

Lehr, Ulrike et al.

**Working Paper**

## Die Modelle ASTRA und PANTA RHEI zur Abschätzung gesamtwirtschaftlicher Wirkungen umweltpolitischer Instrumente - ein Vergleich

GWS Discussion Paper, No. 2011/4

**Provided in Cooperation with:**

GWS - Institute of Economic Structures Research, Osnabrück

*Suggested Citation:* Lehr, Ulrike et al. (2011) : Die Modelle ASTRA und PANTA RHEI zur Abschätzung gesamtwirtschaftlicher Wirkungen umweltpolitischer Instrumente - ein Vergleich, GWS Discussion Paper, No. 2011/4, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS), Osnabrück

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/94435>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

**Die Modelle ASTRA und PANTA RHEI  
zur Abschätzung gesamtwirtschaftlicher Wirkungen  
umweltpolitischer Instrumente  
- ein Vergleich**

Ulrike Lehr  
Anke Mönnig  
Marc Ingo Wolter  
Christian Lutz

Wolfgang Schade (FhG-ISI)  
Michael Krail (FhG-ISI)



**Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH**

Heinrichstr. 30

D - 49080 Osnabrück

Dr. Ulrike Lehr ( [lehr@gws-os.com](mailto:lehr@gws-os.com) )

Tel.: +49 (541) 40933-280

Fax: +49 (541) 40933-110

Internet: [www.gws-os.com](http://www.gws-os.com)

Osnabrück, Karlsruhe im November 2011

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>KURZDARSTELLUNG DER MODELLE</b> .....	<b>12</b>
3.1	ASTRA .....	12
3.1.1	Abbildung von Politiken in ASTRA .....	14
3.1.2	Anwendung des ASTRA-Modells in Verknüpfung mit Klima- und Erneuerbaren Politiken .....	15
3.1.3	Direkte Effekte und Zweitrundeneffekte der Erneuerbaren Politik .....	17
3.2	PANTA RHEI .....	18
3.2.1	Überblick .....	18
3.2.2	Ökonomisches Modell INFORGE .....	21
3.2.3	Energiemodell .....	24
3.2.4	Abbildung von Politiken in PANTA RHEI .....	25
<b>4</b>	<b>VERGLEICH DER MODELLIERUNGSANSÄTZE</b> .....	<b>26</b>
4.1	DATENBASIS UND DATENSTAND .....	26
4.2	VERGLEICH DER VERWENDETEN RAHMENDATEN .....	27
4.2.1	Bevölkerung .....	27
4.2.2	Energiepolitische Rahmendaten .....	29
4.3	MODELLIERUNG .....	29
4.3.1	Endnachfrage in PANTA RHEI .....	30
4.3.1.1	Konsum der Privaten Haushalte .....	30
4.3.1.2	Konsumausgaben des Staates .....	30
4.3.1.3	Ausrüstungen und sonstige Anlagen .....	31
4.3.1.4	Bauten .....	31
4.3.1.5	Exporte .....	31
4.3.2	Endnachfrage in ASTRA .....	32
4.3.2.1	Konsum der Privaten Haushalte .....	32
4.3.2.2	Konsumausgaben des Staates .....	32
4.3.2.3	Investitionen .....	32
4.3.2.4	Exporte .....	33
4.3.3	Vergleich der Modellierung der Endnachfrage .....	33
4.3.4	Preiskonzepte in PANTA RHEI .....	34
4.3.5	Preiskonzepte in ASTRA .....	34
4.3.6	Vergleich der Modellierung der Preise .....	34
4.3.7	Die Vorleistungsverflechtung und Produktion in PANTA RHEI .....	35
4.3.8	Vorleistungsverflechtung bei ASTRA .....	35
4.3.9	Vergleich der Modellierung der Vorleistungsverflechtung .....	36
4.3.10	Arbeitsmarkt in PANTA RHEI .....	36
4.3.11	Arbeitsmarkt in ASTRA .....	37
4.3.12	Vergleich der Modellierung des Arbeitsmarkts .....	37
4.3.13	Energiemodellierung in PANTA RHEI .....	37
4.3.13.1	Endenergienachfrage des verarbeitenden Gewerbes .....	38

4.3.13.2	Endenergienachfrage der Privaten Haushalte.....	38
4.3.13.3	Endenergienachfrage im Verkehr.....	38
4.3.13.4	Energieeinsatz des Umwandlungssektors.....	39
4.3.13.5	Primärenergieverbrauch und Außenhandel.....	39
4.3.13.6	Energiepreise.....	39
4.3.13.7	CO <sub>2</sub> -Zertifikate.....	40
4.3.13.8	Energiebedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	40
4.3.13.9	Rückwirkungen des Energiemodells auf das ökonomische Modell.....	40
4.3.14	<i>Verkehrsmodellierung in ASTRA</i> .....	41
4.3.15	<i>Übersicht: Methodischer Vergleich</i> .....	45
<b>5</b>	<b>MODELLEXPERIMENTE</b> .....	<b>46</b>
5.1	ERGEBNISSE BEREITS DURCHGEFÜHRTER STUDIEN – PANTA RHEI.....	46
5.2	ERGEBNISSE BEREITS DURCHGEFÜHRTER STUDIEN – ASTRA.....	52
5.2.1	<i>ASTRA in KlimInvest</i> .....	52
5.2.2	<i>ASTRA in IKEP-Makro</i> .....	56
5.2.3	<i>ASTRA in HOP!</i> .....	59
5.2.4	<i>ASTRA in iTREN-2030</i> .....	60
<b>6</b>	<b>MODELLEXPERIMENT</b> .....	<b>64</b>
6.1	REAKTIONEN VON PANTA RHEI UND ASTRA AUF GLEICHE ÄNDERUNGEN DER RAHMENBEDINGUNGEN.....	64
6.1.1	<i>Modellexperiment I: Anhebung des internationalen Ölpreisniveaus</i> .....	67
6.1.1.1	Reaktionen in PANTA RHEI.....	68
6.1.1.2	Reaktionen in ASTRA.....	70
6.1.2	<i>Modellexperiment II: Anhebung der Exporte</i> .....	73
6.1.2.1	Reaktionen in PANTA RHEI.....	73
6.1.2.2	Reaktionen in ASTRA.....	74
6.1.3	<i>Modellexperiment III: Anhebung der Investitionen</i> .....	75
6.1.3.1	Reaktionen in PANTA RHEI.....	75
6.1.3.2	Reaktionen in ASTRA.....	76
<b>7</b>	<b>FAZIT</b> .....	<b>78</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG</b> .....	<b>80</b>
8.1	ANHANG 1: LISTE DER ÖKONOMISCHEN SEKTOREN IN ASTRA (NACE-CLIO).....	80
<b>9</b>	<b>LITERATUR</b> .....	<b>81</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 3-1:	Struktur und Interaktionen des ASTRA-Modells .....	13
Abbildung 3-2:	Interdependenzen im makro-ökonomische Modul von ASTRA (MAC) 14	
Abbildung 3-3:	Verknüpfung von Maßnahmen der Klimaschutz- und Erneuerbaren Politik mit den Komponenten der ökonomischen Modelle in ASTRA..	16
Abbildung 3-4:	Aufbau des Investitionsmodells in ASTRA.....	17
Abbildung 3-5:	Schematische Darstellung von direkten Effekten und Zweitrundeneffekten anhand exemplarischer Bottom-up Impulse.....	18
Abbildung 3-6:	Struktur des umweltökonomischen Modells PANTA RHEI.....	19
Abbildung 3-7:	Schematisch verkürzte Darstellung des Modells INFORGE.....	22
Abbildung 3-8:	Fortschreibung des Mengengerüsts im Energiemodell.....	24
Abbildung 4-1:	Abbildung des Verkehrssystems durch Differenzierung von Verkehrsträgern, Fahrtzwecken und Entfernungsbändern in ASTRA ...	42
Abbildung 4-2:	Struktur des Personenverkehrsmodells in ASTRA.....	43
Abbildung 4-3:	Struktur des Güterverkehrsmodells in ASTRA .....	43
Abbildung 5-1:	Investitionsimpuls des IKEP in ASTRA in sektoraler Gliederung.....	53
Abbildung 5-2:	Energiekostenimpuls für Strom, Wärme und Kraftstoffe der drei Verbrauchssektoren in ASTRA .....	54
Abbildung 5-3:	Wachstumswirkung der einzelnen Komponenten des BIP (Abweichung zur Referenz).....	55
Abbildung 5-4:	Beschäftigungswirkung der einzelnen Impulse des IEKP .....	56
Abbildung 6-1:	Absolute Abweichungen der Investitionen in Energietechnologien vom Null-Szenario in Mrd. €, Berechnungen des DLR.....	64
Abbildung 6-2:	Monatliche Rohölpreisentwicklung seit Januar 2007 in \$/bbl nach Mineralölwirtschaftsverband. ....	67
Abbildung 6-3:	Ölpreisanstieg in 2 Varianten (€2000/bbl).....	68
Abbildung 6-4:	PANTA RHEI: Wachstumsraten des BIP in den verschiedenen Varianten .....	70

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 4-1:	Datentechnische Fundierung von Astra und PANTA RHEI.....	27
Tabelle 4-2:	Ausgewählte energiepolitische Rahmendaten 2008.....	28
Tabelle 4-3:	Methodischer Vergleich – Zusammenfassende Übersicht der Modellierung in ASTRA und PANTA RHEI.....	45
Tabelle 5-1:	Rahmendaten und Ergebnisse der Studie „Kurz- und langfristige Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf dem deutschen Arbeitsmarkt“.....	47
Tabelle 5-2:	Rahmendaten und Ergebnisse der Studie „Erneuerbare Energien: Arbeitsplätze“ absolute Abweichungen zur Referenz, bei verhaltenen Exporterwartungen.....	48
Tabelle 5-3:	Ergebnisse der Studie „Klimaschutz, Energieeffizienz und Arbeit: Analyse der Effizienzpotenziale und der volkswirtschaftlichen Effekte einer ambitionierten Effizienzstrategie für Deutschland“ absolute Abweichungen zur Referenz.....	49
Tabelle 5-4:	Rahmendaten und Ergebnisse der Studie „Strompreise“ – absolute Abweichungen des Szenarios A1 (niedrigere Strompreise) von der Referenzentwicklung .....	50
Tabelle 5-5:	Überblick wichtiger Ergebnisse der Simulationsrechnungen zum IKEP– absolute Abweichungen von der Referenzentwicklung in 2020.....	51
Tabelle 5-6:	Makroökonomische Ergebnisse des IEKP in ASTRA.....	57
Tabelle 5-7:	Makroökonomische Ergebnisse des HOP! Projektes aus ASTRA.....	60
Tabelle 5-8:	Ergebnisse des iTREN-2030 „Integrated Scenario“ aus ASTRA.....	62
Tabelle 5-9:	Ergebnisse des iTREN-2030 „Integrated Scenario“ aus ASTRA.....	63
Tabelle 6-1:	Überblick über die Entwicklung wichtiger Größen in PANTA RHEI (in Anlehnung an Energieszenarien, S. 17).....	65
Tabelle 6-2:	Überblick über die Entwicklung wichtiger Größen in ASTRA.....	66
Tabelle 6-3:	PANTA RHEI: Die wichtigsten Größen im Überblick in Abweichung zur Referenz – Variante 1 .....	69
Tabelle 6-4:	PANTA RHEI: Die wichtigsten Größen im Überblick in Abweichung zur Referenz – Variante 2 .....	69
Tabelle 6-5:	ASTRA: Die wichtigsten Größen im Überblick in Abweichung zur Referenz – Variante 1 .....	72
Tabelle 6-6:	ASTRA: Die wichtigsten Größen im Überblick in Abweichung zur Referenz – Variante 2 .....	73
Tabelle 6-7:	PANTA RHEI: Die wichtigsten Größen im Überblick zum Vergleich angehobener Exporte mit der Referenz.....	74

Tabelle 6-8:	ASTRA: Die wichtigsten Größen im Überblick zum Vergleich angehobener Exporte mit der Referenz.....	75
Tabelle 6-9:	PANTA RHEI: Die wichtigsten Größen im Überblick zum Vergleich angehobener Investitionen mit der Referenz .....	76
Tabelle 6-10:	ASTRA: Die wichtigsten Größen im Überblick zum Vergleich angehobener Investitionen mit der Referenz .....	77



## 1 ZUSAMMENFASSUNG

Zur Abschätzung der ökonomischen Wirkungen umweltpolitischer Instrumente werden oft komplexe gesamtwirtschaftliche Modelle eingesetzt. Dies dient dazu, die vielfältigen Anpassungsreaktionen der Volkswirtschaft auf Preisänderungen, Investitionsimpulse, geänderte Exporttätigkeiten und andere ökonomische Stellgrößen in ihrer Gesamtheit abzubilden, so dass keine Effekte verloren gehen und eine geschlossene und konsistente Bilanzierung vorgenommen werden kann. Die eingesetzten Modelle sind ihrerseits Abstraktionen der ökonomischen Zusammenhänge und haben unterschiedliche ökonomische Theorien implizit implementiert.

Das Modell PANTA REHI beruht in seinem ökonomischen Kern auf den Ergebnissen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR). Damit ist auch das Kontensystem der VGR – vergleichbar mit der doppelten Buchführung eines Unternehmens, nur für die gesamte Volkswirtschaft – integraler Bestandteil von PANTA RHEI. Daraus ergeben sich strenge Anforderungen an die Konsistenz des Systems: Kein Zahlungsstrom darf unberücksichtigt bleiben und bedarf einer Gegenbuchung. Im Ergebnis ist das Bruttoinlandsprodukt immer identisch mit der Summe seiner Komponenten (Konsum, Investitionen und Außenhandel). Diese Konsistenzanforderung gilt allerdings nicht nur in den makroökonomischen Aggregaten sondern auch für jeden Wirtschaftsbereich: Auch hier müssen die Einnahmen und die Ausgaben sachgerecht verbucht werden. Das Modell PANTA RHEI stellt also sicher, dass jeder Euro auch nur einmal ausgegeben wird. Ohne ein Buchungssystem dieser Art ist eine Kontrolle und Beurteilung der Ergebnisse nur schwer möglich.

Der erstmalige direkte Vergleich der zur Abschätzung energiepolitischer Fragestellungen eingesetzten Modelle ASTRA (FhG-ISI) und PANTA RHEI (GWS) trägt dazu bei, die Kommunikation der jeweiligen Ergebnisse zu vereinfachen. Die Modelle werden anhand verschiedener Kriterien (Datenstand, Modellansatz, Modellphilosophie) zunächst gegenübergestellt. In einem nächsten Vergleichsschritt werden die quantitativen Ergebnisse verschiedener bereits durchgeführter Modellierungsarbeiten für Deutschland und die EU verglichen und schließlich parallele Simulationen unter gleichen Vorgaben gerechnet.

Die Modelle PANTA RHEI (für Deutschland) und GINFORS (Welt) auf der einen Seite sind *makroökonomische* Modelle, d.h. die Parameter werden durch Zeitreihenschätzung bestimmt. GINFORS (Global Interindustry Forecasting System) ist ein zur Analyse internationaler und weltwirtschaftlicher Fragestellungen eingesetztes Modellsystem. Es verbindet die ökonomisch bedeutsamen Länder über ihre Handelsströme. ASTRA auf der anderen Seite ist ein integriertes Verkehr-Ökonomie-Umwelt Modell auf Basis von *System Dynamics*, welches für zentrale Gleichungen auch ökonometrische Ansätze für die Kalibrierung nutzt, bei schwacher Datenbasis aber auch den Einsatz von Heuristiken gestattet. Alle drei Modelle sind sektorale Modelle und enthalten Input-Output-Strukturen in verschieden tiefer Gliederung. PANTA RHEI bildet Deutschland sehr detailliert ab, ASTRA beschreibt die EU-27-Staaten (plus Norwegen und die Schweiz) und den Handel innerhalb der EU sowie mit der übrigen Welt. D.h. in ASTRA ist Deutschland als eines von 29 ähnlich modellierten Ländern implementiert. In ASTRA werden die Länder sowohl über ihre monetären Handelsströme verknüpft als auch über die physikalischen Verkehrsströme sowie die damit verbundenen monetären Ströme.

Der ökonomische Kern von PANTA RHEI basiert im Wesentlichen auf zwei zentralen Statistiken: den Input-Output-Rechnungen und den Volkswirtschaftliche Gesamtrechnun-

gen (VGR) des Statistischen Bundesamtes. Für die Energiemodellierung stellen die Energiebilanzen inklusive der Satellitenbilanzen zu den erneuerbaren Energien der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen ein wichtiges Zahlenwerk dar.

Exogene Inputs in ASTRA und die zur Kalibrierung notwendigen Zeitreihen-Daten kommen hauptsächlich aus den Datenbanken von Eurostat, der OECD und der UN. Daten zur Parametrisierung der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung stammen aus der Eurostat VGR. Das Arbeitsmarktmodul in ASTRA wurde mittels LFS-Daten (Labour Force Survey) kalibriert. Der Außenhandel basiert auf Daten der UN-COMTRADE Handelsstatistiken. Verkehrsstatistiken entstammen hauptsächlich den EU Energy and Transport in Figures Statistiken.

Die unterschiedlichen Datengrundlagen zur Validierung der beiden Modellwelten sind auf den unterschiedlichen regionalen Analysebezug der Modelle zurückzuführen. PANTA RHEI ist ein nationales Modell, das mit dem internationalen GINFORS-Modell verknüpft werden kann, während ASTRA Deutschland als Teil Europas erfasst. Dies führt teilweise zu unterschiedlichen Modellergebnissen für die Kalibrationsperiode. Der ökonomische Kern des Modells PANTA RHEI wird vom GWS Modell INFORGE gebildet, das für kurzfristige Analysen eingesetzt wird und somit immer alle aktuellen VGR-Daten sofort zur Verfügung stellt. Gerade in Zeiten gravierender ökonomischer Veränderungen, wie etwa in Wirtschafts- und Finanzkrise 2009, erlaubt diese Vorgehensweise eine zeitnahe Einschätzung wichtiger ökonomischer Veränderungen. ASTRA wird hauptsächlich für mittel- bis langfristige Abschätzungen verwendet, ermöglicht durch die Berücksichtigung der Auswirkungen der letzten Wirtschaftskrise jedoch auch kurzfristige Analysen.

Die Wirkungsweise verschiedener Einflüsse auf die Volkswirtschaft in beiden Modellen wurde innerhalb eines Modellexperiments betrachtet. Dabei wurden drei verschiedene, einfache Szenarien simuliert:

- ein starker, kontinuierlicher Anstieg des Ölpreises auf 250 €<sub>2000</sub>/bbl in 2030,
- eine Steigerung der Exporte um 5% in den vier wichtigsten Sektoren von Technologien zur Gewinnung von Energie aus erneuerbaren Quellen und
- eine Steigerung der Bau-, und Ausrüstungsinvestitionen um insgesamt jährlich 10 Mrd. €<sub>2000</sub>.

Die parallele Modellierung hat Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede zwischen den Modellen bezüglich der wesentlichen Anpassungsreaktionen erbracht. Exogene Veränderungen der Exporte führen zu Wirkungen, die bei Unterschieden im Detail richtungsgleich sind und auch in den Größenordnungen vergleichbar sind.

Größere Unterschiede bei den Größenordnungen der Effekte treten bei Ölpreissimulationen auf, die aber zumindest in Teilen durch unterschiedliche Modellstrukturen erklärbar sind. Während es in PANTA RHEI möglich ist, einzelne Sensitivitäten, beispielsweise als Reaktion auf Ölpreiserhöhungen zu rechnen, die auf einer Fortschreibung der vergangenen Reaktionen basieren, hat ASTRA Substitutionsbeziehungen und Auswirkungen einer Preiserhöhung auf den technologischen Fortschritt bereits im Modell implementiert. Dies führt zu einer wesentlich stärkeren Anpassung der Wirtschaft sowie des Konsumverhaltens und zu geringeren Auswirkungen einer drastischen Ölpreissteigerung im Vergleich zu PANTA RHEI. Auch die unterschiedliche regionale Abbildung erklärt einen Teil der Unterschiede in den Simulationsergebnissen. In ASTRA dämpfen sinkende Importe aus anderen EU-Staaten, die ebenfalls negativ vom Ölpreisanstieg betroffen sind, die negativen

Effekte in Deutschland. In PANTA RHEI gehen dagegen die Importe nicht zurück, sondern steigen wegen der höheren Zahlungen für Ölimporte sogar insgesamt an.

Generell lassen die unterschiedlichen Simulations-Ergebnisse im letzten Modellexperiment mit einer Steigerung der Investitionen darauf schließen, dass die Wirkungsketten in ASTRA durch die Berücksichtigung der Effekte von Investitionen auf die gesamte Faktorproduktivität stärker auf Investitionen in neue Technologien reagieren, während in PANTA RHEI auf längere Sicht dämpfende Einflüsse höherer Kapitalkosten wirksam werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass natürlich beide Modelle zuverlässige und auf nationaler sowie europäischer Ebene bereits vielfach angewandte Werkzeuge zur Abschätzung der ökonomischen Wirkungen umweltpolitischer Maßnahmen sind. Sie weisen jedoch im Datenstand, in den unterstellten Reaktionen der Volkswirtschaft und in der Disaggregation im einzelnen Unterschiede auf.

## 2 EINLEITUNG

Zur Abschätzung der ökonomischen Wirkungen umweltpolitischer Instrumente werden oft komplexe gesamtwirtschaftliche Modelle eingesetzt. Dies dient dazu, die vielfältigen Anpassungsreaktionen der Volkswirtschaft auf Preisänderungen, Investitionsimpulse, geänderte Exporttätigkeiten und andere ökonomische Stellgrößen in ihrer Gesamtheit abzubilden, so dass keine Effekte verloren gehen und eine geschlossene und konsistente Bilanzierung vorgenommen werden kann. Die eingesetzten Modelle sind ihrerseits Abstraktionen der ökonomischen Zusammenhänge und haben unterschiedliche ökonomische Theorien implizit implementiert. Zur Einordnung der Modellergebnisse ist daher ein etwas umfangreicheres Verständnis der verschiedenen Modellierungsansätze nützlich. Im folgenden Beitrag werden zwei häufig im Zusammenhang mit Analysen zu den gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien eingesetzte Modellansätze verglichen.

Die Modelle PANTA RHEI (für Deutschland) und GINFORS (Welt) auf der einen Seite sind *makroökonomische* Modelle, d.h. die Parameter werden durch Zeitreihenschätzung bestimmt. GINFORS (Global Interindustry Forecasting System) ist ein zur Analyse internationaler und weltwirtschaftlicher Fragestellungen eingesetztes Modellsystem. Es verbindet die ökonomisch bedeutsamen Länder über ihre Handelsströme. ASTRA auf der anderen Seite ist ein integriertes Verkehr-Ökonomie-Umwelt Modell auf Basis von *System Dynamics*, welches für zentrale Gleichungen auch ökonometrische Ansätze für die Kalibrierung nutzt, bei schwacher Datenbasis aber auch den Einsatz von Heuristiken gestattet. Alle drei Modelle sind sektorale Modelle und enthalten Input-Output-Strukturen in verschieden tiefer Gliederung. PANTA RHEI bildet Deutschland sehr detailliert ab, ASTRA beschreibt die EU-27-Staaten (plus Norwegen und die Schweiz) und den Handel innerhalb der EU sowie mit der übrigen Welt. D.h. in ASTRA ist Deutschland als eines von 29 ähnlich modellierten Ländern implementiert. In ASTRA werden die Länder sowohl über ihre monetären Handelsströme verknüpft als auch über die physikalischen Verkehrsströme sowie die damit verbundenen monetären Ströme.

Während PANTA RHEI für etliche Studien zu den Beschäftigungseffekten erneuerbarer Energien, zum integrierten Klimaprogramm sowie zur Bewertung der Energieszenarien für ein Energiekonzept und zur Analyse der langfristigen Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf dem *deutschen* Arbeitsmarkt eingesetzt wurde, ist ASTRA vor allem auf *europäischer* Ebene zum Einsatz gekommen, zuletzt in dem Projekt „EMPLOY-RES“ „Employment and growth impacts of sustainable energies in the European Union“. Ein erstmaliger direkter Vergleich dieser Modelle kann daher erheblich dazu beitragen, die Kommunikation der jeweiligen Ergebnisse zu vereinfachen. Hierzu sollen zunächst ausgehend von einer Beschreibung des Modellzwecks und der jeweils verwendeten Ausgangsdaten die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Wirkungszusammenhänge der Modelle herausgearbeitet werden.

In einem nächsten Vergleichsschritt sind die quantitativen Ergebnisse verschiedener bereits durchgeführter Modellierungsarbeiten für Deutschland und die EU zu vergleichen und Abweichungen/Gemeinsamkeiten vor dem Hintergrund der Analyse der Methodiken der Modelle einzuordnen. Dieser Ergebnisvergleich liefert eine erste Aussage über die Robust-

heit der Ergebnisse (wenn PANTA RHEI und ASTRA zu sehr ähnlichen Ergebnissen kommen), wobei diese eingeschränkt ist, da die bisher vorliegenden Ergebnisse mit unterschiedlichen Rahmendaten der Modelle erarbeitet wurden. Große Unterschiede der Ergebnisse werden als Auslöser für eine Rückkopplungsschleife gesehen, in der diese Unterschiede erklärt werden.

### 3 KURZDARSTELLUNG DER MODELLE

#### 3.1 ASTRA

Das ASTRA-Modell<sup>1</sup> wurde ursprünglich im Rahmen des EU-Projektes ASTRA im 4. Forschungsrahmenprogramm der europäischen Kommission entwickelt, mit dem Ziel ein Werkzeug zur strategischen Bewertung der europäischen Verkehrspolitik aufzubauen. "Strategisch" bedeutete zum Einen eine *längerfristige Perspektive* (30-50 Jahre Zeithorizont) zu wählen und zum Anderen eine *integrierte Analyse* der Wirkungen sowohl im Verkehrssystem als auch im Wirtschaftssystem und im Umweltbereich durchzuführen. Da zwischen den einzelnen Systemen eine Vielzahl von Rückkopplungen beobachtet werden kann, wurde System Dynamics als Modellierungsansatz gewählt, dessen Stärken genau in der Abbildung solcher Rückkopplungsschleifen liegen. Die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Systemen sowie die berücksichtigten übergeordneten Rückkopplungen in ASTRA lassen sich der Abbildung 3-1 entnehmen.

Im Laufe des 5. und 6. EU-Forschungsrahmenprogramms sowie tagesaktueller politischer Fragestellungen wurde das ASTRA-Modell kontinuierlich weiterentwickelt und angewendet z. B. bei der Entwicklung der Lissabon-Strategie, zur Abschätzung der Beschäftigungswirkung von Technologiepolitiken und von Politiken zur Förderung erneuerbarer Energien, zur Bewertung der Transeuropäischen Verkehrsnetze, von Verkehrsbepreisungspolitiken und von Szenarien zur Einführung neuer Technologien und Kraftstoffe im Verkehrssystem, zur Abschätzung der ökonomischen Wirkungen hoher Ölpreise auf die EU und zur Bewertung von Klimaschutzstrategien im Verkehr. Eine detaillierte Beschreibung des ASTRA-Modells findet sich in Schade (2005) mit Erweiterungen in Krail (2009).

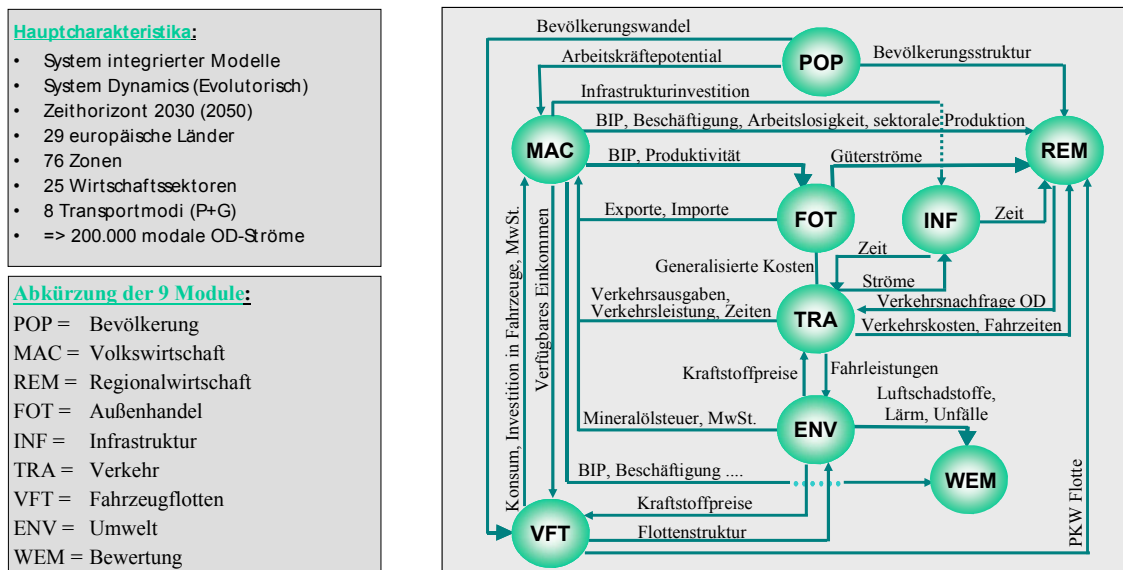
Die Version von ASTRA, die bisher in nationalen Projekten wie Politikszenerarien IV (ÖI et al. 2008), KlimInvest (Jochem et al. 2008), Politikszenerarien-V (Matthes et al. 2009), IKEP-Makro (Schade et al. 2009a) und nun auch in dieser Studie genutzt wurde bzw. wird, umfasst 29 europäische Länder, deren Ökonomien jeweils in 25 Sektoren unterteilt sind (siehe Anhang 8.1) und die untereinander verknüpft sind sowohl über den innereuropäischen Außenhandel als auch über die Verkehrsströme zwischen den einzelnen Ländern. Relevant für die Auswertung in nationalen Projekten sind die Ergebnisse für Deutschland, welches für einige politikspezifische Aspekte detaillierter implementiert wurde als die übrigen Länder.

Wesentliche Modellelemente von ASTRA sind kalibriert anhand von Zeitreihen von 1990 bis 2003/2006. Die Zeitreihen entstammen weitgehend aus europäische Statistiken von Eurostat bzw. der UN-COMEXT Datenbanken, sowie in einzelnen Fällen auch aus Ergänzungen von nationalen Statistiken. Die Hauptcharakteristika und die Struktur des ASTRA-Modells sind in Abbildung 3-1 dargestellt.

---

<sup>1</sup> ASTRA = Assessment of Transport Strategies.

Abbildung 3-1: Struktur und Interaktionen des ASTRA-Modells

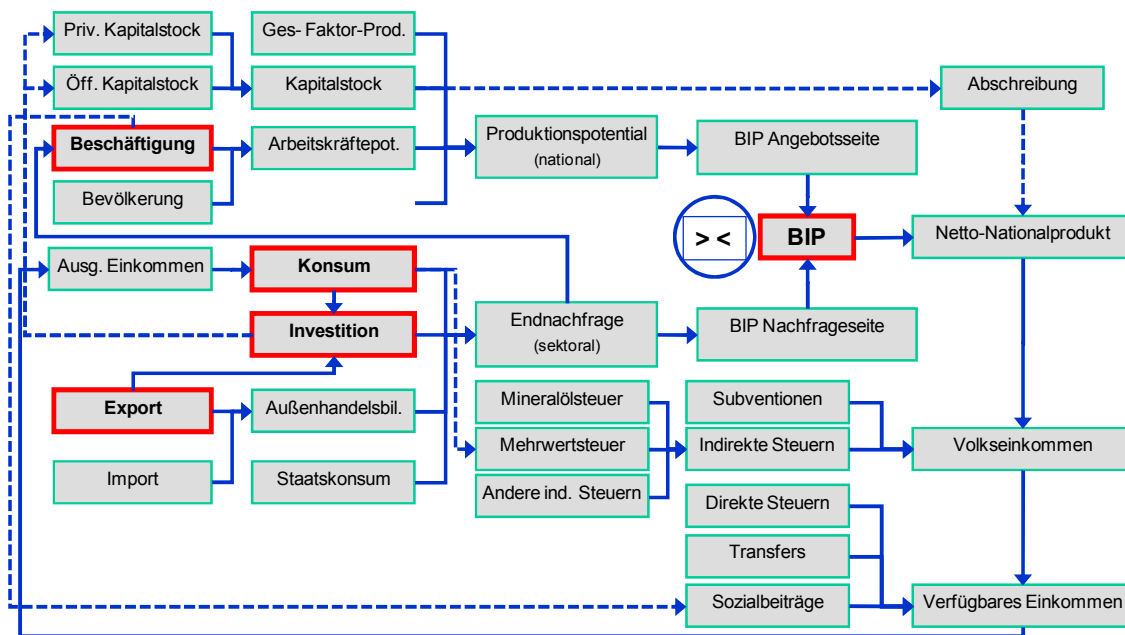


Quelle: Fraunhofer ISI.

ASTRA nutzt ein 1-Jahres-Kohortenmodell zur Abbildung der Bevölkerungsstruktur in den einzelnen Ländern. Dieses liefert relevante Rahmenbedingungen an andere Module, wie das Arbeitskräftepotential für das makroökonomische Modul oder die verkehrsverhaltensrelevanten Altersgruppen für das Verkehrsmodul. Im makroökonomischen Modul werden die Angebots- (d. h. Produktionsfaktoren und Technologie) und Nachfrageseite (d. h. Elemente der Endnachfrage) der Volkswirtschaften, die sektoralen Verflechtungen mittels Input-Output-Tabellen, die sektorale Beschäftigung und der Staatshaushalt abgebildet. Dabei lässt sich das Konzept von ASTRA nicht einer einzelnen ökonomischen Theorie zuordnen, sondern es kommen Elemente aus verschiedenen Theoriegebäuden zum Einsatz wie keynesianisch konsumgetriebenes Investitionsverhalten ergänzt durch investitionsfördernde Exporteinflüsse, neoklassische Produktionsfunktionen und endogenisierter technischer Fortschritt aus der endogenen Wachstumstheorie. Diese Einzelelemente werden durch eine Vielzahl von Rückkopplungen verknüpft ggf. unter Berücksichtigung von zeitlichen Verzögerungen. Über Mikro-Makro-Brücken werden ökonomische Impulse, die sich aus der detaillierten Modellierung (bottom-up) des Verkehrs- oder Energiesystems ergeben, in das makroökonomische Modul eingespeist. Umgekehrt liefert ASTRA über Makro-Mikro-Brücken die ökonomischen Treiber für die Bottom-up Modelle. Die Verflechtungen zwischen den wesentlichen volkswirtschaftlichen Variablen in ASTRA sind in Abbildung 3-2 dargestellt.



Abbildung 3-2: Interdependenzen im makro-ökonomische Modul von ASTRA (MAC)



Quelle: Fraunhofer ISI.

Direkte wechselseitige Interaktionen bestehen zwischen dem makroökonomischen Modul und dem Außenhandelsmodul, wo das Wachstum der einzelnen Volkswirtschaften die Importe ankurbelt, welche wiederum auf der Exportseite der anderen Volkswirtschaften wachstumsfördernd wirken, usw. Gleichzeitig liefern die sektoralen Exportströme neben den Produktionswerten einen wichtigen Treiber für das Güterverkehrsmodell, während das Personenverkehrsmodell durch die Bevölkerungs- und Einkommensentwicklung sowie die Fahrzeugflotten getriggert wird.

### 3.1.1 ABBILDUNG VON POLITIKEN IN ASTRA

Üblicherweise werden in ASTRA Politiken gegenüber einer Referenzentwicklung anhand eines mit-/ohne-Politik Vergleiches analysiert. Die Referenzentwicklung kann bereits Politiken enthalten, die z. B. bereits entschieden aber noch nicht komplett umgesetzt wurden, so dass sie sich noch nicht in den Daten der Kalibrierperiode wiederfinden.

ASTRA ermöglicht eine flexible Gestaltung von Politiken hinsichtlich ihrer Intensität, ihrer zeitlichen Staffelung oder ihrer Kombination zu Politikpaketen. Letzteres ist bedeutsam zur Analyse von Synergien zwischen verschiedenen Politiken sowie für die Untersuchung von Politikprogrammen wie dem Klimaschutzprogramm der Bundesregierung oder einer aus mehreren Instrumenten komponierten Förderung von Erneuerbaren Energien. Außerdem wird dadurch die Analyse der Verbesserung von Maßnahmen durch flankierende Maßnahmen ermöglicht, z. B. um negative ökonomische Wirkungen einer Maßnahme zu kompensieren. Integrierte Funktionen zur Durchführung von Sensitivitätsanalysen runden das Spektrum der Analysemöglichkeiten von ASTRA ab.



### 3.1.2 ANWENDUNG DES ASTRA-MODELLS IN VERKNÜPFUNG MIT KLIMA- UND ERNEUERBAREN POLITIKEN

Abbildung 3-3 liefert einen Überblick über wichtige Zusammenhänge des ASTRA-Modells, die für die Modellierung und Analyse von Klima- und Erneuerbaren Politiken eine Rolle spielen, sowie über die Verknüpfung mit Ergebnissen aus der Bottom-up Analyse z.B. eines Technologiemo­dells für erneuerbare Energien. Diese Verknüpfungen laufen über vier verschiedene Wirkungsketten:

- Investitionen: diese sind zum Einen die zusätzlichen Investitionen, die durch die Klimaschutz- und Erneuerbaren Politik ausgelöst werden (z. B. Investitionen in Erneuerbare Energien oder Isolierung von Gebäuden). Zum Anderen können diese auch vermiedene Investitionen sein, z. B. wenn aufgrund der Investition in Erneuerbare Energien die Investition in ein kohlebetriebenes Großkraftwerk entfällt. Der Saldo aus zusätzlichen und vermiedenen Investitionen der Klimaschutzpolitik wird auch als Nettoinvestitionen des Klimaschutzes bezeichnet.
- Energiekosten bzw. –ausgaben: durch die Investitionen ergeben sich veränderte Kosten der Energiebereitstellung. Die Kostenänderungen sind differenziert in Haushaltspreise und Industriepreise sowie in Energiekosten für Strom, Wärme und Verkehr. Bei der Verknüpfung der Bottom-up Ergebnisse mit den ökonomischen Modellen in ASTRA, muss der jeweils geeignete An­kopplungspunkt identifiziert und für die Modellierung genutzt werden. Aus ökonomischer Sicht ist in den meisten Fällen die Änderung der Energieausgaben (d. h. die Multiplikation von geänderten Mengen mit geänderten Preisen aus der Bottom-up Analyse) maßgeblich.
- Energieimporte: durch Effizienzsteigerung und Substitution von fossilen Energieträgern erzielte Energieeinsparungen schlagen sich in einer Reduktion der Importe fossiler Energieträger nieder.
- Staatshaushalt: einige Maßnahmen werden staatlich gefördert. Dadurch sowie durch geänderte Steuereinnahmen ergeben sich Veränderungen der Staatsausgaben und des Staatshaushaltes.

Die An­kopplung der Bottom-up Analyse erfolgt unterschiedlich für Maßnahmen des Energiesystems und des Verkehrssystems. Maßnahmen des Energiesystems werden komplett über die vier oben beschriebenen Wirkungsketten verknüpft, während Maßnahmen des Verkehrssystems direkt in das Flotten- und Verkehrsmodell von ASTRA implementiert werden (siehe Abschnitt 4.3.14) und so die An­kopplung über die bereits in ASTRA vorhandenen Mikro-Makrobrücken zwischen Verkehrs- und ökonomischem Modell geleistet werden. Ähnliches gilt dann für die Gebäudemaßnahmen. Die An­kopplung der Bottom-up Analyse erfolgt im Wesentlichen über drei ökonomische Modelle:

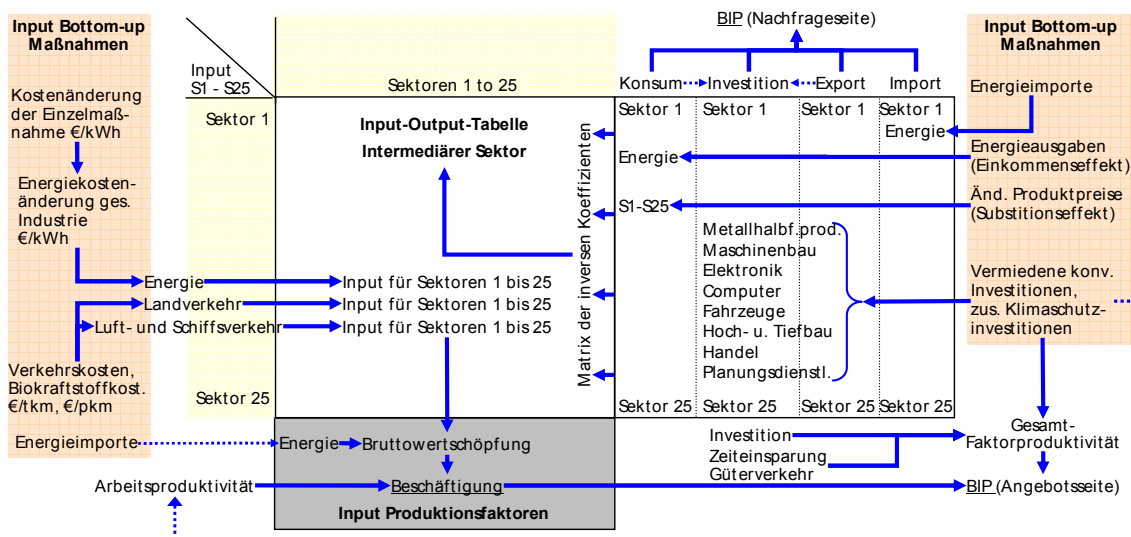
- Nachfrageseite des BIP: hierzu gehört die Veränderung der Konsumnachfrage sowohl durch veränderte Energieausgaben als auch durch Substitutionseffekte zwischen verschiedenen Produkten, die veränderten Investitionen und die veränderten Energieimporte. Über die aggregierte, sektorale Nachfrageseite werden dann auch Veränderungen in der Input-Output-Tabelle induziert.
- Angebotsseite des BIP: hierzu gehören die veränderten Investitionen, die sich auf die Gesamt-Faktorproduktivität und den Kapitalstock auswirken.

- Intermediäre Inputs in der Input-Output-Tabelle: Energie- und Transportkostenänderungen führen zu Anpassungen der intermediären Inputs von den Energie- und Verkehrssektoren für die übrigen Sektoren. Diese schlagen sich in veränderter Bruttowertschöpfung aller Sektoren nieder. Hierbei überlagern sich die Effekte mit den Einflüssen von der Nachfrageseite der Input-Output-Tabelle.

In vorhergehenden nationalen Projekten wie KlimInvest 2000 und IEKP-Makro wurde ASTRA für den Referenzlauf hinsichtlich der Bevölkerungs- und BIP-Entwicklung an die Rahmendaten von Politikszenerarien-IV angepasst (ÖI et al. 2008) und um einige Modellelemente zur Ankopplung der Bottom-up Maßnahmen ergänzt.

Die Ankopplung der Bottom-up Maßnahmen erfolgt auf der sektoralen Ebene z. B. über eine Veränderung der sektoralen Konsumausgaben der Haushalte bzw. der sektoralen Investitionsausgaben der Industrie (siehe Abbildung 3-3). Diese führen sowohl zu einer Änderung des BIP auf der Nachfrageseite als auch zur Anpassung des Endnachfragevektors der Input-Output-Tabelle. Zusammen mit den Veränderungen auf der intermediären Ebene der IO-Tabelle durch die Energiekostenänderungen der Industrie ergibt sich eine Veränderung der sektoralen Bruttowertschöpfung, wobei hier auch die sektoralen Outputänderungen zu berücksichtigen sind. Durch Verknüpfung der Bruttowertschöpfung mit den sektoralen Arbeitsproduktivitäten, die ggf. durch die Maßnahmen verändert werden, lässt sich die Beschäftigungswirkung des Klimaschutzprogramms abschätzen. Unter Berücksichtigung der Veränderung des BIP auf Nachfrage- und Angebotsseite kann die Wachstumswirkung abgeschätzt werden.

**Abbildung 3-3: Verknüpfung von Maßnahmen der Klimaschutz- und Erneuerbaren Politik mit den Komponenten der ökonomischen Modelle in ASTRA**



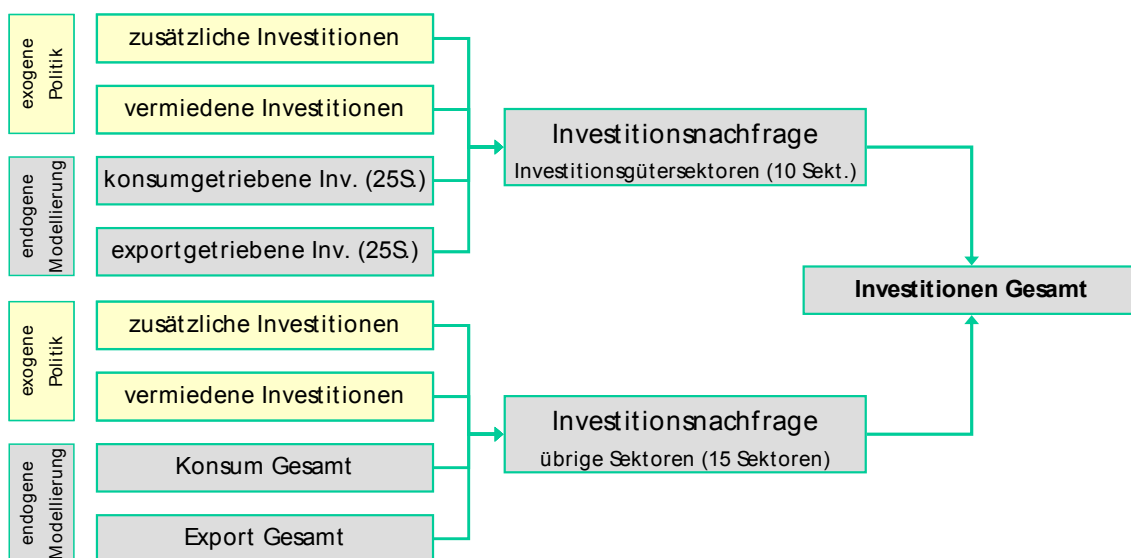
Quelle: Fraunhofer ISI.

Eines der zentralen Modelle im Rahmen der ökonomischen Analyse von Klimaschutz- und Erneuerbaren Strategien bildet das endogene Investitionsmodell. In ASTRA werden Investitionen durch Konsumerwartungen, Exporterwartungen, das Verhältnis von Angebots- und Nachfrageseite des BIP und staatliche Einflüsse getriggert. Diese endogen berechneten Investitionen können ergänzt werden durch exogen abgeschätzte Investitionen, die z. B. aus technologiebasierten Bottom-up Modellen für Erneuerbare (wie GreenX oder

POLES) geliefert werden. ASTRA unterscheidet zwei verschiedene Investitionsmodelle (siehe Abbildung 3-4):

- Investitionsgütersektoren: zu diesen gehören 10 Sektoren wie Maschinenbau, Fahrzeugbau, Hoch- und Tiefbau. Die Investitionsnachfrage für diese Sektoren ist auf der sektoralen Ebene modelliert. D. h. sektorale Veränderungen des Konsums bzw. der Exporte führen zu einer veränderten Produktion von Investitionsgütern, die unterschiedlich ausfällt für den Maschinenbau oder das Baugewerbe.
- Übrige Sektoren: auf diese 15 Sektoren entfällt nur ein kleiner Teil der Produktion von Investitionsgütern (10-15 %). Daher wird für sie verzichtet die sektoralen Einflüsse zu modellieren. Stattdessen werden Investitionen durch Veränderungen des aggregierten Konsums bzw. der aggregierten Exporte ausgelöst.

**Abbildung 3-4: Aufbau des Investitionsmodells in ASTRA**



Quelle: Fraunhofer ISI.

Investitionen stellen in ASTRA ein zentrales Bindeglied zwischen der Nachfrage- und Angebotsseite dar, da sie auf der Nachfrageseite direkt als Teil des BIP eingehen, und auf der Angebotsseite sowohl den Kapitalstock verändern als auch den durch die Gesamtfaktorproduktivität repräsentierten technischen Fortschritt stimulieren.

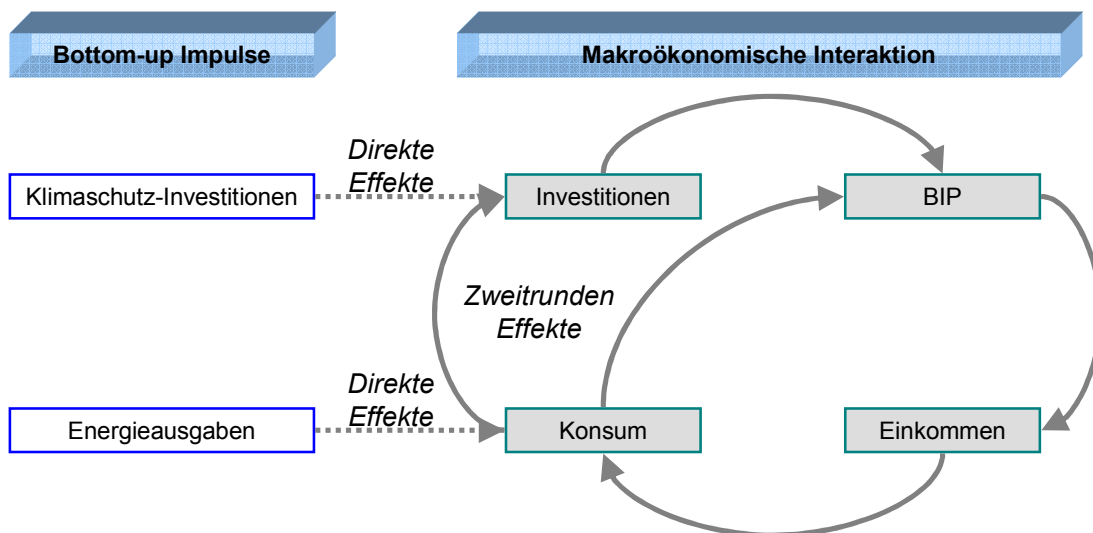
### 3.1.3 DIREKTE EFFEKTE UND ZWEITRUNDENEFFEKTE DER ERNEUERBAREN POLITIK

Im Folgenden soll kurz die Bedeutung der Zweitrundeneffekte bei einer makroökonomischen Analyse dargestellt werden. Klima- und Erneuerbaren Politik setzt auf der technologischen bzw. Akteursebene an. Diese wird auch als Bottom-up Sicht bezeichnet. Auf dieser Ebene wurden in ähnlich gelagerten Projekten die Maßnahmen quantifiziert. Als Ergebnis der Bottom-up Analyse stehen die Investitionen, die Veränderung der Energieausgaben unter Berücksichtigung der Investitionen, die Einsparung an Energieimporten und die Programmkosten zur Verfügung. Diese vier Informationen werden als Bottom-up Impulse einer Klima- und Erneuerbaren Maßnahme bezeichnet (siehe Abbildung 3-5).

Am Beispiel der Investitionen und der Energieausgaben kann der Unterschied zwischen direkten Effekten und Zweitrundeneffekten aufgezeigt werden. Der direkte Effekt einer

klimapolitisch induzierten Investition geht in die Investitionsvariable von ASTRA ein. Die Erhöhung der Investition führt zu einer Erhöhung des BIP, zu mehr Einkommen, erhöht die Konsumnachfrage und wirkt nun als Zweitrundeneffekt wieder auf die Investitionsvariable ein. Dies führt wieder zu einer Veränderung des BIP etc. Nach wenigen Simulationsperioden beginnen sich dann neue direkte Effekte einer Simulationsperiode mit Zweitrundeneffekten zu überlagern. Analog kann das Beispiel für Energieausgaben durchdacht werden. Der direkte Effekt einer Senkung der Energieausgaben führt zu einem Anstieg der Konsumausgaben für andere Sektoren als den Energiesektor. Dies kann die Investitionen steigern, und im Falle von unterschiedlicher Besteuerung von Energie und anderen Konsumverwendungen auch das BIP verändern. Das wirkt wiederum auf das Einkommen, den Konsum und erzeugt so die nächste Sequenz von Zweitrundeneffekten. Das ASTRA-Modell berechnet jeweils diese Effekte für vier Zeitpunkte pro Jahr.

**Abbildung 3-5:** Schematische Darstellung von direkten Effekten und Zweitrundeneffekten anhand exemplarischer Bottom-up Impulse



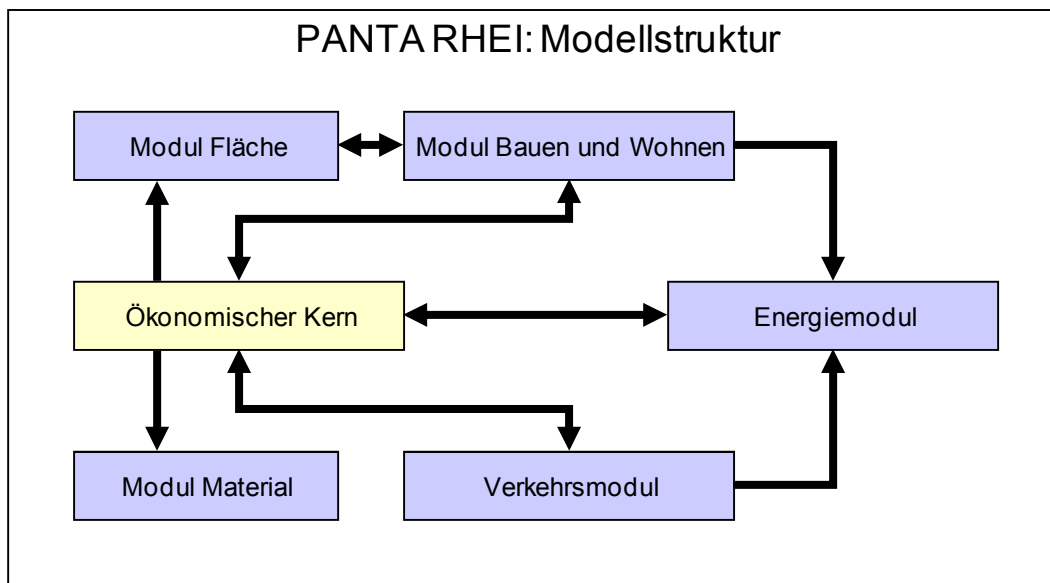
Quelle: Fraunhofer ISI.

## 3.2 PANTA RHEI

### 3.2.1 ÜBERBLICK

PANTA RHEI ist ein zur Analyse umweltökonomischer Fragstellungen entwickeltes Simulations- und Prognosemodell für die Bundesrepublik Deutschland. Der Name, der eine Reflexion des griechischen Philosophen Heraklit zitiert („alles fließt“), ist Programm: Das Modell erfasst den langfristigen Strukturwandel in der wirtschaftlichen Entwicklung sowie in den umweltökonomischen Interdependenzen.

Abbildung 3-6: Struktur des umweltökonomischen Modells PANTA RHEI



Einen Einblick in die Struktur des Modells PANTA RHEI gibt das in Abbildung 3-6 dargestellte Flussdiagramm. Neben der umfassenden ökonomischen Modellierung werden die Bereiche Energieverbrauch und Luftschadstoffe, Verkehr, Fläche und Wohnungen detailliert erfasst. Alle Modellteile sind konsistent miteinander verknüpft. Der Verkehrsbe- reich liefert z.B. den Treibstoffverbrauch in Litern, der mit den Literpreisen multipliziert unmittelbar in die monetäre Vorleistungsnachfrage der Industrie und die Konsumnachfrage der Privaten Haushalte eingeht. Änderungen der Steuersätze auf Treibstoffe führen dann einerseits zu geänderten Steuereinnahmen und vielfältigen ökonomischen Anpassungsprozessen. Andererseits lösen die Preisänderungen für Treibstoffe ihrerseits Verhaltensanpas- sungen aus, die im Modellrahmen erfasst werden.

Das Modell wird voll interdependent gelöst, d.h. dass die Wirkungen einer Maßnahme auf alle Modellvariablen gleichzeitig erfasst werden und keine Effekte „verloren gehen“. Das Modell enthält eine Fülle gesamtwirtschaftlicher Größen auf Basis der amtlichen Statistik und erlaubt sektorale Aussagen nach 59 Wirtschaftsbereichen. Grundsätzlich ist PANTA RHEI mit dem internationalen Modellsystem GINFORS koppelbar, was für inter- nationale Fragestellungen etwa im Zusammenhang mit dem Emissionshandelssystem sehr wichtig ist. In UBA-PANTA RHEI gibt es keine modellendogene Rückkopplung mit Auslandsentwicklungen.

Der *ökonomische Kern* INFORGE umfasst im Wesentlichen ein makroökonomisches Strukturmodell mit einer Zeitreihe von Input-Output-Tabellen als Kern, das Kontensystem der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen und den Arbeitsmarkt. Es ist in Schnur, Zika (2009) ausführlich beschrieben und wird im folgenden Abschnitt kurz vorgestellt.

Das *Energiemodell* beschreibt den Zusammenhang zwischen ökonomischer Entwick- lung, Energieeinsatz und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Es umfasst den Primärenergieverbrauch, die Umwandlung und den Endenergieverbrauch. Es ist nach 20 Endenergieverbrauchern ge- gliedert und unterscheidet 30 verschiedene Energieträger gemäß der Energiebilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB). Im Verkehrs- und Wohnungsmodul werden

relevante Bestandsgrößen wie der Fahrzeugpark und die durchschnittlichen Verbräuche sowie der Heizenergiebedarf der Wohnungen fortgeschrieben.

Durch Variation der Parameter wichtiger Einflussfaktoren lassen sich mittels der Szenariotechnik Wirkungen auf Energiepreise, Bruttoinlandsprodukt, Beschäftigung, Preisniveau und eine Fülle weiterer monetärer Größen im Modell PANTA RHEI bestimmen. Mit der Szenariotechnik werden alternative Entwicklungen (Szenarien) mit einer Referenzentwicklung oder anderen Szenarien verglichen. Die Szenarien weichen in einer oder wenigen Parametereinstellungen (z. B. Energiesteuersätze) vom Referenzszenario ab. Unterschiede in den Modellergebnissen können dann jeweils auf die veränderten Parametereinstellungen zurückgeführt werden.

Für das Verständnis der folgenden Modellbeschreibung ist die Vorstellung eines simultanen Lösungsverfahrens hilfreich. In PANTA RHEI wird kein blockrekursives Lösungsverfahren herangezogen, bei dem das Ergebnis einer Gleichung bzw. eines definierten Gleichungsblocks in den nächsten Gleichungsblock eingeht. Vielmehr ist das Lösungsverfahren iterativ, so dass ein jedes Gleichungsergebnis die Ergebnisse aller anderen Gleichungen beeinflusst, unabhängig davon, an welcher Stelle eine Gleichung im Programmcode abgelegt worden ist.

Das Modell PANTA RHEI beruht in seinem ökonomischen Kern auf den Ergebnissen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR). Damit ist auch das Kontensystem der VGR – vergleichbar mit der doppelten Buchführung eines Unternehmens, nur für die gesamte Volkswirtschaft – integraler Bestandteil von PANTA RHEI. Daraus ergeben sich strenge Anforderungen an die Konsistenz des Systems: Kein Zahlungsstrom darf unberücksichtigt bleiben und bedarf einer Gegenbuchung. Im Ergebnis ist das Bruttoinlandsprodukt immer identisch mit der Summe seiner Komponenten (Konsum, Investitionen und Außenhandel). Diese Konsistenzanforderung gilt allerdings nicht nur in den makroökonomischen Aggregaten sondern auch für jeden Wirtschaftsbereich: Auch hier müssen die Einnahmen und die Ausgaben sachgerecht verbucht werden. Das Modell PANTA RHEI stellt also sicher, dass jeder Euro auch nur einmal ausgegeben wird. Ohne ein Buchungssystem dieser Art ist eine Kontrolle und Beurteilung der Ergebnisse nur schwer möglich.

Das Modell ist in den letzten 15 Jahren in verschiedenen Modellversionen für energie- und umweltpolitische Analysen eingesetzt worden. Einen Überblick über Anwendungen im Energie- und Klimabereich geben Lutz und Meyer (2008a). Analysen zum Materialeinsatz finden sich in Meyer et al. (2007a). In letzter Zeit wurde das Modell zur Bewertung von Beschäftigungseffekten des Ausbaus erneuerbarer Energien (Lehr et al. 2008a) sowie des Integrierten Energie- und Klimapakets (Lutz, Meyer 2008b), zur Projektion künftiger Flächeninanspruchnahme (Distelkamp et al. 2009 und 2011) und zur Bewertung von verstärkten Effizienzbestrebungen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (Pehnt et al. 2009 und ifeu et al. 2011) eingesetzt. Im Jahr 2010 wurde das Modell im Rahmen der Energieszenarien (Prognos, EWI, GWS 2010), im MaRes-Projekt (Distelkamp et al. 2010) und zur Aktualisierung der Beschäftigungseffekte des EE-Ausbaus eingesetzt (Lehr et al. 2011).

Eine österreichische Modellvariante wird inzwischen in verschiedenen Forschungs- und Beratungsprojekten eingesetzt (Grossmann et al. 2007, Lehr et al. 2008b, Stocker et al. 2011). Frohn et al. (2003) bestätigen in ihrer Evaluation ökonomischer Modelle die



Eignung des Systems vor allem für umweltökonomische Prognose- und Simulationsrechnungen.

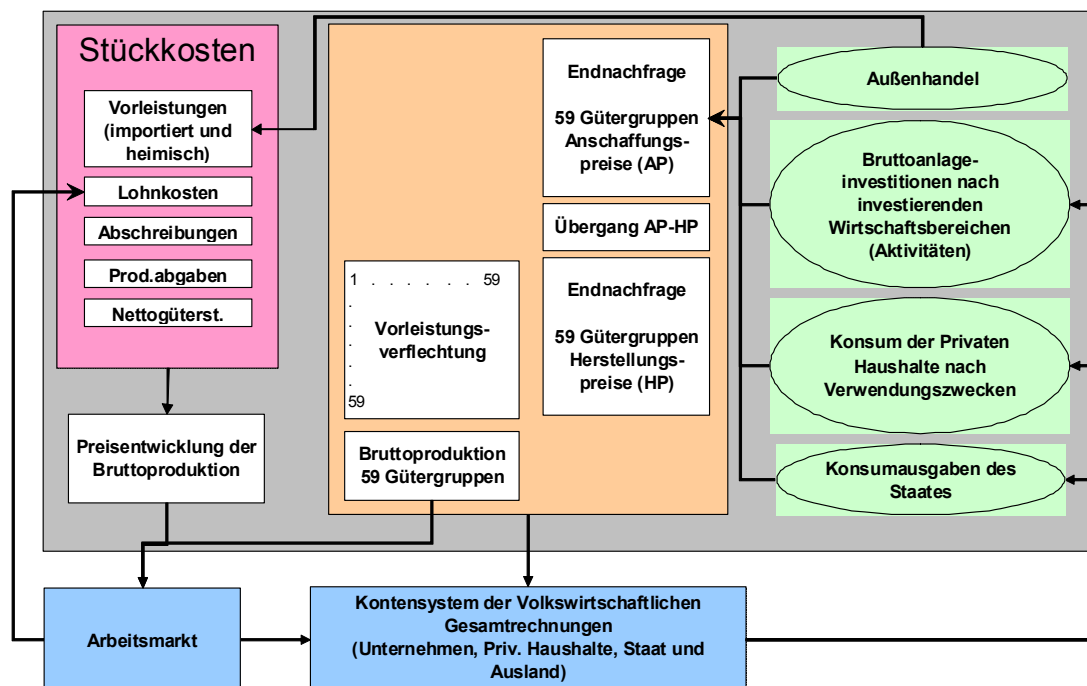
### 3.2.2 ÖKONOMISCHES MODELL INFORGE

Das Modell INFORGE (INterindustry FORecasting GErmany) ist ein sektoral tief gegliedertes Prognose- und Simulationsmodell, das seit 1996 jährlich aktualisiert wird und in vielen Anwendungen eingesetzt worden ist. Das Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung in Nürnberg setzt das Modell selbständig für langfristige Projektionen der Arbeitsnachfrage ein (Schnur, Zika 2007). In Ahlert et al. (2009) findet sich eine umfassende Beschreibung der aktuellen Modellversion.

Die besondere Leistungsfähigkeit des Modells INFORGE beruht auf der INFORUM-Philosophie (Almon 1991). Sie ist durch die Konstruktionsprinzipien Bottom-up und vollständige Integration gekennzeichnet. Das Konstruktionsprinzip *Bottom-up* besagt, dass jeder der 59 Sektoren der Volkswirtschaft sehr detailliert modelliert ist und die gesamtwirtschaftlichen Variablen durch explizite Aggregation im Modellzusammenhang gebildet werden. Das Konstruktionsprinzip *vollständige Integration* beinhaltet eine komplexe und simultane Modellierung, die die interindustrielle Verflechtung ebenso beschreibt wie die Entstehung und die Verteilung der Einkommen, die Umverteilungstätigkeit des Staates sowie die Einkommensverwendung der privaten Haushalte für die verschiedenen Güter und Dienstleistungen. Der disaggregierte Aufbau des Modells INFORGE ist in das vollständig endogenisierte Kontensystem der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen eingebettet. Damit ist insbesondere auch die Umverteilung der Einkommen durch den Staat endogen abgebildet. Die nachfolgende Abbildung 3-7 gibt einen Überblick über das Modell INFORGE. Dabei ist jedoch zu beachten, dass aufgrund der Komplexität des Modells nur ein Teil der Zusammenhänge aufgezeigt ist.

Das Modell weist einen sehr hohen Endogenisierungsgrad auf. Exogen vorgegeben sind im Wesentlichen Steuersätze, das Arbeitsangebot und die Weltmarktvariablen des internationalen GINFORS-Systems, das in Lutz et al. (2010) dokumentiert ist. Hervorzuheben ist, dass das gesamte System simultan gelöst wird. Dabei sind allein die Variablen des GINFORS-Welthandelsmodells aus dem Simultanblock herausgenommen. Die Struktur des Modells INFORGE ist hochgradig interdependent. Neben den üblichen Kreislaufinterdependenzen sind die Mengen-Preisinterdependenzen und die Lohn-Preisinterdependenz abgebildet.

Abbildung 3-7: Schematisch verkürzte Darstellung des Modells INFORGE



INFORGE ist ein ökonometrisches Input-Output-Modell, das als evolverisches Modell bezeichnet werden kann. In den Verhaltensgleichungen werden Entscheidungs-routinen modelliert, die nicht explizit aus Optimierungsverhalten der Agenten abgeleitet sind, sondern beschränkte Rationalität zum Hintergrund haben. Die Herstellungspreise sind das Ergebnis einer Aufschlagskalkulation der Unternehmen. Die Zeit ist im Modell historisch und unumkehrbar. Die Kapitalstockfortschreibung generiert Pfadabhängigkeit.

Dem Input-Output-Ansatz wird gemeinhin eine nachfrageorientierte Modellierung zugesprochen. Dies trifft auf INFORGE allerdings nicht zu. Es ist zwar richtig, dass die Nachfrage in INFORGE die Produktion bestimmt, aber alle Güter- und Faktornachfragevariablen hängen unter anderem von relativen Preisen ab, wobei die Preise wiederum durch die Stückkosten der Unternehmen in Form einer Preissetzungshypothese bestimmt sind. Der Unterschied zu den allgemeinen Gleichgewichtsmodellen, in denen ein Konkurrenzmarkt modelliert wird, liegt in diesem Punkt in der unterstellten Marktform, nicht in der Betonung der einen oder der anderen Marktseite. Man kann es auch so formulieren: Die Unternehmen wählen aufgrund ihrer Kostensituation und der Preise konkurrierender Importe ihren Absatzpreis. Die Nachfrager reagieren darauf mit ihrer Entscheidung, die dann die Höhe der Produktion bestimmt. Angebots- und Nachfrageelemente sind also im gleichen Maße vorhanden.

Neben der in 59, teils auch in 71 Produktions- bzw. Wirtschaftsbereiche tief gegliederten Ebene der Input-Output-Rechnung enthält das Modell zur Berechnung der gesamtwirtschaftlichen Variablen das Kontensystem der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen der Bundesrepublik Deutschland mit seinen institutionellen Transaktoren Staat, Private Haushalte und private Organisationen ohne Erwerbszweck, Finanzielle Kapitalgesellschaften, Nichtfinanzielle Kapitalgesellschaften sowie übrige Welt und den funktionellen Transaktoren Produktion, Primäre Einkommensverteilung, Sekundäre Einkommensverteilung, Einkommensverwendung, Vermögensänderung und Sachvermögensbildung. Dieses Sys-



tem enthält die gesamte Einkommensumverteilung einschließlich Sozialversicherung und Besteuerung zwischen Staat, Privaten Haushalten und Unternehmen und ermöglicht so die Berechnung der verfügbaren Einkommen, die wiederum wichtige Determinanten der Endnachfrage sind. Außerdem werden die Finanzierungssalden der institutionellen Transaktoren bestimmt. Damit ist insbesondere auch die staatliche Budgetrestriktion im Modell enthalten. Die gesamte Fiskalpolitik ist somit endogen in dieses System eingebunden.

Ökonomisch-technische Innovationen werden durch den Kostendruck ausgelöst und können somit grundsätzlich dargestellt werden. Erfasst wird dies durch die Schätzung der Preis- und Trendabhängigkeit der Inputkoeffizienten. Das System von preis- und trendabhängigen Faktornachfragefunktionen beschreibt für jeden Zeitpunkt mit dem zugehörigen Vektor der Vorleistungs- und Arbeitsinputkoeffizienten die Technologie. Der verwendete Input-Output-Ansatz ist somit technikorientiert und bietet eine angemessene Verknüpfung von Ökonomie und Technik.

Die Dynamik des Modells wird durch die Kapitalstockfortschreibung, die verzögerte Lohnanpassung an Produktivitäts- und Preisentwicklung, die verzögerte Anpassung des Staatsverbrauchs an die Entwicklung des verfügbaren Einkommens des Staates und weitere Verzögerungen (Lags) in Nachfragefunktionen hervorgerufen.

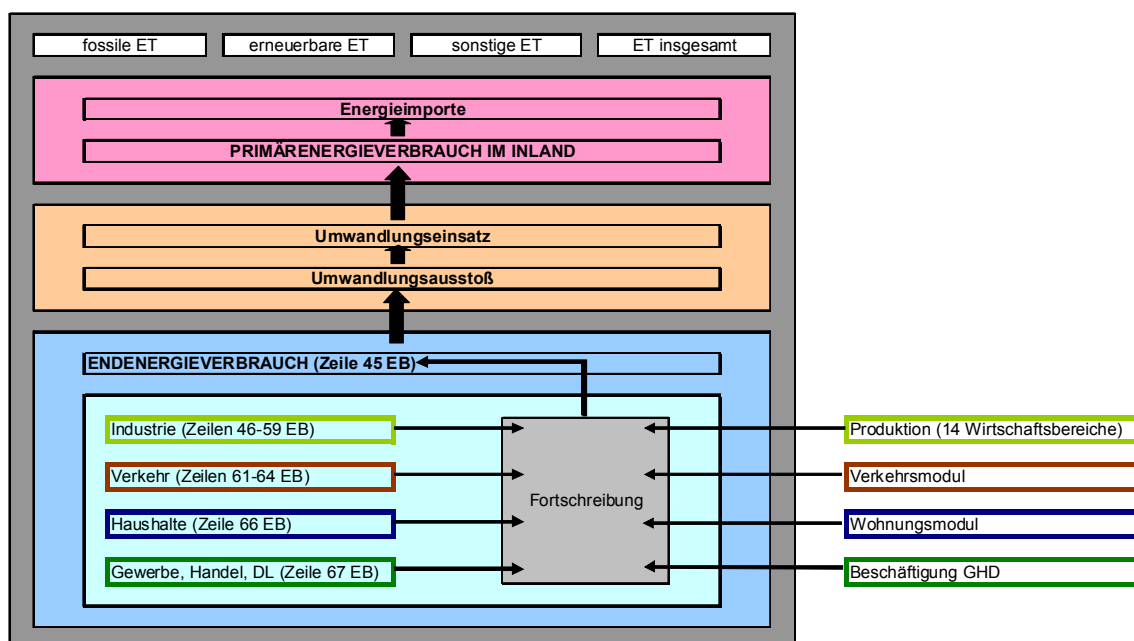
Die Parameter der Modellgleichungen wurden mit dem OLS-Verfahren über den Zeitraum 1991 bis 2008 (in einigen Fällen aufgrund der Datenverfügbarkeit erst ab 1995 bzw. bis 2007) ökonometrisch geschätzt. Bei der Auswahl alternativer Schätzansätze wurden zunächst a priori-Informationen über Vorzeichen und Größenordnungen der zu schätzenden Koeffizienten genutzt. Mit anderen Worten: Ökonomisch unsinnige Schätzergebnisse wurden verworfen. Die verbleibenden Schätzungen wurden auf Autokorrelation der Residuen anhand der Durbin-Watson-Statistik sowie auf Signifikanz der geschätzten Parameter mit dem t-Test geprüft. War auf dieser Basis eine Diskriminierung konkurrierender Ansätze nicht möglich, wurde das Bestimmtheitsmaß der Schätzung hinzugezogen. Angesichts der Größe des Modells erscheint die OLS-Methode als die angemessene, weil sie die einfachste Schätzmethode ist.

Das INFORGE-Modell beruht im Wesentlichen auf zwei Hauptdatenquellen. Diese sind die Fachserie 18, Reihe 1.4 der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamtes und eine Reihe von Input-Output-Tabellen der Jahre 1995 bis 2006.

### 3.2.3 ENERGIEMODELL

Das Energiemodell beschreibt den Zusammenhang zwischen ökonomischen Entwicklungen, Energieeinsatz und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Das Wesen dieser Beziehungen ist dabei wechselseitig. So beeinflussen einerseits die Variablen des ökonomischen Modellteils INFORGE den Energieeinsatz, andererseits wirken die monetären Ausgaben für den Energieeinsatz unmittelbar auf ökonomische Größen. Eine ähnliche Interdependenz lässt sich auch zwischen Energiemodell und Verkehrsmodell sowie zwischen Energiemodell und Wohnungsmodell erkennen. Beispielsweise bestimmen Größen des Verkehrsmodells, die ihrerseits durch das ökonomische Modell INFORGE beeinflusst werden, den Energieeinsatz der Verkehrssektoren. Andererseits wirken die monetären Größen unmittelbar und mittelbar (über das ökonomische Modell) auf die Größen im Verkehrsmodell.

**Abbildung 3-8: Fortschreibung des Mengengerüsts im Energiemodell**



Das Energiemodell umfasst die Modellierung des Primärenergieverbrauchs, der Umwandlung und des Endenergieverbrauchs. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sind über feste Emissionsfaktoren mit dem Primärenergieeinsatz verknüpft. Da Endenergie in aller Regel nicht direkt vom Verbraucher gewonnen wird bzw. Primärenergie nicht immer direkt vom Endverbraucher eingesetzt werden kann, stellt die Modellierung des Umwandlungssektors einen integralen Bestandteil des Modells dar. Die eingesetzte Primärenergie kann im Inland gewonnen werden oder aus dem Ausland importiert werden. Schließlich kann auch ein Teil der heimischen Förderung ins Ausland exportiert werden. Ein großer Teil der Endenergie wird durch Transformation von Primärenergieträgern in Sekundärenergie gewonnen. Dies gilt in erster Linie für Elektrizität und Wärme, bei denen große Umwandlungsverluste auftreten können. Aber auch Mineralölprodukte werden im Raffinerieprozess aus Rohöl gewonnen.

Zur adäquaten Modellierung sowohl des Energieeinsatzes als auch des Energieverbrauchs ist daher ein Modell notwendig, das Primär- und Sekundärenergieträger sowie den Endenergieverbrauch und schließlich Verluste der Energieumwandlung berücksichtigt. Darüber hinaus ist die Unterscheidung einer Vielzahl von unterschiedlichen Energieträgern

sowie eine hinreichend tiefe sektorale Aufsplitterung erforderlich, um Umwandlung und Endenergieverbrauch konsistent modellieren zu können.

Ansatzpunkt für die Fortschreibung des Mengengerüsts ist der Endenergieverbrauch. Für die verschiedenen Endnachfragebereiche (private Haushalte, Verkehr, Industrie und GHD) wird jeweils ein separates Vorgehen gewählt, das im Folgenden näher beschrieben wird. Die Endnachfrage der vier Nachfragebereiche wird anschließend zum gesamten Endenergieverbrauch addiert. Ausgehend hiervon werden der Umwandlungsausstoß und der Umwandlungseinsatz berechnet. Aus den vorliegenden Informationen kann dann der inländische Primärenergieverbrauch definitorisch bestimmt werden. Schließlich lassen sich die Energieimporte residual aus dem Primärenergieverbrauch, den Exporten, der inländischen Energiegewinnung sowie den Bestandsveränderungen bestimmen (vgl. Abbildung 3-8). In den nachfolgenden Kapiteln werden die Datenbasis und der Aufbau der Energiemodellierung näher erläutert.

#### 3.2.4 ABBILDUNG VON POLITIKEN IN PANTA RHEI

Trotz des hohen Endogenisierungsgrad ist das Modell PANTA RHEI offen für exogene Informationen aus Bottom-up Modellen oder eher technisch orientierten Modellen. Im umwelt- und energiepolitischen Politikfeld können beispielsweise Energieverbräuche exogen verändert werden (zur Abbildung eines geänderten Nutzungsverhaltens oder verstärkter Effizienz). Eine Erhöhung von Energiepreise, -steuern oder -abgaben verändert direkt die Nachfrage nach Energie und beeinflusst über veränderte Stückkosten die Güterpreise. Staatliche Maßnahmen und Förderprogramme lassen sich detailliert in das Modell einstellen. Gesetzliche Vorgaben wie eine Verschärfung der ENEV schlagen sich zum einen in sinkenden Energieverbräuchen bei Neubauten und somit langfristig auch in einem sinkenden Durchschnittsverbrauch nieder; gleichzeitig verändern sie die Baupreise. Für jede abgebildete Politik wird die exogene Information strukturiert aufbereitet: So führen Maßnahmen zur Energieeffizienz zwar zunächst zu Einsparungen bei den Haushalten und zu verringerten Ausgaben für Energie, zum anderen müssen die effizienteren Geräte und Fahrzeuge jedoch (vorgezogen) zu einem höheren Preis erworben werden und mindern so den ohne diese Gegenfinanzierung auftretenden Rebound-Effekt. Grundsätzlich kann jede Verhaltensgleichung in PANTA RHEI exogen verändert werden.

Beispiele für die Vorgehensweise sind die Analyse der gesamtwirtschaftlichen Effekte Erneuerbarer Energien (Lehr et al. 2011a) sowie von Energieeffizienzmaßnahmen (ifeu et al. 2011). Dabei werden verschiedene Details aus anderen Studien oder Modellen als Szenarientreiber in PANTA RHEI eingestellt. Das Vorgehen ist in den Studien eingehend beschrieben.

## 4 VERGLEICH DER MODELLIERUNGSANSÄTZE

Der nachstehende Vergleich der Modellierungen wesentlicher ökonomischer Kenngrößen soll einen ersten Einblick geben, welche Reaktionen auf exogene Schocks oder Änderungen aufgrund der modellimmanenten Struktur von den beiden Modellen zu erwarten sind. Dabei werden die Modellierungen immer als gleich valide und begründet angesehen.

### 4.1 DATENBASIS UND DATENSTAND

Der ökonomische Kern von PANTA RHEI basiert im Wesentlichen auf zwei zentralen Statistiken: den Input-Output-Rechnungen und den Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamtes. Mittels dieser beiden Zahlenwerke ist es möglich die Volkswirtschaft auf makroökonomischer Ebene weitestgehend mit Daten abzubilden und das wirtschaftliche Geschehen samt seinen Kreislaufzusammenhängen zwischen den einzelnen Sektoren und 59 Wirtschaftszweigen erkenntlich zu machen. Neben den beiden Hauptdatenquellen werden – soweit nötig – weitere öffentlich zugängliche und amtlich abgesicherte Datenquellen herangezogen.

Für die Energiemodellierung stellen die Energiebilanzen inklusive der Satellitenbilanzen zu den erneuerbaren Energien der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen ein wichtiges Zahlenwerk dar. Dieses wird ergänzt durch weitere amtlich abgesicherte Datenquellen, wie der Baustatistik, Verkehr in Zahlen, Energiedaten des BMWi und anderen.

Exogene Inputs in ASTRA und die zur Kalibrierung notwendigen Zeitreihen-Daten kommen hauptsächlich aus den Datenbanken von Eurostat, der OECD und der UN. Daten zur Parametrisierung der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung stammen aus der Eurostat VGR. Das Arbeitsmarktmodul in ASTRA wurde mittels LFS-Daten (Labour Force Survey) kalibriert. Der Außenhandel basiert auf Daten der UN-COMTRADE Handelsstatistiken. Verkehrsstatistiken entstammen hauptsächlich dem EU Energy and Transport in Figures Statistiken.

Die unterschiedlichen Datengrundlagen der beiden Modellwelten sind im Wesentlichen auf den unterschiedlichen regionalen Analysebezug der Modelle zurückzuführen. ASTRA, wie bereits erwähnt, bildet 29 europäische Länder ab und PANTA RHEI konzentriert sich auf die Modellierung Deutschlands. Daher kann PANTA RHEI mit einer tieferen sektoralen Disaggregation umgehen, die in ASTRA für 29 Länder den Rahmen sprengen würde. Der unterschiedliche Datenstand liegt zum einen im schnelleren Aktualisierungszyklus deutscher amtlicher Statistiken; zum anderen wird der ökonomische Kern des Modells PANTA RHEI vom GWS Modell INFORGE gebildet, das für kurzfristige Analysen eingesetzt wird und somit immer alle aktuellen VGR Daten sofort zur Verfügung stellt. Gerade in Zeiten gravierender ökonomischer Veränderungen, wie etwa in Wirtschafts- und Finanzkrise 2009, erlaubt diese Vorgehensweise eine zeitnahe Einschätzung wichtiger ökonomischer Veränderungen. Tabelle 4-1 zeigt eine vergleichende Übersicht.

**Tabelle 4-1: Datentechnische Fundierung von Astra und PANTA RHEI**

ASTRA	PANTA RHEI
Datenbasis	
<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Eurostat VGR (SNA)</li> <li>b. Eurostat I/O Tabellen</li> <li>c. Verkehrsstatistiken</li> <li>d. Energiestatistiken</li> <li>e. UN-COMTRADE Handelsstatistiken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2. Ökonomischer Kern:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>a. VGR,</li> <li>b. I/O-Tabellen des Statistischen Bundesamts</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>3. Energie und Umwelt:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Energiebilanzen</li> <li>b. Energiedaten BMWi</li> <li>c. Verkehr in Zahlen</li> <li>d. Baustatistik</li> </ul> </li> </ul>
Datenstand	
Startjahr 1990 Jahreswerte teils bis 2003 bzw. bis 2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Ökonomischer Kern:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>a. September 2010</li> <li>b. 1995 bis 2006</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>2. Energie und Umwelt:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 2008</li> <li>b. überwiegend 2009</li> <li>c. 2008</li> </ul> </li> </ul> 2008

## 4.2 VERGLEICH DER VERWENDETEN RAHMENDATEN

### 4.2.1 BEVÖLKERUNG

PANTA RHEI bzw. der ökonomische Modellteil INFORGE basieren auf externen Bevölkerungsprojektionen. Grundlage der aktuellen Vorgaben ist die Variante 1-W1 der 12. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes aus dem Jahr 2009. Dieser Quelle wird nicht nur die Entwicklung der Gesamtbevölkerung entnommen, sondern auch die Struktur nach drei Altersgruppen: bis 15 Jahre, 15 bis 65 Jahre und 65 und mehr Jahren. Die Gesamtbevölkerung geht von heute aus gerechnet bis zum Jahr 2025 um rund 3,3 Mio. Personen zurück. Während im gleichen Zeitraum der Anteil der Personen, die 65 Jahre oder älter sind, einen Anstieg von 20,3% auf 25,5% aufweist, gehen sowohl der Anteil der Personen im Alter von 15 bis 64 Jahre (von 66,1% auf 62,3%) als auch der Anteil der Kinder (von 13,5% auf 12,3%) zurück. In PANTA RHEI sind alle Varianten der 12. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung über einen Schalter einstellbar. Wichtige Größen wie die Bauinvestitionen, oder die Konsumausgaben für Mietzahlungen verändern sich mit diesen demografischen Eckdaten.

Tabelle 4-2: Ausgewählte energiepolitische Rahmendaten 2008

	Einheit	ASTRA	PANTA RHEI
		2008	
<b>Internationale Preise</b>			
Ölpreis	USD2008/bbl	95,2	93,2
Preis für CO <sub>2</sub> -Zertifikate	Euro2008/t CO <sub>2</sub>		23,9
<b>Sozioökonomische Rahmendaten</b>			
Bevölkerung (Einwohner)	Mio.	82,6	82,1
Anzahl der Privathaushalte	Mio.	40,1	40,1
Bruttoinlandsprodukt	Mrd. Euro2000	2.298	2.274
Produktionswert	Mrd. Euro2000		4.314
PKW-Bestand	Mio.	45,1	46,7
Personenverkehrsleistung insg.	Mrd. Pkm	1.239	1.093
Güterverkehrsleistung insg.	Mrd. Tkm	492	654
<b>Preise Haushalte (inkl. MwSt.)</b>			
Heizöl, leicht	Cent/l	64,7	77,1
Erdgas	Cent/kWh	10,1	7,1
Strom	Cent/kWh	35,1	21,4
Benzin	Euro/l	1,5	1,4
<b>Preise Industrie (exkl. MwSt.)</b>			
Heizölpreis, leicht	Euro/t		727,1
Erdgas	Cent/kWh		3,3
Strom	Cent/kWh		8,8
<b>Effizienzindikatoren</b>			
PEV pro Kopf	GJ/Kopf	189*	173
BIP/PEV	Euro2000/MJ	140*	160
EEV/Anzahl der priv. Haushalte	GJ/Haushalt		64
BWS/EEV GHD	Euro/GJ		1079
Produktionswert/EEV	Euro2000/GJ		474
Personen-km/EEV Verkehr	Mio. Pkm/GJ	508	425
Tonnen-km/EEV Verkehr	Mio. Tkm/GJ	521	255
<b>THG-Emissionen und Indikatoren</b>			
THG-Emissionen	Mio. t CO <sub>2</sub> -eq		959
Änderung gegenüber 1990	%		-22,4
THG-Emissionen, energiebedingt	Mio. t CO <sub>2</sub> -eq		771
Änderung gegenüber 1990	%		-22,1
THG-Emissionen/BIP real	g CO <sub>2</sub> -eq/Euro		422
THG-Emissionen/Einwohner	t CO <sub>2</sub> -eq/Kopf		11,7

\* Input von POLES an ASTRA

ASTRA nutzt ein eigenes Kohortenmodell für jedes EU27+2 Land. Die Kalibrierung des Kohortenmodells erfolgt auf Basis von Geburtenraten, Sterberaten und Migrationsbewegungen. Als Vorlage für die Trends im Prognosezeitraum dienen Eurostat-Statistiken. Allerdings lassen sich die Prognosen auch relativ einfach anpassen, allerdings mit Auswirkungen auf alle übrigen Modellteile, die nicht immer ex-ante vollständig qualitativ abschätzbar sind.

#### 4.2.2 ENERGIEPOLITISCHE RAHMENDATEN

PANTA RHEI nutzt die Projektion der Importpreise fossiler Energien der IEA und richtet wesentliche Eckgrößen des Referenzlaufs am jeweils aktuellen Energiereport, bzw. derzeit an den Energieszenarien für das Energiekonzept (Prognos, EWI, GWS 2010) aus. Wenngleich sich im Modelldurchlauf ein Basislauf ergibt, so ist es häufig aufgrund der Vergleichbarkeit der Simulationsergebnisse mit anderen Studien sinnvoller, von demselben Referenzlauf auszugehen. Darüber hinaus werden die aktuellen politischen Vorgaben, wie Steuersätze, Laufzeitverlängerung, steuerliche Minderungen und Klimaschutzmaßnahmen, die zur Bearbeitungszeit gültig sind, in das Modell eingestellt.

ASTRA verwendet im Referenzfall die Rahmendaten in Form von Energie- und Zertifikatepreisen aus dem Basisszenario (MMS) des Projektes Politikszenerarien-IV (ÖI et al. 2008). Die entsprechenden Variablen in ASTRA wurden an diese Rahmendaten angepasst, wobei ein exaktes Nachfahren der Entwicklung nicht möglich ist, wenn die entsprechenden Variablen in ASTRA endogen bestimmt werden, wie z. B. das BIP.

### 4.3 MODELLIERUNG

PANTA RHEI/INFORGE enthält ca. 50.000 Modellgleichungen, die sich aus definitiven Gleichungen und Verhaltensgleichungen zusammensetzen. Die Parameter der Verhaltensgleichungen werden mit dem OLS-Verfahren überwiegend über den Zeitraum 1991 bis 2008 ökonometrisch geschätzt. Bei der Auswahl alternativer Schätzansätze werden zunächst a priori-Informationen über Vorzeichen und Größenordnungen der zu schätzenden Koeffizienten genutzt. Mit anderen Worten: ökonomisch unsinnige Schätzergebnisse werden verworfen. Die verbleibenden Schätzungen werden auf Autokorrelation der Residuen anhand der Durbin-Watson-Statistik sowie auf Signifikanz der geschätzten Parameter mit dem t-Test geprüft. Ist auf dieser Basis eine Diskriminierung konkurrierender Ansätze nicht möglich, wird das Bestimmtheitsmaß der Schätzung hinzugezogen. Angesichts der Größe des Modells erscheint die OLS-Methode als die angemessene, weil sie die einfachste Schätzmethode ist.

Das ASTRA Modell besteht aus ca. 8.000 Variablen. Die meisten dieser Variablen stellen Vektoren bzw. Matrizen dar, da die darin enthaltenen Gleichungen für alle 28 Länder der EU27+2 (Belgien und Luxemburg sind dabei zu einem Land zusammengefasst) gerechnet werden. Im Falle von Matrizen werden neben den Ländern beispielweise separate Gleichungen für alle Wirtschaftssektoren oder im Verkehrsmodul für alle Verkehrsmittel gerechnet. Somit ergeben sich insgesamt ca. 29 Millionen Gleichungen bzw. Rechenschritte, die in ASTRA zu jedem Zeitpunkt der Simulation gerechnet werden. Da ASTRA Verkehrsflüsse innerhalb der EU27+2 simuliert ergeben sich auch Variablen, die als Matrizen fungieren und bis zu 180.000 Gleichungen beinhalten können. ASTRA besteht wie alle System Dynamics Modelle aus Bestands-, Fluss- und Hilfsvariablen. Der Großteil der Variablen ist dabei endogen. Exogene Variablen bzw. Konstanten enthalten entweder initialisierende Daten für das Startjahr der Simulation, Kalibrationsparameter oder exogene Daten aus Statistiken und deren abgeschätzter, zukünftiger Verlauf. ASTRA weist zum einen Merkmale ökonometrischer Modelle auf, da die funktionelle Beziehung zwischen Variablen zum Teil empirisch geschätzt wird. Die Dynamik in ASTRA ergibt sich aus dem Zusammenspiel der zahlreichen verstärkenden, sowie dämpfenden Rückkoppelungsschleifen zwischen und innerhalb der Module. Die Kalibrierung ASTRAS wird in einer Sequenz



der einzelnen Module vollzogen. Hierbei wird zur Anpassung an die historischen Zeitreihen die in der Software Vensim™ angebotene iterative Optimierungsmethode, verknüpft mit dem Powell-Algorithmus angewandt. Ziel ist die Minimierung der Summe der Abweichungen zwischen endogenen und statistischen Werten über den gesamten Kalibrationszeitraum.

#### 4.3.1 ENDNACHFRAGE IN PANTA RHEI

##### 4.3.1.1 Konsum der Privaten Haushalte

Der Konsum der Privaten Haushalte wird in PANTA RHEI bottom-up über die Nachfrage nach 41 Verwendungszwecken bestimmt und aggregiert. Das Sparen der Privaten Haushalte wird nicht gesondert mit einer Funktion unterlegt und geschätzt, sondern ergibt sich vielmehr residual als Differenz zwischen dem verfügbaren Einkommen und der Summe der Konsumausgaben. Die preisbereinigte Konsumnachfrage nach Verwendungszwecken wird durch das preisbereinigte verfügbare Einkommen der Privaten Haushalte und den Relativpreis der Verwendungszwecke zum gesamtwirtschaftlichen Preisindex der Lebenshaltung erklärt. Bei Verwendungszwecken des Grundbedarfs wird außerdem geprüft, ob das verfügbare Einkommen der Privaten Haushalte zuzüglich der empfangenen sozialen Sachtransfers und abzüglich der Selbständigeneinkommen einen besseren Erklärungsgehalt liefert; für die Nachfrage nach Lebensmitteln trifft dies beispielsweise zu. Einen eigenen Ansatz verlangt darüber hinaus die Nachfrage nach tatsächlichen und unterstellten Mietzahlungen, die signifikant von der Anzahl der Haushalte abhängt.

Der Konsum der Privater Organisationen ohne Erwerbszweck wird getrennt abgebildet. Zu den Privaten Organisationen ohne Erwerbszweck zählen insbesondere die Gewerkschaften, politische Parteien, Kirchen und Vereine. Die Konsumausgaben der Privaten Organisationen ohne Erwerbszweck in jeweiligen Preisen, auf die aktuell etwa 1,7% der gesamten inländischen Verwendung entfallen, werden als Anteil an der gesamten Wirtschaftsleistung erklärt.

##### 4.3.1.2 Konsumausgaben des Staates

Auf Grundlage der für alle Jahre vorliegenden Daten der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen lässt sich der Konsum des Staates in drei Komponenten untergliedern: die sozialen Sachleistungen, die individuell zurechenbaren Sachleistungen und den Kollektivkonsum. Für die Fortschreibung der Sozialen Sachleistungen wird zunächst eine Pro Kopf Größe berechnet, in der die 65 und mehr-jährigen doppelt gewichtet sind. Einerseits wird damit unterstellt, dass mit zunehmendem Alter ein Anstieg der Erkrankungshäufigkeit und damit auch der Pro-Kopf-Gesundheitsausgaben verbunden ist. Andererseits wird davon ausgegangen, dass dieser Befund für die die Sozialen Sachleistungen dominierende Ausgabenkategorie nicht durch gegenläufige Entwicklungen bei den Ausgaben im Bereich der Sozial- und Jugendhilfe konterkariert werden. Die Pro-Kopf-Größe wird im Modell durch einen linearen Zeittrend erklärt. Dieser gut gesicherte Zeittrend in der Schätzfunktion kann als Abbildung des Kostendrucks im Gesundheitswesen aufgrund des medizinisch-technischen Fortschritts interpretiert werden. Die Individuell zurechenbaren Sachleistungen, die knapp 20% der Konsumausgaben des Staates ausmachen, werden durch die Bevölkerungsentwicklung und einen Zeittrend erklärt. Der Kollektivkonsum wird mit einem



exogen vorgegebenen Anteil an die Entwicklung des nominalen Bruttoinlandsproduktes gekoppelt.<sup>1</sup>

#### 4.3.1.3 Ausrüstungen und sonstige Anlagen

Die Bruttoanlageinvestitionen erreichten in 2010 in Deutschland ein Volumen von knapp 450 Mrd. €, was einem Anteil von rund 18% am Bruttoinlandsprodukt entspricht. Sie lassen sich wiederum in Bauinvestitionen und Investitionen in Ausrüstungen und sonstige Anlagen aufteilen, wobei auf die Bauinvestitionen in der Regel über die Hälfte (2010: 56%) der gesamten Bruttoanlageinvestitionen entfällt.

Im Modell werden die preisbereinigten Ausrüstungen und sonstige Anlagen direkt mit der Produktion nach 59 Wirtschaftsbereichen geschätzt, wobei zeitliche Verzögerungen, die zur Anpassung notwendig sind, bei einigen Branchen explizit berücksichtigt werden. Durch die endogene Bestimmung der nach Wirtschaftsbereichen differenzierten Abgänge und dem Kapitalstock aus dem Vorjahr, kann definitorisch der aktuelle Kapitalstock abgeleitet werden.

#### 4.3.1.4 Bauten

Bei den Bauinvestitionen zeigt sich noch ausgeprägter als bei den Ausrüstungen und sonstigen Anlagen eine Konzentration auf wenige investierende Wirtschaftsbereiche. Alleine 60% aller Bauinvestitionen werden vom Wirtschaftsbereich „Grundstücks- und Wohnungswesen“ getätigt. Die preisbereinigten Bauinvestitionen werden für die sonstigen Wirtschaftsbereiche überwiegend durch die Entwicklung des Produktionswertes erklärt. Die vom Volumen her dominierenden Bauinvestitionen des „Grundstücks- und Wohnungswesens“ werden durch die Veränderung der Anzahl der Haushalte und das preisbereinigte verfügbare Einkommen erklärt.

Konsum, Investitionen sowie die hier nicht ausführlicher beschriebenen Vorratsveränderungen werden von den preisbereinigten Größen jeweils mit den entsprechenden Preisschätzern in Ausgaben in jeweiligen Preisen umgerechnet.

#### 4.3.1.5 Exporte

Die Nachfrage nach deutschen Gütern und Dienstleistungen in der übrigen Welt wird endogen im Welthandelsmodell GINFORS bestimmt. PANTA RHEI bewirkt im Wesentlichen die Umsetzung in eine andere Gütergruppe und Währung (Dollar zu Euro). Für die Fortschreibung der Exportpreise wird zunächst wiederum ein Vektor mit Preisschätzern bestimmt. Dieser muss jedoch im Gegensatz zu den Investitionen, wo eine Umschlüsselung von Investitionen der Wirtschaftsbereiche in Investitionen nach Gütergruppen erfol-

---

<sup>1</sup> In der aktuellen Version von INFORGE hat sich die Modellierung des Staatskonsums dahingehend erweitert, dass nunmehr der Staatskonsum explizit nach seinen Aufgabenbereichen gemäß der COFOG-Klassifizierung (Classification of the functions of the government) aufgegliedert wird. Dies ermöglicht insbesondere bei der Untersuchung fiskalpolitischer Impulse einen zielgenaueren Ansatz. Die Überführung in Konsumausgaben des Staates nach Gütergruppen erfolgt mittels einer Übergangsmatrix deren Quotienten in der Projektion in der Regel konstant gesetzt werden.

gen musste, und zum Privaten Konsum, wo eine Umschlüsselung vom Konsum nach Verwendungszwecken in Konsum nach Gütergruppen abgebildet werden musste, lediglich die zielgenaue Berücksichtigung des Übergangs von Herstellungs- zu Anschaffungspreisen bei den Exporten gewährleisten. Mit diesem Preisschätzer wird die Preisentwicklung der Exporte nach Gütergruppen fortgeschrieben.

#### 4.3.2 ENDNACHFRAGE IN ASTRA

##### 4.3.2.1 Konsum der Privaten Haushalte

Das Konsum-Modell in ASTRA simuliert den Konsum der privaten Haushalte differenziert nach 25 Wirtschaftssektoren (siehe 8.1). Die Basis dabei bildet das private verfügbare Einkommen der Haushalte. Dieses wird zunächst ausgehend vom Bruttoinlandsprodukt (BIP) anhand der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung über die Zwischenstufen Bruttonational-, Nettonational- und Volkseinkommen berechnet. Im letzten Schritt werden direkte Steuern und Sozialbeiträge subtrahiert, sowie das Transfereinkommen addiert. Die zur Berechnung des Nettonationaleinkommens nötigen Abschreibungen ergeben sich dabei aus der Berechnung des Bruttoanlagevermögens, die im nächsten Schritt benötigten indirekten Steuern ergeben sich zum Teil endogen aus der Simulation des Verkehrssystems (Mineralölsteuer), sowie aus einer Rückkoppelung aus dem Konsummodell (Mehrwertsteuer). Die Beschäftigung und die Entwicklung der Bevölkerungsstruktur werden genutzt, um direkte Steuern, Sozialbeiträge und Transfereinkommen abzuschätzen.

Das resultierende private verfügbare Einkommen teilt sich dann in Konsum und Ersparnisse auf. Ersparnisse sind dabei eine Stellgröße zur Kalibrierung des Konsummodells. Innerhalb des Konsummodells wird zwischen Konsum für Verkehr und restlichen Konsum unterschieden. Endogen aus dem Verkehrsmodell und dem Fahrzeugflottenmodell ergeben sich die Ausgaben für Verkehrsdienstleistungen, Kraftstoffe, Fahrzeugkauf, Wartung und Kfz-Versicherungen. Die Verteilung des restlichen für Konsum zur Verfügung stehenden Einkommens basiert auf der historischen sektoralen Verteilung und verändert sich endogen über unterschiedliche Preiselastizitäten. Energiepreisentwicklungen und deren Auswirkungen auf die Produktpreise beeinflussen die Verteilung ebenfalls.

##### 4.3.2.2 Konsumausgaben des Staates

Die Konsumausgaben des Staates werden in ASTRA nicht nach der gängigen Klassifizierung in Individual- und Kollektivkonsum unterschieden. ASTRA unterscheidet nach Personal- und Sachkonsum. Dabei werden die Ausgaben für Personal direkt durch die Entwicklung des Arbeitsmarktes und des Staatssektors beeinflusst. Sachausgaben des Staates werden dagegen als fester Prozentsatz des BIP zugerechnet.

##### 4.3.2.3 Investitionen

Das Investitionsmodell in ASTRA simuliert die Investitionen auf Basis endogener und exogener Informationen. Dabei stellen die Investitionen pro Wirtschaftssektor ein weiteres Bestandteil der Endnachfrage dar. ASTRA berücksichtigt neben dem Einfluss der Investitionen auf die Endnachfrage auch die Einflüsse auf die Angebotsseite. Dabei verändern Investitionen das Bruttoanlagevermögen und gehen somit über das Produktionspotenzial ebenfalls in die Berechnung des BIP ein.

Konsum- und Außenhandelserwartungen, das Verhältnis zwischen Angebot und Nachfrage, sowie die mit der Staatsverschuldung verbundene Zinsentwicklung beeinflussen dabei den endogenen Anteil der Investitionen. Technologiebasierte Modelle können diesen endogenen Anteil um exogene Investitionen z.B. im Bereich der erneuerbaren Energien erweitern (siehe 3.1.2).

Bei der Simulation der Investitionen unterscheidet ASTRA zwischen Investitionsgütersektoren, wie z.B. Maschinenbau, Fahrzeugbau und Hoch- und Tiefbau, und übrigen Sektoren. Detaillierte sektorale Konsum- und Exportentwicklungen werden genutzt, um die Investitionen in Investitionsgütersektoren zu simulieren, wohingegen Investitionen in die übrigen Sektoren auf aggregiertem Konsum und Exporten reagieren.

#### 4.3.2.4 Exporte

Die Entwicklung der Exporte wird in ASTRA innerhalb des Außenhandelsmoduls simuliert. Dabei unterscheidet ASTRA zwischen den Exporten zwischen den Ländern der EU27 plus Norwegen und der Schweiz (Intra-EU) und den Exporten in übrige Teile der Welt, die in 15 Regionen unterteilt sind. Die Struktur beider Modellteile ist ähnlich, da beide Modelle die bilateralen Handelsströme für alle Länderpaare differenziert nach den in ASTRA verwendeten 25 Wirtschaftssektoren abschätzen. Das Intra-EU Handelsmodell verwendet jedoch im Gegensatz zum Rest-der-Welt Modell hauptsächlich endogene Inputs. Der einzige exogene Einflussfaktor stellt im Intra-EU Handelsmodell das Wachstum des Welt BIP dar. Zeitreihenanalysen der Entwicklung der Exporte und des Welt BIP zeigen, dass zwischen beiden Faktoren eine starke Korrelation existiert. Daneben beeinflussen Konsum und Produktionsprozesse wesentlich die Entwicklung des BIP. Daher ist das BIP Wachstum des importierenden Landes als weiterer Treiber der Exportentwicklung berücksichtigt. Wettbewerbsvorteile zwischen Wirtschaftssektoren einzelner Länder spielen ebenfalls eine Rolle bei der Entwicklung der Exporte. Der Vergleich der Veränderungen der Arbeitsproduktivität innerhalb der Sektoren zwischen den Exportpartnern wird daher als weiterer Einflussfaktor im Modell verwendet. Verbesserungen der physischen Handelswege in Form von Verkürzungen der Transportzeiten sowie Veränderungen der Transportpreise werden ebenfalls als Treiber berücksichtigt.

Im Gegensatz zum Intra-EU Handelsmodell können verkehrliche Einflüsse im Rest-der-Welt Handelsmodell nicht als Einflussfaktor integriert werden, da ASTRA nur Verkehrsströme innerhalb der EU27+2 abschätzt. Daher ist der Handel von Ländern der EU27+2 in Länder der Rest-der-Welt hauptsächlich von Arbeitsproduktivität und BIP-Wachstum abhängig.

#### 4.3.3 VERGLEICH DER MODELLIERUNG DER ENDNACHFRAGE

Die Modellierung der Endnachfrage ist im ökonomischen Kern des PANTA RHEI Modells in allen Komponenten ausführlicher außer in den verkehrsrelevanten Bereichen. Während in ASTRA Konsum und Sparen exogen aufgeteilt werden und die Verteilung auf die Konsumzwecke über historisch gegebene und dann angepasste Anteile erfolgt, werden in PANTA RHEI 41 Verwendungszwecke einzeln geschätzt. Ähnliches lässt sich zu den Ausrüstungs- und Bauinvestitionen sagen, die in PANTA RHEI jeweils eigene Schätzansätze mit eigenen erklärenden Variablen erfahren.

Die Abbildung der Exporte erfolgt bei ASTRA in einem eigenen Handelsmodul, das die EU27, die einen erheblichen Teil der Exporte empfangen, detailliert abbildet. Für PANTA RHEI werden die Exporte vom Weltmodell GINFORS bestimmt, das für 22 Länder, darunter die meisten EU Länder und die wichtigsten Handelspartner eine eigene Input-Output-Modellierung aufweist. Bei ASTRA hat der Außenhandel darüber hinaus Einfluss auf den Verkehrssektor und die Transportleistungen. Der Verkehrssektor ist in PANTA RHEI sehr einfach abgebildet.

#### 4.3.4 PREISKONZEPTE IN PANTA RHEI

Während die Endnachfrage zu Anschaffungspreisen erklärt wird, da dies die Größe ist, an der sich Konsum- und Produktionsentscheidungen orientieren, richtet sich die technologische Entwicklung nach der Entwicklung der Herstellerpreise, d.h. abzüglich aller Gütersteuern und Subventionen. Dabei sind alle Gütersteuern, Mehrwertsteuern und Importabgaben nach Steuerarten abgebildet. Der Übergang von Anschaffungspreisen auf Herstellerpreise wird in PANTA RHEI ausführlich abgebildet.

PANTA RHEI führt Größen sowohl nominal als auch real mit, wobei die Preise der VGR folgend verkettet auf Vorjahrespreisbasis berechnet werden.

#### 4.3.5 PREISKONZEPTE IN ASTRA

Das ASTRA-Modell rechnet in realen Preisen von 1995 bzw. 2005. Wirkungen der Veränderungen von relativen Preisen durch politische Maßnahmen werden über Elastizitäten in Veränderungen des Konsumverhaltens umgerechnet, d.h. in eine Veränderung der sektorspezifischen Konsumausgaben. Dabei werden sowohl die Budgetrestriktion der Haushalte als auch Substitutionseffekte berücksichtigt. Die Veränderung relativer Preise der Vorleistungen wird direkt in die IO-Tabelle eingespielt. Energiepreisentwicklungen werden jedoch gesondert berücksichtigt. Die Veränderung dieser Preise wird direkt bei der Veränderung der Vorleistungsmatrix je nach spezifischer Energieintensität der 25 Sektoren berücksichtigt. Analog ist der Einfluss der Veränderungen des Verkehrssektors modelliert (siehe auch Abbildung 3-3).

Bei Verhaltensentscheidungen z.B. im Verkehrsmodell basiert die Entscheidung immer auf den Marktpreisen inklusive aller Steuern. Zur Bestimmung der Finanzströme im Makromodell werden die Preise aber in ihre einzelnen Komponenten zerlegt.

#### 4.3.6 VERGLEICH DER MODELLIERUNG DER PREISE

Hinsichtlich der Abbildung der Preise ist PANTA RHEI in seinem ökonomischen Kern INFORGE deutlich detaillierter. INFORGE wird auch zur kurzfristigen Branchenanalyse eingesetzt und verfügt daher über einen Fülle detaillierter Modellierung einzelner Produktionspreise, aus denen sich das gesamtwirtschaftliche Preisniveau zusammensetzt.

ASTRA nutzt absolute Preise und deren Entwicklung für die Simulation des Verkehrsverhaltens. Die Einflüsse von Energiepreisen im ökonomischen Modell werden dagegen über relative Preisänderungen berücksichtigt.

#### 4.3.7 DIE VORLEISTUNGSVERFLECHTUNG UND PRODUKTION IN PANTA RHEI

Ein zentrales Element des Modells bildet die modellendogene Erklärung und Fortschreibung der Input-Output-Beziehungen in der deutschen Wirtschaft. Die mit den Produktionspreisen preisbereinigten Inputkoeffizienten die auch als technische Koeffizienten interpretiert werden können, werden in einem ersten Schritt endogen bestimmt. Als Erklärende dienen der Relativpreis und ein Zeittrend. Von den insgesamt 2392 besetzten Vorleistungsverflechtungen lassen sich 536 mit diesem Standardansatz erklären, was einem Anteil von 22,4% entspricht. Die Variabilität der Inputkoeffizienten wird nicht als das Ergebnis von Faktorsubstitution interpretiert, sondern als die Wirkung kostendruckinduzierten technischen Fortschritts, der zu Verbesserungen der limitationalen Prozesse führt. Die Unterstellung substitutionaler Technologien ist beim Vorleistungseinsatz wenig sinnvoll, weil die Vorleistungen Bestandteil des Produktes sind und somit eine Änderung des Vorleistungseinsatzes das Produkt neu definiert (Georgescu Roegen 1990).

Alle übrigen preisbereinigten Inputkoeffizienten sind im Prognosehorizont konstant. Ein konstanter preisbereinigter Inputkoeffizient kann dahingehend interpretiert werden, dass für den Einsatz dieses Faktors im Produktionsprozess in der Vergangenheit weder ein kostendruckinduzierter noch sonst wie gearteter technologischer Fortschritt der limitationalen Prozesse beobachtbar war. Dies wird nun auch für die Zukunft fortgeschrieben. Sowohl für die Vorleistungslieferungen nach Gütergruppen als auch für die Vorleistungseinsätze der Produktionsbereiche wird schließlich wiederum der Übergang vom Herstellungspreis-konzept zum Anschaffungspreiskonzept abgebildet.

In dem im Rahmen der Studien zu den Beschäftigungseffekten des Ausbaus erneuerbarer Energien eingesetzten Modell sind darüber hinaus die amtlichen Input-Output-Tabellen um neue Zeilen und Spalten ergänzt worden. Durch die Einbindung eines (neuen) Produktionsbereichs in den Rahmen des Input-Output-Ansatzes ist auch für diesen Bereich die Konsistenz der Abbildung gewährleistet. Der Prozess der Einbindung eines neuen Produktionsbereichs erfordert somit eine Reihe von Abstimmungs- bzw. Anpassungsschritten, um den Bedingungen und Konzepten der Input-Output-Analyse gerecht zu werden (vgl. Staß et al. 2006). Im Rahmen einer Input-Output-Tabelle wird die Struktur einer neuen Branche (z.B. der Branche Herstellung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien) auf der Kostenseite dadurch bestimmt, in welchem Umfang Vorleistungen von den übrigen Sektoren der Volkswirtschaft in Anspruch genommen werden und in welchem Umfang eigene Wertschöpfung in der Branche generiert wird. Formal wird dies durch eine neue, *zusätzliche Spalte* in der Input-Output-Tabelle repräsentiert, welche die Input- bzw. Kostenstruktur des neuen Sektors widerspiegelt. Die Lieferungen des neuen Sektors werden in einer neuen, *zusätzlichen Zeile* abgebildet, die seine Output- bzw. Absatzstruktur beschreibt. In der Zeile wird verbucht, in welchem Umfang der neue Sektor Güter an die anderen Branchen der Volkswirtschaft bzw. an die Endnachfrage liefert. In der Endnachfrage werden die Güter verbucht, die entweder dem Privaten Verbrauch dienen oder als Investitionsgüter letzte Verwendung finden. Auch die Lieferungen ins Ausland (Exporte) werden gesondert in der Endnachfrage ausgewiesen.

#### 4.3.8 VORLEISTUNGSVERFLECHTUNG BEI ASTRA

Die Dynamiken innerhalb der Vorleistungsverflechtung zwischen den Wirtschaftssektoren eines Landes werden in ASTRA innerhalb des Input-Output-Modells simuliert. Ziel

dabei ist die Abbildung der indirekten Effekte der Entwicklung der 25 Wirtschaftssektoren. Verschiebungen innerhalb des sektoralen Konsums sowie der Investitionen verändern die Input-Output-Tabellen mit der Zeit. Strukturelle Veränderungen der Input-Output-Tabellen werden in ASTRA über die Entwicklung der Endnachfrage, Energie- und Transportpreisänderungen induziert. Der Einfluss der Endnachfrage wird dabei über eine Änderung der inversen Input Koeffizienten, der sogenannten Leontief Inversen (Leontief 1966), abgebildet. Dabei wird von einem konstanten Verhältnis zwischen Wertschöpfung und Endnachfrage ausgegangen. Dieser Prozess wiederholt sich nach jeder Veränderung der Vorleistungsmatrix. Die Neuberechnung der Vorleistungsmatrix basiert dabei auf der Matrix der veränderten inversen Inputkoeffizienten und ist angelehnt an den im ESCOT Modell gewählten Ansatz (Schade et. al. 2002). Das Input-Output-Modell in ASTRA ist mit harmonisierten Input-Output Tabellen von Eurostat kalibriert.

Die wichtigsten Outputs des Input-Output Modells in ASTRA sind die Bruttowertschöpfung und der Produktionswert der Volkswirtschaften. Die Bruttowertschöpfung spielt bei der Simulation des Arbeitsmarktes, der Produktionswert bei der Simulation der nationalen Güterverkehrsströme eine große Rolle.

#### 4.3.9 VERGLEICH DER MODELLIERUNG DER VORLEISTUNGSVERFLECHTUNG

ASTRA verfügt über Detailkenntnisse im Bereich Verkehr. Daher werden Inputkoeffizienten durch eine Veränderung der Energiepreise und Transportpreise in einigen Wirtschaftsbereichen verändert. Alle anderen Inputkoeffizienten werden entsprechend angepasst. PANTA RHEI verfolgt eine ähnliche Strategie und schreibt Inputkoeffizienten in den Wirtschaftsbereichen, die sich durch den Relativpreis und den Zeittrend erklären lassen, entsprechend fort, lässt aber die übrigen konstant. PANTA RHEI unterstellt jedoch im Gegensatz zu ASTRA keine substitutionalen Technologien.

#### 4.3.10 ARBEITSMARKT IN PANTA RHEI

Die Arbeitsnachfragefunktionen der Wirtschaftsbereiche werden direkt auf Ebene der Arbeitsvolumen (Anzahl der geleisteten Arbeitsstunden der Arbeitnehmer) modelliert. Der gesamtwirtschaftliche Durchschnittslohnsatz wird über einen Phillipskurven-Ansatz erklärt. Durch die Schätzung mit der Differenz zwischen Erwerbspersonenpotential und Arbeitnehmer im Verhältnis zum Erwerbspersonenpotential als Indikator für die Arbeitsmarktsituation wird verhindert, dass eine negative Erwerbslosenquote in einer Iterationschleife zu einer automatischen Beendigung der Berechnungen führt. Die Sozialbeitragsquote der Arbeitnehmer ist in die Lohnfunktion integriert. Alle Parameter sind gesichert, es gibt keinerlei Hinweise auf Autokorrelation, die Anpassung ist sehr gut, die Parameter haben plausible Werte.

Die Arbeitsnachfrage der Sektoren wird auf Basis der geleisteten Arbeitsstunden abgebildet. Das Arbeitsvolumen der Arbeitnehmer im Sektor  $j$  ist eine Funktion des Reallohnes – teilweise auch des um eine Periode verzögerten Reallohnes –, der preisbereinigten Bruttoproduktion und eines Zeittrends.

Um von den Arbeitsstunden auf die Beschäftigten zu schließen, benötigt man die sektorspezifische Jahresarbeitszeit pro Kopf. Ihre Endogenisierung berücksichtigt Teilzeit- und Vollzeitstellen. Die Jahresarbeitszeiten in den Abteilungen / den Wirtschaftsbereichen



werden anschließend mit denjenigen im zugehörigen Abschnitt fortgeschrieben und es lassen sich schließlich die Anzahl der Arbeitnehmer auf Grundlage dieser Größen ableiten:

Die Lohngrößen umfassen die Beiträge der Arbeitgeber zur Sozialversicherung. Die durchschnittliche Beitragsquote zur Sozialversicherung wird modellendogen bestimmt. Hierzu wird der Finanzierungsbedarf der Sozialversicherung des Vorjahres der Bemessungsgrundlage für die Sozialversicherung des Vorjahres gegenübergestellt. Steigt der Finanzierungsbedarf schneller als die Bemessungsgrundlage kommt es zu einem Anstieg der Beitragsquote et vice versa.

#### 4.3.11 ARBEITSMARKT IN ASTRA

Der Arbeitsmarkt gliedert sich in 25 Sektoren für jedes EU27+2 Land. Anhand der sektoralen Bruttowertschöpfung, die aus der I/O-Tabelle abgeleitet wird, sowie der sektoralen Arbeitsproduktivitäten wird die vollzeitäquivalente Beschäftigung bestimmt. Fahrzeugbau sowie die übrigen Verkehrssektoren werden dabei gesondert berechnet. Informationen über die Veränderungen der Verkehrsnachfrage werden dabei genutzt, um die Entwicklung der vollzeitäquivalenten Beschäftigung innerhalb der Verkehrssektoren exakter abzubilden. Beim Fahrzeugbau wird die abgeschätzte Absatzentwicklung an neuen Fahrzeugen dazu genutzt, die Beschäftigungsentwicklung zu simulieren. In einem nachfolgenden Schritt wird diese in tatsächlich vollzeitarbeitende Personen und Teilzeitbeschäftigte differenziert. Sektorspezifische Teilzeitarbeitsstrukturen fließen dabei mit ein.

Ausgehend von der Zahl der Voll- und Teilzeitbeschäftigten wird anhand der Bevölkerungsentwicklung im arbeitsfähigen Alter und der sich daraus ergebenden Erwerbstätigen Bevölkerung die Zahl der Arbeitslosen ermittelt. Fällt diese Zahl über die Zeit unter 5%, so wird von einer stärkeren Entwicklung der Arbeitsproduktivität ausgegangen.

#### 4.3.12 VERGLEICH DER MODELLIERUNG DES ARBEITSMARKTS

ASTRA verfügt über eine detaillierte Modellierung des Fahrzeugbaus und des Einflusses einer Änderung der Verkehrsnachfrage auf den Arbeitsmarkt. PANTA RHEI bildet diesen Bereich nicht gesondert ab. Beide Modelle haben eine Lösung gefunden, negative Arbeitslosenquoten zu vermeiden. ASTRA arbeitet dazu mit der Arbeitsproduktivität, PANTA mit steigenden Löhnen.

#### 4.3.13 ENERGIEMODELLIERUNG IN PANTA RHEI

Das Energiemodell beschreibt den Zusammenhang zwischen ökonomischen Entwicklungen, Energieeinsatz und CO<sub>2</sub>Emissionen. Einerseits beeinflussen die Variablen des ökonomischen Modellteils INFORGE den Energieeinsatz, andererseits wirken die monetären Ausgaben für den Energieeinsatz unmittelbar auf ökonomische Größen. Eine ähnliche Interdependenz lässt sich auch zwischen Energiemodell und Verkehrsmodell sowie zwischen Energiemodell und Wohnungsmodell erkennen. So bestimmen beispielsweise Größen des Verkehrsmodells, die ihrerseits durch das ökonomische Modell INFORGE beeinflusst werden, den Energieeinsatz der Verkehrssektoren. Andererseits wirken die monetären Größen unmittelbar und mittelbar (über das ökonomische Modell) auf die Größen im Verkehrsmodell.

Das Energiemodell umfasst die Modellierung des Primärenergieverbrauchs, der Umwandlung und des Endenergieverbrauchs. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sind über feste Emissionsfaktoren mit dem Primärenergieeinsatz verknüpft. Ansatzpunkt für die Fortschreibung des Mengengerüsts ist der Endenergieverbrauch, der bottom-up in der Gliederung der Energiebilanz geschätzt wird und über alle Verwendungszwecke aggregiert wird.

#### 4.3.13.1 Endenergienachfrage des verarbeitenden Gewerbes

Die Endenergienachfrage insgesamt der einzelnen Wirtschaftsbereiche wird grundsätzlich über die Entwicklung der jeweiligen preisbereinigten Bruttoproduktion, die Entwicklung der Energiepreise in Relation zum Outputpreis des Wirtschaftszweigs und durch technologische Trends erklärt. In einem zweiten Schritt wird dann über alle Wirtschaftsbereiche, getrennt für die Industrie und den Sektor GHD, geprüft, welche Substitutionsmöglichkeiten zwischen den einzelnen Energieträgern bestehen.

#### 4.3.13.2 Endenergienachfrage der Privaten Haushalte

Die Endenergienachfrage der Haushalte setzt sich in der Gliederung der Energiebilanz zusammen aus der Nachfrage nach Strom, Warmwasser und Heizenergie. Die wesentlichen Eckdaten hierfür werden im Wohnungsmodell bestimmt. Dort wird neben der Fortentwicklung des Wohnungsbestandes sowie der bewohnten Fläche auch die Entwicklung des Energiebedarfs der Gebäude und der Geräte zur Erzeugung von Raumwärme, Warmwasser, zum Kochen und zu Unterhaltungs- und Kommunikationszwecken abgebildet. Zentrale Größe im Wohnungsmodell ist die Bevölkerungsentwicklung. Weitere wichtige Größen wie etwa das verfügbare Einkommen der privaten Haushalte, Preisentwicklungen und Zinsen stammen aus dem ökonomischen Modell bzw. die Energiepreisentwicklungen aus dem Energiemodell.

#### 4.3.13.3 Endenergienachfrage im Verkehr

Das Verkehrsmodul bildet sowohl den Personenverkehr als auch den Güterverkehr detailliert über Auslastungen, Beförderungsleistungen und spezifische Preise ab.

Die gesamte Güterbeförderungsleistung wird in Abhängigkeit von den Bruttoproduktionswerten und Importen der Güter produzierenden Wirtschaftsbereiche sowie den Preisen des Landverkehrs in Relation zur gesamtwirtschaftlichen Preisentwicklung erklärt. Die Güterbeförderungsleistung wird anschließend auf die vier Verkehrsträger Straße, Schiene, Luft und Schifffahrt aufgeteilt. Der Schienenanteil profitiert von einer überdurchschnittlichen Zunahme der Güterproduktion. Anschließend wird für jeden Verkehrsträger die Fahrleistung und der Energieverbrauch nach Energieträgern bestimmt. Für den Straßenverkehr wird zusätzlich die Entwicklung des Bestandes und der erforderlichen Neuzulassungen ermittelt.

Die erforderliche Fahrleistung im Straßengüterverkehr wurde in der Vergangenheit grundsätzlich durch mit Diesel- und Ottokraftstoffen betriebene Fahrzeuge erbracht. Das Verkehrsmodell unterscheidet vier Fahrzeugarten im Straßengüterverkehr: diesel- und ottogetriebene LKW sowie sonstige Fahrzeuge mit Otto bzw. Dieselantrieb. Entscheidend für den Energieverbrauch für die Güterbeförderung im Schienenverkehr ist die Entwicklung des Energieverbrauchs je Tonnenkilometer. Der durchschnittliche Energieverbrauch je Tonnenkilometer hängt im Wesentlichen vom Relativpreis und technischen Verbesserun-



gen in der Bahntechnik ab. Der Energieverbrauch des Schienengüterverkehrs wird zum einen durch die direkte Beförderung von Gütern auf der Schiene verursacht, zum anderen wird ein erheblicher Anteil durch örtliche Leistungen wie das Be- und Entladen der Wagons, Betreiben von Leitstellen etc. hervorgerufen.

Die Systematik zur Ermittlung der Energieverbräuche im Personenverkehr entspricht weitestgehend dem Vorgehen im Güterverkehr. Zunächst wird die Personenbeförderungsleistung für verschiedene Verkehrsträger ermittelt. Generell werden diese von der Entwicklung der Relativpreise, des Verfügbaren Einkommens, des Arbeitsmarktes sowie weiterer sozialer und demographischer Trends beeinflusst. Für die Personenbeförderung Straße werden vier Fahrzeugarten unterschieden: PKW Otto, PKW Diesel, Zweiräder und Busse. Der Energieverbrauch des Luftverkehrs kann aufgrund der Datenlage nicht differenziert nach Personen- und Güterverkehr ermittelt werden. Um die Verkehrsleistungen des Personen- und des Güterverkehrs zusammengefasst berechnen zu können, wird angenommen, dass ein Tonnenkilometer zehn Personenkilometern entspricht.

#### 4.3.13.4 Energieeinsatz des Umwandlungssektors

Der Umwandlungsausstoß wird nach den einzelnen Umwandlungsanlagen (Kokereien, Stein- und Braunkohlbrikettfabriken, öffentliche Heizkraftwerke, Fernheizwerke, Hochöfen, Raffinerie und sonstige Energieerzeuger) unterschieden. Für den Kraftwerksbereich liegen weitergehende Informationen vor, so dass hier eine detaillierte Modellierung vorgenommen werden kann. Der Umwandlungseinsatz je Energieträger und Umwandlungsanlage ist proportional zu den entsprechenden Umwandlungsausstößen, wobei die Struktur des Kraftwerksparks detailliert abgebildet wird. Die Entwicklung der Wirkungsgrade der verschiedenen Kraftwerkstypen orientiert sich dabei an exogenen Vorgaben.

#### 4.3.13.5 Primärenergieverbrauch und Außenhandel

Das Energieaufkommen ist in der Primärenergiebilanz erfasst. Es kann per Definition angebots- oder nachfrageseitig berechnet werden. Der Umwandlungseinsatz abzüglich des Umwandlungsausstoßes zuzüglich des Verbrauches des Umwandlungssektors, des nicht-energetischen Verbrauches, der Transportverluste und des Energetischen Endverbrauches ergeben verwendungsseitig das Energieaufkommen im Inland (Primärenergieverbrauch im Inland). Angebotsseitig ermittelt sich der inländische Primärenergieverbrauch aus der inländisch erzeugten Rohenergie zuzüglich der Importe und den Lagerbestandsveränderungen sowie abzüglich der Exporte.

#### 4.3.13.6 Energiepreise

Die Entwicklung der Importpreise für Kohle, Erdöl und Gas verläuft nach exogenen Vorgaben. Davon leiten sich für alle Energieträger außer Strom, Kernenergie und Erneuerbare die Energiepreise ohne Steuern für die verschiedenen Abnahmegruppen Stromerzeugung, Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) sowie private Haushalte ab. Die Strompreise ergeben sich für die Erneuerbaren aus der Einspeisevergütung nach dem EEG. Für Kernenergie werden die jeweils gültigen gesetzlichen Regelungen unterstellt.

Die Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern berücksichtigt in ihrer Preisbildung die Entwicklung der fossilen Energieträgerpreise. Der sehr gute Erklärungsgehalt des Schätz-

ansatzes spricht dafür, dass auch durch die Entwicklung der Strombörsen die Preisbildung in der Vergangenheit faktisch so stattgefunden hat. Ab dem Jahr 2005 umfasst der gewichtete Einsatzpreise zur Stromerzeugung auch die Zertifikatskosten der eingehenden Energieträger. Die Kostenkomponenten Netzentgelte, Messung, die Konzessionsabgabe und Vertriebskosten sind exogene und konstante Größen, die in Szenarien geändert werden können. Die Energiesteuersätze sind der Statistik der Kohlenwirtschaft, den MWV-Mineralölzahlen des Mineralölwirtschaftsverbandes sowie Angaben des BMU und BMF entnommen.

#### 4.3.13.7 CO<sub>2</sub>-Zertifikate

CO<sub>2</sub>-Zertifikate werden derzeit für die Stromwirtschaft abgebildet. Die Zertifikatspreise werden als exogene Vorgabe in das Modell eingestellt. Die Mengenentwicklung ergibt sich dann aufgrund der geänderter Zertifikats- und Energiepreise. Ein Mengenziel, das durch einen sich iterativ ändernden Zertifikatspreis automatisch erreicht wird, ist dagegen nicht einstellbar. Minderungen könnten auch im europäischen Ausland oder über flexible Mechanismen in Drittländern erfolgen. Der Zertifikatspreis wird als letztlich exogene Größe betrachtet, die sich auf dem EU-Zertifikatsmarkt bildet.

#### 4.3.13.8 Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen werden durch Multiplikation des emissionsrelevanten Energieeinsatzes der Energie verbrauchenden bzw. -einsetzenden Zellen der Energiebilanz mit entsprechenden Emissionsfaktoren ermittelt.

#### 4.3.13.9 Rückwirkungen des Energiemodells auf das ökonomische Modell

Entwicklungen in der Energiebilanz müssen angemessen im ökonomischen Modell IN-FORGE berücksichtigt werden. Sinken beispielsweise die Energieimporte, so gehen auch die monetären Importe zurück mit wiederum vielfältigen ökonomischen Wirkungen. Reduziert ein Wirtschaftsbereich seinen Energieeinsatz, sinken entsprechend die Produktionskosten.

Diese Rückwirkungen betreffen die Vorleistungsverflechtung, den privaten Konsum, Steuern und Abgaben und damit die Einnahmen des Staates sowie die Energiepreise und damit das ganze Preissystem. Im ökonomischen Modell ist ausgehend von den Informationen der Input-Output-Tabelle die Kosten- sowie die Lieferstruktur der Produktionsbereiche bekannt. Input-Output-Tabellen enthalten die Vorleistungseinsätze, den Kapitaleinsatz in Form von Abschreibungen, die Lohnkosten, Nettogütersteuern und die Nettoproduktionsabgaben bzw. die Lieferungen an die verschiedenen Produktionsbereiche und Endnachfragekomponenten. Die Inputkoeffizienten werden im ökonomischen Modell automatisch anhand von fünf vorab definierten Standardansätzen als Funktion des zugehörigen Relativpreises und eines Trends geschätzt. Die Schätzansätze werden anschließend auf ökonomische Plausibilität geprüft. Aus den verbleibenden Schätzansätzen wird der mit der besten Performance ausgewählt. Sofern alle dieser fünf Ansätze verworfen werden müssen, wird der Inputkoeffizient konstant gesetzt.

Die Erkenntnisse aus dem Energiemodell erlauben es die Modellierung der Inputkoeffizienten für die Energiesektoren der Input-Output- zu verfeinern, indem in die Schätzungen der Energieinputkoeffizienten Informationen aufgenommen werden, die über die eines

ökonomischen Modells hinausgehen, das auf monetären Größen beruht. Veränderungen der sektoralen energetischen Endnachfrage beeinflussen sowohl die Vorleistungseinsätze des Wirtschaftsbereichs „Erzeugung und Verteilung von Elektrizität und Fernwärme“ als auch den damit verbundenen Umwandlungseinsatz an Primärenergie (Kohle, Erdöl, Gas etc.) zur Erzeugung der Sekundärenergieträger (Fernwärme, Elektrizität). Die Änderungen des Umwandlungseinsatzes an Primärenergieträgern und damit auch des Umwandlungsausstoßes an Sekundärenergieträgern in den jeweiligen Umwandlungsanlagen (Kokerei, Raffinerie, Heizwerke etc.) führt zu einer geänderten Kostenstruktur.

Die Änderung der energetischen Endnachfrage muss dementsprechend in die Vorleistungsverflechtungsmatrix integriert werden. Dies erfolgt über die Fortschreibung der Inputkoeffizienten mit der mengenmäßigen Veränderung der eingesetzten Energieträger, die zur Strom-, Wärme- und Prozessenergieerzeugung verwendet werden.

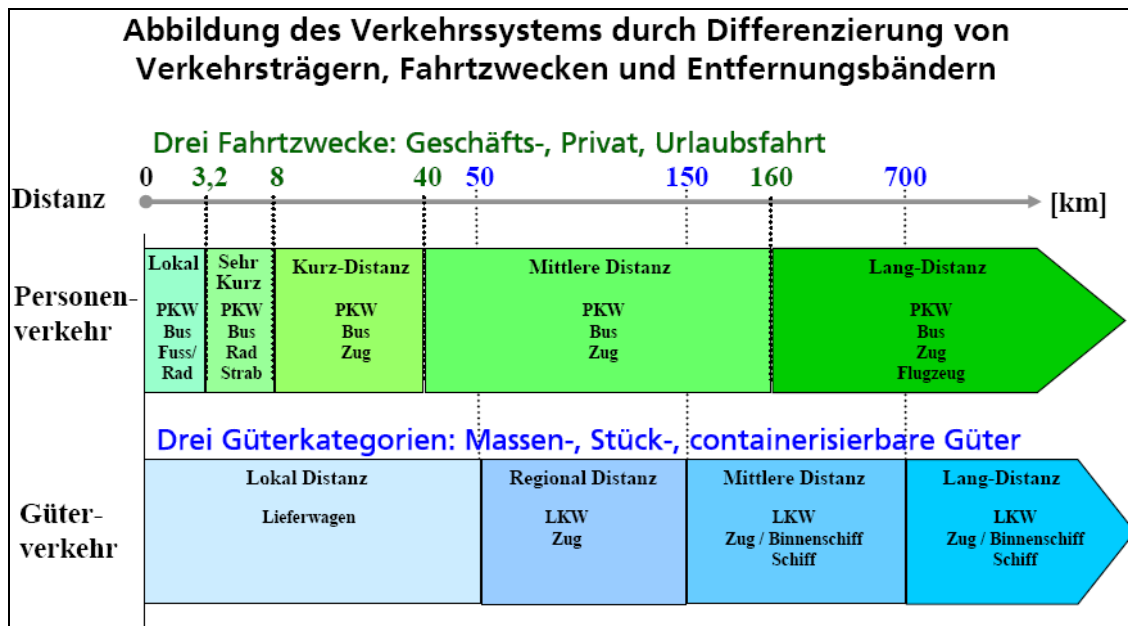
Das ökonomische Modell unterscheidet für die privaten Haushalte 41 Konsumverwendungszwecke. Zwei dieser Verwendungszwecke beziehen sich auf die Energieverwendung der privaten Haushalte (monetäre Konsumnachfrage der privaten Haushalte nach Strom, Gas und anderen Brennstoffen und Waren und Dienstleistungen für den Betrieb von Privatfahrzeugen. Zwar können diese Größen grundsätzlich im ökonomischen Modell fortgeschrieben werden, die Energienachfrage der privaten Haushalte, die sich aus dem Zusammenspiel des Energie-, Verkehrs- und Wohnungsmodell ergibt bietet aber zusätzliche Informationen, die zu einer verbesserten Spezifikation der Schätzungen führen.

Die Ausgaben der privaten Haushalte für Waren und Dienstleistungen für den Betrieb von Privatfahrzeugen werden direkt über das Verkehrsmodell mit dem Energieverbrauch des Personenverkehrs, Straße bestimmt.

#### 4.3.14 VERKEHRSMODELLIERUNG IN ASTRA

ASTRA erfasst sowohl den inländischen Verkehr als auch die grenzüberschreitenden Verkehre sowohl im Güter- als auch im Personenverkehr. Die Differenzierung der Nachfrage im Verkehrssystem erfolgt für den Personenverkehr nach drei Fahrtzwecken (Geschäfts-, Privat- und Urlaubsfahrten) und für den Güterverkehr nach drei Güterkategorien (Massen-, Stück- und Container-Güter). Die Nachfrage im Personenverkehr ist nach 5 Entfernungsbändern gegliedert in denen jeweils verschiedene Verkehrsträger zur Verfügung stehen. Im Güterverkehr werden 4 Entfernungsbänder unterschieden (siehe Abbildung 4-1).

Abbildung 4-1: Abbildung des Verkehrssystems durch Differenzierung von Verkehrsträgern, Fahrtzwecken und Entfernungsbändern in ASTRA

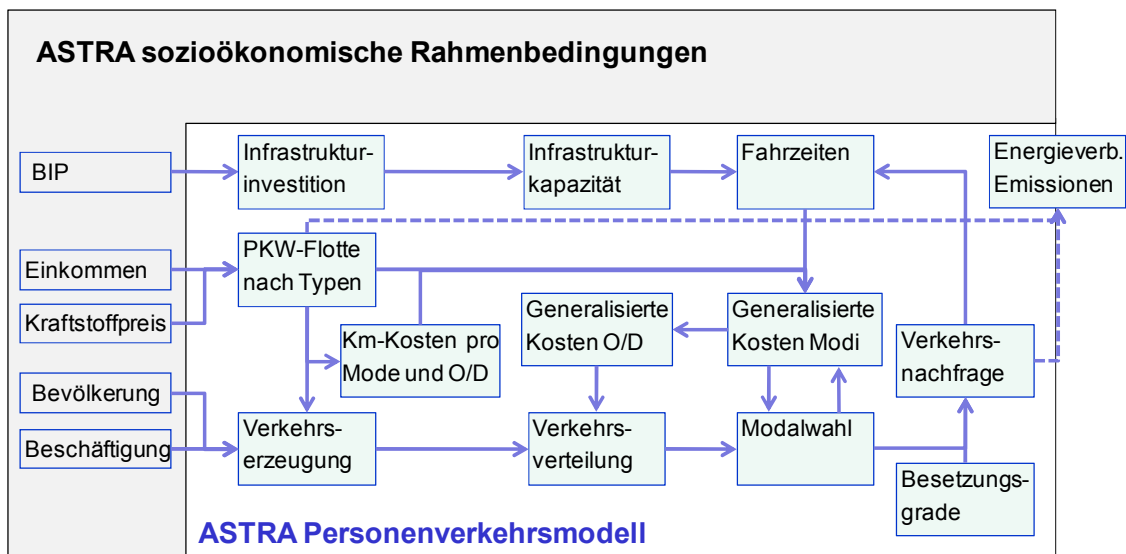


Quelle: Fraunhofer ISI

Das Verkehrssystem ist mit einem modifizierten und voll integrierten 4-Stufen Verkehrsmodell implementiert. Die vier Stufen (Verkehrserzeugung, -verteilung, Modal- und Routenwahl, letztere in vereinfachter Form) des Personen- und Güterverkehrsmodells sind im regionalökonomischen Modul (REM) und im Verkehrsmodul (TRA) abgebildet (siehe Abbildung 4-2 für den Personenverkehr und Abbildung 4-3 für den Güterverkehr). In diesen beiden Modulen von ASTRA setzen die meisten verkehrspolitischen Maßnahmen an, da hier die regional- und modal-spezifischen Zeit- und Kostenkomponenten hinterlegt sind, die dann in die Entscheidungsfunktionen (Logit-Funktionen) der Verkehrsnutzer Eingang finden. Reaktionen der Verkehrsnutzer können auf allen Entscheidungsstufen gemessen werden, d. h. unterschiedliche Modalwahl, veränderte Zielwahl und damit auch veränderte Distanzen.

Der Personenverkehr wird in ASTRA angetrieben zum Einen durch die sozioökonomischen Rahmenbedingungen wie BIP und Einkommen, Bevölkerungs- und Beschäftigungsentwicklung und zum Anderen durch PKW-Flotten sowie Zeit- und Kostenparameter im Verkehrsmodell (siehe Abbildung 4-2). Außer der Bevölkerung, die durch Migration, Geburten- und Sterberaten komplett unabhängig vom Verkehrssystem modelliert ist, kann jeder sozioökonomische Treiber bzw. jede verkehrsspezifische Zeit- und Kostenkomponente durch politische Maßnahmen (z.B. Verkehrspolitik, Klimapolitik, Biokraftstoffpolitik) verändert werden und wiederum Veränderungen bei den anderen Elementen des Verkehrssystems auslösen. Direkte Wirkungen einer Maßnahme auf das Verkehrssystem erfolgen über die Veränderung der Kraftstoffpreise (z.B. Mineralölsteuern), die Veränderung des Neuwagenkaufverhaltens und damit der PKW-Flotte (z.B. Kfz-Steuern oder Feebates), der km-Kosten (z.B. Maut oder durch Veränderung der PKW-Flotte) oder der Fahrzeiten (z.B. Tempolimit).

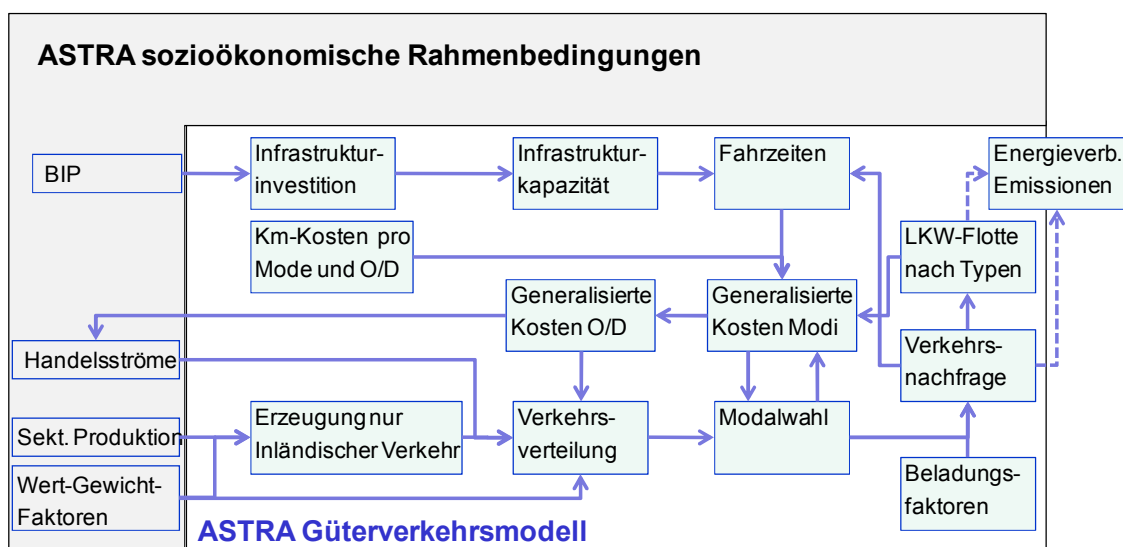
Abbildung 4-2: Struktur des Personenverkehrsmodells in ASTRA



Quelle: Fraunhofer ISI

Die Treiber für den Güterverkehr sind anders gelagert als für den Personenverkehr. Die beiden wichtigsten Treiber sind die sektorale Produktion und die internationalen Handelsströme. Auch hier spielen die Flotten-, Zeit- und Kostenparameter eine Rolle bei der Abschätzung der Verkehrs- und Energienachfrage (siehe Abbildung 4-3). Aber sie wirken sich stärker auf die Modalwahl aus als auf die Verkehrserzeugung und -verteilung, die im Wesentlichen von der wirtschaftlichen Entwicklung repräsentiert durch Produktion und Handel abhängen. Einen weiteren wichtigen Faktor stellen die Beladungsfaktoren dar, die auch durch Maßnahmen beeinflusst werden können z.B. durch eine Verbesserung der Logistikplanung als Folge eines Verkehrskostenanstieges.

Abbildung 4-3: Struktur des Güterverkehrsmodells in ASTRA



Quelle: Fraunhofer ISI

Die Abschätzung der Entwicklung der verkehrsbedingten Luftschadstoff- und Treibhausgasemission bedarf neben der Simulation der Verkehrsentwicklung auch die Abbildung der Technologieentwicklung innerhalb der Fahrzeugflotten. ASTRA unterscheidet

dabei zwischen den Verkehrsträgern Straße und allen Übrigen. Pkw- und Busflotten, sowie die Flotten leichter und schwerer Straßennutzfahrzeuge werden dabei detailliert abgebildet. Schienenfahrzeuge, Schiffe und Flugzeuge werden nur mittels einer Abschätzung der Entwicklung derer Effizienz simuliert.

Das detaillierteste Fahrzeugflottenmodell in ASTRA ist das Pkw-Modell. Das Flottenmodell ist im Kern als Kohortenmodell aufgebaut. Der Aufbau ähnelt stark dem Bevölkerungsmodell. Im Zentrum wird der Bestand der Pkw, differenziert nach Alter, Emissionsstandard und Fahrzeugtechnologie für alle Länder der EU27+2 abgebildet. Dieser verändert sich mit jedem Zeitschritt durch die altersspezifischen Verschrottungsraten und durch die Neuregistrierungen. Diese wiederum werden beeinflusst von der Zahl der verschroteten Pkw, da stets ein gewisser Anteil durch neue Pkws ersetzt wird. Weitere Einflussfaktoren stellen die Entwicklung des durchschnittlich verfügbaren Einkommens, der Betriebskosten, der Kaufpreise, der Bevölkerung und des allgemeinen Motorisierungsniveaus dar. Die sich daraus ergebende Anzahl neuer Pkw wird abhängig vom Zeitpunkt mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit einem bestimmten Emissionsstandard zugeordnet.

ASTRA unterscheidet zwischen acht verschiedenen Fahrzeugtechnologien: Benzin (3 Hubraumkategorien), Diesel (2 Hubraumkategorien), Erdgas (CNG), Autogas (LPG), Hybrid-, Elektro-, Bioethanol- sowie Wasserstoff-Brennstoffzellen-Pkw. Die Wahrscheinlichkeit der Auswahl einer Technologie beim Kauf wird dabei auf Basis der Betriebskosten, der Anschaffungskosten, der Tankstelleninfrastruktur, sowie von nicht quantitativen Faktoren, wie z.B. Sicherheit, Design oder Image beeinflusst. Mittels eines Probit-Ansatzes werden diese dann berechnet und zur Differenzierung der neuen Pkws nach den Technologien verwendet.

Die Registrierung neuer Busse, leichter und schwerer Nutzfahrzeuge wird im Gegensatz zum Pkw-Modell über die Verkehrsnachfrage abgeleitet, da die Entscheidungen im Gegensatz zum Zeitpunkt eines Pkw-Kaufs deutlich stärker ökonomisch getrieben sind. Ansonsten unterscheiden sich diese Flottenmodelle nur wenig vom Pkw-Modell. In allen Modellen werden die Bestände differenziert nach Emissionsstandards abgebildet.

## 4.3.15 ÜBERSICHT: METHODISCHER VERGLEICH

**Tabelle 4-3: Methodischer Vergleich – Zusammenfassende Übersicht der Modellierung in ASTRA und PANTA RHEI**

	ASTRA	PANTA RHEI
Modellansatz	System Dynamics Modell mit ökonometrischen Komponenten	Ökonometrisch geschätztes Modell, evolutorischer Ansatz, empirisch geschätzte Parameter bei Verhaltensgleichungen
Zeitbehandlung	Sequentiell dynamisch	Sequentiell dynamisch
Abbildung des Konsums	Bottom-up nach 25 Wirtschaftssektoren, Verkehrs- und Energiesektoren separat	Bottom-up nach 41 Verwendungszwecken, residuales Sparen
Abbildung des Staatskonsums	Beeinflusst durch endogene BIP-Entwicklung und Beschäftigung im öffentlichen Sektor	Endogen, basierend auf Bevölkerung, Kollektivkonsum durch BIP-Entwicklung
Abbildung des Arbeitsmarktes	Beschäftigung abgeleitet aus sektoraler Bruttowertschöpfung und Arbeitsproduktivität	Arbeitsnachfrage aus sektoralen Faktornachfragefunktionen; Arbeitsangebot aus der Differenz zwischen Erwerbersonenpotential und endogen ermittelter stiller Reserve
Abbildung der Vorleistungen	Dynamische Input-Output-Tabellen	Dynamische Input-Output-Tabellen, ergänzt um 10 EE-Sektoren
Abbildung des Staates	Gesamtes Kontensystem der VGR; Einnahmen und Ausgaben endogen mit Staatsverschuldung	Gesamtes Kontensystem der VGR; Einnahmen und Ausgaben endogen, Finanzierungssaldo residual
Abbildung der Energienachfrage	Bottom-up abgeleitet für den Verkehr	Bottom-up nach 14 Wirtschaftszweigen, Haushalte, Energieumwandlung, Verkehr in der Abgrenzung der Energiebilanz, eigenes Wohnungsmodul und Verkehrsmodul
CO <sub>2</sub> -Emissionen	Multiplikativ aus Verkehrsnachfrage und technologie-spezifischen Emissionsfaktoren	Multiplikativ aus dem Energieeinsatz



## 5 MODELLEXPERIMENTE

Nach dem Verständnis der konzeptionellen Unterschiede in der Modellierung lassen sich die Simulationsergebnisse ähnlicher Sachverhalte einer kritischen vergleichenden Prüfung unterziehen. Dabei ist dieser Vergleich zweistufig aufgebaut. Zunächst werden die Resultate bereits vorliegender Studien einander gegenübergestellt, da beide Modelle für ein breites Spektrum ähnlicher Themen zur Analyse eingesetzt wurden. In einem zweiten Schritt werden dann ausgehend von einer ähnlichen Referenzprojektion gleiche Änderungen exogener Variablen vorgenommen und die Ergebnisse der jeweiligen Läufe verglichen. Da die Datenbasis und die zugrundeliegende Philosophie der beiden Modelle sich stark unterscheiden, kann nur von einer ähnlichen Ausgangsbasis gesprochen werden. Eine exakte Abstimmung der Referenzläufe wäre für die ableitbaren Aussagen viel zu aufwändig und würde darüber hinaus eine falsche Genauigkeit vortäuschen.

### 5.1 ERGEBNISSE BEREITS DURCHGEFÜHRTER STUDIEN – PANTA RHEI

Zusammen mit dem Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung und der Universität Oldenburg wurde im Jahr 2001 die Ökologische Steuerreform auf ihre Wirkungen auf Wirtschaft und Umwelt hin untersucht (Bach et al. 2001). Die GWS hat dabei das Modell PANTA RHEI eingesetzt. Als Ergebnis ist festzuhalten, dass die gesamtwirtschaftlichen Wirkungen der Ökologischen Steuerreform, die ein jährliches Aufkommen von rund 17 Mrd. Euro erbringt, gering sind. Die Reduktion der Lohnnebenkosten führt zu deutlich positiven Beschäftigungseffekten. Der Beitrag zur Emissionsminderung bleibt mit 20 Mio. t CO<sub>2</sub> vergleichsweise gering. Die Ergebnisse sind in einem Forschungsprojekt für das Umweltbundesamt aktualisiert und im Kern bestätigt worden (Frohn et al. 2003). In einem Forschungsprojekt mit dem Fraunhofer ISI für das BMBF wurde die Technologiewahl in einzelnen energieintensiven Industriesektoren explizit modelliert. Die CO<sub>2</sub>-Minderung bei einer weltweiten CO<sub>2</sub>-Steuer fällt demnach bei Erfassung der Technologiewahl etwas stärker aus, als wenn auf der Sektorebene modelliert wird (Lutz et al. 2005).

Die Nettoarbeitsplatzeffekte des Ausbaus erneuerbarer Energien (EE) sind für das BMU ausführlich untersucht worden (Staiß et al. 2006; Kratzat et al. 2007; Lehr et al. 2008a). Dazu ist das Modell PANTA RHEI zunächst um sieben (2006) später um weitere drei (2010) Sektoren erneuerbarer Energien erweitert worden. In einer sehr differenzierten Analyse ist festgestellt worden, dass der Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland unter Berücksichtigung aller direkten und indirekten Wirkungen durchgehend mit deutlich positiven Nettobeschäftigungseffekten verbunden ist. Die negativen Effekte höherer Strompreise werden durch höhere inländische Investitionen und steigende Exporte von EE-Anlagen mehr als ausgeglichen. Deutsche Firmen halten sehr hohe Weltmarktanteile in einem Markt, der derzeit auch durch die hohen Energiepreise und die Angst vor wachsenden Energieimporten getrieben wird.

**Tabelle 5-1: Rahmendaten und Ergebnisse der Studie „Kurz- und langfristige Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf dem deutschen Arbeitsmarkt“ (Lehr et al. 2011)**

		Jahre	Preispfad A												
			Referenz	PV1				PV2							
				Max	Optimistisch	Verhalten	Min	Max	Optimistisch	Verhalten	Min	Max	Optimistisch	Verhalten	Min
<b>Deutschland</b>															
Endenergieverbrauch (PJ/a)	2009 <sup>1</sup>		8713												
	2020	8129	8127	8123	8118	8112	8111	8112	8107	8102	8101	7814	7809	8087	
	2030	7650	7704	7700	7696	7688	7696	7693	7689	7681	7683	7152	7148	7667	
Investitionen in EE-Neuanlagen (Mrd. € 2005)	2009 <sup>2</sup>		20,4												
	2020	-	15,4				16,0				16,6				
	2030	-	15,1				14,1				14,0				
Arbeitsintensität (Index, %, 2008 = 100)	2009	über alle Szenarien gleich: 106													
	2020	81													
	2030	65													
Importpreise	Öl (US\$ 2005/bbl)	2009 <sup>3</sup>	über alle Szenarien gleich: 58												
		2020	96												
		2030	118												
	Gas (€ 2005/TJ)	2009 <sup>3</sup>	über alle Szenarien gleich: 5794												
		2020	10700												
		2030	13800												
	Steinkohle (€ 2005/t)	2009 <sup>3</sup>	über alle Szenarien gleich: 79												
		2020	155												
		2030	202												
Systemanalytische Differenzkosten zum Nullszenario (Mrd. € 2005)	2009 <sup>4</sup>	7,0													
	2020	-	3,9				6,7				10,8				
	2030	-	-13,0				-10,7				-4,6				
<b>Welt</b>															
Investitionen in EE-Neuanlagen weltweit (Mrd. € 2005)	2009 <sup>5</sup>	102,7													
	2020	418,9													
	2030	589,7													
Gesamtumsatz deutscher Hersteller von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer	2009	16,4													
	2020	-	51,3	42,4	28,6	15,1	51,8	43,3	29,5	16,0	52,5	43,6	29,8	16,3	
	2030	-	73,2	60,4	43,5	14,6	72,9	60,5	43,6	14,7	73,2	60,5	43,5	14,7	
Exporte von Strom- und wärmeerzeugenden Anlagen (Mrd. € 2005)	2009	8,6													
	2020	-	41,3	32,9	19,9	7,1	41,3	32,9	19,9	7,1	41,3	32,9	19,9	7,1	
	2030	-	59,1	47,8	32,7	7,1	59,1	47,8	32,7	7,1	59,1	47,8	32,7	7,1	
<b>Beschäftigung</b>															
Bruttobeschäftigung (1000)	2009	339,5													
	2020	5	644,5	570	445	326	654	580	455	336	658	583	459	340	
	2030	5	697	607	496	293	703	613	502	299	703	612	502	299	
Nettobeschäftigung (1000)	2009	70 - 90													
	2020	-	157,00	116,71	56,43	-3,81	119,35	143,97	82,64	25,95	136,29	105,57	39,99	-25,06	
	2030	-	277,33	241,19	202,46	118,86	304,47	287,58	252,44	170,27	247,71	221,03	184,68	91,37	
1. AG EB (2010).			2. BMU (2010b).		3. BMWi (2010).			4. BMU (2010c).			5. UNEP (2010).				

Auch Staaten ohne Klimaschutzziele wie die USA und China fragen diese Anlagen stark nach. Ausnahmeregelungen von der EEG-Umlage für energieintensive Unternehmen verhindern negative Wirkungen in Branchen, die in intensivem internationalem Wettbewerb stehen. Tabelle 5-2 zeigt eine Übersicht über die wichtigsten Ergebnisse aus 2006 (für 2010 vgl. Tabelle 5-1).

**Tabelle 5-2: Rahmendaten und Ergebnisse der Studie „Erneuerbare Energien: Arbeitsplätze“ absolute Abweichungen zur Referenz, bei verhaltenen Exporterwartungen**

		2010	2020	2030
CO <sub>2</sub> -Emissionen	Mio. t	-5,72	-15,64	-73,99
BIP	Mrd. € 95	9,88	17,04	20,93
Bruttoproduktion	Mrd. € 95	22,76	42,15	52,88
Konsum privater Haushalte	Mrd. € 95	4,95	8,25	11,07
Konsum Staat	Mrd. € 95	1,02	1,56	2,01
Bauinvestitionen	Mrd. € 95	0,60	1,05	1,12
Ausrüstungsinvestitionen	Mrd. € 95	2,09	3,27	2,90
Export	Mrd. € 95	4,72	9,96	13,60
Import	Mrd. € 95	3,67	7,33	10,13
Staatsverschuldung	Mrd. €	-8,94	-50,91	-143,43
Beschäftigte	1000	55,23	73,60	84,41

Nach Staiß et al. 2006

Auch andere Energieprogramme führen bei den aktuellen Energiepreisen zu deutlich positiven gesamtwirtschaftlichen Effekten (Pehnt et al. 2009). Im Rahmen einer Kurzstudie wurden für ein Bündel von 33 konkret definierten Energieeffizienz- und Energiesparmaßnahmen die Energieeinsparpotenziale und erforderlichen Differenzinvestitionen ermittelt. Hierzu wurden bestehende Studien und Materialien ausgewertet. Basis der Studie (Referenz) ist die so genannte 2 %-Variante des Energiegipfels 2007 (Prognos, EWI 2007), in welcher bereits eine Fortschreibung aktueller Energiepolitik unterstellt wird. Die über die Referenz hinausgehenden Maßnahmen erfordern in der Regel zunächst höhere Investitionen, die sich in den Folgejahren durch niedrigere Energiekosten auszahlen. Die zusätzlichen Investitionen stellen kurzfristig einen zusätzlichen Nachfrageimpuls dar, der zu höherer Produktion und Beschäftigung führt. Da sich die Maßnahmen für die Unternehmen und Haushalte rechnen, ist nicht davon auszugehen, dass Investitionen und Konsum an anderer Stelle eingeschränkt werden müssen. Es gibt keinen negativen Budgeteffekt. Zugleich müssen Unternehmen und Haushalte die Investitionen finanzieren, was für die Unternehmen die Abschreibungen im Jahr der Investition und den Folgejahren erhöht und sich für die Haushalte in geringerer Ersparnis niederschlägt. Energieeinsatz wird letztlich durch Kapitaleinsatz substituiert. Neben dem direkten positiven Nachfrageimpuls führen weitere Wirkungskanäle zu gesamtwirtschaftlichen Veränderungen:

- Der effizientere Energieeinsatz reduziert die Energieimporte und verbessert somit die Außenhandelsposition Deutschlands. Dieser volkswirtschaftlich positive Energieimporteffekt nimmt von Jahr zu Jahr immer mehr zu.
- Der effizientere Energieeinsatz verbessert die gesamtwirtschaftliche Produktivität, da (fast) nur einzelwirtschaftlich lohnende Maßnahmen umgesetzt werden. Produktionskosten und Preise sinken. Der Effizienzeffekt verbessert die Wettbewerbsfähigkeit der Volkswirtschaft.
- Auf der anderen Seite steigen die Abschreibungen und damit die Kapitalkosten der Unternehmen durch die höheren Investitionen. Die Haushalte und der Staat müssen höhere Investitionen und Ausgaben finanzieren.
- Die kurzfristig höhere Nachfrage führt über Zweitrundeneffekte wie gestiegene Einkommen der zusätzlich Beschäftigten zu weiteren Veränderungen in der gesamten Volkswirtschaft.

Das Zusammenspiel dieser Effekte ist insgesamt sehr positiv. Die Bruttoproduktion, das Bruttoinlandsprodukt und seine einzelnen Komponenten Konsum, Investitionen und Außenhandel liegen durch den verstärkten Einsatz von Effizienztechnologien im Maßnahmenzenario über den gesamten Zeitraum höher als im Referenzzenario. Allerdings wird an dieser Stelle auch deutlich, dass eine höhere Produktion sich nicht in gleichem Umfang in eine höhere Wertschöpfung (BIP) überträgt. Zum einen wird ein Teil der zusätzlichen Produktion aus dem Ausland eingekauft, was in den trotz sinkender Energieimporte insgesamt höheren Importen sichtbar wird. Zum anderen steigt auch der Einsatz von teils wieder importierten Vorprodukten, die nicht unbedingt Wertschöpfung und damit Beschäftigung in Deutschland bedeuten.

**Tabelle 5-3: Ergebnisse der Studie „Klimaschutz, Energieeffizienz und Arbeit: Analyse der Effizienzpotenziale und der volkswirtschaftlichen Effekte einer ambitionierten Effizienzstrategie für Deutschland“ absolute Abweichungen zur Referenz**

	2010	2015	2020
		[Mrd. €]	
Bruttoinlandsprodukt	14,3	19,6	24,3
Privater Konsum	6,9	12,0	18,3
Staatskonsum	0,8	1,4	1,8
Ausrüstungen	4,3	5,4	8,4
Bauten	4,9	5,0	3,9
Exporte	0,6	1,0	1,1
Importe	3,4	5,2	9,1

Nach Pehnt et al. 2009

Tabelle 5-3 zeigt die Veränderungen der Komponenten des preisbereinigten Bruttoinlandsprodukts. Ein erheblicher Teil des beobachteten zusätzlichen BIP-Aufkommens entfällt mit gut 18,3 Mrd. Euro auf den privaten Konsum. Dies leitet sich zunächst aus dem zusätzlichen Konsum von energieeffizienten Gütern ab, beinhaltet jedoch darüber hinaus

Zweitrundeneffekte durch die steigende Beschäftigung und den Anstieg der verfügbaren Einkommen durch die Einsparung von Energiekosten. Ausrüstungen und Bauten erfahren ebenfalls Impulse durch das Maßnahmenpaket und darüber hinaus zusätzliche Impulse von der insgesamt gestiegenen Wirtschaftsaktivität.

Vor dem Hintergrund stark steigender Strompreise in den Jahren 2006 und 2007 analysiert die Studie „Gesamtwirtschaftliche Effekte niedrigerer Strompreise in Deutschland“ die kurzfristigen Auswirkungen zwei alternativer Strompreisentwicklungen (Lutz, Meyer 2007).

**Tabelle 5-4: Rahmendaten und Ergebnisse der Studie „Strompreise“ – absolute Abweichungen des Szenarios A1 (niedrigere Strompreise) von der Referenzentwicklung**

	2005	2006	2007	2008
CO <sub>2</sub> -Emissionen Mio. t	6,07	6,68	6,67	6,34
BIP Mrd. € 95	4,93	7,64	7,64	6,90
Bruttoproduktion Mrd. € 95	10,23	15,59	15,35	13,83
Konsum private Haushalte Mrd. € 95	2,58	4,07	3,86	3,11
Konsum Staat Mrd. € 95	0,84	1,20	1,19	1,12
Bauinvestitionen Mrd. € 95	0,21	0,64	0,78	0,66
Ausrüstungsinvestitionen Mrd. € 95	0,44	0,67	0,57	0,44
Export Mrd. € 95	2,58	3,97	4,03	4,08
Import Mrd. € 95	1,80	3,04	2,92	2,63
Beschäftigte 1000	39,01	82,75	78,45	74,29
Durchschnittlicher Stunden- lohnsatz €	-0,03	-0,06	-0,05	-0,05
Preisindex der Lebenshaltung 1995=100	-0,51	-0,57	-0,57	-0,57
Preisindex Güterpreise 1995=100	-0,63	-0,69	-0,69	-0,69

Nach Lutz und Meyer 2007

Im Referenzszenario ist die tatsächliche Strompreisentwicklung bis zum Jahr 2006 für Industrie und Haushalte erfasst. Im Alternativszenario A1 wird angenommen, dass die Strompreise vor Steuern und Abgaben im Jahr 2006 für Industriekunden 30% niedriger und für die privaten Haushalte um 20% niedriger gelegen haben als im Referenzfall. Der höhere Abschlag für Industriekunden erklärt sich aus dem überdurchschnittlichen Anstieg seit dem Jahr 2000. Wegen der in allen Szenarien in gleicher Höhe unterstellten Stromsteuer und Abgaben fällt die Differenz beim tatsächlich bezahlten Preis je nach Steuer- und Abgabenanteil geringer aus. Bei den privaten Haushalten mit einem Steuer- und Abgabenanteil ohne Mehrwertsteuer von rund 40% ist somit eine Differenz beim Strompreis von

12% angenommen. Bei der Industrie mit einem Anteil von Steuern und Abgaben von rund 25% liegt die Differenz beim Strompreis bei 22,5%. Im Alternativszenario A2 wird unterstellt, dass die Strompreise im Wettbewerbsfall vor Steuern und Abgaben sogar um 25% bei den Haushalten und um 40% bei der Industrie niedriger gelegen haben als tatsächlich. Die Strompreise inkl. Steuern und Abgaben weisen dann eine Differenz von 15% bei den Haushalten und 30% bei der Industrie aus. Tabelle 5-4 gibt eine Übersicht über die Ergebnisse des Vergleichs von Szenario A1 mit der Referenz.

Die Bundesregierung hat im August 2007 „Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm“ (IEKP) verabschiedet. Hintergrund sind die Beschlüsse des EU Gipfels vom März 2007, auf dem sich die EU zu einer Minderung der Treibhausgasemissionen um 20% gegenüber 1990 verpflichtet hat. Im Fall einer angemessenen Beteiligung der anderen Industrieländer und wichtiger Schwellenländer wird die EU die THG-Emissionen sogar um 30% reduzieren. Für Deutschland bedeutet letzteres nach der Regierungserklärung vom 26. April 2007 eine Minderung um 40% gegenüber 1990. Gleichzeitig sind auch Ziele für den weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien und zur Erhöhung der Energieeffizienz auf dem Brüsseler Gipfel festgelegt worden, die ebenfalls mit ins IEKP aufgenommen worden sind. Die GWS hat im Herbst 2007, d.h. noch vor Verabschiedung des Maßnahmenpakets am 5. Dezember 2007 ausgewählte Maßnahmen des IEKP mit dem umweltökonomischen Modell PANTA RHEI auf ihre sektoralen und gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen hin analysiert (UBA 2008). Die folgenden Punkte des IEKP sind dazu untersucht worden:

- 7. Förderprogramme für Klimaschutz und Energieeffizienz außerhalb von Gebäuden
- 12. CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm
- 18. Umstellung der Kfz-Steuer auf CO<sub>2</sub>-Basis
- 20. Verbesserte Lenkungswirkung der Lkw-Maut
- 21. Einbeziehung des Flugverkehrs in den Emissionshandel

Da zum Zeitpunkt der Simulationsrechnungen die Maßnahmen des Eckpunktepapiers an vielen Stellen noch nicht konkretisiert waren, werden im Verkehrsbereich Ausgestaltungsvorschläge des UBA aufgegriffen, die teilweise über das Eckpunkteprogramm von Meseberg hinausgehen. Soweit möglich sind Erkenntnisse aus einer umfangreichen parallel durchgeführten Untersuchung (ISI et al. 2008) übernommen worden.

**Tabelle 5-5: Überblick wichtiger Ergebnisse der Simulationsrechnungen zum IEKP– absolute Abweichungen von der Referenzentwicklung in 2020**

	CO <sub>2</sub> in Mio. t	BIP in Mrd. Euro 1995	Beschäftigung
Informationsinstrumente	-8	+0,8	+22.000
CO <sub>2</sub> Gebäudesanierung	-12	+4,0	+33.500
Umstellung Kfz-Steuer	-2,6	0	+14.000
Verdopplung der Lkw-Maut	-2,6	+2,8	+30.800
Einbeziehung des Flugverkehrs in ETS	-0,4	-0,2	+1.500
Summe	-25,6	+7,4	+101.800

Nach Lutz und Meyer 2008

## 5.2 ERGEBNISSE BEREITS DURCHGEFÜHRTER STUDIEN – ASTRA

Das ASTRA-Modell verfügt über eine Anwendungshistorie von rund 13 Jahren im europäischen Raum und 5 Jahren in nationalen Projekten. In diesem Zeitraum sind mehrere Dutzend Projekte damit bearbeitet worden. Die Bedeutung des Modells für die Projekte war unterschiedlich. Häufig war die Anwendung von ASTRA nur ein Teil des Projektes, aber oft stellte ASTRA auch das zentrale Instrument für die Wirkungsanalyse dar. Im Folgenden werden kurz sechs aktuelle Projekte vorgestellt, bei denen ASTRA eine zentrale Rolle in der ökonomischen Wirkungsanalyse gespielt hat:

- KlimInvest: Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland (Jochem/Jäger/Schade et al. 2008).
- IKEP-Makro: Gesamtwirtschaftliche Wirkungen von Energieeffizienzmaßnahmen in den Bereichen Gebäude, Unternehmen und Verkehr (Schade et al. 2009).
- HOP!: Macro-economic impact of high oil price in Europe (Schade/Fiorello et al. 2009).
- Employ-RES: EmployRES - The impact of renewable energy policy on economic growth and employment in the European Union (Ragwitz/Schade et al. 2009).
- ADAM: Adaptation and Mitigation Strategies: Supporting European Climate Policy (Schade/Jochem et al. 2009).
- iTREN-2030: Integrated transport and energy baseline until 2030 (Schade/Krail et al. 2010).

### 5.2.1 ASTRA IN KLIMINVEST

KlimInvest – „Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland“ hatte die Aufgabe eine Investitionsstrategie für Deutschland zu entwickeln, die bis zum Jahre 2020 eine THG Reduktion von -40% gegenüber 1990 liefert. In KlimInvest wurde die Investitionsschwäche Deutschlands im internationalen Vergleich festgestellt und ein Investitionsprogramm entwickelt, das diese Investitionsschwäche beheben soll. Gleichzeitig wurde von der Bundesregierung in 2007 das sogenannte Meseberger Integrierte Energie- und Klimaprogramm (IEKP) verabschiedet, welches einen Maßnahmenkatalog von 29 Maßnahmen(bündeln) entworfen hat. In KlimInvest wurde festgestellt, dass das IEKP nicht die gewünschten -40% THG Reduktion erbringt und es wurden zusätzliche Maßnahmen definiert. ASTRA wurde in KlimInvest zum einen eingesetzt, um die Verkehrsmaßnahmen abzuschätzen, und zum anderen, um die makro-ökonomischen Wirkungen, d.h. die Nettowirkungen des gesamten Investitionsprogramms bzw. des erweiterten IEKP abzuschätzen. Dazu wurde mit einer mikroökonomischen Analyse für jede der rund 35 Maßnahmen fünf Bottom-up Impulse abgeschätzt und an ASTRA übergeben:

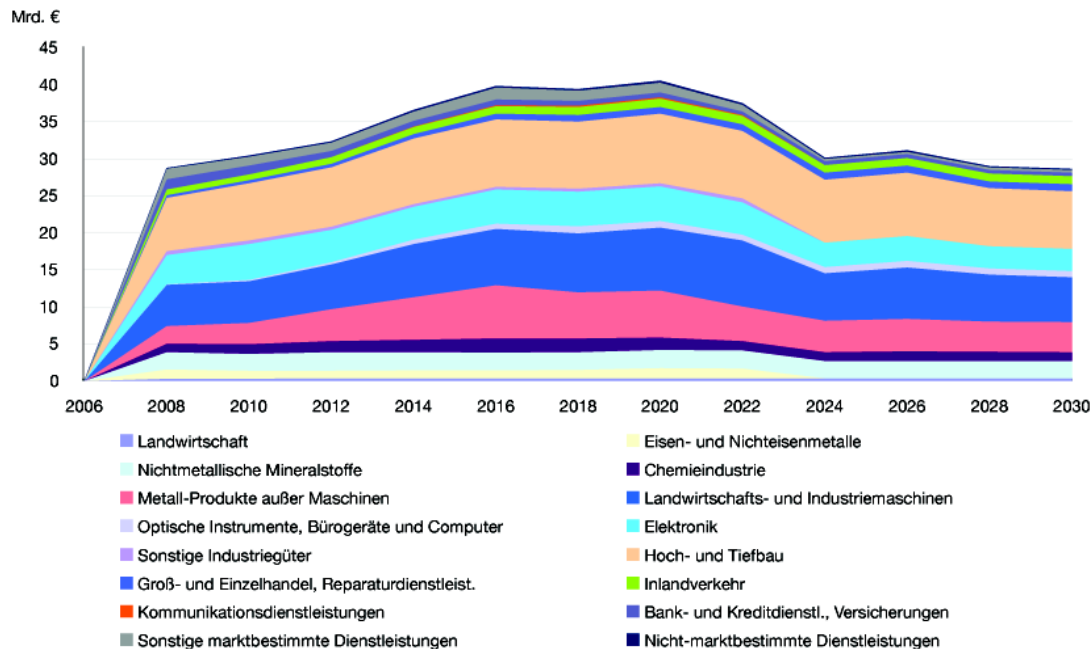
- Investitionsimpuls zusätzliche Investitionen.
- Investitionsimpuls vermiedene Investitionen.
- Energieausgabenänderung differenziert in Haushalte, Industrie und Dienstleistungen.
- Einsparungen bei den Energieimporten.



- Programmkosten der öffentlichen Hand.

Die aggregierten Veränderungen der Investitionen in KlimInvest sind in Abbildung 5-1 dargestellt.

**Abbildung 5-1: Investitionsimpuls des IKEP in ASTRA in sektoraler Gliederung**

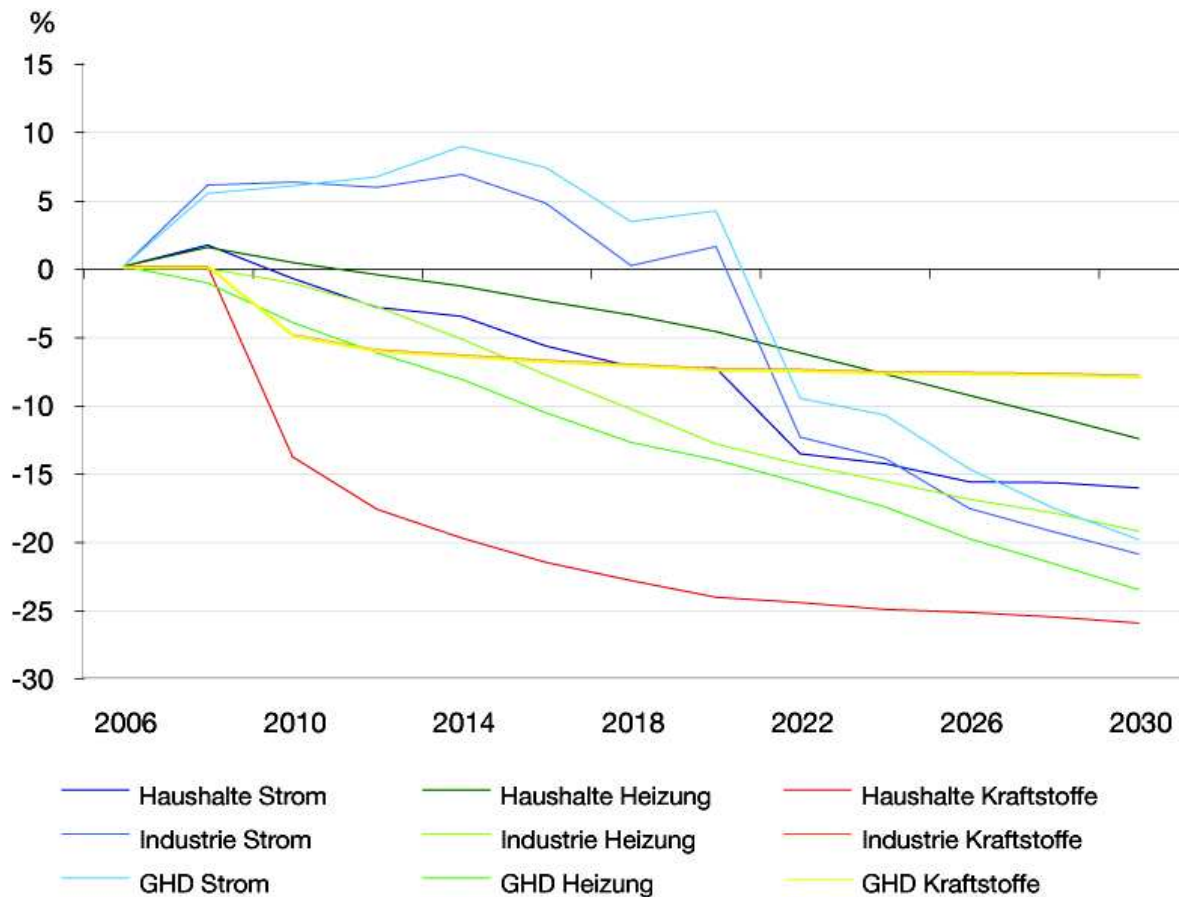


Jochem/Jäger/Schade et al. 2008

Diese wurden als Veränderungen der Endnachfrage in ASTRA eingeführt. Dabei wurde darauf geachtet, dass bereits mikroökonomisch die Investitionen schlüssig incentiviert sind, z.B. durch Veränderungen bei den Energieausgaben, Energieimporten oder durch staatliche Programmkosten.

Entsprechend entstehen bei den Energieausgaben trotz Effizienzgewinnen durch die Maßnahmen für kürzere Perioden zu Beginn der Umsetzung der Maßnahmen ein Anstieg der Energieausgaben, der aber mittelfristig immer zu einer Reduktion führt, da die Effizienzgewinne die zusätzlichen Investitionen übersteigen (siehe Abbildung 5-2).

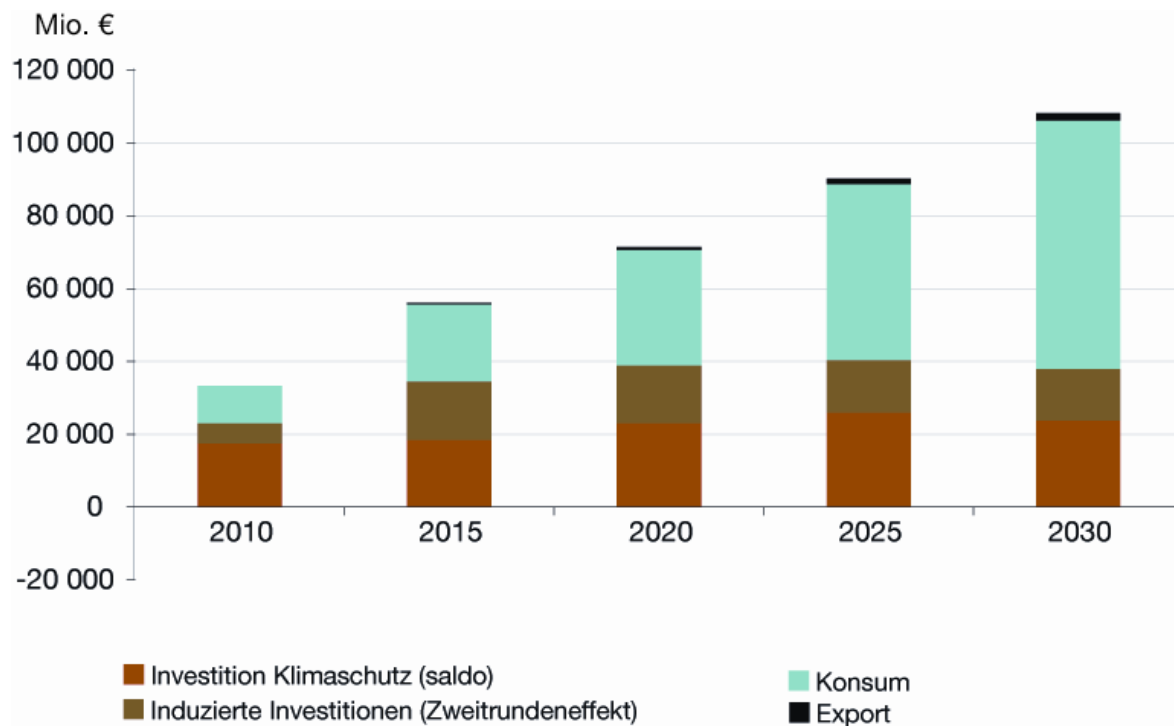
Abbildung 5-2: Energiekostenimpuls für Strom, Wärme und Kraftstoffe der drei Verbrauchssektoren in ASTRA



(Jochem/Jäger/Schade et al. 2008)

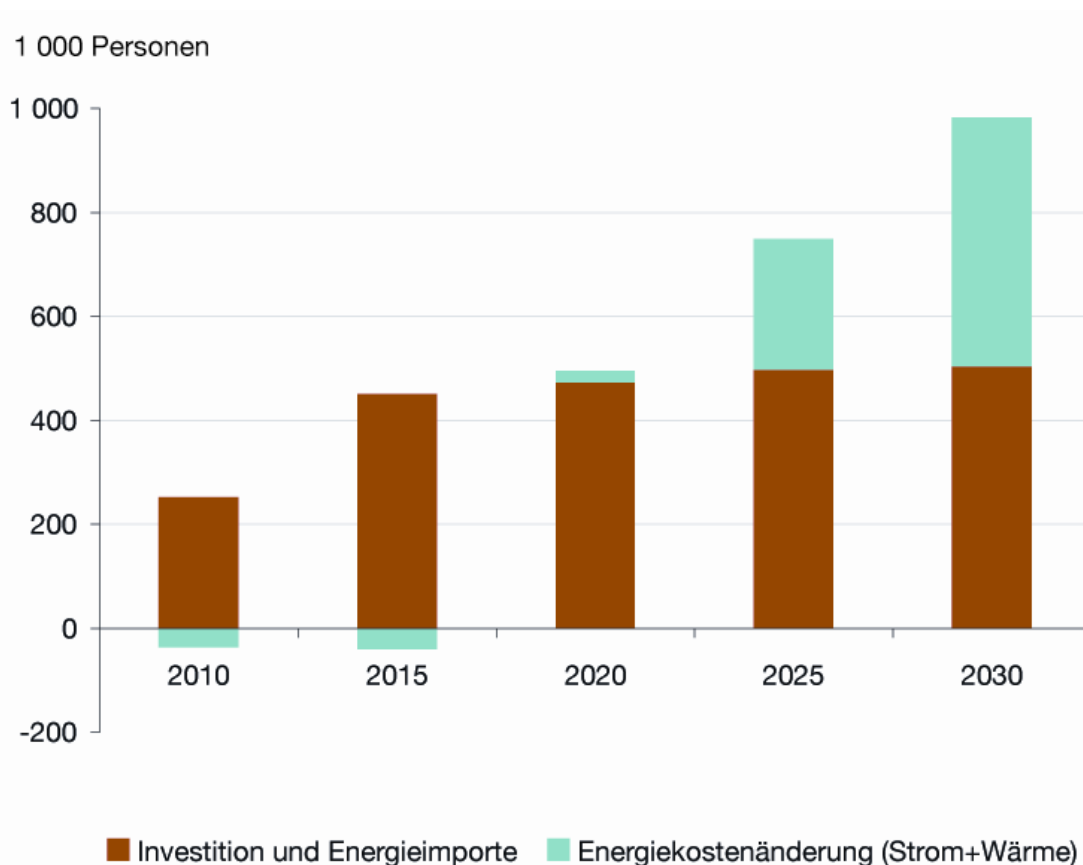
ASTRA berechnete aus den direkten Wirkungen der Bottom-up-Impulse die gesamtwirtschaftlichen Impulse bei denen es sich dann um Nettoeffekte handelt. Getrieben zuerst durch die Investitionen und später durch den Konsum (Zweitrundeneffekte) steigt das BIP gegenüber dem Referenzfall bis 2020 und 2030 deutlich an (um 70 Mrd. € bis 2020, siehe Abbildung 5-3).

**Abbildung 5-3: Wachstumswirkung der einzelnen Komponenten des BIP (Abweichung zur Referenz)**



(Jochem/Jäger/Schade et al. 2008)

Auch die Beschäftigung nimmt deutlich zu und in 2020 ist mit einer Zunahme der Beschäftigung um rund eine halbe Million Personen zu rechnen, vor allem durch die zusätzlichen Investitionen. Bis 2030 beginnen auch die Energiekostenänderungen (d.h. signifikanten Einsparungen) die Beschäftigung ansteigen zu lassen (siehe Abbildung 5-4).

**Abbildung 5-4: Beschäftigungswirkung der einzelnen Impulse des IEKP**

(Jochem/Jäger/Schade et al. 2008)

Die Schlussfolgerungen aus ASTRA von KlimInvest wurden auf Englisch übersetzt und spielten im amerikanischen Wahlkampf von 2008 eine nicht unwichtige Rolle.

### 5.2.2 ASTRA IN IKEP-MAKRO

IEKP-Makro war hinsichtlich ASTRA eine Weiterentwicklung des Ansatzes von KlimInvest mit der veränderten Fragestellung sektorale Aussagen zu leisten für die Sektoren Unternehmen, Gebäude und Verkehr.

Es wurden gleichfalls die ökonomische Wirkung sowie die Beschäftigungswirkung des deutschen integrierten Energie- und Klimaschutz-Programmes (IEKP) untersucht, allerdings ohne die Zusatzmaßnahmen aus KlimInvest. Für das Gesamtpaket bestehend aus 29 Maßnahmen ergab sich eine Steigerung des BIP bis 2020 um 2.2% oder 71 Mrd. €. Die Beschäftigung wird bis 2020 um knapp 400.000 Personen gesteigert, Details sind in Tabelle 5-6 dargestellt.

**Tabelle 5-6: Makroökonomische Ergebnisse des IEKP in ASTRA**

BIP Komponenten		2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Investition	Mio. €	20,282	33,214	35,389	35,382	37,191	39,478	40,463	34,840	34,387	33,495	33,484
Konsum	Mio. €	6,755	11,876	17,651	21,125	24,878	28,485	32,771	38,110	42,298	48,133	55,167
Export	Mio. €	1	137	510	956	1,373	1,807	2,282	2,835	3,476	4,056	4,624

Sektorale Beschäftigung		2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Landwirtschaft	1000 Pers.	-13	-16	-20	-23	-24	-26	-21	-14	-7	1	8
Energie, Erze, Chemie	1000 Pers.	8	32	49	66	78	90	86	71	56	34	11
Investitionsgüter	1000 Pers.	-13	6	12	16	11	8	16	24	37	64	95
Hoch- und Tiefbau	1000 Pers.	32	97	101	92	85	80	81	87	91	97	112
Verkehrsdienstleistungen	1000 Pers.	9	9	9	7	7	6	8	9	10	12	13
Dienstleistungen	1000 Pers.	130	182	228	238	252	265	300	346	375	419	470
Gesamt <sup>(1)</sup>	1000 Pers.	144	294	353	362	368	377	424	486	531	604	697

Sektoraler Konsum		2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Landwirtschaft	Mio. €	31	66	110	143	172	196	242	286	323	367	418
Energie, Erze, Chemie	Mio. €	-124	-1,082	-1,504	-2,377	-3,218	-3,779	-5,622	-6,487	-7,242	-8,257	-8,939
Investitionsgüter, Fahrzeuge	Mio. €	2,239	3,921	4,211	3,910	4,040	4,306	3,810	3,819	3,202	3,677	3,902
Konsumgüter	Mio. €	1,070	1,949	3,009	3,839	4,454	4,943	5,232	5,040	4,736	4,345	3,975
Verkehrsdienstleistungen	Mio. €	91	56	61	27	49	69	141	212	272	300	347
Handel und Gastgewerbe	Mio. €	1,446	2,278	3,367	4,167	4,894	5,490	6,605	7,668	8,572	9,543	10,638
Sonstige Dienstleistungen	Mio. €	2,007	4,685	8,403	11,423	14,483	17,253	22,368	27,571	32,427	38,158	44,820
Gesamt	Mio. €	6,760	11,873	17,657	21,131	24,875	28,478	32,777	38,108	42,290	48,133	55,160

Sektorale Investitionen		2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Energie, Erze, Chemie	Mio. €	4,151	4,235	4,099	3,970	4,181	4,337	4,380	3,086	3,157	3,158	3,099
Maschinenbau	Mio. €	1,646	4,690	5,602	5,419	6,330	7,461	9,274	7,864	8,258	7,812	7,357
Elektronik, Datenverarbeitung	Mio. €	3,281	4,296	4,161	4,106	4,331	4,146	3,908	2,711	2,527	2,359	2,240
Fahrzeuge	Mio. €	1,411	1,446	1,646	1,677	1,637	1,842	1,467	1,072	837	771	625
Sonstige Gütersektoren	Mio. €	782	1,041	1,021	1,012	1,002	1,021	1,081	557	537	517	526
Hoch- und Tiefbau	Mio. €	6,365	14,677	16,217	16,680	16,950	17,912	17,778	17,302	16,930	16,832	17,607
Finanz- und Planungsdienstl.	Mio. €	2,037	1,447	945	560	667	694	782	766	724	679	677
Sonstige Dienstleistungen	Mio. €	610	1,382	1,697	1,958	2,093	2,065	1,794	1,482	1,417	1,366	1,354
Gesamt	Mio. €	20,283	33,215	35,389	35,382	37,191	39,477	40,463	34,841	34,386	33,495	33,485

Sektorale Bruttowertschöpfung		2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Landwirtschaft	Mio. €	-356	-386	-454	-521	-573	-622	-510	-298	-139	47	219
Energie, Erze, Chemie	Mio. €	3,740	7,040	9,644	12,447	15,109	17,558	16,306	11,795	8,497	3,952	-462
Investitionsgüter, Fahrzeuge	Mio. €	-1,372	172	-452	-970	-1,981	-2,753	-2,724	-1,899	-863	1,518	4,150
Konsumgüter	Mio. €	1,102	1,440	1,841	2,043	2,383	2,714	3,351	3,782	4,304	4,791	5,230
Hoch- und Tiefbau	Mio. €	2,201	6,014	6,129	5,690	5,567	5,527	5,676	5,697	6,073	6,384	7,166
Verkehrsdienstleistungen	Mio. €	-113	-438	-965	-1,615	-2,103	-2,561	-2,448	-1,759	-1,295	-603	127
Handel und Gastgewerbe	Mio. €	1,222	1,919	2,455	2,616	2,910	3,150	3,865	4,601	5,488	6,376	7,254
Sonstige Dienstleistungen	Mio. €	11,281	13,857	16,870	17,939	20,233	22,676	25,937	27,708	30,428	33,645	37,396
Gesamt	Mio. €	17,706	29,617	35,067	37,630	41,544	45,689	49,451	49,627	52,493	56,110	61,081

Staatshaushalt		2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Programmkosten	Mio. €	1,115	1,269	1,424	1,412	1,229	1,045	997	943	895	847	799
Mineralölsteuereinnahmen	Mio. €	-799	-2,082	-2,840	-3,609	-4,124	-4,633	-5,020	-5,495	-5,940	-6,353	-6,783
Indirekte Steuern	Mio. €	161	-349	-240	-462	-378	-298	18	384	602	1,109	1,752
Einkommenssteuern	Mio. €	952	1,754	2,455	3,002	3,571	4,155	4,798	5,451	5,972	6,532	7,064
Transfers an Haushalte	Mio. €	-1,416	-2,980	-3,137	-2,621	-2,020	-1,444	-1,298	-1,286	-1,131	-1,225	-1,511
Saldo Staatshaushalt	Mio. €	1,414	3,117	3,928	3,749	3,985	4,256	5,117	6,178	6,809	8,019	9,527

Energieausgaben		2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Haushalte												
Strom	%	-2.3	-5.3	-7.4	-10.7	-12.3	-13.3	-21.7	-24.1	-26.2	-28.0	-29.2
Heizung	%	1.6	1.5	1.3	1.3	1.0	0.5	-0.5	-1.4	-2.3	-3.3	-4.2
Kraftstoffe	%	-3.4	-8.0	-10.6	-12.9	-14.6	-16.2	-16.9	-17.8	-18.6	-19.4	-20.1
Industrie												
Strom	%	6.1	6.3	6.6	7.6	6.7	5.3	7.7	-6.9	-8.1	-10.0	-11.1
Heizung	%	-0.1	-0.5	-1.3	-2.3	-3.4	-4.5	-5.6	-6.2	-6.7	-7.2	-7.6

Quelle: Schade et al. 2009a

Ähnliche Tabellen für die Sektoren Unternehmen, Gebäude und Verkehr wurden in IKEP-Makro veröffentlicht. Eine zentrale Erweiterung von IKEP-Makro bestand in Aussagen zur zeitlichen Dynamik unterschiedlicher Maßnahmenpakete.

Die gesamtwirtschaftliche Analyse des IEKP zeigte wie in KlimInvest positive ökonomische Wirkungen des integrierten Energie- und Klimaschutzprogrammes für Deutschland. Für das Jahr 2020 wurde ein Wachstumsimpuls des BIP von 70 bis 81 Mrd. Euro ausgelöst werden. Die Beschäftigung ließe sich dadurch im Saldo um 380.000 bis 630.000 Personen steigern bei gleichzeitiger Reduktion der Treibhausgasemissionen um -35 bis -

40 %. Bei Fortsetzung und Intensivierung der Maßnahmen bis 2030 konnte gezeigt werden, dass sich die positiven ökonomischen Effekte der Klimapolitik sogar noch verstärken lassen.

Die Analyse der drei thematischen Maßnahmenpakete ergab, dass keines der Pakete Unternehmen, Gebäude und Verkehr für sich alleine so umfangreiche positive Wirkungen auslöst wie die Meseberger IEKP Szenarien. ASTRA zeigte, dass die integrative Umsetzung der Maßnahmen des IEKP also zu den deutlich positiven Effekten führte, da sich die positiven Effekte der Pakete verstärken und ökonomische Schwächen einzelner Maßnahmen durch Maßnahmen in anderen Paketen überkompensiert wurden. Dies galt z. B. für Maßnahmen, die zu einem Anstieg der Energiekosten pro Energieeinheit führen können. Dieser Kostenanstieg lässt sich aber durch nachfrageseitige Maßnahmen, die zu Energieeinsparungen führen, überkompensieren, so dass im Saldo der Maßnahmen die Energieausgaben sowohl bei Haushalten als auch bei Unternehmen sanken.

Die wichtigsten Treiber der positiven Entwicklung, die durch die Klimaschutzpolitik ausgelöst wurden, waren die zusätzlichen Investitionen und die Reduzierung der Energienachfrage durch Effizienzmaßnahmen. Zu den Investitionen gehörten z. B. die energetische Sanierung von Wohngebäuden, der Bau alternativer Energieanlagen oder die Entwicklung von und die Investition in effiziente PKW. Diese Investitionen ermöglichten eine Senkung der Energieausgaben, die sich aus zwei Komponenten zusammensetzt: zum Einen der Veränderung der spezifischen Kosten, die die Investitionstätigkeit widerspiegelte und in der Analyse eher geringfügig ins Gewicht fiel, und zum Anderen der Senkung der Energieausgaben durch eine geringere Energienachfrage. Letztere spielt eine zentrale Rolle und wurde durch die Effizienzmaßnahmen im weiteren Sinne erzielt. Dazu gehören z. B. die energieeffiziente Sanierung von Wohngebäuden im Bestand, der Neubau von Niedrigenergie- und Passivhäusern, die Markteinführung von hocheffizienten PKW und Elektromobilen, effiziente Kraftwerke, Energiemanagementsysteme und Öko-Design Richtlinie für Industrie- und Dienstleistungssektoren.

Sowohl die Treiber als auch die Dynamiken unterscheiden sich deutlich in den drei untersuchten Maßnahmenpaketen Unternehmen, Gebäude und Verkehr. Kurzfristig entfaltete die Klimateffizienz im Straßenverkehr die größte Dynamik und damit das größte Wachstum bei BIP und Beschäftigung. Dies resultierte vor allem aus dem Investitionsimpuls, der durch die Regulierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen neuer PKW ausgelöst wird und die Autoindustrie und ihre Zulieferer zur Erhöhung ihrer Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen antreibt sowie den Bau bzw. die Umstellung von Produktionsanlagen erforderte. Mittelfristig war die Wachstumsdynamik bei der Energieeffizienz der Gebäude am größten. Hier stimulierte der mit Abstand größte Investitionsimpuls zur Verbesserung der Dämm- und Heiztechnik von Gebäuden das Wachstum und die Beschäftigung vor allem im Hoch- und Tiefbau. Die Steigerung der Energieeffizienz der Unternehmen entfaltet die langfristige Dynamik. Sie setzt weniger auf den Investitionsimpuls als auf die kontinuierliche Steigerung der Energieeffizienz durch eine Vielzahl technologischer und organisatorischer Verbesserungen der Energienutzung.

Im MesebergPlus Szenario (identisch mit dem Szenario aus KlimInvest, mit Ausnahme der Modellierung der Gebäudemassnahmen) überlagerten sich die Dynamiken der drei Maßnahmenpakete und führten so zu einem kontinuierlichen zusätzlichen Wachstum des Bruttoinlandsproduktes, der Einkommen und der Beschäftigung.

### 5.2.3 ASTRA IN HOP!

In HOP! sollte eine Analyse der makroökonomischen Auswirkungen hoher Ölpreise erarbeitet werden, welche damals unter dem Eindruck der stark steigenden Ölpreise in 2007 und 2008 stand. Der Projektansatz sah eine Kopplung von ASTRA mit POLES, dem Weltenergiemodell mit endogener Berechnung der Energiepreise (inkl. Öl) der Europäischen Kommission vor. ASTRA und POLES sind bereits in zahlreichen Projekten gekoppelt verwendet worden, wobei die Kopplung in HOP! gegenüber Vorgängerprojekten einen deutlichen Fortschritt gemacht hat. Neben Szenarien mit Ölpreisanstiegen bis 2020 von 80 €/bbl (Referenz, in Preisen von 2000) und 150, 220, 600 und 800 €/bbl und verschiedenen Zeitpfaden (schnell oder verzögerter Anstieg), wurden auch verschiedene Sensitivitätsanalysen durchgeführt.

HOP! war eines der interessantesten ASTRA Projekte, da einige der Ergebnisse in relativ kurzer Zeit eingetreten sind und die Schlussfolgerungen auch danach noch Bestand hatten und haben.

Die grundsätzliche Schlussfolgerung war, dass ein schneller Anstieg des Ölpreises (von 2008 bis 2013) nicht schädlich sein muss, sondern sogar ökonomisch positiver ausfallen kann als die Referenz, da der steigende Ölpreis zu Investitionen in Effizienzmaßnahmen führt und diese die bekannten positiven Impulse auslösen (d.h. geringere Energieausgaben, geringere Energieimporte, Effekt der Investitionen selbst). Dies gilt allerdings nur bei schnellem Anstieg, da dann entsprechende Verhaltensänderungen ausgelöst werden. Ein gleichmäßiger und langsamerer Anstieg auf dasselbe Niveau hatte nicht dieselbe positive Wirkung,

Ein weiteres Ergebnis bestand in der Notwendigkeit ggf. in den Energiesektor einzugreifen, da die Reaktion des Energiesektors auf hohe Ölpreise eine entscheidende Rolle gespielt hatte. Die hohen Ölpreise ließen die Wertschöpfung des Energiesektors ansteigen, was sich an den Gewinnen der Ölkonzerne in 2007/2008 auch entsprechend zeigte. Gleichzeitig bestand und besteht die Notwendigkeit Investitionen in Energieeffizienz und Erneuerbare Energien zu finanzieren. Dies ist aus der gestiegenen Wertschöpfung der Energiekonzerne, der keine gestiegene Leistung gegenübersteht sondern nur ein Preiseffekt, möglich. Die in HOP! aus den ASTRA Ergebnissen abgeleitete Empfehlung war dementsprechend, wenn die Energiekonzerne nicht entsprechend in Effizienz und Erneuerbare investieren sollten, die Gewinne durch die hohen Ölpreise abzuschöpfen und in staatliche Förderung dieser beiden Maßnahmen zu investieren, um die positiven Effekte der Investitionen zu generieren und die möglichen negativen Effekte (Abhängigkeit von stark steigenden Ölpreisen, massive BIP und Beschäftigungsverluste bis 2020) zu vermeiden. Diese Schlussfolgerung gilt im Wesentlichen für die großen Konzerne, die die Schritte von der Exploration bis zur Vermarktung unter ihrer Kontrolle haben.

Tabelle 5-7 fasst die zentralen Ergebnisse der Nettoeffekte aus ASTRA zusammen. Interessant ist hier auch die Sensitivitätsanalyse bzgl. des externen Schocks einer globalen Rezession. Hier wurden Annahmen getroffen bzgl. möglicher globaler Einbrüche des Wachstums mit entsprechenden Einbrüchen der europäischen Exporte. Diese Annahmen decken sich ungefähr mit der Rezession von 2008/2009, während der Ölpreis-peak in 2008 sich ungefähr mit den HOP! Szenarien des schnellen Anstieges auf 150 €/bbl deckt. Tatsächlich sind auch die mit ASTRA errechneten BIP Verluste ungefähr deckungsgleich mit den eingetretenen Einbrüchen in 2009, wobei die Beschäftigungsverluste schwächer ausge-



fallen sind als von ASTRA erwartet (zumindest in Deutschland). Hier zeigt sich, dass im Bereich der Beschäftigungsanalyse die Anpassung der Arbeitsproduktivität rigider ist als es z.B. mit der deutschen Kurzarbeitergeld-Regelung erfolgen kann.

**Tabelle 5-7: Makroökonomische Ergebnisse des HOP! Projektes aus ASTRA**

Ölpreissignal	Beschreibung des Preis-Peaks	Nettoverlust im Preis-Peak	
		BIP	Beschäftigung
Verdopplung	Gleichmäßiger Anstieg	-1.5%	-4.8%
Verdopplung	Gleichmäßiger Anstieg, beschränkte Effizienzinvestitionen	-2.1%	-5.4%
Verdopplung	Gleichmäßiger Anstieg, Kompensation durch gesenkte Mineralölsteuern	-1.3%	-4.8%
Verdopplung	Gleichmäßiger Anstieg, moderate Kohlenstoffsteuer	-1.6%	-4.8%
Verdopplung	Früher und scharfer Peak (bis 2013)	-2.1%	-8.5%
Verdopplung	Später und scharfer Peak (bis 2020)	-1.1%	-5.4%
Verdreifachung	Gleichmäßiger Anstieg	-2.2%	-7.8%
Extremfälle	Früher und scharfer Peak (bis 2013)	-3.8% to -5.1%	-22% to -32%
Sensitivitätsanalyse spezifischer Schocks			
Weltweite Rezession (entspricht ungefähr dem, was 2008/2009 passiert ist)		additional loss: -1% to -5%	
Physikalische Energieknappheit		additional loss: -5% to -11%	

#### 5.2.4 ASTRA IN iTREN-2030

Das Ziel von iTREN-2030 war die Erstellung eines Tools zur politischen Entscheidungsunterstützung bei verkehrsbedingten Fragestellungen. Dazu sollten Modelle mit Fokus auf Verkehr, Makroökonomie, Energie und Umwelt zu einem integrierten Modellansatz zusammengefügt werden. ASTRA wurde dabei über Schnittstellen mit dem Welt-Energiemodell POLES, dem europäischen Verkehrs- und Fahrzeugflottenmodell TREMOVE und dem europäischen Verkehrsnetzwerkmodell TRANS-TOOLS gekoppelt. Im Aufgabenbereich von ASTRA lag dabei die Abschätzung und Abbildung der Effekte der verschiedenen Politiken auf Verkehr und Wirtschaft. POLES lieferte Energiepreise im globalen Kontext, TREMOVE schätzte Emissionen und Kraftstoffverbrauch ein und TRANS-TOOLS als europäische Referenz für Verkehrsmodelle gab die Richtung für den Verkehr vor. So konnten Energie- und Verkehrsszenarien bis 2030 in Europa dargestellt und bewertet werden. Politikmaßnahmen für Energie und Verkehr, die möglichen Trendbrüche in den einzelnen Bereichen sowie daraus resultierende Szenarien entstanden in

intensiver Zusammenarbeit mit wichtigen Akteuren der Auto- und Ölindustrie, Finanzwirtschaft sowie politischen Entscheidungsträgern. Ziel war es, vor allem relevante, bereits umgesetzte oder in nächster Zeit wahrscheinlich umsetzbare politische Maßnahmen einzu- beziehen. Die daraus gewonnenen Ergebnisse erweitern die Prognose- und Politikbewertungs- fähigkeit der bestehenden europäischen Modelle um die Politikbereiche Technologie, Umwelt und Energie und verknüpfen sie besser mit dem Verkehr. Ergebnisse aus iTREN- 2030 flossen in die Erarbeitung des neuen „Weißbuches Verkehr“ ein, dass die strategische Planungsgrundlage für die zukünftige europäische Verkehrspolitik bilden wird.

Als erstes Projekt berücksichtigte iTREN-2030 auch die ökonomische Krise von 2008/2009 in ihren beiden Szenarien und erstellte darauf aufbauend eine Prognose für die kommenden 20 Jahre. So ist der zu erwartende Rückgang des Gesamtausstoßes an Treib- hausgasen in der EU von 22 Prozent nicht nur auf eine höhere Energieeffizienz oder die zunehmende Verwendung erneuerbarer Energien zurückzuführen, sondern auch auf den krisenbedingten Rückgang der Wirtschaftsleistung, der auch bis 2030 nicht durch stärkeres Wachstum kompensiert wird.

Beim Verkehrsaufkommen deuten sich unterschiedliche Trends bis zum Jahr 2030 im Vergleich zu 2005 an. Im Personenverkehr verlangsamt sich das Wachstum deutlich. Die- ser wird nur noch 17 Prozent steigen, während der Güterverkehr um 41 Prozent zunimmt. Dennoch wird die Energienachfrage im Verkehr um zwei Prozent sinken und damit verrin- gern sich auch die Treibhausgasemission. Im sogenannten Integrated Scenario von iTREN- 2030 ergibt sich eine Reduktion der gesamten Emissionen um sieben Prozent bis 2020 und zwölf Prozent bis 2030. Sinkende Energienachfrage und Reduktion des Treibhausgasaus- stoßes im Verkehr bedeuten zwei deutliche Trendbrüche im Vergleich zur historischen Entwicklung. Dazu tragen besonders die zu erwartenden Effizienzsteigerungen bei Pkw und leichten Lkw mit konventionellen Antrieben bei, die durch die europäische CO<sub>2</sub>- Grenzwertsetzung für Neufahrzeuge bestimmt und durch Anreizmaßnahmen unterstützt wird sowie die Marktdiffusion von alternativen Kraftstoffen und Antrieben.

Die Simulation des iTREN-2030 Integrated Scenario in ASTRA zeigt jedoch auch, dass bereits 2015 damit begonnen werden muss, weitere Maßnahmen umzusetzen, um auch nach 2020 die Reduktion der Treibhausgasemissionen weiter voranzutreiben. Wirkungs- volle Politikstrategien sind gefordert, die dazu beitragen können, das Ziel der EU, den Treibhausgasausstoß bis 2050 um 80 Prozent zu reduzieren, auch zu erreichen. Das schließt auch erhebliche Reduzierungsanstrengungen im Verkehr ein. Als wichtige Maß- nahmen gehören dazu eine weitere Herabsetzung der CO<sub>2</sub> Grenzwerte und die Einführung einer intelligenten Preispolitik im Verkehr.

Tabelle 5-8 und Tabelle 5-9 zeigen Ergebnisse in Form der wichtigsten Indikatoren aus dem „Integrated Scenario“ für die Bereiche Verkehr, Makroökonomie, Energie, Umwelt und Fahrzeugtechnologie.

Tabelle 5-8: Ergebnisse des iTREN-2030 „Integrated Scenario“ aus ASTRA

ITREN-2030 DE - Germany		Integrated scenario							
Variable	Unit	Absolute values				Average annual % change			
		2005	2010	2020	2030	'05-'10	'10-'20	'20-'30	'10-'30
<b>TRANSPORT INDICATORS</b>									
Tonnes originated in the country	Million tonnes per year	3,434	3,352	3,658	3,864	-0.5	0.9	0.5	0.7
Freight transport activity originated in the country	Billion tonnes-km per year	1,082	510	602	620	-14.0	1.7	0.3	1.0
Road	Billion tonnes-km per year	301	294	332	341	-0.5	1.2	0.3	0.7
Rail	Billion tonnes-km per year	99	98	108	108	-0.1	1.0	0.0	0.5
Inland navigation	Billion tonnes-km per year	48	47	59	62	-0.8	2.3	0.6	1.5
Maritime (Intra-EU)	Billion tonnes-km per year	83	71	103	109	-3.1	3.9	0.5	2.2
Average freight transport distance	km	315	152	165	160	-13.6	0.8	-0.3	0.3
Freight transport activity on the national territory	Billion tonnes-km per year	551	500	627	671	-1.9	2.3	0.7	1.5
Road	Billion tonnes-km per year	359	344	430	462	-0.8	2.3	0.7	1.5
Rail	Billion tonnes-km per year	103	101	127	135	-0.4	2.4	0.6	1.5
Inland navigation	Billion tonnes-km per year	57	55	69	74	-0.8	2.3	0.6	1.5
Freight road vehicles-km on the national territory	Billion vehicles-km per year	60	59	62	65	-0.2	0.5	0.4	0.5
Trips originated in the country	Million trips per year	84,997	81,867	86,634	87,147	-0.7	0.6	0.1	0.3
Passenger transport activity originated in the country	Billion pass-km per year	1,166	1,129	1,270	1,302	-0.6	1.2	0.2	0.7
Car	Billion pass-km per year	866	812	942	967	-1.3	1.5	0.3	0.9
Bus	Billion pass-km per year	82	87	69	63	1.0	-2.2	-0.9	-1.6
Rail	Billion pass-km per year	104	116	123	127	2.1	0.6	0.3	0.5
Air (Intra-EU)	Billion pass-km per year	56	56	71	74	0.3	2.3	0.5	1.4
Slow	Billion pass-km per year	57	58	65	70	0.1	1.2	0.8	1.0
Average passenger transport distance	km	13.7	13.8	14.7	14.9	0.1	0.6	0.2	0.4
Passenger transport activity on the national territory	Billion pass-km per year	1,092	1,053	1,181	1,208	-0.7	1.2	0.2	0.7
Road	Billion pass-km per year	983	931	1,051	1,073	-1.1	1.2	0.2	0.7
Rail	Billion pass-km per year	110	122	130	134	2.2	0.6	0.3	0.5
Passenger road vehicles-km on the national territory	Billion vehicles-km per year	503	476	578	611	-1.1	2.0	0.6	1.3
Motorization rate	cars/1000 inhabitants	531	531	591	633	0.0	1.1	0.7	0.9
<b>ECONOMY INDICATORS</b>									
GDP	Billion Euros 2005	2,797	2,813	3,462	3,847	0.1	2.1	1.1	1.6
Employment	1000 Persons	38,329	35,003	36,180	32,935	-1.8	0.3	-0.9	-0.3
Agriculture and fishery	1000 Persons	870	734	616	539	-3.3	-1.7	-1.3	-1.5
Construction	1000 Persons	3,229	2,761	3,212	2,923	-3.1	1.5	-0.9	0.3
Energy and water	1000 Persons	471	510	517	499	1.6	0.1	-0.4	-0.1
Industry	1000 Persons	7,424	5,598	5,862	5,255	-5.5	0.5	-1.1	-0.3
Transport services	1000 Persons	1,334	1,194	1,201	1,070	-2.2	0.1	-1.1	-0.5
Other services	1000 Persons	25,001	24,207	24,773	22,650	-0.6	0.2	-0.9	-0.3
Population total	1000 Persons	82,571	82,669	82,365	81,112	0.0	0.0	-0.2	-0.1
Labour force	1000 Persons	54,244	53,948	53,902	50,857	-0.1	0.0	-0.6	-0.3
Retired (> 65 years)	1000 Persons	13,076	13,615	14,114	16,989	0.8	0.4	1.9	1.1
Transport taxation revenues	Million Euros 2005	35,604	33,115	35,046	35,734	-1.4	0.6	0.2	0.4
Fuel taxes	Million Euros 2005	33,232	28,109	29,460	28,513	-3.3	0.5	-0.3	0.1
Emissions certificate	Million Euros 2005	0	445	2,039	1,773	0.0	16.5	-1.4	7.2
Road charges	Million Euros 2005	2,372	4,562	3,547	5,448	14.0	-2.5	4.4	0.9
<b>ENERGY INDICATORS</b>									
Primary energy production	Million toe per year	145	151	133	121	0.7	-1.2	-0.9	-1.1
Share of domestic energy production	%	42	47	43	43	2.3	-0.7	-0.1	-0.4
Final energy demand by source	Million toe per year	349	323	307	281	-1.5	-0.5	-0.9	-0.7
Oil	Million toe per year	123	104	88	76	-3.3	-1.6	-1.4	-1.5
Gas	Million toe per year	79	75	87	77	-1.1	1.6	-1.3	0.1
Coal, Nuclear	Million toe per year	125	118	84	66	-1.3	-3.3	-2.4	-2.8
Biomass	Million toe per year	17	19	30	37	2.4	4.5	2.1	3.3
Other Renewables	Million toe per year	5	8	17	25	9.3	8.3	3.5	5.9
Final energy demand by consuming sector	Million toe per year	232	215	214	203	-1.5	0.0	-0.6	-0.3
Transport freight	Million toe per year	22	21	20	18	-1.1	-0.2	-1.1	-0.7
Transport passenger	Million toe per year	42	40	35	32	-1.0	-1.2	-1.0	-1.1
Industry	Million toe per year	58	52	52	49	-2.2	-0.1	-0.6	-0.3
Residential and services	Million toe per year	110	103	107	104	-1.4	0.4	-0.3	0.1
Oil price	Euros2005 per barrel	44	92	77	89	15.9	-1.7	1.4	-0.1
Gas price	Euros2005 per boe	22	36	28	35	9.9	-2.3	2.0	-0.1
Diesel price	Euros2005 per litre	0.97	1.29	1.28	1.42	5.9	-0.1	1.1	0.5
Gasoline price	Euros2005 per litre	1.11	1.43	1.42	1.57	5.1	0.0	1.0	0.5
Biofuels price	Euros2005 per eccf	0.66	1.18	1.27	1.43	12.2	0.8	1.2	1.0
Renewables energy sources on transport demand	%	3	5	10	18	7.1	8.4	5.9	7.2
Share of renewables in electricity	%	12	17	32	41	7.0	6.8	2.5	4.6
Share of renewables in final energy demand	%	7	9	15	22	6.3	5.6	3.4	4.5
Energy intensity of freight transport activity	toe/Million tkm	34	36	28	23	1.0	-2.6	-1.8	-2.2
Energy intensity of passenger transport activity	toe/Million pkm	37	36	28	25	-0.4	-2.4	-1.2	-1.8
Energy intensity of economic activity	toe/Million Euros 2005	83	76	62	53	-1.6	-2.1	-1.6	-1.8

Tabelle 5-9: Ergebnisse des iTREN-2030 „Integrated Scenario“ aus ASTRA

ITREN-2030 DE - Germany		Integrated scenario							
Variable	Unit	Absolute values				Average annual % change			
		2005	2010	2020	2030	'05-'10	'10-'20	'20-'30	'10-'30
<b>ENVIRONMENTAL INDICATORS</b>									
CO2 Transport emissions (Intra-EU)	Million tonnes per year	197	176	177	161	-2.2	0.0	-1.0	-0.5
Road freight	Million tonnes per year	56	54	54	51	-0.6	0.0	-0.5	-0.3
Road passenger	Million tonnes per year	123	105	103	90	-3.1	-0.2	-1.3	-0.8
Rail freight	Million tonnes per year	2	2	2	2	-2.7	1.6	-0.6	0.5
Rail passenger	Million tonnes per year	2	2	2	2	1.2	-0.8	-1.2	-1.0
Inland navigation	Million tonnes per year	2	2	3	3	-0.9	2.3	0.7	1.5
Maritime (Intra-EU)	Million tonnes per year	1	1	1	1	-1.9	3.3	0.1	1.7
Air (Intra-EU)	Million tonnes per year	10	10	11	11	-0.7	1.3	-0.5	0.4
CO2 intensity of freight transport activity	tonnes/1000 tkm	0.096	0.104	0.083	0.074	1.4	-2.2	-1.1	-1.7
Road	tonnes/1000 tkm	0.155	0.157	0.125	0.111	0.2	-2.2	-1.2	-1.7
Rail	tonnes/1000 tkm	0.023	0.020	0.019	0.017	-2.3	-0.8	-1.2	-1.0
Inland navigation	tonnes/1000 tkm	0.037	0.037	0.037	0.037	-0.2	-0.1	0.1	0.0
Maritime (Intra-EU)	tonnes/1000 tkm	0.014	0.015	0.014	0.014	1.3	-0.5	-0.4	-0.5
CO2 intensity of passenger transport activity	tonnes/1000 pkm	0.118	0.106	0.093	0.080	-2.2	-1.3	-1.5	-1.4
Road	tonnes/1000 pkm	0.125	0.113	0.098	0.084	-2.1	-1.4	-1.5	-1.5
Rail	tonnes/1000 pkm	0.018	0.017	0.015	0.013	-1.0	-1.4	-1.5	-1.4
Air	tonnes/1000 pkm	0.186	0.177	0.161	0.147	-1.0	-0.9	-0.9	-0.9
NOx Transport emissions	1000 Tonnes per year	795	533	431	389	-7.7	-2.1	-1.0	-1.6
Road freight	1000 Tonnes per year	195	127	72	48	-8.2	-5.6	-4.0	-4.8
Road passenger	1000 Tonnes per year	389	200	108	84	-12.4	-6.0	-2.4	-4.2
Rail freight	1000 Tonnes per year	8	6	6	6	-4.1	-0.2	-0.3	-0.2
Rail passenger	1000 Tonnes per year	12	12	11	9	0.5	-1.1	-1.6	-1.3
Inland navigation	1000 Tonnes per year	35	34	42	45	-0.9	2.3	0.7	1.5
Maritime (Intra-EU)	1000 Tonnes per year	25	23	30	29	-2.3	2.9	-0.3	1.3
Air (Intra-EU)	1000 Tonnes per year	130	131	161	167	0.1	2.1	0.4	1.2
PM10 Transport emissions	1000 Tonnes per year	55	43	28	24	-5.2	-4.1	-1.5	-2.8
Road freight	1000 Tonnes per year	18	12	6	5	-7.1	-6.9	-1.9	-4.4
Road passenger	1000 Tonnes per year	37	30	22	19	-4.3	-3.1	-1.4	-2.2
<b>VEHICLE FLEET INDICATORS</b>									
Car fleet size	1000 vehicles	43,844	43,934	48,683	51,340	0.0	1.0	0.5	0.8
Gasoline	1000 vehicles	32,760	28,679	26,394	25,113	-2.6	-0.8	-0.5	-0.7
Diesel	1000 vehicles	10,662	13,457	14,007	11,325	4.8	0.4	-2.1	-0.9
LPG/CNG	1000 vehicles	128	570	1,600	1,311	34.7	10.9	-2.0	4.3
Bioethanol	1000 vehicles	4	61	501	853	70.5	23.3	5.5	14.1
Hybrid	1000 vehicles	289	1,091	2,120	1,344	30.4	6.9	-4.5	1.0
Electric	1000 vehicles	0	77	4,057	9,880	0.0	48.7	9.3	27.5
Fuel cells	1000 vehicles	0	0	4	1,513	0.0	0.0	82.4	0.0
Gasoline <1400 cc	1000 vehicles	12,218	11,041	9,991	8,758	-2.0	-1.0	-1.3	-1.2
Gasoline 1400-2000 cc	1000 vehicles	16,594	13,902	12,779	13,068	-3.5	-0.8	0.2	-0.3
Gasoline >2000 cc	1000 vehicles	4,251	3,736	3,623	3,286	-2.5	-0.3	-1.0	-0.6
Diesel <2000 cc	1000 vehicles	7,225	9,289	9,596	7,446	5.2	0.3	-2.5	-1.1
Diesel >2000 cc	1000 vehicles	3,550	4,167	4,412	3,880	3.3	0.6	-1.3	-0.4
PreEURO	1000 vehicles	4,311	1,162	20	0	-23.1	-33.4	-47.6	-40.9
EURO I	1000 vehicles	13,611	6,510	389	2	-13.7	-24.6	-39.8	-32.6
EURO II	1000 vehicles	10,340	7,115	1,082	22	-7.2	-17.2	-32.3	-25.1
EURO III	1000 vehicles	15,576	13,045	3,930	227	-3.5	-11.3	-24.8	-18.3
EURO IV	1000 vehicles	0	9,136	4,308	501	0.0	-7.2	-19.4	-13.5
EURO V or later	1000 vehicles	0	5,167	30,672	35,686	0.0	19.5	1.5	10.1
Light duty vehicle fleet size	1000 vehicles	1,685	1,672	1,703	1,766	-0.2	0.2	0.4	0.3
Gasoline and Diesel	1000 vehicles	1,685	1,672	1,683	1,649	-0.2	0.1	-0.2	-0.1
Electric	1000 vehicles	0	0	20	117	n.a.	n.a.	19.5	n.a.
Heavy duty vehicle fleet size	1000 vehicles	1,606	1,289	1,340	1,371	-4.3	0.4	0.2	0.3
3.5-7.5 tonnes	1000 vehicles	506	527	560	573	0.8	0.6	0.2	0.4
7.5-16 tonnes	1000 vehicles	132	138	147	150	0.8	0.6	0.2	0.4
16-32 tonnes	1000 vehicles	482	488	493	505	0.2	0.1	0.2	0.2
>32 tonnes	1000 vehicles	134	137	139	143	0.3	0.2	0.2	0.2
PreEURO	1000 vehicles	993	517	21	0	-12.2	-27.3	-100.0	-100.0
EURO I	1000 vehicles	184	142	53	0	-5.0	-9.5	-81.6	-59.1
EURO II	1000 vehicles	210	165	132	1	-4.7	-2.2	-37.8	-22.0
EURO III	1000 vehicles	219	225	224	65	0.5	-0.1	-11.7	-6.1
EURO IV	1000 vehicles	0	215	219	161	n.a.	0.2	-3.1	-1.4
EURO V or later	1000 vehicles	0	26	691	1,145	n.a.	39.0	5.2	20.9

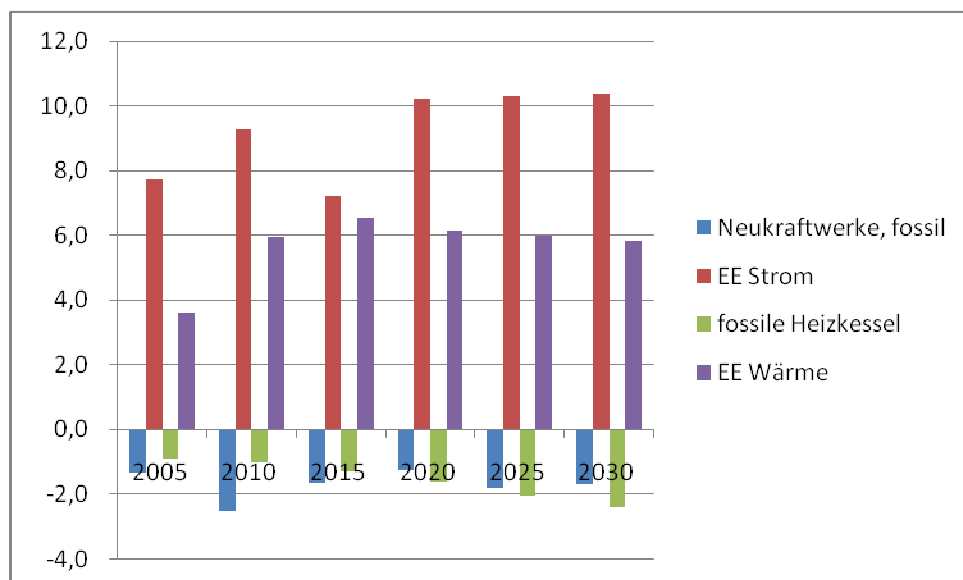
## 6 MODELLEXPERIMENT

### 6.1 REAKTIONEN VON PANTA RHEI UND ASTRA AUF GLEICHE ÄNDERUNGEN DER RAHMENBEDINGUNGEN

Um eine Einschätzung abzugeben, inwieweit sich die Modelle in ihren Reaktionen auf exogene Einflüsse unterscheiden, werden im Folgenden für zentrale Größen alternative Entwicklungspfade angenommen, die auf beide Modelle einwirken. Ein paralleles Einstellen komplexer Szenarien – etwa der Ausbau- und Exportszenarien aus der Studie „Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte“ würde durch die Überlagerung der verschiedenen Reaktions- und Anpassungsmechanismen zu wenig aussagefähigen Ergebnissen führen.

Die hier verwendete Referenz unterscheidet sich erheblich von dem in „Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte“ verwendeten Bezugsszenario. An die Stelle eines business-as-usual-Referenzlaufs tritt dort ein Null-Szenario (vgl. auch Lehr et al. 2011). Es beschreibt eine konsistente hypothetische Entwicklung der Energieerzeugung ohne erneuerbare Energien ab dem Jahr 1995 und umfasst den dann notwendigen Zubau fossiler Kraftwerke und Wärmeerzeuger und die hiermit verbundenen Investitionen. Erneuerbare Energien liefern in diesem Szenario nur einen sehr begrenzten Beitrag zu Wärme- und Stromversorgung, letzteren Falls vornehmlich über die sog. Große Wasserkraft, die bereits vor Inkrafttreten des EEG wettbewerbsfähig war.

**Abbildung 6-1: Absolute Abweichungen der Investitionen in Energietechnologien vom Null-Szenario in Mrd. €, Berechnungen des DLR.**



Vergleicht man die Investitionen in neue Kraftwerkstechnologie – einen der wesentlichen Treiber für Substitutionseffekte – sieht man in Abbildung 6-1, dass die Zunahme der EE-Investitionen im Leitszenario 2009 die verringerten Investitionen in fossil basierte Technologien weit übertreffen. Der größte Rückgang der Investitionen im fossilen Kraftwerksbereich findet nah am aktuellen Rand statt, während der Rückgang der Investitionen

in fossil basierte Wärmebereitstellung erst gegen Ende des Betrachtungszeitraums zunimmt.

**Tabelle 6-1: Überblick über die Entwicklung wichtiger Größen in PANTA RHEI (in Anlehnung an Energieszenarien, S. 17)**

	Einheit	Absolutwerte						% p.a.			
		2008	2010	2015	2020	2025	2030	2008-2015	2015-2020	2020-2030	2008-2030
<b>Internationale Preise</b>											
Ölpreis	USD/bbl	93,2	85,5	105,1	124,7	151,3	177,9	1,7	3,5	3,6	3,0
Preis für CO <sub>2</sub> -Zertifikate	Euro/t CO <sub>2</sub>	23,9	15,0	19,5	24,0	33,0	42,0	-2,9	4,2	5,8	2,6
<b>Sozioökonomische Rahmendaten</b>											
Bevölkerung (Einwohner)	Mio.	82,1	81,6	80,9	80,5	79,9	79,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2
Anzahl der Privathaushalte	Mio.	40,1	40,2	40,4	40,7	40,9	41,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Bruttoinlandsprodukt (2000)	Mrd. Euro2000	2.274	2.249	2.379	2.507	2.630	2.752	0,6	1,1	0,9	0,9
Produktionswert (2000)	Mrd. Euro2000	4.314	4.214	4.432	4.640	4.832	5.030	0,4	0,9	0,8	0,7
PKW-Bestand	Mio.	46,7	47,1	47,9	48,8	48,9	49,0	0,4	0,4	0,0	0,2
Personenverkehrsleistung insg.	Mrd. Pkm	1.093	1.092	1.089	1.092	1.095	1.102	-0,1	0,1	0,1	0,0
Güterverkehrsleistung insg.	Mrd. Tkm	654	631	712	784	827	874	1,2	1,9	1,1	1,3
<b>Preise Haushalte (inkl. MwSt.)</b>											
Heizöl, leicht	Cent/l	77,1	74,4	84,9	94,9	108,0	120,5	1,4	2,3	2,4	2,1
Erdgas	Cent/kWh	7,1	6,9	7,0	7,2	7,7	8,1	-0,2	0,6	1,2	0,6
Strom	Cent/kWh	21,4	21,3	23,3	24,2	24,0	22,0	1,2	0,8	-0,9	0,1
Benzin	Euro/l	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,0	1,3	1,2	1,1
<b>Preise Industrie (exkl. MwSt.)</b>											
Heizölpreis, leicht	Euro/t	727,1	691,3	814,7	936,5	1100,6	1262,7	1,6	2,8	3,0	2,5
Erdgas	Cent/kWh	3,3	3,6	3,7	3,8	4,2	4,6	1,6	0,5	1,9	1,5
Strom	Cent/kWh	8,8	9,8	11,5	12,3	12,1	10,4	3,9	1,4	-1,7	0,8
<b>Primärenergieverbrauch</b>											
	PJ	<b>14.216</b>	<b>14.002</b>	<b>13.390</b>	<b>12.819</b>	<b>11.938</b>	<b>11.373</b>	<b>-0,9</b>	<b>-0,9</b>	<b>-1,2</b>	<b>-1,0</b>
Mineralöl	%	34,5	34,6	34,1	33,9	34,8	35,4	-0,2	-0,1	0,4	0,1
Gase	%	21,5	22,1	21,4	20,8	20,5	19,2	-0,1	-0,6	-0,8	-0,5
Steinkohle	%	12,7	12,3	11,3	10,1	9,2	8,0	-1,7	-2,2	-2,3	-2,1
Braunkohle	%	10,9	11,0	8,1	5,9	4,3	2,7	-4,2	-6,1	-7,5	-6,1
Kernenergie	%	11,4	11,0	12,6	12,6	9,3	8,0	1,4	0,0	-4,4	-1,6
Erneuerbare Energien	%	8,1	9,0	12,6	16,9	21,0	25,1	6,5	6,0	4,0	5,3
Importsaldo Strom	%	-0,6	-0,9	-1,1	-1,1	-0,1	0,6				
<b>Endenergieverbrauch</b>											
	PJ	<b>9.098</b>	<b>8.989</b>	<b>8.656</b>	<b>8.424</b>	<b>8.164</b>	<b>7.987</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,5</b>	<b>-0,6</b>
Private Haushalte	%	28,1	30,4	28,6	28,0	28,3	28,4	0,3	-0,4	0,1	0,0
GHD	%	15,9	16,2	15,1	14,4	13,9	13,6	-0,7	-0,9	-0,6	-0,7
Industrie	%	27,8	26,7	28,3	28,8	29,1	29,2	0,3	0,4	0,1	0,2
Verkehr	%	28,2	27,7	28,3	29,0	29,6	30,5	0,1	0,5	0,5	0,4
Kohle	%	4,9	4,5	4,8	4,7	4,8	4,8	-0,3	-0,4	0,2	-0,1
Mineralölprodukte	%	39,3	39,2	38,0	36,9	36,1	35,7	-0,5	-0,6	-0,3	-0,4
Gase	%	24,2	24,2	23,5	22,6	21,7	20,6	-0,4	-0,8	-0,9	-0,7
Strom	%	20,7	20,5	20,5	20,3	20,2	20,0	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2
Fernwärme	%	5,0	5,1	5,2	5,4	5,5	5,6	0,6	0,8	0,4	0,5
Erneuerbare Energien	%	5,1	5,8	7,3	9,4	11,1	12,7	5,3	5,2	3,1	4,2
Anteil EE am BEEV	%	9,5	10,5	14,6	19,4	23,5	27,6	6,3	5,8	3,6	5,0
<b>Bruttostromerzeugung</b>											
	TWh	<b>639,1</b>	<b>655,5</b>	<b>630,1</b>	<b>602,8</b>	<b>543,7</b>	<b>501,7</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,9</b>	<b>-1,8</b>	<b>-1,1</b>
Steinkohle	%	20,1	20,1	16,6	13,3	11,2	7,7	-2,7	-4,3	-5,3	-4,3
Braunkohle	%	23,5	23,5	17,4	12,4	9,1	4,9	-4,2	-6,6	-8,9	-6,9
Erdgas	%	13,0	14,3	13,2	12,3	11,6	8,7	0,2	-1,4	-3,4	-1,8
Kernenergie	%	23,3	21,5	24,5	24,6	18,7	16,7	0,7	0,1	-3,8	-1,5
Erneuerbare Energien	%	14,1	14,5	23,7	34,1	46,6	60,1	7,7	7,5	5,8	6,8
<b>Effizienzindikatoren</b>											
PEV pro Kopf	GJ/Kopf	173	171	165	159	149	144	-0,7	-0,7	-1,0	-0,8
BIP/PEV	Euro2000/MJ	160	161	178	196	220	242	1,5	1,9	2,1	1,9
Produktionswert/EEV	Euro2000/GJ	474	469	512	551	592	630	1,1	1,5	1,3	1,3
Personen-km/EEV Verkehr	Pkm/GJ	425	439	445	447	453	452	0,7	0,1	0,1	0,3
Tonnen-km/EEV Verkehr	Tkm/GJ	255	254	291	321	342	359	1,9	2,0	1,1	1,6
EEV/Anzahl der priv. Haushalte	GJ/Haushalt	64	66	61	57	55	52	-0,7	-1,3	-0,9	-0,9
BWS/EEV GHD	Euro/GJ	1549	1540	1853	2145	2475	2812	2,6	3,0	2,7	2,7
<b>THG-Emissionen und Indikatoren</b>											
THG-Emissionen	Mio. t CO <sub>2</sub> -eq	959	917	798	706	634	567	-2,6	-2,4	-2,2	-2,4
Änderung gegenüber 1990	%	-22,4	-25,8	-35,4	-42,8	-48,7	-54,1				
THG-Emissionen/BIP real	g CO <sub>2</sub> -eq/Euro	422	408	335	282	241	206	-3,2	-3,4	-3,1	-3,2
THG-Emissionen/Einwohner	t CO <sub>2</sub> -eq/Kopf	11,7	11,2	9,9	8,8	7,9	7,2	-2,4	-2,3	-2,0	-2,2



Tabelle 6-1 gibt eine Übersicht über den Referenzlauf, im Falle PANTA RHEI ist dieser Lauf an die Referenz der Energieszenarien für das Energiekonzept mit integrierter Laufzeitverlängerung angelehnt<sup>1</sup>.

Tabelle 6-2 zeigt den Verlauf wichtiger sozioökonomischer Rahmendaten im Referenzfall im ASTRA Modell.

**Tabelle 6-2: Überblick über die Entwicklung wichtiger Größen in ASTRA**

	Einheit	Absolutwerte						% p.a.			
		2008	2010	2015	2020	2025	2030	2008-2015	2015-2020	2020-2030	2008-2030
<b>Internationale Preise</b>											
Ölpreis	USD <sub>2008</sub> /bbl	93.0	80.4	73.4	98.1	117.2	134.9	-3.3%	6.0%	3.2%	1.7%
<b>Sozioökonomische Rahmendaten</b>											
Bevölkerung (Einwohner)	Mio.	82.6	82.7	82.7	82.4	81.8	81.1	0.0%	-0.1%	-0.2%	-0.1%
Anzahl der Privathaushalte	Mio.	40.1	40.1	40.1	40.0	39.7	39.4	0.0%	-0.1%	-0.2%	-0.1%
Bruttoinlandsprodukt	Mrd. Euro <sub>2000</sub>	2,298	2,386	2,515	2,671	2,780	2,915	1.3%	1.2%	0.9%	1.1%
PKW-Bestand	Mio.	45.0	45.8	47.3	48.0	48.5	48.6	0.7%	0.3%	0.1%	0.3%
Personenverkehrsleistung insg.	Mrd. Pkm	1,239	1,265	1,305	1,330	1,344	1,346	0.7%	0.4%	0.1%	0.4%
Güterverkehrsleistung insg.	Mrd. Tkm	492	523	540	547	569	594	1.3%	0.3%	0.8%	0.9%
<b>Preise Haushalte (inkl. MwSt.)</b>											
Heizöl, leicht	Cent/l	61.4	65.8	66.4	66.9	75.0	83.1	1.1%	0.2%	2.2%	1.4%
Erdgas	Cent/kWh	10.2	11.0	11.6	14.3	16.4	18.2	1.9%	4.2%	2.4%	2.7%
Strom	Euro/kWh	0.188	0.195	0.191	0.187	0.187	0.187	0.2%	-0.4%	0.0%	0.0%
Benzin	Euro/l	1.514	1.404	1.376	1.635	1.832	2.018	-1.3%	3.5%	2.1%	1.3%
<b>Effizienzindikatoren</b>											
PEV pro Kopf	GJ/Kopf	189	187	183	179	178	179	-0.5%	-0.4%	0.0%	-0.3%
BIP/PEV	Euro <sub>2000</sub> /MJ	140	145	156	168	178	185	1.6%	1.5%	1.0%	1.3%
Personen-km/EEV Verkehr	Mio. Pkm/GJ	508	520	563	617	660	704	1.5%	1.9%	1.3%	1.5%
Tonnen-km/EEV Verkehr	Mio. Tkm/GJ	521	523	530	573	618	663	0.2%	1.6%	1.5%	1.1%

Allerdings soll der Modellvergleich auch der Einordnung der Ergebnisse der Untersuchung „Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte“ dienen. Daher werden zu den wichtigsten exogenen Größen der dort verwendeten Szenarien übergeordnete Modellexperimente durchgeführt. Diese wichtigen Größen sind die internationalen Preise für fossile Energieimporte (am Beispiel des Ölpreises in Modellexperiment I), eine Zunahme deutscher Exporte der Hauptexportbranchen (Maschinenbau, Elektrogeräte, Fahrzeuge und Chemie in Modellexperiment II) und eine Zunahme der Bau- und Ausrüstungsinvestitionen in Modellexperiment III. Die Modellexperimente, ihre Ergebnisse und ihre Abgrenzung zu den Ergebnissen in „Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte“ werden im Folgenden ausgeführt.

<sup>1</sup> Die aktuelle Diskussion um die Laufzeiten und das Moratorium sind derzeit nicht enthalten.



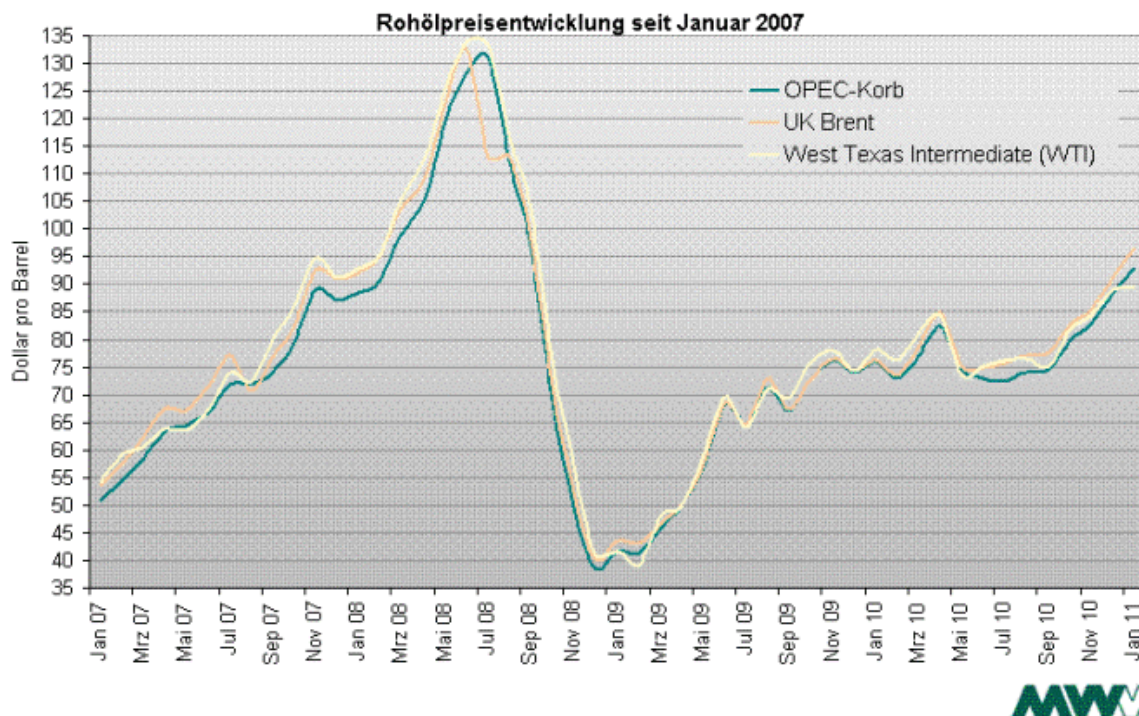
### 6.1.1 MODELLEXPERIMENT I: ANHEBUNG DES INTERNATIONALEN ÖLPREISNIVEAUS

Die Entwicklung des Ölpreises beeinflusst die ökonomische Entwicklung auf vielfältige Weise. Direkt verändert sie die Stückkosten im Umwandlungsbereich, die sich – im Falle eines Preisanstiegs - in einer Verteuerung von Heizöl, Schweröl, Diesel und Benzin niederschlagen. Indirekt verändern diese Produkte die Stückkosten in der Herstellung nahezu aller Güter und die Transportkosten. Außerdem stimuliert die Erwartung steigender Ölpreise die Investitionsneigung für Effizienztechnologien.

Die Haushalte wiederum geben mehr für Energie in Raumwärme und Transport aus, wobei sich Preisänderungen hier wie dort teilweise mit starker Verzögerung durchsetzen. Diese Ausgaben entfallen für andere Bereiche und wirken so auf andere Güter- und Dienstleistungsbereiche fort.

In der Vergangenheit war der Rohölmarkt phasenweise von erheblichen Preissprüngen gekennzeichnet. Den Höchststand markierte der Ölpreis im Jahr 2008, als er erstmals die 150\$/bbl-Marke erreichte. Bereits damals wurde auch ein Überschreiten der 250\$/bbl Marke für möglich gehalten. Allerdings fiel der Ölpreis zunächst durch die Wirtschafts- und Finanzkrise und die damit einhergehende einbrechende Nachfrage zeitweise auf 40\$/bbl und im Durchschnitt auf 61\$/bbl in 2009 (Abbildung 6-2).

**Abbildung 6-2: Monatliche Rohölpreisentwicklung seit Januar 2007 in \$/bbl nach Mineralölwirtschaftsverband.**

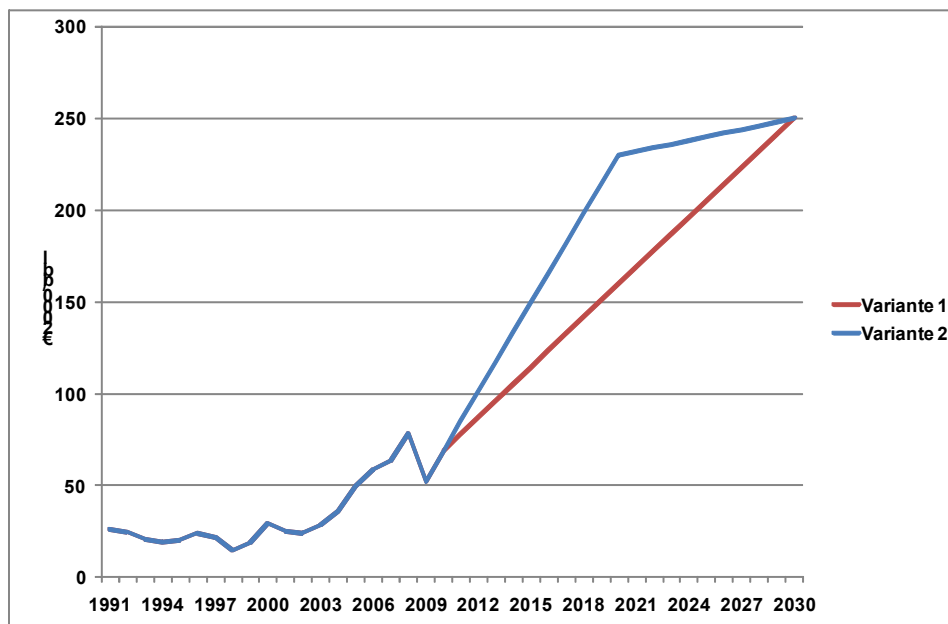


Die IEA (2010) geht im World Energy Outlook 2010 von einem Anstieg des Ölpreises verglichen mit 2009 in allen Szenarien außer dem 450 ppm Szenario aus. Im „New Policies“ Szenario, in dem bereits erhebliche Effizienzanstrengungen implementiert sind, steigt der Preis nominal auf 204,1 \$/bbl, real in Preisen von 2009 liegt er bei 113 \$/bbl in 2035. Im „Current Policies“ Szenario steigt der Ölpreis auf 243,8 \$/bbl oder 135,0 \$2009/bbl. Modellhafte Rechnungen, in denen ein weltweites Überschreiten des Fördermaximums simuliert wurde, weisen noch erheblich höhere Steigerungen auf (Lehr et al. 2011b).

In „Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte“ werden zwei Preispfade analysiert, die allerdings eine synchronisierte Anhebung von Öl- und Gaspreisen beinhalten. Im Preispfad A steigt der Ölpreis auf etwas mehr als das Doppelte von 2009 an und liegt somit etwa in der Größenordnung von IEA(2010) „Current Policies“. Der Preispfad B hingegen verläuft gemäßiger und bleibt mit dem ca. 1,7 fachen des Werts aus 2009 in ähnlicher Größenordnung wie das „New Policies“ Szenario der IEA.

Im Modellexperiment I wurde der Importpreis für Rohöl bis 2030 auf 250 €2000/bbl langfristig angehoben. Diese Anhebung erfolgt auf zwei Arten. In der Variante 1 ergibt sich ein linearer Ölpreisanstieg bis 2030, in der Variante 2 steigt der Preis bis 2020 auf 230 €2000/bbl und dann langsamer bis 2030 auf 250 €2000/bbl (Abbildung 6-3).

**Abbildung 6-3: Ölpreisanstieg in 2 Varianten (€2000/bbl)**



In der Variante 2 verdoppelt sich der Ölpreis gegenüber 2009 bis 2014, in der Variante 1 sogar schon nach 2012. Insgesamt stellt die Zielgröße von 250€2000/bbl fast eine Verfünffachung des Ölpreises dar. Eine derartige Steigerung führt zu vielfachen Anpassungsreaktionen in der Volkswirtschaft<sup>1</sup>.

#### 6.1.1.1 Reaktionen in PANTA RHEI

Das Bruttoinlandsprodukt fällt im Jahr 2030 um 6,9% niedriger aus als in der Referenz. Die Erwerbstätigen gehen zwischen 2020 und 2025 um über eine Million zurück, die Zahl der Erwerbslosen steigt in 2030 um mehr als 800.000. Alle Komponenten des BIP sind negativ betroffen: am stärksten gehen der private Konsum und die Ausrüstungsinvestitionen zurück.

<sup>1</sup> Die Verfünffachung des Ölpreises darf nicht als Szenario interpretiert werden. Ein Szenario „Extremer Ölpreis“ müsste erhebliche Anpassungen vorwegnehmen und beinhalten sowie die Preise von Substituten nicht unberührt lassen.

**Tabelle 6-3: PANTA RHEI: Die wichtigsten Größen im Überblick in Abweichung zur Referenz – Variante 1**

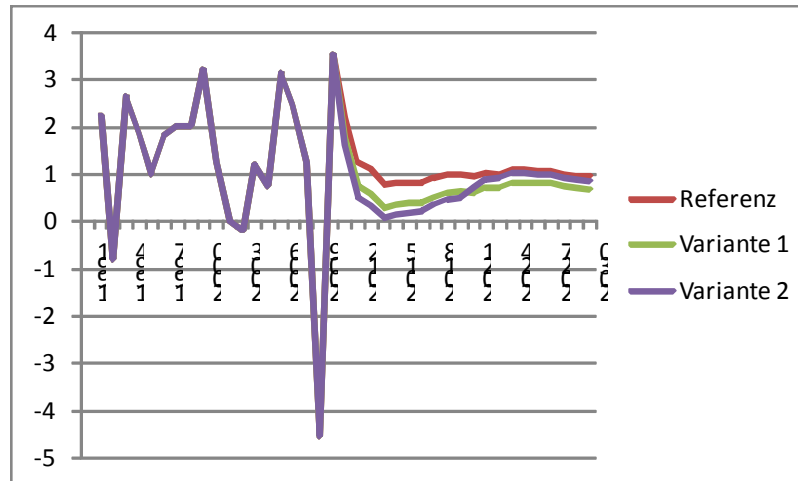
Oelpreis linear auf 250 Dollar 2000 bbl - S0: Referenz UBA PANTA RHEI	Absolutwerte					Abweichung in %				
	2011	2015	2020	2025	2030	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Komponenten des preisbereinigten BIP</b>	Abweichungen in Mrd. €									
Bruttoinlandsprodukt	-9,3	-56,8	-107,7	-150,0	-191,4	-0,4	-2,4	-4,3	-5,7	-6,9
Privater Konsum	-4,6	-27,3	-51,0	-69,4	-86,3	-0,4	-2,1	-3,9	-5,3	-6,4
Staatskonsum	-0,7	-3,4	-5,9	-7,4	-8,0	-0,2	-0,8	-1,3	-1,6	-1,7
Ausrüstungen	-1,2	-8,3	-15,2	-20,8	-26,1	-0,5	-3,0	-5,2	-6,6	-7,7
Bauten	-0,3	-1,9	-2,5	-2,8	-3,4	-0,2	-0,9	-1,2	-1,4	-1,8
Exporte	-2,2	-13,7	-28,0	-41,2	-55,3	-0,2	-1,0	-1,8	-2,4	-2,8
Importe	-0,3	-0,4	1,4	4,0	7,9	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5
<b>Preisindizes</b>	Abw. in Prozentpunkten									
Privater Konsum	0,66	3,41	6,10	7,98	9,51	0,57	2,86	4,92	6,16	7,02
Produktion	0,54	3,06	5,73	7,68	9,34	0,49	2,67	4,77	6,11	7,03
Importe	1,01	4,32	7,07	8,36	8,86	1,03	4,24	6,65	7,55	7,74
<b>Staatshaushalt in jeweiligen Preisen</b>	Abweichungen in Mrd. €									
Finanzierungssaldo	-3,3	-9,5	-15,6	-21,0	-28,0	18,8	43,6	167,9	-1443,4	-140,6
Staatskonsum	0,0	0,5	1,2	1,7	2,6	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4
Monetäre Sozialleistungen	1,7	10,6	20,8	29,9	39,8	0,4	2,3	4,2	5,6	6,7
Gütersteuern	1,0	4,4	8,2	11,2	14,0	0,4	1,6	2,9	3,9	4,6
Einkommen- und Vermögenssteuern	-1,2	-5,8	-11,3	-16,4	-21,9	-0,5	-2,1	-3,8	-5,1	-6,3
<b>Arbeitsmarkt</b>	absolute Abweichungen									
Erwerbstätige (Inland) in 1000	-66	-507	-916	-1151	-1305	-0,2	-1,3	-2,3	-3,0	-3,5
Erwerbslose in 1000	31	308	569	720	818	1,0	10,7	20,8	27,7	42,4
<b>Einkommen der pr. Haushalte in jew. Pr.</b>	Abweichungen in Mrd. €									
Verfügbares Einkommen	-1,9	-17,2	-37,9	-58,9	-82,6	-0,1	-1,0	-2,1	-3,1	-4,0
Empfangene Arbeitnehmerentgelte	-1,3	-3,7	-8,4	-13,8	-20,6	-0,1	-0,3	-0,6	-0,9	-1,2
Empfangene Vermögenseinkommen	-4,3	-23,3	-45,5	-66,7	-90,0	-1,0	-4,9	-8,7	-11,8	-15,0

**Tabelle 6-4: PANTA RHEI: Die wichtigsten Größen im Überblick in Abweichung zur Referenz – Variante 2**

Oelpreis bis 2020 auf 230 Dollar 2000 bbl - S0: Referenz UBA PANTA RHEI	Absolutwerte					Abweichung in %				
	2011	2015	2020	2025	2030	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Komponenten des preisbereinigten BIP</b>	Abweichungen in Mrd. €									
Bruttoinlandsprodukt	-13,6	-81,6	-152,7	-174,5	-194,4	-0,6	-3,4	-6,1	-6,6	-7,0
Privater Konsum	-6,6	-38,8	-71,5	-80,8	-88,0	-0,5	-3,0	-5,5	-6,1	-6,5
Staatskonsum	-1,0	-4,9	-8,3	-8,4	-7,9	-0,2	-1,1	-1,8	-1,8	-1,7
Ausrüstungen	-1,8	-11,7	-20,9	-23,7	-26,4	-0,7	-4,3	-7,2	-7,6	-7,8
Bauten	-0,5	-2,7	-3,5	-2,7	-3,0	-0,2	-1,3	-1,7	-1,4	-1,6
Exporte	-3,2	-19,2	-38,8	-47,6	-56,0	-0,3	-1,4	-2,6	-2,8	-2,9
Importe	-0,3	0,6	4,3	6,3	8,5	0,0	0,1	0,4	0,5	0,6
<b>Preisindizes</b>	Abw. in Prozentpunkten									
Privater Konsum	0,95	4,80	8,52	9,23	9,62	0,83	4,04	6,87	7,13	7,10
Produktion	0,78	4,34	8,05	8,85	9,34	0,71	3,78	6,71	7,04	7,03
Importe	1,46	6,24	10,11	9,75	9,16	1,49	6,12	9,50	8,81	8,01
<b>Staatshaushalt in jeweiligen Preisen</b>	Abweichungen in Mrd. €									
Finanzierungssaldo	-4,8	-14,0	-22,8	-22,9	-27,3	27,5	64,2	245,3	-1571,0	-137,1
Staatskonsum	0,0	0,8	1,6	2,0	2,7	0,0	0,1	0,3	0,3	0,4
Monetäre Sozialleistungen	2,4	15,0	29,1	34,6	40,3	0,6	3,3	5,9	6,4	6,8
Gütersteuern	1,5	6,2	11,4	12,6	13,6	0,6	2,3	4,1	4,3	4,4
Einkommen- und Vermögenssteuern	-1,8	-8,6	-16,6	-19,0	-22,0	-0,7	-3,1	-5,6	-5,9	-6,4
<b>Arbeitsmarkt</b>	absolute Abweichungen									
Erwerbstätige (Inland) in 1000	-96	-724	-1287	-1344	-1337	-0,2	-1,8	-3,3	-3,5	-3,6
Erwerbslose in 1000	45	439	799	848	842	1,5	15,2	29,3	32,6	43,7
<b>Einkommen der pr. Haushalte in jew. Pr.</b>	Abweichungen in Mrd. €									
Verfügbares Einkommen	-2,8	-25,7	-56,1	-70,4	-85,0	-0,2	-1,5	-3,2	-3,7	-4,1
Empfangene Arbeitnehmerentgelte	-1,9	-5,8	-13,2	-16,7	-21,4	-0,2	-0,4	-0,9	-1,1	-1,2
Empfangene Vermögenseinkommen	-6,2	-34,0	-66,1	-76,4	-89,8	-1,4	-7,1	-12,6	-13,5	-15,0

Tabelle 6-1 zeigt eine Übersicht über die Variante 2, bei der der Anstieg zunächst erheblich steiler verläuft. Die Effekte des linearen Verlaufs wiederholen sich, allerdings erholt sich am Ende des Beobachtungszeitraums das Wachstum schneller als im linearen Fall

**Abbildung 6-4: PANTA RHEI: Wachstumsraten des BIP in den verschiedenen Varianten**



Diese Effekte liegen in geringerem Ausmaß den Szenarien in „Erneuerbare Energie: Arbeitsplatzeffekte“ zugrunde durch die Szenarienrechnungen bei zwei verschiedenen Energiepreispfaden. Allerdings wirken sich dort der Anstieg der Gas- und Steinkohlepreise positiv auf die Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien aus, da Gas und Steinkohle in der fossilen Stromerzeugung eingesetzt werden. Diese Effekte lassen sich in der vorliegenden Analyse nicht beobachten.

#### 6.1.1.2 Reaktionen in ASTRA

Die Auswirkungen eines starken Anstiegs des Ölpreises in beiden Szenarien des ersten Modellexperiments sind vielfältig. Die Simulationen mit ASTRA im Rahmen des Projekts *HOP! – Macro-economic impacts of high oil prices* (Schade/Fiorello et al. 2009) haben bereits gezeigt, dass steigende Ölpreise auch eine stimulierende Wirkung auf die Wirtschaft in Form eines beschleunigten Technologiewandels und induzierten Investitionen in Effizienztechnologien haben kann. Diese Einschätzung wird von vielen Experten geteilt (z.B. Lovins et al. 2004). Im Gegensatz zum HOP! Projekt wurde für dieses Modellexperiment jedoch nicht angenommen, dass entstehende Gewinne durch die hohen Ölpreise abgeschöpft und in staatliche Förderung von Investitionen in alternative und effizienzsteigernde Technologien umgemünzt werden. Das reale Bruttoinlandsprodukt in ASTRA sinkt daher stärker als in HOP! um 3,3% im Vergleich zum Referenzfall (siehe Tabelle 6-5). Angesichts einer deutlichen Steigerung des Ölpreises auf 250 €<sub>2000</sub> pro Barrel mutet der Verlust moderat an. Zunächst dominieren die negativen Auswirkungen der Ölpreisteigerung. Die Herstellung und der Transport von Produkten verteuern sich, private Haushalte müssen trotz verringerter jährlicher Kilometer-Leistung mehr für Mobilität und Energie ausgeben. Dieses Geld fehlt an anderer Stelle. Mit abnehmendem BIP-Wachstum und 660 Tausend Personen weniger in Beschäftigung bis 2015 sinkt ebenfalls das verfügbare Einkommen um 3,2%. Der Konsum sinkt dadurch weiter um 3,3% im Vergleich zum Referenzfall.

Auf Seite der Unternehmen zeigt sich zunächst eine geringere Investitionstätigkeit. Exporte gehen in Folge der Verteuerung der Produkte und des Transports um 5,8% bis 2030 zurück. Da ASTRA im Außenhandelsmodul die Reaktion aller europäischen Länder auf die Ölpreissteigerung simuliert, ergibt sich zusätzlich eine schwächere Nachfrage nach deutschen Produkten im Ausland. Die geringeren Verluste bei Importen sind jedoch ein Indiz dafür, dass Deutschland in Europa eine vergleichsweise bessere Ausgangslage für ein solches Szenario hat und sich insgesamt schneller an die veränderten Rahmenbedingungen anpassen kann.

Steigende Benzinpreise bewirken im ASTRA Modell neben der Nachfrageänderung auf Seiten der Mobilität noch weitere Änderungen. Zum einen werden Fahrzeugtechnologien zur Steigerung der Effizienz konventioneller Antriebe stärker nachgefragt. Zum anderen lässt sich eine allgemein abnehmende Nachfrage nach Fahrzeugen mit konventionellem Verbrennungsmotor beobachten. Diese beiden Effekte bewirken bis 2015 eine stärkere Investitionstätigkeit in Effizienztechnologien und Alternativen zu konventionellen Antrieben. Zunächst zeigt sich das in Form steigender Investitionen in Forschung und Entwicklung, nach einigen Jahren in Form zusätzlicher Bau- und Ausrüstungsinvestitionen. ASTRA induziert dadurch keine Entwertung des bestehenden Produktionskapitals, da für große Teile der Fahrzeugproduktion das bestehende Produktionskapital weiterhin benötigt wird. Erdgas, dessen Preis weniger stark steigt, gewinnt als Energieträger für den Verkehr an Bedeutung. Batterieelektrische Fahrzeugen sind trotz hoher Batterie-Kosten deutlich früher wettbewerbsfähig. Die schnellere Diffusion alternativer Technologien induziert weitere Investitionen in diese Technologien. Strukturell lässt sich dadurch ein Wandel in der Wertschöpfungskette beobachten. Elektronik und chemische Industrie gewinnen an Bedeutung. Sinkende Investitionen im Bausektor werden teilweise kompensiert durch Investitionen in Infrastruktur für neue Verkehrstechnologien. Zusätzliche Ausrüstungsinvestitionen in den Bereichen Elektronik und Chemie bewirken in ASTRA eine Kompensation der negativen Effekte des starken Ölpreisanstiegs.

Die negativen Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt können durch die positiven Effekte eines effizienteren Verkehrssystems bzw. eines Technologiewandels nicht kompensiert werden. Der strukturelle Wandel zeigt sich in ASTRA auf dem Arbeitsmarkt durch eine Substitution von vielen, gering qualifizierte durch wenige, höher qualifizierte Arbeitskräfte. Der deutliche Verlust an Erwerbstätigen spiegelt diese Reaktion in ASTRA wider.



**Tabelle 6-5: ASTRA: Die wichtigsten Größen im Überblick in Abweichung zur Referenz – Variante 1**

Linearer Anstieg des Ölpreises bis 2030 auf 250 € <sub>2000</sub> /bbl	Abweichungen, absolut					Abweichung, relativ				
	2011	2015	2020	2025	2030	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Ökonomische Indikatoren</b>	in Mrd. € <sub>2000</sub>					in %				
BIP	-22.6	-51.3	-51.4	-65.2	-95.4	-0.9%	-2.0%	-1.9%	-2.3%	-3.3%
Privater Konsum	-8.2	-40.8	-42.7	-41.0	-55.8	-0.7%	-3.3%	-3.2%	-3.0%	-3.9%
Staatskonsum	-1.0	-3.2	-3.3	-4.0	-4.7	-0.3%	-0.8%	-0.8%	-1.0%	-1.1%
Investitionen	-12.2	0.7	8.6	1.3	-8.5	-2.4%	0.1%	1.5%	0.2%	-1.4%
Exporte	-1.4	-16.9	-34.3	-53.4	-68.0	-0.2%	-2.0%	-3.5%	-5.0%	-5.8%
Importe	-0.3	-8.8	-20.3	-31.8	-41.5	-0.1%	-1.7%	-3.5%	-4.9%	-5.8%
Erwerbstätige [in 1000]	-169	-664	-611	-706	-794	-0.5%	-2.0%	-1.9%	-2.3%	-2.7%
Verfügbares Einkommen	-12.9	-47.2	-50.3	-48.1	-68.2	-0.9%	-3.2%	-3.2%	-3.0%	-4.0%
Finanzierungssaldo	-1.1	-8.2	-10.2	-13.7	-17.0	0.6%	4.3%	6.1%	9.2%	13.8%
Motorisierung [in Mio. Pkw]	-0.5	-1.1	-1.7	-1.9	-2.0	-1.2%	-4.0%	-4.2%	-3.8%	-2.7%

Die Simulationsergebnisse des ASTRA Modells zeigen, dass die positiven Auswirkungen des Technologiewandels die negativen Einflüsse des stark steigenden Ölpreises zwar nicht ausgleichen können, diese jedoch deutlich abbremsen. Nicht berücksichtigt wurde auch die in der Vergangenheit bei steigenden Ölpreisen steigende Nachfrage nach Investitionsgütern aus ölexportierenden Ländern, die zu steigenden Ausfuhren aus Deutschland führte. Diese hätte noch als zusätzlicher exogener Exportimpuls eingeführt werden können.

Tabelle 6-6 zeigt die Auswirkungen eines sehr starken Anstiegs des Ölpreises auf 230 €<sub>2000</sub> pro Barrel bis 2020 und auf 250 €<sub>2000</sub> pro Barrel bis 2030 im Vergleich zum Referenzfall. Der nochmals beschleunigte Preisanstieg zeigt eine Art Schockwirkung bis 2015. Das Bruttoinlandsprodukt sinkt um 2,8% im Vergleich zum Referenzfall. Der Konsum privater Haushalte ist über 4,1% geringer, Exporte sinken gar um 6,7%. Eine Million Menschen weniger sind erwerbstätig. Die bereits in der ersten Variante des ersten Modellexperiments erkennbaren Entwicklungen hinsichtlich eines Technologiewandels zeigen sich noch stärker in dieser Variante. Ein starker Anstieg der Investitionen in neue Technologien zeigt sich in einer Erholung des BIP zwischen 2020 und 2030. ASTRA zeigt, dass das BIP mit 1,6% weniger stark sinkt, als bei einem linearen Verlauf des Ölpreisanstiegs. Dieser Effekt konnte in der Vergangenheit auch bereits beobachtet werden. Überschreitet der Preisanstieg von Mineralöl eine gewisse Grenze, dann bewirkt dies eine Verhaltensänderung der Konsumenten in ASTRA. Diese Reaktionen können eine geringere individuelle Mobilität sein, eine veränderte Verkehrsmittelwahl oder ein Wechsel zu Fahrzeugen mit alternativen Antrieben. Die starken Anstiege der Benzinpreise beispielsweise im Jahr 2005 und besonders in 2008 haben diesen Zusammenhang bereits in der Realität erkennen lassen. In beiden Jahren sanken die gefahrenen Personenkilometer bei Pkws.

**Tabelle 6-6: ASTRA: Die wichtigsten Größen im Überblick in Abweichung zur Referenz – Variante 2**

Linearer Anstieg des Ölpreises bis 2020 auf 230 und danach auf 250 €2000 /bbl bis 2030	Abweichungen, absolut					Abweichung, relativ				
	2011	2015	2020	2025	2030	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Ökonomische Indikatoren</b>	in Mrd. € <sub>2000</sub>					in %				
BIP	-30.5	-75.7	-75.2	-64.0	-90.0	-1.3%	-3.0%	-2.8%	-2.3%	-3.1%
Privater Konsum	-10.9	-52.3	-53.8	-43.5	-55.9	-0.9%	-4.2%	-4.1%	-3.2%	-3.9%
Staatskonsum	-1.1	-4.2	-4.7	-4.2	-4.0	-0.3%	-1.0%	-1.2%	-1.0%	-1.0%
Investitionen	-16.7	-4.2	10.0	13.2	-1.0	-3.3%	-0.8%	1.8%	2.3%	-0.2%
Exporte	-2.4	-30.7	-65.2	-78.5	-77.4	-0.3%	-3.7%	-6.7%	-7.4%	-6.6%
Importe	-0.5	-15.8	-38.4	-49.0	-48.4	-0.1%	-3.1%	-6.6%	-7.6%	-6.8%
Erwerbstätige [in 1000]	-205	-1028	-1000	-788	-711	-0.6%	-3.1%	-3.1%	-2.5%	-2.4%
Verfügbares Einkommen	-17.1	-60.8	-63.5	-50.6	-68.1	-1.2%	-4.1%	-4.1%	-3.1%	-4.0%
Finanzierungssaldo	1.6	-4.0	-7.4	-13.3	-12.6	-0.8%	2.1%	4.4%	9.0%	10.2%
Motorisierung [in Mio. Pkw]	-0.7	-2.5	-2.7	-1.7	-0.7	-1.4%	-5.4%	-5.6%	-3.4%	-1.4%

### 6.1.2 MODELLEXPERIMENT II: ANHEBUNG DER EXPORTE

Exporte sind ein wesentlicher Pfeiler der deutschen Wirtschaftsentwicklung. In „Erneuerbare Energie: Arbeitplatzeffekte“ wurden, wie auch bereits in den früheren Studien Staiß et al. (2006) und Kratzat et al. (2007), die Beschäftigungswirkungen verschiedener Exportszenarien im Bereich der EE-Technologien ausführlich analysiert. Da sich die Modellierung der Wirtschaftsbereiche, die Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien und deren Komponenten und Vorleistungen produzieren, in den Modellen ASTRA und PANTA RHEI erheblich unterscheidet, wurde ein alternatives Exportszenario entwickelt, das die Modellergebnisse besser vergleichbar macht. Unterstellt wird in diesem Szenario eine Anhebung der Exporte in den vier wichtigsten exportierenden Wirtschaftsbereichen um 5% gegenüber 2008 bis 2014 und ein Verharren der zusätzlichen Exporte auf diesem Niveau in den Folgejahren. Insgesamt spiegelt dies einen Mehrexport von gut 20 Mrd. €2000 pro Jahr wider. In „Erneuerbare Energie: Arbeitplatzeffekte“ wurden unterschiedliche Exportszenarien für EE-Technologien in der Größenordnung zwischen 30 und 48 Mrd. €2007 in 2030 errechnet.

#### 6.1.2.1 Reaktionen in PANTA RHEI

Im vorliegenden Modellexperiment werden die Exporte in den wichtigsten Wirtschaftsbereichen, auf die die meisten Exporte entfallen, nach dem beschriebenen Profil angehoben. Tabelle 6-7 zeigt einen Überblick über die wichtigsten Effekte in PANTA RHEI. Insgesamt entfalten zusätzliche Exporte positive gesamtwirtschaftliche Effekte. Das Bruttoinlandsprodukt wäre im Jahr 2030 preisbereinigt um 26 Mrd. Euro oder 0,7 % höher als in der Referenz. Der Zuwachs verteilt sich fast hälftig auf den Außenhandel (Exportdifferenz minus Importdifferenz) und die heimischen Komponenten des BIP (Konsum und Investitionen). Die Wachstumsdifferenz schlägt sich auf alle Modellgrößen nieder. Auf dem Arbeitsmarkt liegt die Beschäftigung um mehr als 110 Tausend Erwerbstätige höher, in der Spitze im Jahr 2015 sogar fast 160 Tausend höher. Dieser Effekt schlägt sich zu etwa 2/3 in niedrigerer Erwerbslosigkeit nieder, 1/3 wird durch eine geringere Stille Reserve (höhere Erwerbstätigkeit vor allem von Frauen, Älteren etc.) abgefangen. Der jährliche



Finanzierungssaldo des Staates würde im Jahr 2030 um über 20 Mrd. Euro höher ausfallen (bei unterstelltem unverändertem Ausgabeverhalten).

**Tabelle 6-7: PANTA RHEI: Die wichtigsten Größen im Überblick zum Vergleich angehobener Exporte mit der Referenz**

Exporte anheben S0: Referenz UBA PANTA RHEI	Absolutwerte					Abweichung in %				
	2011	2015	2020	2025	2030	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Komponenten des preisbereinigten BIP</b>	Abweichungen in Mrd. €									
Bruttoinlandsprodukt	14,4	19,7	18,4	18,7	18,5	0,6	0,8	0,7	0,7	0,7
Privater Konsum	3,7	7,6	6,8	6,7	6,5	0,3	0,6	0,5	0,5	0,5
Staatskonsum	0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1
Ausrüstungen	2,4	2,8	2,2	2,4	2,4	0,9	1,0	0,8	0,8	0,7
Bauten	1,1	0,6	0,3	0,4	0,3	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2
Exporte	17,4	24,6	24,9	25,7	26,1	1,4	1,8	1,6	1,5	1,3
Importe	10,3	15,6	15,4	16,1	16,4	0,9	1,4	1,2	1,2	1,1
<b>Preisindizes</b>	Abw. in Prozentpunkten									
Privater Konsum	-0,06	-0,11	-0,08	-0,06	-0,05	-0,06	-0,09	-0,06	-0,05	-0,04
Produktion	-0,08	-0,09	-0,04	-0,02	-0,01	-0,07	-0,08	-0,03	-0,02	-0,01
Importe	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06
<b>Staatshaushalt in jeweiligen Preisen</b>	Abweichungen in Mrd. €									
Finanzierungssaldo	5,2	4,3	3,8	4,0	4,0	-29,9	-19,6	-41,0	271,8	20,0
Staatskonsum	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Monetäre Sozialleistungen	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
Gütersteuern	0,9	1,4	1,3	1,4	1,4	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5
Einkommen- und Vermögenssteuern	2,0	2,9	2,7	2,7	2,7	0,7	1,0	0,9	0,8	0,8
<b>Arbeitsmarkt</b>	absolute Abweichungen									
Erwerbstätige (Inland) in 1000	123	158	140	129	116	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3
Erwerbslose in 1000	-61	-101	-89	-81	-74	-2,0	-3,5	-3,3	-3,1	-3,8
<b>Einkommen der pr. Haushalte in jew. Pr.</b>	Abweichungen in Mrd. €									
Verfügbares Einkommen	5,8	12,2	11,9	12,4	13,0	0,4	0,7	0,7	0,7	0,6
Empfangene Arbeitnehmerentgelte	4,5	9,9	9,6	10,1	10,7	0,4	0,7	0,7	0,7	0,6
Empfangene Vermögenseinkommen	4,8	4,7	4,2	4,3	4,2	1,1	1,0	0,8	0,8	0,7

### 6.1.2.2 Reaktionen in ASTRA

Im zweiten Modellexperiment wurden in ASTRA exogen die Exporte für die vier stärksten Außenhandels-Wirtschaftszweige (Chemie, Maschinenbau, Elektronik und Fahrzeugproduktion) um 5% erhöht. Zwischen 2011 und 2014 steigen die Exporte dieser Sektoren um 5% an und verbleiben bis 2030 auf diesem höheren Niveau. Das Bruttoinlandsprodukt steigt im Vergleich zum Referenzfall um 0,9% bis 2030. Das steigende Bruttoinlandsprodukt bewirkt ebenfalls eine Steigerung des verfügbaren Einkommens der privaten Haushalte und des Konsums um 0,8% bzw. 0,7%. Die steigende Endnachfrage zeigt sich auch auf dem Arbeitsmarkt. ASTRA schätzt die Steigerung der Beschäftigung mit ca. 230 Tausend Erwerbstätigen mehr als im Referenzfall ab.

**Tabelle 6-8: ASTRA: Die wichtigsten Größen im Überblick zum Vergleich angehobener Exporte mit der Referenz**

Exporte anheben	Abweichungen, absolut					Abweichung, relativ				
	2011	2015	2020	2025	2030	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Ökonomische Indikatoren</b>	in Mrd. € <sub>2000</sub>					in %				
BIP	2.9	16.9	21.2	23.4	26.9	0.1%	0.7%	0.8%	0.8%	0.9%
Privater Konsum	0.1	4.3	8.1	9.3	10.7	0.0%	0.3%	0.6%	0.7%	0.7%
Staatskonsum	0.0	0.4	0.6	0.7	0.8	0.0%	0.1%	0.2%	0.2%	0.2%
Investitionen	0.0	1.6	1.9	1.9	2.5	0.0%	0.3%	0.3%	0.3%	0.4%
Exporte	3.6	23.6	27.6	30.6	34.0	0.5%	2.8%	2.9%	2.9%	2.9%
Importe	0.8	13.1	17.1	19.1	21.1	0.2%	2.6%	2.9%	2.9%	3.0%
Erwerbstätige [in 1000]	10	191	259	244	231	0.0%	0.6%	0.8%	0.8%	0.8%
Verfügbares Einkommen	0.2	5.6	9.6	11.0	12.7	0.0%	0.4%	0.6%	0.7%	0.8%
Finanzierungssaldo	0.3	5.9	9.7	11.1	12.6	-0.1%	-3.1%	-5.8%	-7.5%	-10.2%
Motorisierung [in Mio. Pkw]	0.0	20.0	96.0	108.3	121.5	0.0%	0.0%	0.2%	0.2%	0.2%

### 6.1.3 MODELLEXPERIMENT III: ANHEBUNG DER INVESTITIONEN

Die dritte Stellgröße der Studie „Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte“ sind die inländischen Investitionen in erneuerbare Energien. Die dort unterstellten Investitionen sind der Leitstudie 2009 (Nitsch und Wenzel 2010) entnommen und in gleicher Höhe auch in die Energieszenarien für das Energiekonzept (bis 2020) eingeflossen. Da darüber hinaus in diesem zielorientierten Szenario die Verpflichtungen der Bundesregierung gegenüber den EU-Zielen für erneuerbare Energien erreicht sind, ist weder ein Anheben noch ein Absenken dieser Investitionen im Rahmen des Modellvergleichs plausibel zu begründen. Um die Reaktionen des Modells zu testen, werden Bau- und Ausrüstungsinvestitionen insgesamt in der Größenordnung von 10 Mrd. €<sub>2000</sub> angehoben, wobei zunächst die Ausrüstungsinvestitionen überwiegen und ab 2025 die Bauinvestitionen fast gleichauf liegen. In der Größenordnung entspricht dies in etwa den zusätzlichen Investitionen in erneuerbare Energien gegenüber einem NULL-Szenario (Lehr et al. 2011a).

#### 6.1.3.1 Reaktionen in PANTA RHEI

Erwartungsgemäß führt eine Anhebung der Investitionen unmittelbar zu positiven gesamtwirtschaftlichen Effekten, solange in einer offenen Volkswirtschaft ausreichend Ersparnis zur Verfügung steht und die Verdrängung anderer Investitionen (sog. Crowding out) gering bleibt. Dies ist für Deutschland als Bestandteil des Euroraums anzunehmen. Dabei führt die Erhöhung der Ausrüstungsinvestitionen jedoch auch zu einer deutlichen Erhöhung der Importe, da sich zum einen Produktionsstrukturen nur langsam anpassen, zum anderen ein Teil der Investitionsgüter sowie ein Teil der zusätzlich angestoßenen Produktion aus dem Ausland kommt. Die erhöhten Ausrüstungsinvestitionen führen in den Folgejahren zu vermehrten Abschreibungen, was zu Kosten- und Preissteigerungen führt. Langfristig schwächen sich die positiven Effekte dadurch ab. Die Beschäftigung steigt aus demselben Grund zunächst deutlicher an, im Zeitablauf machen sich die vermehrten Investitionen auch in Form von Produktivitätsfortschritten bemerkbar und die positiven Auswirkungen auf die Beschäftigung nehmen ab.

Der Beschäftigungsanstieg macht sich längerfristig auch in einem Anstieg der Lohnkosten und Preisanstiegen bemerkbar, die letztlich zur Erhöhung der Importe beitragen, da ausländische Waren vergleichsweise günstiger sind.

Ein positiver externer Schock bei den Bauinvestitionen wirkt sich positiv auf das Wirtschaftswachstum aus. Der Arbeitsmarkt wird durch die vermehrte Bautätigkeit entlastet, was sich bei leicht höheren Löhnen positiv auf den privaten Konsum auswirken wird. Der Staatshaushalt wird aufgrund der sinkenden Erwerbslosenzahl ebenfalls finanziell entlastet.

**Tabelle 6-9: PANTA RHEI: Die wichtigsten Größen im Überblick zum Vergleich angehobener Investitionen mit der Referenz**

Investitionen Bau und Ausrüstungen - S0: Referenz	Absolutwerte					Abweichung in %				
	2011	2015	2020	2025	2030	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Komponenten des preisbereinigten BIP</b>	Abweichungen in Mrd. €									
Bruttoinlandsprodukt	6,1	5,9	2,0	3,3	4,7	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Privater Konsum	1,4	1,7	-0,3	-0,1	0,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
Staatskonsum	0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,6	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
Ausrüstungen	9,6	11,5	7,0	6,7	6,0	3,7	4,2	2,4	2,1	1,8
Bauten	0,3	1,3	2,5	4,0	5,2	0,2	0,6	1,2	2,0	2,7
Exporte	0,1	-0,2	-0,8	-1,0	-0,9	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0
Importe	5,4	8,0	5,7	5,4	5,3	0,5	0,7	0,5	0,4	0,3
<b>Preisindizes</b>	Abw. in Prozentpunkten									
Privater Konsum	-0,02	0,03	0,14	0,15	0,13	-0,02	0,02	0,11	0,12	0,10
Produktion	-0,08	0,04	0,21	0,22	0,19	-0,07	0,03	0,17	0,18	0,15
Importe	-0,14	-0,25	-0,15	-0,11	-0,08	-0,14	-0,25	-0,14	-0,10	-0,07
<b>Staatshaushalt in jeweiligen Preisen</b>	Abweichungen in Mrd. €									
Finanzierungssaldo	2,0	1,0	-0,1	0,4	0,8	-11,3	-4,4	0,7	29,8	4,0
Staatskonsum	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Monetäre Sozialleistungen	-0,2	0,0	0,3	0,4	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
Gütersteuern	0,5	0,9	0,8	1,1	1,4	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5
Einkommen- und Vermögenssteuern	0,7	0,7	0,1	0,3	0,6	0,3	0,3	0,0	0,1	0,2
<b>Arbeitsmarkt</b>	absolute Abweichungen									
Erwerbstätige (Inland) in 1000	53	59	22	30	44	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Erwerbslose in 1000	-26	-38	-15	-19	-27	-0,9	-1,3	-0,5	-0,7	-1,4
<b>Einkommen der pr. Haushalte in jew. Pr.</b>	Abweichungen in Mrd. €									
Verfügbares Einkommen	2,2	3,3	0,9	1,5	2,6	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Empfangene Arbeitnehmerentgelte	1,7	3,5	2,4	3,1	4,0	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2
Empfangene Vermögenseinkommen	1,7	0,2	-1,5	-1,1	-0,5	0,4	0,1	-0,3	-0,2	-0,1

### 6.1.3.2 Reaktionen in ASTRA

Zusätzliche Bau- und Ausrüstungsinvestitionen in erneuerbare Energien bewirken in ASTRA direkt und indirekt eine Steigerung des BIP. Direkte Wirkungen zeigen sich zum einen in Form einer steigenden Endnachfrage und zum anderen über eine Vergrößerung des Bruttoanlagevermögens. Steigende Nachfrage und steigendes Produktionspotenzial wirken sich direkt positiv auf das BIP aus. Indirekt wirken sich zusätzliche Investitionen in ASTRA über die Input-Output Rechnung auf die Bruttowertschöpfung und die Beschäftigung aus. Steigendes Humankapital verbessert wiederum das Produktionspotenzial. Einen zusätzlichen wichtigen Einfluss simuliert ASTRA über die Veränderung des technischen Fortschritts in Form der totalen Faktorproduktivität. Dabei zeigen sich unterschiedlich starke Wirkungen in Abhängigkeit der Art der Investitionen.

Ausrüstungsinvestitionen im Bereich Maschinenbau, Computer und Elektronik haben in ASTRA eine drei bis vierfache Wirkungen auf den endogenen technischen Fortschritt verglichen mit reinen Bauinvestitionen. Neben dem Bruttoanlagevermögen, dem Humankapital geht die totale Faktorproduktivität noch in die Berechnung des Produktionspotenzials mit ein. Die Verteilung der Investitionen spielt somit eine wesentliche Rolle hinsichtlich deren Wirkungen auf das BIP im ASTRA Modell.

Tabelle 6-10 zeigt die Entwicklung der wichtigsten ökonomischen Indikatoren im Szenario mit zusätzlichen Investitionen in erneuerbare Energien im Vergleich zum Referenzfall. ASTRA schätzt die Wirkung auf das BIP mit 0,9% im Vergleich zur Referenz in 2030 ab. In absoluten Zahlen steigt durch die positive Entwicklung bei BIP und den Einzelkomponenten privater Konsum (+0,9% in 2030), Staatskonsum (+0,4% in 2030) und Exporte (+0,1% in 2030) ebenfalls der endogene Teil der Investitionen, weshalb die gesamte Steigerung der Investitionen um 2,3 Mrd. €<sub>2000</sub> höher ausfällt. Ebenfalls positiv fällt die Bilanz laut der ASTRA Simulation auf dem Arbeitsmarkt aus. Die Zahl der Erwerbstätigen steigt bis 2030 in diesem Szenario um 0,6% im Vergleich zur Referenz.

**Tabelle 6-10: ASTRA: Die wichtigsten Größen im Überblick zum Vergleich angehobener Investitionen mit der Referenz**

Investitionen in Bau und Ausrüstung	Abweichungen, absolut					Abweichung, relativ				
	2011	2015	2020	2025	2030	2011	2015	2020	2025	2030
<b>Ökonomische Indikatoren</b>	in Mrd. € <sub>2000</sub>					in %				
BIP	5.6	16.0	18.8	22.4	27.0	0.2%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%
Privater Konsum	0.5	4.4	6.9	9.6	12.9	0.0%	0.3%	0.5%	0.7%	0.9%
Staatskonsum	0.1	0.5	0.8	1.2	1.5	0.0%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%
Investitionen	5.0	11.1	11.0	11.5	12.3	1.0%	2.1%	1.9%	2.0%	2.0%
Exporte	0.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%
Importe	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%
Erwerbstätige [in 1000]	26.7	119.8	141.4	154.9	167.9	0.1%	0.4%	0.4%	0.5%	0.6%
Verfügbares Einkommen	0.9	5.4	8.3	11.5	15.4	0.1%	0.4%	0.5%	0.7%	0.9%
Finanzierungssaldo	0.7	3.9	5.7	7.2	9.0	-0.4%	-2.1%	-3.4%	-4.9%	-7.3%
Motorisierung [in Mio. Pkw]	0.0	31.2	76.4	103.0	134.7	0.0%	0.1%	0.2%	0.2%	0.3%

## 7 FAZIT

Die beiden dargestellten Modellansätze von PANTA RHEI und ASTRA weisen zahlreiche Gemeinsamkeiten auf. Beide Modelle sind in der Lage, ökonomische Wirkungen umweltpolitischer Instrumente abzuschätzen. Sowohl PANTA RHEI als auch ASTRA wurden in den letzten Jahren für Studien zu den Beschäftigungseffekten erneuerbarer Energien eingesetzt, PANTA RHEI zur Analyse der langfristigen Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt und ASTRA hauptsächlich zur Analyse der Wirkungen auf europäischer Ebene. ASTRA kennzeichnet eine detailliertere Simulation des Personen- und Güterverkehrs und der Diffusion von Verkehrstechnologien. PANTA RHEI basiert auf der sehr detaillierten amtlichen deutschen Statistik einschließlich der Energiebilanzen. Der ökonomische Modellkern wird auch für Arbeitsmarktmodellierungen eingesetzt.

Die Wirkungsweise verschiedener Einflüsse auf die Volkswirtschaft in beiden Modellen wurde innerhalb eines Modellexperiments betrachtet. Dabei wurden drei verschiedene, einfache Szenarien simuliert:

- ein starker, kontinuierlicher Anstieg des Ölpreises auf 250 €<sub>2000</sub>/bbl in 2030,
- eine Steigerung der Exporte um 5% in den vier wichtigsten Sektoren von Technologien zur Gewinnung von Energie aus erneuerbaren Quellen und
- eine Steigerung der Bau-, und Ausrüstungsinvestitionen um insgesamt jährlich 10 Mrd. €<sub>2000</sub>.

Insbesondere bei der Simulation eines starken Ölpreisanstiegs bis 2030 divergieren PANTA RHEI und ASTRA in ihren Ergebnissen deutlich. ASTRA zeichnet weniger negative ökonomische Auswirkungen. PANTA RHEI schätzt den Verlust des BIP mit 6,9%, ASTRA mit 3,3% im Vergleich zum Referenzfall bis 2030 ab. Von Seiten des ASTRA Modells führen die beiden folgenden Charakteristika zu den geringeren Verlusten des BIP im Vergleich zu PANTA RHEI:

- Außenhandel: ASTRA simuliert die Wirkungen eines Ölpreisanstiegs simultan für alle europäischen Länder. Mit sinkendem BIP exportieren die europäischen Nachbarn ebenfalls weniger nach Deutschland, was zu sinkenden Importen im Vergleich zur Referenz führt. Die weniger stark betroffenen Importe im Vergleich zu den Exporten signalisieren, dass Deutschland strukturell anpassungsfähiger für die Bewältigung eines solchen Szenarios ist. Da PANTA RHEI im Modellexperiment die Wirkungen auf das Ausland nicht abschätzt, ergeben sich gerade bei der Abschätzung der Importwirkungen große Unterschiede. Eine Berücksichtigung dieser Effekte würde zu einer deutlichen Konvergenz der Ergebnisse führen.
- Investitionen: Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass eine Steigerung der Preise fossiler Energieträger im ASTRA-Modell in stärkerem Umfang Investitionen in Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz und Alternativen zu fossilen Energieträgern stimuliert. Die endogene Simulation der Diffusion von verschiedenen Antriebsarten im Straßenverkehr spiegelt diese Tendenz wider. In PANTA RHEI ist eine entsprechende Veränderung der Technologien exogen einstellbar, was ebenfalls zu einer Annäherung der Ergebnisse führen würde.

Generell lassen die unterschiedlichen Simulations-Ergebnisse im letzten Modellexperiment mit einer Steigerung der Investitionen darauf schließen, dass die Wirkungsketten in ASTRA durch die Berücksichtigung der Effekte von Investitionen auf die gesamte Faktorproduktivität stärker auf Investitionen in neue Technologien reagieren, während in PANTA RHEI auf längere Sicht dämpfende Einflüsse höherer Kapitalkosten wirksam werden.

Auch die Datenaktualität und die Methode der Preisbereinigung dürften einen Teil der Unterschiede erklären. Während das ASTRA noch in konstanten Preisen des Jahres 1995 bzw. 2005 rechnet, wurde die Modellierung von PANTA RHEI auf die neuen, preisbereinigten Werte des Statistischen Bundesamtes umgestellt. Ohne diese Umstellung weichen Wachstumsraten in den historischen Datenbanken der Modelle und den tatsächlich veröffentlichten Werten ab. Daraus kann sich für den Simulationszeitraum eine andere Dynamik ergeben.

Letztlich sind die Ergebnisse beider Modelle in den Experimenten aber richtungsgleich und die Unterschiede in der Größenordnung der Effekte zumindest zu guten Teilen durch unterschiedliche Modellzusammenhänge zu erklären.

Der Modellvergleich zwischen PANTA RHEI und ASTRA zeigt, dass beide Modelle zuverlässige und auf nationaler, sowie europäischer Ebene bereits vielfach angewandte Werkzeuge zur Abschätzung der ökonomischen Wirkungen umweltpolitischer Maßnahmen sind. PANTA RHEI bildet dabei den Energieverbrauch des Wohnungssektors sowie der Industrie und die erneuerbaren Energien detaillierter ab, ASTRA den des Verkehrssektors.

## 8 ANHANG

### 8.1 ANHANG 1: LISTE DER ÖKONOMISCHEN SEKTOREN IN ASTRA (NACE-CLIO)

#### **Industriesektoren**

Energie, Gas, Wasser  
Eisen- und Nichteisenmetalle  
Nichtmetallische Mineralstoffe  
Chemikalien  
Metall-Produkte außer Maschinen  
Landwirtschafts- und Industriemaschinen  
Optische Instrumente, Bürogeräte und Computer  
Elektronik  
Fahrzeugbau  
Nahrungsmittel, Getränke, Tabak  
Textilien, Lederwaren, Schuhe  
Papier und Printprodukte  
Gummi- und Plastikprodukte  
Sonstige Güter

#### **Dienstleistungssektoren**

Wartung- und Reparaturdienstleistungen., Groß- u. Einzelhandel  
Hotels und Restaurants  
Inlandverkehr  
Seeschifffahrt und Luftverkehr  
Sonstige Verkehrsdienstleistungen. inkl. Logistik und Reisebüro  
Kommunikationsdienstleistungen  
Bank- und Kreditdienstleistungen., Versicherungen  
Sonstige marktbestimmte Dienstleistungen  
Nicht-marktbestimmte Dienstleistungen

#### **Sonstige Sektoren**

Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei  
Hoch- und Tiefbau



## 9 LITERATUR

- Ahlert, G., Distelkamp, M., Lutz, C., Meyer, B., Mönnig, A. & Wolter, M.I. (2009): Das IAB/INFORGE-Modell. In: Schnur, P. & Zika, G. [Hrsg]: Das IAB/INFORGE-Modell. Ein sektorales makroökonomisches Projektions- und Simulationsmodell zur Vorausschätzung des längerfristigen Arbeitskräftebedarfs. IAB-Bibliothek 318, Nürnberg, S. 15-175.
- ALMON, C. (1991): The INFORUM Approach to Interindustry Modeling, Economic Systems Research, Vol. 3, 1-7.
- Bach, S., Bork, C., Kohlhaas, M., Lutz, C., Meyer, B., Praetorius, B., Welsch, H. (2001): Die ökologische Steuerreform in Deutschland: Eine modellgestützte Analyse ihrer Wirkungen auf Wirtschaft und Umwelt. Berlin, Heidelberg, New York.
- Distelkamp, M., Siedentop, S., Ulrich, P., Mohr, K. (2011): 30-ha-Ziel realisiert – Konsequenzen des Szenarios Flächenverbrauchsreduktion auf 30 ha im Jahr 2020 für die Siedlungsentwicklung. BMVBS Forschungen, Heft 148, Berlin.
- Distelkamp, M., Großmann, A., Hohmann, F., Lutz, C., Ulrich, P., Wolter, M. I. (2009): PANTA RHEI REGIO - Ein Modellsystem zur Projektion der künftigen Flächeninanspruchnahme in Deutschland und zur Folgenabschätzung fiskalischer Maßnahmen. GWS Discussion Paper 2009/7, Osnabrück.
- Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Forschungszentrum Jülich, Institut für Energieforschung – Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE), Öko-Institut, Berlin, Dr. Hans-Joachim Ziesing, Berlin, CEPE / ETH Zürich (2008): Wirtschaftliche Bewertung von Maßnahmen des Integrierten Energie- und Klimaprogramms (IEKP) Endbericht zum UFOPLAN Vorhaben 205 46 434 für das Umweltbundesamt (UBA), Karlsruhe, Berlin, Jülich
- Frohn, J., Chen, P., Hillebrand, B., Lemke, W., Lutz, C., Meyer, B., Pullen, M. (2003): Wirkungen umweltpolitischer Maßnahmen: Abschätzungen mit zwei ökonomischen Modellen. Springer-Verlag. Heidelberg.
- Georgescu Roegen, N. (1990): Production Process and Economic Dynamics. In: Baranzini, M.; Scazzieri, R. (Eds.): The Economic Theory of Structure and Change, Cambridge u. a. O., S. 198-226.
- Großmann, A., Stocker, A., Wolter, M.I. (2007): Das integrierte Umwelt-Energie-Wirtschafts-Modell e3.at (Environment - Energy - Economy - Austria). SERI Working Paper 01/2007, Wien.
- IFEU, Fraunhofer ISI, Prognos, GWS et al. (2011): Energieeffizienz: Potenziale, volkswirtschaftliche Effekte und innovative Handlungs- und Förderfelder für die Nationale Klimaschutzinitiative. Endbericht des Projektes „Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative“, Heidelberg u.a.O.
- Internationale Energieagentur [IEA] (2009): World Energy Outlook 2009, Paris.
- Internationale Energieagentur [IEA] (2010): World Energy Outlook 2010, Paris.

- Jochem E., Jäger C., Schade W., Battaglini A., Eichhammer W., Köhler J., Köwener D., Wietschel M., et al. (2008): Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland. Final report of the KlimInvest 2020 project on behalf of German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Karlsruhe, Berlin. <http://www.kliminvest.net/download.html>.
- Krail M. (2009): System-Based Analysis of Income Distribution Impacts on Mobility Behaviour. Nomos-Verlag, Baden-Baden, Germany.
- Kratzat, M., Lehr, U., Nitsch, J. Edler, D., Lutz, C. (2007): Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte 2006. Abschlussbericht des Vorhabens "Wirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt – Follow up". Studie im Auftrag des BMU, Berlin.
- Lehr, U., Lutz, C., Edler, D., O'Sullivan, M., Nienhaus, K., Nitsch, J., Breitschopf, B., Bickel, P., Ottmüller, M. (2011a): Kurz- und langfristige Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Osnabrück, Stuttgart, Berlin, Februar 2011.
- Lehr, U., Lutz, C., Wiebe, K.S. (2011b): Medium term economic effects of peak oil today. GWS Discussion Paper 11/3, Osnabrück.
- Lehr, U., Kratzat, M., Nitsch, J. Edler, D., Lutz, C. (2008a): Renewable Energy and Employment in Germany. *Energy Policy*, 36, pp. 108-117.
- Lehr, U., Wolter, M. I., Grossmann, A., Lutz, C. (2008b): Gesamtwirtschaftliche Effekte der Umsetzung der EU Ziele im Bereich Erneuerbare und Gebäudeeffizienz in Österreich bis 2020. Studie im Auftrag des Lebensministeriums, Wien.
- Lovins, A., Datta, E.K., Bustnes, O.E., Koomey, J.G., Glasgow, N.J. (2004): *Winning the Oil Endgame – Innovation for Profits, Jobs, and Security*. Earthscan, London.
- Lutz, C., Meyer, B. (2007): Gesamtwirtschaftliche Effekte niedrigerer Strompreise in Deutschland. GWS Discussion Paper 2007/1, Osnabrück.
- Lutz, C., Meyer, B. (2008): Beschäftigungseffekte des Klimaschutzes in Deutschland. Untersuchungen zu gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen ausgewählter Maßnahmen des Energie- und Klimapakets. Bericht zum UFOPLAN-Vorhaben 205 46 434, Osnabrück.
- Lutz, C., Meyer, B., Wolter, M. I. (2010), The Global Multisector/Multicountry 3-E Model GINFORS. A Description of the Model and a Baseline Forecast for Global Energy Demand and CO<sub>2</sub> Emissions. *Journal of Sustainable Development*, 10 (1-2), pp. 25-45.
- Lutz, C., Meyer, B., Nathani, C., Schleich, J. (2005): Endogenous technological change and emissions: The case of the German steel industry. *Energy Policy*, 33 (9), pp. 1143-1154.
- Matthes F., Gores S., Harthan R., Mohr L., Penninger G., Markewitz P., Hansen P., Martinsen D., Diekmann J., Horn M., Eichhammer W., Fleiter T., Köhler J., Schade W., Schlomann B., Sensfuß F. (2009): Politikszenerarien für den Klimaschutz V – auf dem Weg zum Strukturwandel. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Climate Change Report 16/2009, German Environmental Protection Agency (UBA), Dessau.

- Meyer, B., Distelkamp, M., Wolter, M.I. (2007a): Material Efficiency and Economic-Environmental Sustainability. Results of Simulations for Germany with the Model PANTA RHEI. *Ecological Economics*, 63(1), pp. 192-200.
- Nitsch, J., Wenzel, B. (2009): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland – Leitszenario 2009. Untersuchung im Auftrag des BMU, Stuttgart, Berlin.
- ÖI, FZJ, DIW, ISI (2008): Politiksznarien für den Klimaschutz IV - Szenarien bis 2030 für den Projektionsbericht 2007. Öko-Institut, Forschungszentrum Jülich, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Berlin, Jülich, Karlsruhe.
- Pehnt, M., Lutz, C., Seefeldt, F., Schlomann, B., Wunsch, M., Lehr, U., Lambrecht, U., Fleiter, T. (2009): Klimaschutz, Energieeffizienz und Beschäftigung Potenziale und volkswirtschaftliche Effekte einer ambitionierten Energieeffizienzstrategie für Deutschland, Bericht im Rahmen des Forschungsvorhabens „Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative“, August, 2009.
- Prognos, EWI, GWS (2010): Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Studie im Auftrag des BMWi, Basel, Köln, Osnabrück.
- Prognos, EWI (2007): Energieszenarien für den Energiegipfel 2007 – Endbericht, Basel, Köln.
- Ragwitz M, Schade W, Breitschopf B, Walz R, Helfrich N, Rathmann M, Resch G, Panzer C, Faber T, Haas R, Nathani C, Holzhey M, Konstantinaviciute I, Zagame P, Fougeyrollas A, le Hir B (2009): “EmployRES - The impact of renewable energy policy on economic growth and employment in the European Union”. Final report of Employ-RES on behalf of the European Commission DG TREN, Karlsruhe.
- Schade, B., Rothengatter, W., Schade, W. (2002): Strategien, Maßnahmen und ökonomische Bewertung einer dauerhaft umweltgerechten Verkehrsentwicklung (Strategies, Instruments and Economic Assessment of Environmentally Sustainable Transport (EST)). Final report on behalf of the German Federal Environmental Agency, Erich-Schmidt-Verlag, Berlin.
- Schade W. (2005): Strategic Sustainability Analysis: Concept and application for the assessment of European Transport Policy. NOMOS-Verlag, Baden-Baden, Germany.
- Schade W., Fiorello D., Beckmann R., Fermi F., Köhler J., Martino A., Schade B., Walz R., Wiesenthal T. (2008): "High Oil Prices: Quantification of direct and indirect impacts for the EU". Deliverable 3 of HOP! (Macro-economic impact of high oil price in Europe). Funded by European Commission 6<sup>th</sup> RTD Programme. Karlsruhe, Germany.
- Schade W., Lüllmann A., Beckmann R., Köhler J. (2009): IEKP-Makro - Gesamtwirtschaftliche Wirkungen von Energieeffizienzmaßnahmen in den Bereichen Gebäude, Unternehmen und Verkehr. Final Report of the IKEP-Makro project on behalf of the German Environmental Agency (UBA), Karlsruhe.

- Schade W, Jochem E, Barker T, Catenazzi G, Eichhammer W, Fleiter T, Held A, Helfrich N, Jakob M, Criqui P, Mima S, Quandt L, Peters A, Ragwitz M, Reiter U, Reitze F, Schelhaas M, Scricciu S, Turton H (2009): "ADAM 2-degree scenario for Europe – policies and impacts". Deliverable D-M1.3 of ADAM (Adaptation and Mitigation Strategies: Supporting European Climate Policy). Project co-funded by European Commission 6<sup>th</sup> RTD Programme. Karlsruhe, Germany.
- Schade W., Krail M., Fiorello D., Helfrich N., Köhler J., Kraft M., Maurer H., Meijeren J., Newton S., Purwanto J., Schade B., Szimba E. (2010): „The iTREN-2030 Integrated Scenario until 2030“. Deliverable 5 of iTREN-2030 (Integrated transport and energy baseline until 2030). Project co-funded by European Commission 6th RTD Programme. Fraunhofer-ISI, Karlsruhe, Germany.
- Schnur, P., Zika, G. (2007): Arbeitskräftebedarf bis 2025: Die Grenzen der Expansion. (IAB-Kurzbericht, 26/2007), Nürnberg.
- Staiß, F., Kratzat, M., Nitsch, J., Lehr, U., Edler, D., Lutz, C. (2006): Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt. Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin.
- Stocker, A., Großmann, A., Madlener, R., Wolter, M.I.: Sustainable energy development in Austria until 2020: Insights from applying the integrated model "e3.at". Energy Policy (2011), doi: 10.1016/j.enpol.2011.07.2009.

