



Fraunhofer Institut
System- und
Innovationsforschung

ASTRA

Assessment of Transport Strategies

Ein Systemdynamik-Modell
zur integrierten Bewertung von langfristigen Politikstrategien

Kurzübersicht des ASTRA Modells

Dr. Wolfgang Schade

Fraunhofer Institut System und Innovationsforschung (ISI)

Breslauer Straße 48

76139 Karlsruhe, Germany

Fon: +49 721 6809-353

Fax: +49 721 6809-135

Email: w.schade@isi.fraunhofer.de

Karlsruhe, 07. Juni 2008



Kurzbeschreibung des ASTRA-Modells

Das ASTRA-Modell¹ 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 1 entnehmen.

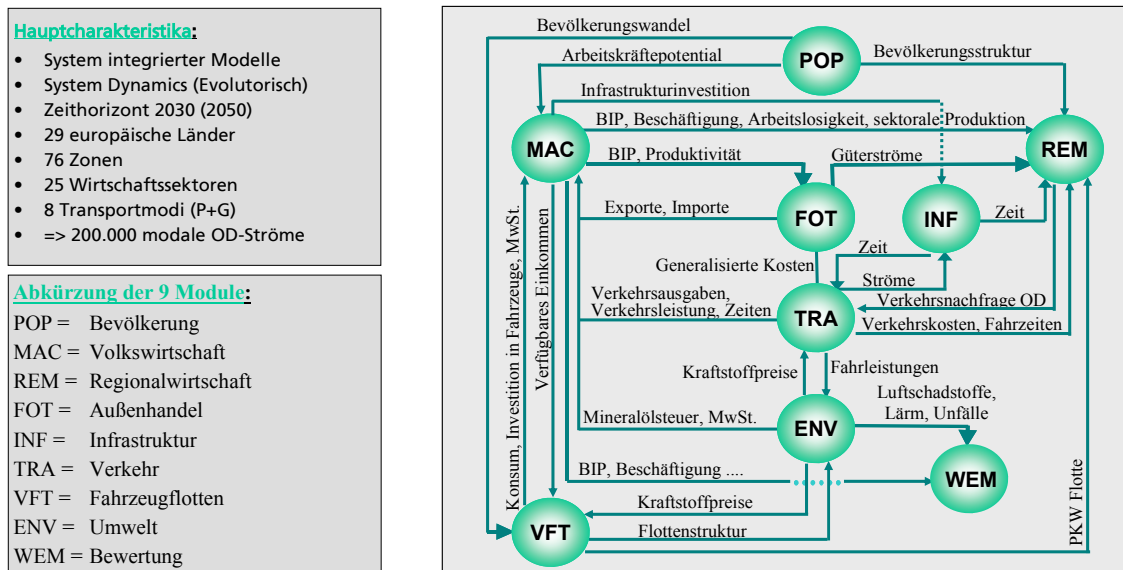
Im Laufe des 5. und 6. EU-Forschungsrahmenprogramms sowie tagesaktueller politischer Fragestellungen wurde das ASTRA-Modell kontinuierlich weiterentwickelt und angewendet z.B. bei der Entwicklung der Lissabon-Strategie, zur Abschätzung der Beschäftigungswirkung von Technologiepolitiken und von Politiken 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 W. (2005): "*Strategic Sustainability Analysis: Concept and application for the assessment of European Transport Policy*", Nomos Verlag, Baden-Baden. Ergänzungen finden sich in Krail M. et al. (2007): "*Outlook for Global Transport and Energy Demand*". Deliverable 3 of TRIAS project.

Die Version von ASTRA, die bisher in nationalen Projekten wie Politikszenerien IV, KlimInvest 2020 genutzt wurde, umfasst 29 europäische Länder, deren Ökonomien jeweils in 25 Sektoren unterteilt sind 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 Hauptcharakteristika und die Struktur des Modells sind in Abbildung 1 dargestellt.

¹ ASTRA = Assessment of Transport Strategies

Abbildung 1 Struktur und Interaktionen des ASTRA-Modells



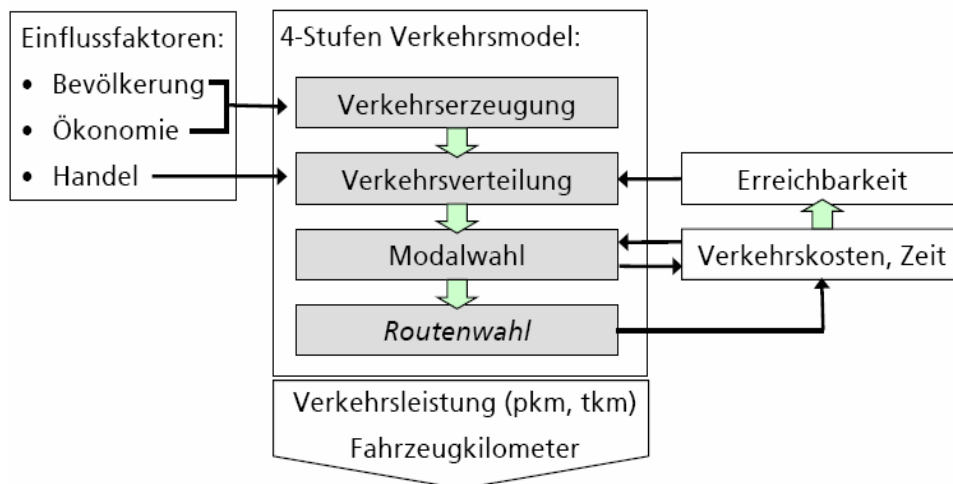
Quelle: Fraunhofer ISI.

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.

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.

Das Verkehrssystem ist mit einem voll integrierten 4-Stufen Verkehrsmodell implementiert (siehe Abbildung 2), mit der Einschränkung, daß die Routenwahl sich nur auf die Wahl der Routenkategorie (z.B. Autobahn, Landstraße) bezieht und nicht auf die Wahl der exakten, linkbasierten Route. Die vier Stufen (Verkehrserzeugung, -verteilung, Modal- und Routenwahl) des Personen- und Güterverkehrsmodells sind im regionalökonomischen Modul (REM) und im Verkehrsmodul (TRA) abgebildet. In diesen beiden Modulen setzen die meisten verkehrspolitischen Maßnahmen an, da hier die regional- und modalspezifischen 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. Damit einhergehende Veränderungen der Verkehrsausgaben werden in das makroökonomische Modul eingespeist und verändern dort z.B. die Konsumausgaben für Nicht-Verkehrssektoren oder die Ein- und Ausgaben des Staatshaushaltes, aber auch die Investitionsneigung der Verkehrssektoren.

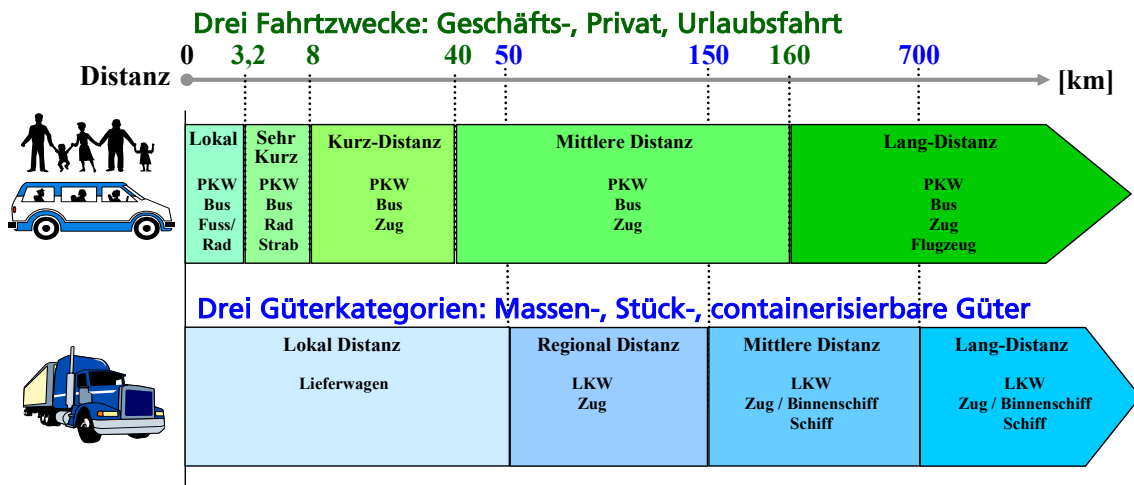
Abbildung 2 Struktur des 4-Stufen Verkehrsmodells



Quelle: Fraunhofer ISI.

Das Verkehrsmodell nutzt das Konzept von Entfernungsbändern mit jeweils charakteristischer Verfügbarkeit der verschiedenen Verkehrsträger und spezifischer Hinterlegung der Kosten-, Entfernungs- und Geschwindigkeitsparameter für jede Quelle-Ziel-Beziehung eines Entfernungsbandes. Beispielsweise kommen im Entfernungsband für Fahrten zwischen 8 und 40km nur PKW, Bus und Zug (inklusive Nahverkehr) in Betracht, während für Fahrten über 160km auch der Luftverkehr eine Rolle spielt sowie die Entfernung, die sehr stark durch die betrachtete Quelle-Ziel-Relation bestimmt ist. Das Konzept der Entfernungsbänder und verfügbaren Verkehrsmittel ist in Abbildung 3 dargestellt für Personen- und Güterverkehr.

Abbildung 3 Abbildung des Verkehrssystems durch Differenzierung von Verkehrsträgern, Fahrtzwecken und Entfernungsbändern



Quelle: Fraunhofer ISI.

Die Fahrzeugflotten der Straßenverkehrsmodi sind im Flottenmodul durch technologydifferenzierte Kohortenmodelle abgebildet. Die Kohortenmodelle ermöglichen eine detaillierte Abbildung der Altersstruktur und der Diffusion neuer Technologien in die Fahrzeugflotten. Die Technologydifferenzierung erlaubt die Verknüpfung der Flotten mit dem Umweltmodul zur Berechnung der Emissionen und des Kraftstoffverbrauchs durch den Verkehr unter Berücksichtigung der jeweiligen Fahrleistungen, die im Verkehrsmodul abgeschätzt wurden.

Abbildung von Politiken in ASTRA

Üblicherweise werden in ASTRA Politiken gegenüber einer Referenzentwicklung anhand eines mit/ohne-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. 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.

Anwendung des ASTRA-Modells in KlimInvest 2020

Abbildung 4 liefert einen Überblick über wichtige Zusammenhänge des ASTRA-Modells, die für die Modellierung und Analyse in KlimInvest 2020 eine Rolle spielen, sowie über die Verknüpfung mit den Ergebnissen aus der Bottom-up Analyse. Diese Verknüpfungen laufen über vier verschiedene Wirkungsketten:

- Investitionen: dies sind zum Einen die zusätzlichen Investitionen, die durch die Klimaschutzpolitik ausgelöst werden (z.B. Investition in Erneuerbare Energien oder Isolierung von Gebäuden). Zum anderen können dies auch vermiedene Investitionen sein z.B. wenn aufgrund der Investition in Erneuerbare Energien die Investition in ein kohlebetriebenes Großkraftwerk entfällt.
- 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 einigen 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 ergeben sich Veränderungen 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 und so die Ankopplung über die bereits in ASTRA vorhandenen Mikro-Makrobrücken zwischen Verkehrs- und ökonomischem Modell geleistet werden. Die Ankopplung der Bottom-up Analyse erfolgt im wesentlichen über drei ökonomische Modelle:

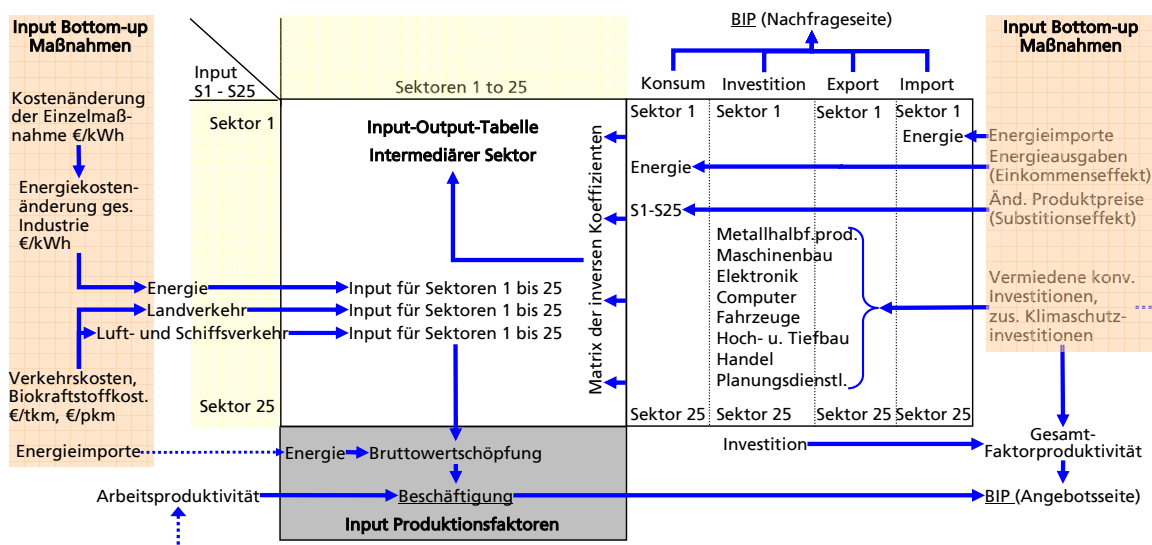
- Nachfrageseite des BIP: hierzu gehört die Veränderung der Konsumnachfrage sowohl durch veränderte Energieausgaben als auch durch Substitutionseffekte zwischen verschiedenen Produkten, die veränderten Investitionen und die veränderten Energieimporte. Über die aggregierte, sektorale Nachfrageseite werden 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 der 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 KlimInvest wurde ASTRA für den Referenzlauf hinsichtlich der Bevölkerungs- und BIP-Entwicklung an die Rahmendaten von Politikszenerarien-IV angepaßt (Öko-Institut/FZJ/DIW/Fraunhofer-ISI in UBA-Text Climate Change 1/2008) und um einige Modellelemente zur Ankopplung der Bottom-up Maßnahmen ergänzt. Die Ergebnisse des in KlimInvest 2020 untersuchten Politikszenarios zur Analyse der Wachstumswirkung des Meseberg-Plus Klimaschutzprogramms werden gegenüber dieser Referenzentwicklung ausgewiesen.

Die Ankopplung der Bottom-up Maßnahmen erfolgt auf der sektoralen Ebene z.B. über eine Veränderung der Konsumausgaben der Haushalte bzw. der Investitionsausgaben der Industrie (siehe Abbildung 4). 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 Klimaschutzprogrammes abschätzen. Unter Berücksichtigung der Veränderung des BIP auf Nachfrage- und Angebotsseite kann die Wachstumswirkung abgeschätzt werden.

Abbildung 4 Abbildung des Verkehrssystems durch Differenzierung von Verkehrsträgern, Fahrtzwecken und Entfernungsbändern



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

Anhang 2: Ausgewählte Anwendungsbeispiele von ASTRA

IPTS-Employment Study

In diesem Projekt wurde im Auftrag des EU-Parlamentes und des Institute for Prospective Technological Studies (IPTS, Sevilla) untersucht, welche Technologieförderstrategien am erfolgversprechendsten zur Beschäftigungssicherung in der EU sind. ASTRA wurde hier um Komponenten zur Abbildung der Handelsströme innerhalb der EU sowie der EU mit der übrigen Welt erweitert, da die Technologiepolitik auch die internationale Wettbewerbsfähigkeit beeinflusst. Die ASTRA-Ergebnisse wurden abschließend mit Ergebnissen von GEM-E3 verglichen.

References:

Schade W, Schaffer A.J, Kowalski J (2001): „Welfare and employment effects caused by international trade. A qualitative and quantitative analysis with regard to innovative friendly policies". EU Publikations-Nr EUR 20158 EN, Sevilla.

Christidis P, Hernandez H, Lievonon J. (ed) (2002): „Impact of Technological and Structural Change on Employment: Prospective Analysis 2020". EU Publikations-Nr EUR 20258 EN, Sevilla.

TIPMAC - Transport Infrastructure and Policy: a macroeconomic analysis for the EU

In TIPMAC wurden die makroökonomischen Wirkungen des Aufbaus der europäischen Verkehrsnetze sowie verschiedener Finanzierungsvarianten (z.B. Steuern, Infrastrukturbepreisung) untersucht. ASTRA wurde hier weiter disaggregiert in 15 EU-Länder und 25 ökonomische Sektoren und um ein Modell für die Staatshaushalte ergänzt. Die Ergebnisse wurden mit E3ME-Resultaten verglichen.

Reference: Schade W (2003): "ASTRA-T: Results of the TIPMAC policy scenarios". Deliverable 5 von TIPMAC, Karlsruhe.

Politiksznarien-IV (PSz-IV)

In PSz-IV wurden die Optionen für eine sektorübergreifende deutsche Klimaschutzstrategie analysiert und die Grundlagen gelegt für die Berichterstattung zum Treibhausgasmonitoring an die UNFCCC. Mit ASTRA wurden hier sowohl 10 Einzelmaßnahmen als auch zwei Gesamtpakete für den Verkehrsbereich analysiert.

Reference: Öko-Institut, FZ-Jülich, DIW, ISI (2008): "Politiksznarien für den Klimaschutz IV: Szenarien bis 2030 für den Projektionsbericht 2007". UBA-Bericht 01/08, Berlin.