-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
29 Banken	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30 Vermiet	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,3	-0,1	-0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31 Untern-DL	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,3	0,1	0,2	0,2	0,0	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	-0,1	0,1	0,1	0,1
32 Öff-DL	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesamt	0,0	-1,0	-0,2	-0,9	0,0	-0,8	-0,1	-0,2	-0,2	0,1	-0,1	-0,1	-1,0	0,3	-0,3	-0,2	1,0	-0,2	0,1	-0,2	0,5	-0,1	0,4	0,1	0,6	-0,7	-0,8	1,8	0,0	-0,3	-0,3	0,0	0,0	0,0

$$IOC_{sa, sb} = IOCB_{sa, sb} + \alpha_{sa, 17} + \beta_{sa, 18} \quad (6.31)$$

mit: $IOC_{sa, sb}$: Input-Koeffizienten-Matrix (Input Coefficient Matrix)
 $IOCB_{sa, sb}$: Input-Koeffizienten-Basis-Matrix (Input Coefficient Base Matrix)
 $\alpha_{sa, 17}$: Änderung der Input-Koeffizienten für Sektor Kraftwagen (ch IO of Automotive Sector)
 $\beta_{sa, 18}$: Änderung der Input-Koeffizienten für Sektor Sonstiger Fahrzeugbau (ch IO of Other Vehicle Sector)
sa: Sektoren 1-22, 28-32
sb: Sektoren 17, 18

Die Annahmen finden zusätzlich zu Preis- und Zeiteffekten statt, da diese oft nur auf Basis kleiner Änderungen gewonnen werden. Hier nimmt man an, dass z. B. die Preise so stark erhöht werden, dass sich die Technologie stärker ändert, als dies in der Vergangenheit zu beobachten war.

Für die Sektoren Landverkehrs- und Eisenbahndienstleistungen werden die Vorleistungen direkt aus dem Verkehrsmodell bestimmt. Mit Hilfe des Output vom Vorjahr werden daraus die Input-Koeffizienten bestimmt:

$$IOC_{sa, sb} = \frac{S_{sa}}{OP_{sb}} \quad (6.32)$$

mit: $IOC_{sa, sb}$: Input-Koeffizienten-Matrix (Input Coefficient Matrix)
 S_{sa} : Umsätze bei Eisenbahn- und Landverkehrsdienstleistungen (Sales Railway Services)
 OP_{sb} : Sektoraler Output (Output per Sector)
sa: Sektoren 23,24
sb: Sektoren 1-32

Für die anderen Dienstleistungssektoren des Verkehrs werden Elastizitäten aus ökonomischen Schätzungen zum Modell Panta Rhei⁴⁹ verwendet⁵⁰. Diese werden, wo Informationen fehlen, in sinnvoller Weise ergänzt.

$$IOC_{sa, sb} = IOCB_{sa, sb} + IOCB_{sa, sb} \cdot e_{sa} \cdot \Delta PT_{sa} \quad (6.33)$$

mit: $IO_{sa, sb}$: Input-Koeffizienten-Matrix (Input Coefficient Matrix)
 $IOB_{sa, sb}$: Input-Koeffizienten-Basis-Matrix (Input Coefficient Base Matrix)
 e_{sa} : Elastizitäten für Zeiten und Preise (Elasticity Price Road Travel etc.)
 ΔPT_{sa} : Preis- und Zeitänderung im Flugverkehr, Schiffsverkehr und im sonstigen Verkehr (ch Price Air Travel etc.)
sa: Sektoren 25,26,27
sb: Sektoren 1-32

Preis- und Zeitänderungen ergeben sich aus dem Verkehrsmodell. Hier sind Informationen über Kraftstoffpreise in Abhängigkeit der Mineralölsteuer hinterlegt. Auch die Reisezeiten werden im Verkehrsmodell in Abhängigkeit der Straßenbelastung bestimmt und können die Input-Koeffizienten beeinflussen.

Für alle anderen nicht separat berechneten Sektoren wird der normale Trend für die Input-Koeffizienten verwendet:

$$IOC_{sa, sb} = IOCB_{sa, sb} \quad (6.34)$$

mit: $IO_{sa, sb}$: Input-Koeffizienten-Matrix (Input Coefficient Matrix)
 $IOB_{sa, sb}$: Input-Koeffizienten-Basis-Matrix (Input Coefficient Base Matrix)
sa: Sektoren 1-22, 28-32
sb: Sektoren 1-16, 19-32

⁴⁹ Meyer, Lutz (2002), S. 451ff

⁵⁰ siehe Anhang B

(b) Berechnung der Input-Output-Tabelle

Die Berechnung der bewerteten Güterströme der Input-Output-Tabelle erfolgt über den Output, der mit den Input-Koeffizienten multipliziert wird. Der Output setzt sich zusammen aus der aktuell bestimmten Endnachfrage und der Vorleistung des Vorjahres. Da Verwendung und Entstehung in Input-Output-Tabellen gleich sind, kann der Output verwendet werden, um die einzelnen Felder des ersten und dritten Quadranten zu berechnen.

Eine Ausnahme bei der Berechnung bilden die Abschreibungen und die Arbeitnehmerentgelte. Diese Werte werden direkt in den Bereichen Kapital und Beschäftigte berechnet und in die Input-Output-Tabelle übernommen.

Wie sich eine Veränderung des Konsums eines Sektors auf die Input-Output-Tabelle auswirkt, zeigt Abbildung 6-13.

Input-Output		Input				Endnachfrage					Verw.
		1...	16...	32	Σ	Konsum	Invest.	Staat	Export	Σ	
Output	1		$IO_{1,16}$			C_1	I_1	G_1	EX_1	FD_1	OP_1

	16	$IO_{16,1}$	$IO_{16,16}$	$IO_{16,32}$	IMO_{16}	C_{16}	I_{16}	G_{16}	EX_{16}	FD_{16}	OP_{16}

	32		$IO_{32,16}$			C_{32}	I_{32}	G_{32}	EX_{32}	FD_{32}	OP_{32}
	Σ		IMI_{16}		IM	C	I	G	EX	FD	OP
Bruttowertschöpfung	Gewinn Einkom. Abschr.	$De_{1...}$	$De_{16...}$	De_{32}	De						
		$Ic_{1...}$	$Ic_{16...}$	Ic_{32}	Ic						
		$P_{1...}$	$P_{16...}$	P_{32}	P						
	Σ	$Gv_{1...}$	Gv_{16}	Gv_{32}	Gv						
Im- port	$Im_{1...}$	$Im_{16...}$	Im_{32}	Im							
Auf.	Σ	$In_{1...}$	$In_{16...}$	In_{32}	In						

Abbildung 6-13: Änderung des Konsums in einem Sektor

Zunächst erhöht sich die Endnachfrage und damit der Output des Sektors (Zeilensumme). Dieser wirkt erhöhend auf die Entstehung des Outputs (Spaltensumme). Die Vorleistungen werden über die Multiplikation des Outputs mit den Input-Koeffizienten berechnet:

$$IO_{sa,sb} = OP_{sa} \cdot IOC_{sa,sb} \quad (6.35)$$

mit: $IO_{sa,sb}$: Vorleistungs-Matrix (Intermediate Matrix)
 $IOC_{sa,sb}$: Input-Koeffizienten-Matrix (Input Coefficient Matrix)
 OP_{sa} : Sektoraler Output (Output per Sector)
 sa: Sektoren 1-32 und sb: Sektoren 1-32

Nach dem gleichen Schema erhöhen sich auch die Bruttowertschöpfung und die Importe. Abschreibungen werden über die Investitionen und die Abschreibungsrate berechnet.

Arbeitnehmerentgelte werden über die Beschäftigung und die exogenen Arbeitnehmerentgelte bestimmt.

Im nächsten Schritt bewirkt die Erhöhung der Vorleistung wiederum eine Erhöhung des Outputs mehrerer Sektoren. Diese fließen über Gleichung 6.6 in die Berechnung der Investitionen ein (siehe Abbildung 6-14). Der neu berechnete Output wirkt auf der anderen Seite auch wieder auf die Inputs (Spaltensumme). Durch diese Erhöhung wird ein erneuter Durchlauf angestoßen. Dieser Vorgang ist vergleichbar mit der Methodik, die bei der Bestimmung der inversen Koeffizienten angewandt wird. Ein einmaliger Anstoß bewirkt Veränderungen der Tabelle im selben Jahr. In den Folgejahren zieht das immer schwächer werdende, neue Auswirkungen nach sich, bis der Prozess vollständig abgebbt ist.

Input-Output		Input				Endnachfrage					Verw.
		1...	16...	32	Σ	Konsum	Invest.	Staat	Export	Σ	
Output	1		$IO_{1,16}$			C_1	I_1	G_1	EX_1	FD_1	OP_1

	16	$IO_{16,1}$	$IO_{16,16}$	$IO_{16,32}$	IMO_{16}	C_{16}	I_{16}	G_{16}	EX_{16}	FD_{16}	OP_{16}
...					
32					C_{32}	I_{32}	G_{32}	EX_{32}	FD_{32}	OP_{32}	
Σ			IMI_{16}		IM	C	I	G	EX	FD	OP
Bruttowertschöpfung	Gewinn Einkom. Abschr.	$De_1...$	$De_{16}...$	De_{32}	De						
		$Ic_1...$	$Ic_{16}...$	Ic_{32}	Ic						
		$P_1...$	$P_{16}...$	P_{32}	P						
	Σ	$Gv_1...$	$Gv_{16}...$	Gv_{32}	Gv						
Im- port		$Im_1...$	$Im_{16}...$	Im_{32}	Im						
Auf.	Σ	$In_1...$	$In_{16}...$	In_{32}	In						

Abbildung 6-14: Sukzessive Berechnung der Input-Output-Tabelle

6.3.5 Steuern

Ein weitere Bestandteil des Makromodells sind die Steuern. Hier muss beachtet werden, dass durch preispolitische Maßnahmen sich die Steuereinnahmen ändern. Erhöhten Steuereinnahmen stehen allerdings auch höhere Ausgaben für den Bau der Schieneninfrastruktur entgegen.

Um Vergleichbarkeit der Szenarien zu gewährleisten, werden die zusätzlichen, nicht investierten Steuereinnahmen durch Steuererleichterungen an die Bevölkerung zurückgegeben. Dies führt zu einer Senkung der Arbeitskosten und zu einer Erhöhung des verfügbaren Einkommens.

6.4 Verkehrsmodell

Das Verkehrsmodell ist in fünf Bereiche mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad eingeteilt. Der Schwerpunkt des Verkehrsmodells bilden die Fernverkehre für Personen und Güter, die detailliert mit ihren jeweiligen Rückkopplungen und Wirkungsbeziehungen abgebildet sind.

Für die Modellierung der Beziehungen im Fernverkehr werden Daten aus dem Bereich "Basisdaten Verkehr", wie z. B. Infrastruktur, und Variablen aus anderen Modellsektoren, wie z. B. Pkw-Besitzrate und Bruttosozialprodukt, verwendet.

Die Nahverkehre für Personen und Güter werden in dem Modell vereinfacht abgebildet. Das Verkehrsszenario BAU beruht auf Trendfortschreibung. Auf eine exakte Modellierung des Aufkommens und des Modal-Split im Nahverkehr wird verzichtet. Die Änderungen im Nahverkehr beruhen direkt auf den gewählten politischen Maßnahmen der beiden Szenarien. Die unterschiedlichen Entwicklungen im Nahverkehr haben sowohl auf das Makro- als auch auf das Umweltmodul ihren Einfluss.

Beim Erstellen der Basisdaten des Verkehrs und der Verkehrsentwicklungen der BAU/EST-Szenarien flossen Ergebnisse aus der deutschen Fallstudie⁴⁸ und dem Modell TREMOD ('Transport Emission Estimation Model')⁴⁹ ein. Wesentliche Teile der Beschreibung des Verkehrsmodells, wie auch später des Regional-, des Umweltmodells und der politischen Sphäre, entstammen der Veröffentlichung zum Modell ESCOT⁵⁰.

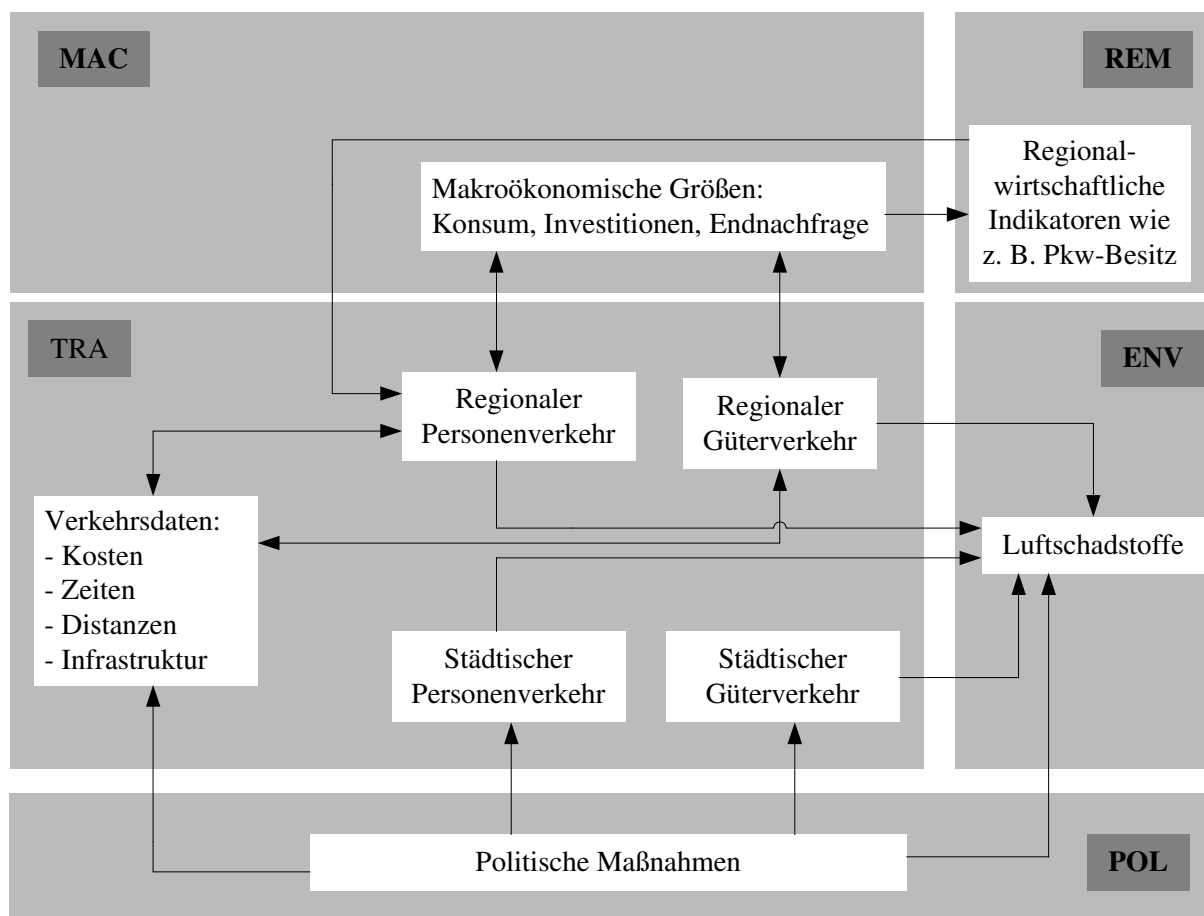


Abbildung 6-15: Verkehrsmodell

⁴⁸ Umweltbundesamt, Wuppertal Institut (1997)

⁴⁹ IFEU (1997)

⁵⁰ Schade et. al. (2002)

6.4.1 Basisdaten Verkehr

Zu den Basisdaten des Verkehrs zählen die Segmente, die nicht eindeutig dem Fern- oder Nahverkehr bzw. Personen- oder Güterverkehr zugeordnet werden können. Dies sind:

- Infrastruktur Straße und Schiene
- Kosten
- Fahrzeugbestand
- Straßenbelastung
- Widerstände, Reisezeiten und Reiseweiten der Straße und Schiene

(a) Infrastruktur Straße und Schiene

Zentrale Größen dieses Sektors sind die Infrastrukturausstattungen des Straßen- und Schienenverkehrs. Die Infrastruktur stellt die Verbindung zwischen Quell- und Zielregionen des Verkehrs dar. Dabei werden drei Infrastrukturverbindungstypen unterschieden:

- Verbindungen zwischen Agglomerationen (InterUrban),
- Verbindungen zwischen Regionen (InterRegional) und
- innerörtliche Verkehrsachsen (Urban).

Im Straßenverkehr werden die Bundesautobahnen den Verbindungen zwischen Agglomerationen (InterUrban), der außerörtliche Teil der Bundes- und Landesstraßen den Verbindungen zwischen Regionen (InterRegional) und die Innerortsanteile den innerörtlichen Verkehrsachsen (Urban) zugeordnet.

Für den Schienenverkehr werden die elektrifizierten Streckenabschnitte den Verbindungen zwischen Agglomerationen (InterUrban) und die nicht-elektrifizierten Abschnitte den Verbindungen zwischen Regionen (InterRegional) zugeordnet, abzüglich einem jeweiligen Anteil durchschnittlicher Innerortsanteile für die innerörtlichen Verkehrsachsen (Urban).

Tabelle 6-9: Wachstumsraten des Verkehrsnetzes

Wachstum Verkehrsnetz [-]	Szenario	Wert/Formel
Straßenwachstum	BAU	1,8% ⁵¹ für Autobahnen, 0,3% alle anderen Straßen
	EST-80%	1986: 1,8% für Autobahnen, 0,3% alle anderen Straßen 2002: 0% für Straßen und Autobahnen
Schienennetzwachstum	BAU	0,2% für alle Trassen
	EST-80%	2000: 0,2% für alle Trassen; Planung des Schienennetzausbaus ab 2010 5% für alle Trassen In Regionen ohne Schienenanbindung werden bis zum Jahr 2030 Schienenstrecken mit einer Länge von insgesamt 10 km pro Region gebaut.

Nach Erstellung der Basiswerte der Streckenlängen werden die Veränderungen der Infrastruktur durch Ergreifen von politischen Maßnahmen in Form einer linearen Steigerung des Streckennetzes eingerechnet.

Die Wachstumsraten des Straßen- und Schienennetzes sind direkt abhängig von den getroffenen politischen Maßnahmen. Sie unterscheiden sich daher für die verschiedenen Szenarien.

⁵¹ Alle Prozentangaben der Tabelle beziehen sich auf den Wert im Jahr 1986, d.h. die Steigerung der Infrastruktur erfolgt linear.

(b)Kosten

Im Kostensektor wird die Kostenentwicklung der verschiedenen Verkehrsträger geschätzt. Für den Pkw-Bereich ergibt sich der Kraftstoffpreis pro gefahrenem Pkw-Kilometer aus dem Preis für Benzin und Diesel unter Berücksichtigung des Verbrauchs (l pro 100 km), des jeweiligen Anteils an der gesamten Pkw-Flotte und der jeweiligen Jahresfahrleistung.

Es wird angenommen, dass sich der Grundpreis für Benzin und Diesel ohne Steuern nach den Anstiegen der letzten Jahre auf höherem Niveau als vor 1999 zunächst stabilisiert und dann ab 2012 langsam ansteigt. Im BAU-Szenario geht man aufgrund des Anstiegs für einige Jahre von einer Aussetzung der Öko-Steuer aus. Anschließend werden moderate Erhöhung angenommen. Im EST-80%-Szenario erfolgt eine Steuerangleichung für Diesel an die Steuersätze für Benzin und eine deutliche Mineralölsteuererhöhung.

Tabelle 6-10: Übersicht über die wichtigen Kosten-Variablen

Variable	Szenario	Wert/Formel
Mineralölsteuer Benzin (+ Öko-Steuer)	BAU	1986: 0,51 €; 1998: 0,58 €; Öko-Steuer + 3 Ct pro Jahr von 1999 bis 2003; Aussetzung der Öko-Steuer; Moderate Erhöhung um 2 Ct pro Jahr ab 2010.
	EST-80%	Ab 2004 zusätzliche Erhöhung zu BAU: 0,23 €. Insgesamt beträgt Mineralölsteuer 6,59 € im Jahr 2030
Mineralölsteuer Diesel (+ Öko-Steuer)	BAU	1986: 0,31 € 1998: 0,38 € ab 1999 gleiche Erhöhungen wie bei Mineralölsteuer für Benzin
	EST-80%	ab 2004 Angleichung an Mineralölsteuer für Benzin
Mehrwertsteuer	Alle	1986: 14% 1994: 15% 1998: 16%
Benzin/Dieselpreis	Alle	(Grundpreis + Mineralölsteuer)·(1+MwSt)
Kraftstoffpreis netto	Alle	1986-1998: 0,20 €; 1999: 0,28 €; 2004: 0,38 € 2006: 0,32 € 2030: 0,36 €
Benzinverbrauch	BAU	1986: 10,20 l/100 km; -0,01 l/100 km pro Jahr
	EST-80%	2004: 7,60 l/100 km 2030: 2,51 l/100 km
Dieselverbrauch	BAU	1986: 8,20 l/100 km; -0,08 l/100 km pro Jahr
	EST-80%	2004: 6,6 l/100 km 2030: 2,44 l/100 km
Sonstige Kosten umgerechnet auf gefahrenen Kilometer	Alle	0,09 €/km
Durchschnittskaufpreis Pkw	BAU	12216 €
	EST-80%	1986: 12216 € 2000: 12216 € 2030: 13437 € (≅ Anstieg um 10%)
Jahresfahrleistung Diesel- zu Benzinfahrzeug	Alle	Dieselfahrzeuge haben eine um 35% höhere Jahresfahrleistung als Benzinfahrzeuge.
Nutzungsdauer Pkw	Alle	12 Jahre
Jahresfahrleistung (nur für die Durchschnittspreisberechnung)	Alle	12000 km/Jahr

Um zum durchschnittlichen tatsächlichen Preis pro gefahrenen Kilometer zu gelangen, muss man die sonstigen Kosten (z. B. Versicherungen, Garagenmieten) und die Anschaffungskosten, die wegen der strengeren Emissionsnormen im EST-80%-Szenario höher sind, einbeziehen.

Für die Bestimmung der Transportkosten der Straße zwischen zwei Regionen wird die Summe aus Kraftstoffpreis und sonstigen Kosten mit dem Widerstand, der die Entfernung zwischen zwei Regionen darstellt, multipliziert.

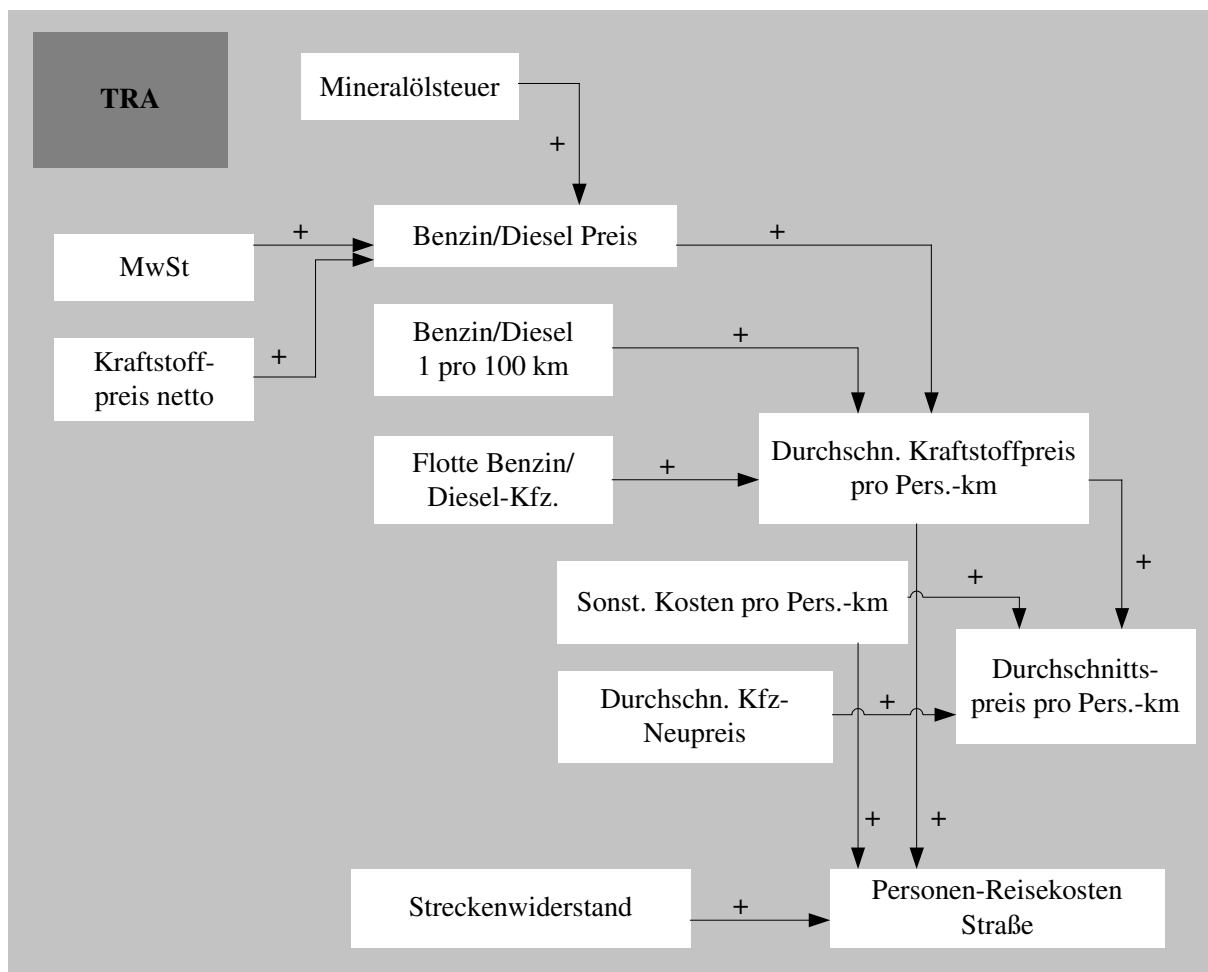


Abbildung 6-16: Kosten (Pkw)

Zu den zentrale Gleichungen für diesen Bereich gehört die Berechnung des Durchschnittspreises (inklusive Kraftstoff, sonstige Kosten, Anschaffungspreis) pro km:

$$DPP = DF/(ND \cdot JF) + AFP + DKP \quad (6.36)$$

mit: DPP: Durchschnittspreis pro Straßenkilometer und Fahrgast (Average Priceper KM Pass ROad)

DF: Durchschnittspreis des Fahrzeugs (Average Price Cars[init] = 12216 €)

ND: Nutzungsdauer (12 Jahre)

JF: Jahresfahrleistung (12000 km/Jahr)

AFP: Andere Fahrtkosten pro km (Other Price Pass Km = 0,09 €/km)

DKP: Durchschnittlicher Kraftstoffpreis (Average Fuel Price Pass Km)

Die Transportkosten (für Modal Split) bestimmen sich aus dem Streckenwiderstand, der die Entfernung zwischen zwei Regionen repräsentiert und den gleich stark gewichteten regionalen Transportkosten pro km:

$$PRS_{r1,r2} = SW_{r1,r2} \cdot ((RK_{r1} + RK_{r2})/2) \quad (6.37)$$

mit: PRS: Personen-Reisekosten Straße (Travel Cost Passenger Road Matrix)

SW: Streckenwiderstand, abhängig von Region 1 und Region 2 (Resistance ROad Matrix)

r1,r2: Gebietstyp 1 bis 9

RK_{ri}: nach Region gewichtete Transportkosten pro Straßenkilometer und Fahrgast (Weighted Reg Travel Costs per KM Pass ROad)

Im Straßengüterverkehr unterliegt die Kostenberechnung dem gleichen Schema. Hier wird vereinfacht nur der Dieselpreis für die Treibstoffkostenberechnung verwendet. Maßnahmen zur Beeinflussung der variablen Kosten werden auf die Variable Treibstoffkosten angewendet. Für das EST-80%-Szenario führt das Road Pricing zu einer schrittweisen Erhöhung der Fahrtkosten pro km. Für den Lkw-Bereich wird die Mineralölsteuer zurückerstattet, um Betankungen im Ausland zu vermeiden.

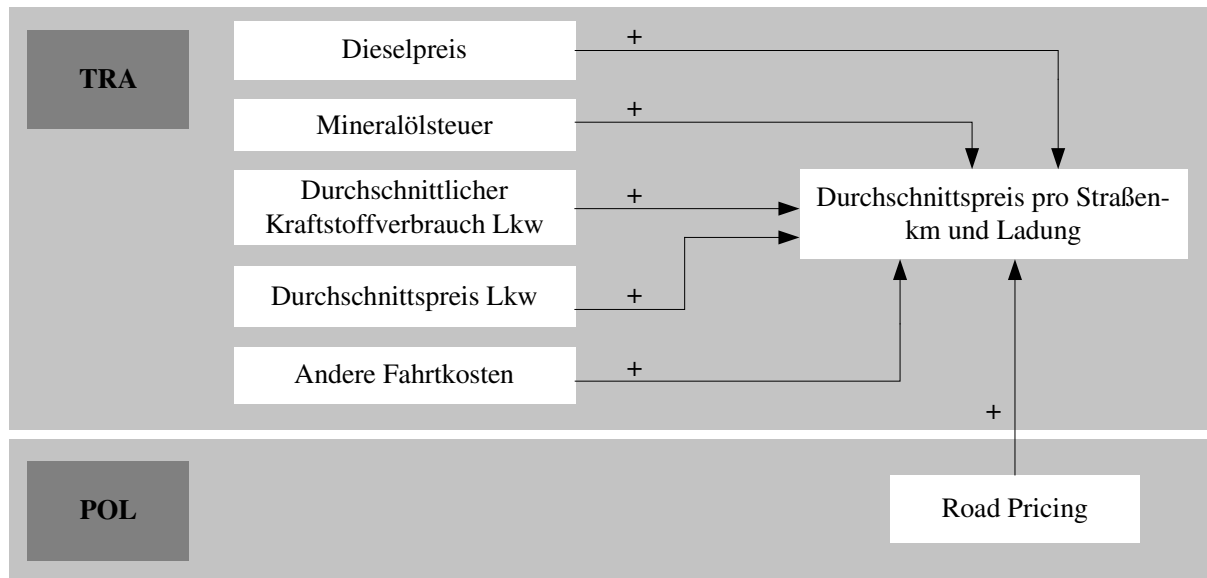


Abbildung 6-17: Kosten im Lkw-Bereich

Kraftstoffpreise für den Güterverkehr werden anhand folgender Formel berechnet:

$$\text{KPG} = (\text{NKP} + (1 - \text{M3}) \cdot \text{DS}) \cdot \text{KVG} / 100 \quad (6.38)$$

- mit: KPG: durchschnittlicher Kraftstoffpreis pro km im Güterverkehr (Average Fuel Price Freight Km)
 NKP: Netto-Kraftstoffpreis pro Liter (Pure Fuel Price per Litre[init] = 0,24 €/l)
 DS: Steuersatz für Diesel (Diesel Tax)
 KVG: durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch im Güterverkehr pro km (Average Fuel per Freight Km)
 M3: Politische Maßnahme 3 (Road Pricing)

Für die Durchschnittliche Gesamtkosten pro km für den Güterverkehr gilt:

$$\text{DPG} = \text{KVG} \cdot (\text{DP} / (1 + \text{VAT}) - \text{M3} \cdot \text{DS} / 2) / 100 + \text{VRP} + \text{DL} / (\text{ND} \cdot \text{JF}) + \text{AFG} \quad (6.39)$$

- mit: DPG: Durchschnittspreis pro Straßenkilometer und Ladung (Average Price per KM Freight Road)
 KVG: durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch im Güterverkehr pro km (Average Fuel per Freight Km)
 DP: Dieselpreis pro l (Diesel Price per Litre)
 DS: Steuersatz für Diesel (Diesel Tax)
 VRP: Veränderung Road Pricing (Change Road Pricing)
 VAT: Mehrwertsteuer
 M3: Politische Maßnahme 3 (Road Pricing)
 DL: Durchschnittspreis Lkw (Average Price Trucks(init)=35806 €)
 ND: Nutzungsdauer Lkw (12 Jahre)
 JF: Jahresfahrleistung (120000 km)
 AFG: Andere Fahrtkosten pro Kilometer und Ladung im Güterverkehr (Other Price Freight Km)

Generell wird im Güterverkehr von leicht steigenden Preisen bei den Fixkosten und den Anschaffungspreisen für Lkw sowie mit leicht fallenden Kraftstoffverbräuchen gerechnet. Für

das EST-Szenario steigen die Anschaffungskosten durch verbesserte Motoren um 20% gegenüber einer 10% Steigerung für das BAU-Szenario.

Tabelle 6-11: Kosten im Güterverkehr

Variable	Szenario	Wert/Formel
Dieselverbrauch	BAU	1986: 32 l/100 km 2030: 26 l/100 km
	EST-80%	2000: 32 l/100 km 2030: 17 l/100 km;
Fixkosten umgerechnet auf gefahrenen Kilometer (Fahrer etc.)	Alle	1986: 0,95 €/km 2000: 0,97 €/km 2030: 1,01 €/km
Durchschnittskaufpreis Lkw	BAU	1986: 35806 € 2000: 35806 € 2030: 39387 € (≅ Anstieg um 10 %)
	EST-80%	1986: 35806 € 2000: 35806 € 2030: 42968 € (≅ Anstieg um 20 %)
Road Pricing	BAU	1986: 0 €; 2005: 0,12 €
	EST-80%	2000: 0 €; 2003: 0,29 €; 2010: 0,57 €; 2020: 1,15 €; 2030: 1,44 €

Im Schienenpersonenverkehr hängen die Transportkosten zwischen zwei Regionen von den Kosten pro Kilometer, die für das EST-80%-Szenario wegen der größeren Umsätze sinken, und von den Widerständen zwischen den Regionen ab. Die Kosten pro Kilometer bleiben konstant bei 0,14 € /km. Für das EST-80%-Szenario sinkt dieser Wert bedingt durch Rationalisierungspotentiale und durch steigendes Personenverkehrsaufkommen bis auf 0,10 €/km.

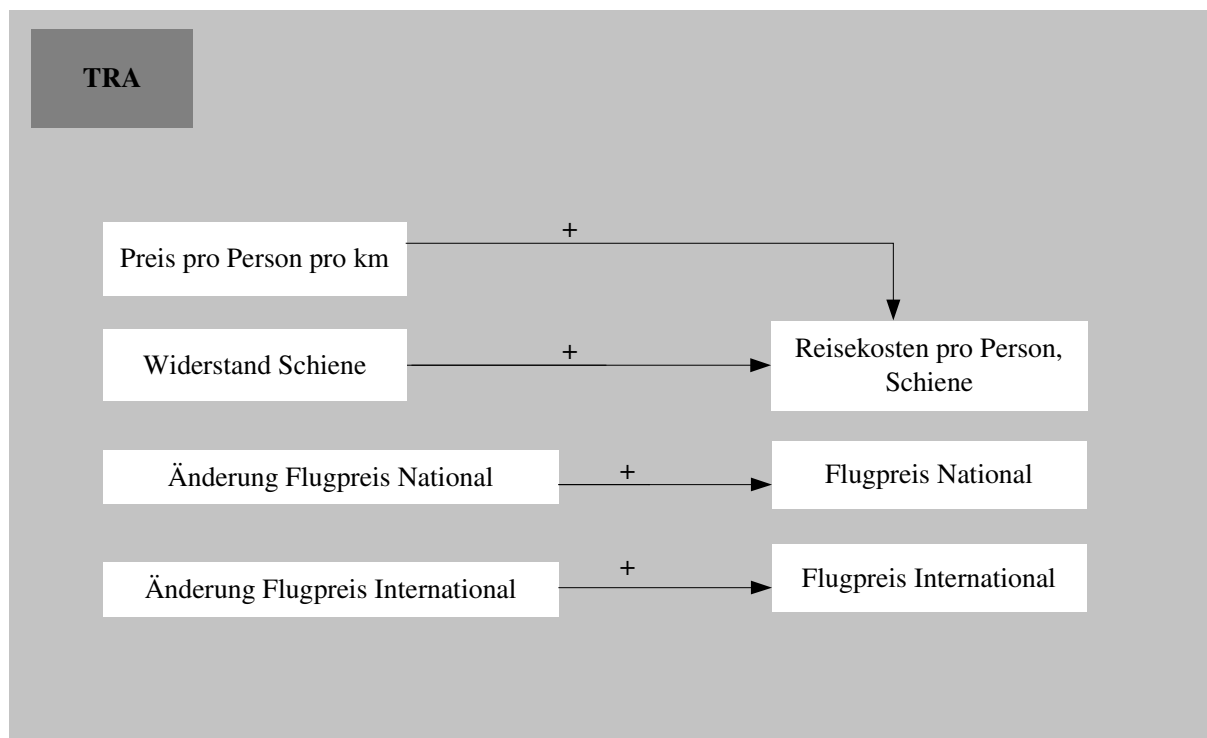


Abbildung 6-18: Kosten im Schienen- und Flugverkehr

Für den Luftverkehr geht man für das EST-80%-Szenario von einer Versechsfachung des Ticketpreises aus. Diese Versechsfachung wird benötigt, um den sich abzeichnenden starken

Anstieg des Flugverkehrsaufkommens zu verhindern und den entsprechenden EST-80% Zielwert zu erreichen.

Tabelle 6-12: Kosten im Flugverkehr

Variable	Szenario	Wert/Formel
Preis pro Person pro (Schienenkilometer RTP)	BAU	0,14 €/km
	EST-80%	2000: 0,14 €/km 2030: 0,10 €/km
Basispreis pro Inland-Flug	BAU	229,- €
	EST-80%	2000: 229,- € 2030: 1416,- €
Änderung Flugpreis Inland	BAU	0,- €
	EST-80%	2000: 38,- € 2030: 1187,- €
Basispreis pro Flug International	BAU	574,- €
	EST-80%	2000: 574,- € 2030: 3710,- €
Änderung Flugpreis International	BAU	0%
	EST-80%	2000: 7%; 2010: 7%; 2020: 6%; 2030: 4%

(c) Straßenfahrzeuge

Die Anzahl der Pkw ergibt sich aus der Bestimmung der potentiell motorisierten Bevölkerung und der Pkw-Besitzrate, die im Bereich Raumentwicklung berechnet wird. Für den Lkw-Bereich ergibt sich der Bestand aus der Entwicklung der Bruttowertschöpfung, die nach Region und Wirtschaftssektor getrennt bestimmt wird.

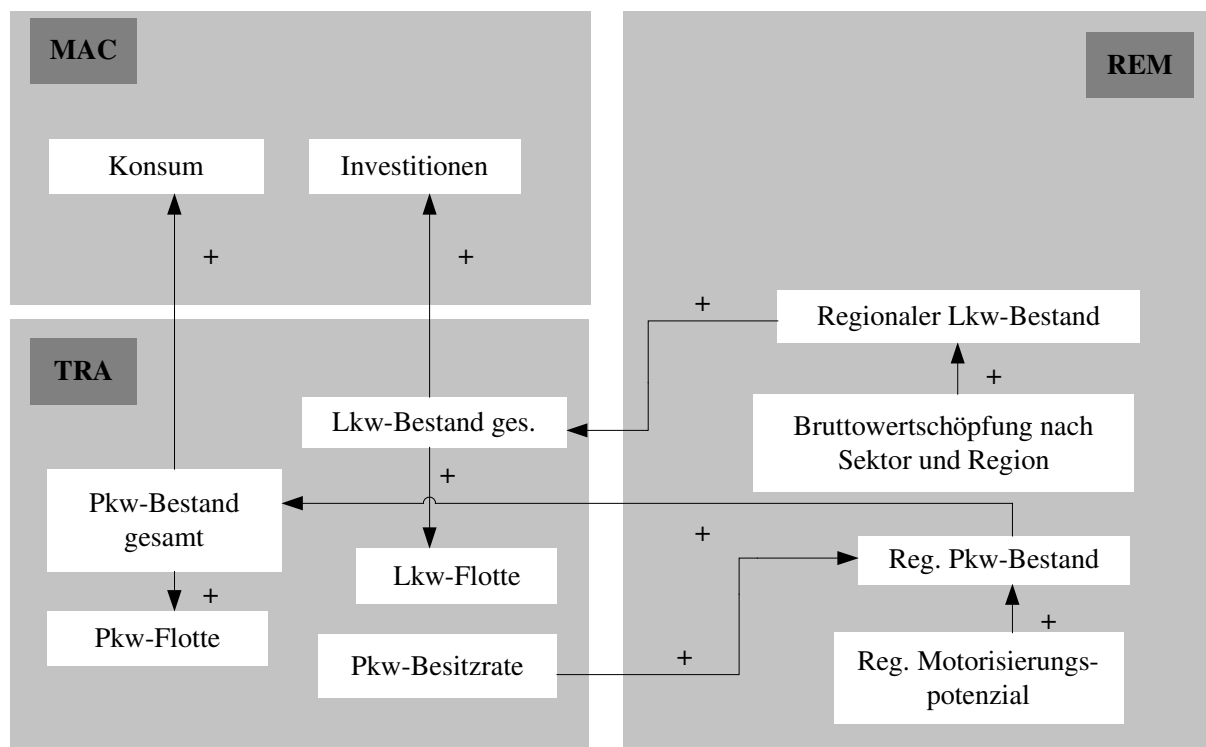


Abbildung 6-19: Straßenfahrzeuge

Die Pkw und Lkw-Bestandszahlen ermöglichen eine genaue Bestimmung der jeweiligen Flotten in Bezug auf ihr Alter, ihre Emissionsklasse und ihren Fahrzeugtyp:

Tabelle 6-13: Fahrzeugvariablen

Flottenvariablen	Werte
Pkw-Fahrzeugtyp	Benzin < 1400 ccm (GPC1) Benzin 1400-2000 ccm (GPC2) Benzin > 2000 ccm (GPC3) Diesel < 2000 ccm (DPC1) Diesel > 2000 ccm (DPC2) Elektroantrieb (Elek)
Lkw-Fahrzeugtyp	Benzin < 3,5t (GTR3) Diesel < 3,5t (DTR3) Diesel 3,5-7,5t (Tr35) Diesel 7,5-14t (Tr75) Diesel > 14t (Tr14) Zugmaschinen < 200 kWh (TrSm32) Zugmaschinen > 200 kWh (Tr32),
Emissionsnorm	PreEuro1, PreEuro2, Euro I-VI
Altersklassen	1-12 Jahre

Für alle Fahrzeuge (Pkw und Lkw) wird von einer durchschnittlichen Lebensdauer von 12 Jahren ausgegangen. Vereinfacht werden im System deshalb nur 12 Altersklassen angenommen. Jedes Fahrzeug durchläuft alle 12 Altersklassen und hält sich darin 1 Jahr auf. Die Bestimmung der pro Jahr neu angeschafften Fahrzeuge wird aus dem absoluten Pkw-Bestand des aktuellen zum vorigen Jahr und der Summe der Fahrzeuge, die 12 Jahre alt sind und daher aus der Fahrzeugflotte gelöscht werden, errechnet. Die Anzahl der neu angeschafften Fahrzeuge wird über prozentuale Kaufanteile aus vergangenen Jahren einem bestimmten Fahrzeugtyp zugeordnet. Die Emissionsklasse eines Fahrzeuges ist so festgelegt, dass zwei bis drei Jahre vor der vorgeschriebenen Einführung einer Emission schon ein gewisser Anteil mit der neuen Emissionsklasse gekauft wird.

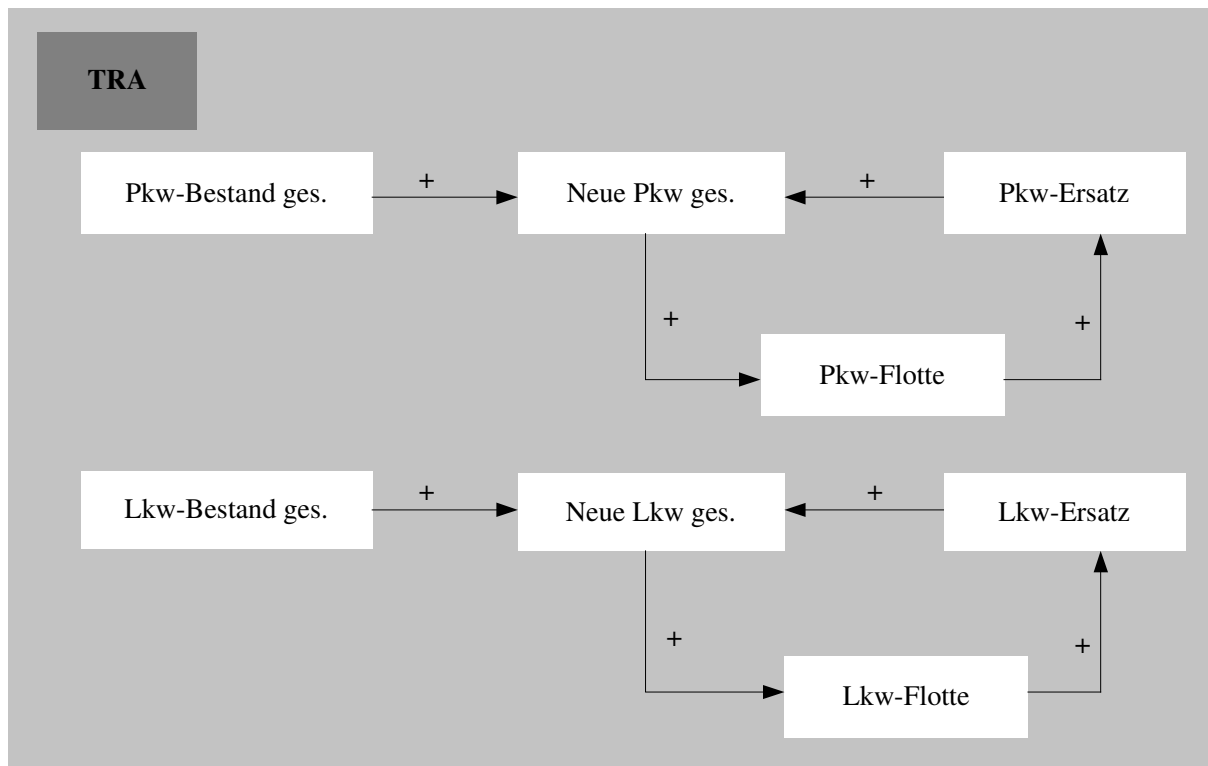


Abbildung 6-20: Pkw und Lkw-Flotte

Die Flotten-Anteile entwickeln sich im BAU- und EST-80%-Szenario unterschiedlich:

Tabelle 6-14: Flotten-Anteile im Pkw-Bereich

Anteile des Fahrzeug-typs [%]	Szenario	1990	2000	2010	2020	2030
GPC1	BAU	34,17	34,17	34,17	32,25	30,33
	EST-80%	34,17	34,17	34,17	38,40	38,40
GPC2	BAU	44,67	44,67	44,67	42,16	39,65
	EST-80%	44,67	44,67	44,67	50,20	50,20
GPC3	BAU	10,14	10,14	10,14	9,57	9,00
	EST-80%	10,14	10,14	10,14	11,4	11,4
DPC1	BAU	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21
	EST-80%	1,21	1,21	1,21	0	0
DPC2	BAU	9,79	9,79	9,79	9,79	9,78
	EST-80%	9,79	9,79	9,79	0	0
Elek	BAU	0	0	0	5,00	10,00
	EST-80%	0	0	0	0	0

Durch veränderte Preise und Änderungen in der Gesetzgebung wie dem Verbot von Dieselfahrzeugen steigen im EST-80%-Szenario die Anteile der Benzinkraftwagen; ebenso steigt innerhalb dieses Segments der Anteil der kleineren Hubraumklassen.

Für den Güterverkehr hält in der Fahrzeugklasse unter 3,5 Tonnen für das BAU-Szenario der Trend zu einem höheren Anteil an Dieselfahrzeugen an. Dieser Trend wird im EST-80%-Szenario durch das Verbot von Dieselfahrzeugen gebrochen. Für die Lkw der Fahrzeugklassen oberhalb von 3,5 Tonnen wird der ansteigende BAU-Trend durch die Einführung von Road Pricing gebremst, so dass im Jahr 2030 in etwa eine ähnliche Anzahl an Lkws wie im Ausgangsjahr 1990 vorhanden ist.

Mill. Lkw

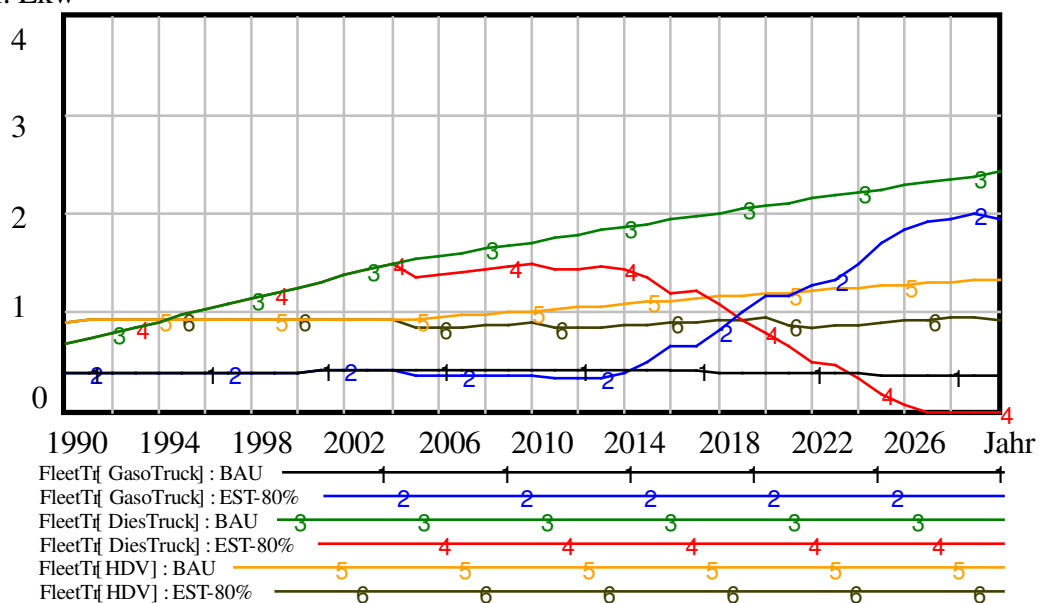


Abbildung 6-21: Flotten-Anteile im Lkw-Bereich

(d) Straßenbelastung

Im Straßenbelastungssektor wird der tägliche durchschnittliche Straßenverkehr (DTV) berechnet. Eingangsgrößen sind die Variablen Personenkilometer aus dem vorher

beschriebenen Sektor und Tonnenkilometer aus dem Frachtsektor. Als weiterer Faktor sind die jeweiligen potentiellen Geschwindigkeiten auf den drei verschiedenen Straßentypen, die für das BAU- und EST-80%-Szenario unterschiedlich sind, von Bedeutung.

$$DTV = ((VNP \cdot FM) + (VVD \cdot BM)) \cdot DSB_p \cdot VSI \cdot DSB \quad (6.40)$$

- mit:
- DTV: Veränderung der Straßenbelastung (Change AADTPR[RT,LT])
 - VNP: prozentuale Veränderung der Anzahl der Fahrten im Nahverkehr, abhängig von der Region (Percental Change Reg Traffic Trip Pass ROad[RT])
 - FM: Fahrtenmengenmatrix, von den vorhandenen Verbindungen und deren Qualität abhängig (AADT Vehicle Influence Link Matrix[LT])
 - VVD: prozentuale Veränderung der Verkehrsdichte, abhängig von der Region (Percental Change Reg Num Cars[RT])
 - BM: Bestandsmengenmatrix, von den vorhandenen Verbindungen und deren Qualität abhängig (AADT Volume Influence Link Matrix[LT])
 - DSB: Durchschnittliche Straßenbelastung, Gesamtverkehr (Av Ann Daily Traffic Rd[RT,LT])
 - DSB_p: Durchschnittliche Straßenbelastung, Personenverkehr (Av Ann Daily Traffic Pass Rd[RT,LT])
 - VSI: prozentuale Längenänderung des Straßennetzes (Percental Change Infrastructure ROad[RT,LT])

Die Veränderung der Personen- und Tonnenkilometer für jede Verbindung werden mit für die Regionen vorher bestimmten Straßenbelastungswerten in Relation gesetzt. Aus den belastungsabhängigen Geschwindigkeiten und den potentiell möglichen Geschwindigkeiten errechnen sich die tatsächlichen Geschwindigkeiten Pkw und Lkw.

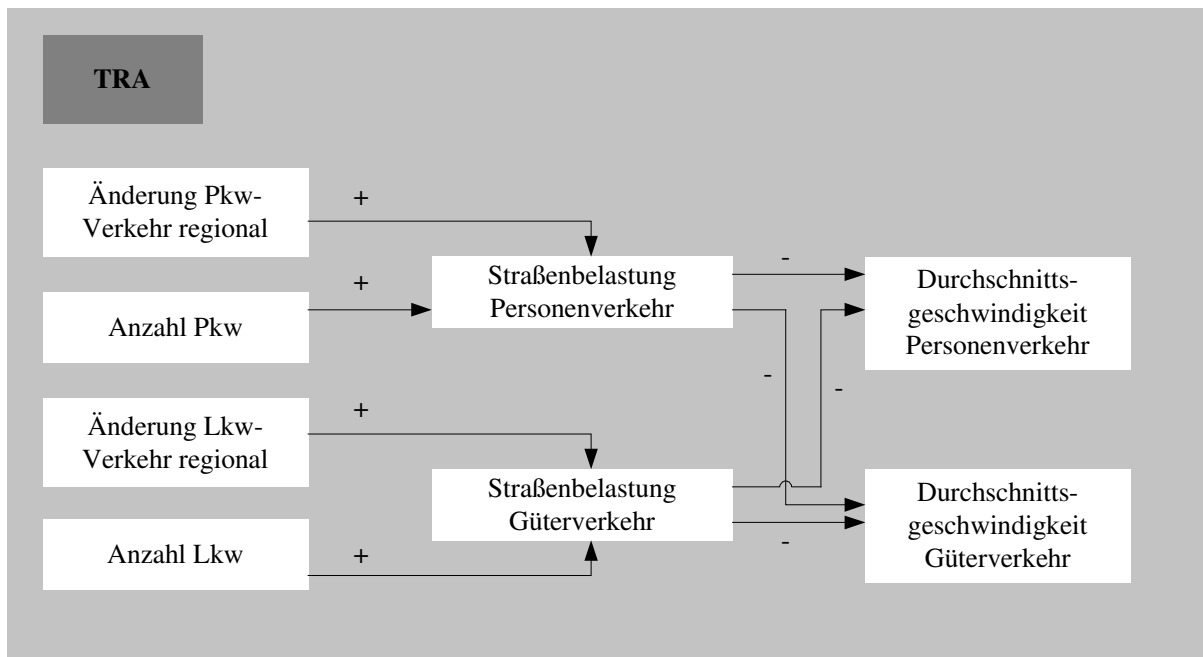


Abbildung 6-22: Straßenbelastung

Die theoretische Geschwindigkeit berechnet sich, indem von einer straßentypischen Maximalgeschwindigkeit ein Faktor abgezogen wird⁵². Der Faktor bestimmt sich über die durchschnittliche Straßenbelastung von Pkw und Lkw. Für jeden Straßentyp wird eine Minimalgeschwindigkeit eingeführt:

$$TG_{r,i} = \begin{matrix} \text{1. Fall: } \text{Max}P_i - (\text{Multi } P_i \cdot \text{EXP}(\text{Multie } P_i \cdot ((DSB_p/24) + \\ (\text{Multi}QP_i \cdot (DSB_i/24)))))) \\ \text{2. Fall: MG} \end{matrix} \quad (6.41)$$

⁵² vgl. Kuchenbecker (2000): S. 150f

- mit: DSB_p : Durchschnittliche Straßenbelastung, Personenverkehr pro Stunde (Av Ann Daily Traffic Pass Rd[RT,LT]/Hours per Day)
 DSB_f : Durchschnittliche Straßenbelastung, Güterverkehr pro Stunde (Av Ann Daily Traffic Ft Rd[RT,LT]/Hours per Day)
 $MaxP_i$: Maximalgeschwindigkeit Pkw (Max $P_i = 124; 131; 51$)
 $MultiP_i$: Multiplikator, der angibt, wie stark die Geschwindigkeit bei Verkehrsbelastung absinkt ($Multi P_i = 0,5; 15; 1$)
 $MultiP_i$: Exponentieller Faktor, der angibt, wie stark die Geschwindigkeit bei Verkehrsbelastung absinkt ($Multi P_i = 0,0015; 0,0008; 0,00382$)
 $MultiQP_i$: Faktor, um den die Güterverkehrsbelastung einen höheren Einfluss auf die Geschwindigkeitsabsenkung hat, als die Personenverkehrsbelastung ($Multi QP_i = 2$)
 MG : Minimalgeschwindigkeit (Min Speed Limit ROad = 15 km/h)
 r : Gebietstyp 1 – 9 und
 l : Verbindungstyp (Inter Urban, Inter Regional, Urban)

Die Durchschnittsgeschwindigkeit nach Region bestimmt sich durch:

$$DG_r = DG_{r,fv} \cdot LTD_{fv} + DG_{r,nv} \cdot LTD_{nv} + DG_{r,sv} \cdot LTD_{sv} \quad (6.42)$$

- mit: $DG_{r,fv}$: Durchschnittsgeschwindigkeit auf Fernverkehrsverbindungen (av Link Reg Speed Pass Rd[RT,InterUrbanLinks])
 LTD_{fv} : Streckenanteil der Fernverkehrsverbindungen (L Type Distribution)
 $DG_{r,nv}$: Durchschnittsgeschwindigkeit auf Nahverkehrsverbindungen (av Link Reg Speed Pass Rd[RT,InterRegionalLinks])
 LTD_{nv} : Streckenanteil der Nahverkehrsverbindungen (L Type Distribution)
 $DG_{r,sv}$: Durchschnittsgeschwindigkeit im Stadtverkehr (av Link Reg Speed Pass Rd[RT,UrbanLinks])
 LTD_{sv} : Streckenanteil der Straßenverbindungen in der Stadt (L Type Distribution)
 r : Gebietstyp 1 – 9
 fv : Fernverkehr und nv : Nahverkehr und sv : Stadtverkehr

Die Minimalgeschwindigkeit wird für alle verschiedenen Streckenverbindungstypen auf 15 km/h gesetzt. Die Maximalgeschwindigkeiten (Max P) sind durch verstärkte Geschwindigkeitsbeschränkungen inner- und außerorts auf einem niedrigeren Niveau, bei 30 km/h in der Stadt, 80 km/h auf Bund- und Landstraßen und 100 km/h auf Bundesautobahnen.

Tabelle 6-15: Werte für Straßenbelastungsberechnung Pkw

Variable	Szenario	Streckenverbindungstyp		
		Inter-Urban	Inter-Regional	Urban
Minimalgeschwindigkeit (Min Speed Limit ROad) [km/h]	Alle	15	15	15
Maximalgeschwindigkeit (Max P) [km/h]	BAU	124	131	51
	EST-80%	124-100	131-80	51-30
Multiplikator für Geschwindigkeitsabsenkung durch Verkehrsbelastung (Multi P) [-]	Alle	0,5	15	1
Exponentieller Faktor für Geschwindigkeitsabsenkung durch Verkehrsbelastung (Multie P) [-]	Alle	0,0015	0,0008	0,0038
Einfluss Güterverkehr zu Personenverkehr auf die Geschwindigkeit (Multi QP) [-]	Alle	2	2	2
Einfluss Verkehrsänderung (AADT VehicleInfluence Link Matrix) [-]	Alle	1	0,5	0
Einfluss Änderung Fahrzeugbestand (AADT Volume Influence Link Matrix) [-]	Alle	0	0,5	1
Streckenanteile einer Verbindung (L Type Distribution) [-]	Alle	0,5	0,4	0,1

Für den Güterverkehr wirken sich die Geschwindigkeitsveränderungen nur innerorts aus:

Tabelle 6-16: Werte für Straßenbelastungsberechnung Lkw

Variable	Szenario	Streckenverbindungstyp		
		Inter-Urban	Inter-Regional	Urban
Maximalgeschwindigkeit (Max G) [km/h]	BAU	90	71	51
	EST-80%	90	71	51-30
Multiplikator für Geschwindigkeitsabsenkung durch Verkehrsbelastung (Multi G) [-]	Alle	0,2	1	1
Exponentieller Faktor für Geschwindigkeitsabsenkung durch Verkehrsbelastung (Multie G) [-]	Alle	0,011	0,0234	0,0038
Einfluss Personenverkehr zu Güterverkehr auf die Geschwindigkeit (Multi QPVG) [-]	Alle	0	0	1
Einfluss Güterverkehr auf die Geschwindigkeit (Multi QGVG) [-]	Alle	1	1	2

(e) Widerstände, Reisezeiten und Reiseweiten Straße und Schiene

Der Widerstand zwischen zwei Regionen wird zum Startzeitpunkt durch die Entfernung zwischen den Regionen repräsentiert. Infrastrukturmaßnahmen können diese Entfernung verkürzen, so dass z. B. der Widerstand durch den Bau einer Autobahn sinkt. Als Annahme wird getroffen, dass der Bau von 1 km einer Bundesautobahn die Entfernung zwischen den Regionen um 0,1 km und der Bau von Bundes- und Landesstraßen die Entfernung um 0,05 km verkürzt. Der Ausbau der Straßeninfrastruktur in den Städten führt zu keiner Veränderung des Streckenwiderstands. Daneben wird angenommen, dass die politischen Maßnahmen, die den Innenstadtverkehr beruhigen sollen, den Widerstand zwischen Regionen um 0,8% vergrößern.

$$\Delta WS_{r1,r2} = \Delta ES_{r1} + \Delta ES_{r2} + IS_{r1,sv} \cdot WM \quad (6.43)$$

- mit: $\Delta WS_{r1,r2}$: Veränderung des Streckenwiderstands Straße, abhängig von den jeweiligen Regionen (Change Resistance ROad[RT,RT2])
 ΔES_{r1} , ΔES_{r2} : Veränderung der Entfernungen auf der Straße, abhängig von den jeweiligen Regionen (Change Regional Distances ROad[RT], Change Regional Distances ROad[RT2])
 $IS_{r1,sv}$: Innerstädtische Streckenanteile einer Verbindung zwischen zwei Regionen (Infrastructure ROad[RT,UrbanLinks])
 WM: Widerstandserhöhung durch Politische Maßnahmen (Inner City Traffic Change)
 ri: Gebietstyp 1 – 9
 sv: Stadtverkehr

Diese Entfernungsverkürzung erniedrigt gleichzeitig die Reisezeit, die zwischen zwei Regionen besteht. Daneben ist die Reisezeit noch von den im Straßenbelastungssektor berechneten Straßengeschwindigkeiten abhängig.

$$DRS_{r1,r2} = MR + ((WS_{r1,r2} / 0,513 \cdot RG + 0,2514 \cdot DGS_{r1} + 0,2515 \cdot DGS_{r2}) \cdot 60 \quad (6.44)$$

- mit: $DRS_{r1,r2}$: Durchschnittliche Reisezeit Straße, abhängig von den Regionen (Average Travel Time[RT,RT2])
 MR: Angenommene, minimale Reisezeit (10 min 12 s)
 $WS_{r1,r2}$: Streckenwiderstand Straße, abhängig von den Regionen (Resistance Road Matrix[RT,RT2])
 RG: Richtgeschwindigkeit (130 km/h) (recommended Speed ROad)
 DGS_{r1} , DGS_{r2} : Regionale Durchschnittsgeschwindigkeit (Weighted Reg Av Speed ROad[RT])
 ri: Gebietstyp 1 – 9

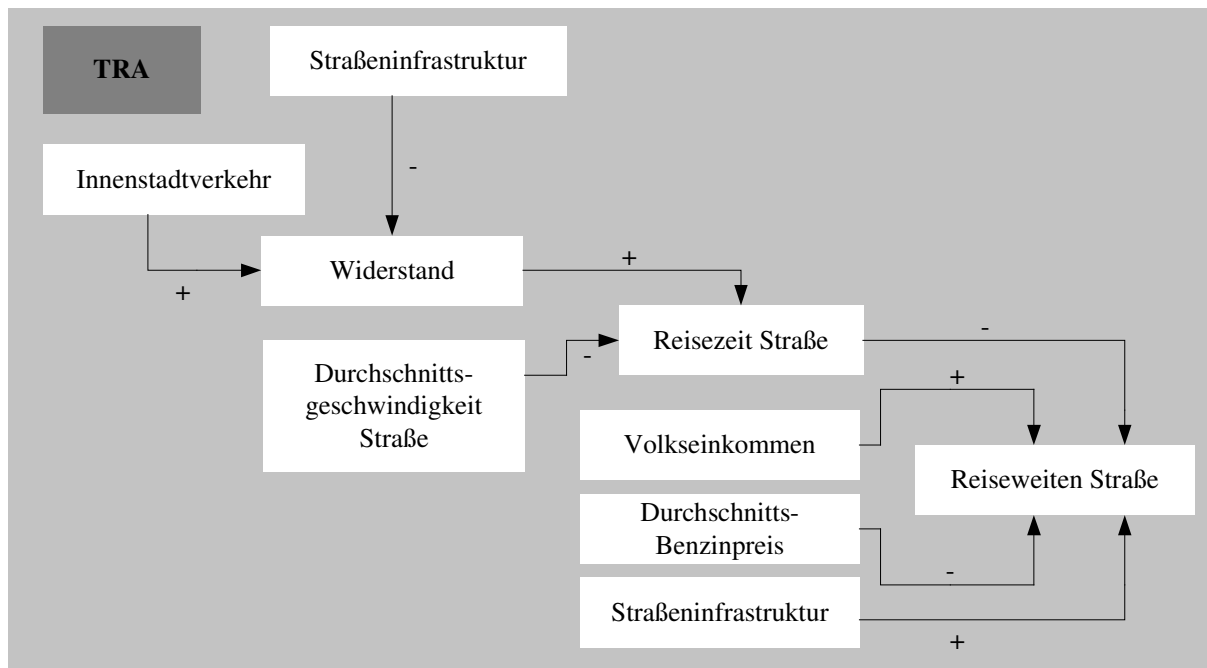


Abbildung 6-23: Widerstände, Zeiten und Reiseweiten Straße

Für die Reiseweiten hingegen wird angenommen, dass eine Erniedrigung der Reisezeit zwischen zwei Regionen zu einer Erhöhung der Reiseweiten führt. Die Reiseweite einer Verbindung wird in Abhängigkeit von vier Größen berechnet, dem Volkseinkommen, den Kosten pro Fahrkilometer, der Länge des Streckennetzes und der Reisezeit. Dabei gehen in die Berechnung der Reiseweite nur die jeweiligen Veränderungen der vier Größen mit Zeitverzögerung ein. Die Veränderung der Reiseweite wird über konstante Elastizitäten berechnet, wobei für das Volkseinkommen eine Elastizität von +0,35, für den Kraftstoffpreis von -0,3, für die Infrastruktur von +0,3, und für die Reisezeit von +1 angesetzt wird.

$$\Delta RWS_{r1,r2}[t+1] = RWS_{r1,r2}[t] \cdot \left(\frac{Y[t]-Y[t-1]}{Y[t-1]} \cdot 0,35 + \frac{DKP[t]-DKP[t-1]}{DKP[t-1]} \cdot (-0,3) + \frac{IS_{r1,r2}[t]-IS_{r1,r2}[t-1]}{IS_{r1,r2}[t-1]} \cdot 0,3 - \frac{RZS_{r1,r2}[t]-RZS_{r1,r2}[t-1]}{RZS_{r1,r2}[t-1]} \cdot 1 \right) \quad (6.45)$$

- mit:
- $\Delta RWS_{r1,r2}$: Veränderung der Reiseweite auf der Straße, abhängig von den Regionen (Change Travel Distance ROad[RT,RT2])
 - $RWS_{r1,r2}$: Reiseweite Straße, abhängig von den Regionen (Travel Distances ROad[RT,RT2])
 - Y: Volkseinkommen
 - DKP: Durchschnittlicher Kraftstoffpreis (Average Fuel Price Pass Km)
 - $IS_{r1,r2}$: Infrastruktur Straße zwischen den Regionen (Infrastructure Link[RT,RT2])
 - $RZS_{r1,r2}$: Reisezeit auf der Straße, abhängig von den jeweiligen Regionen (Travel Time Road Matrix[RT,RT2])
 - ri: Gebietstyp 1 – 9

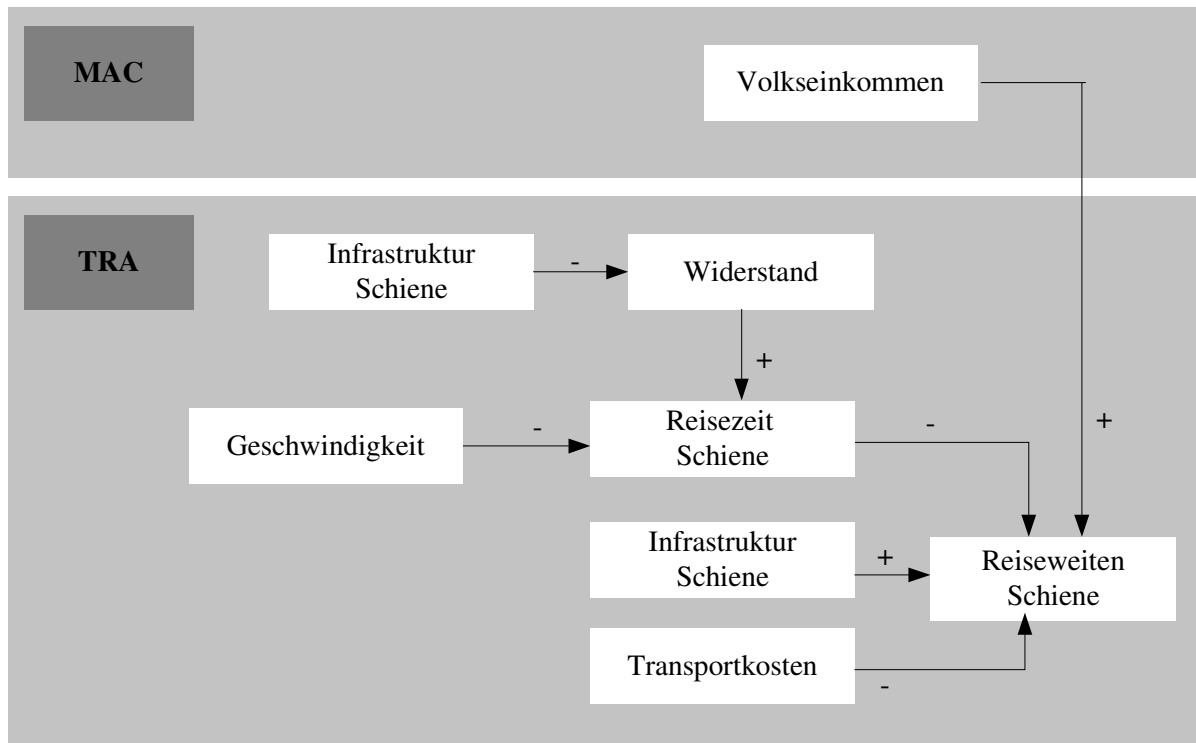


Abbildung 6-24: Widerstände, Zeiten und Reiseweiten Schiene

In Analogie gelten für die Schiene folgende Gleichungen:

Änderung des Widerstands der Schiene:

$$\Delta WE_{r1,r2} = \Delta EE_{r1} + \Delta EE_{r2} \quad (6.46)$$

mit: $\Delta WE_{r1,r2}$: Veränderung des Streckenwiderstands Schiene, abhängig von den jeweiligen Regionen (Change Resistance RAil[RT,RT2])
 ΔEE_{r1} , ΔEE_{r2} : Veränderung der Entfernungen auf der Schiene, abhängig von den jeweiligen Regionen (Change Regional Distances RAil[RT], Change Regional Distances RAil [RT2])
 ri: Gebietstyp 1 – 9

Änderung der Reisezeit Schiene:

$$\Delta RE_{r1,r2} = RE_{r1,r2} \cdot \Delta WE_{r1,r2} / WE_{r1,r2} + RE_{r1,r2} \cdot \Delta SR_{r1,r2} \quad (6.47)$$

mit: $\Delta RE_{r1,r2}$: Veränderung der Reisezeit Schiene, abhängig von den Regionen (Change Travel Time RAil[RT,RT2])
 $RE_{r1,r2}$: Reisezeit Schiene (Travel Time Rail Matrix[RT,RT2])
 $\Delta WE_{r1,r2}$: Veränderung des Streckenwiderstands Schiene, abhängig von den jeweiligen Regionen (Change Resistance RAil[RT,RT2])
 $WE_{r1,r2}$: Streckenwiderstand Schiene, abhängig von den Regionen (Resistance Rail Matrix[RT,RT2])
 $\Delta SR_{r1,r2}$: Änderung der Geschwindigkeit auf einer Verbindung (Speed Rail Matrix[RT,RT2])
 ri: Gebietstyp 1 – 9

Änderung der Reiseweite Schiene:

$$\Delta RWE_{r1,r2} = RWE_{r1,r2} \cdot ((Y - \text{delay}1) / \text{delay}1 \cdot 0,4 + (RKP_{r1,r2} - \text{delay}1) / \text{delay}1 \cdot (-0,2) + (EN_{r1,r2} - \text{delay}1) / \text{delay}1 \cdot 0,3 + (RZE_{r1,r2} - \text{delay}1) / \text{delay}1 \cdot 1) \quad (6.48)$$

mit: $\Delta RWE_{r1,r2}$: Veränderung der Reiseweite auf der Schiene, abhängig von den Regionen (Change Travel Distance RAil[RT,RT2])
 $RWE_{r1,r2}$: Reiseweite Schiene, abhängig von den Regionen (Travel Distances RAil[RT,RT2])
 Y: Volkseinkommen

$RKP_{r1,r2}$: Passagierreisekosten Schiene, abhängig von der Region (Travel Cost Passenger Rail Matrix[RT,RT2])
 $EN_{r1,r2}$: Schienennetz: Verbindungen zwischen den Regionen (Infrastructure Rail Link[RT,RT2])
 $RZE_{r1,r2}$: Reisezeit auf der Schiene, abhängig von den jeweiligen Regionen (Travel Time Rail Matrix[RT,RT2])
 ri : Gebietstyp 1 – 9

6.4.2 Personenfernverkehr

Im allgemeinen steht bei der Bestimmung des Personenverkehrs der traditionelle Vier-Stufen-Ansatz mit den Stufen Verkehrsaufkommen, Verkehrsverteilung, Modal-Split und der Routenwahl im Zentrum. Innerhalb des letzten Schrittes, der Bestimmung der Routenwahl, wird auch die Verkehrsleistung des Personenverkehrs bestimmt.

ESCOT basiert ebenfalls auf dem Vier-Stufen-Ansatz. Im Personenfernverkehrsmodell folgt nach der Bestimmung des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsverteilung der Modal Split und anschließend die Verkehrsleistung. Fügt man nun das Güterfernverkehrsleistungen hinzu, so lassen sich mit diesen Werten die Straßenbelastungswerte (DTV) berechnen.

Die im Straßenbelastungssektor berechneten Geschwindigkeiten und Zeiten benötigt man, um Reisezeiten, Reiseweiten und Widerstände zwischen zwei Regionen zu berechnen. Diese drei Werte führen zu Rückkopplungen, da sie wieder in die Anfangssektoren des Vier-Stufen-Ansatzes eingehen (siehe Abbildung 6-25).

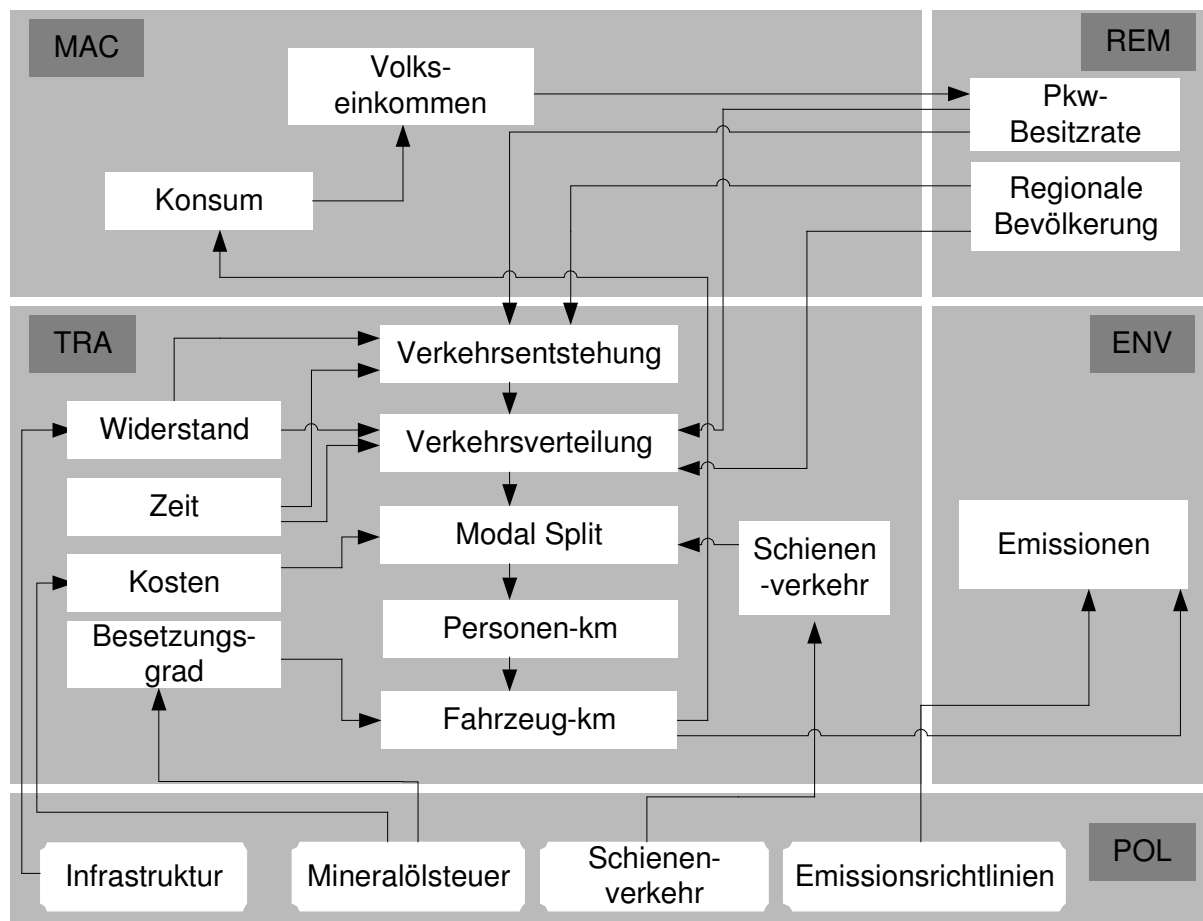


Abbildung 6-25: Personenfernverkehr

(a) Verkehrsaufkommen und Verteilung

Verkehrsaufkommen und -verteilung werden in einem dreistufigen Ansatz berechnet. Im ersten Schritt wird das Verkehrsaufkommen jeweils zwischen zwei Regionen bestimmt und anschließend die Summe über alle regionalen Verbindungen (9x9 regionale Verbindungen) gebildet. Das Verkehrsaufkommen wird über ein Gravitationsmodell bestimmt, welches als Variablen die Bevölkerung in der Quellregion, die Bevölkerung in der Zielregion, die Pkw-Besitzrate der Quellregion und eine Widerstandsfunktion, welche die Entfernung zwischen zwei Regionen berücksichtigt, verwendet.

Im zweiten Schritt wird das Verkehrsaufkommen auf die einzelnen Verbindungen verteilt. Dies geschieht über dasselbe Gravitationsmodell wie im ersten Schritt, nur dass jetzt als zusätzliche Variable die Reisezeit eingeführt wird. Mit Hilfe dieses zweiten Gravitationsmodells berechnet sich die prozentuale Verkehrsverteilung, die sich aus dem prozentualen Verkehrsaufkommen zum Verhältnis des gesamten Verkehrsaufkommen bestimmt.

Im dritten Schritt wird das aus dem ersten Schritt berechnete Verkehrsaufkommen mit der im zweiten Schritt berechneten prozentualen Verkehrsverteilung für jede Verbindung miteinander multipliziert. Es ergibt sich die Verkehrsverteilung, also das Verkehrsaufkommen für jede der 9x9 Verbindungen.

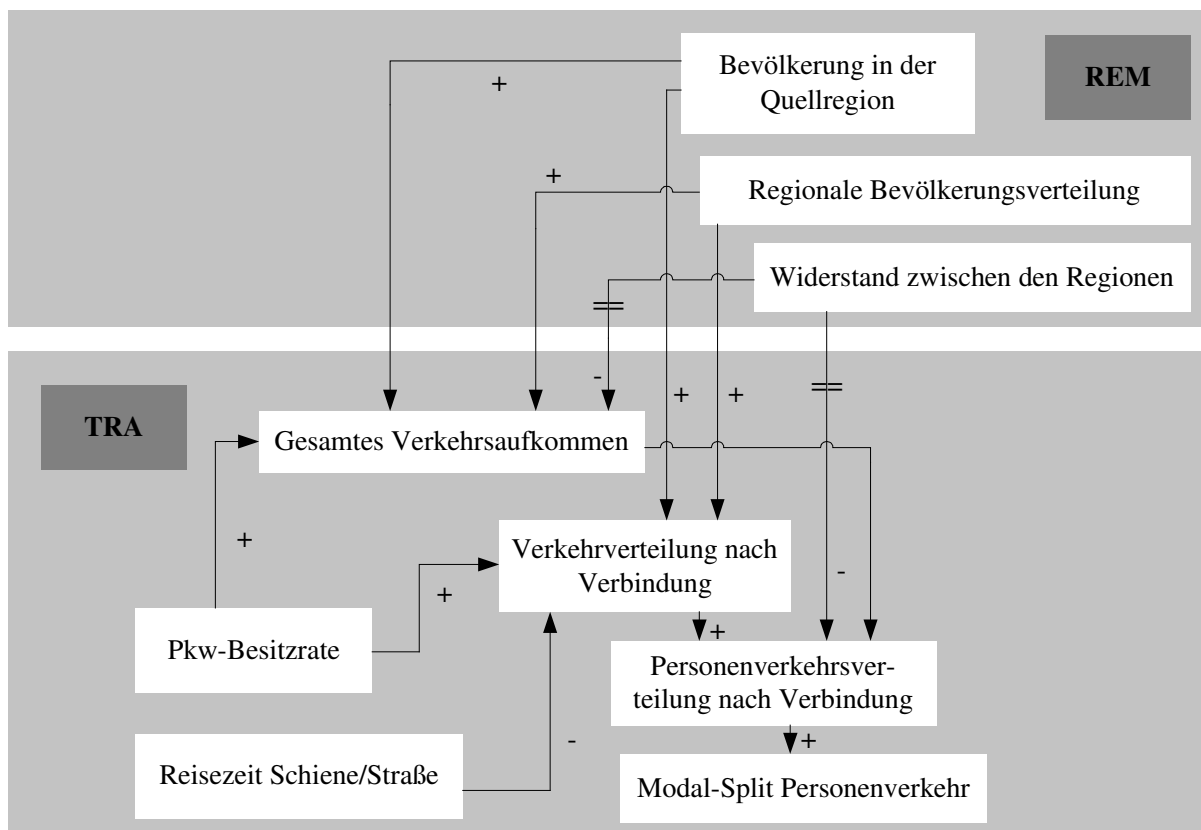


Abbildung 6-26: Verkehrsaufkommen

Zur Berechnung des Vier-Stufen-Ansatzes werden die folgenden Gleichungen verwendet:

Verkehrsaufkommen gesamt:

$$VF_{r_1,r_2} = \exp(\alpha) \cdot (RB_{r_1}^\beta) \cdot (RB_{r_2}^\gamma) \cdot (SRZ_{r_1,r_2}^\delta) \cdot KVV_{r_1,r_2} \cdot KPR_{r_1,r_2} \cdot KW_{r_1,r_2} \quad (6.49)$$

- mit: VF_{r_1,r_2} : Veränderung des Verkehrsaufkommens, von den jeweiligen Regionen abhängig (Change Pass Traffic Generation [RegionType,RegionType2])
 RB_{r_1} : Bevölkerung der Ausgangsregion (Regional Population[RegionType])
 RB_{r_2} : Bevölkerung der Zielregion (Regional Population[RegionType2])
 SRZ_{r_1,r_2} : Startwert der Reisezeit (Init Travel Time[RegionType, RegionType2])
 KVV_{r_1,r_2} : Korrekturfaktor Bevölkerungsentwicklung Corr Graph TVG[RegionType,RegionType2])
 KPR_{r_1,r_2} : Korrekturfaktor Pkw-Besitzrate (Corr Car Owner[RegionType,RegionType2])
 KW_{r_1,r_2} : Korrekturfaktor Widerstand (Corr Resistance[RegionType,RegionType2])
 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$: Regressionsparameter: $\alpha=-1,02369$; $\beta=0,97$; $\gamma=0,75$; $\delta=-2,3$
 ri : Gebietstyp 1 – 9

Für die Reisezeit zwischen den Regionen wird die minimale Reisezeit für die Verkehrsträger Straße und Schiene verwendet.

Reisezeit:

$$DR_{r_1,r_2} = \min \{ DRS_{r_1,r_2}, RZE_{r_1,r_2} \} \cdot KF \quad (6.50)$$

- mit: DR_{r_1,r_2} : beste, durchschnittliche Reisezeit, abhängig von den Regionen (Road Rail Average Travel Time[RegionType,RegionType2])
 DRS_{r_1,r_2} : Durchschnittliche Reisezeit Straße, abhängig von den Regionen (Average Travel Time[RT,RT2])
 RZE_{r_1,r_2} : Reisezeit Schiene (Travel Time Rail Matrix[RT,RT2])
 KF : Korrekturfaktor (Corr)

Für den Pkw-Besitzratenfaktor wird davon ausgegangen, dass der Pkw-Besitz der Bevölkerung aus der Quellregion zu einer automatischen Erhöhung der täglichen Fahrten um 6% führt.

Pkw-Besitzratenfaktor:

$$F_{r_1}[1000] = PBR_{r_1} \cdot FB + \max \{ 1000 - PBR_{r_1}, 0 \} \cdot FA \quad (6.51)$$

- mit: $F_{r_1}[1000]$: Fahrten pro 1000 Einwohner in dieser Region
 PBR_{r_1} : Pkw-Besitzrate der Region (Car Ownership Rate[RegionType])
 FB : Fahrten von Pkw-Besitzern pro Tag (Trip Car Owner per Day=1,06)
 FA : Pkw-Fahrten anderer (Trip Not Car Owner per Day=1,0)

Pkw-Besitzrate⁵³:

$$PBR_{r_1} = PBR_{r_1}[Init] \cdot ZM_{r_1} \cdot BM_{r_1} \cdot EM_{r_1} \cdot SKM_{r_1} \cdot BVM_{r_1} \cdot (1 - VLN) \quad (6.52)$$

- mit: PBR_{r_1} : Pkw-Besitzrate der Region (Car Ownership Rate[RegionType])
 ZM_{r_1} : Multiplikator für Zugangsmöglichkeiten (Accessibility Multiplier[RegionType])
 BM_{r_1} : Multiplikator für Ausstattung mit öffentlichen Behörden (Equip Pub Inst Multiplier[RegionType])
 EM_{r_1} : Einkommensmultiplikator (Income Multiplier[RegionType])
 SKM_{r_1} : Straßenkostenmultiplikator (Road Cost Multiplier[RegionType])
 BVM_{r_1} : Multiplikator der Bevölkerungsdichte (Settlement Density Multiplier[RegionType])
 VLN : mögliche Veränderung der Aufteilung der Landnutzung (Pot Change Share by Land Use)

⁵³ Siehe Regionalmodell

Verkehrsverteilung:

$$VVF_{r1,r2} = \exp(\alpha) \cdot (RB_{r1}^\beta) \cdot (RB_{r2}^\gamma) \cdot DR_{r1,r2}^\delta \cdot KVV_{r1,r2} \cdot KPR_{r1,r2} \quad (6.53)$$

mit: $VVF_{r1,r2}$: Veränderung der Verkehrsverteilung (Change Pass Traffic Distribution Factor[RegionType,RegionType2])
 RB_{r1} : Bevölkerung der Ausgangsregion (Regional Population[RegionType])
 RB_{r2} : Bevölkerung der Zielregion (Regional Population[RegionType2])
 $DR_{r1,r2}$: beste, durchschnittliche Reisezeit, abhängig von den Regionen (Road Rail Average Travel Time[RegionType,RegionType2])
 $KVV_{r1,r2}$: Korrekturfaktor Bevölkerungsentwicklung Corr Graph TVG[RegionType,RegionType2]
 $KPR_{r1,r2}$: Korrekturfaktor Pkw-Besitzrate (Corr Car Owner[RegionType,RegionType2])
 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$: Regressionsparameter: $\alpha=-1,02369$; $\beta=0,97$; $\gamma=0,75$; $\delta=-2,3$

Verkehrsaufkommen pro Region i:

$$PVV_{r1,r2} = GVA \cdot (VV_{r1,r2} / GVV) \quad (6.54)$$

mit: $PVV_{r1,r2}$: Verteilung des Personenverkehrs zwischen den Regionen (Traffic Distribution Passenger Matrix[RegionType,RegionType2])
 GVA : Globales Verkehrsaufkommen (Total Traffic Generation)
 $VV_{r1,r2}$: Verkehrsverteilung zwischen den Regionen (Traffic Distribution Factor[RegionType,RegionType2])
 GVV : Globale Verkehrsverteilung

(b) Modal-Split

Der Modal-Split Sektor bestimmt für die Verkehrsträger Straße, Schiene und Luft die Anzahl der Fahrten innerhalb jeder Verbindung.

Zentrale Bedeutung kommt dabei der Berechnung des Nutzens für jeden Verkehrsträger zu. Als Eingangsgrößen für die Nutzenfunktionen dienen in erster Linie Kosten und Zeiten. Für die Verkehrsträger Schiene und Luft werden zusätzliche Angebotsparameter wie Frequenz der Züge/Flüge pro Tag, Umsteigehäufigkeit und An-/Abreisezeit berücksichtigt.

Das bedeutet, dass Fahrten auf der Straße bei Kostenerhöhung auf die Schiene verlagert werden (oder umgekehrt). Nach Berechnung des Nutzens der Verkehrsträger erfolgt die Berechnung der jeweiligen Anteile. Bei Logit-Modellen ist hierbei von Bedeutung, dass die Nutzenveränderung eines Verkehrsträgers die Anteile der anderen jeweils gleichmäßig beeinflusst. Dieser Nachteil wird durch eine Segmentierung der Verkehrsträger zunächst in bodengebundenen Verkehr mit Straße und Schiene auf der einen und Luftverkehr auf der anderen Seite ausgeglichen. Nach Bestimmung des Modal-Split wird dieser mit der Anzahl der Fahrten jeder Verbindung multipliziert. Man erhält als Ergebnis jeweils die Anzahl der Fahrten auf einem Verkehrsträger.

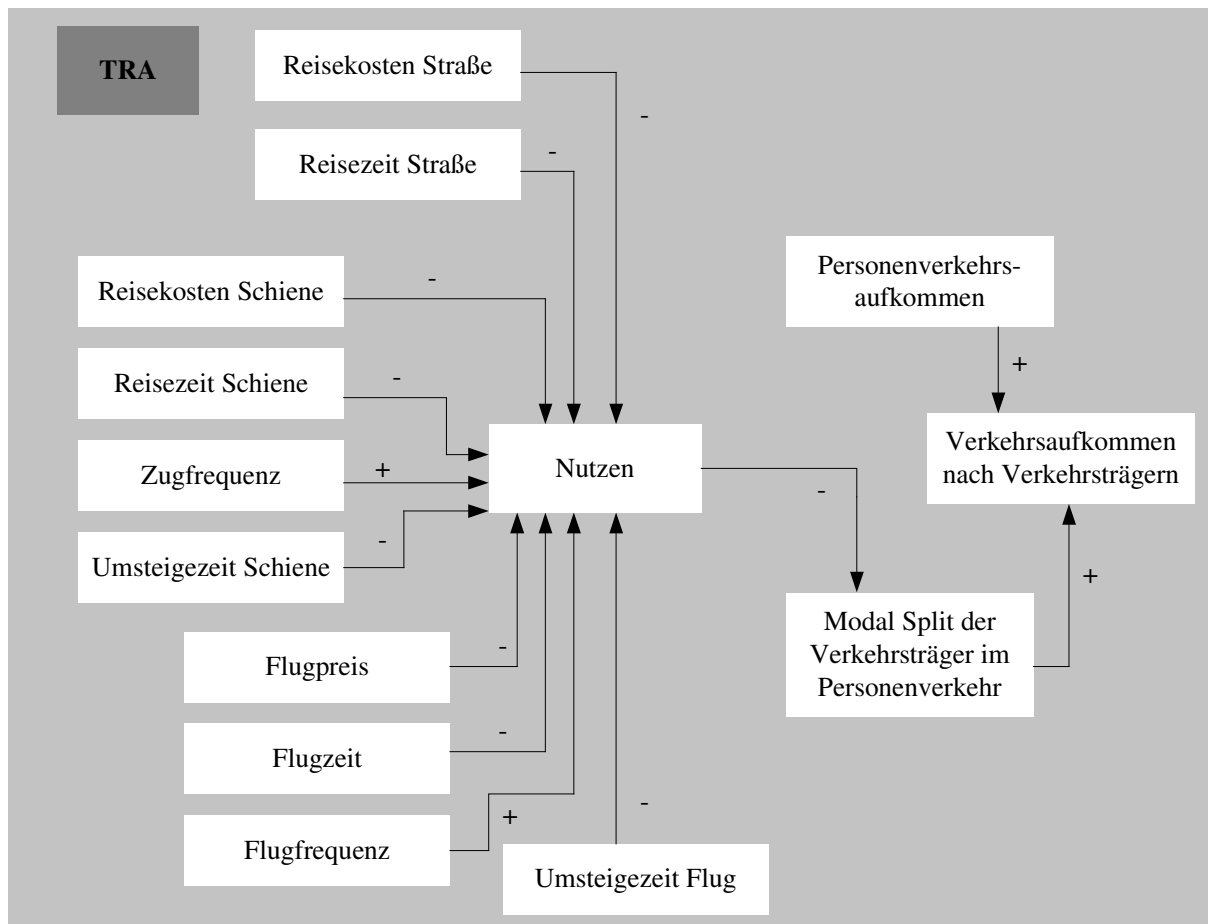


Abbildung 6-27: Modal Split

Die zentralen Gleichungen zur Bestimmung des Modal-Split lauten:

Verkehrsaufkommen differenziert nach Verkehrsträger und Region:

$$VAP_{va, r1, r2} = KVF_{va, r1, r2} \cdot VPV_{r1, r2} \quad (6.55)$$

mit: $VAP_{va, r1, r2}$: Personenverkehrsaufkommen, differenziert nach Verkehrsart (Straße, Schiene, Luft) und beteiligten Regionen (Traffic Trip Pass Matrix [PassMode, RegionType, RegionType2])

$KVF_{va, r1, r2}$: Korrektur der Verteilung des Personenverkehrsaufkommens durch Berücksichtigung der Flächennutzung, differenziert nach Verkehrsart (Straße, Schiene, Luft) und beteiligten Regionen (Share Pass Trip Corr by Land Use [PassMode, RegionType, RegionType2])

$VPV_{r1, r2}$: Verteilung des Personenverkehrsaufkommens zwischen den beteiligten Regionen (Traffic Distribution Passenger Matrix [RegionType, RegionType2])

r_i : Gebietstyp 1 – 9

va : Verkehrsart (Straße, Schiene, Luft)

Korrektur um Flächennutzung:

$$VVF_{r1, r2} = \min\{\max VVF_{r1, r2}, \text{potVVF}\} \quad (6.56)$$

mit: $VVF_{r1, r2}$: Verkehrsverteilungsveränderung durch Flächennutzung (Change Share by Land Use [RegionType, RegionType2])

$\max VVF_{r1, r2}$: maximale Verkehrsverteilungsveränderung durch Flächennutzung (Max Change Share by Land Use [RegionType, RegionType2])

potVVF : potentielle Verkehrsverteilungsveränderung durch Flächennutzung (Pot Change Share by Land Use) (falls $M10=1$: $\text{potVVF} = ((1986, 0) - (3000, 1))$, sonst: $\text{potVVF} = 0$)

Modal-Split des Straßenverkehrs:

$$AVS_{r1,r2} = (1 - AVL_{r1,r2}) \cdot \exp(NPS_{r1,r2}) / (\exp(NPS_{r1,r2}) + \exp(NPE_{r1,r2})) \quad (6.57)$$

- mit: $AVS_{r1,r2}$: Anteil des Straßenverkehrs am Verkehrsaufkommen im
 Personenverkehr (Share Pass Trip[ROad,RegionType,RegionType2])
 $AVL_{r1,r2}$: Anteil des Luftverkehrs am Verkehrsaufkommen im
 Personenverkehr (Share Air[RegionType,RegionType2])
 $NPS_{r1,r2}$: Nutzenmatrixelemente des Straßenpersonenverkehrs (Utility Pass
 Road Matrix[RegionType,RegionType2])
 $NPE_{r1,r2}$: Nutzenmatrixelemente des Schienenpersonenverkehrs (Utility Pass
 Rail Matrix [RegionType,RegionType2])
 ri: Gebietstyp 1 – 9

Modal-Split des Schienenverkehrs:

$$AVE_{r1,r2} = (1 - AVL_{r1,r2}) \cdot \exp(NPE_{r1,r2}) / (\exp(NPS_{r1,r2}) + \exp(NPE_{r1,r2})) \quad (6.58)$$

- mit: $AVE_{r1,r2}$: Anteil des Schienenverkehrs am Verkehrsaufkommen im
 Personenverkehr (Share Pass Trip[RAil,RegionType,RegionType2])
 $AVL_{r1,r2}$: Anteil des Luftverkehrs am Verkehrsaufkommen im
 Personenverkehr (Share Pass Trip[Air,RegionType,RegionType2])
 $NPS_{r1,r2}$: Nutzenmatrix des Straßenpersonenverkehrs (Utility Pass Road
 Matrix[RegionType,RegionType2])
 $NPE_{r1,r2}$: Nutzenmatrix des Schienenpersonenverkehrs (Utility Pass Rail
 Matrix [RegionType,RegionType2])
 ri: Gebietstyp 1 – 9

Modal-Split des Flugverkehrs:

$$AVL_{r1,r2} = 1 - AVE_{r1,r2} - AVS_{r1,r2} \quad (6.59)$$

- mit: $AVL_{r1,r2}$: Anteil des Luftverkehrs am Verkehrsaufkommen im
 Personenverkehr (Share Pass Trip[Air,RegionType,RegionType2])
 $AVE_{r1,r2}$: Anteil des Schienenverkehrs am Verkehrsaufkommen im
 Personenverkehr (Share Pass Trip[RAil,RegionType,RegionType2])
 $AVS_{r1,r2}$: Anteil des Straßenverkehrs am Verkehrsaufkommen im
 Personenverkehr (Share Pass Trip[ROad,RegionType,RegionType2])
 ri: Gebietstyp 1 – 9

Nutzen des Straßenverkehrs:

$$NPS_{r1,r2} = \alpha + \beta \cdot ((PRS_{r1,r2}^\gamma - 1) / \gamma) + \delta \cdot RZS_{r1,r2} \quad (6.60)$$

- mit: $NPS_{r1,r2}$: Nutzenmatrix des Straßenpersonenverkehrs (Utility Pass Road
 Matrix[RegionType,RegionType2])
 PRS : Reisekosten im Straßenpersonenverkehr (Travel Cost Passenger Road
 Matrix)
 $RZS_{r1,r2}$: Reisezeit Straße, abhängig von den jeweiligen Regionen (Travel
 Time Road Matrix[RT,RT2])
 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$: Regressionsparameter: $\alpha = -1,01$; $\beta = -0,48$; $\gamma = 0,519$; $\delta = -0,0012$
 ri: Gebietstyp 1 – 9

Nutzen des Schienenverkehrs:

$$NPE_{r1,r2} = \alpha + \beta \cdot \left(\frac{(PRE \wedge \gamma) - 1}{\gamma} \right) + \delta \cdot (RZE_{r1,r2} + \varepsilon \cdot \left(\frac{(FE_{r1,r2} \wedge \varphi) - 1}{\varphi} \right) + \lambda \cdot UE_{r1,r2} \quad (6.61)$$

- mit: NPE_{r1,r2}: Nutzenmatrix des Schienenpersonenverkehrs (Utility Pass Rail Matrix [RegionType,RegionType2])
 PRE: Fahrpreis Eisenbahn (Travel Cost Passenger Rail Matrix [RegionType,RegionType2])
 RZE_{r1,r2}: Fahrzeit, von den beteiligten Regionen abhängig (Travel Time Rail Matrix[RegionType,RegionType2])
 FE_{r1,r2}: Frequenz der Züge: (Frequency Matrix Rail [RegionType,RegionType2])
 UE_{r1,r2}: Anzahl der Umsteigevorgänge im Schienenverkehr (=0) (Transfer Pass Rail Matrix[RegionType,RegionType2])
 α, β, γ, δ, ε, φ, λ: Regressionsparameter: α=-2; β=-0,108; γ=0,55; δ=-0,0055; ε=0,0295; φ=0,6; λ=-0,4

Nutzen des Luftverkehrs:

$$NPL_{r1,r2} = \alpha + \beta \cdot \left(\frac{(PRL \wedge \gamma) - 1}{\gamma} \right) + \delta \cdot (RZL_{r1,r2} + \varepsilon \cdot \left(\frac{(FL_{r1,r2} \wedge \gamma) - 1}{\gamma} \right) + \varphi \cdot UL_{r1,r2} \quad (6.62)$$

- mit: NPL_{r1,r2}: Nutzenmatrix des Luftpersonenverkehrs (Utility Pass Air Matrix [RegionType,RegionType2])
 PRL: Flugpreis (Air Travel Price)
 RZL_{r1,r2}: Flugzeit, von den beteiligten Regionen abhängig (Travel Time Air Matrix[RegionType,RegionType2])
 FL_{r1,r2}: Frequenz der Flüge: 7 pro Tag (Frequency Matrix Air [RegionType,RegionType2])
 UL_{r1,r2}: Anzahl der Umsteigevorgänge im Luftverkehr (Transfer Pass Air Matrix[RegionType,RegionType2])
 α, β, γ, δ, ε, φ: Regressionsparameter: α=-3; β=-0,1; γ=0,519; δ=-0,012; ε=0,0295; φ=-0,203

Zur Bestimmung der Nutzen und des Modal-Splits müssen für die Bahn die Zugfrequenz zwischen den Regionstypen 1 bis 9, den Umsteigevorgängen, den An- und Abreisezeiten festgelegt werden. Die Erhöhung der Schieneninfrastruktur führt zu Zugfrequenzerhöhung und zu einer Senkung der Umsteigevorgänge für das EST-80%-Szenario.

Für den Flugverkehr werden die Reisezeiten und die Umsteigevorgänge als konstant angesehen, lediglich EST-80%-Szenario erhöhen sich die Flugpreise.

Tabelle 6-17: Werte zur Modal-Split-Berechnung

Variable	Szenario	Wert/Formel
Frequenz der Bahn	BAU	R1→R1: 24 (Züge pro Tag) R1-6→R2-6: 6-8 R7-9→R1-9: 1-4
	EST-80%	Ab 2000 kontinuierliche Erhöhung um 84 % bis 2030
Umsteigevorgänge	BAU	R1-6→R1-6: 0-1 R7-9→R1-9: 1-3
	EST-80%	Ab 2000 kontinuierliche Senkung um 50% bis 2030
Minimale An- und Abreisezeiten Bahn	BAU	(5,15,20,25,20,25,30,35,40 Minuten)
	EST-80%	(5,15,20,25,20,25,30,35,40 Minuten)
Flugpreis Inland	BAU	1986: 229 €; R1→R1: 143 € 2000: 229 €; R1→R1: 143 € 2030: 229 €; R1→R1: 143 €
	EST-80%	2000: Versechsfachung bis 2030
Reisezeit Flug	Alle	R1→R1: 180 min R1→R2: 240 min sonst 336 min
	EST-80%	R1→R1: 180 min R1→R2: 240 min sonst 336 min
Umsteigevorgänge Flug	Alle	0
Frequenz Flug	Alle	7 pro Tag

Die Logit-Modelle lassen sich in Punktelastizitäten umrechnen. So erhält man für jede der 9x9 Verbindungen und jeden Zeitpunkt unterschiedliche Punktelastizitäten. Tabelle 6-18 zeigt daher nur für ausgewählte Verbindungen Intervalle der Punktelastizitäten an. Die tatsächlichen Punktelastizitäten sind abhängig von Transportkosten für Straße, Schiene und Luft.

Tabelle 6-18: Punktelastizitäten

Punktelastizitäten (alle negativ) [-]	Straße		Schiene		Luft	
	1986	2030	1986	2030	1986	2030
R1→R1	0,44	0,36-1,02	0,55	0,18-0,58	2,2	2,2-5,7
R1→R5	0,26	0,21-0,62	0,34	0,12-0,35	2,2	2,2-5,7
R1→R2-4, 6-9	0,08-0,13	0,05-0,44	0,29-0,60	0,11-0,61	2,2	2,2-5,7
R2-9→R1-9	0,01-0,26	0,01-0,68	0,29-0,94	0,12-0,94	2,2	2,2-5,7

Allgemein sind die Punktelastizitäten für die Straße in ländlichen Gebieten zum Teil deutlich niedriger als in städtischen Gebieten. Im EST-80% steigen die Punktelastizitäten infolge der geringer werdenden prozentualen Fahrtenanteile der Straße und Luft jeweils an. Der umgekehrte Effekt ist für die Schiene zu beobachten, bei der durch den steigenden Modal-Split die Punktelastizitäten deutlich fallen.

(c) Verkehrsleistung

Die Verkehrsleistung für die einzelnen Verbindungen berechnet sich aus der Anzahl der Fahrten jedes Verkehrsträgers multipliziert mit der durchschnittlichen Reiseweite jeder Verbindung.

Nach Bestimmung der Personenkilometer für jeden Verkehrsträger lassen sich die Fahrzeugkilometer über die Besetzungsgrade der einzelnen Verkehrsträger errechnen.

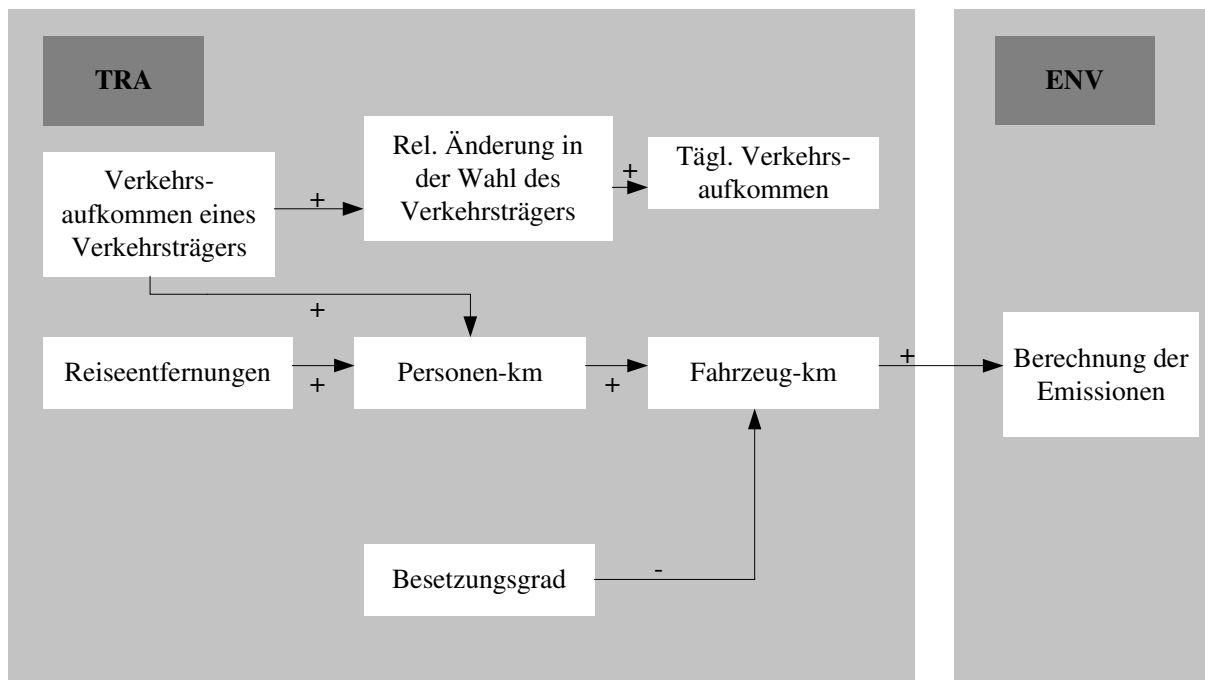


Abbildung 6-28: Verkehrsleistung Straße und Schiene

Der internationale Flugverkehr wird in dem Modell gesondert behandelt, da die anderen betrachteten Verkehre Inlandsverkehre betreffen. Vereinfacht wurde für die internationale Flugverkehrsnachfrage eine steigende Entwicklung angenommen, die zu dem BAU-Szenario führt. Das EST-80%-Szenario wird über Preissteigerungen und eine Elastizität zwischen Preis und Anzahl der Personenflüge abgebildet. Multipliziert man die gewonnene Anzahl an Personenflügen mit den durchschnittlichen Distanzen, erhält man die Personenkilometer im internationalen Flugverkehr.

Die Fahrzeugkilometer für den nationalen und den internationalen Flugverkehr errechnen sich aus den jeweiligen Personenkilometern multipliziert mit den unterschiedlichen Besetzungsgraden.

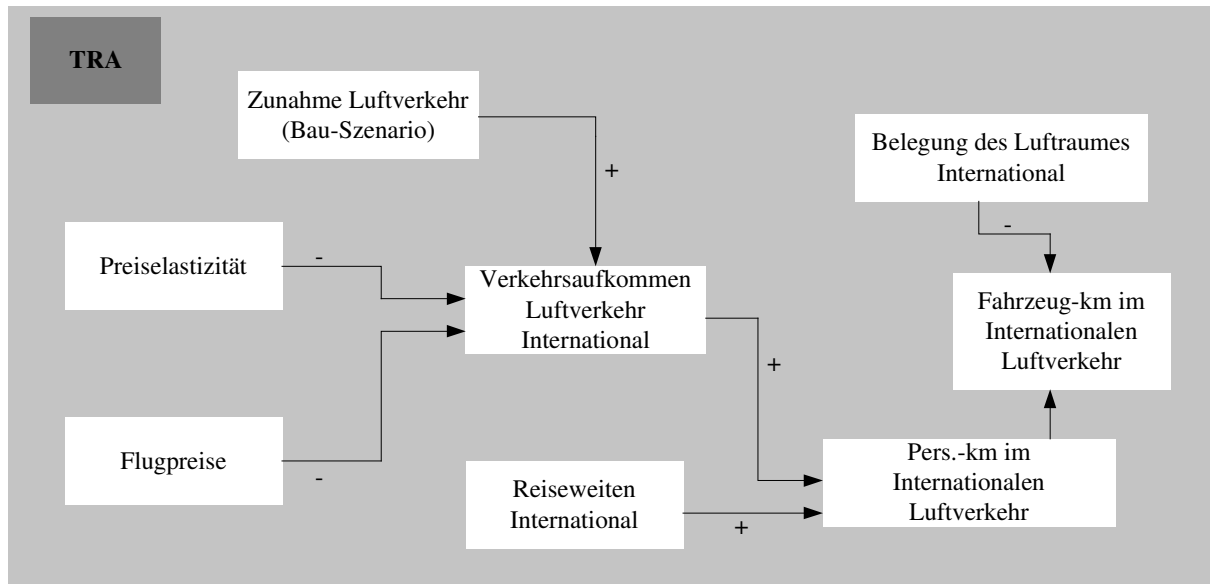


Abbildung 6-29: Luftverkehr

Die zentralen Gleichungen für Schiene, Straße und nationalen Flugverkehr lauten:

Personenkilometer gesamt:

$$GPK_{vm} = \sum \{ RPK_{vm, ri} \} \quad (6.63)$$

mit: GPK_{vm} : Personenkilometer gesamt nach Verkehrsmittel (Pkm Mode[PassMode])

$RPK_{vm, ri}$: Personenkilometer regional nach Verkehrsmittel und Region (Pkm Region Mode[PassMode, RegionType])

vm : Verkehrsmittel

Fahrzeugkilometer:

$$FK_{vm} = GPK_{vm} / BG_{vm} \quad (6.64)$$

mit: FK_{vm} : Fahrzeugkilometer nach Verkehrsmittel (Vkm Mode[PassMode])

GPK_{vm} : Personenkilometer gesamt nach Verkehrsmittel (Pkm Mode[PassMode])

BG_{vm} : Besetzungsgrad nach Verkehrsmittel

vm : Verkehrsmittel

Tabelle 6-19: Werte zur Berechnung der Verkehrsleistung mit nationalem Flugverkehr

Variable	Szenario	Wert/Formel		
Besetzungsgrad	BAU	1986: 1,52;	2000: 1,45;	2030: 1,3
Straße [Pers./Fzg]	EST-80%	1986: 1,52;	2000: 1,45;	2030: 1,9
Besetzungsgrad	BAU	1986: 140;	2000: 135;	2030: 126,6
Schiene [Pers./Zug]	EST-80%	1986: 140;	2000: 135;	2030: 168,8
Besetzungsgrad Luftverkehr national	BAU	1986: 74;	2000: 80;	2030: 90
[Pers./Flug]	EST-80%	1986: 74;	2000: 80;	2030: 120

Im internationalen Flugverkehr gelten:

Personenkilometer im internationalen Luftverkehr:

$$PKL_{int} = DEL_{int} \cdot (GL_{int} + SL_{int}) \quad (6.65)$$

mit: PKL_{int} : Personenkilometer im internationalen Luftverkehr (PkmAirInterNational)

DEL_{int} : Durchschnittliche Weite eines internationalen Fluges (1986 [Init]: 3200) (Average Distance Air Inter National(Time))

GL_{int}: Anzahl der internationalen Flugreisen zu Geschäftszwecken (Total Trip Pass Air Inter Business)
 SL_{int}: Anzahl der sonstigen internationalen Flugreisen (Total Trip Pass Air Inter Leisure)
 int: Internationaler Bezug

Fahrzeugkilometer im internationalen Luftverkehr:

$$FKL_{int} = PKL_{int} / BGL_{int} \quad (6.66)$$

mit. FKL_{int}: Fahrzeugkilometer im internationalen Luftverkehr (Vkm Air Inter National)
 PKL_{int}: Personenkilometer im internationalen Luftverkehr (Pkm Air Inter National)
 BGL_{int}: Besetzungsgrad im internationalen Luftverkehr
 int: Internationaler Bezug

Im EST-80%-Szenario führen die steigenden Flugpreise über Elastizitäten zu einer Änderung der Modalwahl hin zu Straße und Schiene. Diese Änderungen werden über Elastizitäten berechnet, wobei zwischen Geschäftsreisen und Freizeitverkehr unterschieden wird. Der Freizeitverkehr hat mit -1,7 eine höhere Elastizität als der Geschäftsreiseverkehr mit -0,4. Die erhöhten Preise wirken sich auch auf die Reiseweiten und den Besetzungsgrad der Flugzeuge aus.

Tabelle 6-20: Werte zur Berechnung der Verkehrsleistung international

Variable	Szenario	Wert/Formel
Preiselastizität Geschäftsverkehr [-]	Alle	-0,4
Preiselastizität Freizeitverkehr [-]	Alle	-1,7
Flugpreis [€]	Alle	574,- €
Besetzungsgrad Luft- verkehr international [Pers./Flug]	BAU	1986: 110; 2000: 121; 2030: 133
	EST-80%	1986: 110; 2000: 121; 2030: 178
Reiseweiten [km]	Alle	1986: 1730; 1990: 1730; 2030: 1420
Nachfrageanstieg Verkehrsaufkommen Geschäftsverkehr [-]	Alle	1986: 1,7%; 2000: 1,7%; 2015: 2,0%; 2030: 2,0%
Nachfrageanstieg Verkehrsaufkommen Freizeitverkehr [-]	Alle	1986: 15,0%; 2000: 7,0%; 2015: 5,0%; 2030: 3,5%

Die Besetzungsgrade zeigen eine ansteigende Tendenz, die sich in den umweltfreundlichen Szenarien durch die höheren Preise noch verstärkt. Bei den Reiseweiten zeichnet sich eine gegenläufige Entwicklung ab. Der vermehrte Einsatz des Flugzeuges auch auf den geringeren Distanzen führt zu dieser Absenkung der durchschnittlichen Reiseweiten.

6.4.3 Personennahverkehr

Im Personennahverkehr unterscheidet sich das EST-80%-Szenario vom BAU-Szenario durch höhere Verkehrsleistung des öffentlichen Nahverkehrs und durch eine erhöhte Anzahl von Personenkilometern, die von Fußgängern und Radfahrern zurückgelegt werden, während der motorisierte Individualverkehr deutlich zurückgeht.

Zur Erreichung dieses Szenarios sind eine Reihe von Maßnahmen nötig. Den größten Einfluss übt dabei die Mineralölsteuer aus. Daneben wirken auch politische Maßnahmen zur flächendeckenden Verkehrsberuhigung, Verbesserungen des ÖPNVs und Änderung in der Flächennutzung (wie z. B. verkehrsarme Siedlungsstrukturen).

Tabelle 6-21: Maßnahmen zur Senkung des Verkehrsaufkommens

Maßnahme	Wirkungszeitraum [Jahr]	Verkehrsreduktion bez. auf Straßenverkehr [%]	Anteil an der Gesamtwirkung [%] um EST-80% zu erreichen
Mineralölsteuer	2000 - 2030	50	70,4
Flächendeckende Verkehrsberuhigung	2000 - 2019	8	11,3
Verb. ÖPNV	2000 - 2019	3	4,2
Änderung der Flächennutzung	2020 - 2030	10	14,1
Gesamt:		71%	100,0

Die Entwicklung in der Verkehrsleistung der in Städten möglichen Verkehrsarten ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 6-22: Entwicklung der Verkehrsleistung in den Städten

Verkehrsmittel bzw. -art	Szenario	Verkehrsleistung [Mrd. Pkm]				
		1990	2000	2010	2020	2030
Zu Fuß gehen	BAU	29,75	28,27	26,80	25,32	23,85
	EST-80%	29,75	28,27	33,26	38,13	44,42
Fahrrad	BAU	23,66	23,06	22,46	21,86	21,26
	EST-80%	23,66	23,06	26,89	30,64	35,37
Motorrad	BAU	5,24	5,84	6,44	7,04	7,64
	EST-80%	5,24	5,84	5,94	6,05	6,05
Pkw	BAU	231,24	230,81	230,39	229,96	229,54
	EST-80%	231,24	230,81	183,55	137,17	80,41
Überlandbus	BAU	5,82	6,64	7,47	8,30	9,12
	EST-80%	5,82	6,64	7,13	7,61	8,03
Bus	BAU	18,42	19,27	20,12	20,97	21,82
	EST-80%	18,42	19,27	41,47	63,28	89,82
Straßenbahn	BAU	13,07	12,34	11,62	10,89	10,17
	EST-80%	13,07	12,34	23,63	34,71	48,44
Zusammen	BAU	327,20	326,25	325,30	324,35	323,40
	EST-80%	327,20	326,25	321,89	317,60	312,56

Die Kosten für den ÖPNV werden über die Veränderungen im Personenfernverkehr für die Schiene geschätzt. Da dort nun 40% niedrigere Bahnpreise anfallen, wird auch hier von niedrigeren Bus- und Straßenbahnpreisen ausgegangen.

6.4.4 Güterfernverkehr

Der Güterverkehr ist ebenso wie der Personenverkehr in Nah- und Fernverkehr aufgeteilt. Für den Fernverkehr werden die Verkehrsträger Straße, Schiene und Binnenwasserstraßen betrachtet. Bei der Berechnung des Güteraufkommens im Güterfernverkehr wurden die Güter in 12 Gütergruppen entsprechend der Gliederung des DIW unterteilt⁵⁴:

- Landwirtschaftliche Erzeugnisse
- Nahrungs- und Futtermittel
- Kohle
- Rohöl
- Mineralölprodukte
- Eisenerze
- Nichteisenerze, Schrott
- Eisen, Stahl, Nichteisenmetalle
- Steine, Erden
- Chemische Erzeugnisse, Düngemittel
- Investitionsgüter
- Verbrauchsgüter

Die wichtigsten Abschnitte bei den Berechnungen im Güterverkehr sind:

- Berechnung des Güteraufkommens
- Berechnung des Modal Split
- Bestimmung der Verkehrsleistung

Die Entwicklung des Güterfernverkehrs orientiert sich an der DIW-Prognose, die Trends im Güteraufkommen bis zum Jahr 2010 bestimmt. In ESCOT sind die Entwicklungen nicht extern vorgegeben, sondern an die Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts gekoppelt.

$$\Delta FV_g = co_g \cdot \Delta GDP \quad (6.67)$$

mit: ΔFV_g : Güteraufkommen pro Gütergruppe (Freight Volume)
 co_g : Elastizität für die jeweilige Gütergruppe (Corr Gross Factor)
 ΔGDP : Bruttoinlandsprodukt (Gross Domestic Product)
 g : Gütergruppe

Das Güteraufkommen pro Gütergruppe wird durch Faktoren regionalisiert, die die gegenwärtige Güterverteilung zwischen den Regionen darstellen. Man nimmt an, dass sich die Struktur innerhalb des Güterfernverkehrs nicht signifikant ändern wird.

$$FVR_{g,r} = SRG_{g,r} \cdot FV_g \quad (6.68)$$

mit: $FVR_{g,r}$: Regionales Güteraufkommen pro Gütergruppe (Freight Volume Regional)
 $SRG_{g,r}$: prozentualer Anteil einer Gütergruppe in einer Region (Share Regional Goods)
 FV_g : Gesamtes Güteraufkommen pro Gütergruppe (Freight Volume)
 g : Gütergruppe

Die Schifffahrt wird nicht in die Modal-Split-Berechnung einbezogen und von den anderen Verkehrsträgern getrennt behandelt. Für die Binnenschifffahrt wird angenommen, dass die Entwicklung im Güterverkehr in erster Linie von Investitionen in Wasserwege abhängt. Daher wird das Güteraufkommen der Binnenschifffahrt von dem vorher bestimmten Güteraufkommen subtrahiert.

⁵⁴ vgl. Umweltbundesamt (1994), S. 143

$$\text{RRFV}_{g,r} = \text{FVR}_{g,r} - \text{FS}_{g,r} \quad (6.69)$$

mit: $\text{RRFV}_{g,r}$: Güteraufkommen Straße und Schiene nach Gütergruppe und Region (Rail and Road Volume)
 $\text{FVR}_{g,r}$: Regionales Güteraufkommen pro Gütergruppe (Freight Volume Regional)
 $\text{FS}_{g,r}$: Güteraufkommen Binnenschifffahrt nach Gütergruppe und Region (Freight Ship Regional)
 g: Gütergruppe

Der zweite Abschnitt im Güterverkehrsmodell umfasst die Bestimmung des Modal Split, der nur die Verkehrsträger Straße und Schiene miteinbezieht. Seine Berechnung geht von der gegenwärtigen Aufteilung aus, die sich in Abhängigkeit von Kosten, Zeiten und Kapazitäten verändert. Dabei wird zunächst eine mögliche Anteilsverschiebung von Straße und Schiene bestimmt. Diese berechnet sich aus der Veränderung von Kosten und Zeiten, die mit einer gütergruppenspezifischen Elastizität multipliziert werden. Als Eingangsdaten werden Indikatoren für Zeiten und Kosten aus dem Kosten- und Geschwindigkeitssektor verwendet:

$$\Delta\text{CPSFR} = \text{ROP} \cdot e_g - \text{RAP} \cdot e_g - 1,2 \cdot e_g \cdot \text{ROT} + 1,5 \cdot e_g \cdot \text{RAT} + \text{DP} \quad (6.70)$$

mit: ΔCPSFR : Potentielle Anteilsverschiebung von der Straße zur Schiene (Change Pot Share Freight Road)
 ROP: Preisindikator Straßenverkehr (Road Price Indicator)
 ROT: Zeitindikator Straßenverkehr (Road Time Indicator)
 RAP: Preisindikator Schienenverkehr (Rail Price Indicator)
 RAT: Zeitindikator Schienenverkehr (Rail Time Indicator)
 DP: Überhang aus vorangegangenen Jahren (Elasticity Cost Road Rail)
 e_g : Elastizität nach Gütergruppe (-0,16; -0,38; -0,03; 0; -0,02; 0; -0,045; -0,018; -0,017; -0,3; -0,79; -0,36)
 g: Gütergruppe

Weiterhin wird aufgrund von Kapazitätsengpässen bei der Bahn eine Obergrenze eingeführt, um die sich Anteile zwischen Straße und Schiene maximal verschieben können. Im BAU-Szenario beträgt der Wert 1,5 %, im EST-Szenario wird eine Obergrenze zwischen 8 und 10% in Abhängigkeit des Infrastrukturausbaus der Bahn angenommen. Überschreitet nun die potentielle Veränderung des Modal Split diese Obergrenze, so wird als Veränderung nur der Wert der Obergrenze weitergegeben. Der resultierende Überhang wird in einer Zwischenvariable gespeichert und in den Folgejahren bei der Bestimmung des Modal Split berücksichtigt. Die Begründung hierfür ist darin zu sehen, dass erst nach Ausbau der Schieneninfrastruktur die Bahn den Verkehr von der Straße aufnehmen kann.

Gleichzeitig wird angenommen, dass ein bestimmter Anteil des Güterverkehrs affin zu einem der beiden Verkehrsträger ist. Dies führt dazu, dass Änderungen im Modal Split gedämpft werden, sobald der Modal Split für Straße oder Schiene unter einen bestimmten Wert fällt. Durch diese Dämpfung wird ein logistischer Kurvenverlauf nachgebildet. Als weitere Einflussgröße wird ein Grundtrend, der sich in der Vergangenheit abzeichnet, zusätzlich hinterlegt. Dieser Grundtrend führt zu einer Güterverlagerung von der Schiene auf die Straße.

Für die EST-Szenarien wird noch ein zusätzlicher Faktor eingeführt, der die Wirkung der Maßnahmen zur Förderung der regionalen Wirtschaftsstruktur und der Veränderung der Flächennutzung abbildet. Beide Maßnahmenblöcke führen zu einer Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene.

Insgesamt ergibt sich für den Modal Split folgende Gleichung:

$$\Delta SFR_g = LSF(SFR_g) \cdot CFR_g + (ISFR - CFLURE) \cdot SFR_g \quad (6.71)$$

- mit: ΔSFR_g : Änderung des Modal Split (Change Share Freight Road)
 SFR_g : Modal Split (Share Freight Road)
 LSF : Dämpfung des Modal Split (Change Share Road $\in [0;1]$)
 CFR_g : Güterverlagerung (Change Freight Road)
 $ISFR$: Güterverlagerung nach aktuellem Trend (Increasing Share Freight Road = 0,011)
 $CFLURE$: Güterverlagerung durch Flächennutzung und Förderung der regionalen Wirtschaftsstruktur (Change Freight by Land Use and Regio Eco = 0,04)
 g : Gütergruppe

Zur Berechnung des regionalen Verkehrsaufkommens pro Verkehrsträger wird schließlich das gesamte Verkehrsaufkommen für Straße und Schiene mit dem Modal Split pro Gütergruppe multipliziert.

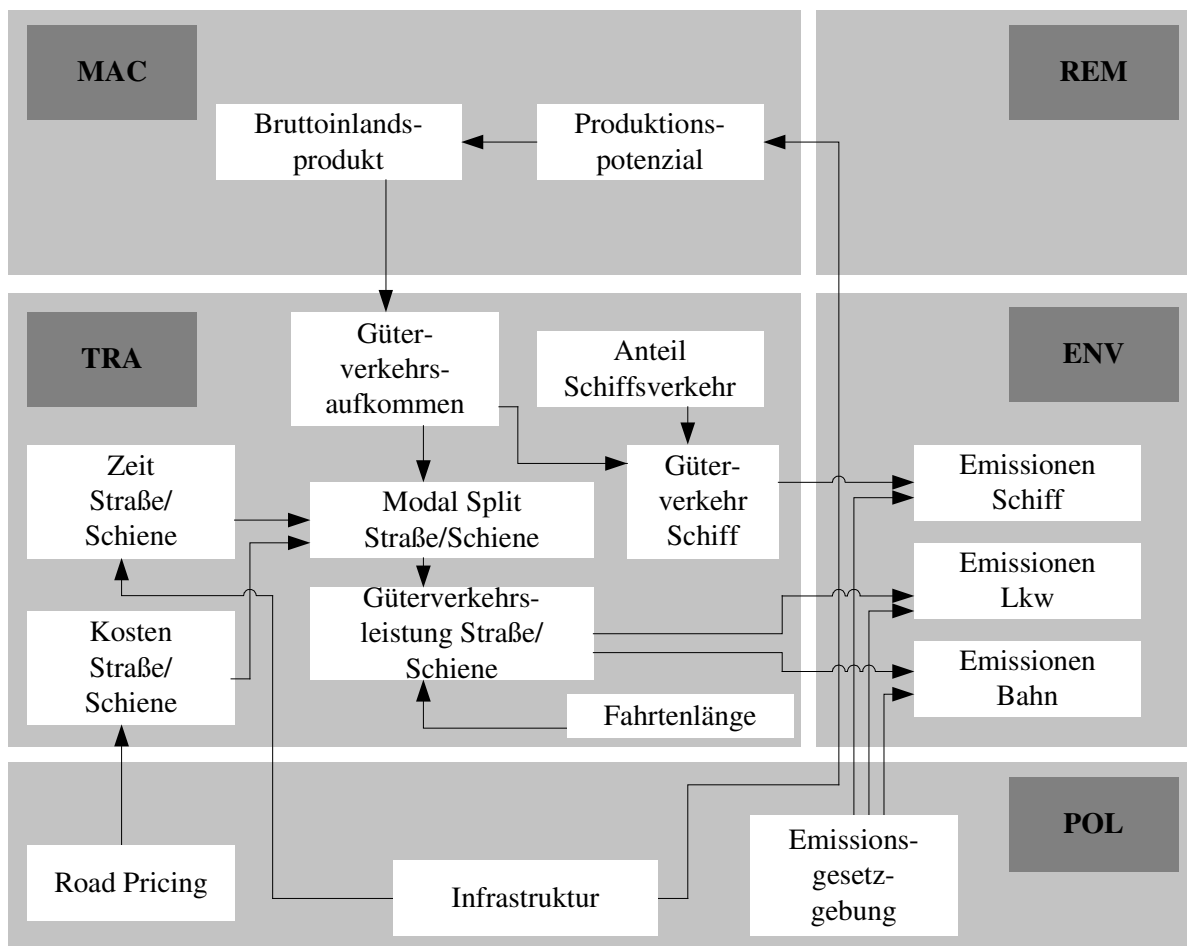


Abbildung 6-30: Güterfernverkehr

Um die Verkehrsleistung zu erhalten, muss das regionale, verkehrsträgerbezogene Gütergruppenaufkommen mit der durchschnittlichen Transportweite multipliziert werden. Die Transportweite für Straße und Schiene wird im System für jede Gütergruppe bestimmt⁵⁵. Die Veränderung der Transportweiten folgt der Entwicklung, die sich aus den aktuellen Trends ableiten lässt. Gleichzeitig wirken sich über Elastizitäten sich verändernde Transportpreise der Verkehrsträger aus.

⁵⁵ vgl. DIW (2002), S. 239ff

$$\Delta TW_g = ITRO \cdot (1 - ep \cdot RP) \cdot TW_g \quad (6.72)$$

mit: ΔTW_g : Änderung der Transportweite (Trip Length Road)
 ITRO: Anstieg der Transportweite (Increasing Trip Length Road = 0,0125;
 Increasing Trip Length Rail = 0,01)
 RP: Indikator für die Güterverkehrspreise auf der Straße bzw. Schiene (Road
 Price Indicator; Rail Price Indicator)
 ep: Elastizität der Transportweite in Abhängigkeit der Güterverkehrspreise
 (0,03)
 g: Gütergruppe

Im letzten Schritt des Güterverkehrsmodells für Straße und Schiene werden die Transportweiten mit den regionalen, verkehrsträgerbezogenen Güterverkehrsaufkommen multipliziert, um die regionale Verkehrsleistung zu erhalten:

$$FRTKM_{g,r} = RRFV_{g,r} \cdot TW_g \quad (6.73)$$

mit: $FRTKM_{g,r}$: Güterverkehrsleistung nach Regionen und Gütergruppen
 (Freight Road Tkm; Freight Rail Tkm)
 $RRFV_{g,r}$: Güteraufkommen Straße und Schiene nach Regionen und
 Gütergruppen (Rail and Road Volume)
 TW_g : Transportweite (Trip Length Road = 276; 258; 261; 163; 163; 226;
 226; 315; 196; 280; 315; 315. Trip Length Rail = 258; 353; 112; 177;
 177; 143; 143; 167; 146; 296; 409; 409)
 g: Gütergruppe

6.4.5 Güternahverkehr

Beim Güternahverkehr unterscheidet sich das EST-80%-Szenario vom BAU-Szenario durch eine niedrigere Verkehrsleistung des Lkw-Verkehrs. Hier kommen neben der Anhebung der Mineralölsteuer und der Änderung der Flächennutzung Maßnahmen zur Veränderung der regionalen Wirtschaftsstruktur zum Tragen.

Tabelle 6-23: Maßnahmen zur Senkung der Verkehrsleistung des Lkw-Güternahverkehrs

Maßnahme	Wirkungszeitraum [Jahr]	Reduktion Güter- verkehrsleistung [%]	Anteil an der Gesamtwirkung [%] um EST-80% zu erreichen
Mineralölsteuer	2000 – 2030	25	55,6
Änderung der Flächennutzung	2020 – 2030	15	33,3
Veränderung der regionalen Wirtschaftsstruktur	2000 – 2030	5	11,1
Gesamt:	2000 - 2030	45	100,0

Die Entwicklung der Güterverkehrsleistung in den Städten ist in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 6-24: Entwicklung der Güterverkehrsleistung in den Städten

Verkehrsleistung [Mrd. Tkm]	Szenario	1990	2000	2010	2020	2030
Landwirtschaft	BAU	2.022	2.469	2.915	3.362	3.808
	EST-80%	2.022	2.469	2.181	1.894	873
Nahrungsmittel	BAU	3.862	4.714	5.567	6.420	7.272
	EST-80%	3.862	4.714	4.166	3.617	1.667
Kohle	BAU	1.114	1.360	1.606	1.851	2.097
	EST-80%	1.114	1.360	1.201	1.043	481
Rohöl	BAU	17	21	25	29	33
	EST-80%	17	21	19	16	7
Mineralölprodukte	BAU	2.703	3.300	3.897	4.494	5.090
	EST-80%	2.703	3.300	2.916	2.532	1.167
Stahle, Eisen	BAU	2	3	4	4	5
	EST-80%	2	3	3	2	1
Eisenmetalle	BAU	327	399	471	543	615
	EST-80%	327	399	353	306	141
Metallprod. Schrott	BAU	990	1.208	1.427	1.646	1.864
	EST-80%	90	1.208	1.068	928	428
Baumaterial	BAU	30.170	36.830	43.490	50.150	56.810
	EST-80%	30.170	36.830	32.540	28.250	13.020
Chemie	BAU	4.624	5.645	6.666	7.687	8.708
	EST-80%	4.624	5.645	4.988	4.331	1.996
Investitionsgüter	BAU	933	1.139	1.345	1.551	1.757
	EST-80%	933	1.139	1.006	874	403
Verbrauchsgüter	BAU	3.738	4.563	5.389	6.214	7.039
	EST-80%	3.738	4.563	4.032	3.501	1.614
Zusammen	BAU	50.500	61.650	72.800	83.950	95.100
	EST-80%	50.500	61.650	54.480	47.300	21.800

6.5 Regionalmodell

6.5.1 Räumliche Abbildung im Regionalmodell

Ein wichtiger Faktor für die regionale Betrachtung liegt in der räumlichen Abbildung im Modell. Hierfür wird Deutschland zunächst in die folgenden drei Regionstypen unterteilt:

Tabelle 6-25: Siedlungsstrukturelle Regionstypen⁵⁶

Regions- typ	Bezeichnung	Kriterium
I	Regionen mit großen Verdichtungsräumen	Mindestens ein Oberzentrum über 300000 Einwohner und/oder Bevölkerungsdichte über 300 Einwohner/qkm
II	Regionen mit großen Verdichtungsansätzen	Ein Oberzentrum über 100000 Einwohner und/oder Bevölkerungsdichte über 150 Einwohner/qkm
III	Ländlich geprägte Regionen	Keine Kernstadt über 100000 Einwohner Verdichtungsraumnähere Lage und/oder Bevölkerungsdichte über 100 Einwohner/qkm oder Bevölkerungsdichte unter 100 Einwohner/qkm

Diese drei Regionstypen werden anschließend weiter aufgeteilt, so dass sich am Ende 9 Gebietstypen ergeben. Alle Kreise und kreisfreie Städte in Deutschland lassen sich einem dieser Gebietstypen zuordnen (Tabelle 6-26):

Tabelle 6-26: Siedlungsstrukturelle Gebietstypen⁵⁷

Regions- typ	Gebiets- typ	Bezeichnung	Beschreibung	Referenz- kreis	An- zahl
I	R1	Kernstädte	Kernstädte über 100.000 Einwohner	Stuttgart	47
I	R2	Hochverdichtete Kreise	Bevölkerungsdichte über 300 Einw./qkm Kernstädte unter 100000 Einwohner	Saarlouis	53
I	R3	Verdichtete Kreise	Bevölkerungsdichte zwischen 150 und 300 Einw./qkm	Dachau	44
I	R4	Ländliche Kreise	Bevölkerungsdichte unter 150 Einw./qkm	Nienburg	41
II	R5	Kernstädte	Kernstädte über 100000 Einwohner	Freiburg	28
II	R6	Verdichtete Kreise	Bevölkerungsdichte zwischen 150 und 300 Einw./qkm	Friesland	95
II	R7	Verdichtete und ländliche Kreise	Bevölkerungsdichte über 150 Einw./qkm Kernstädte unter 100000 Einwohner und umliegende Kreise oder umliegende Kreise von Kernstädten mit Bevölkerungsdichten von zusammen mindestens 150 Einw./qkm	Schwalm-Eder	74
III	R8	Verdichtete Kreise	Bevölkerungsdichte über 150 Einw./qkm Städte und umliegende Kreise mit zusammen Bevölkerungsdichte über 150 Einw./qkm Städte über 50000 Einwohner und umliegende Kreise Kreise mit einer Gemeinde über 50000 Einwohner	Coburg	64
III	R9	Ländliche Kreise	Bevölkerungsdichte unter 150 Einw./qkm	Kulmbach	97

⁵⁶ vgl. Kuchenbecker (2000), S. 100

⁵⁷ vgl. Kuchenbecker (2000), S. 98ff

6.5.2 Bevölkerung

Der Bevölkerungssektor bestimmt die Bevölkerungsanzahl von Deutschland unterschieden nach Altersklasse (<15, 15-50, 50-65, >65) und den 9 Gebietstypen. Ausgehend von dem Startwert gehen Änderung durch Geburt, Tod und Wanderung ein.

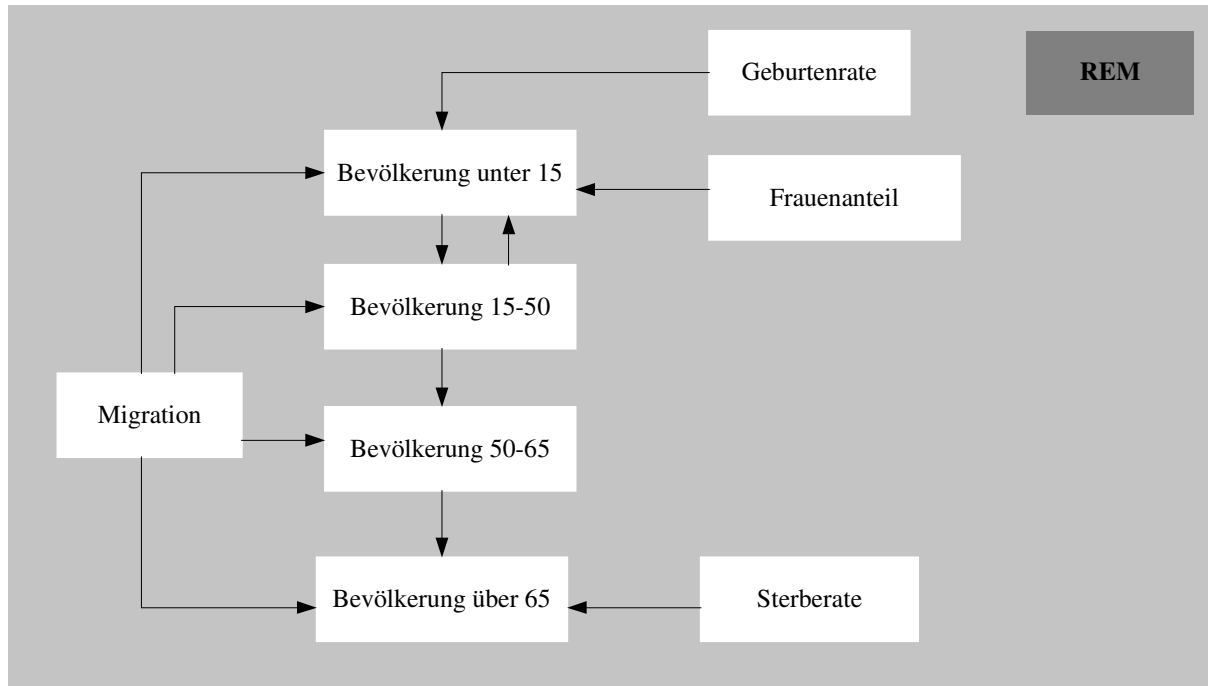


Abbildung 6-31: Bevölkerungssektor

Die Anzahl der Geburten wird durch folgende Formel bestimmt:

$$GB = GR \cdot FA \cdot B2 \quad (6.74)$$

mit: GB: Geburten
GR: Geburtenrate
FA: Frauenanteil
B2: Bevölkerung 15-50

Tabelle 6-27: Bevölkerungsentwicklung

Variable	Szenario	Wert [%]
Geburtenrate	Alle	1986: 4; 1998: 4; 2004: 4; 2010: 4; 2016: 3,8; 2022: 3,6; 2028: 3,2; 2030: 3,12
Frauenanteil	Alle	50
Sterberate	Alle	10 (in der Bevölkerungsklasse über 65 Jahre)

Die Migration wird bei den beiden mittleren Bevölkerungsklassen in Abhängigkeit der Arbeitslosigkeit und der Vollbeschäftigung berechnet.

Tabelle 6-28: Migration

Variable	Szenario	Prozentualer Wert in der Region [%]
Migration Unter 15	Alle	R1: 0,7; R2: 0,4; R3: 0,8; R4: 0,7; R5: 0,9; R6: 0,2; R7: 0,6; R8: 0,6; R9: 0,6
Migration 15-50	Alle	R1: 0,4; R2: 0,8; R3: 0,7; R4: 0,9; R5: 0,2; R6: 0,6; R7: 0,6; R8: 0,6; R9: 0,7
Migration 50-65	Alle	R1: 0,7; R2: 0,4; R3: 0,8; R4: 0,7; R5: 0,9; R6: 0,2; R7: 0,6; R8: 0,6; R9: 0,6
Migration Über 65	Alle	R1-R9: 0
Migrationsfaktor	Alle	1986-99: 1; 2000: 0,5; 2002: 0,76; 2010: 0,75; 2020: 0,745; 2030: 0,62

Die Bevölkerungsentwicklung wurde an die Prognose des Statistischen Bundesamtes⁵⁸ angeglichen. Für die Kalibration wurde die Variante mit mittlerer Wanderungsannahme und mittlerer Lebenserwartung gewählt (Variante 5). Die Ergebnisse sind in Abbildung 6-32 zu sehen:

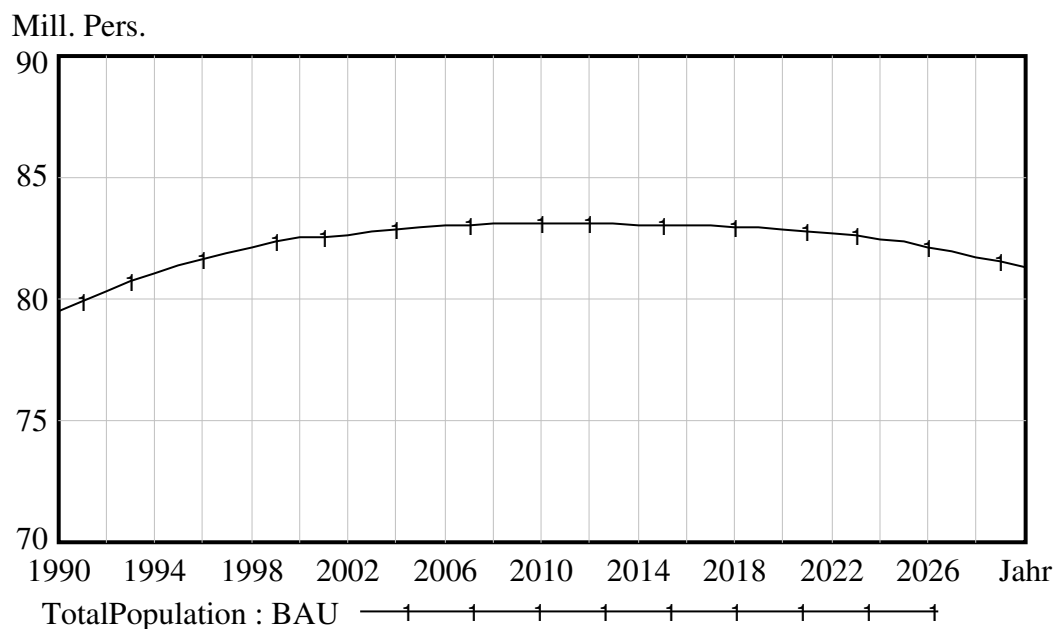


Abbildung 6-32: Abbildung der Bevölkerungsentwicklung

Die Bevölkerungsentwicklung verläuft in den Szenarien zunächst steigend bis zum Jahr 2010 (83,1 Mill. Pers.). Zwischen 2010 und 2020 verläuft die Bevölkerungsentwicklung nahezu konstant jedoch mit leicht sinkender Tendenz (2020: 82,8 Mill. Pers.). Bis zum Jahr 2030 sinkt die Bevölkerung auf 81,2 Mill. Pers.

⁵⁸ vgl. Statistisches Bundesamt (2003), S. 26 u. 47. Siehe auch Fußnote 19 in Kapitel 2.2.3

6.5.3 Raumentwicklung

Aus der Sicht des Verkehrs ist die zentrale Größe, die im Bereich Raumentwicklung bestimmt wird, die Pkw-Besitzrate. Sie hängt von fünf Multiplikatoren ab.

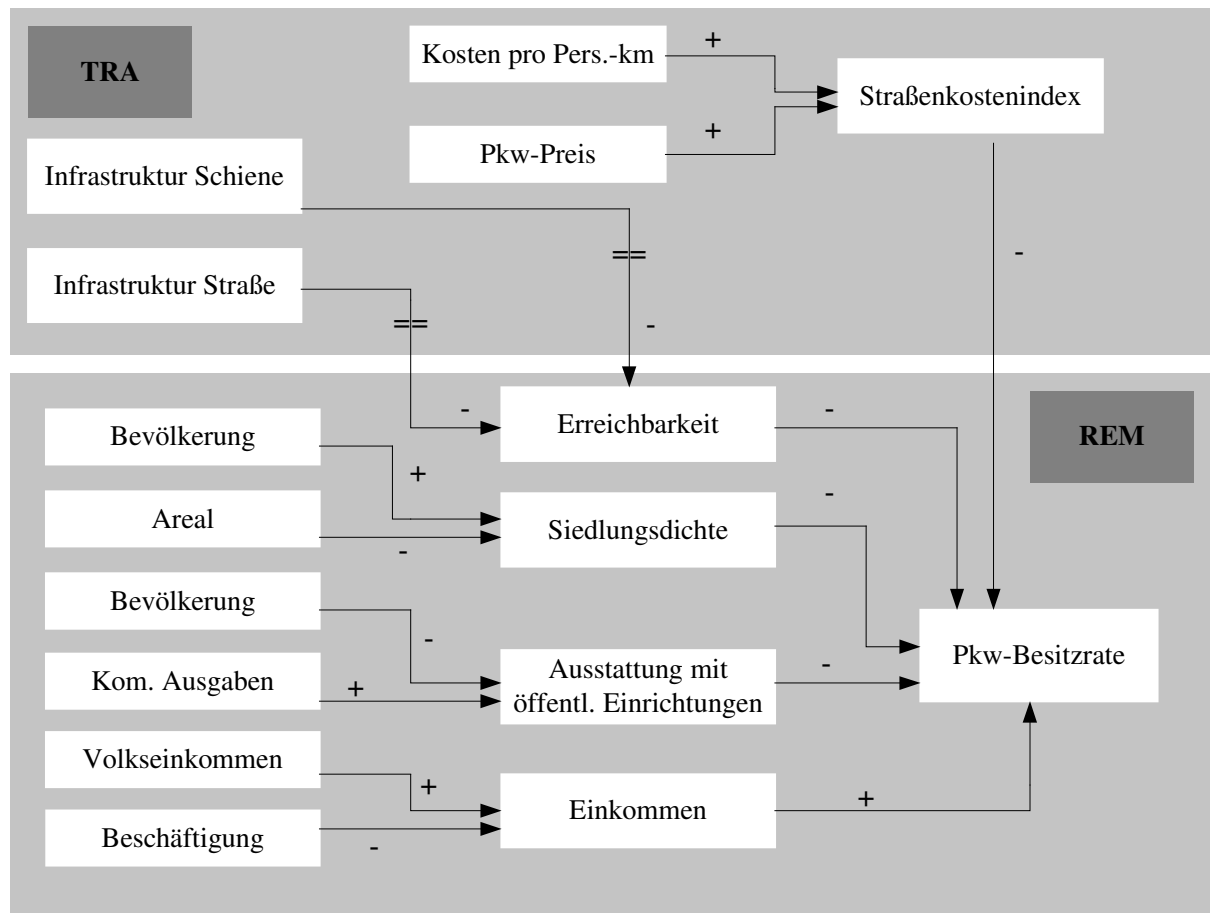


Abbildung 6-33: Raumentwicklung

Der Straßenkostenindex berechnet sich hierbei in Abhängigkeit des Ursprungswertes für die Straßenkosten, welcher sich aus den Kraftstoffkosten und dem auf Kilometerbasis umgerechneten Kaufpreis für einen Pkw zusammensetzt:

$$SKI = SK/SB \quad (6.75)$$

mit: SKI: Straßenkostenindex (Road Cost Indicator)
 SK: Straßenkosten (Road Costs)
 SB: Straßenkostenbasiswert (Straßenkosten eines Vergleichsjahres)

Die Pkw-Besitzrate hängt nicht-linear von den Variablen Straßenkostenindex, Siedlungsdichte, Ausstattung mit öffentlichen Einrichtungen, Erreichbarkeit und Einkommen ab. Daher wird der Einfluss dieser Ausgangsvariablen in der folgenden Tabelle exemplarisch für einige prozentuale Änderungen dieser Variablen angegeben. Von den fünf Variablen ist nur das Einkommen mit der Pkw-Besitzrate positiv korreliert. Diese Beziehung hat gleichzeitig auch den stärksten absoluten Einfluss auf die Pkw-Besitzrate.

Tabelle 6-29: Einfluss von Regionalindikatoren auf die Pkw-Besitzrate⁵⁹

Änderung der Pkw-Besitzrate [%] bei Änderung einer Ausgangsvariable um							
Ausgangsvariable	Szenario	-50%	-20%	-10%	10%	20%	50%
Siedlungsdichte	Alle	-	32	25	-4	-4	-
Ausstattung mit öffentlichen Einrichtungen	Alle	2	2	1	-1,4	-2,2	-2,8
Erreichbarkeit	Alle	9	3	1,5	-2	-4	-9
Einkommen	Alle	-12	-4,8	-2,4	12,8	25,6	64
Straßenkostenindex	Alle	18	8	4	-2	-4	-8

6.5.4 Regionale Beschäftigung

Im Zentrum der Betrachtung steht die Anzahl der Beschäftigten unterschieden nach Sektoren und Regionstypen. Berechnet wird sie ausgehend von einem Basiswert und den Veränderungen, die sich zum einen durch die relativen sektoralen Arbeitsveränderungen aus dem Makromodell und zum anderen aus direkten Einflüssen durch Infrastrukturausbau und Wartung der Verkehrswege aus dem Verkehrsmodell ergeben.

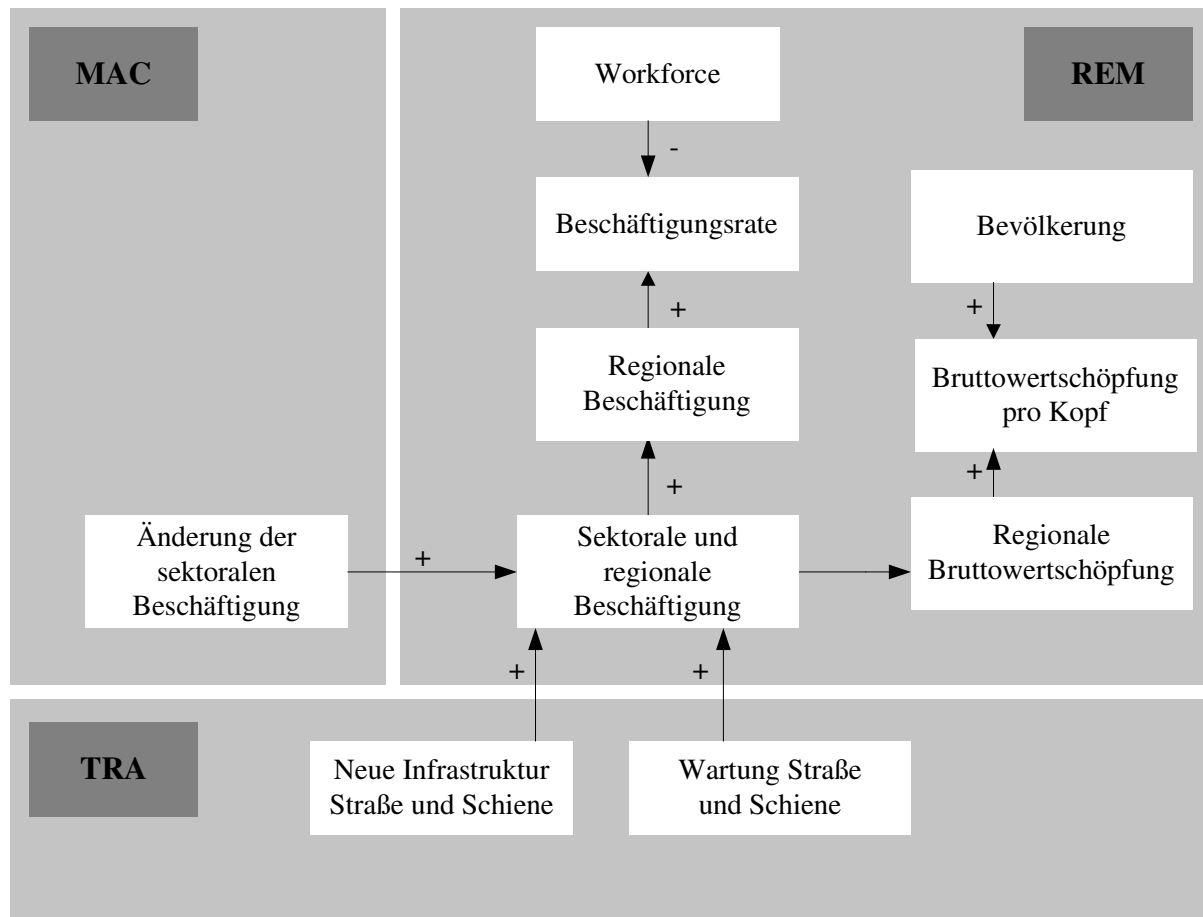


Abbildung 6-34: Regionale Beschäftigung

Aus der sektoralen und regionalen Beschäftigung lassen sich regionale Veränderung der regionalen Arbeitslosenrate, des regionalen Einkommens und der regionalen Bruttowertschöpfung bestimmen.

⁵⁹ vgl. Kuchenbecker (2000), S. 111ff

6.6 Emissionsmodell

Innerhalb des EST-Projekts werden sechs verschiedene Umweltkriterien zur Beurteilung, ob eine Verkehrsentwicklung als nachhaltig gelten kann, herangezogen. Zu diesen sechs Kriterien gehören neben vier Luftschadstoffen auch Lärm und Flächenverbrauch. ESCOT legt den Fokus auf die vier Luftschadstoffe Kohlendioxid (CO₂), Stickoxide (NO_x), flüchtige Kohlenwasserstoffe (VOC) und Partikel (PM), die von den Fahrzeugen während der Nutzung emittiert werden. Die Berechnung der Emissionen erfolgt über Multiplikation der Fahrzeugkilometer eines Fahrzeugtyps mit den jeweiligen Emissionsfaktoren. Da die Berechnung in der Regel für alle Verkehrsträger auf die gleiche Art und Weise durchgeführt werden, wird hier nur das Beispiel des Personenverkehrs erläutert.

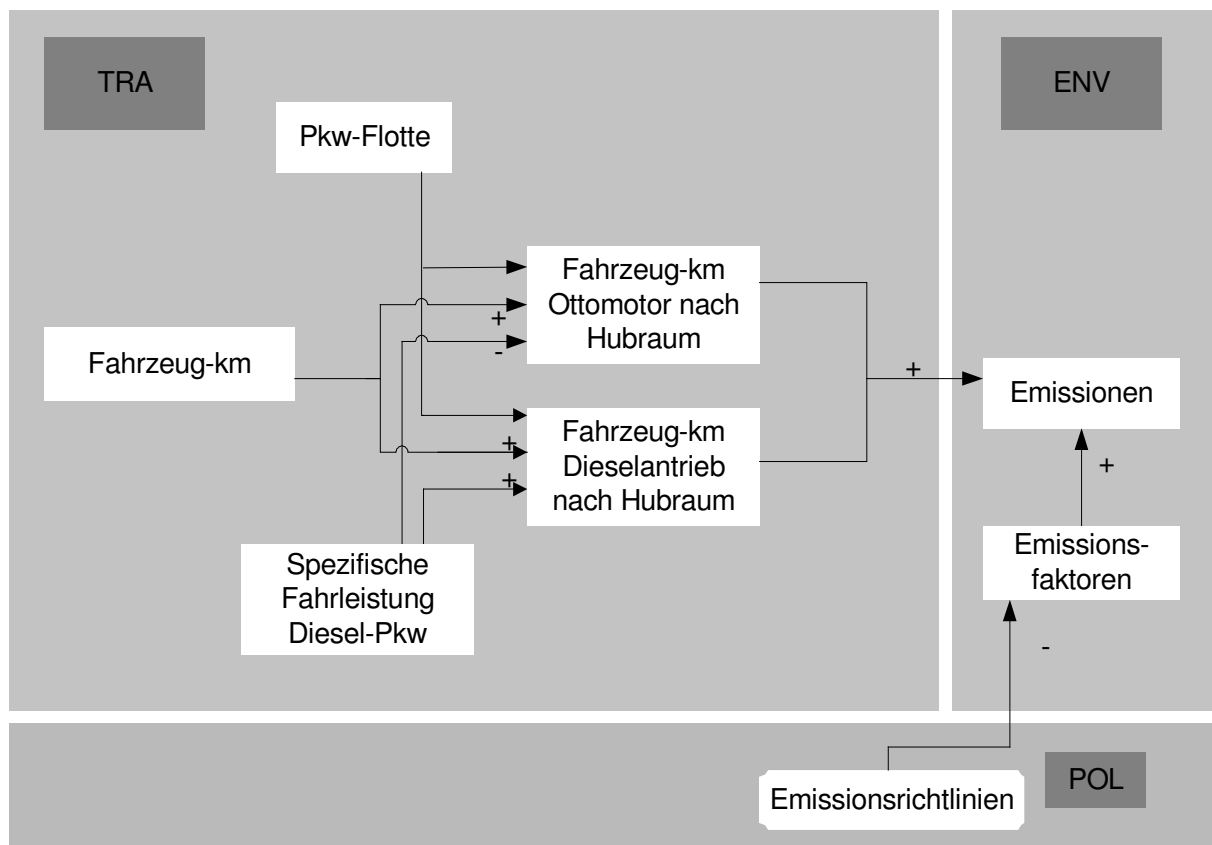


Abbildung 6-35: Berechnung der Emissionen durch Personenfernverkehr

Aus dem Verkehrssektor erhält man Information über die Summe der jährlich in Deutschland gefahrenen Fahrzeugkilometer von Pkw (VkmMode). Um jetzt korrekt die Summe auf die entsprechen Fahrzeugtypen zu verteilen, wird die Zusammensetzung der Pkw-Flotte (FleetPC) und die Tatsache, dass Dieselfahrzeuge eine um 35% höhere jährliche Fahrleistung pro Fahrzeug als Ottofahrzeuge haben (PCFleetRelationOutTown), berücksichtigt. Dadurch bestimmen sich die durchschnittlich gefahrenen Fahrzeugkilometer segmentiert nach Antrieb und Hubraumklasse. Als Ergebnis erhält man die durchschnittlich pro Jahr gefahrenen Fahrzeugkilometer pro Fahrzeugtyp (AveragePassengerCarKM).

Im Emissionsmodell werden auch die Emissionsfaktoren der jeweiligen Szenarien berechnet. Für das BAU-Szenario werden die gegenwärtigen technologischen Trends in die Zukunft fortgeschrieben bzw. die geplanten EURO Normen angesetzt (EmissionPCBAU). Für die EST-80% Emissionsfaktoren nehmen wir an, dass die politische Maßnahme "Senkung der Emissionsgrenzwerte" zu deutlich niedrigeren Emissionsfaktoren, abhängig von der Stärke

der Senkung (MIDegreeOfEmissionReg), führt. Aus der Multiplikation der Emissionsfaktoren mit den jeweiligen gefahrenen Fahrzeugkilometern eines Fahrzeugtyps ergeben sich die Summe der emittierten Luftschadstoffe innerhalb eines Jahres (EmissionPCOutTown).

Die Entwicklung der Emissionsfaktoren für die vier Luftschadstoffe kann aus den folgenden Tabellen ersehen werden:

Tabelle 6-30: Emission von CO₂ und NO_x⁶⁰

Emissionsfaktoren	Einheit	Szenario	CO ₂			NO _x		
			1990	2000	2030	1990	2000	2030
Car Otto	G/km	BAU	185	163	109	1,89	1,89	0,19
		EST-80%	185	163	58	1,89	1,89	0,03
Car Diesel	G/km	BAU	185	163	109	1,89	1,89	0,19
		EST-80%	185	163	58	1,89	1,89	0,03
Car Electric	G/km	BAU	185	163	109	1,89	1,89	0,19
		EST-80%	185	163	58	1,89	1,89	0,03
Car Otto, IC ⁶¹	G/km	BAU	237	150	150	1,41	1,11	0,19
		EST-80%	237	58	58	1,41	1,11	0,03
Car Diesel, IC	G/km	BAU	202	141	141	0,69	1,11	0,17
		EST-80%	202	141	141	0,69	1,11	0,17
Car Electric, IC	G/km	BAU	220	100	100	1,41	1,06	0,10
		EST-80%	220	100	100	1,41	1,06	0,10
Truck Gaso	G/km	BAU	278	247	156	2,91	2,24	0,22
		EST-80%	278	247	77	2,91	2,24	0,22
Truck Diesel	G/km	BAU	324	287	175	1,31	1,05	0,28
		EST-80%	324	287	175	1,31	1,05	0,28
Truck	G/km	BAU	822	781	638	9,26	7,47	2,36
		EST-80%	822	781	479	9,26	7,47	1,18
Truck Gaso, IC	G/km	BAU	344	308	199	1,91	1,51	0,32
		EST-80%	344	308	84	1,91	1,51	0,03
Truck Diesel, IC	G/km	BAU	355	318	208	1,33	1,09	0,36
		EST-80%	355	318	208	1,33	1,09	0,36
Truck, IC	G/km	BAU	888	835	674	10,98	8,88	2,56
		EST-80%	888	835	506	10,98	8,88	1,28
Train Electric	G/kWh	BAU	520	520	520	0,37	0,37	0,37
		EST-80%	520	520	260	0,37	0,37	0,19
Train Diesel	G/kg	BAU	3168	3168	3168	51,50	46,35	30,90
		EST-80%	3168	3168	3168	51,50	46,35	10,00
Ship	G/kg	BAU	3168	3168	3168	59,40	53,45	35,60
		EST-80%	3168	3168	3168	59,40	53,45	10,00
Airplane	G/kg	BAU	3120	3120	3120	12,00	13,50	15,00
		EST-80%	3120	3120	3120	12,00	13,50	5,00

⁶⁰ vgl. Umweltbundesamt, Wuppertal Institut (1997)

⁶¹ IC: Innenstadtverkehr

Tabelle 6-31: Emission von VOC und PM⁶²

Emissionsfaktoren	Einheit	Szenario	VOC			PM		
			1990	2000	2030	1990	2000	2030
			BAU	1,49	1,12	0,02	0	0
EST-80%	1,49	1,12	0,02	0	0	0		
BAU	1,49	1,12	0,02	0,11	0,09	0,01		
EST-80%	1,49	1,12	0	0,11	0,09	0,01		
BAU	1,49	1,12	0,02	0	0	0		
EST-80%	1,49	1,12	0	0	0	0		
BAU	5,50	4,14	0,60	0	0	0		
EST-80%	5,50	4,14	0,01	0	0	0		
BAU	0,18	0,15	0,07	0,13	0,10	0,02		
EST-80%	0,18	0,15	0,07	0,13	0,10	0,02		
BAU	5,50	4,14	0,01	0	0	0		
EST-80%	5,50	4,14	0,01	0	0	0		
BAU	2,55	1,92	0,03	0	0	0		
EST-80%	2,55	1,92	0	0	0	0		
BAU	0,19	0,15	0,03	0,38	0,29	0,03		
EST-80%	0,19	0,15	0,03	0,38	0,29	0,03		
BAU	1,11	0,92	0,35	0,55	0,43	0,03		
EST-80%	1,11	0,92	0,35	0,55	0,43	0,03		
BAU	8,90	6,69	0,05	0	0	0		
EST-80%	8,90	6,69	0,01	0	0	0		
BAU	0,78	0,61	0,09	0,50	0,39	0,04		
EST-80%	0,78	0,61	0,09	0,50	0,39	0,04		
BAU	2,68	2,23	0,86	0,87	0,67	0,05		
EST-80%	2,68	2,23	0,86	0,87	0,67	0,05		
BAU	0	0	0	0,04	0,04	0,04		
EST-80%	0	0	0	0,04	0,04	0,04		
BAU	4,80	4,55	3,80	1,10	1	0,70		
EST-80%	4,80	4,55	3,80	1,10	1	0,06		
BAU	5,60	5,33	4,50	2,30	2,07	1,40		
EST-80%	5,60	5,33	4,50	2,30	2,07	0,12		
BAU	0	0	0	0	0	0		
EST-80%	0	0	0	0	0	0		

⁶² vgl. Umweltbundesamt, Wuppertal Institut (1997)

6.7 Politikmodell

Das Politikmodell ermöglicht es dem Benutzer von ESCOT, die in Kapitel 4 bestimmten politischen Maßnahmen zu testen. Die Struktur von ESCOT wurde so gewählt, dass die anderen vier Modelle sich durch ihre jeweiligen Abhängigkeiten wechselseitig ineinander verzahnen. Das Politikmodell hingegen enthält exogene Variablen, welche die anderen vier Modelle beeinflussen, aber selbst keinen Rückkopplungen ausgesetzt sind. Daher muss man vor einem Durchlauf von ESCOT eine Politikstrategie bestimmen und die entscheidenden Variablen im Zeitverlauf festlegen.

Für die BAU/EST-Szenarien wurden diese primären politischen Entscheidungen vorher getroffen. Die ausgewählten politischen Maßnahmen wurden zu 13 Maßnahmenblöcken gebündelt, die in Kapitel 4 beschrieben sind.

Exogene politische Maßnahmen lassen sich auf zwei verschiedene Arten im System implementieren. Eine Übersicht über die verschiedenen Methoden der Verarbeitung von politischen Maßnahmen zeigen Abbildung 6-36 und Abbildung 6-37:

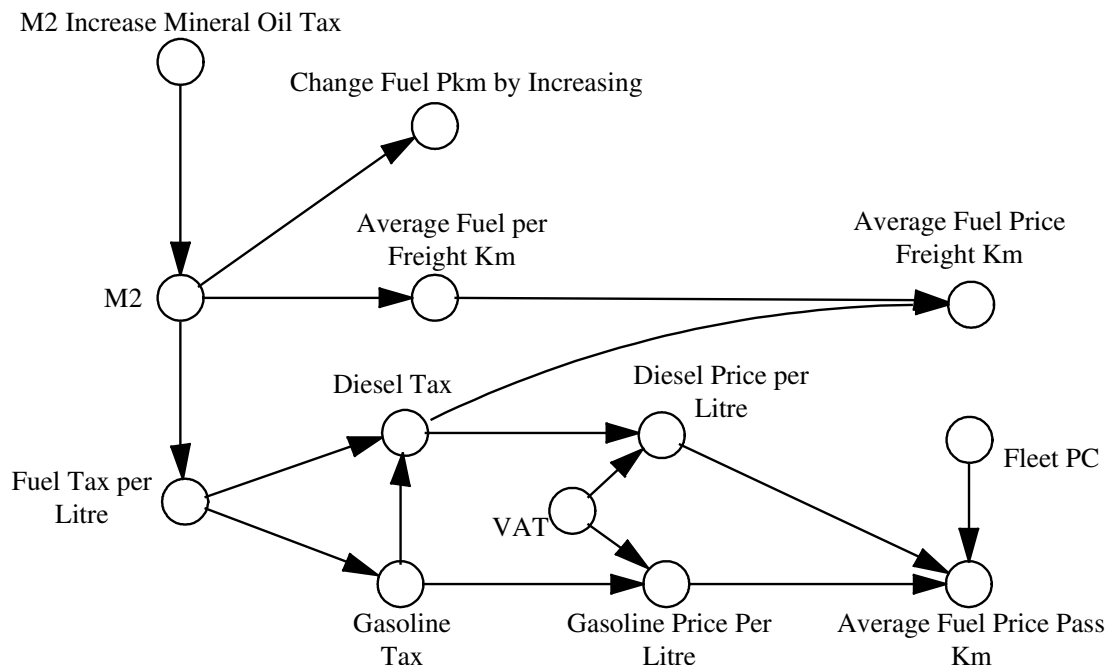


Abbildung 6-36: Wirkung der Maßnahme Mineralölsteuer

Die Wahl von „M2 Mineral Oil Tax“, also einer Anhebung der Mineralölsteuer, führt über eine Zwischenvariable M2 zur Absenkung des Benzinverbrauch von Pkw (Change Fuel Pkm by Increasing) und Lkw (Average Fuel per Freight Km (der auch von anderen Maßnahmen beeinflusst wird)). Bei dieser Verarbeitungsmethode wird sozusagen ausschließlich die Wahl oder Nicht-Wahl einer politischen Maßnahme berücksichtigt.

Die andere Methode der Implementierung arbeitet mit der exakten Ausprägung einer politischen Maßnahme. So wird über die Variable Mineralölsteuer (Fuel Tax per Litre) die exakte Höhe der Steuer der Kraftstoffe (Diesel Tax, Gasoline Tax) und damit der Kraftstoffpreis pro Liter (Diesel Price Per Litre, Gasoline Price Per Litre) ermittelt. Diese dienen der Berechnung der Kraftstoffpreise pro gefahrenem Kilometer für Pkw und Lkw (Average Fuel Price FreightKm, Average Fuel Price Pass Km).

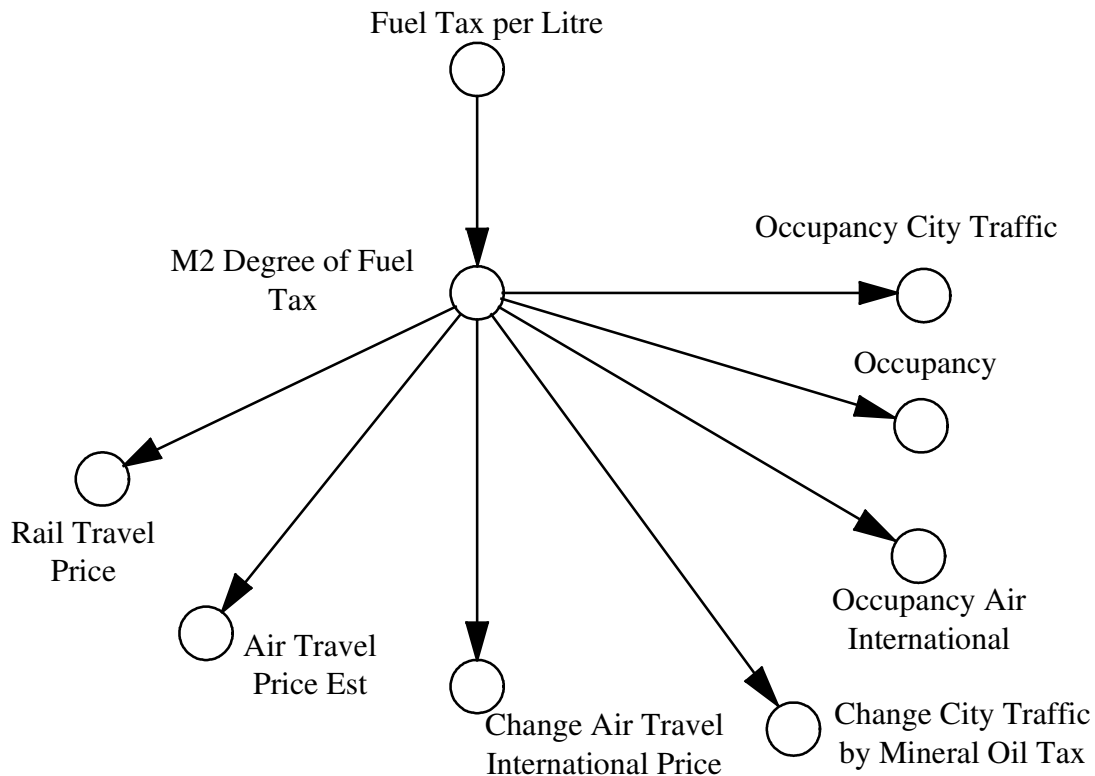


Abbildung 6-37: Weitere Wirkungen der Mineralölsteuer

Diese Methode eignet sich, um die relative Stärke einer politischen Maßnahme zu verarbeiten. In der Abbildung 6-37 wird die gewählte Mineralölsteuer mit der für das EST-80%-Szenario definierten Mineralölsteuer verglichen und normiert (d.h. M2 Degree of Fuel Tax liegt zwischen 0 und 1). M2 Degree of Fuel Tax bewirkt dann je nach Höhe der Variable eine Veränderung Preise für die Bahn, den nationalen und internationalen Luftverkehr, den innerstädtischen Verkehr und die Besetzungsgrade der verschiedenen Verkehrsträger.

Die erste Methode wurde in den Fällen verwendet, in denen es nur eine Ja- oder Nein-Entscheidung für die Maßnahme gibt, oder wenn die Wirkungsweise einer Maßnahme nicht bekannt war. Zum Beispiel kann der Anwender bei der Maßnahme „Veränderung der Flächennutzung“ nur wählen, ob er diese Maßnahme einsetzen will oder nicht. Er kann nicht die Stärke der Ausprägung bestimmen. Außerdem können zwar die Folgen der gesamten Maßnahme geschätzt werden, die genaue Wirkungsweise einer veränderten Flächennutzung ist aber nicht bekannt. Daher wird für die Flächennutzung die erste Methode angewendet.

In Fällen, in denen eine Maßnahme quantifizierbar ist und ihre Wirkung direkt mit einer Variable korreliert, ist die andere Methode geeignet. In diesen Fällen wirkt nicht nur die Variable an sich, sondern auch deren Stärke der Ausprägung auf die anderen Systemvariablen. Zum Beispiel ist die Höhe der Infrastrukturausgaben für die Verbesserungen der Bahnkapazitäten ausschlaggebend.

Diese Methode wird außerdem für alle die Maßnahmen gewählt, in denen das EST-50% Szenario von dem 80% Szenario abweicht, also für die ersten vier Maßnahmeblöcke. Hier erscheint es ganz wichtig, dass die Stärke einer Ausprägung vom Anwender veränderbar ist. Daher kann der Anwender zum Beispiel die Höhe der Mineralölsteuer und des Road Pricings explizit bestimmen.

6.8 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde das Modell ESCOT entwickelt. ESCOT umfasst ein Makro-, Regionalwirtschafts-, Verkehrs-, Umweltmodell und die politische Sphäre. Das Makromodell basiert auf der in KEYNEO entwickelten Grundstruktur. Es liefert Informationen über Kapital, Beschäftigung, FuE-Aufwendungen und Produktionspotenzial für 32 Wirtschaftssektoren. Auf der Nachfrageseite werden als wesentliche Größen der Konsum, die Investitionen und die Endnachfrage für die 32 Wirtschaftssektoren bestimmt. Abgerundet wird das Makromodell durch die Integration einer Input-Output-Tabelle. Das Regionalwirtschaftsmodell berechnet regionale Daten wie z. B. Bevölkerung und Pkw-Besitzrate für funktionale Gebietstypen (städtisch, ländlich etc.). Diese Gebietstypen werden auch im Verkehrsmodell verwendet. Zusätzlich unterscheidet dieses Modell zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln (Straße, Schiene, Wasser, Luft) und verschiedenen Typen von Infrastrukturverbindungen (z. B. Hochgeschwindigkeitsverbindungen zwischen Ballungsräumen). Im Verkehrsmodell wird der Personen- und der Güterverkehr für verschiedene Verkehrsträger bestimmt. Den Schwerpunkt des Verkehrsmodells stellen die Fernverkehre für Personen und Güter dar, die detailliert mit ihren jeweiligen Rückkopplungen und Wirkungsbeziehungen abgebildet sind. Die Modellierung des Personenverkehrs basiert auf dem Vier-Stufen-Ansatz, in den Zeiten und Preise eingehen. Die Preise, die durch die politischen Maßnahmen beeinflusst werden, wirken auf das Fahrtenaufkommen, die Verkehrsmittelwahl und auf andere Variablen des Verkehrs. Das Umweltmodell berechnet die Emissionsdaten für die Verkehrsleistungen. Das politische Modell steuert das Szenario, das die anderen Modelle beeinflusst. Da die meisten politischen Maßnahmen einen direkten Einfluss auf das Verkehrsmodell haben, stellt dieses Modell in der Regel den Ausgangspunkt für die Simulierung der Wirkungsmechanismen dar.

Von besonderer Wichtigkeit für die Dissertation ist die Modellierung des Makromodells. Auf der Nachfrageseite stellen Konsum, Investitionen, Export und Endnachfrage wesentliche Größen dar. Betrachtet man Investitionen auf sektoraler Ebene, so ist eine Unterscheidung nach investierenden und Investitionsgüter herstellenden Sektoren notwendig. Aus den Zeitreihen für die Investitionen lässt sich eine Investitionsmatrix bestimmen.

Sektorale Produktionsfunktionen bilden den Kern auf der Angebotsseite des Makromodells. Als Produktionsfunktion wird hier eine „Constant Elasticities of Scale“ (CES)-Produktionsfunktion verwendet. Die Parameter werden geschätzt und ermöglichen eine Reihe von Interpretationen. Es lässt sich eine Einteilung in arbeits- und kapitalintensive Sektoren vornehmen. Ebenso kann man Sektoren nach der Höhe der Skalenerträge und der Substitutionselastizität unterscheiden. In einer erweiterten CES-Produktionsfunktion gehen auch die sektoralen FuE-Aufwendungen mit einer Zeitverzögerung ein. Den FuE-Aufwendungen kann so ein Teil des Fortschritts zugeschrieben werden.

Die auf der Nachfrage- und Angebotsseite bestimmten Größen gehen in die Berechnung der Input-Output-Tabelle ein. Zur Bestimmung der Vorleistungen werden hier Input-Koeffizienten benötigt. Der Basistrend der Input-Koeffizienten wird zunächst geschätzt. Als weitere Einflussgrößen werden hier noch technologische Änderungen und Einflüsse durch Preisänderungen im Verkehr berücksichtigt.

7 Assessment der Szenarien

„We must acquire a life style which has as its goal maximum freedom and happiness for the individual, not a maximum Gross National Product.“
P. Ehrlich¹

7.1 Allgemeines

Betrachtet man die Auswertung der Szenarien, so ist generell der Unterschied zwischen dem System Dynamics Ansatz und anderen Methoden hervorzuheben. Gegenüber anderen Methoden haben System Dynamics Modelle den Vorteil, dass in ihnen interdisziplinäre Fragestellungen und spekulative, unsichere Entwicklungen berücksichtigt werden können. Der Schwerpunkt der Aussage eines System Dynamics Modells liegt allerdings nicht auf einer bestimmten zu prognostizierenden, singulären Variable, sondern auf der Prognose der Entwicklung einer Vielzahl von Variablen und des wechselseitigen Verhaltens von Schlüsselvariablen aus verschiedenartigen Bereichen.

Für das Assessment der Szenarien steht vor allem die ökonomische Auswertung im Vordergrund. Diesem Aspekt fällt daher auch ein größeres Gewicht zu als den Auswertungen des Verkehrs- und Umweltmodells. Dennoch werden zuerst die Ergebnisse des Verkehrsmodells betrachtet, um das Ausmaß der Änderungen abzuschätzen, die Möglichkeit der Realisierung der Szenarien einzuordnen und zu überprüfen, ob die gewählten politischen Maßnahmen der Szenarien für das gewünschte Nachhaltigkeitsziel ausreichend sind.

Mit diesen Überlegung werden zuerst die Ergebnisse des Verkehrs- und Umweltmodells dargestellt, bevor die Auswertung des Makromodells erläutert wird. Wichtig erscheint auch, dass nicht die gesamte Bewertung einer Fragestellung aus dem Modell kommen kann. Neben quantitativen Ergebnissen sind daher auch qualitative Aspekte in der Gesamtbewertung zu berücksichtigen.

7.2 Ergebnisse des Verkehrsmodells

Betrachtet man die Ergebnisse im Verkehrsmodell, so erkennt man deutliche Veränderungen in der Verkehrsleistung der Verkehrsträger (siehe Abbildung 7-1). Die Verkehrsleistung des Straßenverkehrs außerorts weist einen Rückgang in den letzten Jahren aus. Dieser beruht auf der Öko-Steuer und den Kraftstofferhöhungen durch den Ölpreis. Dennoch steigt die Verkehrsleistung im BAU-Szenario in den Jahren nach 2005 mit geringfügig abgeschwächter Steigerungsrate an.

Für das EST-80% ist ein starker Abfall auf weniger als die Hälfte des BAU-Wertes zu verzeichnen. Der Rückgang der Verkehrsleistung unterstreicht die Wirksamkeit der Mineralölsteuer und der anderen politischen Maßnahmen. Aus der Graphik ist zu ersehen, dass schon kurze Zeit nach der Einführung der Maßnahmen ein deutlicher Trendbruch zu erkennen ist.

¹ Ehrlich, P. in Nordhaus, Tobin (1972)

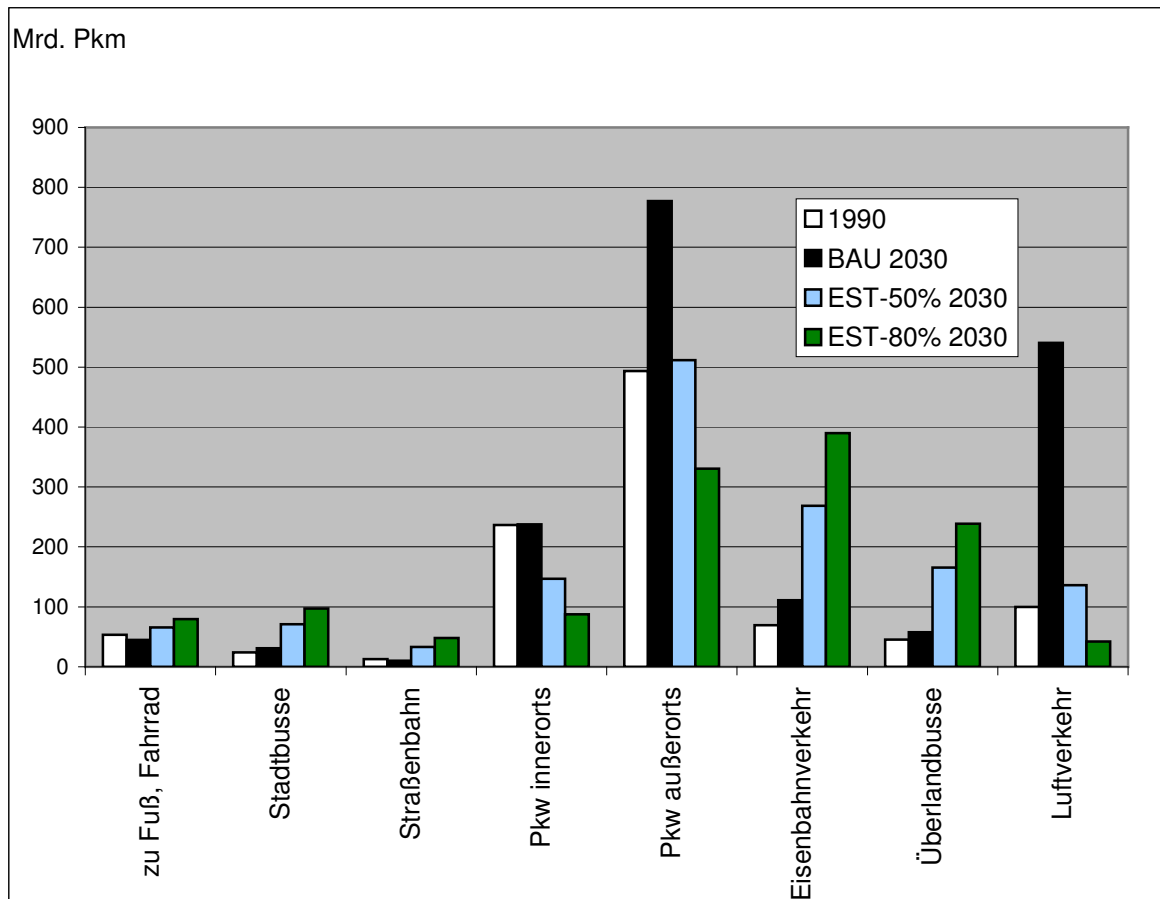


Abbildung 7-2: Vergleich Personenverkehr 1990 und 2030 für BAU, EST-80% und EST-50%

Im Endergebnis zeigt sich, dass für EST-80% drastische Änderungen im Straßen- und Luftverkehr vorstatten gehen. Es wird nicht nur das rasante Wachstum der Straßen- und Luftverkehrsleistung auf die Schiene gebracht, sondern auch die jetzige Verkehrsleistung dieser Verkehrsträger verkleinert. Als erstes Ergebnis zeigt ESCOT, dass im Personenverkehr für EST-80% die angestrebten Änderungen im Verkehrsbereich durch die gewählten Maßnahmen möglich sind, ohne dass die Wirtschaft zusammenbricht.

Für EST-50% fallen die Auswirkungen der Maßnahmen geringer aus. Der Stand der Verkehrsleistungen unterscheidet sich bei den kritischen Verkehrsträgern Straße und Luftverkehr nur gering von den Ausgangswerten im Jahr 1990. Im wesentlichen wird das Wachstum auf die umweltfreundlicheren Verkehrsmittel Bahn, Bus und Straßenbahn gebracht. Nur in den Innenstadtbereichen ist ein stärkerer Rückgang des Straßenverkehrs zu verzeichnen, der von dem starken Wachstum des Straßenbahn- und Busverkehrs und anderen Verkehrsträgern aufgefangen wird. Unterstützend kommen hier die geringeren Fahrzeugbesitzraten zum Tragen.

Die drei Szenarien führen im Straßengüterverkehr ebenfalls zu massiven Veränderungen. Während im BAU-Szenario ein nahezu linearer Anstieg der Verkehrsleistung zu verzeichnen ist, erfolgt in den ökologischen Szenarien schon nach der Einführung des Road Pricing ein leichter Trendbruch, der durch ein Anstieg der Abgabenhöhe im Jahr 2010 verstärkt wird und sich dann fortsetzt.

Interessanterweise ist keine große Diskrepanz zwischen EST-80% und EST-50% für den Straßengüterverkehr zu erkennen, obwohl die Abgabenhöhe für das Road Pricing in EST-80% doppelt so hoch ausfällt, wie für EST-50%. (EST-80%: 0,29 - 1,44 €; EST-50%: 0,14 -

0,72 €²). Die geringen Unterschiede sind darauf zurückzuführen, dass neben den Preisen vor allem die Reisezeiten der Verkehrsträger und die Aufnahmekapazitäten der Alternativen für die Verkehrsmittelwahl verantwortlich sind. Die Straßengebühr in EST-80% führt zu derart hohen Verkehrsverlagerungen, dass sich die Fahrtzeiten für die Schiene erhöhen, während sie für die Straße sinken und damit die Verkehrsverlagerungen bremsen. Dieser Effekt wird durch die begrenzten Aufnahmekapazitäten der Bahn noch verstärkt.

Der Schiffsverkehr verzeichnet hingegen einen geringeren Anstieg in den ökologischen Szenarien. Dieses Bild zeichnet sich auch ab, wenn man die Verkehrsleistung im Güterverkehr von 1990 mit den Verkehrsleistungen der drei Szenarien im Jahr 2030 vergleicht:

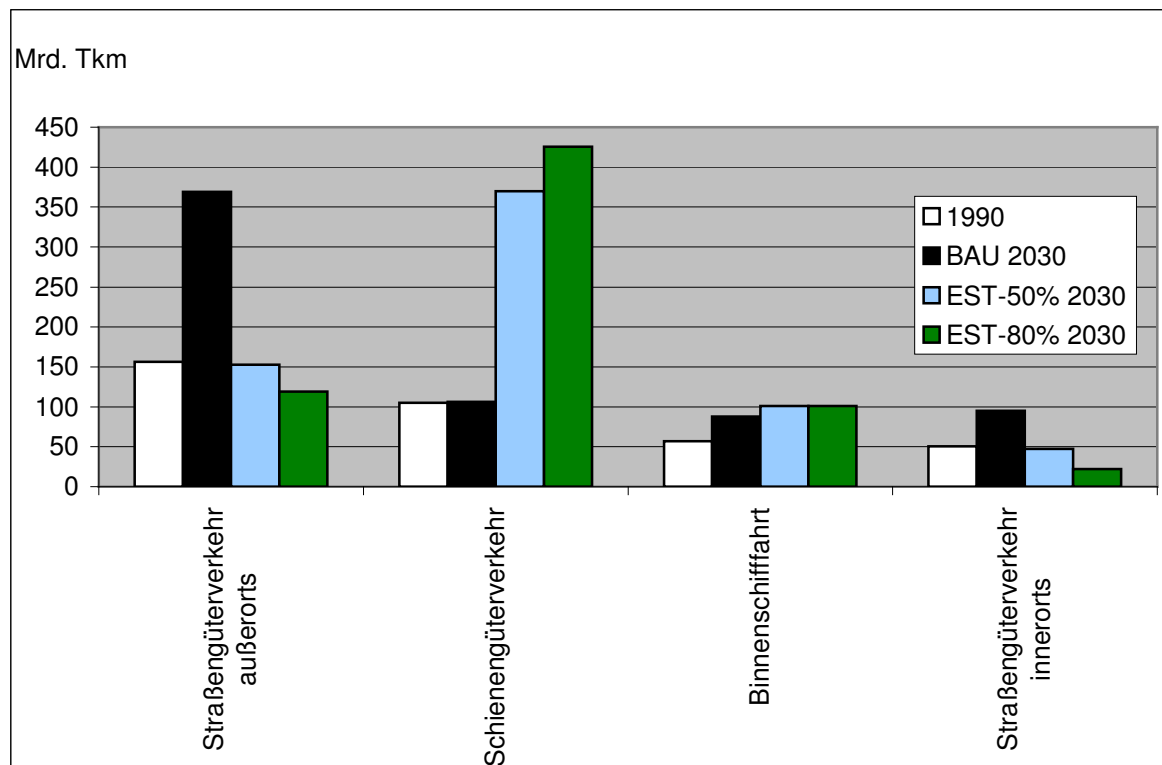


Abbildung 7-3: Vergleich Güterverkehr 1990 und 2030 für BAU, EST-80% und EST-50%

Betrachtet man den Straßenverkehr, so sieht man, dass sich in keinem der drei Szenarien deutlich niedrigere Verkehrsleistungen für den Straßengüterverkehr verglichen mit 1990 abzeichnen. Die politischen Maßnahmen bestimmen nur, von welchen Verkehrsträgern das Wachstum im Güterverkehr aufgenommen wird. Im BAU-Szenario wird das Verkehrswachstum nahezu komplett von der Straße, im EST-80%-Szenario nahezu komplett von der Schiene und im EST-50%-Szenario überwiegend von der Schiene aufgenommen. Auch in diesem Szenario spielt der Schiffsgüterverkehr nur eine untergeordnete Rolle.

Insgesamt zeigt sich, dass die politischen Maßnahmen im EST-80%-Szenario zwar starke Auswirkungen haben, aber dennoch nicht ausreichen, um das gewünschte Verkehrsszenario im Güterverkehr zu erreichen. In der vorher definierten deutschen Fallstudie war ein stärkerer Rückgang im Straßengüterverkehr anvisiert worden. Diese Zielwerte des Güterverkehrs in der deutschen Fallstudie können auch nicht durch höhere Straßengebühren erzielt werden. Hier müssten ergänzend noch andere Maßnahmen durchgeführt werden, oder die Reduktion der CO₂-Emissionen müsste in anderen Bereichen stärker ausfallen.

² in Preisen von 1995

7.3 Ergebnisse des Umweltmodells

Betrachtet man die CO₂-Emissionen (siehe Abbildung 7-4), die als zentral für die Definition der Nachhaltigkeit angesehen werden, so erkennt man für das BAU-Szenario einen ansteigenden Trend, der im betrachteten Zeitraum von 1990 bis 2030 einem Wachstum um ein Drittel entspricht. Für die ökologischen Szenarien lassen sich relativ schnell nach Einführung politischer Maßnahmen messbare Erfolge in der Reduktion von Luftschadstoffen zeigen. In EST-80% beginnen die Reduktionsmaßnahmen anfangs stark zu wirken, während in den Folgejahren der Rückgang etwas gedämpft wird. In EST-50% ist der absolute Rückgang pro Jahr nahezu konstant.

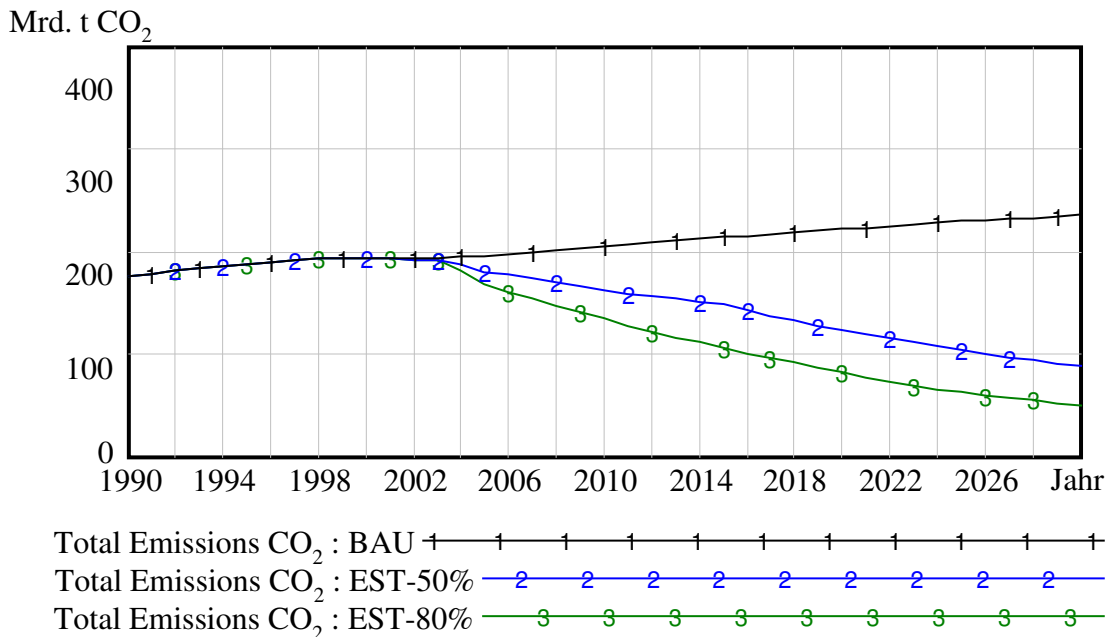


Abbildung 7-4: Jährliche CO₂-Emissionen

Für die drei Szenarien liefert ESCOT folgende Ergebnisse für die Luftschadstoffe:

Tabelle 7-1: Emissionen von CO₂, NO_x, VOC und Ruß

Luftschadstoffe [in % Stand 1990, sonst gekennzeichnet]	1990 [kt]	1990	BAU	EST-50%	EST-80%
CO ₂	176278912	100,0	133,3	50,1	28,4
NO _x	1407654	100,0	43,1	15,8	6,5
VOC	1446941	100,0	4,6	2,2	1,7
Ruß	43304	100,0	20,4	8,0	3,3

Im BAU-Szenario wird nur für VOC das Nachhaltigkeitskriterium erreicht. Für NO_x und Ruß wird das Ziel zwar nicht erreicht, aber die abnehmende Tendenz zeigt, dass für beide Stoffe mit einer Verbesserung der Emissionssituation zu rechnen ist. Nur für die CO₂-Emissionen zeichnen sich auch im BAU-Szenario weitere Steigerungen und ein deutliches Verfehlen des angestrebten Nachhaltigkeitsziels ab.

Für die EST-Szenarien zeigt sich, dass das EST-80% seinem anvisierten Ziel von 80% mit 72% zwar sehr nahe kommt, aber dennoch aufgrund des Güterverkehrs verfehlt. Berücksichtigt man jedoch eine gewisse Unschärfe in anderen Teilbereichen kann man das Ergebnis dennoch als annähernde Zielerfüllung werten. Für das EST-50% reichen die getroffenen Maßnahmen aus, um das Reduktionsziel zu erreichen. Aus Tabelle 7-1 ist auch ersichtlich, dass

die Kriterien für die anderen Luftschadstoffe, die ESCOT mitberücksichtigt, in EST-50% erfüllt werden. Daraus kann man ablesen, dass die Fokussierung auf den Luftschadstoff Kohlendioxid durchaus sinnvoll ist, da bei Erfolg für Kohlendioxid auch die Zielwerte der anderen Luftschadstoffe erreicht sind.

7.4 Ergebnisse des Makromodells

7.4.1 Nachfrageseite

(a) Konsum

Die Produktions- und Dienstleistungsbereiche des Verkehrs sind von Änderungen des Konsums beeinflusst. Im Produktionsbereich ist der Sektor Kraftwagen (Sektor 17) am stärksten betroffen. Bei der Bestimmung des Konsums werden die Veränderungen in den Fahrzeugflotten und der Durchschnittspreis eines Fahrzeuges berücksichtigt. Den Verlauf der Nachfrage nach Kraftwagen kann man in Abbildung 7-5 erkennen.

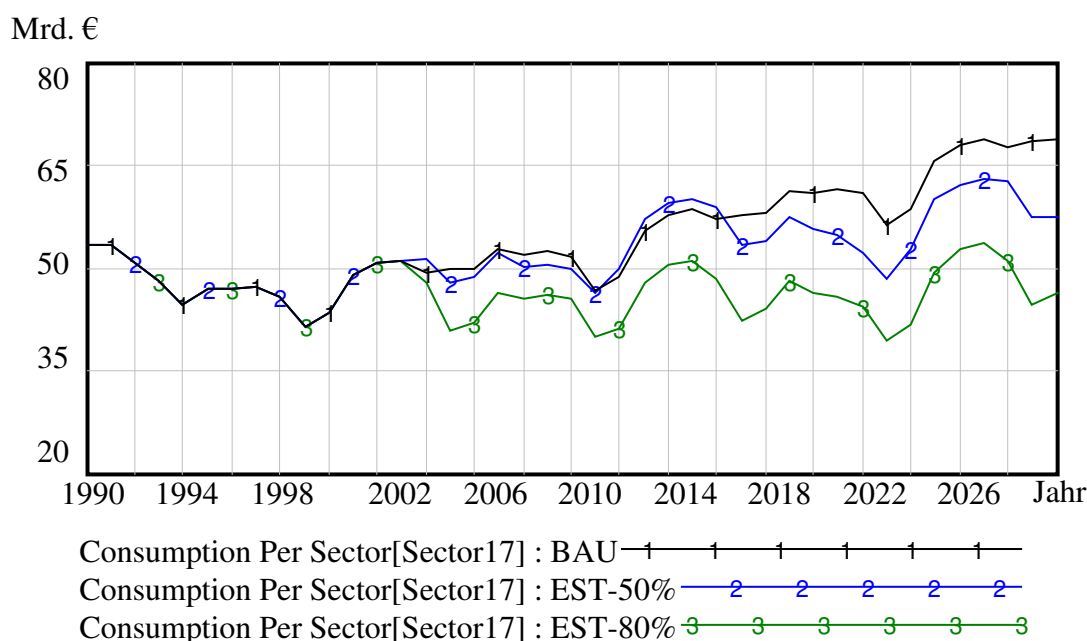


Abbildung 7-5: Nachfrage nach Kraftwagen (Umsatz in Sektor 17)

So ergibt sich für den Sektor Kraftwagen in allen drei Szenarien eine oszillierende Kurve, die auf die ungleiche Altersstruktur der Fahrzeuge zurückzuführen ist. Da die Fahrzeuge nach 12 Jahren unter Berücksichtigung der Pkw-Besitzrate ersetzt werden, führen die Ungleichheiten der Altersstruktur im Verlauf der Flottenerneuerung wiederum zu Schwankungen. Im EST-80%-Szenario liegt das Niveau direkt nach Einführung der politischen Maßnahmen unterhalb von BAU und die Schere zwischen beiden vergrößert sich im Kurvenverlauf.

Auch die Ausgaben für Transportdienstleistungen ändern sich. Da sich im Verkehrsmodell ein hoher Anteil der Personenfahrten von der Straße auf die Schiene verlagert, wirkt sich dies auch bei den Umsätzen in den entsprechenden Sektoren aus. Abbildung 7-6 zeigt die Nachfrage nach Landverkehrs- und Eisenbahndienstleistungen im Zeitverlauf. Die Differenzen bei der Nachfrage sind geringer als die Differenzen bei den Fahrleistungen. Dies beruht auf der unterschiedlichen Preisentwicklung. Preiserhöhungen bei Kraftstoffen gleichen zum Teil die geringeren Fahrleistungen aus.

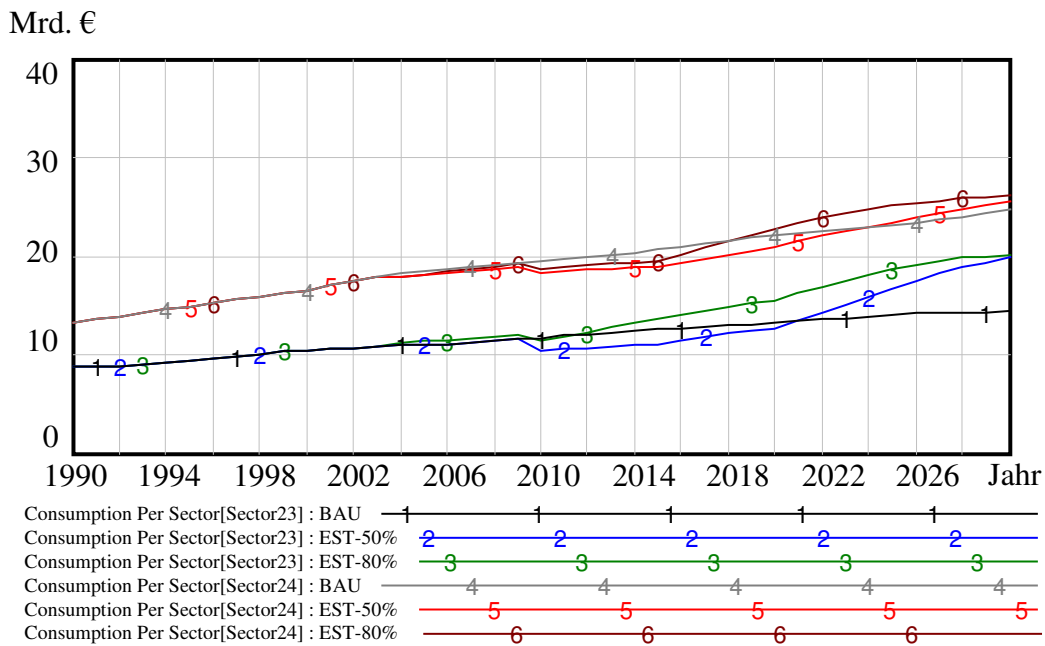


Abbildung 7-6: Nachfrage nach Eisenbahndienstleistungen (Umsatz in Sektor 23) und der Landverkehrsleistungen (Umsatz in Sektor 24)

Für den gesamten Konsum der privaten Haushalte sind die resultierenden Veränderungen geringer als für die speziellen Wirtschaftssektoren des Verkehrs. Hier wirkt sich aus, dass die umweltfreundlicheren Szenarien nicht nur den wirtschaftlichen Verlauf der Sektoren Kraftwagen und Landverkehrsdienstleistungen negativ beeinflussen, sondern auch in anderen Sektoren zu höheren Aktivitäten und damit zu höheren Umsätzen führen.

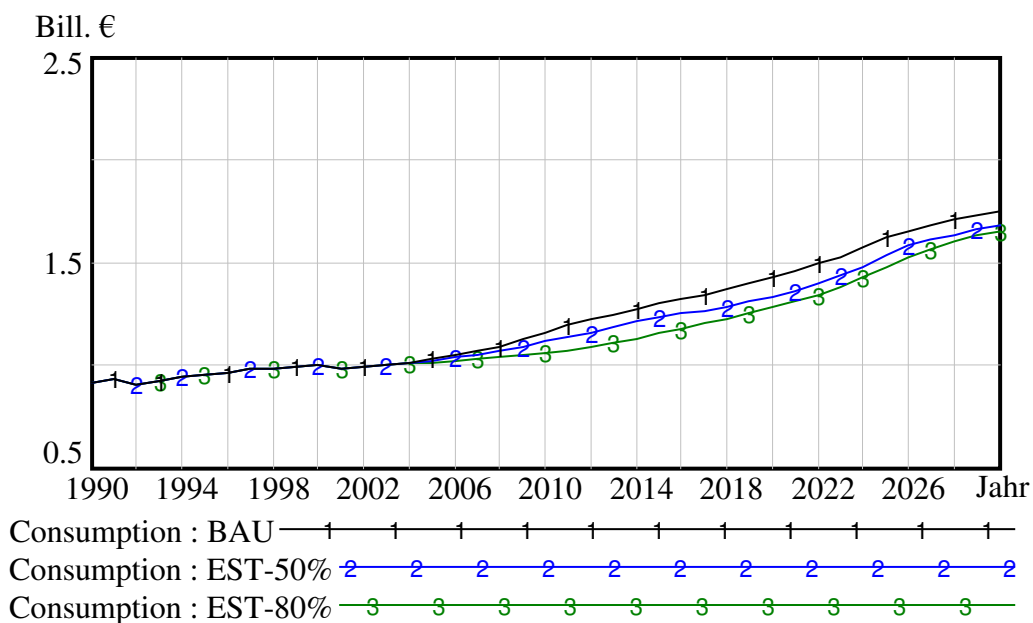


Abbildung 7-7: Gesamter Konsum für BAU, EST-50% und EST-80%

Der Kurvenverlauf des Gesamtkonsums zeigt, dass das EST-80%-Szenario zunächst zu einer Verringerung der Nachfrage über eine Periode von mehr als zehn Jahren führt, bevor sich gegen Ende eine Verbesserung der Situation einstellt. Erwartungsgemäß ist diese Entwicklung für das EST-50%-Szenario geringer ausgeprägt als für das EST-80%-Szenario. Dort verläuft die Entwicklung des Konsums des EST-50%-Szenarios in den ersten 10 Jahren näher am Konsum des BAU-Szenarios.

(b) Investitionen

Bei den Investitionen unterscheidet man die investierenden Sektoren und die Investitionsgüter herstellenden Sektoren. Tabelle 7-2 illustriert die Veränderung zwischen den Investitionen von BAU und EST-50% im Jahr 2030.

Tabelle 7-2: Vergleich der Investitionen zwischen BAU und EST-50%

Sektoren	BAU 2030 [Mill. €]		EST-50% 2030 [Mill. €]		Prozentuale Veränderung von EST-50% zu BAU	
	Investierende Sektoren	Invest.-güter herstellende Sektoren	Investierende Sektoren	Invest.-güter herstellende Sektoren	Investierende Sektoren	Invest.-güter herstellende Sektoren
Land	20.227	6.913	19.811	6.902	-2,05	-0,17
Kohle	3.791	692	3.518	660	-7,20	-4,55
Nahrung	11.370	0	11.295	0	-0,67	-
Textil	2.971	801	2.964	796	-0,23	-0,52
Papier	2.674	4.406	2.603	4.435	-2,63	0,66
Öl	8.909	0	8.490	0	-4,71	-
Pharma	6.398	0	6.300	0	-1,52	-
Chemie	1.879	0	1.871	0	-0,43	-
Kunst	5.303	1.282	5.039	1.253	-4,97	-2,27
Steine	1.191	785	1.191	795	-0,01	1,20
Stahl	4.711	22.988	4.702	24.479	-0,19	6,48
Masch	11.973	85.195	11.949	84.460	-0,20	-0,86
Büro	321	26.823	321	26.725	-0,08	-0,36
Elektriz	8.121	22.345	8.224	25.489	1,26	14,07
Nachricht	612	25.529	612	25.111	0,00	-1,64
Mess	14.056	23.610	13.977	23.577	-0,57	-0,14
Kraftwag	19.500	55.886	18.584	52.714	-4,69	-5,68
Sonst Fahr	4.519	23.391	4.438	20.203	-1,81	-13,63
Sonst Prod	252	6.573	230	6.565	-8,68	-0,13
Versorg	17.451	20.227	17.892	31.431	2,53	55,39
Bau	7.592	149.589	7.578	150.671	-0,19	0,72
Handel	34.462	28.642	32.635	28.230	-5,30	-1,44
Eisenb-DL	8.068	248	32.520	579	303,08	133,00
Landv-DL	16.088	8.407	11.817	8.219	-26,55	-2,24
Schiff-DL	1.326	0	1.519	0	14,56	-
Luft-DL	10.047	0	2.637	0	-73,75	-
Sonst-DL	38.896	0	35.404	0	-8,98	-
Nach-DL	16.439	0	16.014	0	-2,58	-
Banken	22.388	0	22.192	0	-0,87	-
Vermiet	142.932	3.784	142.256	3.762	-0,47	-0,56
Untern-DL	29.836	42.771	29.830	42.908	-0,02	0,32
Öff-DL	90.613	5.442	95.752	5.461	5,67	0,35

Die Höhe der Absolutwerte in der Tabelle zeigen an, welche Sektoren für die Investitionen bedeutend sind (grau in den ersten vier Spalten). Für die investierenden Sektoren sind dies neben der Landwirtschaft und dem Sektor Kraftwagen in erster Linie die Dienstleistungssektoren. Für die Investitionsgüterherstellung sind neben dem Bau, dem Handel, der Versorgung und den Unternehmensdienstleistungen die Produktionssektoren bedeutend.

Anhand der relativen Veränderung kann man sehen, dass die Sektoren von den Maßnahmen in EST-50% unterschiedlich stark beeinflusst werden. Unter den investierenden Sektoren unterliegen die Dienstleistungssektoren des Verkehrs den stärksten Veränderungen. Hier können die Eisenbahndienstleistungen ihre Investitionen verdreifachen. Neben den Eisenbahndienstleistungen erhöhen auch die Schifffahrtsdienstleistungen ihre Investitionen. Bei den anderen Dienstleistungen des Verkehrs gehen die Investitionen zurück. Daneben finden

sich noch Anstiege der Investitionen bei den Unternehmensdienstleistungen und den öffentlichen Dienstleistungen.

Auch in den Energiesektoren sind kleinere Verschiebungen erkennbar. So weisen die Sektoren Kohle und Öl eine sinkende Tendenz bei den Investitionen auf. Diese beruhen auf einer rückläufigen Tendenz beim Output (Output in EST-50% gegenüber BAU für Kohle: -9%; für Öl: -15%).

Diesen Rückgängen stehen Anstiege bei der Herstellung von Elektrizitätsgeräten und den Versorgungsunternehmen entgegen. Hier wirkt sich der erhöhte Output (+12% bzw. + 11%) positiv auf die Investitionen der beiden Sektoren aus.

Die Umlegung der Investitionen von den investierenden Sektoren zu den Investitionsgüter herstellenden Sektoren über die Investitionsmatrix (siehe Kapitel 6.3.1) führt zu einem anderen Bild. Hier zeigt sich vor allem ein Anstieg bei den Sektoren Stahl, Elektrizitätsgeräte und Versorgung. Dies lässt sich damit begründen, dass die Eisenbahndienstleistungen in hohem Maße von diesen Sektoren Investitionsgüter beziehen.

Die Investitionen im Produktionsbereich des Verkehrs werden im Verkehrsmodell mit Hilfe des Absatzes an Fahrzeugen und der Fahrzeugpreise berechnet. Hieraus ergeben sich die Investitionen im Produktionsbereich des Verkehrs (siehe Tabelle 7-3).

Tabelle 7-3: Investitionen in Fahrzeuge

Investitionen in Fahrzeuge [Mill. €]		1990	2000	2010	2020	2030
Straßen- fahrzeuge	BAU	12.771	12.840	15.550	17.967	20.244
	EST-50%	12.771	12.840	12.247	11.962	18.011
	EST-80%	12.771	12.840	9.070	7.228	14.708
Schienen- fahrzeuge	BAU	1.845	2.033	2.184	2.364	2.476
	EST-50%	1.845	2.033	2.210	3.800	6.700
	EST-80%	1.845	2.033	2.427	4.747	8.764
Schiffe	BAU	860	969	1.082	1.199	1.320
	EST-50%	860	969	1.125	1.312	1.514
	EST-80%	860	969	1.125	1.312	1.514
Flugzeuge	BAU	1.931	3.624	5.418	7.487	10.008
	EST-50%	1.931	3.624	3.450	2.944	2.619
	EST-80%	1.931	3.624	2.254	1.293	945
Gesamte Investitionen in Fahrzeuge	BAU	17.408	19.466	24.234	29.016	34.048
	EST-50%	17.408	19.466	19.032	20.018	28.843
	EST-80%	17.408	19.466	14.876	14.580	25.930

Erhöhte Investitionen zur Einhaltung der niedrigeren Emissionsgrenzwerte wirken einem zu erwartenden Absatzrückgang bei den Fahrzeugen entgegen. Die prognostizierten Investitionen zeigen, dass die höheren Investitionen in Schienenfahrzeuge die Verluste bei Nutzfahrzeugen und Flugzeugen nicht vollständig ausgleichen. Diese unterschiedlichen Entwicklungen für die Investitionen sind für das EST-80%-Szenario noch stärker ausgeprägt.

Insgesamt ergibt sich für die Investitionen aller Wirtschaftssektoren folgende Entwicklung (Abbildung 7-8):

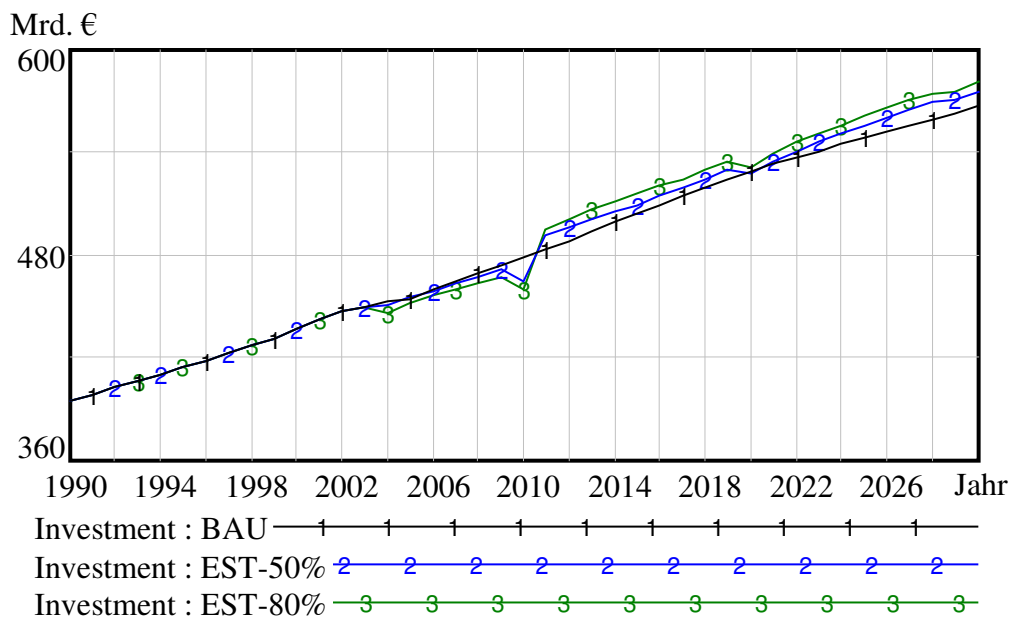


Abbildung 7-8: Gesamte Investitionen für BAU, EST-50% und EST-80%

Aus Abbildung 7-8 wird ersichtlich, dass in den umweltfreundlichen Szenarien in den ersten zehn Jahren weniger Geld in Verkehrswege und -gebäude investiert wird, was mit dem Wegfall des Ausbaus und lediglich der Erhaltung des Straßennetzes ab 2010 begründbar ist. Aufgrund der vorlaufenden Planungsphase beginnt der Ausbau des Schienennetzes erst nach 2010. Dadurch steigen die Investitionssummen der umweltfreundlichen Szenarien über die Höhe der Investitionsausgaben für das BAU-Szenario.

Betrachtet man die gesamten Investitionsausgaben, so fällt auf, dass die berechnete Kurve in unregelmäßigen Abständen für die EST-Szenarien Ausreißer nach unten aufweisen. Diese gehen mit der Einführung und Anhebung der Straßengebühr einher, welche auf die Transportpreise der Straße wirken. Im Güterverkehr finden durch die Preise Verlagerungen von der Straße auf die Schiene statt. Diese Verlagerungen führen zu einer Dämpfung der Investitionen in Lkw und Bauten, während die Investitionen für die Schiene erst nach 2010 zum Tragen kommen.

Daneben fällt noch auf, dass bei den Investitionen wie auch vorher beim Konsum die Entwicklung in den ersten Jahren für die EST-Szenarien schwächer ausfällt als in BAU, während sie im Verlauf des betrachteten Zeitraumes immer günstiger werden und teilweise im Jahr 2030 bessere Ergebnisse als das BAU-Szenario liefern.

(c) Gesamtübersicht der Nachfrageseite

Nach Bestimmung des Konsums und der Investitionen erfolgt über die Einberechnung der Staatsausgaben und des Exports die Endnachfrage der 32 Sektoren. Die Ergebnisse für die Endnachfrage und deren einzelnen Komponenten sind in Tabelle 7-4 aufgelistet.

Tabelle 7-4: Ergebnis für die Komponenten der Endnachfrage für BAU, EST-50% und EST-80%

Nachfrageseite		Konsum	Investitionen	Staatsausgaben	Export	Endnachfrage
Absolutwert im Jahr 2030 [Mrd. €]	BAU	1.749	566	716	2.086	5.022
	EST-50%	1.683	575	716	1.997	4.862
	EST-80%	1.653	581	716	1.894	4.718
Proz. Veränderung gegenüber BAU [%]	EST-50%	-3,75	1,61	0,00	-4,28	-3,17
	EST-80%	-5,47	2,55	0,00	-9,23	-6,04

Die stärksten Rückgänge ergeben sich bei den EST-Szenarien im Export. Dieser Rückgang begründet sich mit der hohen Bedeutung des Sektors Kraftwagen für den Export.

Insgesamt führt eine leicht rückläufige Tendenz beim Konsum, ein ausgeglichenes Ergebnis bei den Investitionen und etwas stärkere Rückgänge beim Export zu einer niedrigeren Endnachfrage. Sie liegt in EST-50% um etwa 3,2% unter der Endnachfrage von BAU. Dieser Rückgang verstärkt sich für EST-80% auf etwa 6,0 %.

7.4.2 Angebotsseite

(a) Kapital und Beschäftigung

Auf der Nachfrageseite zeigte sich eine ausgeglichene Entwicklung für die Investitionen. Dies wirkt sich natürlich auf die einzelnen Komponenten des Angebots aus. Kapital und Beschäftigung sind eng mit den Investitionen verknüpft. Daher weisen die Ergebnisse in der Summe ebenfalls ein ausgeglichenes Ergebnis aus. Auf sektoraler Ebene ergibt sich ein eher heterogenes Bild.

Tabelle 7-5 weist für die meisten Sektoren niedrigere Werte für Kapital und Beschäftigung in EST-50% gegenüber BAU aus. Davon abweichend sind Kapital und Beschäftigung bei den Sektoren Sonstiger Fahrzeugbau, Eisenbahndienstleistungen und Schifffahrtsleistungen höher. Der Anstieg beim Anlagekapital für Eisenbahndienstleistungen erscheint auf den ersten Blick sehr hoch. Hier muss man jedoch berücksichtigen, dass die neu geschaffene Infrastruktur wesentlich jünger und damit weniger abgeschrieben ist. Des Weiteren sind die neueren Anlagen auch moderner und deswegen auch teurer als die bestehende Infrastruktur.

Daneben profitieren der Sektor Bau und der Sektor Versorgung vom Infrastrukturausbau bzw. dem erhöhten Strombedarf und erreichen dadurch höhere Beschäftigtenzahlen als in BAU. Auch die öffentlichen Dienstleistungen weisen leichte Gewinne bei der Beschäftigung aus. Eine Ursache kann hier auch in der Steuerrückführung gesehen werden, welche die Arbeitskosten senkt.

Tabelle 7-5: Sektorales Kapital und sektorale Beschäftigung in BAU und EST-50%

Sektoren	BAU 2030		EST-50% 2030		Veränderung von EST-50% zu BAU	
	Kapital [Mill. €]	Beschäftigung [Tsd. Pers.]	Kapital [Mill. €]	Beschäftigung [Tsd. Pers.]	Kapital [%]	Beschäftigung [%]
Land	378.025	706	374.415	701	-0,95	-0,72
Kohle	69.853	14	67.585	14	-3,25	-1,86
Nahrung	209.728	199	209.201	199	-0,25	-0,22
Textil	59.934	564	59.885	564	-0,08	0,00
Papier	67.018	152	66.514	152	-0,75	-0,27
Öl	120.452	13	118.065	13	-1,98	-1,64
Pharma	80.882	590	80.015	584	-1,07	-0,98
Chemie	57.154	67	57.090	66	-0,11	-0,96
Kunst	84.267	326	81.330	315	-3,48	-3,43
Steine	38.027	58	38.027	58	0,00	-0,03
Stahl	110.304	528	110.231	527	-0,07	-0,33
Masch	227.596	489	227.409	487	-0,08	-0,49
Büro	17.655	41	17.654	41	-0,01	-0,38
Elektriz	133.598	530	134.169	527	0,43	-0,44
Nachricht	14.810	31	14.810	31	0,00	-0,18
Mess	207.795	266	207.180	266	-0,30	-0,10
Kraftwag	313.375	301	214.682	237	-31,49	-21,15
Sonst Fahr	78.178	60	129.152	102	65,20	70,52
Sonst Prod	8.437	15	8.276	15	-1,90	-2,13
Versorg	321.714	582	324.281	583	0,80	0,13
Bau	172.171	3.343	172.065	3.344	-0,06	0,02
Handel	600.085	7.173	584.780	7.104	-2,55	-0,96
Eisenb-DL	173.677	496	576.656	660	232,03	33,08
Landv-DL	333.810	548	168.995	507	-49,37	-7,47
Schiff-DL	26.622	74	28.278	77	6,22	4,84
Luft-DL	125.991	34	59.852	18	-52,50	-47,84
Sonst-DL	566.941	335	534.424	334	-5,74	-0,49
Nach-DL	288.719	600	286.028	600	-0,93	-0,07
Banken	374.112	1.216	372.832	1.215	-0,34	0,00
Vermiet	2.792.578	732	2.785.578	729	-0,25	-0,45
Untern-DL	499.209	3.890	498.287	3.884	-0,18	-0,16
Öff-DL	1.637.810	15.875	1.685.743	15.960	2,93	0,54

Zu den Verlierern zählen neben dem Sektor Kraftwagen und Landverkehrsleistungen auch der Handel. Eine mögliche Ursache ist darin zu sehen, dass der Handel in hohem Maße auf Kraftwagen und Straßenverkehr angewiesen ist. Sowohl Landverkehrsleistungen als auch Handel investieren zu über 25% in Kraftwagen. Hier erhöhen sich die Kosten für die Neuanschaffung und den Betrieb. Ebenfalls deutlich rückläufig sind die Sektoren Öl und Kohle, die von einer sinkenden Kraftstoffnachfrage betroffen sind.

(b) Gesamtübersicht der Angebotsseite

Betrachtet man die aggregierten Ergebnisse auf der Angebotsseite, so ergibt sich folgende Tabelle (Tabelle 7-6):

Tabelle 7-6: Angebotsseite für das BAU-Szenario und die EST-Szenarien

Angebotsseite		Kapital [Mrd. €]	Beschäftigung [Tsd. Pers.]	FuE [Mill. €]	Produktions- potenzial [Mrd. €]
Absolutwert im Jahr 2030	BAU	10.191	39.850	55.221	6.313
	EST-50%	10.293	39.914	57.974	6.356
	EST-80%	10.377	39.952	56.658	6.339
Proz. Veränderung gegenüber BAU [%]	EST-50%	1,01	0,16	4,99	0,68
	EST-80%	1,83	0,25	2,60	0,41

Insgesamt weisen die EST-Szenarien leichte Zugewinne beim Kapital und bei FuE aus. Der Anstieg beim Kapital gründet sich auf den höheren Investitionen, die in den EST-Szenarien getätigt werden.

Die FuE-Aufwendungen steigen in EST-50% um etwa 5%. Dieser Anstieg begründet sich über verstärkte Forschungsaktivitäten zur Einhaltung von Emissionsgrenzwerten bei den Sektoren Kraftwagen und beim sonstigen Fahrzeugbau. Da der Anteil dieser beiden Sektoren an den gesamten FuE-Aufwendungen sehr hoch ist, wirkt sich ein Anstieg auf die Gesamtsumme aus. Für EST-80% wird der Anstieg durch rückläufige Entwicklungen bei anderen Sektoren kompensiert.

Die Änderungen bei der Beschäftigung und beim Produktionspotenzial fallen wesentlich geringer aus. Dies ist durch die sektoralen Entwicklungen zu erklären. Zum Teil verlagert sich in den EST-Szenarien das Kapital von hoch effizienten auf weniger effiziente Sektoren. Deswegen wirkt sich der Anstieg im Kapital möglicherweise in geringerem Maße auf die anderen Faktoren aus.

7.4.3 Sensitivitätsanalysen

Um die Ergebnisse im Makromodell zu testen, wurden einige Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Sensitivitätsanalysen zeigen, wie robust die Ergebnisse eines Modells sind. Sie können dazu verwendet werden, den Einfluss einer Variable auf Modellergebnisse darzulegen. In EST wurde angenommen, dass der Sektor Eisenbahndienstleistungen seine Effizienz steigert. Umgesetzt wurde dies über eine Anhebung des exogenen technischen Fortschritts λ der Eisenbahndienstleistungen um etwa 0,035. Die Sensitivitätsanalyse (siehe Abbildung 7-9) zeigt Kurvenverläufe, bei denen dieser Wert um $\pm 20\%$ ($0,028 \leq \lambda \leq 0,042^3$) variiert wird. Die Ergebnisse des Sensitivitätslaufes werden im Vergleich zum EST-50%-Szenario dargestellt.

Während der exogene technische Fortschritt sich in einem $\pm 20\%$ -Intervall befindet, bewegt sich Produktionspotenzial um $\pm 0,4\%$ (obere Graphik). Bei den Investitionen beträgt die Bandbreite des Intervalls $\pm 0,1\%$ (mittlere Graphik). Das Kapital verändert sich nur um $\pm 0,06\%$ (untere Graphik).

Auch Zeitverläufe innerhalb des Modells können mit Sensitivitätsanalysen betrachtet werden. In Abbildung 7-9 erkennt man, wie sich ein Impuls von einer makroökonomischen Größe zur anderen ausbreitet. Zunächst steigen die Investitionen an, in schwächerem Maße und etwas zeitverzögert reagiert das Kapital. Die Änderung des Produktionspotenzials erfolgt mit einer deutlichen Zeitverzögerung, ist aber prozentual am stärksten.

³ Die Simulationen beginnen in dem Sensitivitätslauf mit $\lambda = 0,028$. In jeder weiteren Simulation wird ein $\Delta\lambda$ dazu addiert. Zum Abschluss bildet Vensim Prozent-Intervalle. Das 60%-Intervall bedeutet, in diesem Intervall befinden sich 60% aller Simulationen.

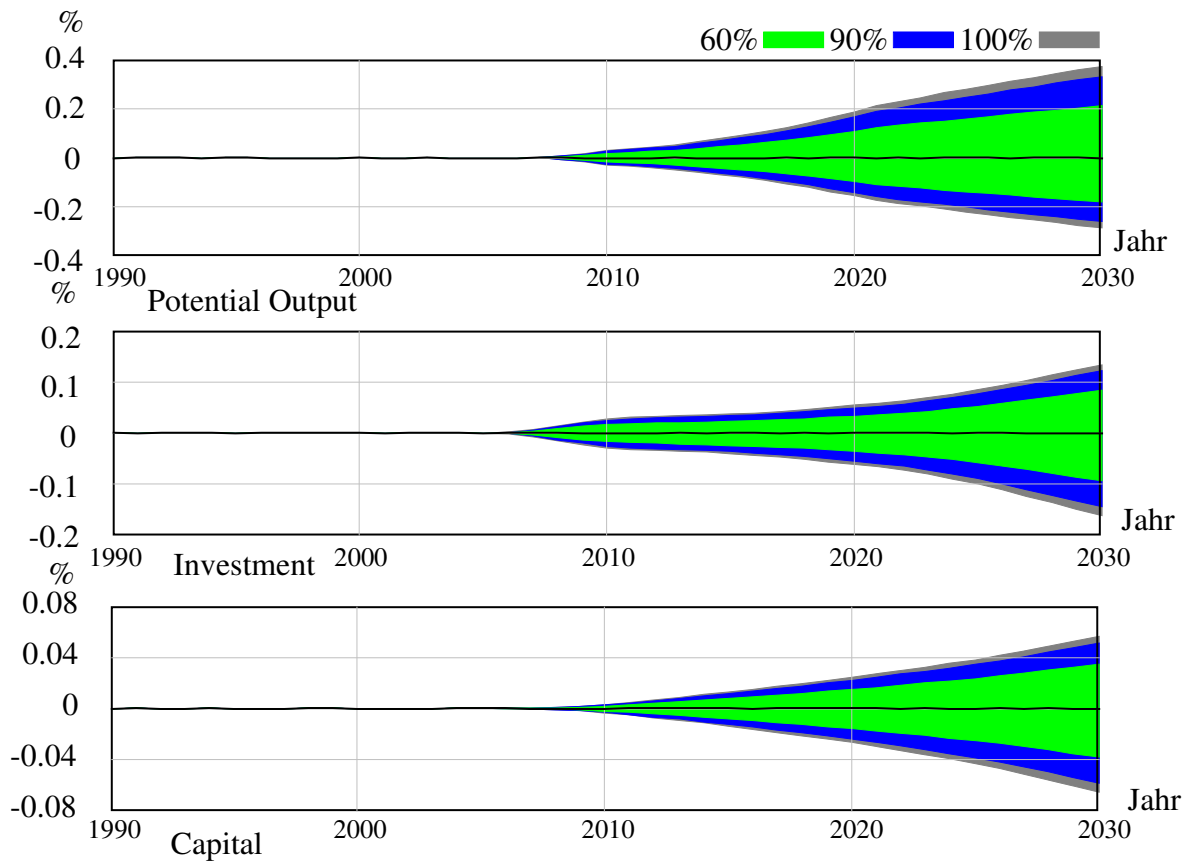


Abbildung 7-9: Auswirkungen einer Erhöhung des exogenen technischen Fortschritts der Eisenbahndienstleistungen verglichen mit EST-50%

Zu den schwierig zu schätzenden Parametern gehören Spillover-Effekte. Um die Auswirkung von Spillover-Effekten zu analysieren, wurde deren Stärke ebenfalls variiert (Abbildung 7-10).

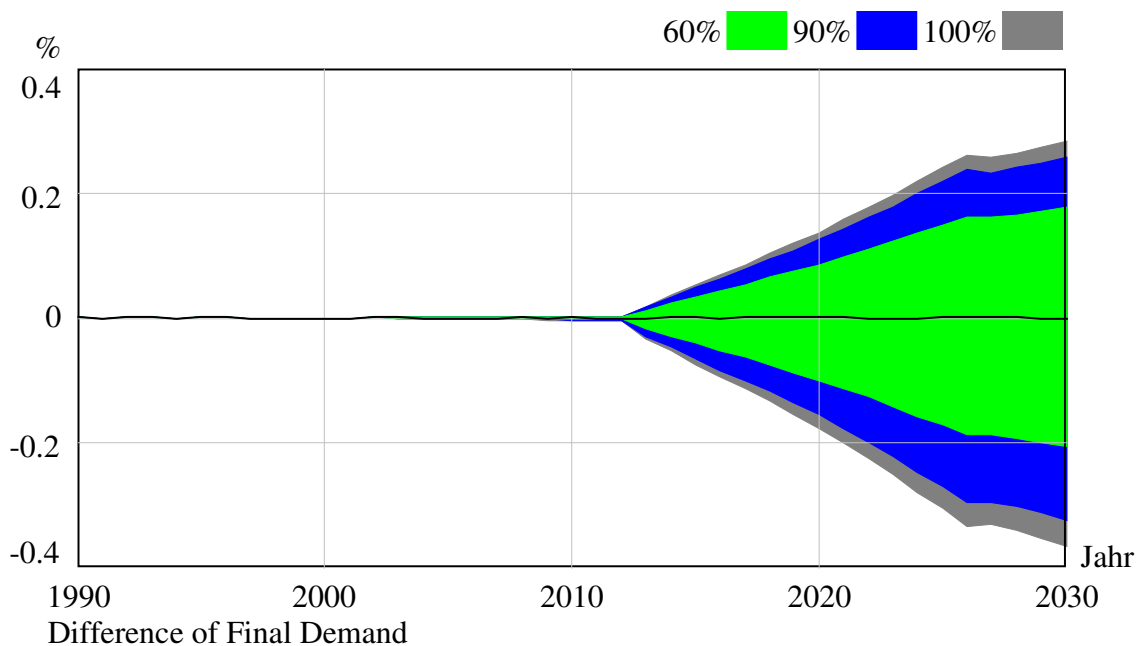


Abbildung 7-10: Unterschied in der Endnachfrage bei Variation von Spillover-Effekten verglichen mit EST-50%

In ESCOT liegen die Spillover-Effekte bei 2 – 3% der FuE-Aufwendungen des Sektors Kraftwagen. Für die Sensitivitätsanalyse werden Spillover-Effekte zwischen 0 – 6% betrachtet. Als Ergebnis zeigt Abbildung 7-10, dass die Auswirkungen von Spillover-Effekten auf die Endnachfrage bei $\pm 0,4\%$ liegen. Dieser Wertebereich findet sich auch bei den Auswirkungen auf das Produktionspotenzial, während er beim Kapital niedriger liegt.

Auch auf sektoraler Ebene lassen sich Sensitivitätsanalysen durchführen. Bei der Bestimmung der Input-Koeffizienten wurden auch Annahmen über technologische Veränderungen getroffen. Für den Sektor Kraftwagen und den sonstigen Fahrzeugbau wurde angenommen, dass weniger Stahl und dafür mehr messtechnische Bauteile als Vorleistung benötigt werden. Diese Verschiebung bewirkt eine erhöhte Nachfrage nach messtechnischen Bauteilen. Die Stärke dieser Verschiebung in EST-50% variiert im Sensitivitätslauf zwischen 50 und 200%. In Abbildung 7-11 ist der Verlauf der produzierten Vorleistungen des Sektors Messtechnik aufgezeichnet:

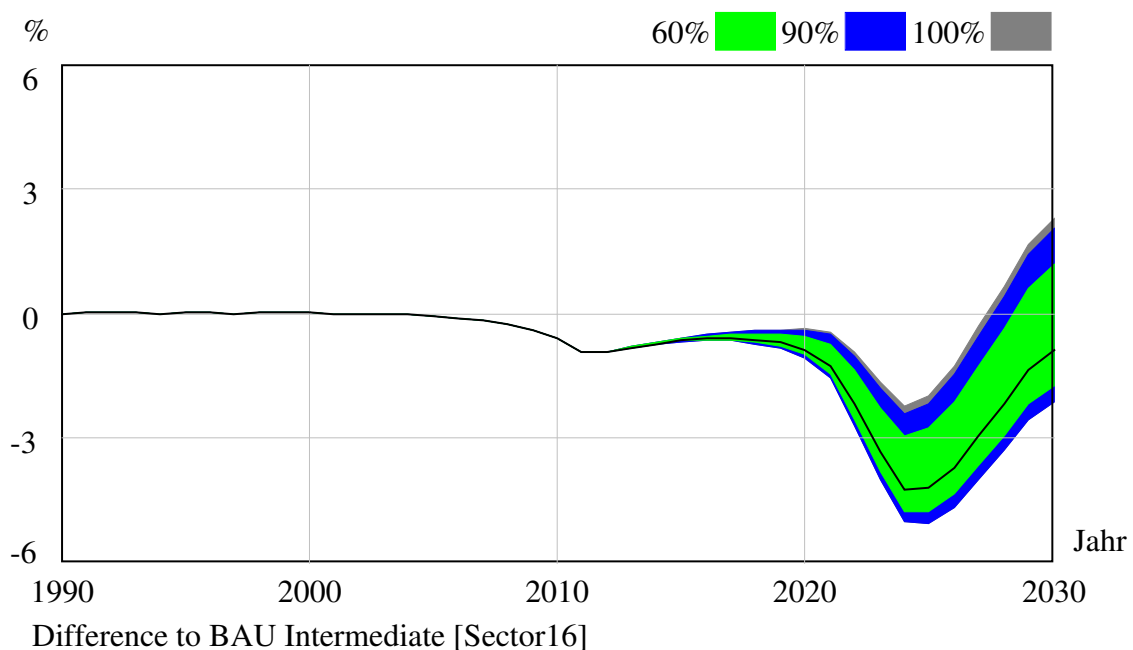


Abbildung 7-11: Vergleich der Vorleistungen der Messtechnik zwischen einem Sensitivitätslauf und BAU

In der Abbildung 7-11 ist die Differenz der Vorleistungen der Messtechnik zwischen einem Sensitivitätslauf und dem BAU-Szenario gezeigt. Zwischen 2005 und 2015 kommt es durch die Maßnahmen des EST-50%-Szenarios zu Rückgängen für den Sektor Messtechnik (im Vergleich zu BAU). Diese können zu einem ganz geringen Teil von einer Veränderung der Vorleistungsstruktur bei den Produktionssektoren des Verkehrs kompensiert werden. Dann zeichnet sich ein Rückgang ab, der in etwa zum selben Zeitpunkt erfolgt, zu dem in EST-50% die preispolitischen Maßnahmen verschärft werden. Der weitere Verlauf hängt stark von der Entwicklung der Input-Koeffizienten ab. Findet eine sehr starke Veränderung der Vorleistungsstruktur statt, so können für den Sektor Messtechnik negative Effekte überkompensiert werden.

Insgesamt erweist sich die Sensitivitätsanalyse als nützliches Instrument sowohl auf der makroökonomischen als auch auf der sektoralen Ebene. Es ermöglicht eine genauere Schätzung volkswirtschaftlicher Auswirkungen. Dies ist besonders bei schwierig zu bestimmenden Parametern von Bedeutung.

7.4.4 Gesamtbetrachtung über die makroökonomische Bewertung

Insgesamt zeigt die Bewertung des EST-Szenarios zeigt, dass eine Abkehr von der am Pkw und Straßengüterverkehr orientierten Verkehrspolitik bei weitem nicht zu einem wirtschaftlichen Zusammenbruch führen wird. Die Effekte auf die aggregierten Wirtschaftsindikatoren sind eher gering. Die Änderungen wirken sich auf der Nachfrageseite stärker aus als auf der Angebotsseite. Die Ursache ist darin zu sehen, dass die preispolitischen Maßnahmen zu einer Erhöhung der Kosten und auch der Steuereinnahmen führen. Die erhöhten Kosten bremsen zunächst einmal den Nachfragekreislauf. Die erhöhten Steuereinnahmen werden zum großen Teil verwendet, um die Schieneninfrastruktur auszubauen. Nur der Überhang wird an die Konsumenten zurückgeführt. Daher findet hier auf der Nachfrageseite keine volle Kompensation statt. Da der Sektor Kraftwagen sehr exportlastig ist, sind die Auswirkungen auf den Export am höchsten. Auf der Angebotsseite hat man zum Teil positive Effekte durch erhöhte FuE-Aufwendungen, die isoliert betrachtet zu einer Steigerung des Produktionspotenzials führen würden. Die Investitionen in die Infrastruktur erhöhen die gesamten Investitionen und gleichen so negative Effekte, die von der Nachfrageseite her rühren, aus.

Insgesamt sind die Ausschläge bei EST-80% auf der Nachfrageseite etwa doppelt so hoch wie bei EST-50%. Berücksichtigen muss man hier, dass in EST-80% wesentlich weniger als das Doppelte an CO₂-Emissionen reduziert wird. Dies zeigt also, dass die volkswirtschaftlichen Auswirkungen mit jedem zusätzlich vermiedenen Prozent an CO₂-Emissionen (im selben Zeitraum) stärker werden.

Das EST-50%-Szenario erlaubt durch eine Ausweitung des Zeithorizonts für die EST-Anpassung eine Modifizierung der politischen Maßnahmen in der Weise, dass die preispolitischen Maßnahmen mit einer geringeren Intensität eingesetzt werden, während die technisch orientierten Maßnahmen weitestgehend unverändert blieben. Dies mindert auf der Nachfrageseite die negativen Auswirkungen bei in etwa gleich bleibenden Auswirkungen auf der Angebotsseite.

Während auf aggregierter Ebene die Effekte gering ausfallen, ergeben sich sektoral größere Unterschiede. Am stärksten fallen die Änderungen dort aus, wo man es zunächst auch erwarten würde: bei den Produktions- und Dienstleistungssektoren des Verkehrs. Da die Sektoren über Vorleistungen und Investitionen miteinander verknüpft sind, werden auch einige andere Sektoren indirekt betroffen. Negative Auswirkungen ergeben sich hier z. B. für Kohle, Öl und den Handel. Positivere Entwicklungen weisen die Sektoren Elektrizitätsgeräte und Stahl auf, in welche die Eisenbahndienstleistungen in hohem Maße investieren, und die Versorgung, die vom erhöhten Strombedarf profitiert. Als Ergebnis der Sensitivitätsanalyse zeigt sich, dass Sektoren, wie z. B. die Messtechnik, von gegenläufigen Einflüssen betroffen sind. Hier kommt es zunächst zu Rückgängen, bevor diese Sektoren von einer Änderungen der Vorleistungsstruktur in den Produktionssektoren des Verkehrs profitieren können.

7.5 Qualitative Bewertung der Szenarien

Unumgänglich ist es, auf den Szenarien-Charakter des Assessment hinzuweisen. Aufgrund des langen Zeithorizonts und der Komplexität der Fragestellung sind die Ergebnisse nicht als exakte Prognosen zu verstehen. Sie spiegeln eher ein generelles Bild wider. Daher wird das Bild, das sich aus der quantitativen Analyse ergibt, durch eine qualitative Betrachtung ergänzt.

In dem EST-Projekt erfolgt das Erreichen von Nachhaltigem Verkehr über Anstöße aus der politischen Sphäre. Politische Maßnahmen, die das Verkehrssystem beeinflussen, bedürfen jedoch der Zustimmung der Bevölkerung. Trotz des Anstiegs des Umweltbewusstseins in

der Bevölkerung kann beobachtet werden, dass deren Konsumpräferenzen und damit deren (Kauf-) Entscheidungen sich als relativ stabil erwiesen⁴.

Dies ist aus systemtheoretischer Sicht nicht verwunderlich. Entscheidungen werden in einem ganz bestimmten Systemumfeld und unter bestimmten Regeln getroffen. Die Überzeugung für ein bestimmtes Systemumfeld kann von der Entscheidung abweichen, wenn Individuen erkennen, dass Umweltbelastungen nur auf der Systemebene gelöst werden können. Des Weiteren wird möglicherweise mit zunehmenden Umweltbelastungen auch das Umweltbewusstsein weiter steigen. Dies könnte die Durchsetzung der politischen Maßnahmen erleichtern.

Wie könnte eine Gesellschaft aussehen, die sich an Nachhaltigkeit orientiert? Die Friedrich-Ebert-Stiftung beschreibt die Rahmenbedingungen einer nachhaltigen Gesellschaft mit folgenden Elementen⁵:

- ein Steuersystem, welches umweltfreundliche Produktionsweisen und umweltfreundliches Konsumentenverhalten belohnt.
- ein Rechtssystem, welches sich eng an das Verursacherprinzip bindet.
- ein Innovationssystem, welches speziell Umweltinnovationen fördert.
- internationale Zusammenarbeit, um Umweltdumping zu verhindern.

Unter diesen allgemeinen Rahmenbedingungen könnte der Schritt zu EST leichter vollzogen werden. Auch der Lebensstil in EST würde sich dann in sozialen und umweltbezogenen Aspekten von BAU unterscheiden. Zu den sozialen Aspekten führt Adams eine Reihe von Änderungen an. In EST gäbe es u. a.⁶:

- geringere Einkommensunterschiede,
- mehr soziale Kontakte zur Nachbarschaft,
- höhere Kinderfreundlichkeit,
- geringere Kriminalitätsrate und
- weniger Gefahren für Fußgänger und Fahrradfahrer.

In einzelnen Punkten ist der Nachweis eines direkten Zusammenhangs nur schwer oder nicht zu erbringen. Dennoch zeigen Studien z. B. eine deutlich höhere Anzahl an sozialen Kontakten mit der Nachbarschaft im Umkreis weniger belasteten Straßen⁷.

Die lokalen Umweltbedingungen weichen in EST deutlich von BAU ab. Die Bodenfläche wäre in geringerem Maße zersiedelt. Lärmwerte und die lokalen Luftschadstoffe wären deutlich reduziert. Dies hätte zunächst einmal direkte Auswirkungen auf das Wohlbefinden der Menschen. Ausgehend vom Wohlbefinden und den niedrigeren Umweltbelastungen lassen sich geringere Kosten für die Gesundheit begründen⁸.

⁴ vgl. Rothengatter (1999), S. 10

⁵ vgl. Friedrich-Ebert-Stiftung (2005)

⁶ vgl. Adams (2000), S. 96

⁷ vgl. Adams (2000), S. 120f

⁸ Trotz der Unsicherheiten bei der Bewertung wurde eine Schätzung der Umwelt- und Gesundheitskosten in BAU und EST im Jahr 2015 für die am EST-Projekt beteiligten Länder unternommen. Diese kommen zu dem Ergebnis, dass die Umwelt- und Gesundheitskosten in BAU bei 5% und in EST bei 2% des Bruttoinlandsprodukts liegen. Vgl. Wiederkehr et. al. (2004), S. 19f. Als Grundlage wurden Ergebnisse von INFRAS&IWW verwendet. Vgl. INFRAS, IWW (2000)

Die CO₂-Problematik wirkt sich auf globaler Ebene aus. Während große Übereinstimmung über die Beeinflussung des Klimas durch anthropogene CO₂-Emissionen herrscht⁹, sind genaue Schätzungen über deren Wirkung unklar. CO₂-Emissionen könnten lineare oder nicht-lineare Effekte auslösen, und damit zu Instabilitäten des Klimas führen¹⁰.

Diese Ungewissheiten führen u. a. auch dazu, dass es so schwierig ist, die Umweltbelastungen exakt zu bewerten. Daher finden sich in Analysen über die Kosten von Umweltbelastungen häufig sehr breite Intervalle¹¹.

Auch die Frage, wer in welcher Weise von einem Klimawandel betroffen ist, lässt sich nicht abschließend antworten. Dennoch scheint es notwendig, aufgrund der Schwere möglicher Folgen hier vorsorglich zu handeln.

Sowohl bei den lokalen und globalen Umweltbelastungen als auch bei den sozialen Aspekten sind die Auswirkungen nur schwer zu quantifizieren. Sie berühren dennoch die Fragestellung und sind daher gedanklich in die Bewertung einzubeziehen.

7.6 Zusammenfassung des Assessment

Als erste Erkenntnis aus dem Assessment der EST-Szenarien ergibt sich, dass die anvisierten Ziele im Verkehr mit Ausnahme des Güterverkehrs in EST-80% erreicht werden können. Dies zeigen auch die Verläufe der CO₂-Emissionen, die für EST-50% das gewünschte Ziel erreichen und für EST-80% knapp verfehlen.

Die volkswirtschaftliche Bewertung weist über alle makroökonomischen Größen nur geringere Veränderungen aus. Konsum und Exporte sind in den EST-Szenarien am stärksten negativ betroffen. Als Grund sind hier die höheren Kosten im Straßenverkehr zu sehen. Die Steuereinnahmen werden zu einem Teil in die Infrastruktur reinvestiert und zum anderen Teil durch Steuersenkungen an die Konsumenten rückerstattet.

Die Ergebnisse für Investitionen, Kapital und Beschäftigung sind dagegen ausgeglichen. Durch die höheren Infrastrukturinvestitionen und den Anstieg der FuE-Aufwendungen werden hier negative Auswirkungen kompensiert. Daher sind die Veränderungen auf der Angebotsseite nur marginal.

Die Analyse der sektoralen Ergebnisse erlaubt ein wesentlich differenzierteres Bild. Veränderungen hängen eng mit der Verflechtung der Sektoren zusammen, die sich aus der Vorleistungs- und der Investitionsmatrix ergibt.

Der spekulative Charakter der Fragestellung erfordert es, die quantitative Analyse durch eine qualitative zu ergänzen. Die qualitative Analyse weist auf die Rahmenbedingungen hin, die eine Entwicklung zu EST begünstigen würden. Beim Erreichen der EST-Kriterien ergeben sich Vorteile in sozialen und umweltbezogenen Belangen, die allerdings nur schwer zu quantifizieren sind.

⁹ vgl. Nordhaus (1982), S. 242; Burroughs (2001), S. 267ff

¹⁰ vgl. Romanova (2005). Romanova liefert eine Untersuchung zur Stabilität des gegenwärtigen Klimas.

¹¹ vgl. Cline (2004), S. 21ff; vgl. Nordhaus (1982), S. 243. Nordhaus bestimmt Kostensätze zwischen 10 – 70 \$ pro t CO₂. In der Arbeit von Weyant (Weyant (2001), S. 193ff) findet sich ein Überblick über verschiedene Ansätze zur Berechnung der Kosten des Klimawandels und eine Analyse darüber, warum verschiedene Ansätze zu verschiedenen Ergebnissen kommen.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Anlass zu der Dissertation ist das von der OECD initiierte Projekt „Environmentally Sustainable Transport“ (EST). Dieses wurde 1994 von der Arbeitsgruppe Verkehr der OECD mit dem Ziel gegründet, Wege zu einer dauerhaft nachhaltigen Verkehrsentwicklung zu finden und zu beschreiben.

An dem Projekt beteiligten sich eine Reihe von Ländern, die entweder Länder- oder Gebietsstudien anfertigten. Für Deutschland wurde die Fallstudie unter der Projektleitung des Umweltbundesamtes erstellt. Neben dem Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW) war das Wuppertal Institut ein weiterer Projektpartner.

In den ersten Projektabschnitten wurden gemeinsam drei verschiedene zukünftige Verkehrsszenarien ausgearbeitet. Im „Business-as-Usual“-Szenario (BAU) wurden die gegenwärtig erkennbaren Trends für die zukünftige Entwicklung fortgeschrieben. Für die „Environmentally Sustainable Transport“-Szenarien (EST) wurden preispolitische und technische Maßnahmen angenommen, die zu gravierenden Änderungen im Verkehrs- und Umweltbereich führen. Im Vordergrund der EST-Szenarien stand eine Verminderung der CO₂-Emissionen im Verkehr um 80% (im EST-80%-Szenario) bzw. 50% (im EST-50%-Szenario) bis zum Jahr 2030 gegenüber 1990. Bei solch starken Änderungen im Verkehr stellt sich die Frage nach der Bewertung der verschiedenen Szenarien.

In der Dissertation wird das Modell „Economic assessment of Sustainability policies Of Transport“ (ESCOT) entwickelt. Die zentrale Aufgabe von ESCOT ist die volkswirtschaftliche Bewertung der Szenarien. Bei der Bewertung sind besonders der lange Zeitraum der Szenarien und die Komplexität des Problems zu berücksichtigen. Wegen dieser Eigenschaften liegt es nahe, als Methode zur Modellerstellung den System Dynamics Ansatz anzuwenden. System Dynamics basiert auf der Systemtheorie und bemüht sich um eine ganzheitliche Sichtweise, ohne die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Einflussgrößen zu zerreißeln. Als ein zentrales Element werden in System Dynamics Rückkopplungen verstanden. Von den Rückkopplungen geht der stärkste Einfluss auf das Systemverhalten aus. Daher wird ein Schwerpunkt bei der Modellentwicklung auf die Identifikation von Rückkopplungen gelegt.

Wählt man System Dynamics als Modellierungswerkzeug, erscheint es notwendig, den Ansatz von anderen wie der Ökonometrie und der Gleichgewichtsmodellierung abzugrenzen. Die Ökonometrie eignet sich zur Modellerstellung, wenn man davon ausgehen kann, dass die statistisch analysierte Struktur innerhalb des Prognosezeitraums unverändert bleibt.

Da die Gleichgewichtsmodellierung im allgemeinen auf den neoklassischen Theoriengebäuden beruht, ist sie angemessen für Fragestellungen, in denen weder Markt- und Staatsversagen noch evolutorische und dynamische Entwicklungen als wesentliches Merkmal auftreten.

System Dynamics erscheint genau dann angebracht, wenn das Systemverhalten stark von den übergeordneten Rückkopplungen und Zustandsgrößen abhängig ist. Auch für Fragestellungen, in denen der Zeitverlauf einer Entwicklung (z. B. Investitionszyklen) oder die Integration mit anderen Disziplinen von großer Bedeutung ist, eignet sich System Dynamics durch seinen flexiblen Ansatz.

Ein Schwerpunkt der Arbeit liegt darin, die volkswirtschaftlichen Auswirkungen mit System Dynamics abzuschätzen. Zu diesem Zweck wird untersucht, auf welchen ökonomischen Theorien System Dynamics sinnvollerweise aufbauen sollte. Evolutorische und keynesianische Ansätze sind hier als erstes zu nennen. Aber auch neoklassische Ansätze können in Einzelfällen zur Modellierung von Partialmodellen sinnvoll sein.

Im ersten Schritt der System Dynamics Modellierung wurde das eng an keynesianische und neoklassische Theorien angelehnte Modell KEYNEO entwickelt. In KEYNEO wurde mit wenigen Gleichungen ein Modell entworfen, das die wesentlichen volkswirtschaftlichen Variablen auf aggregierter Ebene bestimmt. Dabei wird die Volkswirtschaft zunächst durch eine Anzahl von Rückkopplungen beschrieben. Im Anschluss daran wurden die Gleichungen spezifiziert und die Parameter geschätzt. Der Vorteil von KEYNEO liegt darin, an einem langen Zeitraum und mit exakten Methoden kalibriert worden zu sein. Insgesamt kann damit gezeigt werden, dass das hier bestimmte volkswirtschaftliche Modell als Grundstruktur für komplexere Modelle wie ESCOT dienen kann.

Im zweiten Schritt der System Dynamics Modellierung wurde das disaggregierte Modell ESCOT entwickelt. ESCOT umfasst ein Makro-, Regionalwirtschafts-, Verkehrs- und Umweltmodell sowie die politischen Sphäre. Das Makromodell basiert auf der in KEYNEO entwickelten Grundstruktur. Auf der Angebotsseite berechnet es Kapital, Beschäftigung, FuE-Aufwendungen und Produktionspotenzial für 32 Wirtschaftssektoren. Auf der Nachfrageseite werden als wesentliche Größen der Konsum, die Investitionen und die Endnachfrage für die 32 Wirtschaftssektoren bestimmt. Abgerundet wird das Makromodell durch die Integration einer Input-Output-Tabelle. Das Regionalwirtschaftsmodell berechnet regionale Daten wie z. B. Bevölkerung und Pkw-Besitzrate für funktionale Gebietstypen (städtisch, ländlich etc.). Diese Gebietstypen werden auch im Verkehrsmodell verwendet. Zusätzlich unterscheidet dieses Modell zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln (Straße, Schiene, Wasser, Luft) und verschiedenen Typen von Infrastrukturverbindungen (z. B. Hochgeschwindigkeitsverbindungen zwischen Ballungsräumen). Im Verkehrsmodell wird der Personen- und der Güterverkehr für verschiedene Verkehrsträger abgebildet. Den Schwerpunkt des Verkehrsmodells bilden die Fernverkehre für Personen und Güter, die detailliert mit ihren jeweiligen Rückkopplungen und Wirkungsbeziehungen abgebildet sind. Die Modellierung des Personenverkehrs basiert auf dem Vier-Stufen-Ansatz, in den Zeiten und Preise eingehen. Die Preise, die durch die politischen Maßnahmen beeinflusst werden, wirken auf das Fahrtenaufkommen, die Verkehrsmittelwahl und andere Variablen des Verkehrs. Das Umweltmodell berechnet die Emissionsdaten für die Verkehrsleistungen. Das politische Modell bildet die politischen Maßnahmenpakete ab. Da die meisten politischen Maßnahmen einen direkten Einfluss auf das Verkehrsmodell haben, stellt das Verkehrsmodell in der Regel den Ausgangspunkt für die Veränderungen des Gesamtmodells dar.

Von besonderer Wichtigkeit für die Dissertation ist die Modellierung des Makromodells. Auf der Nachfrageseite stellen Konsum, Investitionen, Export und Endnachfrage wesentliche Größen dar. Betrachtet man Investitionen auf sektoraler Ebene, so ist eine Unterscheidung nach investierenden und Investitionsgüter herstellenden Sektoren notwendig. Aus den Zeitreihen für die Investitionen lässt sich eine Investitionsmatrix bestimmen.

Sektorale Produktionsfunktionen bilden den Kern auf der Angebotsseite des Makromodells. Als Produktionsfunktion wird hier eine „Constant Elasticities of Scale“ (CES)-Produktionsfunktion verwendet. Die Parameter werden geschätzt und ermöglichen eine Reihe von Interpretationen. Es lässt sich eine Einteilung in arbeits- und kapitalintensive Sektoren vornehmen. Ebenso kann man Sektoren nach der Höhe der Skalenerträge und der Substitutionselastizität unterscheiden. In einer erweiterten CES-Produktionsfunktion gehen auch die sektoralen FuE-Aufwendungen mit einer Zeitverzögerung ein. Den FuE-Aufwendungen kann so ein Teil des Fortschritts zugeschrieben werden.

Die auf der Nachfrage- und der Angebotsseite bestimmten Größen gehen in die Berechnung der Input-Output-Tabelle ein. Zur Bestimmung der Vorleistungen werden hier Input-Koeffizienten benötigt. Der Basistrend der Input-Koeffizienten wird zunächst geschätzt. Als weitere Einflussgrößen werden hier Änderungen durch die Fahrzeugtechnologie und Preise im Verkehr berücksichtigt.

Mit dem System Dynamics Modells ESCOT wurde eine Bewertung der BAU, EST-50% und EST-80%-Szenarien vorgenommen. Es kann gezeigt werden, dass die politischen Maßnahmenpakete des EST-50% und des EST-80%-Szenarios ausreichen, die Nachhaltigkeitsziele zum überwiegenden Teil zu erreichen. Für das EST-80%-Szenario reichen im Güterverkehr auf der Straße die Verlagerungen auf andere Verkehrsträger nicht aus, aber insgesamt divergieren die in der deutschen Fallstudie angestrebten CO₂-Minderungen nur wenig von den mit ESCOT modellierten CO₂-Minderungen. Zudem sind für alle anderen Güterverkehrsträger sowie für das EST-50%-Szenario die Zielwerte bei den Verkehrsleistungen und den Luftschadstoffemissionen weitgehend erfüllt. Dies unterstreicht die Durchführbarkeit der EST-Szenarien und zeigt, dass generell "Nachhaltiger Verkehr" im Bezug auf die untersuchten Emissionen bis zum Jahr 2030 unter den gewählten politischen Maßnahmen für EST möglich ist.

Nach der Überprüfung auf die mögliche Durchführbarkeit der Szenarien liegt der Schwerpunkt von ESCOT in der Bewertung der wirtschaftlichen Auswirkungen der EST Szenarien. Die Bewertung des EST-80%-Szenarios zeigt, dass eine Abkehr von der am Pkw und Straßengüterverkehr orientierten Verkehrspolitik bei weitem nicht zu einem wirtschaftlichen Zusammenbruch führen wird. Die Effekte auf die aggregierten Wirtschaftsindikatoren sind eher gering, sektoral hingegen zeigen sich aber durchaus größere Unterschiede.

Neben den Sektoren „Sonstiger Fahrzeugbau“ und den „Eisenbahndienstleistungen“ können auch die Sektoren „Stahl“, „Elektrizitätsgeräte“ und „Versorgung“ profitieren. „Stahl“ und „Elektrizitätsgeräte“ sind über die Investitionskoeffizienten-Matrix und „Versorgung“ über die Input-Koeffizienten-Matrix mit „Sonstiger Fahrzeugbau“ und „Eisenbahndienstleistungen“ verknüpft. Daneben würden sich vor allem bei den „Öffentlichen Dienstleistungen“ positive Effekte bemerkbar machen. Diese könnten sich aufgrund der Rückführung zusätzlicher Steuereinnahmen besser entwickeln.

Zu den Sektoren, die in EST eine schlechtere Performance als in BAU haben würden, gehören die Sektoren „Kraftwagen“, „Land-“ und „Luftverkehrsdienstleistungen“. Schwach negative Effekte finden sich auch beim Sektor „Mineralölverarbeitung“ und dem „Handel“.

Insgesamt erlaubt das EST-50%-Szenario durch eine Ausweitung des Zeithorizonts für die EST-Anpassung eine Modifizierung der politischen Maßnahmen in der Weise, dass die preispolitischen Maßnahmen mit einer geringeren Intensität eingesetzt werden, während die technisch orientierten Maßnahmen weitestgehend unverändert bleiben. Dies mindert auf der Nachfrageseite die negativen Auswirkungen insofern, dass sektorale Verluste für die Verkehrsdienstleistungen geringer ausfallen und durch Gewinne in anderen Sektoren zum Teil kompensiert werden können. Durch mehr technisch orientierte, politische Maßnahmen erhöhen sich die FuE-Aufwendungen, die technischen Fortschritt induzieren. Damit wird auf der Angebotsseite eine positive Entwicklung eingeleitet, welche die Auswirkungen der Nachfrage dämpft. Daher liegen die Werte der aggregierten Wirtschaftsindikatoren für EST-50% sehr nahe bei den Werten des BAU-Szenarios. In EST-50% können im Vergleich zu EST-80% größere negative Effekte vermieden werden, so dass EST-50% aus wirtschaftlicher Sicht positiver zu bewerten ist.

Die vorliegende Dissertation hat gezeigt, dass systemdynamische Modelle ein geeignetes Werkzeug sind, um langfristige, wirtschaftliche Prozesse abzubilden. Ein Vorteil gegenüber anderen Methoden liegt darin begründet, dass sie Rückkopplungen eines Systems sinnvoll abbilden können. Der zweite Vorteil von System Dynamics stellt gleichzeitig auch ein Risiko dar. Die mentale Kreativität, die eine der vier Säulen von System Dynamics darstellt, ermöglicht es, ungefähres Wissen in die Modelle einzubringen. Dies schafft viel Raum für Annahmen, mahnt aber auch zur Pflicht, die entsprechenden Annahmen zu begründen.

Der dritte Vorteil liegt in der Modellierung der zeitlichen Dynamik. Vielfach finden in einem System zeitverzögerte Prozesse statt, die ihre Wirkungen erst später entfalten. Investitionen in Infrastruktur und FuE-Aufwendungen brauchen einige Zeit, um ihre Wirkung voll zum Tragen bringen zu können.

Ein umfangreiches Modell wie ESCOT bietet natürlich viele Anknüpfungspunkte. Für zukünftige Forschungsarbeiten könnte die Einbindung weitere Fortschrittsindikatoren von Nutzen sein. Die Verwendung von z. B. Patentdaten wird möglicherweise den technischen Fortschritt im Modell tiefgreifender erklären können. Die Erstellung einer Verflechtungsmatrix über Patente könnte hier ebenfalls einen zusätzlichen Beitrag leisten. Auch wäre es zu prüfen, ob sich signifikante Zusammenhänge zwischen einer Patent-Matrix und der Input- oder der Investitionskoeffizienten-Matrix finden lassen.

Zur Modellierung volkswirtschaftlicher Zusammenhänge sind auch die kleineren, methodisch ausgerichteten Modelle wie KEYNEO sinnvoll. Hier besteht sicher noch Potenzial bei der Übertragung von evolutorischen, keynesianischen und neoklassischen Theorien in System Dynamics Modelle. Interessant wäre es dabei, den zusätzlichen Beitrag zum Verständnis von volkswirtschaftlichen Fragestellungen durch System Dynamics auszuloten.

Mit dieser Dissertation wird die wissenschaftliche Forschung in zweifacher Weise vorangetrieben. Aus systemdynamischer Sicht wird die Darstellung volkswirtschaftlicher Zusammenhänge erweitert. Dies umfasst sowohl die Einbettung von keynesianischen und neoklassischen Theorien in System Dynamics als auch die Anwendung von statistischen Verfahren bei der Modellerstellung. Der zweite Fortschritt besteht in der Verbindung von System Dynamics, sektoralen Produktionsfunktionen und Input-Output-Tabellen. Hiermit wird ein leistungsfähiges Werkzeug zur volkswirtschaftlichen Bewertung komplexer, interdisziplinärer Szenarien geschaffen.

Anhang A: Literatur

- Adams, J. (2000): The Social Implications of Hypermobility. In: OECD: Project on Environmentally Sustainable Transport (EST) - The Economic and Social Implications of Sustainable Transportation, OECD, Paris.
- Anylogic (2005): Anylogic 5.2.0. Im Internet zu finden unter: <http://www.xjtek.com>, 28.01.2005.
- Barker, T.; Gardiner, B.; Huang, C.-D.; Jennings, N.; Schurich, C. (1999): E3ME Users' Manual. Cambridge Econometrics, Cambridge.
- BMBF (1988): Bundesbericht Forschung 1988. Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Bonn.
- BMBF (1993): Bundesbericht Forschung 1993. Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Bonn.
- BMBF (1996): Bundesbericht Forschung 1996. Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Bonn.
- BMBF (1998): Faktenbericht 1998. Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Bonn.
- BMBF (2000): Bundesbericht Forschung 2000. Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Bonn.
- BMBF (2002): Faktenbericht 2002. Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Bonn.
- Boeters, S.; Boehring, C.; Loeschel, A. (2003): How to regulate CO₂-Emissions of Passenger Cars in Europe. WCTR, Istanbul.
- Böhringer, C.; Boeters, S.; Feil, M. (2004): Taxation and Unemployment: An Applied General Equilibrium Approach. ZEW, Mannheim.
- Böhringer, C.; Wiegard, W. (2002): Methoden der angewandten Wirtschaftsforschung: Eine Einführung in die numerische Gleichgewichtsanalyse. Discussion Paper No. 03-02, ZEW, Mannheim.
- Borglin, A. (2004): Economic Dynamics and General Equilibrium; Time and Uncertainty. Springer, Berlin/Heidelberg.
- Bossel, H. (1994): Modellbildung und Simulation. Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden.

- Bröcker, J. (2001): The new CGEurope developed within IASON. Projekt IASON (Integrated Appraisal of Spatial economic and Network effects of transport investments and policies) der EU, Kiel.
- Brundtland, G. H. (1987): Our Common Future: [Brundtland-Report] / World Commission on Environment and Development. Oxford University Press, Oxford.
- Burroughs, W. J. (2001): Climate Change. A Multidisciplinary Approach. Cambridge University Press, Cambridge.
- Buteweg, J. (1988): Systemtheorie und ökonomische Analyse. Centaurus, Pfaffenweiler.
- BUWAL (2005): Schadstoffquellen - Partikelfilter für Nutzfahrzeuge. Im Internet zu finden unter: http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_luft/quellen/verkehr/diesel/, 27. Jan. 05.
- BVU, ifo, ITP, Planco (2001): Verkehrsprognose 2015 für die Bundesverkehrswegeplanung. BVU, München.
- Capros, P.; Georgakopoulos, T.; Filippoupolitis, A.; Kotsomiti, S.; Atsaves, G.; Proost, S.; Regemorter, D. van; Conrad, K.; Schmidt, T.; (1997): The GEM-E3 model: Reference Manual. ZEW, Mannheim.
- Carnitzki, D.; Hussinger, K. (2004): The Link Between R&D Subsidies, R&D Spending and Technological Performance. Discussion Paper No. 04-56, ZEW, Mannheim.
- Cline, W. R. (2004): Climate Change. In: Lomborg, B.: Global Crisis, Global Solutions. Cambridge University Press, Cambridge.
- Cronin, F. J.; Colleran, E. and Gold, M. (1997): Telecommunications, Factor Substitution and Economic Growth. Contemporary Economic Policy, Vol. 15, pp. 21-31.
- Daly, H. (1990): Towards some operational principles of sustainable development. Ecological Economics, Vol. 2, Issue 1, p1.
- de Rosnay, J. (1979): Das Makroskop: Systemdenken als Werkzeug der Ökogesellschaft. Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH, Berlin.
- Deutsche Bundesbank (1993): Zur Entwicklung des Produktionspotenzials in Deutschland. Monatsbericht März. Deutsche Bundesbank, Frankfurt.
- Deutsche Bundesbank (1996): Makro-ökonomisches Mehr-Länder-Modell. Deutsche Bundesbank, Frankfurt.
- DIW (2002): Verkehr in Zahlen 2002/2003. DIW, Köln.

- Dixit, A. K.; Stiglitz, E. J. (1977): Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity. *The American Economic Review*, Vol. 67, No. 3, pp. 297-308.
- Dörner, D. (2001): Die Logik des Mißlingens - Strategisches Denken in komplexen Situationen. Rowohlt, Hamburg.
- Eberlein, B. (2004): Mitteilung von Eberlein bei seiner Antrittsrede als Präsident der System Dynamics Society in Oxford.
- Eckey, H.-F. ; Kosfeld, R.; Dreger, C. (1995): Ökonometrie - Grundlagen, Methoden, Beispiele. Gabler, Wiesbaden.
- Fleissner, P. (1993): Input-Output-Analyse. Springer, Wien.
- Forrester, J. W. (1961): *Industrial Dynamics*. John Wiley, New York.
- Forrester, J. W (1967): *Market Growth as Influenced by Capital Investment*. MIT, Cambridge.
- Forrester, J. W. (1968): *Principles of Systems*. MIT Press, Cambridge.
- Forrester, J. W. (1969): *Urban dynamics*. MIT Press, Cambridge.
- Forrester, J. W. (1972): *Grundzüge einer Systemtheorie*. Gabler, Wiesbaden.
- Forrester, J. W. (1980): Information Sources for Modeling the National Economy. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 75, No. 371.
- Forrester, J. W. (1989): The System Dynamics National Model: Macrobbehavior from Microstructure. In: Milling, P.; Zahn, E.: *Computer-Based Management of Complex Systems*. Springer, Berlin/Heidelberg.
- Forrester, N. B. (1982): *A Dynamic Synthesis of Basic Macroeconomic Theory: Implications for Stabilization Policy Analysis*. MIT, Cambridge.
- Frantzen, D. (1998): R&D, Internation Technical Diffusion and Total Factor Productivity. *KYKLOS*, Vol. 51, Issue 4, p489, 18p.
- Frantzen, D. (2000): R&D, Human Capital and International Technologie Spillovers: A Cross-country Analysis. *Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 102, Issue 1, p57, 19p.
- Frantzen, D. (2002): Intersectoral an International R&D Knowledge Spillovers and Total Factor Productivity. *Scottish Journal of Political Economy*, Vol. 49, Issue 3, p280, 24p.

- Freeman, C; Jahoda, M. (1973): Zukunft aus dem Computer? Eine Antwort auf "Die Grenzen des Wachstums". Luchterhand Verlag, Neuwied/Berlin.
- Friedrich-Ebert-Stiftung (2005): Environmentally-compatible Life-Styles and Forms of Economic Life. Im Internet zu finden unter: <http://library.fes.de/fulltext/fo-wirtschaft/E10E4>, 24. Jan. 05.
- Frohn, J. (1972): Estimation of the Production Functions with Neutral Technical Change for Industrial Sectors In The Federal Public of Germany 1958-1968. *Review of Income & Wealth*, Vol. 18, Issue 2.
- Gausemeier, J. (1995): Szenario-Management: Planen und Führen mit Szenarien. Hanser, München.
- Geerlings, H. (1999): Meeting the Challenge of Sustainable Mobility; the role of technological innovations. Springer, Berlin/Heidelberg.
- Geurs, K.; van Wee, B. (2000): Backcasting as a Tool to Develop a Sustainable Transport Scenario Assuming Emission Reductions of 80-90%. *Innovation*, Vol. 13, No. 1, pp.47-62.
- Goodwin, R. M. (1991): Schumpeter, Keynes and theory of economic evolution. *Evolutionary Economics*, Vol. 1, Issue 1, pp. 29-47.
- Graham, A. K. (1980): Parameter Estimation in System Dynamics Modeling. In: Randers, J. (Hrsg.): *Elements of the System Dynamics Method*, Productivity Press, Cambridge.
- Graham, A. K. (2002): On Positioning System Dynamics as an Applied Science of Strategy. *System Dynamics Conferende 2002*, Palermo.
- Graham, A. K.; Moore, J.; Choi, C. Y. (2002): How robust are conclusions from a complex calibrated model, really? *System Dynamics Conferende 2002*, Palermo.
- Grahl, M. K. (2000): Ökonomische Systemanalyse zum Antrieb von Personenwagen mit Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen unter Verwendung neuer Kraftstoffe. dissertation.de, Verlag im Internet, Berlin.
- Gramlich, E. M. (1994): Infrastructure Investment: A Review Essay. *Journal of Economic Literature*, Vol. 32, No. 3, pp. 1176-1196.
- Grenzmann, C. (2004): Persönliche Mitteilung von Herrn Grenzmann, Geschäftsführer der Wissenschaftsstatistik GmbH. Essen.
- Grupp, H. (1997): Messung und Erklärung des technischen Wandels: Grundzüge einer empirischen Innovationsökonomik; mit 26 Tabellen. Springer, Berlin/Heidelberg.

- Grupp, H.; Leger, H.; Breitschopf, B. (2002): Zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands. BMBF, Bamberg.
- Gujarati, D. N. (1995): Basic economics. Mc Graw-Hill, New York.
- HaCon (1996): Kapazitätsreserven der Schieneninfrastruktur im Güterverkehr. Ingenieurgesellschaft und Universität Hannover, Bonn/Berlin.
- Herder-Dorneich, P. (1992): Vernetzte Strukturen - Das Denken in Ordnungen. Nomos, Baden-Baden.
- Hohensee, J. (2002): Der Blaue Schock. Die Zeit, Zeitläufe 16/2002, 11. April 2002.
- IAB (2002): Zahlen-Fibel. Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung (IAB), Nürnberg.
- IFEU (1997): Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland. Institute for Energy and Environmental Research (IFEU), Heidelberg.
- INFRAS, IWW (2000): External Costs of Transport. INFRAS, IWW, Karlsruhe/Zürich.
- IPCC (1999): Aviation and the Global Atmosphere. Cambridge University Press, Cambridge.
- Johansson, O.; Schipper, L. (1997): Measuring the Long-Run Fuel Demand for Cars. Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 31, No. 3, pp. 277-292.
- Julien, P. A.; Freeman, C. (1973): Das Kapital- und Industrieoutput-Subsystem. In: Freeman, C.; Jahoda, M.: Zukunft aus dem Computer? Eine Antwort auf "Die Grenzen des Wachstums", Luchterhand Verlag, Neuwied/Berlin.
- Keller, M.; Mauch, C.; Heeb, J.; Huber, F. (2000): MODUM: Modell Umwelt-Mobilität - Ein systemdynamischer Ansatz für die Schweiz. ECOPLAN, Bern.
- Keynes, J. M. (1973): The general Theory of employment interest and money. University Press Cambridge, Cambridge.
- Kirchgässner, G. (1978): Bemerkungen zu den Prognoseeigenschaften und der Testbarkeit system-dynamischer Modelle. Journal of the German Statistical Society, Vol. 62, No. 2, pp. 181-192.
- Klump, R.; Preissler, H. (2000): CES Production Functions and Economic Growth. Scandinavian Journal of Economics, Vol. 102, Issue 1, p41, 16p.
- Kolke, R. (1999): Technische Optionen zur Verminderung der Verkehrsbelastungen, Brennstoffzellenfahrzeuge. Umweltbundesamt, Berlin.

- Kraftfahrt-Bundesamt (2004): Statistische Mitteilungen des Kraftfahrt-Bundesamt Reihe 2. Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg.
- Kuchenbecker, K. (2000): Strategische Prognose und Bewertung von Verkehrsentwicklungen mit System Dynamics. Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
- Läufer, N. K. A. (1994): Geldangebot. B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen.
- Litman, T. (1998): Transportation Cost Analysis: Techniques, Estimates and Implications. Victoria Institute, Kanada.
- Lutz, C. (2004): Persönliche Mitteilung von Herrn Lutz, Geschäftsführer der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS). Osnabrück.
- Manne, A. S.; Rutherford T. F. (1991): A Long Term Model of Oil Markets, Economic Growth and Balance of Payment Constraints. In: Pigott, J.; Whalley, J.: Applied General Equilibrium. Physica, Heidelberg.
- Mass, N. J. (1980): Stock and Flow Variables and the Dynamics of Supply and Demand. In: Randers, J. (Hrsg.): Elements of the System Dynamics Method. Productivity Press, Cambridge.
- Mass, N. J.; Senge, P. M. (1980): Alternative Testing for Selecting Model Variables. In: Randers, J. (Hrsg.): Elements of the System Dynamics Method. Productivity Press, Cambridge.
- Meadows, D. H.; Meadows, D. L.; Randers, J.; Behrens W. W. (1972): The Limits to Growth. Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart.
- Meadows, D. L.; Behrens, W.; Meadows, D.H.; Naill, R.; Randers, R.; Zahn, E. (1974): Dynamics of Growth in a Finite World. Wright-Allen Press, Cambridge.
- Meadows, D. H. (1980): The Unavoidable A Priori. In: Randers, J. (Hrsg.): Elements of the System Dynamics Method. Productivity Press, Cambridge.
- Meadows, D. H.; Robinson, J. M. (1985): The electronic Oracle - Computer Models and Social Decisions. John Wiley & Sons, Ltd, USA.
- Mehlin, M.; Nobis, C.; Gühnemann, A.; Lambrecht, U.; Knörr, R.; Schade, B. (2002): Flottenverbrauch 2010 - Aktivierung des Reduktionspotentials und Beitrag zum Klimaschutz. Flottenverbrauch 2010 - Aktivierung des Reduktionspotentials und Beitrag zum Klimaschutz. Deutsche Luft- und Raumfahrtgesellschaft (DLR), Berlin.

- Meyer, B.; Lutz, C. (2002): *Panta Rhei*. In: *Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland* (Hrsg.): *Energiemodell zum Kernausstieg in Deutschland*. Physica, Heidelberg.
- Meyer-Krahmer, F. (1999): *Innovation als Beitrag zur Lösung von Beschäftigungsproblemen? Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung*, Jg. 32, pp. 402-415.
- Millenium Institute (2000): *Threshold 21 Overview*. Im Internet zu finden unter: <http://www.threshold21.com>, 26. Jan. 05.
- Milling, P. (1972): *Der technische Fortschritt beim Produktionsprozeß* (Innaugural-Dissertation). Universität Mannheim, Mannheim.
- Miyagiwa, K.; Papageorgiou, C. (2001): *Elasticity of Substitution and Growth: Normalized CES in the Diamond Model*. *Economic Theory*, Vol. 21, Issue 1, pp. 155-165.
- Nelson, R. R.; Winter, S. G. (1982): *An evolutionary theory of economic change*. Harvard University Press, Cambridge.
- Niemeyer, G. (1977): *Kybernetische System- und Modelltheorie*. Franz Vahlen, München.
- Nordhaus, W. (1982): *How Fast Should We Graze The Global Commons?* *American Economic Review*, Vol. 72, Issue 2, pp. 242-246.
- Nordhaus, W. (1992): *The „Dice“ Model: Background and Structure Of a Dynamic Intergated Climate-Economy Model of the Economics of Global Warming*. Cowles Foundation Discussion Paper No. 1009, Yale University, New Haven.
- Nordhaus, W.; Tobin, J. (1974): *Is Growth Obsolete?* *National Bureau of Economic Research*, Vol. 38, pp. 24.
- OECD (1996a): *Environmental Criteria for Sustainable Transport: Report on Phase 1 of the Project on Environmentally Sustainable Transport (EST)*: OECD, Paris.
- OECD (1996b): *Pollution Prevention and Control: Environmental Criteria for Sustainable Transport. Report of Phase 1 of the Project on Environmentally Sustainable Transport (EST)*: Document OECD/GD(96) 136, Paris.
- OECD (1998): *Scenarios for Environmentally Sustainable Transport: Report on Phase 2 of the Project on Environmentally Sustainable Transport (EST)*: OECD, Paris.
- OECD (1999a): *Environmentally Sustainable Transport: Report on Phase 2 of the OECD EST Project*. OECD, Paris.

- OECD (1999b): Environmentally Sustainable Transport: Individual Project Case Studies for Phase 2. Annex Volume to the Report on Phase 2 of the OECD EST Project on Environmentally Sustainable Transport. OECD, Paris.
- OECD (1999c): Environmentally Sustainable Transport in the CEI Countries in Transition. OECD, Paris.
- OECD (2000): est! Environmentally Sustainable Transport. Futures, strategies and best practices. Synthesis Report. OECD, Paris.
- Ojiha, P. V. (2004): Trade-Off Between Carbon Emissions, Economic Growth and Poverty Reduction in India. ECOMOD2004, Paris.
- Oosterhaven, J.; Elhorst, J. P. (2003): Indirect Economic Benefits of Transport Infrastructure Investments. University of Groningen, Groningen.
- Ossimitz, G. (1995): Systemisches Denken und Modellbilden. Im Internet zu finden unter: <http://www.uni-klu.ac.at/~gossimit/pap/go95d.htm>, 28.01.2005.
- Oum, T. H.; Waters, W. G.; Young, J-S. (1992): Concepts of Price Elasticities of Transport Demand and Recent Empirical Estimates. Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 26, pp. 139-154.
- Pearce, D. W. (1990): Sustainable development: economics and environment in the Third World. Elgar, Aldershot.
- Pearce, D. W. (1993): Blueprint - Measuring sustainable development 3. Earthscan Publications, London.
- Pedercini, M. (2004): Persönliche Mitteilung von Pedercini, einem Entwickler für das Modell Threshold 21. Oxford.
- Peterson, D. W. (1980): Statistical Tools for System Dynamics. In: Randers, J. (Hrsg.): Elements of the System Dynamics Method. Productivity Press, Cambridge.
- Powersim (2005): Powersim Software. Im Internet zu finden unter: <http://www.powersim.com/>, 28.01.2005.
- Radzicki, J. M. (1988): Institutional Dynamics: An Extension of the Institutional Approach to Socioeconomic Analysis. Journal of economic issues, Vol. 22, Issue 3, p633, 33p.
- Radzicki, M.; Sterman, J. D. (1994): Evolutionary Economics and Systems Dynamics. In: England, R.: Evolutionary Concepts in Contemporary Economics, University of Michigan Press, Michigan.

- Randers, J. (1980): Guidelines for Model Conceptualization. In: Randers, J. (Hrsg.): Elements of the System Dynamics Method. Productivity Press, Cambridge.
- Robinson, R. (2004): Mitteilung auf dem Abschlussvortrag der Konferenz ‚Economic Modeling 2004‘. Paris.
- Romanova, V. (2005): Stabilität des Klimasystems und extreme Klimate in Modell-experimenten. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven.
- Rothengatter, W. (2000): Economic Assessment of EST – Scenarios of the OECD. In: OECD: Project on Environmentally Sustainable Transport (EST) - The Economic and Social Implications of Sustainable Transportation, OECD, Paris.
- Rothengatter, W.; Schade, W.; Schade, B. (2004): Assessment - Volkswirtschaftliche Wirkungsanalysen (Vorlesungsbegleitendes Skript). IWW, Karlsruhe.
- Rutherford T. F. (2002): Mixed Complementarity Programming with GAMS. University of Colorado, Boulder.
- Saam, M. (2004): Distributional Effects of Growth and the Elasticity of Substitution. Universität Frankfurt, Frankfurt.
- Sachverständigenrat (2004): Jahresgutachten 2003/2004. Sachverständigenrat für Wirtschaftsfragen. Metzler-Poeschel, Stuttgart.
- Sargent, T. (1994): Makroökonomik. Verlag Oldenbourg, München/Wien.
- Schade, B.; Rothengatter, W. (2004): The Economic Impact of Environmentally Sustainable Transport in Germany. Journal of European Transport and Infrastructure Research, Vol. 4, No. 1, pp. 147-172.
- Schade, B.; Rothengatter, W.; Schade W. (2002): Strategien, Maßnahmen und ökonomische Bewertung einer dauerhaft umweltgerechten Verkehrsentwicklung. Bewertung der dauerhaft umweltgerechten Verkehrsentwicklung mit dem systemdynamischen Modell ESCOT (Economic assessment of Sustainability poliCies Of Transport. Erich Schmidt, Berlin.
- Schade, W. (2004): Strategic Sustainability Analysis: concept for the assessment of the European Transport Policy. Nomos, Baden-Baden.
- Schief, S. (2003): Arbeitszeiten in Deutschland - Eine Frage der Messung? Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart.

- Schmoch, U.; Laville, F.; Patel, P. und Frietsch, R. (2003): Linking Technology Areas to Industrial Sectors. Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe.
- Schneider, M. T.; Schade, B. (2004): Innovation Process ‚Fuel Cell Vehicle‘. What Strategy Promises to be Most Successful? Technology Analysis & Strategic Management, Vol. 16, No. 2, pp. 147-172.
- Schumacher, C. (2002): Alternative Schätzansätze für das Produktionspotenzial im Euroraum. HWWA, Hamburg.
- Schumpeter, J. A. (1908): Das Wesen und der Hauptinhalt der theoretischen Nationalökonomie. Duncker & Humblot, Leipzig.
- Schumpeter, J. A. (1942): Capitalism, Socialism and Democracy. Harper & Brothers, New York.
- Schweppe, F. C. (1973): Uncertain dynamic systems. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Senge, P. M. (2001): Die fünfte Disziplin. Klett-Cotta, Stuttgart.
- Simmons, H. (1973): System Dynamics und Technokratie. In: Freeman, C; Jahoda, M.: Zukunft aus dem Computer? Eine Antwort auf "Die Grenzen des Wachstums". Luchterhand Verlag, Berlin.
- Sommer, M. (1978): Ökonometrische und Systemdynamische Modelle; Vergleichende Untersuchung über zwei Konzeptionen für makroökonomische Modelle. Universität Berlin, Berlin.
- Statistisches Bundesamt (1996): Modellrechnungen zur Bevölkerungsentwicklung bis zum Jahre 2040. Metzler-Poeschel, Stuttgart.
- Statistisches Bundesamt (2002a): Input-Output-Tabellen - in jeweiligen Preisen - 1991 bis 2000. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2002b): Klassifikation der Wirtschaftszweige. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2003): Bevölkerung Deutschlands bis 2050 - 10. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2004a): Input-Output-Rechnung nach 71 Gütergruppen / Produktionsbereichen. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

- Statistisches Bundesamt (2004b): Revidierte Ergebnisse 1970 bis 2003. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- Sterman, J. D. (1981): *The Energy Transition and the Economy: A System Dynamics Approach*. MIT, Cambridge.
- Sterman, J. D. (1986): The economic long wave: theory and evidence. *System Dynamics Review*, Vol. 2, No.2, pp. 87-125.
- Sterman, J. D. (2000): *Business Dynamics, Systemes Thinking and M Complex World*. Irwin/McGraw-Hill, New York.
- Sterman, J. D. (2002): All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist. *System Dynamics Review*, Vol. 18, No. 4, pp. 501-532.
- Stiglitz, J. E. (1999): *Volkswirtschaftslehre*. Verlag Oldenbourg, München/Wien.
- Stocker, H. (2001): *Ein einfaches Simulationsmodell*. Universität Innsbruck, Innsbruck.
- Storchmann, K.-H. (1993): Abgaben auf den PKW-Verkehr und ihre Wirkungen auf den Kraftstoffverbrauch im Internationalen Vergleich. *RWI-Mitteilungen*, Jg. 44, pp. 345-374.
- Ulrich, H.; Probst, G. J. B. (1988): *Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln - Ein Brevier für Führungskräfte*. Verlag Paul Haupt, Bern/Stuttgart.
- Umweltbundesamt (1994): *Verminderung der Luft- und Lärmbelastungen im Güterfernverkehr 2010*. Erich Schmidt, Berlin.
- Umweltbundesamt (2001): *Dauerhaft umweltgerechter Verkehr. Deutsche Fallstudie zum OECD Projekt Environmentally Sustainable Transport (EST)*. Erich Schmidt, Berlin.
- Umweltbundesamt, IWW (2000): *OECD Project on Environmentally Sustainable Transport (EST) Phase 3, German Case-Study*. Erich Schmidt, Berlin.
- Umweltbundesamt, Wuppertal Institut (1997): *OECD Project on Environmentally Sustainable Transport (EST) Phase 2, German Case-Study*. Erich-Schmidt, Berlin.
- Varian, H. R. (2004): *Grundzüge der Mikroökonomie*. Oldenbourg, München.
- Vennix, J. A. M. (1996): *Group Model Building, Facilitationg Team Learning Using System Dynamics*. Wiley, Chichester.
- Vensim (2005): *Seeing Simulation with SyntheSim*. Im Internet zu finden unter: <http://www.vensim.com/>, 28.01.2005.

- Ventana Systems (1999): Vensim 4 Reference Manual. Ventana Systems Inc, Harvard.
- Vester, F. (1980): Neuland des Denkens : vom technokratischen zum kybernetischen Zeitalter. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart.
- von Bertalanffy, L. (1968): General System Theory - Foundations, Development, Applications. Georg Braziller, New York.
- Voß, A. (1991): Energie und Umwelt als Systemprobe: Die Notwendigkeit für bessere Entscheidungs-Unterstützungs-Systeme. In: Milling, P.: Systemmanagement und Managementsysteme, Duncker & Humblot, Berlin.
- Walsh, V.; Gram, H. (1980): Classical and Neoclassical Theories of General Equilibrium - Historical Origins and Mathematical Structure. Oxford University Press, Oxford.
- Wardman, M. (1997a): Disaggregate Urban Mode Choice. Institute for Transport Studies, Leeds.
- Wardman, M. (1997b): Disaggregate Urban Mode Choice Models. A Review of British Evidence with Special Reference to Cross Elasticities. Institute for Transport Studies, Leeds.
- Weyant, J. P. (2001): Economic Models: How The Work & Why Their Results Differ. In: Claussen, E.: Climate Change. Science, Strategies & Solutions. Brill, Leiden.
- Wiederkehr, P.; Gilbert, R.; Crist, P.; Caid, N. (2004): Environmentally Sustainable Transport (EST): Concept, Goal, and Strategy - The OECD's EST Project. Delft University Press, Delft.
- Wiener, N. (1948): Cybernetics or Control and communication in the animals and the machine. Wiley, New York.
- Wilber, C. K.; Harrison, R. S. (1978): The Methodological Basis of Institutional Economics: Pattern Model, Storytelling, and Holism. Journal of Economic Issues, Vol. 13, Issue 4, p1033, 5p.
- Wolstenholme, E. F. (2003): Towards the definition and use of core set of archetypal structures in system dynamics. System Dynamics Review, Vol. 19, Issue 1, pp. 7-26.
- Wolstenholme, E. F. (2004): Using generic system archetypes to support thinking and modelling. System Dynamics Review, Vol. 20, Issue 4, pp. 341-356.

Anhang B: Tabellen, Auswertungen und Klassifikationen

Tabelle B-1: Steigung der Investitionskoeffizienten-Matrizen in den Jahren 1991 bis 2000	188
Tabelle B-2: Konstante der Funktion der Input-Koeffizienten	189
Tabelle B-3: Steigung der Funktion der Input-Koeffizienten	190
Tabelle B-4: Sektorale CES-Produktionsfunktionen mit exogenem Fortschritt, Anlagekapital und Beschäftigung	191
Tabelle B-5: Sektorale CES-Produktionsfunktionen mit exogenem Fortschritt, Ausrüstungskapital und Zeiten	192
Tabelle B-6: Auswertung der Nachfrageseite von EST-50%	193
Tabelle B-7: Auswertung der Nachfrageseite von EST-80%	194
Tabelle B-8: Auswertung der Input-Koeffizienten von EST-50% Teil 1	195
Tabelle B-9: Auswertung der Input-Koeffizienten von EST-50% Teil 2	195
Tabelle B-10: Auswertung der Input-Koeffizienten von EST-80% Teil 1	196
Tabelle B-11: Auswertung der Input-Koeffizienten von EST-80% Teil 2	196
Tabelle B-12: Vergleich der Investitionen zwischen BAU und EST-80%	197
Tabelle B-13: Elastizitäten der Nachfrage in Bezug auf Zeiten und Preise im Modell Panta Rhei	198
Tabelle B-14: Sektorale Gliederung in ESCOT und WZ93 mit 71 Sektoren	199
Tabelle B-15: Gliederung der Produktionsbereiche in den Input-Output Tabellen	200
Tabelle B-16: Technologische Veränderungen im EST-80%-Szenario	204
Tabelle B-17: Output der 32 Sektoren	205
Tabelle B-18: Netto-Anlagevermögen der 32 Sektoren	206
Tabelle B-19: Beschäftigung in den 32 Sektoren	207
Tabelle B-20: Zeitreihe für interne FuE-Aufwendungen (Preise von 1995)	208
Tabelle B-21: Jährliche Arbeitszeit nach Sektoren	209
Tabelle B-22: Durchschnittliche Arbeitszeit pro Jahr pro Beschäftigtem	210

Tabelle B-1: Steigung der Investitionskoeffizienten-Matrizen in den Jahren 1991 bis 2000

Steigung der Investitionskoeffizienten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
	Land	Koh-	Nah-	Tex-	Pa-	Öl	Phar-	Che-	Kunst	Ste-	Stahl	Masch	Büro	Elek-	triz	richt	Nach-	Mess	Kraft-	Sonst	Ver-	Bau	Han-	Eisen-	Land-	Schiff-	Luft-	Sonst-	Nach-	Ver-	Unter-	Öff-
	le	rung	til	pa-	Öl	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma	ma	wag	Fahr	Prod	song	del	b-DL	v-DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL
1 Land	0,1	0,0	1,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2 Kohle	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
3 Nahrung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
4 Textil	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
5 Papier	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
6 Öl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
7 Pharma	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
8 Chemie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
9 Kunst	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
10 Steine	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
11 Stahl	0,0	0,2	-0,2	-0,1	0,0	-0,2	0,2	-0,1	0,0	0,0	0,4	0,0	-0,1	-0,2	-0,4	-0,2	-0,5	-0,7	0,2	0,3	0,3	-0,1	0,4	-0,1	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	
12 Masch	-0,1	-0,7	-0,4	-0,1	0,0	-0,1	0,1	0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,5	-0,3	-0,1	-1,0	-1,1	-1,2	0,2	0,1	0,1	0,0	-0,3	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,4	-0,1	0,0	0,4	0,1	
13 Büro	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,8	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	-0,1	0,6	-0,1	0,2	0,0	0,9	
14 Elektriz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1	-0,3	-0,1	0,0	0,5	0,7	0,0	1,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	
15 Nachricht	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,5	0,2	0,9	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	1,0	
16 Mess	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
17 Kraftwag	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,8	0,0	2,8	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	
18 Sonst Fahr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	
19 Sonst Prod	0,0	0,0	0,0	-1,1	-0,4	0,0	-0,1	0,0	0,1	-0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	-0,1	-1,3	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	
20 Versorgung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
21 Bau	-0,7	0,3	-0,4	-0,5	-0,7	-0,9	-1,8	-0,7	-0,3	0,5	-0,3	0,0	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-1,1	-1,3	-1,6	-1,9	-2,0	-0,9	-0,5	-2,0	-2,3	-0,6	-0,8	-1,8
22 Handel	0,2	0,0	0,0	0,4	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	-0,3	0,0	-0,2	-0,3	-0,7	0,5	0,0	-0,1	0,0	0,2
23 Eisen-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
24 Landv-DL	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	
25 Schiff-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
26 Luft-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
27 Sonst-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
28 Nach-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
29 Banken	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
30 Vermiet	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,6	-0,8	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	
31 Unterm-DL	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,3	1,2	-0,1	0,0	-0,3	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,1	-0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,6	0,2	0,5
32 Öff-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	
Gesamt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Tabelle B-2: Konstante der Funktion der Input-Koeffizienten

Konstante der Input-Koeffizienten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
	le	rung	til	Tex-	Pa-	Öl	Phar-	Che-	Kun-	Stei-	Stah-	Masch	Büro	Elek-	Nach-	Mess	wag	Fähr	Sonst	Var-	Bau	Han-	Eisen-	Land-	Schiff-	Luft-	Sonst-	Nach-	Ban-	Ver-	Unter-	Öff-	
1 Land	2,5	0,1	23,7	0,8	0,7	0,0	0,0	0,1	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	
2 Kohle	0,5	6,0	0,4	0,2	0,6	39,1	0,1	1,2	0,2	7,9	1,9	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	18,8	1,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	
3 Nahrung	6,4	0,0	14,9	0,0	0,1	0,0	0,8	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	0,3	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9		
4 Textil	0,2	0,1	0,0	18,5	0,3	0,0	1,3	0,2	1,4	0,0	0,2	0,2	0,0	0,2	0,7	0,5	0,8	0,6	5,6	0,0	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,2	0,4
5 Papier	0,3	0,5	2,0	1,1	23,7	0,1	1,4	3,0	1,1	1,2	0,8	1,0	0,6	0,7	1,2	1,2	0,7	1,8	7,4	0,2	3,2	2,6	0,7	0,5	0,0	0,1	1,3	1,2	0,7	0,4	2,2	1,4	
6 Öl	1,0	0,2	0,2	0,1	0,2	13,9	0,0	1,8	0,1	0,6	1,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	
7 Pharma	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	
8 Chemie	3,7	0,8	0,4	6,0	2,9	2,8	13,5	13,4	21,3	2,0	1,2	1,1	0,3	0,6	0,9	0,5	1,5	0,6	1,7	0,1	0,9	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,2	
9 Knet	0,3	0,2	1,0	0,5	0,4	0,2	1,6	1,3	5,4	0,5	0,8	2,4	0,4	1,3	1,7	1,5	5,3	1,1	1,7	0,0	4,1	0,8	0,3	0,8	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	
10 Steine	0,9	0,1	0,7	0,3	0,5	0,0	0,3	0,6	0,7	9,8	0,8	0,3	0,0	0,6	0,6	2,2	0,9	0,1	0,5	0,1	9,8	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	
11 Stahl	0,7	2,8	1,2	0,4	0,7	1,1	1,1	3,4	1,4	0,5	25,4	10,3	0,9	6,2	4,4	4,0	9,0	10,4	4,2	0,9	5,2	0,6	1,2	0,7	0,3	0,0	0,6	0,1	0,0	0,1	0,2	0,5	
12 Masch	1,4	4,0	0,5	0,6	0,6	0,4	0,1	0,9	1,8	0,8	1,9	14,3	0,0	1,1	0,2	1,5	2,2	2,3	0,9	0,7	0,9	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	
13 Büro	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	11,3	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,5	0,2	0,1	0,0	0,3	
14 Elektriz	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,5	4,1	0,6	21,2	0,9	1,6	4,3	1,0	0,1	2,4	4,2	0,5	1,5	0,6	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,2	0,2	
15 Nachricht	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	4,4	0,1	16,0	2,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
16 Mess	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,3	0,3	0,4	0,2	0,1	0,4	0,7	0,1	0,6	0,5	8,1	0,5	0,6	0,0	1,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,4	
17 Kraftwag	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	13,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,6	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
18 Sonst Fahr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,5	0,4	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
19 Sonst Prod	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1	5,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	
20 Versorg	1,9	2,5	1,4	1,2	2,0	2,9	0,3	2,6	2,2	3,9	2,9	1,0	0,6	0,9	0,8	0,6	0,9	0,8	1,0	2,7	0,1	1,4	4,2	1,3	0,0	0,0	0,5	0,7	0,5	0,3	0,5	1,1	
21 Bau	0,6	1,5	0,3	0,2	0,4	0,4	0,8	0,4	0,3	0,5	0,6	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	1,4	1,8	0,9	1,3	1,0	0,1	0,0	1,4	0,8	0,4	6,5	1,0	1,6
22 Handel	4,8	1,8	5,4	3,0	3,2	1,2	1,0	2,0	2,0	5,4	4,2	4,1	6,5	2,5	3,6	4,3	2,6	1,9	5,0	1,4	4,6	8,0	1,8	6,7	1,5	1,6	5,1	0,8	0,7	0,3	1,5	2,4	
23 Eisen-DL	0,2	0,4	0,1	0,1	0,3	0,7	0,2	0,3	0,4	0,9	0,6	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	1,0	0,1	0,2	10,2	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	
24 Landv-DL	0,7	0,2	0,9	0,4	1,2	0,5	0,3	0,5	0,7	2,1	0,7	0,5	0,1	0,2	0,3	0,2	0,5	0,3	0,7	0,2	0,8	0,2	0,1	3,0	0,2	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	
25 Schiff-DL	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	5,3	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0		
26 Luft-DL	0,0	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,2	0,2	
27 Sonst-DL	0,0	0,0	0,6	0,1	0,1	0,0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,2	0,6	0,0	0,1	0,1	0,3	0,8	0,1	0,3	0,0	0,0	0,3	4,2	7,0	32,2	25,0	42,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
28 Nach-DL	0,1	0,3	0,3	0,3	1,2	0,4	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,1	0,4	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3	0,5	0,3	1,8	0,4	1,1	0,2	0,8	1,9	1,8	1,5	0,3	1,0	1,3	
29 Banken	0,5	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,3	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,0	0,4	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	0,5	0,2	0,8	0,5	3,2	0,5	0,3	1,5	0,4	66,2	0,9	0,5	0,6	
30 Verrniet	3,4	3,3	1,5	0,5	3,1	1,1	2,2	1,3	1,2	2,7	1,2	1,4	1,5	1,5	0,9	1,0	0,8	0,6	2,1	2,1	8,3	7,8	1,3	1,9	9,9	4,4	3,7	0,7	2,6	4,9	4,1	2,1	
31 Unterm-DL	1,6	3,8	5,6	2,3	4,5	3,4	8,3	6,8	4,5	6,4	2,6	3,8	4,2	5,4	4,1	5,8	2,5	3,2	4,3	3,5	2,2	5,1	2,5	4,0	0,2	0,7	3,5	0,9	9,0	8,6	13,1	3,5	
32 Öff-DL	2,3	1,9	1,2	0,4	1,9	0,5	1,0	1,8	0,7	1,3	0,8	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,3	0,2	0,5	4,7	0,7	2,6	1,3	1,6	0,1	0,1	1,8	0,2	0,6	1,1	4,5	4,5	
Gesamt	35,1	31,5	62,8	37,4	49,6	69,9	41,4	46,4	46,5	48,4	49,5	48,8	32,6	45,2	36,3	37,8	48,9	37,8	43,1	44,5	49,5	40,6	35,7	38,3	55,5	51,2	66,9	10,5	82,7	23,7	31,1	25,7	

Tabelle B-3: Steigung der Funktion der Input-Koeffizienten

Steigung der Input-Koeffizienten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32			
	Land	Koh-	Näh-	Tex-	Pa-	Öl	Phar-	Che-	Kunst	Ste-	Stahl	Masch	Büro	Elek-	Nach-	Mess	Kraft-	Sonst	Ver-	Bau	del	Ha-	Eisen-	Land-	Schiff-	Luft-	Sonst-	Nach-	Ver-	Unter-	Öff-				
	le	rung	til	pier	ma	ma	ma	ma	ma	ne	ne	ne	ne	triz	nicht	wag	Fähr	Prod	sozg	sozg	sozg	del	b-DL	v-DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL			
1 Land	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
2 Kohle	0,0	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
3 Nahrung	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
4 Textil	0,0	0,0	0,0	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
5 Papier	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	
6 Öl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
7 Pharma	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
8 Chemie	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	0,2	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
9 Kmet	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
10 Steine	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
11 Stahl	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,2	0,0	-0,1	-0,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
12 Masch	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
13 Büro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
14 Elektriz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
15 Nachricht	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
16 Mess	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
17 Kraftwag	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
18 Sonst Fähr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
19 Sonst Prod	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
20 Versorg	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
21 Bau	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
22 Handel	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	
23 Eisenb-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
24 Landv-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
25 Schiff-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
26 Luft-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
27 Sonst-DL	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,7	-0,4	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
28 Nach-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
29 Banken	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	0,0	0,0
30 Vermöset	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,3	-0,1	-0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
31 Untern-DL	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,3	0,1	0,2	0,2	0,0	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
32 Öff-DL	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Gesamt	0,0	-1,0	-0,2	-0,9	0,0	-0,8	-0,1	-0,2	-0,2	0,1	-0,1	-0,1	-1,0	0,3	-0,3	-0,2	1,0	-0,2	0,1	-0,2	0,5	-0,1	0,4	0,1	0,6	-0,7	-0,8	1,8	0,0	-0,3	-0,3	0,0	0,0	0,0	

Tabelle B-4: Sektorale CES-Produktionsfunktionen mit exogenem Fortschritt, Anlagekapital und Beschäftigung

Sektor	Kürzel	c	δ	ρ	r	λ	σ	S	R ² (1)	R ² (2)
1	Land	5,7	0,409	0,187	1,069	0,0068	1,230	0,006	0,904	0,828
2	Kohle	4,1	0,337	-0,239	1,636	0,1195	0,807	0,092	0,847	0,724
3	Nahrung	5,5	0,755	-0,213	1,256	-0,0012	0,824	0,003	0,866	0,759
4	Textil	5,5	0,529	-0,013	1,255	0,0557	0,987	0,009	0,985	0,973
5	Papier	6,8	0,751	-0,252	1,263	0,0382	0,799	0,026	0,750	0,550
6	Öl	15,9	0,918	-0,225	1,105	0,0433	0,816	0,171	0,634	0,342
7	Pharma	7,9	0,518	0,104	1,113	0,0366	1,116	0,014	0,979	0,962
8	Chemie	5,1	0,590	-0,320	1,493	0,1133	0,757	0,044	0,817	0,671
9	Kunst	4,2	0,621	-0,269	1,433	0,0240	0,788	0,004	0,959	0,926
10	Steine	5,7	0,742	0,001	1,086	-0,0108	1,001	0,008	0,902	0,824
11	Stahl	5,1	0,655	-0,247	1,351	0,0372	0,802	0,022	0,853	0,735
12	Masch	3,2	0,690	-0,310	1,389	0,0566	0,763	0,012	0,970	0,945
13	Büro	3,5	0,590	-0,239	1,513	0,2097	0,807	0,093	0,937	0,887
14	Elektriz	4,9	0,661	-0,117	1,251	0,0386	0,895	0,013	0,928	0,870
15	Nachricht	2,6	0,448	-0,216	1,560	0,1234	0,822	0,019	0,987	0,977
16	Mess	3,6	0,556	-0,608	1,611	0,0758	0,622	0,017	0,897	0,815
17	Kraftwag	2,3	0,463	-0,307	1,611	0,0515	0,765	0,026	0,978	0,960
18	Sonst Fahr	2,3	0,452	-0,855	1,806	0,1235	0,539	0,118	0,946	0,904
19	Sonst Prod	4,6	0,632	-0,401	1,496	0,0500	0,714	0,010	0,851	0,733
20	Versorg	5,3	0,854	0,110	0,936	-0,0226	1,123	0,006	0,840	0,712
21	Bau	4,9	0,675	-0,087	1,210	-0,0131	0,920	0,009	0,949	0,909
22	Handel	5,7	0,619	-0,291	1,323	-0,0086	0,775	0,002	0,952	0,914
23	Eisenb-DL	6,0	0,826	0,261	0,888	-0,0412	1,354	0,061	0,846	0,723
24	Landv-DL	5,1	0,545	0,013	1,092	0,0064	1,013	0,004	0,950	0,909
25	Schiff-DL	4,0	0,516	0,235	0,989	0,0191	1,307	0,042	0,845	0,721
26	Luft-DL	6,8	0,705	0,141	1,012	0,0839	1,164	0,004	0,986	0,976
27	Sonst-DL	5,8	0,572	0,010	1,181	0,0132	1,010	0,002	0,993	0,987
28	Nach-DL	5,5	0,799	-0,485	1,359	0,0977	0,673	0,012	0,975	0,954
29	Banken	5,7	0,587	0,091	1,088	-0,0012	1,100	0,004	0,985	0,973
30	Vermiet	6,1	0,637	0,189	0,932	0,0104	1,233	0,007	0,983	0,969
31	Untern-DL	9,9	0,513	0,083	1,091	-0,0157	1,091	0,003	0,997	0,994
32	Öff-DL	5,7	0,601	0,155	1,005	-0,0010	1,184	0,001	0,988	0,978
	Gesamt	5,2	0,598	-0,156	1,240	0,0113	0,865	0,002	0,982	0,968

Tabelle B-5: Sektorale CES-Produktionsfunktionen mit exogenem Fortschritt, Ausrüstungs-
kapital und Arbeitszeiten

Sektor	Kürzel	c	δ	ρ	r	λ	σ	S	R ² (1)	R ² (2)
1	Land	283,8	0,355	0,097	0,990	0,0235	1,108	0,006	0,937	0,886
2	Kohle	199,0	0,225	-0,304	1,397	0,1063	0,767	0,089	0,820	0,676
3	Nahrung	275,5	0,676	-0,323	1,153	0,0046	0,756	0,002	0,908	0,835
4	Textil	272,6	0,455	-0,153	1,184	0,0783	0,867	0,005	0,988	0,978
5	Papier	341,6	0,695	-0,347	1,120	0,0456	0,743	0,021	0,743	0,538
6	Öl	804,7	0,919	-0,355	0,996	0,0578	0,738	0,168	0,717	0,490
7	Pharma	391,9	0,472	0,019	1,011	0,0406	1,020	0,009	0,995	0,991
8	Chemie	252,1	0,504	-0,396	1,289	0,1118	0,716	0,042	0,817	0,671
9	Kunst	205,9	0,541	-0,355	1,251	0,0324	0,738	0,005	0,946	0,903
10	Steine	283,2	0,664	-0,150	1,043	0,0113	0,870	0,004	0,874	0,773
11	Stahl	255,0	0,590	-0,338	1,190	0,0413	0,748	0,023	0,846	0,722
12	Masch	159,9	0,628	-0,392	1,214	0,0584	0,718	0,013	0,963	0,933
13	Büro	173,2	0,465	-0,299	1,338	0,2040	0,770	0,083	0,947	0,904
14	Elektriz	241,6	0,591	-0,185	1,124	0,0437	0,844	0,008	0,951	0,913
15	Nachricht	131,7	0,464	-0,232	1,268	0,1156	0,812	0,021	0,971	0,947
16	Mess	174,6	0,497	-0,673	1,329	0,0715	0,598	0,016	0,909	0,837
17	Kraftwag	115,3	0,482	-0,417	1,354	0,0617	0,706	0,028	0,981	0,965
18	Sonst Fahr	101,8	0,491	-0,953	1,463	0,1174	0,512	0,124	0,944	0,899
19	Sonst Prod	226,1	0,533	-0,488	1,279	0,0506	0,672	0,009	0,914	0,845
20	Versorg	263,7	0,835	0,095	0,821	-0,0030	1,105	0,006	0,859	0,746
21	Bau	243,9	0,581	-0,299	1,150	0,0039	0,770	0,003	0,982	0,968
22	Handel	284,2	0,546	-0,382	1,157	0,0036	0,723	0,003	0,885	0,793
23	Eisenb-DL	303,9	0,886	0,330	0,747	-0,0260	1,492	0,066	0,830	0,694
24	Landv-DL	254,5	0,511	-0,159	1,097	0,0098	0,863	0,004	0,938	0,888
25	Schiff-DL	206,0	0,662	0,341	0,798	-0,0046	1,517	0,039	0,905	0,829
26	Luft-DL	345,2	0,646	-0,128	1,053	0,0529	0,886	0,005	0,989	0,980
27	Sonst-DL	294,2	0,547	-0,251	1,167	0,0286	0,799	0,003	0,997	0,995
28	Nach-DL	275,7	0,718	-0,599	1,179	0,0956	0,625	0,011	0,982	0,968
29	Banken	284,4	0,559	-0,004	1,034	-0,0081	0,996	0,003	0,978	0,961
30	Vermiet	309,8	0,687	0,138	0,910	-0,0058	1,160	0,007	0,987	0,977
31	Untern-DL	494,8	0,496	0,111	0,944	-0,0153	1,125	0,001	0,999	0,998
32	Öff-DL	285,4	0,574	0,054	0,969	-0,0018	1,057	0,001	0,993	0,987
	Gesamt	258,8	0,517	-0,329	1,167	0,0228	0,752	0,002	0,981	0,965

Tabelle B-6: Veränderung der Nachfrageseite von EST-50% gegenüber BAU

Veränderung EST-50% zu BAU in 2030	Konsum	Investierende Sektoren	Invest.-güter produzierende Sektoren	Export	Endnachfrage	Output
Land	-2,34	-2,05	-0,17	-5,46	-4,01	-4,02
Kohle	-2,34	-7,20	-4,55	-7,56	-7,26	-9,65
Nahrung	-2,34	-0,67	-	-7,18	-3,45	-3,44
Textil	-2,34	-0,23	-0,52	-7,03	-3,84	-3,85
Papier	-2,34	-2,63	0,66	-6,07	-4,96	-4,63
Öl	-2,34	-4,71	-	-7,16	-3,40	-15,83
Pharma	-2,34	-1,52	-	-1,41	-1,09	-1,10
Chemie	-2,34	-0,43	-	-7,18	-6,91	-5,07
Kunst	-2,34	-4,97	-2,27	-6,89	-6,56	-4,58
Steine	-2,34	-0,01	1,20	-5,55	-4,49	-2,08
Stahl	-2,34	-0,19	6,48	12,32	9,32	-4,44
Masch	-2,34	-0,20	-0,86	-2,69	-2,15	-2,74
Büro	-2,34	-0,08	-0,36	-1,52	-1,41	-2,32
Elektriz	-2,34	1,26	14,07	34,09	26,20	20,68
Nachricht	-2,34	0,00	-1,64	-4,60	-3,03	-2,85
Mess	-2,34	-0,57	-0,14	-1,30	-1,29	-1,28
Kraftwag	-16,53	-4,69	-5,68	-26,21	-20,14	-16,05
Sonst Fahr	-2,34	-1,81	-13,63	34,71	26,86	22,60
Sonst Prod	-2,34	-8,68	-0,13	-5,78	-3,09	-5,84
Versorg	-4,64	2,53	55,39	15,13	14,27	12,12
Bau	-2,34	-0,19	0,72	1,34	0,49	-0,46
Handel	-4,75	-5,30	-1,44	-11,97	-5,70	-5,61
Eisenb-DL	38,56	303,08	133,00	106,89	41,12	41,77
Landv-DL	3,09	-26,55	-2,24	1,36	1,40	1,09
Schiff-DL	-2,34	14,56	-	-7,22	-7,56	-8,51
Luft-DL	-32,54	-73,75	-	-63,64	-59,08	-62,21
Sonst-DL	-32,54	-8,98	-	-51,97	-42,53	-32,61
Nach-DL	-2,34	-2,58	-	-7,15	-3,51	-4,83
Banken	-2,34	-0,87	-	-7,16	-3,63	-3,71
Vermiet	-2,34	-0,47	-0,56	-7,00	-2,85	-3,50
Untern-DL	-2,34	-0,02	0,32	-0,71	-0,56	-3,36
Öff-DL	-2,34	5,67	0,35	-1,57	-0,64	-0,86

Tabelle B-7: Veränderung der Nachfrageseite von EST-80% gegenüber BAU

Veränderung EST-80% zu BAU in 2030	Konsum	Investierende Sektoren	Invest.-güter produzierende Sektoren	Export	Endnachfrage	Output
Land	-3,66	-4,43	-0,87	-9,46	-6,81	-6,83
Kohle	-3,66	-12,25	-7,04	-12,48	-11,99	-14,56
Nahrung	-3,66	-1,30	0,00	-12,05	-5,58	-5,61
Textil	-3,66	-0,47	-1,55	-11,82	-6,27	-6,29
Papier	-3,66	-5,22	-0,40	-10,61	-8,51	-8,76
Öl	-3,66	-7,27	0,00	-12,02	-5,50	-20,74
Pharma	-3,66	-2,70	0,00	-2,37	-1,82	-1,83
Chemie	-3,66	-1,05	0,00	-12,05	-11,55	-10,25
Kunst	-3,66	-8,95	-4,21	-11,75	-11,11	-8,14
Steine	-3,66	-0,02	0,77	-9,76	-7,71	-4,54
Stahl	-3,66	-0,48	7,21	13,27	10,20	-13,98
Masch	-3,66	-0,50	-1,78	-5,28	-4,15	-6,16
Büro	-3,66	-0,18	-1,68	-4,93	-4,11	-6,18
Elektriz	-3,66	1,18	15,77	39,15	30,82	24,31
Nachricht	-3,66	0,00	-3,47	-8,98	-5,86	-5,74
Mess	-3,66	-1,16	-0,26	-2,25	-2,21	-2,22
Kraftwag	-31,58	-8,60	-12,18	-51,90	-43,26	-38,28
Sonst Fahr	-3,66	-3,21	-12,37	36,79	27,19	22,27
Sonst Prod	-3,66	-20,93	-0,30	-9,74	-5,04	-13,87
Versorg	-5,94	5,91	37,57	61,74	32,64	26,87
Bau	-3,66	-0,41	0,08	-0,38	-0,16	-1,55
Handel	-6,32	-12,31	-3,26	-16,93	-7,90	-8,91
Eisenb-DL	38,37	421,03	149,83	132,44	47,11	47,24
Landv-DL	5,28	-26,35	-3,51	5,62	5,64	5,37
Schiff-DL	-3,66	14,52	0,00	-12,11	-12,65	-17,10
Luft-DL	-26,93	-90,45	0,00	-58,66	-55,60	-61,18
Sonst-DL	-26,93	-14,81	0,00	-47,57	-39,45	-40,40
Nach-DL	-3,66	-5,00	0,00	-11,99	-5,68	-8,86
Banken	-3,66	-1,74	0,00	-12,01	-5,90	-6,95
Vermiet	-3,66	-1,08	-1,55	-11,77	-4,56	-6,28
Untern-DL	-3,66	-0,03	-0,34	-2,61	-1,68	-8,16
Öff-DL	-3,66	11,85	-0,02	-2,66	-1,03	-1,46

Tabelle B-8: Veränderung der Input-Koeffizienten von EST-50% gegenüber BAU (Teil 1)

Änderung der Input-Koeffizienten	Land	Kohle	Nahrung	Textil	Papier	Öl	Pharma	Chemie	Kunst	Steine	Stahl	Masch	Büro	Elektriz	Nachricht	Mess
Textil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Öl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Chemie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kunst	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stahl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mess	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kraftwagen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sonst Fahr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Versorg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eisenb-DL	108,3	120,2	107,0	107,9	110,1	135,8	102,3	111,0	110,2	105,6	114,6	106,7	107,1	78,5	106,5	102,9
Landv-DL	-34,9	-31,2	-35,3	-35,0	-34,3	-26,3	-36,7	-34,0	-34,3	-35,7	-32,9	-35,4	-35,3	-44,2	-35,4	-36,6
Schiff-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Luft-DL	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-63,7	-68,3	-75,0	-75,0	-36,1
Sonst-DL	-73,5	-68,3	-6,2	-70,6	-73,5	0,0	-53,4	-29,4	-24,1	-15,6	-42,6	-14,2	-69,5	-74,4	-73,9	-22,2

Tabelle B-9: Veränderung der Input-Koeffizienten von EST-50% gegenüber BAU (Teil 2)

Änderung der Input-Koeffizienten	Kraftwagen	Sonst Fahr	Sonst Prod	Versorg	Bau	Handel	Eisenb-DL	Landv-DL	Schiff-DL	Luft-DL	Sonst-DL	Nach-DL	Banken	Vermiet	Untern-DL	Öff-DL
Textil	15,7	15,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Öl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-8,2	-12,4	-4,1	-12,4	-8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Chemie	12,0	16,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kunst	15,7	15,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stahl	-12,4	-15,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mess	15,7	15,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kraftwagen	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sonst Fahr	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Versorg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,4	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eisenb-DL	140,6	55,1	112,8	79,7	102,0	112,0	42,3	92,7	118,4	431,2	196,3	110,3	0,0	0,0	107,8	101,9
Landv-DL	-24,8	-51,5	-33,5	-43,8	-36,9	-33,7	-55,5	-39,8	-31,7	-66,0	-7,4	-27,8	-35,1	-35,2	-35,0	-36,9
Schiff-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Luft-DL	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	0,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0
Sonst-DL	-7,3	-73,1	-33,2	-73,6	-73,2	-19,0	-1,5	-1,4	-0,3	-1,9	-0,7	-71,2	0,0	0,0	0,0	-64,7

Tabelle B-10: Veränderung der Input-Koeffizienten von EST-80% gegenüber BAU (Teil 1)

Änderung der Input-Koeffizienten	Land	Kohle	Nahrung	Textil	Papier	Öl	Pharma	Chemie	Kunst	Steine	Stahl	Masch	Büro	Elektriz	Nachricht	Mess
Textil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Öl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Chemie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kunst	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stahl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mess	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kraftwagen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sonst Fahr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Versorg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eisenb-DL	76,6	93,4	73,7	75,5	81,2	104,9	64,1	85,5	80,6	72,1	93,6	73,1	73,5	40,4	72,5	65,1
Landv-DL	-20,1	-12,5	-21,4	-20,6	-18,0	-7,3	-25,7	-16,1	-18,2	-22,1	-12,4	-21,7	-21,5	-36,5	-21,9	-25,3
Schiff-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Luft-DL	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0
Sonst-DL	-73,5	-68,3	-16,1	-70,6	-74,5	0,0	-74,6	-74,8	-62,5	-40,5	-74,7	-37,0	-69,5	-74,4	-73,9	-57,8

Tabelle B-11: Veränderung der Input-Koeffizienten von EST-80% gegenüber BAU (Teil 2)

Änderung der Input-Koeffizienten	Kraftwagen	Sonst Fahr	Sonst Prod	Versorg	Bau	Handel	Eisenb-DL	Landv-DL	Schiff-DL	Luft-DL	Sonst-DL	Nach-DL	Banken	Vermiet	Untern-DL	Öff-DL
Textil	32,0	32,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Öl	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-20,0	-30,0	-10,0	-30,0	-20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Chemie	24,3	33,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kunst	32,0	32,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stahl	-25,2	-32,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mess	32,0	32,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kraftwagen	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sonst Fahr	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Versorg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eisenb-DL	166,4	26,6	89,4	29,0	64,3	79,3	9,4	45,7	100,0	314,3	170,9	79,6	0,0	0,0	77,7	63,4
Landv-DL	-20,6	-42,7	-14,3	-41,6	-25,6	-18,8	-50,5	-34,1	-9,5	-87,5	-22,6	-18,7	-20,3	-21,2	-19,6	-26,1
Schiff-DL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Luft-DL	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	0,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0
Sonst-DL	-18,9	-73,1	-74,8	-73,6	-73,2	-49,4	-4,0	-3,5	-0,8	-4,9	-1,7	-71,2	0,0	0,0	0,0	-64,7

Tabelle B-12: Vergleich der Investitionen zwischen BAU und EST-80%

Sektoren	BAU 2030 [Mill. €]		EST-80% 2030 [Mill. €]		Prozentuale Veränderung von EST-80% zu BAU	
	Investierende Sektoren	Invest.-güter herstellende Sektoren	Investierende Sektoren	Invest.-güter herstellende Sektoren	Investierende Sektoren	Invest.-güter herstellende Sektoren
Land	20.227	6.913	19.330	6.853	-4,43	-0,87
Kohle	3.791	692	3.327	643	-12,25	-7,04
Nahrung	11.370	0	11.223	0	-1,30	0,00
Textil	2.971	801	2.957	788	-0,47	-1,55
Papier	2.674	4.406	2.534	4.388	-5,22	-0,40
Öl	8.909	0	8.261	0	-7,27	0,00
Pharma	6.398	0	6.225	0	-2,70	0,00
Chemie	1.879	0	1.859	0	-1,05	0,00
Kunst	5.303	1.282	4.829	1.228	-8,95	-4,21
Steine	1.191	785	1.190	791	-0,02	0,77
Stahl	4.711	22.988	4.689	24.646	-0,48	7,21
Masch	11.973	85.195	11.913	83.677	-0,50	-1,78
Büro	321	26.823	320	26.373	-0,18	-1,68
Elektriz	8.121	22.345	8.217	25.869	1,18	15,77
Nachricht	612	25.529	612	24.642	0,00	-3,47
Mess	14.056	23.610	13.893	23.548	-1,16	-0,26
Kraftwag	19.500	55.886	17.822	49.079	-8,60	-12,18
Sonst Fahr	4.519	23.391	4.374	20.499	-3,21	-12,37
Sonst Prod	252	6.573	199	6.554	-20,93	-0,30
Versorg	17.451	20.227	18.483	43.241	5,91	37,57
Bau	7.592	149.589	7.561	149.702	-0,41	0,08
Handel	34.462	28.642	30.220	27.707	-12,31	-3,26
Eisenb-DL	8.068	248	42.036	621	421,03	149,83
Landv-DL	16.088	8.407	11.848	8.112	-26,35	-3,51
Schiff-DL	1.326	0	1.519	0	14,52	0,00
Luft-DL	10.047	0	959	0	-90,45	0,00
Sonst-DL	38.896	0	33.137	0	-14,81	0,00
Nach-DL	16.439	0	15.616	0	-5,00	0,00
Banken	22.388	0	21.998	0	-1,74	0,00
Vermiet	142.932	3.784	141.388	3.725	-1,08	-1,55
Untern-DL	29.836	42.771	29.828	42.627	-0,03	-0,34
Öff-DL	90.613	5.442	101.355	5.440	11,85	-0,02

Tabelle B-13: Elastizitäten der Nachfrage in Bezug auf Zeiten und Preise im Modell Panta Rhei¹

Matrixelement	Elastizität (Zeit)	Elastizität (RP)
09,23		-0,32
10,45		-0,34
10,48		-0,29
16,20	-1,02	
16,23	-0,41	
17,20		
17,23		
17,25	-4,36	
18,20	-2,02	
18,23		
19,20	1,07	
19,23		
19,25	-2,80	-1,54
20,20	-1,16	
21,20	-1,72	
21,23		
21,25	1,66	
23,23		-1,20
25,25	2,02	
26,20	-1,85	-1,63
26,23		
26,25		
28,20		
28,23		
48,45		
48,48		

Sektorenbezeichnung²:

- 9 Chemische Erzeugnisse
- 10 Mineralölerzeugnisse
- 16 Eisen und Stahl
- 17 NE-Metalle
- 18 Gießereierzeugnisse
- 19 Ziehereien
- 20 Stahlbau und Schienenfahrzeuge
- 21 Maschinen
- 23 Straßenfahrzeuge
- 25 Luftfahrzeuge
- 26 Elektrotechnik
- 28 EBM-Waren
- 45 Dienstleistungen der Eisenbahnen
- 48 Dienstleistungen des sonstigen Verkehrs

¹ Lutz (2002)² Klassifikation nach WZ79

Tabelle B-14: Sektorale Gliederung in ESCOT und WZ93 mit 71 Sektoren

Sektor in ESCOT	Kürzel	Kurzbezeichnung	Langbezeichnung	Klassifikation in IO-Tabelle mit 71 Produktionsbereichen
1	Land	Landwirtschaft	Land- und Forstwirtschaft	1--3
2	Kohle	Kohle	Kohle, Erdöl, Uran, Erz, Steine und Erden	4--8
3	Nahrung	Nahrungsmittel	Nahrungsmittel, Getränke, Tabakwaren	9--11
4	Textil	Textil	Textilien, Bekleidung, Lederwaren	12--14
5	Papier	Holz	Holz, Papier, Verlagswesen, Druckerzeugnisse	15--19
6	Öl	Mineralölverarbeitung	Kokerei- und Mineralölerzeugnisse, Spalt- und Brutstoffe	20
7	Pharma	Pharmazie	Pharmazeutische Erzeugnisse	21
8	Chemie	Chemie	Chemische Erzeugnisse	22
9	Kunst	Kunststoff	Gummi- und Kunststoffherstellung	23--24
10	Steine	Steine	Glas, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	25--26
11	Stahl	Stahl	Eisen, Stahl, NE-Metall, Gießereierzeugnisse	27--30
12	Masch	Maschinenbau	Maschinenbau	31
13	Büro	Büromaschinen	Büromaschinen	32
14	Elektriz	Elektrizitätserzeugung	Elektrizitätserzeugung	33
15	Nachricht	Nachrichtentechnik	Rundfunk-, Fernseh- und Nachrichtentechnik	34
16	Mess	Messtechnik	Medizin-, Steuer-, Mess- und Regeltechnik	35
17	Kraftwag	Kraftwagen	Kraftwagen und Kraftwagenteile	36
18	Sonst Fahr	Sonstige Fahrzeuge	Sonstige Fahrzeuge (Wasser-, Schienen, Luftfahrzeuge)	37
19	Sonst Prod	Sonstige Produkte	Herstellung von Möbel, Schmuck, Musikinstrumente etc.	38--39
20	Versorg	Versorgung	Elektrizitäts-, Gas- und Wasserversorgung	40--42
21	Bau	Bau	Hoch- und Tiefbau	43--44
22	Handel	Handel	Handel	45--48
23	Eisenb-DL	Eisenbahndienstleistungen	Eisenbahndienstleistungen	49
24	Landv-DL	Landverkehrsleistungen	Sonstige Landverkehrsleistungen, Transportleistungen in Rohrfernleitungen	50
25	Schiff-DL	Schifffahrtsleistungen	Schifffahrtsleistungen	51
26	Luft-DL	Luftfahrtsleistungen	Luftfahrtsleistungen	52
27	Sonst-DL	Sonstige Dienstleistungen	Dienstleistungen bezüglich Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr	53
28	Nach-DL	Nachrichtendienstleistungen	Nachrichtendienstleistungen	49--54
29	Banken	Banken	Banken, Versicherungen	55--57
30	Vermiet	Vermietungen	Vermietungen	58--59
31	Untern-DL	Unternehmensdienstleistungen	Unternehmensbezogene Dienstleistungen	60--62
32	Öff-DL	Öffentliche Dienstleistungen	Öffentliche Dienstleistungen	63--71

Tabelle B-15: Gliederung der Produktionsbereiche in den Input-Output Tabellen³

59 Produktionsbereiche ⁴	71 Produktionsbereiche	Vergleichbare Position der CPA ⁵ bzw. der WZ 93 ⁶
1 Erzeugung von Produkten der Landwirtschaft und Jagd	1 Erzeugung von Produkten der Landwirtschaft und Jagd	01
2 Erzeugung von Produkten der Forstwirtschaft	2 Erzeugung von Produkten der Forstwirtschaft	02
3 Erzeugung von Produkten der Fischerei und Fischzucht	3 Erzeugung von Produkten der Fischerei und Fischzucht	05
4 Gewinnung von Kohle und Torf	4 Gewinnung von Kohle und Torf	10
5 Gewinnung von Erdöl, Erdgas, Erbringung diesbezüglicher Dienstleistungen	5 Gewinnung von Erdöl, Erdgas, Erbringung diesbezüglicher Dienstleistungen	11
6 Gewinnung von Uran- und Thoriumerzen	6 Gewinnung von Uran- und Thoriumerzen	12
7 Gewinnung von Erzen	7 Gewinnung von Erzen	13
8 Gewinnung von Steinen und Erden, sonstigen Bergbauerzeugnissen	8 Gewinnung von Steinen und Erden, sonstigen Bergbauerzeugnissen	14
9 Herstellung von Nahrungs-, Futtermitteln und Getränken	9 Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	15.1 – 15.8
	10 Herstellung von Getränken	15.9
10 Herstellung von Tabakwaren	11 Herstellung von Tabakwaren	16
11 Herstellung von Textilien	12 Herstellung von Textilien	17
12 Herstellung von Bekleidung	13 Herstellung von Bekleidung	18
13 Herstellung von Leder und Lederwaren	14 Herstellung von Leder und Lederwaren	19
14 Herstellung von Holz und Holzzeugnissen	15 Herstellung von Holz und Holzzeugnissen	20
15 Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	16 Herstellung von Holzstoff, Zellstoff, Papier, Karton und Pappe	21.1
	17 Herstellung von Papier-, Karton- und Pappwaren	21.2

³ Statistisches Bundesamt (2004a)⁴ Die Abgrenzung der Gütergruppen entspricht derjenigen für Produktionsbereiche⁵ Statistische Güterklassifikation in Verbindung mit den Wirtschaftszweigen in der Europäischen Gemeinschaft⁶ Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen - Ausgabe 1993

59 Produktionsbereiche	71 Produktionsbereiche	Vergleichbare Position der CPA bzw. der WZ 93
16 Herstellung von Verlags- und Druckerzeugnissen, bespielten Ton-, Bild- und Datenträgern	18 Herstellung von Verlagsserzeugnissen	22.1
	19 Herstellung von Druckerzeugnissen, bespielten Ton-, Bild- und Datenträgern	22.2 – 22.3
17 Herstellung von Kokereierzeugnissen, Mineralölerzeugnissen, Spalt- und Brutstoffen	20 Herstellung von Kokereierzeugnissen, Mineralölerzeugnissen, Spalt- und Brutstoffen	23
18 Herstellung von chemischen Erzeugnissen	21 Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	24.4
	22 Herstellung von chemischen Erzeugnissen (oh. pharmaz. Erzeugn.)	24 (ohne 24.4)
19 Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	23 Herstellung von Gummiwaren	25.1
	24 Herstellung von Kunststoffwaren	25.2
20 Herstellung von Glas, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	25 Herstellung von Glas und Glaswaren	26.1
	26 Herstellung von Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	26.2 – 26.8
21 Herstellung von Metallen und Halbzeug daraus	27 Herstellung von Roheisen, Stahl, Rohren und Halbzeug daraus	27.1 – 27.3
	28 Herstellung von NE-Metallen und Halbzeug daraus	27.4
	29 Herstellung von Gießereierzeugnissen	27.5
22 Herstellung von Metallerzeugnissen	30 Herstellung von Metallerzeugnissen	28
23 Herstellung von Maschinen	31 Herstellung von Maschinen	29
24 Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen	32 Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen	30
25 Herstellung von Geräten der Elektrizitätserzeugung, -verteilung u.ä.	33 Herstellung von Geräten der Elektrizitätserzeugung, -verteilung u.ä.	31
26 Herstellung von Erzeugnissen der Rundfunk-, Fernseh- und Nachrichtentechnik	34 Herstellung von Erzeugnissen der Rundfunk-, Fernseh- und Nachrichtentechnik	32
27 Herstellung von Erzeugnissen der Medizin-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik	35 Herstellung von Erzeugnissen der Medizin-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik	33

59 Produktionsbereiche	71 Produktionsbereiche	Vergleichbare Position der CPA bzw. der WZ 93
28 Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen	36 Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen	34
29 Herstellung von sonstigen Fahrzeugen (Wasser-, Schienen-, Luftfahrzeuge u.a.)	37 Herstellung von sonstigen Fahrzeugen (Wasser-, Schienen-, Luftfahrzeuge u.a.)	35
30 Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten, Spielwaren u.ä.	38 Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten, Spielwaren u.ä.	36
31 Herstellung von Sekundärrohstoffen	39 Herstellung von Sekundärrohstoffen	37
32 Erzeugung und Verteilung von Energie (Strom, Gas)	40 Erzeugung und Verteilung von Elektrizität und Fernwärme	40.1, 40.3
	41 Erzeugung und Verteilung von Gasen	40.2
33 Gewinnung und Verteilung von Wasser	42 Gewinnung und Verteilung von Wasser	41
34 Bauarbeiten	43 Vorbereitende Baustellenarbeiten, Hoch- und Tiefbauarbeiten	45.1 – 45.2
	44 Bauinstallationsarbeiten und sonstige Bauarbeiten	45.3 – 45.5
35 Handelsleistungen mit Kfz; Reparaturen an Kfz; Tankleistungen	45 Handelsleistungen mit Kfz; Reparaturen an Kfz; Tankleistungen	50
36 Handelsvermittlungs- und Großhandelsleistungen	46 Handelsvermittlungs- und Großhandelsleistungen	51
37 Einzelhandelsleistungen; Reparaturen an Gebrauchsgütern	47 Einzelhandelsleistungen; Reparaturen an Gebrauchsgütern	52
38 Beherbergungs- und Gaststättendienstleistungen	48 Beherbergungs- und Gaststättendienstleistungen	55
39 Landverkehrs- und Transportleistungen in Rohrfernleitungen	49 Eisenbahndienstleistungen	60.1
	50 Sonstige Landverkehrsleistungen, Transportleistungen in Rohrfernleitungen	60.2 - 60.3
40 Schifffahrtsleistungen	51 Schifffahrtsleistungen	61
41 Luftfahrtleistungen	52 Luftfahrtleistungen	62
42 Dienstleistungen bezüglich Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr	53 Dienstleistungen bezüglich Hilfs- und Nebentätigkeiten für den Verkehr	63
43 Nachrichtenübermittlungsdienstleistungen	54 Nachrichtenübermittlungsdienstleistungen	64
44 Dienstleistungen der Kreditinstitute	55 Dienstleistungen der Kreditinstitute	65

59 Produktionsbereiche	71 Produktionsbereiche	Vergleichbare Position der CPA bzw. der WZ 93
45 Dienstleistungen der Versicherungen (ohne Sozialversicherung)	56 Dienstleistungen der Versicherungen (ohne Sozialversicherung)	66
46 Dienstleistungen des Kredit- und Versi- cherungshilfsgewerbes	57 Dienstleistungen des Kredit- und Versi- cherungshilfsgewerbes	67
47 Dienstleistungen des Grundstücks- und Wohnungswesens	58 Dienstleistungen des Grundstücks- und Wohnungswesens	70
48 Dienstleistungen der Vermietung beweg- licher Sachen (ohne Personal)	59 Dienstleistungen der Vermietung beweg- licher Sachen (ohne Personal)	71
49 Dienstleistungen der Datenverarbeitung und von Datenbanken	60 Dienstleistungen der Datenverarbeitung und von Datenbanken	72
50 Forschungs- und Entwicklungsleistungen	61 Forschungs- und Entwicklungsleistungen	73
51 Unternehmensbezogene Dienstleistungen	62 Unternehmensbezogene Dienstleistungen	74
52 Dienstleistungen der öffentlichen Verwal- tung, Verteidigung, Sozialversicherung	63 Dienstleistungen der öffentlichen Verwaltung, Verteidigung	75.1 – 75.2
	64 Dienstleistungen der Sozialversicherung	75.3
53 Erziehungs- und Unterrichtsdienstleistungen	65 Erziehungs- und Unterrichtsdienst- leistungen	80
54 Dienstleistungen des Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesens	66 Dienstleistungen des Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesens	85
55 Abwasser-, Abfallbeseitigungs- und sonstige Entsorgungsleistungen	67 Abwasser-, Abfallbeseitigungs- und sonstige Entsorgungsleistungen	90
56 Dienstleistungen von Interessenver- tretungen, Kirchen u.ä.	68 Dienstleistungen von Interessenver- tretungen, Kirchen u.ä.	91
57 Kultur-, Sport- u. Unterhaltungsdienst- leistungen	69 Kultur-, Sport- und Unterhaltungsdienst- leistungen	92
58 Sonstige Dienstleistungen	70 Sonstige Dienstleistungen	93
59 Dienstleistungen privater Haushalte	71 Dienstleistungen privater Haushalte	95

Tabelle B-16: Technologische Veränderungen im EST-80%-Szenario⁷

Bereich	EST-80%
Elektrische Energie	50% aus Erneuerbarer Energie
Personenkraftwagen (PKW)	verbesserter Verbrennungsmotor mit einem Kraftstoffverbrauch von 2,5 l / 100 km, EZEV Grenzwertsetzung, keine Diesel-PKW
Motorräder	Drei-Wege-Katalysator
Lastkraftwagen (LKW) Überlandbusse	dieselbetriebener Verbrennungsmotor 40% Reduktion des Kraftstoffverbrauchs 95% Reduktion von Rußpartikeln (PM) 90% Reduktion von Stickoxiden (NO _x)
Zug (Diesel)	40% Reduktion des Kraftstoffverbrauchs 95% Reduktion von Rußpartikeln (PM) 90% Reduktion von Stickoxiden (NO _x)
Binnenschiff und Seeschiff	40% Reduktion des Kraftstoffverbrauchs 95% Reduktion von Rußpartikeln (PM) 90% Reduktion von Stickoxiden (NO _x)
Straßenbahn Zug (Electric)	40% Verbesserung der Energieeffizienz
Stadtbus	Oberleitungsbus, gasbetriebener Bus
Flugzeug	55% Reduktion des Kraftstoffverbrauchs

⁷ vgl. Umweltbundesamt, Wuppertal Institut (1997), S. 45ff

Tabelle B-17: Output der 32 Sektoren⁸

[Mrd. €]	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Land	71,2	68,0	63,2	63,8	62,5	63,6	64,3	62,8	61,7	62,8
Kohle	51,9	47,2	44,2	42,3	39,1	36,6	37,0	32,0	32,5	47,9
Nahrung	164,4	162,1	152,5	150,8	152,3	151,6	154,3	152,0	151,4	155,3
Textil	87,8	80,6	71,9	69,1	67,5	66,2	67,9	67,7	65,5	67,7
Papier	118,3	115,9	107,0	110,4	115,0	111,9	114,2	115,6	119,7	127,4
Öl	39,5	32,9	30,4	29,6	28,7	31,5	31,8	27,1	29,0	47,7
Pharma	23,5	24,2	22,7	23,3	24,9	23,9	26,8	28,1	29,1	31,6
Chemie	112,9	104,7	93,3	99,7	110,3	108,0	111,8	117,1	120,2	139,5
Kunst	57,1	56,8	51,8	51,9	55,5	54,4	58,0	59,9	60,3	63,7
Steine	45,3	47,3	46,3	48,9	49,4	45,9	44,8	44,1	44,9	45,0
Stahl	181,4	172,2	149,2	154,9	173,0	161,8	167,2	176,1	169,6	189,1
Masch	188,7	178,3	152,2	151,6	162,5	163,6	166,5	177,5	176,6	191,6
Büro	31,1	28,6	25,1	25,0	28,7	27,8	31,9	36,9	38,5	48,9
Elektriz	86,2	85,7	82,9	84,5	80,0	78,3	81,4	86,4	91,6	96,6
Nachricht	44,3	41,1	39,3	42,2	43,4	43,2	45,6	47,4	54,8	74,8
Mess	43,6	44,9	40,7	40,2	38,0	39,3	41,5	43,9	45,7	52,4
Kraftwag	171,1	168,4	136,8	143,7	163,6	173,6	188,3	212,6	230,4	246,3
Sonst Fahr	38,4	35,9	31,4	28,6	26,8	30,7	35,5	40,8	45,7	53,0
Sonst Prod	45,2	45,3	42,1	40,9	41,4	40,8	42,2	43,9	44,1	46,7
Versorg	69,7	67,5	66,5	65,3	65,6	66,7	64,6	67,6	65,4	62,0
Bau	207,3	236,5	244,7	262,2	259,4	250,0	240,8	230,1	230,5	223,4
Handel	386,0	387,3	375,2	382,8	388,5	382,4	383,1	393,7	401,2	420,8
Eisenb-DL	20,9	19,0	16,4	14,8	14,9	14,6	15,1	14,3	14,7	15,2
Landv-DL	45,2	47,3	44,1	43,9	44,6	44,3	45,4	46,4	49,3	51,5
Schiff-DL	8,2	7,5	7,8	8,1	8,1	8,5	9,2	9,4	9,9	12,8
Luft-DL	15,1	15,7	15,6	16,8	16,2	16,4	17,6	18,5	19,2	21,9
Sonst-DL	52,3	52,9	54,7	56,4	56,7	57,8	60,7	63,7	65,7	69,9
Nach-DL	48,7	53,4	54,3	54,7	55,7	54,2	57,1	61,1	67,9	73,3
Banken	142,5	146,6	153,4	158,1	155,6	160,5	167,7	171,3	181,8	184,2
Vermiet	254,8	278,0	294,3	306,2	323,3	338,7	340,8	350,2	357,0	366,6
Untern-DL	221,4	238,7	252,4	249,5	260,7	270,2	280,5	294,3	316,1	332,9
Öff-DL	478,6	508,8	514,1	520,7	536,7	543,2	543,8	552,5	567,9	576,1
Gesamt	3.552,5	3.599,4	3.476,4	3.540,9	3.648,7	3.660,2	3.737,3	3.845,2	3.957,9	4.198,7

⁸ Statistisches Bundesamt (2004a)

Tabelle B-18: Netto-Anlagevermögen der 32 Sektoren⁹

[Mrd. €]	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Land	138,4	137,3	136,4	134,5	132,8	131,4	130,0	128,3	127,0	126,0	125,0	123,6
Kohle	24,4	23,8	23,5	21,8	20,8	20,2	19,1	18,1	17,2	16,3	15,4	14,4
Nahrung	55,3	58,3	61,3	62,7	62,7	62,4	61,4	60,0	58,8	58,2	57,6	56,8
Textil	20,3	20,4	20,1	19,2	18,6	17,8	17,0	16,3	15,7	15,1	14,6	13,9
Papier	39,3	42,0	44,1	45,0	45,2	45,3	44,9	44,7	45,2	46,8	48,3	48,6
Öl	10,7	11,0	11,3	10,9	10,8	10,5	10,7	10,7	10,4	9,9	9,6	9,2
Pharma	16,0	16,5	16,7	16,6	16,3	16,1	16,1	16,2	16,5	16,8	17,1	17,2
Chemie	41,8	43,0	43,8	43,5	42,8	42,2	42,2	42,5	43,2	43,9	44,7	45,0
Kunst	17,4	18,5	19,3	19,5	19,5	19,8	19,8	20,2	20,9	21,6	22,3	22,6
Steine	22,4	23,7	24,9	25,7	26,4	26,9	26,9	26,7	26,3	25,7	25,2	24,6
Stahl	55,6	57,7	59,3	58,3	57,3	56,0	54,9	54,0	54,4	55,7	56,3	56,8
Masch	48,8	51,2	52,3	50,9	49,0	47,6	46,1	44,9	44,6	44,8	45,1	45,4
Büro	8,5	9,0	8,9	8,0	7,2	6,4	5,9	5,7	5,6	5,5	5,3	4,9
Elektriz	27,0	28,2	29,0	28,7	28,1	27,4	26,5	25,9	25,6	25,4	25,8	26,4
Nachricht	11,1	11,7	12,2	12,2	12,0	11,7	11,7	11,7	11,9	12,3	13,9	16,7
Mess	9,8	11,7	11,9	12,7	12,3	11,8	11,4	11,1	10,9	10,8	11,0	11,3
Kraftwag	57,3	59,2	59,5	56,7	54,2	53,9	54,9	55,7	55,9	56,8	58,0	60,3
Sonst Fahr	8,0	8,5	8,8	8,9	9,0	9,3	9,3	9,1	8,9	8,7	8,8	9,0
Sonst Prod	13,8	14,4	14,9	14,9	14,9	14,8	14,5	14,4	14,2	14,2	14,1	13,8
Versorg	188,8	192,7	199,5	205,1	210,4	213,2	216,5	219,3	221,3	222,9	225,1	227,3
Bau	29,8	33,9	38,0	41,0	43,3	44,2	43,7	42,2	40,8	39,6	38,7	37,0
Handel	155,6	164,4	173,9	181,5	187,5	191,5	194,9	199,0	203,8	207,9	211,4	213,0
Eisenb-DL	99,4	101,0	102,8	104,2	106,0	107,0	107,6	107,7	111,1	112,5	114,2	114,2
Landv-DL	354,3	361,7	364,8	367,1	368,8	371,7	374,4	377,7	381,6	384,9	388,5	388,5
Schiff-DL	33,8	33,6	33,6	33,8	34,0	35,4	37,7	39,8	40,4	41,0	41,6	41,6
Luft-DL	11,4	10,9	10,0	9,3	8,6	8,1	7,6	7,4	7,2	7,8	7,6	7,6
Sonst-DL	24,0	25,2	26,1	26,5	27,1	27,3	27,6	28,0	28,5	29,2	29,7	29,7
Nach-DL	89,0	95,3	102,9	108,4	110,9	110,8	110,2	108,1	105,8	105,1	105,6	106,7
Banken	108,4	112,3	117,4	122,9	126,3	130,4	134,0	137,7	141,5	144,9	147,5	149,9
Vermiet	2.420,3	2.486,9	2.560,5	2.634,6	2.720,4	2.803,3	2.886,4	2.969,2	3.049,7	3.128,9	3.204,8	3.266,7
Untern-DL	228,2	244,3	256,8	267,1	282,4	298,0	311,2	325,1	340,8	357,4	378,0	395,8
Öff-DL	1.026,4	1.051,1	1.078,7	1.102,9	1.128,1	1.150,7	1.169,6	1.186,5	1.203,8	1.223,0	1.241,6	1.254,9
Gesamt	4.872,3	5.026,9	5.185,9	5.314,0	5.449,1	5.573,5	5.689,9	5.803,0	5.920,5	6.044,3	6.170,6	6.271,8

⁹ Statistisches Bundesamt (2004b); DIW (2002); eigene Berechnungen

Tabelle B-19: Beschäftigung in den 32 Sektoren¹⁰

[Tsd. Pers.]	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Land	1.768	1.660	1.551	1.325	1.225	1.173	1.117	1.008	990	990
Kohle	352	326	299	245	215	191	180	166	145	136
Nahrung	1.053	1.036	1.018	985	963	950	942	930	939	946
Textil	720	662	604	481	411	377	348	315	291	275
Papier	1.027	1.003	979	958	915	886	873	859	832	821
Öl	46	43	39	34	32	28	24	21	21	21
Pharma	151	145	138	128	119	112	108	105	109	109
Chemie	552	526	499	463	433	406	392	366	347	324
Kunst	458	448	438	429	403	392	399	387	385	399
Steine	409	397	385	356	345	341	341	324	308	301
Stahl	1.504	1.447	1.391	1.314	1.226	1.154	1.147	1.109	1.081	1.099
Masch	1.813	1.718	1.623	1.473	1.328	1.232	1.181	1.148	1.124	1.135
Büro	129	118	108	87	74	67	61	56	55	46
Elektriz	715	684	652	586	536	517	519	494	479	479
Nachricht	360	336	312	276	236	222	209	193	184	184
Mess	502	479	456	422	417	377	354	340	344	330
Kraftwag	801	780	759	725	672	635	620	653	676	699
Sonst Fahr	220	207	195	176	169	155	145	133	126	125
Sonst Prod	437	421	406	381	364	352	345	329	314	314
Versorg	409	395	381	365	353	342	329	311	297	283
Bau	2.735	2.798	2.861	2.967	3.068	3.204	3.266	3.175	3.049	2.927
Handel	7.363	7.403	7.443	7.467	7.470	7.503	7.566	7.644	7.738	7.886
Eisenb-DL	362	348	335	323	310	295	287	268	245	223
Landv-DL	872	852	832	806	776	749	742	733	713	770
Schiff-DL	37	35	33	31	29	26	25	24	24	24
Luft-DL	54	52	51	52	50	49	45	44	44	43
Sonst-DL	446	445	444	446	448	445	432	439	449	460
Nach-DL	764	736	708	695	683	653	607	567	528	516
Banken	1.175	1.184	1.192	1.233	1.255	1.260	1.245	1.234	1.237	1.246
Vermiet	265	283	302	324	346	368	380	395	420	459
Untern-DL	2.026	2.169	2.312	2.439	2.541	2.705	2.863	3.026	3.174	3.413
Öff-DL	9.402	9.555	9.708	9.886	9.953	10.138	10.290	10.474	10.540	10.633
Gesamt	38.928	38.691	38.454	37.878	37.365	37.304	37.382	37.270	37.208	37.616

¹⁰ Statistisches Bundesamt (2004a)

Tabelle B-20: Zeitreihe für interne FuE-Aufwendungen (Preise von 1995)¹¹

[Mill. €]	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Land	12	12	13	16	20	23	27	36	48	52	53	54	56	55	61	68	77	94	59
Kohle	300	264	250	213	170	132	96	133	179	151	118	94	72	80	70	60	52	47	53
Nahrung	195	192	204	207	204	193	184	186	201	185	161	184	209	219	180	186	199	207	245
Textil	69	69	75	76	76	70	65	109	161	133	100	103	106	161	123	127	136	198	93
Papier	106	106	114	110	103	101	99	111	129	106	79	104	129	122	102	107	116	122	104
Öl	181	164	160	153	142	126	111	99	93	90	82	73	65	73	73	57	44	47	51
Pharma	383	403	454	509	553	609	666	719	819	929	979	1.112	1.250	1.547	1.834	1.877	1.994	2.032	2.102
Chemie	3.449	3.525	3.873	4.222	4.470	4.671	4.885	4.799	5.032	4.722	4.175	3.859	3.594	3.609	3.424	3.363	3.436	3.641	3.360
Kunst	346	341	363	388	404	405	408	395	408	410	388	378	372	395	450	498	566	574	548
Steine	192	199	221	228	229	232	236	254	289	266	230	242	257	260	245	268	302	386	294
Stahl	742	743	802	790	759	769	782	793	857	788	682	642	611	652	643	656	695	715	734
Masch	2.484	2.531	2.773	2.993	3.140	3.254	3.379	3.429	3.707	3.579	3.265	3.129	3.031	2.971	3.068	3.082	3.218	3.180	3.442
Buro	465	481	534	634	718	788	859	1.109	1.434	1.342	1.183	1.111	1.052	1.028	652	616	605	616	564
Elektriz	1.168	1.257	1.441	1.637	1.794	1.827	1.866	1.855	1.968	1.921	1.772	1.845	1.934	1.890	841	887	967	986	1.065
Nachricht	1.877	2.021	2.316	2.631	2.883	2.936	3.000	2.982	3.163	3.087	2.848	2.762	2.707	2.645	3.175	3.261	3.476	3.543	3.492
Mess	1.126	1.212	1.390	1.579	1.730	1.762	1.800	1.789	1.898	1.852	1.709	1.649	1.608	1.571	1.449	1.486	1.580	1.611	2.245
Kraftwag	2.756	2.866	3.194	3.550	3.820	4.056	4.302	4.616	5.241	5.614	5.654	5.661	5.724	5.805	6.775	7.737	8.989	9.907	9.843
Sonst Fahr	1.108	1.311	1.609	1.626	1.603	1.935	2.266	2.403	2.701	2.415	2.017	2.264	2.524	2.559	2.825	2.580	2.440	2.634	1.701
Sonst Prod	125	136	156	171	181	175	171	169	180	172	156	157	160	156	136	149	167	169	156
Versorg	235	225	233	204	170	160	151	147	153	122	87	94	102	115	83	87	94	103	45
Bau	87	82	83	88	91	89	86	88	96	82	65	68	72	82	88	83	82	75	49
Handel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eisenb-DL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Landv-DL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schiff-DL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luft-DL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonst-DL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nach-DL	112	120	138	165	188	191	196	175	165	220	259	221	187	194	192	287	392	386	758
Banken	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vermuet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Untern-DL	206	221	252	280	301	323	345	429	542	634	684	668	659	655	1.217	1.596	2.031	2.079	2.041
Öff-DL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige	24	22	23	16	8	12	16	19	23	25	25	48	71	62	51	93	139	132	159
Gesamt	17.748	18.504	20.670	22.483	23.758	24.838	25.994	26.843	29.489	28.898	26.767	26.523	26.554	26.905	27.757	29.213	31.797	33.484	33.205

¹¹ BMBF (1988, 1993, 1996, 1998, 2000, 2002); Grenzmann (2004); eigene Berechnung

Tabelle B-21: Jährliche Arbeitszeit nach Sektoren¹²

[Stunden pro Jahr]	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Land	2.844	2.511	2.301	2.220	2.105	1.873	1.834	1.824	1.781	1.774
Kohle	452	375	324	285	266	241	210	198	181	174
Nahrung	1.587	1.556	1.499	1.472	1.447	1.408	1.424	1.434	1.438	1.453
Textil	920	743	625	571	523	466	430	406	386	364
Papier	1.503	1.488	1.399	1.349	1.317	1.275	1.230	1.216	1.093	1.089
Öl	59	52	48	42	35	30	30	30	33	33
Pharma	208	195	178	167	159	152	157	158	150	179
Chemie	752	705	648	603	576	529	500	468	445	408
Kunst	664	657	607	587	591	564	560	581	579	581
Steine	589	551	526	517	511	479	454	444	442	438
Stahl	2.131	2.038	1.872	1.755	1.727	1.644	1.600	1.629	1.651	1.637
Masch	2.460	2.258	2.003	1.847	1.752	1.675	1.638	1.657	1.654	1.642
Büro	163	133	111	100	90	81	80	67	55	58
Elektriz	986	896	806	772	767	718	695	696	695	705
Nachricht	471	422	355	331	309	280	267	267	274	284
Mess	699	655	636	574	534	505	512	491	484	481
Kraftwag	1.144	1.104	1.006	943	911	943	974	1.009	1.033	1.059
Sonst Fahr	294	268	253	230	213	192	182	181	191	198
Sonst Prod	626	594	560	539	523	492	468	468	462	441
Versorg	587	567	540	521	496	462	440	421	391	372
Bau	4.763	5.035	5.092	5.283	5.349	5.199	5.006	4.831	4.738	4.581
Handel	10.870	11.037	10.884	10.968	10.954	10.900	10.938	11.033	11.090	11.208
Eisenb-DL	503	491	466	444	427	395	359	326	296	270
Landv-DL	1.274	1.249	1.192	1.158	1.144	1.122	1.090	1.179	1.218	1.245
Schiff-DL	51	49	45	41	38	37	37	37	37	34
Luft-DL	77	79	75	74	67	65	65	63	65	67
Sonst-DL	713	725	723	722	687	691	705	713	734	758
Nach-DL	1.072	1.066	1.038	993	910	842	783	766	735	737
Banken	1.843	1.919	1.929	1.947	1.908	1.882	1.888	1.902	1.910	1.928
Vermiet	465	500	528	560	568	581	616	664	688	699
Untern-DL	3.480	3.673	3.791	4.031	4.210	4.398	4.585	4.858	5.239	5.616
Öff-DL	15.000	15.382	15.365	15.641	15.722	15.875	15.900	15.989	16.152	16.193
Gesamt	59.254	58.976	57.426	57.288	56.836	55.994	55.656	56.010	56.323	56.706

¹² IAB (2002); eigene Berechnung

Tabelle B-22: Durchschnittliche Arbeitszeit pro Jahr pro Beschäftigtem¹³

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
[Stunden pro Jahr pro Besch.]										
Land	1.910	1.929	1.930	1.907	1.888	1.872	1.862	1.855	1.855	1.842
Kohle	1.577	1.558	1.547	1.505	1.480	1.466	1.455	1.467	1.466	1.437
Nahrung	1.624	1.608	1.599	1.562	1.538	1.526	1.525	1.527	1.526	1.501
Textil	1.587	1.572	1.563	1.526	1.505	1.490	1.486	1.488	1.495	1.466
Papier	1.600	1.581	1.570	1.534	1.511	1.496	1.486	1.492	1.499	1.470
Öl	1.568	1.548	1.535	1.494	1.468	1.453	1.445	1.451	1.454	1.424
Pharma	1.573	1.553	1.540	1.500	1.475	1.460	1.452	1.458	1.462	1.431
Chemie	1.571	1.551	1.538	1.497	1.472	1.457	1.449	1.455	1.459	1.430
Kunst	1.580	1.560	1.548	1.509	1.484	1.468	1.462	1.467	1.469	1.442
Steine	1.595	1.576	1.565	1.528	1.502	1.489	1.481	1.485	1.489	1.461
Stahl	1.597	1.578	1.569	1.532	1.508	1.494	1.489	1.493	1.495	1.466
Masch	1.580	1.560	1.549	1.510	1.486	1.471	1.466	1.470	1.473	1.444
Büro	1.574	1.555	1.544	1.504	1.480	1.466	1.459	1.467	1.454	1.444
Elektriz	1.576	1.557	1.545	1.504	1.479	1.465	1.459	1.463	1.467	1.439
Nachricht	1.574	1.555	1.543	1.503	1.479	1.464	1.457	1.463	1.466	1.436
Mess	1.596	1.580	1.567	1.533	1.510	1.498	1.497	1.500	1.500	1.473
Kraftwag	1.571	1.550	1.538	1.497	1.472	1.455	1.448	1.454	1.456	1.427
Sonst Fahr	1.572	1.551	1.539	1.498	1.473	1.458	1.451	1.457	1.460	1.430
Sonst Prod	1.606	1.588	1.579	1.542	1.520	1.506	1.497	1.502	1.508	1.477
Versorg	1.606	1.582	1.571	1.534	1.510	1.496	1.491	1.499	1.504	1.475
Bau	1.735	1.727	1.705	1.662	1.640	1.650	1.651	1.662	1.673	1.653
Handel	1.522	1.504	1.497	1.473	1.450	1.437	1.421	1.409	1.398	1.361
Eisenb-DL	1.565	1.546	1.544	1.516	1.491	1.485	1.474	1.473	1.467	1.427
Landv-DL	1.595	1.577	1.578	1.558	1.544	1.542	1.537	1.542	1.534	1.494
Schiff-DL	1.623	1.607	1.610	1.592	1.573	1.572	1.564	1.562	1.559	1.534
Luft-DL	1.565	1.546	1.544	1.516	1.491	1.485	1.474	1.473	1.467	1.427
Sonst-DL	1.674	1.654	1.657	1.634	1.594	1.585	1.578	1.561	1.559	1.522
Nach-DL	1.578	1.560	1.561	1.532	1.502	1.497	1.492	1.495	1.494	1.458
Banken	1.611	1.584	1.579	1.557	1.535	1.537	1.535	1.537	1.543	1.516
Vermiet	1.605	1.571	1.568	1.534	1.496	1.483	1.474	1.457	1.441	1.401
Untern-DL	1.569	1.533	1.532	1.502	1.473	1.465	1.453	1.433	1.417	1.376
Öff-DL	1.610	1.584	1.586	1.555	1.530	1.528	1.517	1.514	1.511	1.477

¹³ IAB (2002); eigene Berechnung

Anhang C: Ergänzende Erläuterungen

Bestimmtheitsmaß und korrigiertes Bestimmtheitsmaß der CES-Schätzung¹

Das Bestimmtheitsmaß gibt darüber Auskunft, ob die exogenen Variablen insgesamt die endogenen Variablen erklären können. Die Varianz der endogen erklärten Variable y entspricht der Varianz der Regressionswerte \hat{y} und der Varianz der Residuen u :

$$S_y^2 = S_{\hat{y}}^2 + S_u^2$$

Je größer $S_{\hat{y}}^2$ ist desto mehr Varianz der endogenen Variable S_y^2 wird durch die exogene Variable erklärt. Daraus resultiert das Bestimmtheitsmaß $R^2(1)$ mit:

$$R^2(1) = \frac{S_{\hat{y}}^2}{S_y^2}$$

Das korrigierte Bestimmtheitsmaß $R^2(2)$ wird durch die Freiheitsgrade bereinigt. Dabei besitzt die endogene Variable $n-1$ Freiheitsgrade (1 endogene Variable) und die Residualvarianz $n-k$ Freiheitsgrade (k exogene Variablen):

$$R^2(2) = 1 - \left(\frac{n-1}{n-k} \right) \cdot (1 - R^2(1))$$

¹ vgl. Eckey et. al. (1995), S. 50ff

Theoretische Herleitung des 2x2x1 – Gleichgewichtsmodells²

Die Nachfragefunktion eines repräsentativen Haushalts nach Konsumgütern folgen aus einer Nutzenmaximierung unter der Nebenbedingung der Budgetbeschränkung.

$$\max_{y_1, y_2} U(y_1, y_2)$$

$$\text{Unter der NB } m = p_1 y_1 + p_2 y_2$$

Lagrangefunktion:

$$L = U(y_1, y_2) + \lambda [m - p_1 y_1 - p_2 y_2]$$

Partielle Ableitungen gleich Null setzen:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial y_1} &= \frac{\partial U}{\partial y_1} - \lambda p_1 \stackrel{!}{=} 0 \\ \frac{\partial L}{\partial y_2} &= \frac{\partial U}{\partial y_2} - \lambda p_2 \stackrel{!}{=} 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} &= m - p_1 y_1 - p_2 y_2 \stackrel{!}{=} 0 \end{aligned}$$

Aus den ersten beiden Gleichungen folgt, dass im optimalen Konsumplan die Grenzrate der Substitution im Konsum immer gleich dem Preisverhältnis dieser Güter ist:

$$-\frac{dy_2}{dy_1} = \frac{\frac{\partial U}{\partial y_1}}{\frac{\partial U}{\partial y_2}} = \frac{p_1}{p_2}$$

Die Lösung aller partiellen Ableitungen nach y_1 und y_2 ergibt die Nachfragefunktionen:

$$y_1^d = y_1(p_1, p_2, m) \quad \text{und} \quad y_2^d = y_2(p_1, p_2, m)$$

Die (kostenminimierende) Faktornachfragefunktionen erhält man aus einem Kostenminimierungsansatz. Für Unternehmer i ($i = 1, 2$)

$$\begin{aligned} \min_{x_1^i, x_2^i} C^i &= w_1 x_1^i + w_2 x_2^i \\ \text{unter der NB } y^i &= y(x_1^i, x_2^i) \end{aligned}$$

Lagrange-Funktion:

$$L = w_1 x_1^i + w_2 x_2^i + \lambda [y^i - y(x_1^i, x_2^i)]$$

Partielle Ableitungen gleich Null setzen:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial x_1^i} &= w_1 - \lambda \frac{\partial y^i}{\partial x_1^i} \stackrel{!}{=} 0 \\ \frac{\partial L}{\partial x_2^i} &= w_2 - \lambda \frac{\partial y^i}{\partial x_2^i} \stackrel{!}{=} 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} &= y^i - y(x_1^i, x_2^i) \stackrel{!}{=} 0 \end{aligned}$$

² Die Herleitung ist übernommen aus Stocker (2001), S. 2ff

Aus den ersten beiden Gleichungen folgt wieder, dass im optimalen Produktionsplan die Rate der technischen Substitution im gleich dem Faktorpreisverhältnis ist.

$$-\frac{dx_2^i}{dx_1^i} = \frac{\frac{\partial y^i}{\partial x_1^i}}{\frac{\partial y^i}{\partial x_2^i}} = \frac{w_1}{w_2}$$

Da die Faktorpreise für alle Unternehmer gleich sind, werden alle Unternehmer mit der gleichen Rate der technischen Substitution produzieren:

$$-\frac{dx_2^i}{dx_1^i} = \frac{w_1}{w_2} = -\frac{dx_2^j}{dx_1^j} \quad (i \neq j)$$

Die Lösung aller drei partiellen Ableitungen nach x_1^i und x_2^i ergeben die kostenminimierenden Faktornachfragefunktionen des Unternehmens i :

$$x_1^i = x_1(w_1, w_2, y^i) \quad \text{und} \quad x_2^i = x_2(w_1, w_2, y^i) \quad (\text{für } i = 1, 2)$$

Einsetzen dieser kostenminimierenden Faktornachfragefunktion in die Definitionsgleichung der Kosten ergibt die Kostenfunktion:

$$C^{i*} = w_1 x_1^{i*} + w_2 x_2^{i*} = C^i(w_1, w_2, y_i)$$

Diese Kostenfunktion wird auf der zweiten Stufe verwendet, um die gewinnmaximale Ausbringungsmenge zu bestimmen:

$$\max_{y_i} \pi^i = p_i y_i - C^i(w_1, w_2, y_i)$$

Daraus folgt für einen Markt mit vollständiger Konkurrenz die Marginalbedingung Preis gleich Grenzkosten:

$$p_i = \frac{\partial C^{i*}}{\partial y_i}$$

Durch Umformung dieser Marginalbedingung erhält man die Angebotsfunktion des Unternehmers:

$$y_i^s = y_i(p_i, w_1, w_2)$$

Aus den gleichgewichtigen Faktorpreisen und Faktormengen folgt schließlich das Haushaltseinkommen, das definitionsgemäß die Summe der Faktorerlöse (inkl. Gewinne) ist:

$$m = w_1(x_1^{1*} + x_1^{2*}) + w_2(x_2^{1*} + x_2^{2*}) + \pi_1 + \pi_2$$

Im Gleichgewicht müssen also beide Güter- und Faktormärkte geräumt werden:

$$y_1^s = y_1^d \quad \text{und} \quad y_2^s = y_2^d$$

Die Gleichgewichtsbedingungen für die Faktormärkte lauten also:

$$x_1^{\text{tot}} = x_1^{1,d} + x_1^{2,d} \quad \text{und} \quad x_2^{\text{tot}} = x_2^{1,d} + x_2^{2,d}$$

Das Gesetz von Walras (nach Leon Walras, 1834 – 1910) besagt, dass in einem allgemeinen Gleichgewichtsmodell die Summe der bewerteten Überschussnachfragen immer gleich Null ist. Dies folgt aus der Budgetbeschränkung, was man sich vereinfacht folgendermaßen vorstellen kann:

$$\underbrace{p_1 y_1^d + p_2 y_2^d}_m = p_1 y_1^s + p_2 y_2^s$$

$$p_1 (y_1^d - y_1^s) + p_2 (y_2^d - y_2^s) = 0$$

Die Lösung des Modells sieht folgendermaßen aus³:

Gütermärkte

Güternachfrage:

Aus $\max_{y_i} \pi^i = p_i y_i - C^{i*}(w_1, w_2, y_i)$ unter der NB $m = p_1 y_1 + p_2 y_2$ folgt

$$y_1^{d*} = \frac{m}{2p_1} \quad \text{und} \quad y_2^{d*} = \frac{m}{2p_2}$$

Güterangebot:

Aus $\max p_j y_j^i - C_j(y_j^i)$ folgt für $y_1 = x_1^{0,5} x_2^{0,25}$ und $y_2 = x_1^{0,25} x_2^{0,5}$

$$y_1^{s*} = \frac{p_3^1}{16w_1^2 w_2} \quad \text{und} \quad y_2^{s*} = \frac{p_2^3}{16w_1 w_2^2}$$

Gleichgewicht auf den Gütermärkten:

$$y_1^{s*} = y_1^{d*} \quad \text{und} \quad y_2^{s*} = y_2^{d*}$$

Faktormärkte

Faktornachfrage:

$$x_1^{1,d*}(w_1, w_2, y_1) = \left[\frac{2w_2 y_1^4}{w_1} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{und} \quad x_1^{2,d*}(w_1, w_2, y_2) = \left[\frac{w_2 y_2^2}{2w_1} \right]^{\frac{2}{3}}$$

und

$$x_2^{1,d*}(w_1, w_2, y_1) = \left[\frac{w_1 y_1^2}{2w_2} \right]^{\frac{2}{3}} \quad \text{und} \quad x_2^{2,d*}(w_1, w_2, y_2) = \left[\frac{2w_1 y_2^4}{w_2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Faktorangebot:

$$x_1^{\text{tot}} \quad \text{und} \quad x_2^{\text{tot}}$$

Gleichgewicht auf Faktormärkten:

$$x_1^{\text{tot}} = x_1^{1,d*} + x_1^{2,d*} \quad \text{und} \quad x_2^{\text{tot}} = x_2^{1,d*} + x_2^{2,d*}$$

Einkommen

Unternehmen:

$$\pi_1 = p_1 y_1 - w_1 x_1^{1*} - w_2 x_2^{1*} \quad \text{und} \quad \pi_2 = p_2 y_2 - w_1 x_1^{2*} - w_2 x_2^{2*}$$

Haushalt:

$$m = w_1 (x_1^1 + x_1^2) + w_2 (x_2^1 + x_2^2) + \pi_1 + \pi_2$$

Endogene Variablen: $y_1^{s*}, y_2^{s*}, y_1^{d*}, y_2^{d*}, x_1^{1,d*}, x_1^{2,d*}, x_2^{1,d*}, x_2^{2,d*}, p_1, p_2, w_1, w_2, \pi_1, \pi_2, m$

Exogene Variablen: $x_1^{\text{tot}}, x_2^{\text{tot}}$ (Funktionsform von Nutzen- und Produktionsfunktion)

³ Stocker (2001), S. 6f