

TEXTE

20/2011

Konsistente Rahmendaten für Modellierungen und Szenariobildung im Umweltbundesamt

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 363 01 318
UBA-FB 001474

Konsistente Rahmendaten für Modellierungen und Szenariobildung im Umweltbundesamt

von

Wolfgang Weimer-Jehle, Sandra Wassermann, Hannah Kosow
Universität Stuttgart, ZIRN - Interdisziplinärer Forschungs-
schwerpunkt Risiko und Nachhaltige Technikentwicklung

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.uba.de/uba-info-medien/4096.html>
verfügbar.

Die im Gutachten geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Erstellung des Gutachtens:	Universität Stuttgart, ZIRN Seidenstraße 36 70174 Stuttgart
Abschlussdatum:	Januar 2011
Herausgeber:	Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103 2285 E-Mail: info@umweltbundesamt.de Internet: http://www.umweltbundesamt.de http://fuer-mensch-und-umwelt.de/
Redaktion:	Fachgebiet I 1.1 Grundsatzfragen, Nachhaltigkeits- strategien und -szenarien, Ressourcenschonung Ullrich Lorenz

Dessau-Roßlau, April 2011

Kurzbeschreibung

Modellbasierte Umweltszenarien erfordern in der Regel zahlreiche Rahmenannahmen über zukünftige gesellschaftliche, politische und wirtschaftliche Entwicklungen (Umfeldentwicklungen). Diese Rahmenannahmen sind zumeist sehr unsicher und die Entwicklungen in den verschiedenen Feldern stehen in einem häufig nur qualitativ beschreibbaren Beziehungsgeflecht zueinander. Ohne geeignete konsistenzsichernde Maßnahmen können daher in der Modellpraxis leicht Kombinationen von Rahmenannahmen zur Verwendung kommen, die die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Umfeldern nur unzureichend widerspiegeln.

In diesem Gutachten wird demonstriert, wie mit Hilfe der Cross-Impact Bilanzanalyse (CIB) Kontextszenarien konstruiert werden können, die sowohl die innere Konsistenz der Rahmenannahmen von Einzelmodellen als auch die Gesamtkonsistenz der Rahmenannahmen eines Modellinstrumentariums unterstützen. Für eine Gruppe von zehn ausgewählten Rahmenannahmen wurden mögliche Zukunftsentwicklungen bis 2030 identifiziert. Mit Hilfe von Expertenbefragungen wurde dann ein qualitatives Wirkungsnetz für diese Größen entwickelt, das eine qualitative, aber systematische Einschätzung der inneren Konsistenz einer Gruppe von Rahmenannahmen erlaubt. Die Auswertung dieses Wirkungsnetzes mit dem CIB-Verfahren ergab ein Tableau von Kontextszenarien, das als Referenz bei der Festlegung der Rahmenannahmen für Modellstudien am UBA herangezogen werden kann.

Abstract

Model-based environmental scenarios normally require multiple framework assumptions regarding future social, political and economic developments (external developments). In most cases these framework assumptions are highly uncertain. Furthermore, different external developments are not isolated from each other and their interdependences can be described by qualitative judgments only. If the internal consistency of framework assumptions is not methodologically addressed, environmental models risk to be based on inconsistent combinations of framework assumptions which do not reflect existing relations between the respective factors in an appropriate way.

This report aims at demonstrating how consistent context scenarios can be developed with the help of the cross-impact balance analysis (CIB). This method allows not only for the internal consistency of framework assumptions of a single model but also for the overall consistency of framework assumptions of modeling instruments, supporting the integrated interpretation of the results of different models. In order to demonstrate the method, in a first step, ten common framework assumptions were chosen and their possible future developments until 2030 were described. In a second step, a qualitative impact network was developed based on expert elicitation. The impact network provided the basis for a qualitative but systematic analysis of the internal consistency of combinations of framework assumptions. This analysis was carried out with the CIB-method and resulted in a set of consistent context scenarios. These scenarios can be used as an informative background for defining framework assumptions for environmental models at the UBA.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	II
Tabellenverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	III
1 Aufgabenstellung.....	1
2 Problemhintergrund.....	1
3 Methodischer Ansatz	3
4 Arbeitsschritte	6
5 Die Szenario-Faktoren.....	9
6 Die Interdependenz der Szenario-Faktoren	12
7 Konstruktion und Diskussion der Szenarien.....	18
7.1 Szenarioverständnis und Ziele der Szenariokonstruktion	18
7.2 Statistische Merkmale des Szenarioraums.....	19
7.3 Vollkonsistente Szenarien.....	21
7.4 Ergänzende Szenarien.....	27
7.5 Zusammenfassende Darstellung der vollkonsistenten und ergänzenden Szenarien	28
7.6 Beurteilung vorgegebener Szenarien	31
7.7 Wild Cards.....	35
7.7.1 Wild Card: starke Temperaturabsenkung.....	36
7.7.2 Wild Card: Wirtschaftskrise	36
8 Schlussbemerkungen.....	37
Literatur.....	39
Anhang.....	42
Anhang 1: Die Cross-Impact Matrix zur qualitativen Beschreibung der Faktor- Interdependenz	43
Anhang 2: Liste der 22 vollkonsistenten Szenarien.....	44
Anhang 3: Die Steckbriefe der Faktoren und Subszenarien.....	50
Anhang 4: Konsistenzanalyse von Szenariotyp VII.....	83
Anhang 5: Wildcard „Klimawandel: starke Temperaturabsenkung“	84
Anhang 5: Wildcard „Klimawandel: starke Temperaturabsenkung“	84
Anhang 6: Wildcard „Wirtschaftskrise“	85

Abkürzungen

BIP	Bruttoinlandsprodukt
CIB	Cross-Impact Bilanzanalyse
CIM	Cross-Impact-Matrix
DZL	Deskriptor-Zustands-Liste
GVL	Güterverkehrsleistung
PEV	Primärenergieverbrauch
PVL	Personenverkehrsleistung
TMR	Totaler Materialverbrauch (total material requirement)
UBA	Umweltbundesamt
ZIRN	Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Risiko und Nachhaltige Technikentwicklung

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die Szenario-Faktoren und ihre Subsznarien.....	11
Tabelle 2: Zusammenfassung der vollkonsistenten und ergänzenden Szenarien	30
Tabelle 3: Prüfling 1 - Die Kombination wahrscheinlicher Entwicklungen	31
Tabelle 4: Prüfling 2 - Die Kombination wünschenswerter Entwicklungen.....	33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel für eine Cross-Impact Bilanzmatrix	4
Abbildung 2: Idealtypischer Ablaufplan einer Szenarioanalyse mit der CIB-Methode	7
Abbildung 3: Die Bestimmungsfaktoren der Bevölkerungsentwicklung	13
Abbildung 4: Die Bestimmungsfaktoren der pro-Kopf Wohnflächen	14
Abbildung 5: Die Bestimmungsfaktoren des BIB-Wachstums	14
Abbildung 6: Die Bestimmungsfaktoren des Primärenergieverbrauchs	15
Abbildung 7: Die Bestimmungsfaktoren der Totalen Materialverbrauchs	15
Abbildung 8: Die Bestimmungsfaktoren der Personenverkehrsleistung	16
Abbildung 9: Die Bestimmungsfaktoren der Güterverkehrsleistung	16
Abbildung 10: Die Bestimmungsfaktoren des Stickstoffüberschusses in der Landwirtschaft	17
Abbildung 11: Die Bestimmungsfaktoren der Klimaänderung	17
Abbildung 12: Der Wirkungsnetzgraph der Szenariofaktoren	18
Abbildung 13: Der Szenariotrichter als ein sich öffnender Möglichkeitsraum	19
Abbildung 14: Häufigkeitsverteilung des Inkonsistenzwertes.	20
Abbildung 15: Aktiv-Passiv Diagramm für die Szenario-Faktoren	22
Abbildung 16: Verortung der 22 vollkonsistenten Szenarien nach den Schlüsselfaktoren	23
Abbildung 17: Einteilung der 22 vollkonsistenten Szenarien in 6 Szenariotypen.	25
Abbildung 18: Darstellung der vollkonsistenten Szenarien in einem Szenariotableau	26
Abbildung 19: Die Wirkungsbilanzen von Prüfling 1	32
Abbildung 20: Die Wirkungsbilanzen von Prüfling 2	34

1 Aufgabenstellung

Für Modellierungen und modellbasierte Szenarien z. B. in den Bereichen Klima, Energie, Verkehr und Nachhaltigkeit werden im Umweltbundesamt Rahmenannahmen bzw. Rahmendaten beispielsweise zur Bevölkerungsentwicklung, Preisentwicklungen für Energieträger und zum Wirtschaftswachstum verwendet.

Um erstens die Qualität von Umweltmodellierungen zu sichern und zweitens die Vergleichbarkeit von (modellbasierten) Szenariostudien zu verbessern, benötigt das Umweltbundesamt konsistente und plausible Rahmendatensätze und hat deshalb im September 2010 das Sondergutachten Z 6 – 90024-13/7 (FKZ 363 01 318) „Konsistente Rahmendaten für Modellierungen und Szenariobildung im UBA“ ausgeschrieben. In diesem Gutachten sollen konsistente Rahmendatensätze erarbeitet und die jeweiligen Faktoren/Indikatoren mit Zeitreihen hinterlegt werden.

ZIRN wurde im Oktober 2010 mit der Erstellung des Sondergutachtens beauftragt. ZIRN konzentrierte sich gemäß Angebot auf den Einsatz der Cross-Impact Bilanzanalyse (CIB) zur Erstellung von konsistenten Rahmenszenarien, die mit Datensätzen hinterlegt sind. Aufgrund der kurzen Laufzeit hatte das Projekt eher Demonstrationscharakter und basierte auf der Zusammenstellung von a) bereits im UBA als Modellinput verwendeter Indikatoren und b) von in öffentlichen Studien verfügbarer Datenreihen für alternative zukünftige Entwicklungen einzelner Faktoren. Der Schwerpunkt des Gutachtens lag weniger auf der inhaltlichen Diskussion einzelner Faktoren, Indikatoren oder Datenreihen als vielmehr auf der Bewertung der Konsistenz von Entwicklungsbündeln, d. h. auf der Bestimmung von Kombinationen von Rahmenannahmen, die logisch schlüssig und in sich widerspruchsfrei sind.

Die Arbeiten wurden zwischen Oktober 2010 und Januar 2011 durchgeführt, die Ergebnisse sind im folgenden Bericht dokumentiert.

2 Problemhintergrund

Thema dieses Gutachtens sind die Rahmenannahmen von Umweltmodellierungen und modellbasierten Umweltszenarien. Modellbasierte Umweltszenarien setzen häufig bestimmte gesellschaftliche, politische und wirtschaftliche Entwicklungen voraus, die als Rahmenannahmen in die Modellrechnung eingehen. Denn bei der Modellierung von Umweltsystemen bzw. Umwelt-Techniksystemen werden systeminterne Zusammenhänge innerhalb des Systemmodells abgebildet, Zusammenhänge und Einflüsse die außerhalb des modellierten Systems liegen, bilden die Kontextsphäre des modellierten Systems. Diese Kontexte werden in der Modellierung über Annahmen über Rahmenbedingungen, d. h. Rahmenannahmen, abgebildet. So müssen z. B. Energiemodelle mit Annahmen über die zukünftige Bevölkerungsentwicklung, über die Wirtschaftsentwicklung, über die technologischen Entwicklungen und über die politische Rahmensetzung gespeist werden, um szenarienhafte Aussagen für den zukünftigen Verlauf des Energieverbrauchs, der Klimagasemissionen und der Rolle einzelner Energieträger und -technologien treffen zu können. Ähnliches gilt für Modellrechnungen in anderen umweltrelevanten Themenbereichen (vgl. u. a. Walker et. al. 2003).

Mit der Erstellung und Verwendung von gesellschaftlichen Rahmenannahmen sind verschiedene Schwierigkeiten verbunden. Diese betreffen zum einen den Umgang mit Unsicherheit und Interdependenz von gesellschaftlichen Entwicklungen und zum anderen die Frage der Vergleichbarkeit von Modellierungen mit unterschiedlichen Rahmenannahmen. Die erste Schwierigkeit besteht zunächst darin, dass zukünftige gesellschaftliche Entwicklungen unsicher sind (vgl. u. a. van der Sluijs 2002, Kriegler et al. 2010, Moss et al. 2010: 748). Bei vielen Entwicklungen können wir nicht sicher vorhersagen, welche Entwicklung zukünftig stattfinden wird, sondern aus heutiger Sicht erscheint eine Bandbreite an zukünftigen Entwicklungen möglich und plausibel. So könnte sich beispielsweise die Bevölkerung in Deutschland im Jahr 2030 auf ein Niveau zwischen ca. 76,6 und 81 Millionen entwickelt haben (siehe Steckbrief „Bevölkerung“ im Anhang). Die Unsicherheit gesellschaftlicher Kontexte schlägt sich auf die Unsicherheit von Ergebnissen von Umweltmodellierung nieder: „The same uncertainties that complicate projecting socio-economic trends also hamper our ability to foresee environmental futures“ (EEA 2007: 38).

Zweitens sind im Rahmen einer Modellierung meist nicht nur einzelne, sondern mehrere Rahmenbedingungen relevant. Zukünftige gesellschaftliche, wirtschaftliche und politische Entwicklungen finden aber nicht isoliert voneinander statt, sondern sie stehen teilweise in Wechselbeziehungen und beeinflussen sich gegenseitig, d.h. sie sind interdependent. Beispielsweise nimmt die demographische Entwicklung Einfluss auf die Situation der Wirtschaft und des Arbeitsmarkts, die wiederum die Entwicklung sozialer und kultureller Werte mit beeinflusst, was wiederum die zukünftige Bevölkerungsentwicklung beeinflussen kann (vgl. EEA 2005: 15). Diese komplexen gesellschaftlichen Rahmenbedingungen von Umweltmodellierungen bilden häufig ein nur qualitativ beschreibbares Beziehungsgeflecht. Werden diese wechselseitige Einflüsse zwischen Rahmenentwicklungen in der Modellierung nicht systematisch beachtet, kann dies zur Verwendung von inkonsistenten Rahmenannahmen führen, d. h. von Bündeln von Rahmenannahmen, die nicht logisch schlüssig und nicht in sich widerspruchsfrei sind (vgl. Schweizer 2007, Weimer-Jehle/Kosow 2010).

Die dritte Schwierigkeit liegt nicht auf der Ebene des einzelnen Modells, sondern auf der Ebene eines Modellinstrumentariums, das verschiedene Modelle zu unterschiedlichen Themen umfasst. Diese Modelle verwenden teils die gleichen, teils unterschiedliche Rahmenannahmen, d. h. die relevanten Rahmengrößen decken sich teilweise. Teilweise können Rahmenannahmen eines Modells andererseits Ergebnisgrößen eines anderen Modells sein. Werden für die verschiedenen Modelle keine abgestimmten Rahmenannahmen verwendet, schwächt dies die Vergleichbarkeit von Ergebnissen und schränkt die Möglichkeiten zur modellübergreifenden Interpretation ein (u.a. EEA 2005: 20, Kriegler et al. 2010: 5 ff.).

Vor diesem Hintergrund gilt es, mehrere Ziele zu erreichen, um die Qualität von Rahmenannahmen zu erhöhen. Die Interdependenz von Rahmenentwicklungen erfordert es, die innere Konsistenz von Rahmenannahmen zu sichern und die Unsicherheit zukünftiger gesellschaftlicher Entwicklungen sollte durch mehrere Sätze von Rahmenannahmen repräsentiert werden. Für die Möglichkeit einer integrativen Interpretation von Modellergebnissen innerhalb eines Modellinstrumentariums ist die Verwendung harmonisierter Rahmendaten anzustreben.

Um diese Ziele zu erreichen schlagen wir vor, konsistente Kontextszenarien einzusetzen. Kontextszenarien erlauben es, über das Szenariokonzept die Unsicherheit zukünftiger gesellschaftlicher Entwicklungen über mehrere mögliche Zukünfte angemessen abzubilden. Konsistente Kontextszenarien berücksichtigen die Interdependenzen zwischen gesellschaftlichen Entwicklungen und stellen Bündel von Rahmenannahmen bereit, deren innere Stimmigkeit, d. h. Konsistenz, sichergestellt ist. Darüber hinaus können konsistente Kontextszenarien als harmonisierte, gemeinsame Hintergrundbilder für verschiedene Modelle ausgestaltet werden und als integrative Szenarien die Vergleichbarkeit und modellübergreifende Ergebnisinterpretation verschiedener Modelle innerhalb eines Modellinstrumentariums unterstützen.

3 Methodischer Ansatz

In diesem Gutachten wird die Eignung der Cross-Impact Bilanzanalyse (CIB) (Weimer- Jehle 2006) zur Generierung von konsistenten Kontextszenarien für die Modellierung von Umweltsystemen und modellbasierte Umweltszenarien demonstriert und diskutiert.

Die Cross-Impact Bilanzanalyse ist eine qualitative Form der Cross-Impact Analyse (vgl. u. a. Gordon/Hayward 1968). Sie wurde seit dem Jahr 2001 zunächst an der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden Württemberg und weiter am ZIRN entwickelt und erprobt. CIB ist eine Form der qualitativen Systemanalyse, mit deren Hilfe Wirkungsnetze qualitativ definiert und analysiert werden können. CIB wird als systematische Szenariotechnik dazu eingesetzt, konsistente Konfigurationen von Wirkungsnetzen zu bestimmen, um konsistente Szenarien zu generieren.

Bisherig ist CIB u. a. in den Themenfeldern Energie, Nachhaltigkeit, Innovation, Gesundheitsprävention und Wasserversorgung als Szenariotechnik eingesetzt worden¹. Der Ansatz begründet sich durch Konzepte der mathematischen Systemtheorie (vgl. Weimer-Jehle 2006, 2008 und 2009) und ist gleichzeitig durch ein leicht verständliches und transparentes Vorgehen gekennzeichnet, das die Zusammenarbeit von Experten mit unterschiedlichen fachlichen Hintergründen unterstützt.

Schematisch läuft ein CIB Prozess in fünf Schritten ab²:

1. Identifikation der Szenariofaktoren
2. Definition der Entwicklungsvarianten
3. Bewertung der Wechselwirkungen
4. Ermittlung konsistenter Szenarien
5. Interpretation der Szenarien

¹ Eine vollständige Übersicht über Themen und Projektreferenzen findet sich auf der Methodenwebsite <http://www.cross-impact.de/>

² Eine ausführlichere Beschreibung des CIB-Ablaufs findet sich in den „Methodenblättern“ auf der Methodenwebsite www.cross-impact.de

Im ersten Schritt wird eine Liste der relevanten Einflüsse, d. h. der Szenariofaktoren, aufgestellt. Diese Faktoren werden definiert und dokumentiert, um die Transparenz des Prozesses und ein gemeinsam geteiltes Verständnis aller Prozessbeteiligten sicherzustellen. In der Praxis hat sich eine Anzahl von ca. 9-15 Faktoren als sinnvoll erwiesen. Szenarioräume, die sich durch wenige Faktoren beschreiben lassen, sind häufig noch ohne Hilfsmittel wie CIB zu bewältigen. Bei solchen, die deutlich mehr Einflussfaktoren aufweisen, steigt der Aufwand für die Aufarbeitung der Interdependenzen stark an.

Im zweiten Schritt werden zukünftige Entwicklungsvarianten jedes Faktors („Subszenarien“) definiert. Diese Varianten können quantitativ und/oder qualitativ beschrieben werden, wobei Informationen auf verschiedenen Skalentypen gleichberechtigt verwendet werden können, d. h. sowohl nominale Informationen („rot“ oder „grün“), ordinale Informationen („stark“, „mittel“ oder „schwach“) als auch metrische bzw. numerische Informationen können in eine CIB eingehen.

	RG			AP			WL			WV		SZ			GW		
	p	w	s	Kp	Ri	Kf	si	st	dy	au	Ko	sF	Sp	Un	Le	So	Fa
Regierung																	
- "patriotisch"				-2	1	1	0	0	0	0	0	-2	1	1	0	0	0
- "wirtschaftsorientiert"				2	1	-3	-2	-1	3	-2	2	0	0	0	2	-1	-1
- "sozial"				0	0	0	0	2	-2	3	-3	2	-1	-1	-2	2	0
Außenpolitik																	
- Kooperation	0	0	0				-2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
- Rivalität	0	0	0				0	1	-1	0	0	1	0	-1	0	0	0
- Konflikt	3	-1	-2				3	0	-3	0	0	3	-1	-2	-2	1	1
Wirtschaftsleistung																	
- sinkend	2	1	-3	0	0	0				-2	2	-3	1	2	0	0	0
- stagnierend	-1	2	-1	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0
- dynamisch	0	0	0	0	0	0				-2	2	3	-1	-2	0	0	0
Wohlstandsverteilung																	
- ausgeglichen	0	0	0	0	0	0	0	0	0			3	-1	-2	-2	1	1
- große Kontraste	0	-3	3	0	0	0	0	0	0			-3	1	2	2	-1	-1
Sozialer Zusammenhalt																	
- sozialer Friede	0	0	0	0	0	0	-2	-1	3	0	0				2	-1	-1
- Spannungen	0	0	0	-1	0	1	1	1	-2	0	0				-1	0	1
- Unruhen	2	-1	-1	-3	1	2	3	0	-3	0	0				-2	-1	3
Gesellschaftliche Werte																	
- Leistung	0	3	-3	0	0	0	-3	0	3	-3	3	-2	1	1			
- Solidarität	1	-2	1	0	0	0	-1	2	-1	2	-2	2	-1	-1			
- Familie	0	0	0	0	0	0	-1	2	-1	1	-1	2	-1	-1			
	↓			↓			↓			↓		↓			↓		
Bilanz:	0	3	-3	2	1	-3	-9	-1	10	-7	7	4	-1	-3	2	-1	-1

Abbildung 1: Beispiel für eine Cross-Impact Bilanzmatrix des fiktiven „SomewhereLand“; Konsistenzprüfung für ein Szenario.

Im dritten Schritt werden die Interdependenzen, d. h. die Einflüsse zwischen den verschiedenen Entwicklungsvarianten der Faktoren, aufgearbeitet. Dazu werden alle Faktoren und Varianten in Form einer Matrix allen anderen Faktoren und Varianten gegenübergestellt (siehe Beispielmatrix „SomewhereLand“ in Abbildung 1) und mögliche gegenseitige Einflüsse der einzelnen Entwicklungen aufeinander qualitativ diskutiert. Für jede Kombination von Varianten wird (paarweise) erörtert, ob ein direkter Einfluss zwischen der einen Entwicklung

(in der Zeile) auf die andere Entwicklung (in der Spalte) besteht. Falls ein solcher direkter Einfluss gesehen wird, wird bewertet, ob es sich um einen hemmenden oder einen fördernden Einfluss handelt und ggf. auch die Stärke des Einflusses festgehalten. Hierzu kann z. B. eine Skala von -3 bis +3 verwendet werden, wobei die Wertung 0 „kein Einfluss“ bedeutet. Diese Diskussion findet für sämtliche Zellen der Matrix statt, in der Regel mit Ausnahme der Zellen auf der Diagonale³. Indirekte Einflüsse werden aus der paarweisen Bewertung explizit ausgeklammert, da diese über die Gesamtmatrix automatisch dargestellt werden. Die Einflussbewertungen können entweder auf Basis von Literaturstudien oder Experteninterviews getroffen werden oder aber im Rahmen von Workshops mit einer Expertengruppe kommunikativ entwickelt und validiert werden. Ist die Matrix vollständig ausgefüllt, ist ein vollständiges Wirkungsnetz festgehalten.

Im vierten Schritt werden konsistente Szenarien ermittelt. Szenarien werden gebildet, indem die Entwicklungsvarianten zu Bündeln kombiniert werden, wobei pro Szenario für jeden Faktor eine Variante ausgewählt wird. Die theoretisch mögliche Anzahl von unterschiedlichen Szenarien ergibt sich aus dem Gesamtprodukt der Anzahl der Varianten aller Faktoren. Von diesen Szenarien ist jedoch im Normalfall nur ein kleiner Anteil inhaltlich sinnvoll und konsistent. Deshalb wird bei der CIB jedes der theoretisch möglichen Szenarien auf seine innere Konsistenz hin überprüft. Diese Prüfung basiert auf den in der Matrix abgelegten Informationen über das Wirkungsgefüge zwischen den Faktoren. Die Konsistenz jeder Kombination von Varianten, d. h. jedes Szenarios, wird über die Bilanz der Einflüsse im Wirkungsnetz bestimmt. Konsistente Szenarien sind diejenigen Kombinationen, die mit den Einflussregeln des Wirkungsnetzes übereinstimmen. Die vollständige Konsistenzprüfung wird aufgrund der Vielzahl an möglichen Kombinationen mit Hilfe der frei verfügbaren CIB Szenario Software *SzenarioWizard*⁴ durchgeführt. Der Konsistenztest für einzelne Szenarien ist aber auch mit Papier und Bleistift durchführbar und leicht nachvollziehbar:

- a. Markiere ein „Testszenario“ in den Zeilen der Matrix (eine Kombination von Varianten, d. h. wähle eine Variante pro Faktor). Im Beispiel wird das Szenario Regierung „wirtschaftsorientiert“, Außenpolitik „Kooperation“, Wohlstandsverteilung „ausgeglichen“, sozialer Zusammenhalt „sozialer Friede“, Gesellschaftliche Werte „Leistung“ markiert (siehe Abbildung 1).
- b. Summiere spaltenweise die Einflussbewertungen jeder Variante (siehe im Beispiel die Einflusssummen pro Variante unterhalb der Matrix in der Zeile „Bilanz“).
- c. Vergleiche pro Faktor, ob die höchste der Spaltensummen derjenigen Variante entspricht, die im Testszenario angenommen wird (durch das Pfeilsymbol gekennzeichnet).

³ Die Zellen auf der Diagonale der Matrix stellen die Einflüsse der Entwicklungsvarianten auf sich selbst dar. Diese zu berücksichtigen ist jedoch nur in Einzelfällen sinnvoll, zB. dann, wenn sich selbst verstärkende Entwicklungen eine Rolle spielen.

⁴ URL: http://www.cross-impact.de/deutsch/CIB_d_ScW.htm

Wenn dies nicht der Fall ist, wie im Beispiel beim Faktor „Wohlstandsverteilung“, liegen im Wirkungsnetz Argumente dafür vor, weshalb die im Testszenario angenommene Variante nicht konsistent ist, da in der Summe stärkere Einflüsse für eine andere Variante sprechen. Diese Prüfung „per Hand“ erlaubt es, inhaltlich sinnvoll zu interpretieren, was die Gründe gegen die Konsistenz eines Szenarios sind. Im Beispiel sprechen die wirtschaftsorientierte Regierung („-2“), die dynamische Wirtschaftsentwicklung („-2“) und die Leistungsorientierung der Gesellschaft („-3“) insgesamt deutlich gegen die Annahme einer ausgeglichenen Wohlstandsverteilung.

Inkonsistente Annahmen können mit dem Verfahren nach dem Grad ihrer Inkonsistenz beurteilt werden: Der *Inkonsistenzwert* eines Faktors berechnet sich aus dem Abstand der für das Szenario gültigen Spaltensumme zur höchsten Spaltensumme des Faktors. Im Beispiel ergibt sich der Inkonsistenzwert für den Faktor „Wohlstandsverteilung“ (dem einzigen inkonsistenten Faktor) aus der Differenz der Spaltensummen $+7 - (-7) = 14$. Die Konsistenzbeurteilung von Szenarien richtet sich nach ihrem inkonsistentesten Faktor. Als vollkonsistent gelten also Szenarien, die in allen Faktoren frei von Inkonsistenzen sind.

Neben der Konsistenzprüfung aller Szenarien sind weitere Auswertungen möglich, diese sind u. a. bei Weimer-Jehle 2006 und Renn et al. 2007 sowie im Handbuch zur Software⁵ ausführlich beschrieben. Weitere Informationen zur Anwendung von CIB inklusive Schulungsmaterial finden sich auf der Methodenwebsite www.cross-impact.de.

4 Arbeitsschritte

Eine Cross-Impact Bilanzanalyse zur Erstellung von Szenarien erfordert grundsätzlich folgende Arbeitsschritte:

1. Auswahl der Faktoren, deren Entwicklung szenarienhaft beschrieben werden soll.
2. Festlegung einiger repräsentativer Projektionsvarianten („Subszenarien“) für jeden Faktor.
3. Beurteilung der Interdependenzen zwischen den Projektionsvarianten („Cross-Impact Matrix“).
4. Bestimmung der konsistenten Szenarien durch Auswertung der Cross-Impact Matrix.
5. Interpretation der Szenarien und ihrer Aussagen.

Grundsätzlich kann dieses Arbeitsprogramm auch von einer einzelnen Person oder einer Arbeitsgruppe durchgeführt werden. Aufgrund der häufig interdisziplinären Spannweite der Szenariofaktoren ist es aber im Regelfall sinnvoll, zumindest für einige Arbeitsschritte einen Expertenkreis einzubinden, in dem ausreichende Kenntnisse für alle relevanten Wissensbereiche repräsentiert sind. Diese Einbindung kann verschiedene Formen annehmen und schriftliche Erhebungen, Einzelinterviews und Expertenworkshops einsetzen und kombinieren. Das Design der Einbindung hängt von der Verschränkung der Wissensgebiete, von praktischen Erwägungen wie dem Umfang und der Gleichzeitigkeit der Zeitverfügbarkeit

⁵ URL: http://www.cross-impact.de/Ressourcen/ScenarioWizardBasicManual_dt.pdf

bei den Experten, und schließlich auch von den persönlichen Überzeugungen und Erfahrungen der Projektverantwortlichen hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Einbindungsformen ab.

Abbildung 2 zeigt einen idealtypischen Ablauf, der jedoch in der Regel den projekt- und themenspezifischen Erfordernissen angepasst werden muss.

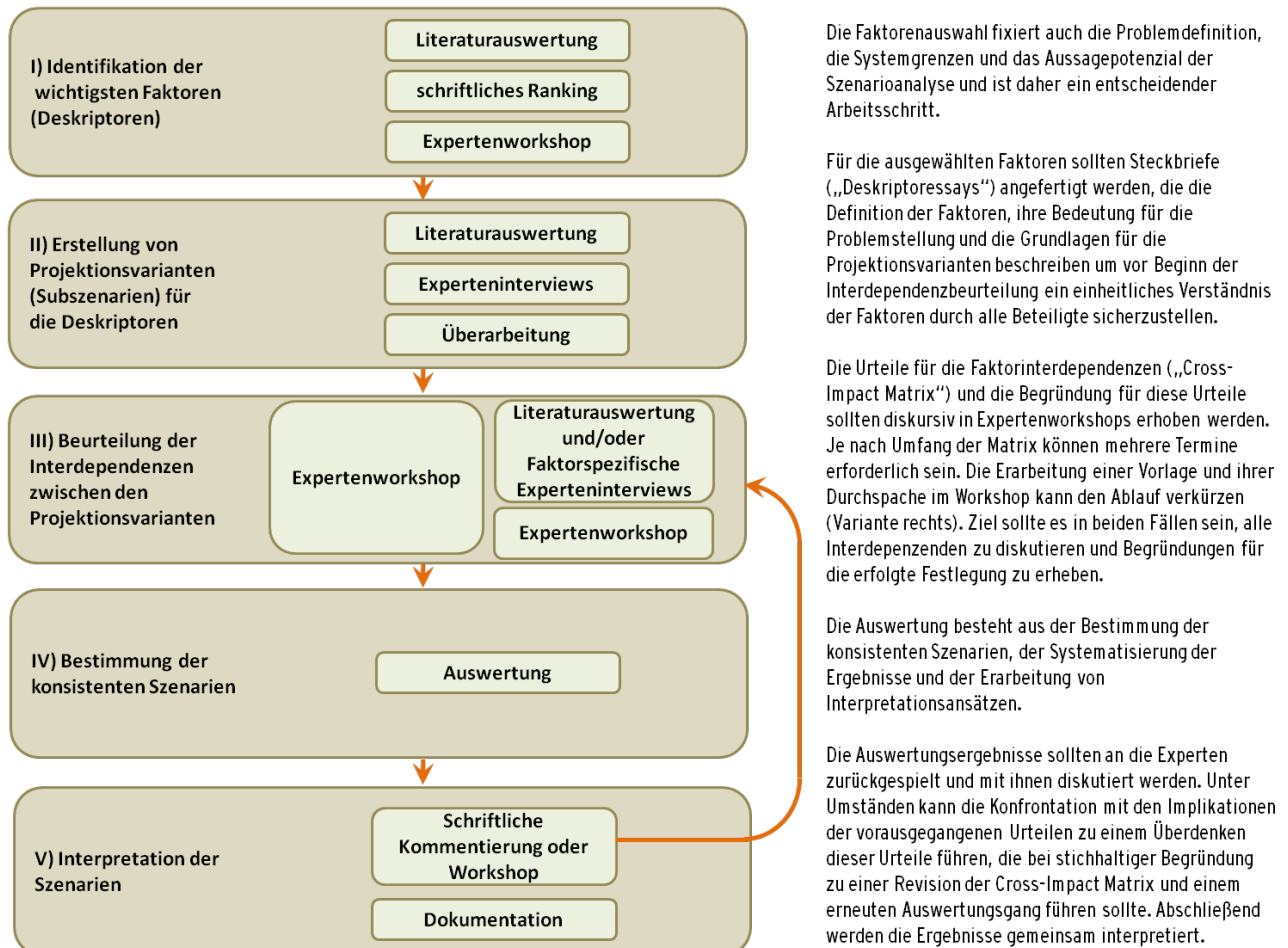


Abbildung 2: Idealtypischer Ablaufplan einer Szenarioanalyse mit der CIB-Methode

Die im Rahmen dieses Gutachtens für das UBA durchgeführte Szenarioanalyse hatte überwiegend Demonstrationscharakter mit begrenzten Zeitressourcen. Der Ablauf wurde daher in mehreren Punkten gestrafft um die terminlichen Zielsetzungen des Gutachtens einzuhalten, aber auch die zeitliche Belastung für die begleitenden Experten am UBA zu begrenzen. Im Einzelnen wurde der Ablauf in folgenden Punkten gegenüber der Darstellung in Abbildung 2 gestrafft:

- Die Faktorenauswahl erfolgte auf Basis einer Vorschlagsliste in einer Videokonferenz.
- Die Festlegung der Subszenarien erfolgte nach einer Literaturlauswertung in enger Abstimmung mit der UBA-Projektbegleitung, jedoch ohne Einzelinterviews mit den beteiligten Experten.

- Zur Erhebung der Cross-Impact Matrix wurde eine schriftliche Befragung der beteiligten Experten mit anschließender Durchsprache der besonders divergierenden Einschätzungen in einem eintägigen Workshop mit den Experten. Zur Aufwandsbegrenzung wurde damit darauf verzichtet, alle Interdependenzurteile diskursiv zu erörtern. Auch die Begründungen der Experten liegen daher nur für einen Teil der Urteile vor.
- Um den terminlichen Zielsetzungen des Gutachtens zu entsprechen, wurde auf eine Rückkopplung der Ergebnisse mit eventueller Neuauswertung verzichtet.

Trotz dieser Straffungen blieb der charakteristische Ablauf einer CIB-Analyse grundsätzlich erhalten, um so dem UBA auf Basis dieses Projektes eine Einschätzung der Potenziale und Grenzen der Methode bei der Szenarioerstellung am UBA zu ermöglichen.

Die Arbeiten wurden seitens des UBA von Herrn Ullrich Lorenz begleitet und erfolgten in Zusammenarbeit mit einer Expertengruppe des UBA. Mit der Expertengruppe fanden folgende Arbeitstermine statt:

19.10.2010: Arbeitsaufnahmesbesprechung zur Verfahrensabsprache, Klärung von Rahmenbedingungen, Ablaufplanung und Terminfindung.

29.10.2010: Videokonferenz zur Faktorenauswahl auf Basis einer Auswahlliste.

30.11.2010: Cross-Impact Workshop zur Diskussion der Interdependenzen auf Basis einer zuvor erfolgten schriftlichen Befragung. Diskussion von Wild Cards.

An der Expertengruppe des UBA wirkten folgende Personen mit:

Michael Golde

Jens Günther

Sarah Kahnert

Matthias Koller

Ullrich Lorenz (Projektbegleiter)

Diana Nissler

Dirk Osiek

Gertrude Penn-Bressel

Nadja Richter

Alfred Trukenmüller

Sylvia Veenhoff

Gabriele Wechsung

Die Ergebnisse des Gutachtens wurden am **20.01.2011** am UBA vorgestellt und diskutiert.

5 Die Szenario-Faktoren

Geleitet von der Fragestellung: „Welche Faktoren beeinflussen die zukünftige Entwicklung verschiedener Umweltfelder wie z.B. Klima, Energie, Verkehr, Nachhaltigkeit in Deutschland?“ wurden in einem ersten Schritt eine Reihe von Modellstudien ausgewertet und die zehn wichtigsten darin verwendeten externen (internationalen/globalen) und internen (deutschlandweiten) Entwicklungen bzw. mächtigen Trends identifiziert, definiert, mit quantitativen Daten hinterlegt und dokumentiert.

Dazu wurde zunächst aus dem breiten Angebot möglicher Datenquellen gemeinsam mit der Begleitgruppe beim UBA eine enge Auswahl besonders relevanter Studien getroffen. Da der Schwerpunkt des Gutachtens nicht die umfassende Sichtung und Bewertung einzelner Datenquellen, sondern die Erstellung konsistenter Rahmendatenbündel darstellte, erfolgte diese Auswahl kompakt und zielorientiert. Dabei wurde auf öffentlich zugängliche und transparent dokumentierte Studien und Datenbanken zurückgegriffen (u.a. UBA, ergänzt durch EU, BMU, BMWi, Statistisches Bundesamt, IEA Datenquellen), um die Nachvollziehbarkeit und hierdurch auch eine breite Akzeptanz der konstruierten Rahmenszenarien bei Modellierern und bei den Nutzern von Simulationsergebnissen zu fördern.

Die Auswahl der Faktoren erfolgte in zwei Schritten. In einem ersten Schritt erarbeitete ZIRN eine erste Liste von Faktoren aus der Literatur und legte diese dem UBA zur Diskussion vor. Hierzu wurde im Vorfeld mit dem UBA abgesprochen, dass nur quantitative bzw. quantifizierbare Trends in die Rahmendaten aufgenommen werden sollten. Qualitative Trends als expliziter Teil der konsistenten Rahmenbündel blieben für das Sondergutachten unberücksichtigt.

Im Rahmen einer Videokonferenz mit der Begleitgruppe des UBA wurde dann in einem weiteren Schritt die Liste möglicher Faktoren diskutiert, angepasst, bewertet und auf die zehn relevantesten, d.h. wirkungsmächtigsten, Faktoren reduziert. Folgende Faktoren wurden von der Begleitgruppe des UBA ausgewählt:

- a. Bevölkerungsentwicklung
- b. Wohnfläche pro Kopf
- c. Bruttoinlandsprodukt (BIP)⁶
- d. Ölpreis
- e. Primärenergieverbrauch
- f. Totaler Materialverbrauch (TMR)⁷

⁶ Das BIP verfügt nur über eine begrenzte Aussagekraft als Indikator zur Messung des volkswirtschaftlichen Wohlstands (vgl. Schaper, Klaus 2001: Makro-Ökonomie – Ein Lehrbuch für Sozialwissenschaftler. Frankfurt am Main: Campus. S.44). Dies wurde auch in den Diskussionen in der Expertengruppe betont. Trotzdem wird sie häufig als Variable in Umwelt- und Energieszenarien verwendet und ist daher bei der Konstruktion von Rahmenszenarien relevant.

- g. Personenverkehrsleistung
- h. Güterverkehrsleistung
- i. Stickstoffüberschuss in der Landwirtschaft
- j. Klimaänderung⁸

Es ist wichtig festzuhalten, dass die ausgewählten Faktoren nicht ausschließlich als Rahmendaten für Modellrechnungen zu interpretieren sind, sondern gleichzeitig auch Output-Größen in bestimmten Modellrechnungen darstellen können. Doch alle Faktoren haben – in Abhängigkeit der Fragestellung – die Qualität, dass sie häufig als Eingangsgrößen in Szenarien und Modellierungen einfließen.

Diskutiert und festgelegt wurde auch der zu wählende Zeithorizont. Die Bedeutung alternativer Entwicklungen und der Nutzen einer systematischen Interdependenzanalyse steigt zwar, je weiter Entwicklungen in die Zukunft vorausgedacht werden, aber desto eingeschränkter ist auch die Abdeckung durch die verfügbaren Datenquellen. Aufgrund fehlender Datenquelle für einen Großteil der Faktoren über den Zeithorizont 2030 hinaus, wurde daher schließlich als Zeithorizont für die Beschreibung der möglichen Entwicklungen sowie für die Konstruktion konsistenter Szenarien das Jahr 2030 festgelegt.

Darüber hinaus wurde von der Begleitgruppe des UBA angeregt, zwei Wild Cards als „Störereignisse“ in die Analyse mit aufzunehmen. Als Wild Cards wurden in der Videokonferenz festgelegt:

1. Klimaänderung: starke Temperaturabsenkung
2. Wirtschaftskrise.

Für die identifizierten zehn Faktoren wurden von ZIRN dann in einem weiteren Arbeitsschritt Steckbriefe angefertigt, in denen die Faktoren definiert und beschrieben wurden. Weiterhin wurden die unterschiedlichen Entwicklungen, die in der Literatur für die Entwicklung dieser Faktoren bis zum Jahr 2030 angegeben werden, zusammengetragen und daraus Subszenarien für die Cross-Impact Bilanzanalyse ausgewählt. Die Auswahl war insbesondere vom Ziel geleitet, mit Hilfe von Subszenarien eine möglichst breite Varianz abdecken zu können, um

⁷ Während des Workshops mit der UBA-Expertengruppe wurde auf die begrenzte Aussagekraft der Größe TMR verwiesen, da sie Handelseffekte unberücksichtigt lässt. D.h. der TMR erfasst Rohstoffe mehrfach, wenn die internationale Arbeitsteilung steigt und damit Importe und Reimporte verknüpft sind. Da für andere Materialfluss-Größen (z.B. DMI, DMC) jedoch keine Prognosen zur Erstellung von Subszenarien vorhanden waren wurde beschlossen, weiterhin den TMR zu verwenden.

⁸ Bei der Diskussion der Wirkungen der anderen Faktoren auf den Klimawandel wurde das Verständnis unterlegt, dass die in den Szenarien angenommenen Entwicklungen der Klimagasemissionen in Deutschland jeweils von ähnlichen internationalen Entwicklungen begleitet werden. Hintergrund ist nicht die Hypothese, dass die deutsche Entwicklung ausschlaggebend für die globalen Entwicklungen sind, sondern die Anforderung, dass Rahmenszenarien für Umweltanalysen keine Sonderrolle Deutschlands im internationalen Klimaschutz unterstellen sollten.

dadurch das Unsicherheitsfeld, das durch die abweichenden Einschätzungen verschiedener Quellen angezeigt wird, zu repräsentieren. Daher wurden für die Mehrzahl der Faktoren die jeweils höchste, niedrigste sowie eine mittlere Variante ausgewählt. Bei zwei Faktoren wurden aufgrund fehlender mittlerer Alternativen nur zwei Subszenarios beschrieben. Für den Faktor BIP wurde in Absprache mit der Expertengruppe eine vierte Entwicklung als zusätzliches SubszENARIO in den Steckbrief aufgenommen.

Das Anfertigen der Steckbriefe erfolgte mit dem Ziel, die im Projekt ausgewählten Faktoren eindeutig zu definieren, die berücksichtigten Ausprägungen transparent zu dokumentieren und ein von allen Prozessbeteiligten gemeinsam geteiltes Verständnis der Rahmenthemen, Szenario-Faktoren sowie ihrer möglichen zu berücksichtigenden Ausprägungen sicherzustellen.

Die Steckbriefe finden sich im Anhang des Berichts. Eine Übersicht über die Faktoren und die in der weiteren Szenarioanalyse verwendeten Subszenarios zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Die Szenario-Faktoren und ihre Subszenarios.

A. Bevölkerungsentwicklung	a1 leichter Rückgang auf ca. 81 Mio a2 moderater Rückgang auf ca. 79 Mio a3 starker Rückgang auf ca. 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	b1 starker Anstieg auf ca. 50.4 qm b2 geringer Anstieg auf ca. 44.2 qm
C. BIP	c1 starker Anstieg auf ca. 3509 G€ (1.6%/a) c2 mittlerer Anstieg auf ca. 3120 G€ (1.2%/a) c3 schwacher Anstieg auf ca. 2830 G€ (0.8%/a) c4 geringes und stark volatiles Wachstum
D. Ölpreis	d1 starker Anstieg auf ca. 125 \$/b d2 mittlerer Anstieg auf ca. 91 \$/b d3 etwa konstant bei ca. 67 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	e1 leichter Rückgang auf ca. 13400 PJ e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ e3 starker Rückgang auf ca. 7700 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	f1 ansteigender Verbrauch auf ca. 7200 Mt f2 etwa stabil bei ca. 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	g1 deutlicher Anstieg um ca. 32% g2 moderater Anstieg um ca. 10% g3 leichter Rückgang um ca. 5%
H. Güterverkehrsleistung	h1 sehr starker Anstieg um ca. 69% h2 starker Anstieg um ca. 53% h3 moderater Anstieg um ca. 34% + Verlagerung
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	i1 Stagnation i2 moderater Rückgang / BaU (ca. -20%) i3 verstärkter Rückgang (ca. -30%)
J. Klimaänderung	j1 kaum wärmer - deutlich feuchter j2 moderat wärmer - kaum feuchter j3 deutlich wärmer - kaum feuchter

6 Die Interdependenz der Szenario-Faktoren

Nach Fertigstellung der Steckbriefe und nach Anfertigung eines Leerformulars für die Cross-Impact Matrix wurden diese Unterlagen der Expertengruppe beim UBA für eine schriftliche Bewertung der Einflussbeziehungen der zehn Schlüsselfaktoren zugesandt. Die schriftlich abgegebenen Expertenurteile wurden dann von ZIRN im Hinblick auf den anschließenden Workshop beim UBA ausgewertet. Abgegeben wurden fünf Matrizen, die teils vollständig ausgefüllt wurden, teilweise wurden selektiv jene Sektoren bearbeitet, die die Zusammenhänge zu einem bestimmten Fachgebiet thematisieren. Die Auswertung der schriftlichen Befragung zeigte zunächst bei welchen Wirkungsbeziehungen sich die UBA-Expertinnen und Experten vornehmlich einig waren und bei welchen Wirkungsbeziehungen entweder noch Fragen offen geblieben waren oder aber kontroverse Einschätzungen dominierten. Die offenen Fragen und die Punkte mit kontroversen Einschätzungen standen dann im Fokus des Expertenworkshops, der am 30. November 2010 am UBA durchgeführt wurde.

Die Cross-Impact Analyse erfolgte somit als zweistufiger Prozess, zunächst individuell und schriftlich und danach diskursiv im Rahmen eines ganztägigen Treffens. Sowohl an der schriftlichen Befragung als auch am Workshop hatten Fachexpertinnen und Fachexperten teilgenommen und die notwendige heterogene disziplinäre Expertise eingebracht.

Während des Workshops wurde eine gemeinsame Cross-Impact Matrix erstellt, d.h. die Teilnehmerinnen und Teilnehmer beurteilten qualitativ die Einflussbeziehungen zwischen den alternativen Faktorentwicklungen und Projektionen bis zum Jahr 2030. Zu Beginn des Workshops wurden die Ergebnisse der schriftlichen Befragung vorgestellt. Im zweiten Teil des Workshops wurden dann die Einflussbeziehungen zwischen jenen Faktorausprägungen beurteilt und in der Gruppe diskursiv validiert, die in der schriftlichen Befragung entweder offen gelassen wurden oder kontrovers eingeschätzt worden waren. Einige noch unklare Bewertungen wurden noch im Nachgang zum Workshop mit der UBA-Projektbegleitung abgesprochen.

Die aus schriftlicher Befragung, Workshop und nachlaufenden Absprachen resultierende Cross-Impact Matrix ist im Anhang 1 dokumentiert. Die in der Cross-Impact Matrix angelegten Bestimmungsgrößen für jeden Faktor und die hinter den Einflüssen stehenden Überlegungen sind vereinfacht in den nachstehenden Abbildungen angegeben. Die Pfeile geben die grundsätzliche Tendenz einer Einflussbeziehung an (grün: fördernd, rot: hemmend). Die Diagramme sind geeignet, das Beziehungsnetz visuell zu veranschaulichen. Die Cross-Impact Matrix beschreibt die Beziehungen jedoch detaillierter als die Diagramme, da sie differenziert wie die Einzelbeziehungen zwischen den Subszenarien der beteiligten Faktoren bewertet wurden.

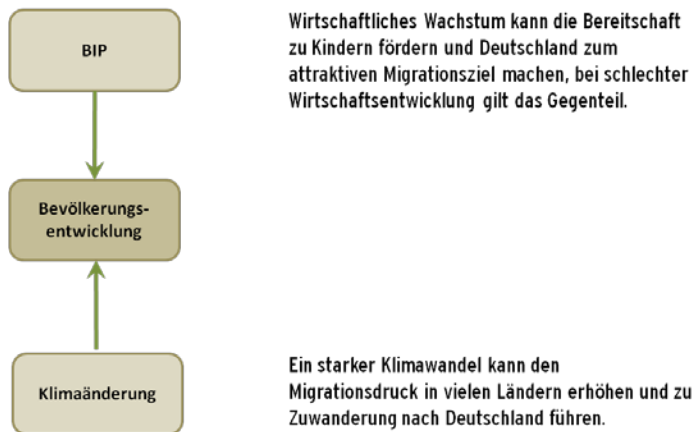


Abbildung 3: Die Bestimmungsfaktoren der Bevölkerungsentwicklung

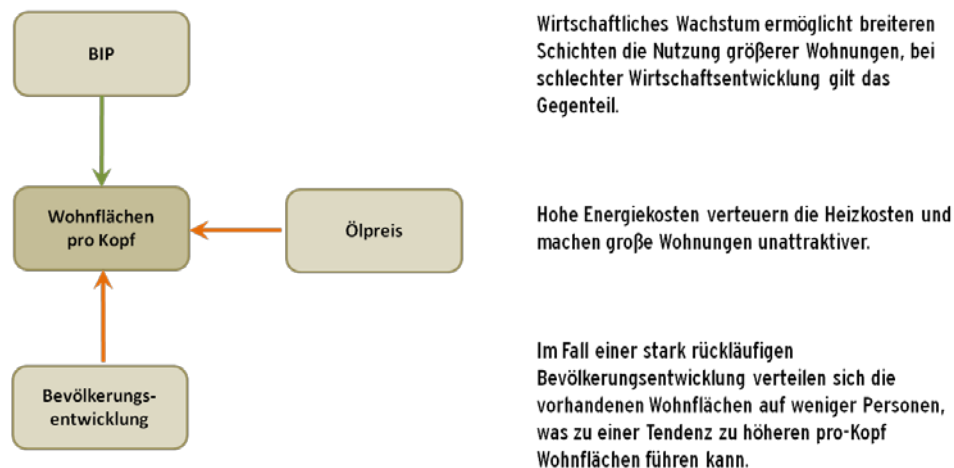


Abbildung 4: Die Bestimmungsfaktoren der pro-Kopf Wohnflächen

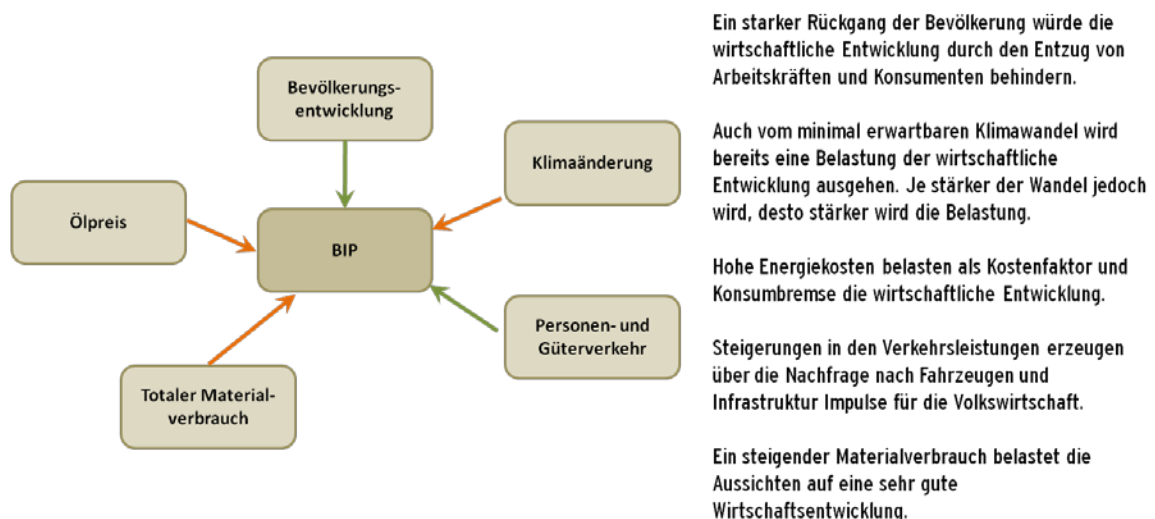
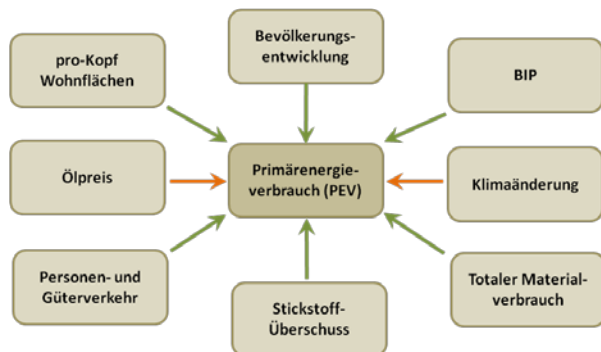


Abbildung 5: Die Bestimmungsfaktoren des BIP-Wachstums



Je höher (tiefer) die Bevölkerung, desto höher (tiefer) die Nachfrage nach Haushaltsenergie.

Eine Veränderung des BIP zieht, da von einer vollständigen Entkopplung nicht in absehbarer Zeit auszugehen ist, auch eine Veränderung des Energiebedarfs der Wirtschaft nach sich.

Hohe Ölpreise fördern Effizienzentwicklungen, niedrige Ölpreise bremsen diese tendenziell.

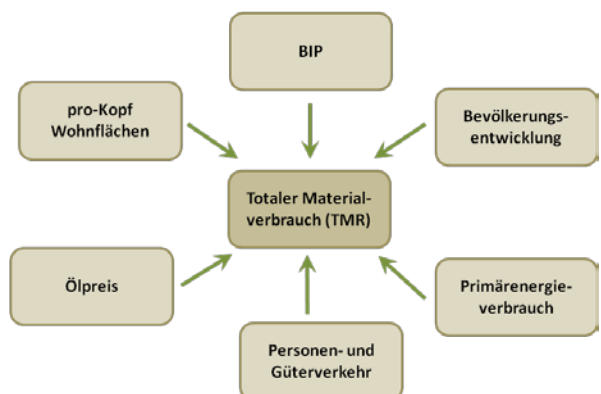
Eine deutliche Klimaerwärmung kann den Bedarf an Heizenergie über den Neubedarf an Kühlenergie hinaus senken, ein Klimawandel, der in erster Linie zu mehr Feuchtigkeit führt, dagegen eher steigern.

Wachsende Verkehrsleistungen führen zu einem wachsenden Energieverbrauch dieses Sektors.

Bei steigendem Materialverbrauch sind die Aussichten auf einen deutlich sinkenden PEV wegen der Energieintensität vieler Materialien geschmälert.

Ein sinkender Stickstoffüberschuss impliziert sinkenden Energieeinsatz in der Landwirtschaft und damit einen Beitrag zu einem sinkenden PEV.

Abbildung 6: Die Bestimmungsfaktoren des Primärenergieverbrauchs



Eine Veränderung des BIP zieht, da von einer massiven Dematerialisierung der Wirtschaft nicht in absehbarer Zeit auszugehen ist, auch eine Veränderung des Materialverbrauchs nach sich.

Daneben hat die Bevölkerungsentwicklung auch noch eine schwache direkte Stimulierungswirkung auf den Materialverbrauch.

Ein starker Anstieg der Wohnflächen wäre auch mit vermehrter Bautätigkeit und damit mit einem besonderen Impuls für den Materialverbrauch verbunden.

Eine sehr hoher Ölpreis würde zur verstärkten Nutzung der heimischen Braunkohle und damit aufgrund der besonderen Bedeutung der Braunkohle für die Materialbilanz zu einer Tendenz zu steigendem Materialverbrauch führen.

Bei sehr stark steigenden Verkehrsleistungen stimulieren die dann erforderlichen Infrastrukturmaßnahmen eine besonders materialintensive Wirtschaftstätigkeit.

Je stärker der Primärenergieverbrauch gesenkt werden kann, desto stärker wird wegen Materialintensität der Energieumwandlung auch die Materialbilanz entlastet.

Abbildung 7: Die Bestimmungsfaktoren der Totalen Materialverbrauchs

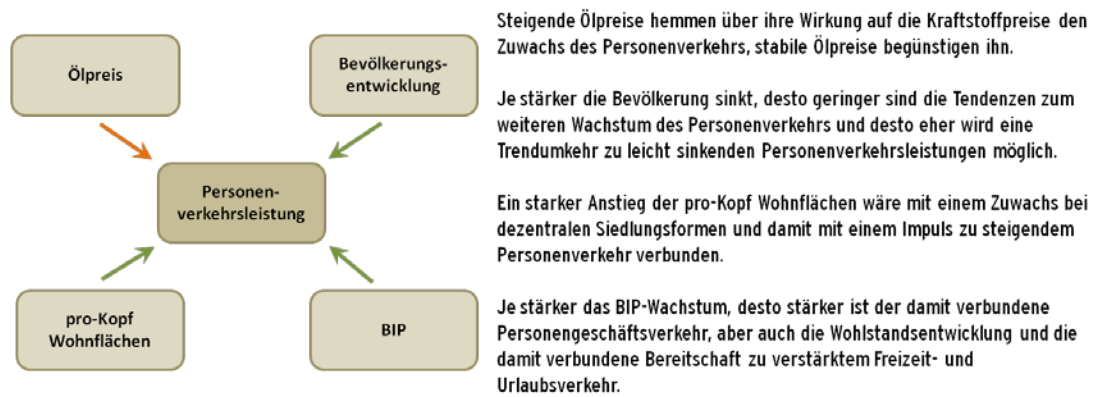


Abbildung 8: Die Bestimmungsfaktoren der Personenverkehrsleistung

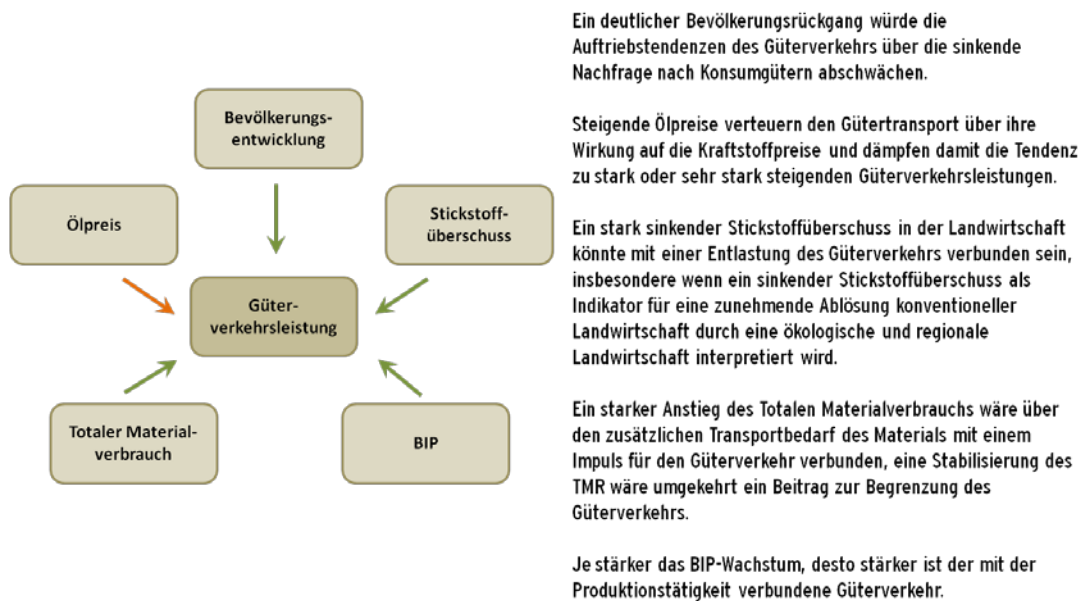


Abbildung 9: Die Bestimmungsfaktoren der Güterverkehrsleistung

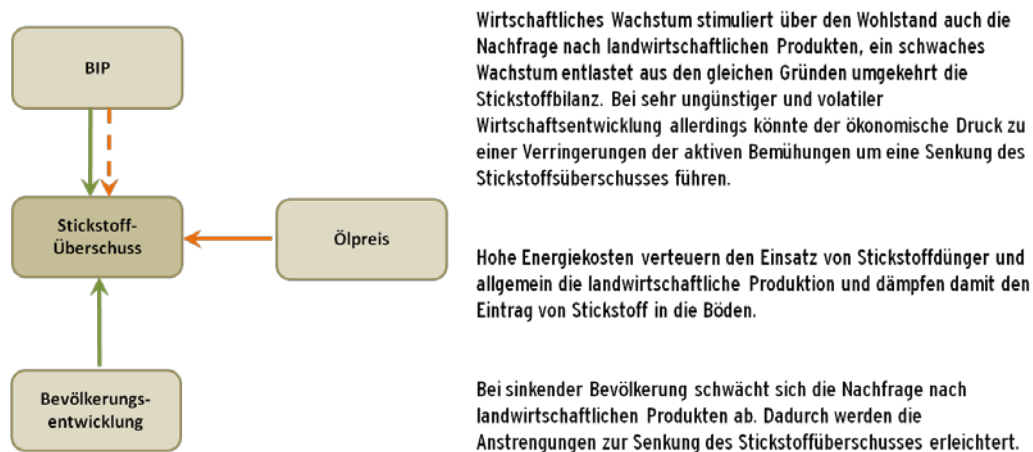


Abbildung 10: Die Bestimmungsfaktoren des Stickstoffüberschusses in der Landwirtschaft



Abbildung 11: Die Bestimmungsfaktoren der Klimaänderung

Für den Faktor „Ölpreis-Entwicklung“ gibt es kein Diagramm, da Deutschland auf diesem Markt als Preisnehmer betrachtet wird und alle Subszenarien des Faktors Ölpreis daher bedingungslos als möglich betrachtet werden. Zusammengesetzt ergeben die Einzeldiagramme zu den Faktoren einen Netzgraphen (Abbildung 12).

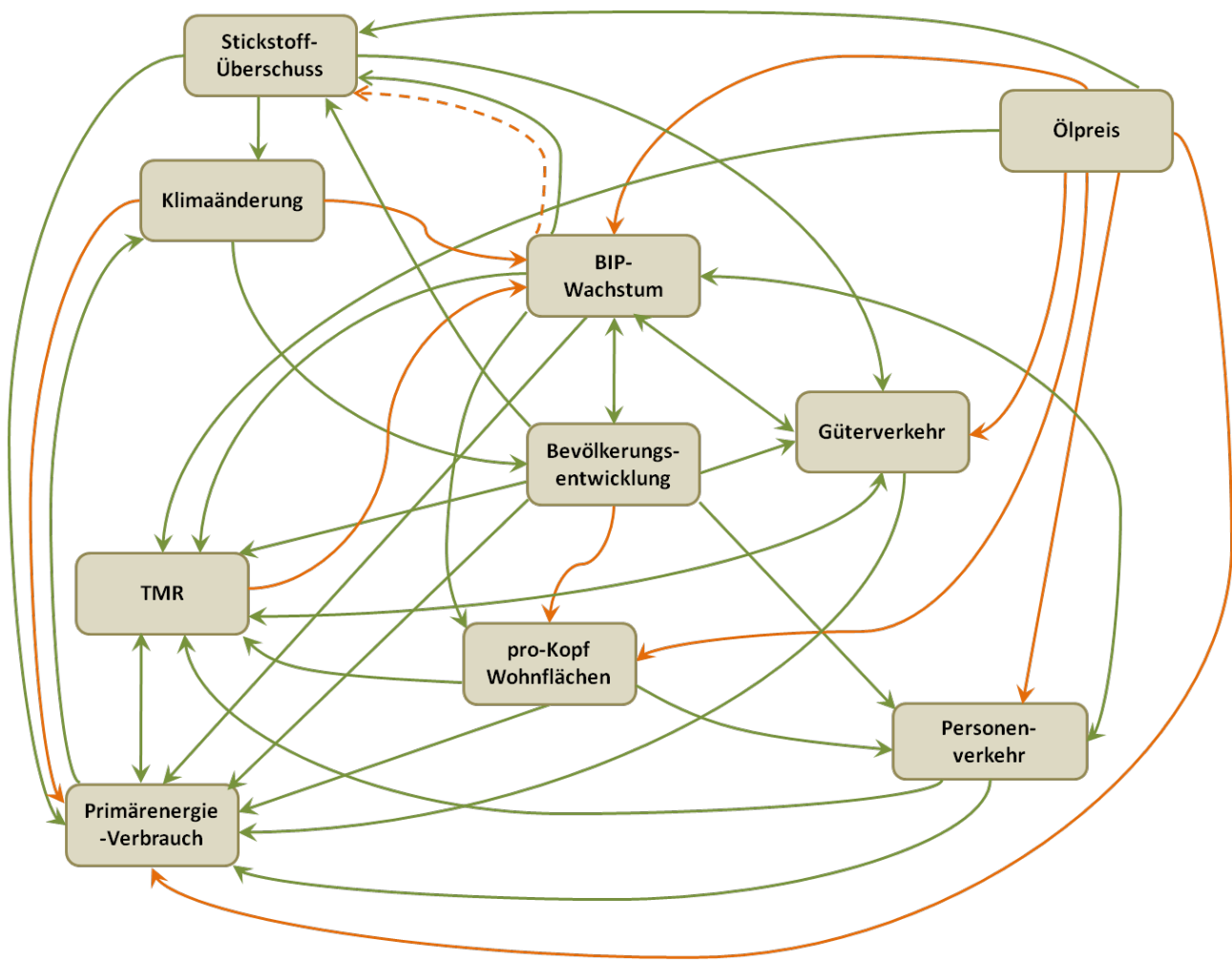


Abbildung 12: Der Wirkungsnetzgraph der Szenariofaktoren.

7 Konstruktion und Diskussion der Szenarien

7.1 Szenarioverständnis und Ziele der Szenariokonstruktion

Szenarien thematisieren nicht „... was passieren wird, sondern was passieren kann“ (Becker und List 1997). Ihre Aufgabe ist es, Entscheiderinnen und Entscheider den Unsicherheitskontext verständlich zu machen, in dem sich ihre Entscheidungen bewähren müssen, indem sie den Unsicherheitskontext beispielhaft strukturieren. An die Auswahl des Szenario-Sets können bestimmte Gütekriterien angelegt werden: die Szenarien sollten in sich widerspruchsfrei und hinreichend repräsentativ für den Unsicherheitskontext sein, sie sollten kritische Verzweigungspunkte der Entwicklung pointieren und ggf. spezifische „Ankerpunkte“ der Entscheidungsaufgabe (z.B. Business-as-usual Szenarien) mit einschließen. Diese Anforderungen definieren die Szenarioauswahl in der Regel aber nicht eindeutig, so dass jeder gewählte Satz von Szenarien beispielhaften Charakter hat. Formale Verfahren wie CIB haben dabei die

Aufgabe, die Sicherung der inneren Konsistenz der Szenarien zu unterstützen. Die Aufgabe, aus dem Raum der logisch akzeptablen Szenarien eine für den Entscheidungsprozess fruchtbare Auswahl zu treffen, wird dadurch erleichtert, bleibt grundsätzlich jedoch bestehen.

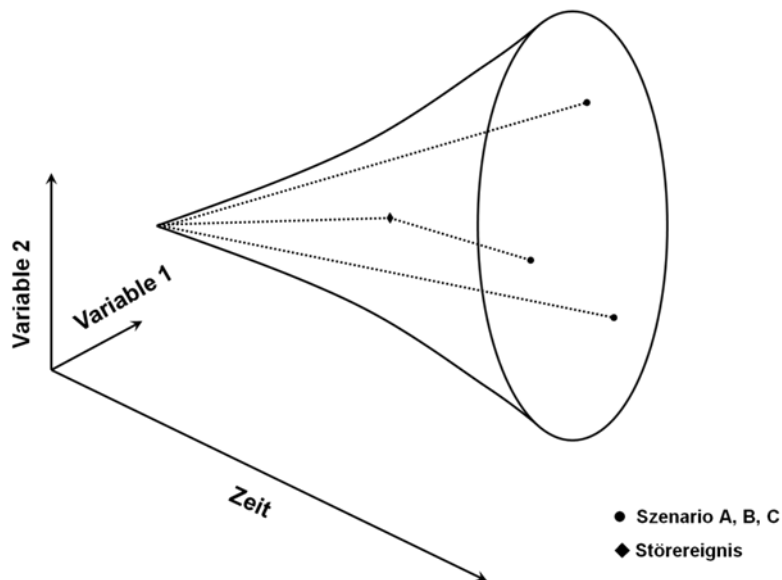


Abbildung 13: Der Szenariotrichter als ein sich öffnender Möglichkeitsraum und Szenarien als Mittel, den Möglichkeitsraum beispielhaft zu strukturieren. Eigene Darstellung.

Dieses Verständnis von Szenarien gibt auch Antworten auf die Frage des Umgangs mit den Urteilsunsicherheiten bei der Erstellung der Cross-Impact Matrix und der daraus resultierenden Unsicherheit bei der Szenariokonstruktion. Szenarioprozesse sollten zwar anstreben, in der Durchführung nachvollziehbar zu sein, sie sind aber im Allgemeinen nicht im Ergebnis (den Szenarien) reproduzierbar: Die Durchführung eines weiteren Szenarioprojektes mit anderen Personen zur gleichen Fragestellung führt in der Regel selbst bei Anwendung der gleichen Methodik nicht zu den gleichen Szenarien. Dies ist jedoch auch nicht der Anspruch der Szenariotechnik und steht der Nützlichkeit von Szenarien im oben beschriebenen Sinn auch nicht entgegen.

Übertragen auf das Sondergutachten „Konsistente Rahmendaten für Modellierungen und Szenariobildung im UBA“ bedeuten diese Überlegungen, dass es das Ziel des Verfahrens ist, einen beispielhaften Satz von Szenarien zu konstruieren, die die Einsichten der beteiligten Personen in die inneren Zusammenhänge der Entwicklungen in verschiedenen Bereichen plausibel widerspiegeln, und die einen möglichst breiten, dabei aber glaubwürdigen Möglichkeitsraum aufspannen.

7.2 Statistische Merkmale des Szenarioraums

Die in diesem Gutachten verwendete Struktur aus zehn Faktoren mit jeweils zwei bis vier Subszenarien ermöglicht kombinatorisch die Bildung von 34.992 unterschiedlichen Annahmen-

Kombinationen (dem Produkt der SubszENARIO-Zahlen aus allen Faktoren). Die Qualität von Szenarien hat davon aus der Sicht von CIB jedoch nur ein (i.A. sehr geringer) Teil der Kombinationen, nämlich nur diejenigen Kombinationen, die mit den in der Cross-Impact Matrix formulierten Interdependenzen ausreichend in Einklang stehen. Das Konsistenzkriterium von CIB fordert, dass die Bestandteile eines Szenarios ein sich gegenseitig bestätigendes Geflecht von Annahmen bilden, d.h. innerlich widerspruchsfrei („selbstkonsistent“) sind. Maßstab hierfür ist in CIB der Inkonsistenzwert eines Szenarios (vgl. Kapitel 3), der idealerweise 0, aber in jedem Fall sehr gering sein sollte. Bei der Auswertung der in Anhang 1 dokumentierten Cross-Impact Matrix mit der Software *ScenarioWizard 3.22* (Weimer-Jehle 2010) zeigt sich, dass 22 Szenarien vollkonsistent sind (Inkonsistenzwert 0). Die Häufigkeitsverteilung des Inkonsistenzwertes unter den 34.992 bildbaren Kombinationen zeigt Abbildung 14 (links) in Vergleich zu einem typischen Beispiel aus einer anderen Szenarioanalyse (rechts).

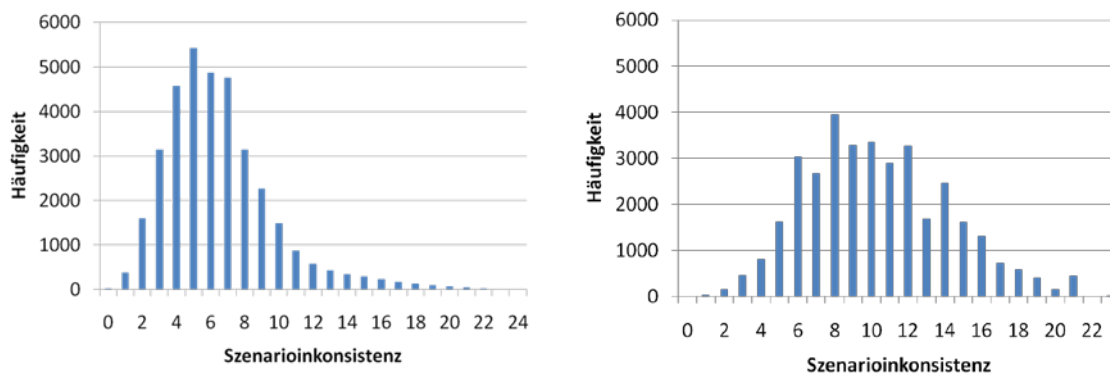


Abbildung 14: Häufigkeitsverteilung des Inkonsistenzwertes in den kombinatorisch bildbaren Annahmenbündeln im vorliegenden Projekt (links) und in einer anderen Szenarioanalyse (Aretz, Weimer-Jehle, 2004).

Bemerkenswert in der vorliegenden Szenarioanalyse ist die zur konsistenten Seite (niedrige Inkonsistenzwerte) hin geneigte Schiefe der Verteilung gegenüber dem typischeren Fall der rechts dargestellten Verteilung, die einer Normalverteilung nahekommt. Dies bedeutet, dass die in Anhang 1 dokumentierte Cross-Impact Matrix die Tendenz aufweist, vergleichsweise viele Möglichkeiten als zumindest nicht gänzlich unplausibel zu charakterisieren.

Damit korrespondiert auch, dass verhältnismäßig viele Faktorbeziehungen in der Cross-Impact Matrix als einflussfrei charakterisiert wurden. Von den 90 Sektoren der Matrix, die jeweils den Einfluss eines Faktors auf einen anderen beschreiben, sind 48, also mehr als die Hälfte, ganz mit Nullen gefüllt. Eine Quote von rund 50 % freien Sektoren ist in Cross-Impact Analysen nicht ungewöhnlich, ordnet sich aber doch eher im oberen Bereich des üblichen Spektrums ein.

Beides zusammen drückt aus, dass die in der Analyse berücksichtigten Faktoren aus der Sicht der befragten Teilnehmerinnen und Teilnehmer ein eher locker verbundenes System bilden, das den Raum der Möglichkeiten nur schwach determiniert und dem daher besonders viele Entwicklungsmöglichkeiten offenstehen. Ein möglicher Hintergrund dafür ist, dass die Faktoren nicht nach dem Kriterium ausgewählt wurden, ein System sich gegenseitig erklärender

Variablen zu bilden, sondern nach dem Kriterium der Relevanz als Modellinput. Für Szenarioanalysen in schwach determinierten Systemen gilt das in Abschnitt 7.1 beschriebene Szenarioverständnis in besonderem Maße: das Ziel der Szenariokonstruktion kann es nicht sein, eine tendenziell vollständige, aber unübersichtliche und unhandhabbare Szenariomenge zu erstellen, sondern eine repräsentative, begründbare und plausible Auswahl aus dem Raum der Möglichkeiten zu treffen.

7.3 Vollkonsistente Szenarien

Der erste Schritt zur Identifikation eines geeigneten Szenariosatzes besteht in der Identifikation der vollkonsistenten Szenarien. Diese Szenarien drücken die in der Cross-Impact Matrix abgelegten Vorstellungen über relevante Wirkungszusammenhänge am vollkommensten aus.

In der für das Sondergutachten erarbeiteten Matrix „Deutschland 2030“ ergeben sich bei der Auswertung 22 vollkonsistente Szenarien, die in Anhang 2 vollständig aufgeführt sind. Um den durch diese 22 Szenarien aufgespannten Szenarioraum in seiner Logik zu verstehen und die Szenarien sinnvoll ordnen zu können, werden sogenannte „Schlüsselfaktoren“ identifiziert. Dabei handelt es sich um diejenigen Szenario-Faktoren, die einerseits relativ unabhängig sind und andererseits die Gestalt der Szenarien stark prägen. Diese Faktoren können dazu verwendet werden eine Ebene aufzuspannen und die Szenarien darin einzutragen.

Im Gegensatz zu formlosen Szenariomethoden, bei denen die Schlüsselfaktoren intuitiv erkannt werden müssen, bieten Cross-Impact Verfahren eine Grundlage zur systematischen Auswahl geeigneter Schlüsselfaktoren. Im einfachsten Fall kann die Cross-Impact Matrix direkt herangezogen werden, um in Anlehnung an eine Einflussanalyse (Götze 1993, Gausemeier et al. 1996) die Faktoren auszuwählen, die auf zahlreiche andere Faktoren wirken (viele Zeileneinträge), jedoch nur von wenigen anderen Faktoren beeinflusst werden (wenige Spalteneinträge). Das Ergebnis dieser Auswertung für die Cross-Impact Matrix „Deutschland 2030“ ist in Abbildung 15 dargestellt.

In Fall der Matrix „Deutschland 2030“ lassen sich auf diese Weise eindeutig

- A. Bevölkerungsentwicklung
- D. Ölpreisentwicklung

als Schlüsselfaktoren identifizieren. Das BIP, das ähnlich einflussreich wie die zuvor genannten Faktoren ist, hängt dagegen zu stark von den anderen Faktoren ab, um als Schlüsselfaktor im beschriebenen Sinn zu dienen.

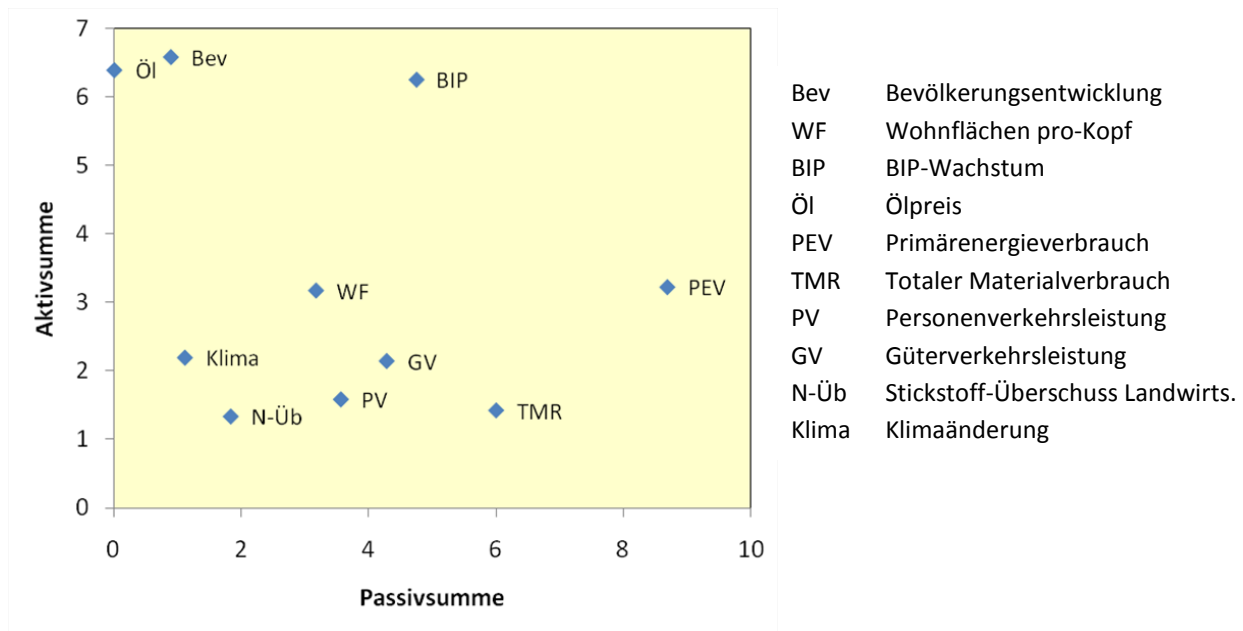


Abbildung 15: Aktiv-Passiv Diagramm⁹ für die Szenario-Faktoren.

Diese einfache Form der Schlüsselfaktor-Identifikation kann jedoch infolge systemischer Effekte irreführend sein (z.B. kann ein Faktor mit wenigen Einflüssen dennoch dominant sein, wenn er mit diesen Einflüssen seinerseits besonders einflussstarke Faktoren kontrolliert). Daher ist es erforderlich, die über das beschriebene Verfahren erhaltene Auswahl durch besondere Auswertungsgänge zu kontrollieren. Zur Bewertung der Bedeutung eines Faktors als prägende Größe können für eine Kontrollauswertung alle Einflüsse dieses Faktors gelöscht werden und dann überprüft werden, ob sich hierdurch das Szenarioset gegenüber dem Referenzlauf in seinen wesentlichen Aussagen signifikant verändert. In der Matrix „Deutschland 2030“ ergaben diese Kontrollauswertungen eine Bestätigung der oben genannten Schlüsselfaktor-Auswahl.

Mit den so identifizierten Schlüsselfaktoren ergibt sich die in Abbildung 16 dargestellte Szenario-Ebene. Jedes der 22 Szenarien ist mit einem Punkt in das seinen Merkmalen in den Bereichen Ölpreis und Bevölkerung entsprechende Feld eingetragen. Gleichzeitig wurden in jedem Feld noch die Merkmale des Faktors „BIP-Wachstum“ eingetragen, die in den Szenarien des betreffenden Feldes auftreten. Die Szenario-Ebene in Abbildung 16 trifft einige sehr markante Aussagen, deren argumentativer Hintergrund mithilfe der Cross-Impact Matrix und den dokumentierten Diskussionen bei der Matrixerstellung identifizierbar ist.

⁹ Aktiv(Passiv)-Summer: Zeilen(Spalten)-Summe über die betragsgemittelten Bewertungsfelder der Cross-Impact Matrix.

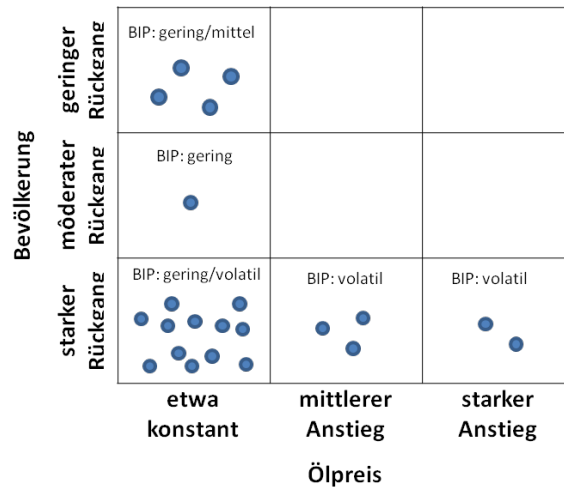


Abbildung 16: Verortung der 22 vollkonsistenten Szenarien nach den Schlüsselfaktoren Ölpreis- und Bevölkerungsentwicklung. Die Zahl der Szenarien pro Feld ist nicht als Wahrscheinlichkeit, sondern als Möglichkeitsvielfalt zu interpretieren.

Der zunächst auffälligste Befund ist die Konzentration der Szenarien auf wenige Felder der Ebene. Die entscheidende Logik hinter dieser Konzentration, wie sie sich aus der Cross-Impact Matrix und den Aufzeichnungen der Gruppendiskussionen ablesen lässt, ist einfach: Hohe Ölpreise verschlechtern die wirtschaftliche Aussichten soweit, dass die wirtschaftliche Lage sowohl dämpfend auf die Bereitschaft zu Kindern als auch auf die Attraktivität Deutschlands als Migrationsziel wirkt. Diese Überlegung schließt die Kombination von hohen Ölpreisen und relativ hohen Bevölkerungsentwicklungen aus, während sie für den Fall niedriger Ölpreise umgekehrt keine Vorgaben macht. Dies wird durch Abbildung 16 qualitativ ausgedrückt.

Daraus resultiert als ein Ergebnis der Untersuchung die Empfehlung, Rahmenszenarien für Modellierungen und disziplinäre Szenarien eher im linken und unteren Bereich der gezeigten Szenarioebene anzusiedeln und den rechten oberen Bereich nur unter besonderen Bedingungen, die die beschriebene Argumentation außer Kraft setzen, zu verwenden. Die sehr ausgeprägte Konzentration in Abbildung 16 ist jedoch eher als Zuspitzung zu verstehen. Wenn man die Gruppe der 83 leicht inkonsistenten Szenarien (Inkonsistenzwert 1 bei maximal einem Faktor) mit einbezieht um die Urteilsunschärfe bei der Matrixerstellung zu berücksichtigen, werden auch die Nachbarfelder der in Abbildung 16 besetzten Felder besiedelt. Jedoch konzentriert sich die Masse der Szenarien weiter entlang der Achsen, das Feld rechts oben bleibt weiter unbesiedelt. Dies deutet auf eine gewisse Robustheit der grundsätzlichen Argumentation hin.

Mit den einflussstarken Faktoren Ölpreisentwicklung, Bevölkerungswachstum und BIP-Entwicklung lässt sich das Feld der 22 vollkonsistenten Szenarien zu sechs Szenariotypen strukturieren. Eine entsprechende Szenario-Taxonomie zeigt Abbildung 17. Die sechs Typen sind unterschiedlich stark durch vollkonsistente Szenarien besetzt. So wird Typ IV nur durch ein

einziges vollkonsistentes Szenario repräsentiert (Szenario Nr. 5 in Anhang 2). Andere Typen umfassen zwei oder drei vollkonsistente Szenarien. Z.B. steht Typ II für die beiden Szenarien Nr. 20, 21 und 22 in Anhang 2, die sich ausschließlich in der Klimaentwicklung unterscheiden. Bei der Typbildung wird dies so interpretiert, dass die gemeinsamen Merkmale dieser Szenarien keine eindeutige Richtung für die Klimaentwicklung vorgeben und dass die Klimaentwicklung bei diesem Typ daher als offen zu betrachten ist. Ähnlich sind auch bei den meisten anderen Typen einige Faktoren definitiv auf ein bestimmtes Subszenario festgelegt, während für bestimmte Faktoren mehrere Subszenarien zugelassen sind. Der Szenario-Typ mit der weitaus größten Heterogenität ist Typ III, der dem Feld links unten in Abbildung 16 entspricht und zwölf Einzelszenarien enthält. Für diese Kombination aus Ölpreisentwicklung, BIP-Wachstum und Bevölkerungsentwicklung ist die weitere Entwicklung aus Sicht der Analyse besonders wenig determiniert und es werden besonders zahlreiche Entwicklungsmöglichkeiten ausgewiesen. Doch auch in diesem Typ sind für sechs von zehn Faktoren eindeutige Subszenarien definiert, so dass auch Typ III einen erkennbaren Charakter aufweist.

Die Reihung der Szenariotypen in der Abbildung kann mit bestimmten Tendenzen assoziiert werden. So nimmt der soziale Stress durch ungünstige sozioökonomische Entwicklungen von rechts nach links zu, während dagegen die Umweltbelastungen tendenziell von links nach rechts zunehmen.

Für die praktische Arbeit mit den Szenariotypen als Ausgangspunkt für Modellierungen und Szenariobildung im UBA kann es hilfreich sein, den Szenariotypen plakative Szenario-Mottos zuzuordnen, die das Wesen des Typs zugespitzt aber anschaulich und knapp umreißen. So könnte dem Typ I z.B. das Motto „*Umweltschutz durch Krise*“ zugeordnet werden, da viele Faktoren in diesem Typ eine die Gesellschaft stark belastende Wendung nehmen und die umweltbelastenden Aktivitäten daher „unfreiwillig“ einen eher moderaten Verlauf nehmen. Allerdings hat die Festlegung solcher Szenario-Mottos auch eine stark interpretative Komponente, weswegen die Mottos im Rahmen des Gutachtens nicht vorgeschlagen werden, sondern eine Diskussion im UBA über die interpretierende Charakterisierung der Typen angeregt werden soll.

Eine alternative Darstellungsform der Szenariotypen, die insbesondere die stark heterogenen Typen (wie in diesem Fall Typ III) detaillierter aufschlüsseln, ist das Szenariotableau in Abbildung 18. In ihm ist zu sehen, dass die meisten Faktoren eine eindeutige Entwicklungstendenz haben (von links nach rechts zunehmend oder abnehmend). Einige Faktoren wie z.B. die pro-Kopf-Wohnflächenentwicklung haben dagegen ein komplexeres Verhalten: Ein starker Anstieg der pro-Kopf-Wohnflächen wird sowohl Szenarien in der Mitte als auch am rechten Rand des Tableaus zugewiesen. Die Gründe dafür sind aus der Cross-Impact Matrix rekonstruierbar. Diese sieht zwei mögliche Ursachen für einen starken Anstieg der pro-Kopf-Wohnflächen vor: die Entwicklung kann demographisch getrieben sein, indem im Wesentlichen die bestehenden Flächen bei einem starken Bevölkerungsrückgang auf weniger Personen verteilt werden. Die Entwicklung kann jedoch auch wohlstandsgetrieben sein, indem sich bei einer günstigen Wirtschaftsentwicklung immer breitere Bevölkerungsschichten großzügige Wohnungen leisten können. Diese beiden sehr unterschiedlichen Hintergründe für eine starke Zunahme der pro-Kopf-Wohnflächen werden durch das Analyseverfahren automatisch aufgegriffen und den jeweils passenden Umfeldbedingungen zugeordnet.

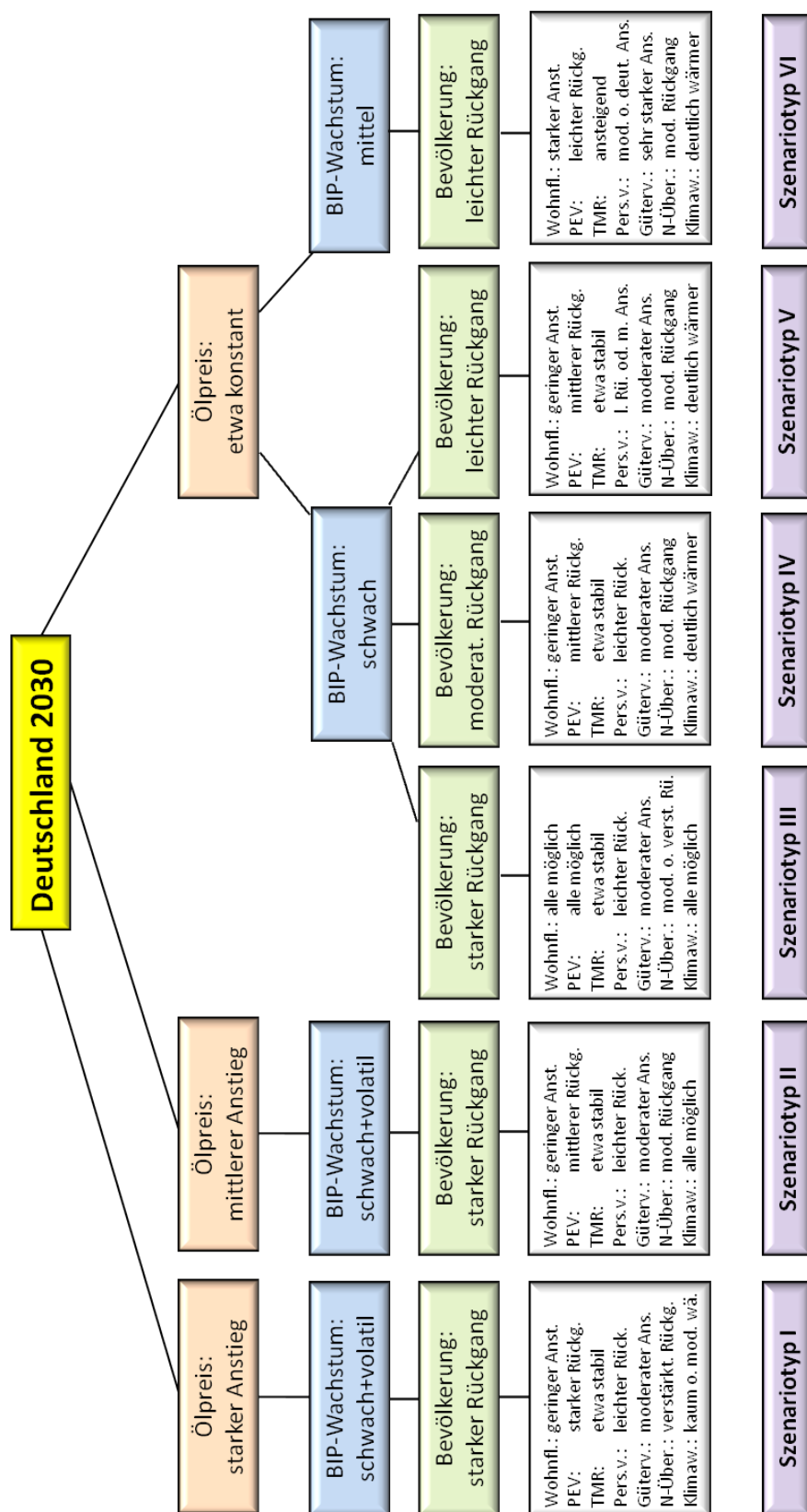


Abbildung 17: Einteilung der 22 vollkonsistenten Szenarien in 6 Szenariotypen.

Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ V	Typ VI
Starker Anstieg Ölpreis	Mittlerer Anstieg Ölpreis	Ölpreis etwa konstant			
		Starker Bevölkerungsrückgang	Moderater Bevölkerungsrückgang	Leichter Bevölkerungsrückgang	
	BIP-Wachstum schwach und volatil	BIP-Wachstum schwach			Mittleres Wachstum BIP
	Geringer Wohnflächenanstieg	Starker Wohnflächenanstieg		Geringer Wohnflächenanstieg	Starker Anstieg
Starker Rückgang Primärenergieverbr.	Mittlerer Rückgang Primärenergieverbr.	Starker Rückgang Primärenergieverbr.	Mittlerer Rückgang Primärenergieverbr.	Mittlerer Rückgang Primärenergieverbrauch	Leichter Rückgang
		TMV stabil			TMV steigend
		Leichter Rückgang Personenverkehr		Moder. Anstieg PV	dtl. Anstieg PV
		Moderater Anstieg Güterverkehr			Sehr starker Anstieg GV
Verstärkter Rückgang N-Überschuss	Moderater Rückgang Stickstoffüberschuss	Verstärkter Rückgang N-Überschuss	Verstärkter Rückgang N-Überschuss	Moderater Rückgang Stickstoffüberschuss	
kaum oder moderat wärmer	Alle Klimaentwicklungen möglich	kaum oder moderat wärmer	moderat wärmer	deutlich wärmer	

Farbcodierung: Subszenarien mit hohen nominalen Werten: rot. Subszenarien mit mittleren nominalen Werten: gelb. Subszenarien mit niedrigen nominalen Werten: grün. Alle Subszenarien des betreffenden Faktors möglich: grau, Verlaufsfelder: Zwei Subszenarien möglich. Die Farbcodierung enthält keine normativen Bewertung wie günstig/ungünstig, wünschenswert/nicht wünschenswert, etc.

Abbildung 18: Darstellung der vollkonsistenten Szenarien in einem Szenariotableau

Bei der Analyse der vollkonsistenten Szenarien fällt auch auf, dass diese nicht bei jedem Faktor den Raum der zur Verfügung stehenden Subsznarien ausschöpfen. Drei Subsznarien werden in keinem der 22 vollkonsistenten Szenarien verwendet: c1 (starker Anstieg des BIP), h2 (starker Anstieg der Güterverkehrsleistung) und i1 (stagnierender Stickstoffüberschuss in der Landwirtschaft). Im Rahmen der Untersuchung der „marginal inkonsistenten Szenarien“ in den Abschnitten 7.4 und 7.5 wird diskutiert werden, in welchen Zusammenhängen auch diese Vakanzen eine Rolle in akzeptablen Szenarien spielen könnten.

7.4 Ergänzende Szenarien

Die 22 vollkonsistenten Szenarien bilden den Satz von Szenarien, der mit dem in der Cross-Impact Matrix formulierten Einflussnetzwerk am besten verträglich ist. Neben dieser Szenariogruppe kann mit CIB eine weitere Szenariogruppe identifiziert werden, bei der eine einzelne geringe Inkonsistenz vorhanden ist („marginal inkonsistenten Szenarien“ = Inkonsistenzwert 1 bei einem Faktor und Inkonsistenzwert 0 bei allen anderen Faktoren). Von diesen Szenarien weist die Cross-Impact Matrix „Deutschland 2030“ 83 auf. Obwohl diese Szenarien eine etwas geringere Kompatibilität mit den Expertenurteilen der Cross-Impact Matrix besitzen als die vollkonsistenten Szenarien, sind sie nicht unwichtig, sondern sie bilden einen geeigneten Pool für die Suche nach ergänzenden Szenariovarianten.

Dafür gibt es zwei Gründe: Zum einen treten beim Ausfüllen einer Cross-Impact Matrix Urteilsunsicherheiten auf, die in Einschätzungsunterschieden der beteiligten Personen begründet sind, aber auch in der Unsicherheit, wie die eigene Einschätzung am angemessensten in Cross-Impact Urteile zu codieren ist. Daher müssen die Wirkungssummen, die in CIB über die Auswahl der geeignetsten Annahme für einen Faktor herangezogen werden, als unscharfe Größen betrachtet werden. Szenarien, die in einer vorliegenden Matrix zwar nicht vollständig konsistent sind, in einer leicht modifizierten Matrix diesen Status aber erreichen könnten, sollten daher nicht als irrelevant betrachtet werden. Der zweite Grund für die Relevanz marginal inkonsistenter Szenarien ist die Wirkung externer Einflüsse. Denn bei der Auswahl der in einer Szenarioanalyse berücksichtigten Faktoren müssen andere Faktoren ausgeschlossen werden, deren Bedeutung für das Geschehen zwar als geringer bewertet wird als die Relevanz der ausgewählten Faktoren, die aber dennoch nicht ohne Einfluss sind. Ihr Ausschluss aus der Betrachtung muss daher ebenfalls zu einer Unschärfe in der Konsistenzbewertung führen. Um sowohl die Urteilsunschärfen als auch die Unschärfen durch nicht berücksichtigte Faktoren zu berücksichtigen, ist es daher empfehlenswert, auch den Pool der marginal inkonsistenten Szenarien als denkbare Szenarien auszuwerten.

Bei der Auswahl geeigneter Ergänzungsszenarien aus diesem Pool sollten vor allem Szenarien berücksichtigt werden, die sich vom vorhandenen Set deutlich abheben und damit den repräsentierten Unsicherheitskontext spürbar erweitern. An welchen Faktoren sich der „Neuigkeitswert“ eines Szenarios vor allem bemisst, hängt von der konkreten Fragestellung ab. In dieser Untersuchung, für die kein konkreter thematischer Anschluss gegeben ist, wird die Erweiterung des Belegungsschemas in Abbildung 16 beispielhaft als Kriterium herangezogen. D.h. aus dem Pool der 83 marginal inkonsistenten Szenarien werden diejenigen Szenarien ausgewählt, die Kombinationen von Ölpreisentwicklung, Bevölkerungsentwicklung und BIP-Entwicklung aufweisen, die im Set der vollkonsistenten Szenarien nicht vertreten sind. Auf

diesem Weg wurde das Szenario-Set um sieben Szenariotypen erweitert. Diese enthalten auch Szenarien, in denen die Vakanzen der vollkonsistenten Szenarien (starkes BIP-Wachstum, starker Anstieg der Güterverkehrsleistung und stagnierender Stickstoffüberschuss) thematisiert werden. Abschnitt 7.5 enthält eine zusammenfassende Darstellung der vollkonsistenten und ergänzenden Szenarien.

7.5 Zusammenfassende Darstellung der vollkonsistenten und ergänzenden Szenarien

Tabelle 2 zeigt die Einordnung der vollkonsistenten und ergänzenden Szenarien auf der Ölpreis-Bevölkerungs-Ebene. Die vollkonsistenten Szenarien (in Fettdruck gesetzt) verweisen auf jene Annahmenkombinationen, die perfekt mit der Cross-Impact Matrix „Deutschland 2030“ harmonisieren. Die ergänzenden Szenarien (kursiv gesetzt, zusammengefasst in den Typen IIIa, IVa, IVb und VII-IX) beschreiben die konsistentesten Wege, auch diejenigen Kombinationen von Ölpreisentwicklung, Bevölkerungsentwicklung und BIP-Wachstum, szenarienhaft zu thematisieren, die von den vollkonsistenten Szenarien ausgelassen werden. Sie stehen jedoch bei einzelnen Faktoren in einem leichten Spannungsverhältnis zur Cross-Impact Matrix, was jedoch durch moderate Urteilsunschärfen oder durch zusätzliche externe Einflüsse erklärt werden kann.

Als Beispiel wird das marginal inkonsistente Szenario von Typ VII in Tabelle 2 untersucht. Es enthält die Annahme eines starken BIP-Wachstums und füllt damit eine der Vakanzen der vollkonsistenten Szenarien. Es beschreibt eine Entwicklung ähnlich Typ VI in Abbildung 17, bei einigen Faktoren (Stickstoff-Überschuss, Personenverkehr) tendieren die Entwicklungen aufgrund des höheren Wirtschaftswachstums stärker zu höheren Werten als bei Typ VI. Um zu verstehen, welches der „schwache Punkt“ in der inneren Logik des Szenariotyps VII ist, der zu seinem Ausschluss aus der Gruppe der vollkonsistenten Szenarien führte, werden die Wirkungsbilanzen des Szenarios bestimmt (vgl. Kapitel 3 und Anhang 4). Der kritische Punkt ist demnach die Wirkungsbilanz des Faktors „Wirtschaftswachstum“. Wie aus der Cross-Impact Matrix abzulesen ist, sprechen gegen die Glaubwürdigkeit der Annahme „starkes Wirtschaftswachstum“ in diesem Szenario, die Nachteile, die der Wirtschaft grundsätzlich aus der rückläufigen Bevölkerungstendenz erwachsen, die Kostenbelastung der Wirtschaft durch den hohen Materialverbrauch sowie der ökonomische Stress, der von einem starken Klimawandel ausgeht.

Diese Schwachstellenanalyse kann nun umgekehrt dazu verwendet werden, die Bedingungen bzw. ergänzenden Annahmen zu formulieren, unter denen der Szenariotyp VII zu rechtfertigen ist:

- entweder die Annahme z.B. einer besonderen Steigerung der Arbeitsproduktivität als Ausgleich für den Bevölkerungsrückgang,
- oder die Annahme geringer Rohstoffpreise, um den erhöhten Materialbedarf nicht zu einer ökonomischen Belastung werden zu lassen,
- oder die Annahme einer geringen Sensibilität der deutschen Wirtschaft gegen den Klimawandel bzw. einer geringen Sensitivität des Klimasystems gegen Treibhausgase

oder eine Kombination daraus, würde die leichte Inkonsistenz dieses Szenariotyps beheben. Entsprechende Untersuchungen können auf diese Weise auch mit den anderen marginal inkonsistenten Szenarien der Szenarioübersicht durchgeführt werden, um im Einzelnen zu klären worin ihr Konsistenznachteil besteht und unter welchen Umständen sie dennoch glaubwürdig sind.

Tabelle 2: Zusammenfassung der vollkonsistenten (Fettdruck) und ergänzenden Szenarien (kursiv).

Bevölkerung	leichter Rückgang	<div>BIP-Wachstum: stark</div> <div>Typ VII (marginal inkonsistent) Wohnfl.-Wachst.: stark PEV-Rückgang : leicht TMV : steigend PVL-Wachstum : deutlich GVL-Wachstum : sehr stark Stickst.-Rückg.: Stagnation Klimaänderung : deutlich wärmer</div>	<div>BIP-Wachstum: mittel</div> <div>Typ IX (marginal inkonsistent) Wohnfl.-Wachst.: gering PEV-Rückgang : mittel TMV : stabil PVL-Wachstum : moderat GVL-Wachstum : moderat Stickst.-Rückg.: mittel Klimaänderung : feuchter</div>	keine Szenarien
		<div>BIP-Wachstum: mittel</div> <div>Typ VI (vollkonsistent) Wohnfl.-Wachst.: stark PEV-Rückgang : leicht TMV : steigend PVL-Wachstum : mod. od. deutlich GVL-Wachstum : sehr stark Stickst.-Rückg.: moderat Klimaänderung : deutlich wärmer</div>		
		<div>BIP-Wachstum: schwach</div> <div>Typ V (vollkonsistent) Wohnfl.-Wachst.: gering PEV-Rückgang : mittel TMV : stabil PVL-Wachstum : mod. o. leicht. R. GVL-Wachstum : moderat Stickst.-Rückg.: moderat Klimaänderung : deutlich wärmer</div>		
	moderater Rückgang	<div>BIP-Wachstum: mittel</div> <div>Typ IVa (marginal inkonsistent) Wohnfl.-Wachst.: stark PEV-Rückgang : leicht TMV : steigend PVL-Wachstum : mod. od. deutlich GVL-Wachstum : stark o. sehr st. Stickst.-Rückg.: moderat Klimaänderung : feuch. o. mod. wä.</div>		
		<div>BIP-Wachstum: schwach</div> <div>Typ IV (vollkonsistent) Wohnfl.-Wachst.: gering PEV-Rückgang : mittel TMV : stabil PVL-Wachstum : leichter Rückgang GVL-Wachstum : moderat Stickst.-Rückg.: moderat Klimaänderung : deutlich wärmer</div>	<div>BIP-Wachstum: schwach und volatil</div> <div>Typ VIII (marginal inkonsistent) Wohnfl.-Wachst.: gering PEV-Rückgang : mittel TMV : stabil PVL-Wachstum : leichter Rückgang GVL-Wachstum : moderat Stickst.-Rückg.: moderat Klimaänderung : deutlich wärmer</div>	<div>BIP-Wachstum: schwach und volatil</div> <div>Typ VII (marginal inkonsistent) Wohnfl.-Wachst.: gering PEV-Rückgang : mittel TMV : stabil PVL-Wachstum : leichter Rückgang GVL-Wachstum : moderat Stickst.-Rückg.: Stagnation Klimaänderung : deutlich wärmer</div> <div>Leicht inkonsistente Varianten: - wie Typ VI, aber „PEV-Rückgang: stark“ - wie Typ VI, aber „Stickst.-Rückg.: moderat“</div>
		<div>BIP-Wachstum: schwach und volatil</div> <div>Typ IVb (marginal inkonsistent) Wohnfl.-Wachst.: gering PEV-Rückgang : leicht TMV : stabil PVL-Wachstum : leichter Rückgang GVL-Wachstum : stark Stickst.-Rückg.: Stagnation Klimaänderung : deutlich wärmer</div>		
	starker Rückgang	<div>BIP-Wachstum: schwach</div> <div>Typ III (vollkonsistent) Wohnfl.-Wachst.: alle PEV-Rückgang : alle TMV : stabil PVL-Wachstum : leichter Rückgang GVL-Wachstum : moderat Stickst.-Rückg.: moderat od. stark Klimaänderung : alle</div>	<div>BIP-Wachstum: schwach und volatil</div> <div>Typ II (vollkonsistent) Wohnfl.-Wachst.: gering PEV-Rückgang : mittel TMV : stabil PVL-Wachstum : leichter Rückgang GVL-Wachstum : moderat Stickst.-Rückg.: moderat Klimaänderung : alle</div> <div>Leicht inkonsistente Varianten: - wie Typ II, aber „PEV-Rückgang: stark“ - optional zusätzlich mit „Stickst.-Rückg.: stark“ und „Klimaänderung: feuchter oder wärmer“</div>	<div>BIP-Wachstum: schwach und volatil</div> <div>Typ I (vollkonsistent) Wohnfl.-Wachst.: gering PEV-Rückgang : stark TMV : stabil PVL-Wachstum : leichter Rückgang GVL-Wachstum : moderat Stickst.-Rückg.: stark Klimaänderung : feuch. o. mod. wä.</div> <div>Leicht inkonsistente Variante: wie Typ I, aber „Stickst.-Rückg.: moderat“</div>
		etwa konstant	mittlerer Anstieg	starker Anstieg
	Ölpreis			

Die empfohlene Nutzung der Szenarioübersicht in Tabelle 2 besteht nicht darin, für jede Modellrechnung alle Szenarien als Ausgangspunkt für einen Berechnungsvariante zu verwenden, sondern themenabhängig eine Auswahl zu treffen, die eine möglichst große Varianz der Berechnungsergebnisse erwarten lässt.

7.6 Beurteilung vorgegebener Szenarien

In den vorigen Abschnitten wurde die erstellte Cross-Impact Matrix vornehmlich dazu verwendet, Szenarien zu konstruieren. Daneben bietet die Matrix jedoch auch noch die weitergehende Möglichkeit, ein vorgegebenes Szenario auf seine innere Konsistenz zu überprüfen und für eine kritische Diskussion dieses Szenarios Pro- und Contra-Argumente zu identifizieren. Die Notwendigkeit, vorgegebene Szenarien zu untersuchen, kann sich aus verschiedenen Gründen ergeben:

1. Szenarien könnten intuitiv oder durch eine andere Methodik konstruiert worden sein, und im Rahmen einer kritischen Prüfung soll ergänzend die Einschätzung einer weiteren Methode zu diesem Szenario hinzugezogen werden.
2. Eine als normatives Szenario erstellte Kombination aus wünschenswerten Entwicklungen soll auf ihre Konsistenz überprüft werden. Aus der Anwendung der Cross-Impact Matrix auf das normative Szenario können sich dann Hinweise auf Zielkonflikte und auf die Notwendigkeit stützender Maßnahmen für bestimmte Bereiche ergeben.

Zur Demonstration des Vorgehens wurden von der UBA-Projektbegleitung zwei Szenarien zur Beurteilung nach dem CIB-Verfahren vorgegeben. Bei dem ersten vorgegebenen Szenario („Prüfling 1“) handelt sich um die Kombination aller Faktorentwicklungen, die bei *isolierter* Betrachtung des Faktors gemäß einer *ad hoc* Einschätzung als die jeweils wahrscheinlichste Entwicklung erscheint. Dieses Szenario ist in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3: Prüfling 1 - Die Kombination wahrscheinlicher Entwicklungen

A. Bevölkerungsentwicklung:	a2 moderater Rückgang auf 79 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf:	b1 starker Anstieg auf 50.4 qm
C. BIP:	c4 geringes und stark volatiles Wachstum
D. Ölpreis:	d1 starker Anstieg auf 127 \$/b
E. Primärenergieverbrauch:	e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ
F. Totaler Materialverbrauch:	f1 ansteigender Verbrauch auf 7200 Mt
G. Personenverkehrsleistung:	g2 moderater Anstieg um 10%
H. Güterverkehrsleistung:	h1 sehr starker Anstieg um 69%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft:	i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)
J. Klimaänderung:	j2 moderat wärmer - kaum feuchter

Die Zusammenstellung der jeweils wahrscheinlichsten Entwicklung muss jedoch insgesamt nicht das wahrscheinlichste Szenario ergeben, da die Entwicklungen nicht unabhängig voneinander sind. Die Prüfung der Kombinierbarkeit der Einzelannahmen mit Hilfe der CIB-Methodik erfolgt ähnlich der Prüfung des Szenariotyps VII in Abschnitt 7.5 und Anhang 4: Die Wirkungsbilanzen des vorgegebenen Szenarios werden berechnet um festzustellen, ob und ggf. bei welchen Faktoren die Wirkungssummen der Szenarioannahme schlechter ausfällt, als die der besten alternativen Annahme (vgl. Kapitel 3). Das Ergebnis für Prüfling 1 ist in Abbildung 19 gezeigt. Für vier Faktoren (A. Bevölkerung, B. pro-Kopf Wohnflächen, G. Personenverkehrsleistung und H. Güterverkehrsleistung) zeigen sich teils Spannungen (moderate Inkonsistenzen, z.B. Faktor A Bevölkerung), teils ausgesprochene Widersprüche (starke Inkonsistenzen, z.B. Faktoren B pro-Kopf Wohnfläche und H Güterverkehrsleistung) zu den in der Cross-Impact Matrix formulierten Zusammenhängen.

	A.			B.		G.			H.		
	a1	a2	a3	b1	b2	g1	g2	g3	h1	h2	h3
A. Bevölkerungsentwicklung											
a1 leichter Rückgang auf 81 Mio				1	1	-1	0	1	0	0	1
a2 moderater Rückgang auf 79 Mio				1	1	..	-2	-1	-1	0	1
a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio				2	1	-3	-1	2	-1	-1	1
B. Wohnfläche pro Kopf											
b1 starker Anstieg auf 50.4 qm	0	0	0	..	..	1	0	-1	0	0	0
b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm	0	0	0	..	..	0	0	0	0	0	0
C. BIP											
c1 starker Anstieg auf 3509 G€ (ca. 1.6%/a)	1	0	-1	2	-1	2	1	-2	3	2	-1
c2 mittlerer Anstieg auf 3120 G€ (ca. 1.2%/a)	0	0	0	1	0	1	1	-1	2	1	0
c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)	-1	0	1	0	1	0	1	1	-1	1	1
c4 geringes und stark volatiles Wachstum	-2	0	2	-1	2	..	-1	0	1	-2	0
D. Ölpreis											
d1 starker Anstieg auf 127 \$/b	0	0	0	-2	2	..	-2	-1	1	-2	-1
d2 mittlerer Anstieg auf 110 \$/b	0	0	0	-1	1	..	-1	0	1	-1	-1
d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b	0	0	0	0	0	..	1	1	0	1	1
E. Primärenergieverbrauch											
e1 leichter Rückgang auf ca. 13400 PJ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ	0	0	0	0	0	..	0	0	0	1	1
e3 starker Rückgang auf 7700 PJ	0	0	0	0	0	..	0	0	0	0	1
F. Totaler Materialverbrauch											
f1 ansteigender Verbrauch auf 7200 Mt	0	0	0	0	0	..	0	0	0	1	1
f2 etwa stabil um 6400 Mt	0	0	0	0	0	..	0	0	0	0	1
G. Personenverkehrsleistung											
g1 deutlicher Anstieg um 32%	0	0	0	0	0	..	..	..	0	0	0
g2 moderater Anstieg um 10%	0	0	0	0	0	..	..	..	0	0	0
g3 leichter Rückgang um 5%	0	0	0	0	0	..	..	..	0	0	0
H. Güterverkehrsleistung											
h1 sehr starker Anstieg um 69%	0	0	0	0	0	..	0	0	0	..	..
h2 starker Anstieg um 53%	0	0	0	0	0	..	0	0	0	..	..
h3 moderater Anstieg um 34%	0	0	0	0	0	..	0	0	0	..	..
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft											
i1 Stagnation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)	0	0	0	0	0	..	0	0	0	0	0
i3 Abnahme um 30% (ca. 1.6%/a)	0	0	0	0	0	..	0	0	0	-1	0
J. Klimaänderung											
j1 kaum wärmer - deutlich feuchter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
j2 moderat wärmer - kaum feuchter	0	0	0	0	0	..	0	0	0	0	0
j3 deutlich wärmer - kaum feuchter	1	0	-1	0	0	..	0	0	0	0	0
Bilanz:	-2	0	2	-2	5	-4	-2	2	-3	1	2

Abbildung 19: Die Wirkungsbilanzen von Prüfling 1 (nur inkonsistente Faktoren, alle konsistenten Faktoren ausgeblendet).

Die stärkste Inkonsistenz (Inkonsistenzwert 7) tritt bei Faktor B (pro-Kopf Wohnfläche) auf. Hier nimmt Prüfling 1 einen starken Anstieg der pro-Kopf Wohnfläche an. Aus der Matrix ist dagegen abzulesen, dass sowohl die Annahme eines schwachen und volatilen Wachstums (vor dem Hintergrund der damit verbundenen gedämpften Wohlstandsentwicklung und der eingeschränkten Planbarkeit der eigenen wirtschaftlichen Verhältnisse für die Konsumenten) als auch die hohen Ölpreise (mit der Unattraktivität großer Wohnungen mit hohen Heizungsaufwendungen) stark gegen diese Annahme sprechen (rot markierte Werte). Ein Pro-Argument zugunsten der angenommenen Wohnflächenentwicklung findet sich in der Matrix für den Kontext dieses Szenarios nicht. Der einzige Einfluss, der diese Entwicklung unterstützt (moderater Bevölkerungsrückgang), unterstützt die alternative Wohnflächenentwicklung (geringer Anstieg) in gleicher Weise.

Auf ähnliche Weise lassen sich aus der Matrix Argumente gegen die Annahme eines sehr starken Anstiegs der Güterverkehrsleistungen ablesen (Inkonsistenzwert 5). Auch hier sprechen wieder die ungünstige Wirtschaftsentwicklung und die hohen Energiepreise, darüber hinaus auch noch der fühlbare Bevölkerungsrückgang gegen den angenommenen Trend. Auch bei der Bevölkerungsentwicklung und der Personenverkehrsleistung lassen sich ähnliche, wenn auch nicht so ausgeprägte Widersprüchlichkeiten feststellen (Inkonsistenzwerte 4 und 2).

So ist zusammenfassend festzustellen, dass Prüfling 1 aus Sicht der Cross-Impact Matrix „Deutschland 2030“ mehrere starke innere Widersprüchlichkeiten enthält. Das Szenario ist aus der Perspektive der Cross-Impact Matrix zu verwerfen. Umgekehrt könnten Personen, die an diesem Szenario festhalten wollen, aufgefordert werden anzugeben, welche in der Cross-Impact Matrix formulierten Zusammenhänge sie als unzutreffend einschätzen. In dieser Weise kann die CIB-Konsistenzprüfung eines vorgegebenen Szenarios durch die Konstruktion von Pro- und Contra-Argumenten eine konkrete und substanzielle Diskussion über die Glaubwürdigkeit eines Szenarios befördern.

Als zweiter Prüffall wurde von der UBA-Projektbegleitung ein normatives Szenario benannt, das aus den jeweils wünschenswertesten Entwicklungen besteht (Prüfling 2, Tabelle 4). Auch hier kann die Cross-Impact Matrix „befragt“ werden, welche kritischen Punkte für dieses Szenario hinterfragt und diskutiert werden sollten. Das Vorgehen entspricht vollständig dem vorausgegangenen Fall und führt zu den in Abbildung 20 gezeigten Wirkungsbilanzen.

Tabelle 4: Prüfling 2 - Die Kombination wünschenswerter Entwicklungen

A. Bevölkerungsentwicklung:	a1 leichter Rückgang auf 81 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf:	b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm
C. BIP:	c1 starker Anstieg auf 3509 G€ (ca. 1.6%/a)
D. Ölpreis:	d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b
E. Primärenergieverbrauch:	e3 starker Rückgang auf 7700 PJ
F. Totaler Materialverbrauch:	f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung:	g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung:	h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft:	i3 Abnahme um 30% (ca. 1.6%/a)
J. Klimaänderung:	j2 moderat wärmer - kaum feuchter

	B.		C.				E.			G.			I.		
	b1	b2	c1	c2	c3	c4	e1	e2	e3	g1	g2	g3	i1	i2	i3
A. Bevölkerungsentwicklung															
a1 leichter Rückgang auf 81 Mio	1	1	0	1	1	0	2	1	-1	-1	0	1	1	1	0
a2 moderater Rückgang auf 79 Mio	1	1	-1	1	1	0	2	2	0	-2	-1	1	1	1	1
a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio	2	1	-2	-1	1	0	1	2	2	-3	-1	2	0	1	2
B. Wohnfläche pro Kopf															
b1 starker Anstieg auf 50.4 qm			0	0	0	0	3	4	2	1	0	-1	0	0	0
b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm			0	0	0	0	-1	1	3	0	0	0	0	0	0
C. BIP															
c1 starker Anstieg auf 3509 G€ (ca. 1.6%/a)	2	-1					2	-1	-3	2	1	-2	1	0	0
c2 mittlerer Anstieg auf 3120 G€ (ca. 1.2%/a)	1	0					1	0	-1	1	1	-1	0	1	0
c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)	0	1					-1	0	1	0	1	1	0	1	1
c4 geringes und stark volatiles Wachstum	-1	2					-1	0	0	-1	0	1	1	1	0
D. Ölpreis															
d1 starker Anstieg auf 127 \$/b	-2	2	-3	-2	-2	2	-1	1	2	-2	-1	1	0	0	1
d2 mittlerer Anstieg auf 110 \$/b	-1	1	-2	-1	-1	2	0	1	0	-1	0	1	0	1	0
d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b	0	0	2	2	2	1	2	0	-2	1	1	0	1	1	0
E. Primärenergieverbrauch															
e1 leichter Rückgang auf ca. 13400 PJ	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0
e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0
e3 starker Rückgang auf 7700 PJ	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0
F. Totaler Materialverbrauch															
f1 ansteigender Verbrauch auf 7200 Mt	0	0	-1	0	0	1	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
f2 etwa stabil um 6400 Mt	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
G. Personenverkehrsleistung															
g1 deutlicher Anstieg um 32%	0	0	1	1	1	0	0	-1	-1				0	0	0
g2 moderater Anstieg um 10%	0	0	1	1	1	0	0	0	-1				0	0	0
g3 leichter Rückgang um 5%	0	0	-1	0	0	0	1	1	1				0	0	0
H. Güterverkehrsleistung															
h1 sehr starker Anstieg um 69%	0	0	2	1	0	0	0	-1	-2	0	0	0	0	0	0
h2 starker Anstieg um 53%	0	0	1	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
h3 moderater Anstieg um 34%	0	0	0	1	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft															
i1 Stagnation	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0			
i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0			
i3 Abnahme um 30% (ca. 1.6%/a)	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0			
J. Klimaänderung															
j1 kaum wärmer - deutlich feuchter	0	0	-1	0	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0
j2 moderat wärmer - kaum feuchter	0	0	-1	-1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
j3 deutlich wärmer - kaum feuchter	0	0	-1	-1	0	2	1	1	2	0	0	0	0	0	0
Bilanz:	3	0	0	3	4	2	5	3	-1	2	2	-1	3	2	0

Abbildung 20: Die Wirkungsbilanzen von Prüfling 2 (nur inkonsistente Faktoren, alle konsistenten Faktoren ausgeblendet). Markiert sind diejenigen Argumente, die gegen (rot) oder für (grün gestrichelt) einen starken Rückgang des Primärenergieverbrauches sprechen.

In diesem Fall sind bei fünf Faktoren inkonsistente Annahmen festzustellen, wobei die größte Inkonsistenz bei der Annahme eines starken Rückgangs des Primärenergieverbrauches auftritt und mit Inkonsistenzwert 6 etwas geringer ausfällt als beim vorangegangenen Beispiel. Für die Annahme sind aus der Matrix sowohl Pro- als auch Contra-Argumente abzulesen: Gestützt wird die Annahme durch den geringen Wohnflächenanstieg, den moderaten Anstieg der Güterverkehrsleistung und dem verstärkten Rückgang des Stickstoffüberschusses (grün gestrichelte Markierungen in Abbildung 20). Dagegen sprechen der nur leichte Rückgang der Bevölkerung, der starke Anstieg des BIP, der niedrige Ölpreis und der damit verbundene

Mangel an Energiesparanreizen, und das trotz Stabilisierung weiterhin hohe Niveau des Materialverbrauchs (rote Markierungen). Auf die Gegenargumente entfällt zusammengenommen wesentlich mehr Gewicht als auf die Pro-Argumente, so dass sich „starker Rückgang“ als die mit Abstand schlechteste Annahme für den Primärenergieverbrauch darstellt. Bei den anderen vier inkonsistenten Annahmen sind ähnliche Überlegungen anzustellen.

Die innere Logik dieses Szenarios ist also ähnlich wie bei Prüfling 1 in Frage zu stellen. Bei der Beurteilung eines normativen Szenarios ist jedoch die Interpretation dieses Befundes anders. Die Wahl der Szenariomerkmale ist in diesem Fall wertorientiert und die Feststellung einer Inkonsistenz weist nicht etwa auf ethische Mängel, sondern auf Zielkonflikte hin. Inkonsistenzen sind daher als Aufruf zu verstehen, entweder Prioritäten bei der Bildung des Zielsystems zu setzen, oder nach Möglichkeiten zu suchen, die inkonsistenten Entwicklungen (hier vor allem die starke Senkung des Primärenergieverbrauchs) durch externe, also nicht durch die Cross-Impact Matrix beschriebene Mechanismen, zu stützen, z.B. durch normativ begründete politische Maßnahmen.

7.7 Wild Cards

Mittels Wild Cards, d.h. der Diskussion möglicher Störereignisse, wird in der Szenariotechnik das Ziel verfolgt, bislang aus der Betrachtung ausgeklammerte Entwicklungen zumindest in einigen Beispielen qualitativ in die Szenarioanalyse zu integrieren. Dabei kommen Entwicklungen in Betracht, für die aus heutiger Sicht eine geringe Wahrscheinlichkeit vermutet wird, die aber im Ereignisfall eine hohe Wirkung entfalten würden (Petersen 2000, Steinmüller & Steinmüller 2004). Hintergrund für dieses Vorgehen ist die historische Erfahrung, dass Bruchereignisse (z.B. deutsche Wiedervereinigung) vor ihrem Auftreten häufig in ihrer Wahrscheinlichkeit unterschätzt werden. Dies ist eine Folge davon, dass die Schätzung – auch wenn es sich um die Schätzung wohlinformierter Experten handelt – immer aus dem gedanklichen Kontext ihrer Zeit und der von den Experten als Bestand oder Erfahrung wahrgenommenen Strukturen erfolgt, wodurch Bruchereignisse und ihre Folgen leicht zu weit an den Rand der Aufmerksamkeit geraten. Wild Card Analysen versuchen dieser für eine umfassende Zukunftsbetrachtung schädlichen Tendenz entgegenzusteuern, indem sie einen strukturierten Rahmen in Form einer Gedankenübung zum Verlassen der Trendwelten bieten. Die zuvor erarbeiteten konsistenten Zukunftsbilder werden auf diese Weise hinterfragt, und es wird überprüft, inwiefern manche in Szenarien beschriebenen Entwicklungen durch externe Ereignisse zusätzlich verfestigt oder grundsätzlich verändert werden können.

Auf dem Expertenworkshop beim UBA wurden daher im Anschluss an das gemeinsame Ausfüllen der Matrix zwei bereits im Vorfeld von der Expertengruppe bestimmte Wild Cards und ihre möglichen Wirkungen diskutiert. Aufgrund der Zeitziele des Gutachtens erfolgte die Diskussion allerdings nur beispielhaft und es fand keine systematische Integration dieser Diskussion in die Analyse statt.

7.7.1 Wild Card: starke Temperaturabsenkung

Als erste Wild Card wurden die Folgen einer starken regionalen Temperaturabsenkung bis zum Jahr 2030 betrachtet (vgl. zur ausführlichen Beschreibung dieser Wild Card Anhang 5). In der Diskussion dieses Ereignisses wurde auf die Notwendigkeit verwiesen, eine Differenzierung zwischen einer abrupten Temperaturabsenkung (z.B. ausgelöst durch einen Vulkanausbruch) und einer stetigen Absenkung (z.B. aufgrund des durch die Polarschmelze verursachten Versiegens der Westströmung) vorzunehmen. Zudem sei ergänzend der Zeitraum der Absenkung festzulegen, d.h. eine vorübergehende Absenkung für drei Jahre hätte andere Folgen als eine länger andauernde Temperaturabsenkung über Generationen. Im Falle einer abrupten Temperaturabsenkung über einen Zeitraum von ein paar Jahren wäre ein Katastrophenszenario denkbar. In diesem Fall würde die Energieversorgung ebenso wie die Güterversorgung in Deutschland zum Erliegen kommen, da die Versorgungswege auf einem sehr ausgereizten System basieren, das nur wenige Reserven zur Absorption starker Störereignisse besitzt. Eine starke abrupte Absenkung über mehrere Jahrzehnte würde darüber hinaus die Böden unfruchtbar machen. Es käme zu Ernährungsengpässen, Krankheits- und Sterbewellen. Aber auch im Falle einer abrupten Absenkung über einen nur begrenzten Zeitraum von einigen Jahren käme es zu einem starken Schrumpfen der Bevölkerung in Folge von Abwanderungswellen. Die Personenverkehrsleistung würde sinken. Im Hinblick auf den Energiemix hätte die durch einen Vulkanausbruch verursachte Verdunkelung zur Folge, dass Sonnenenergie keinen Beitrag zur Energieversorgung mehr leisten könnte. Eventuell käme es stattdessen zu einer Renaissance der Atomkraft. Eine Erhöhung des Anteils der Braunkohle wäre auch denkbar und daraus resultierend käme es zu einem Anstieg des TMR. In der deutschen Volkswirtschaft käme es zu einem Strukturwandel, wieder hin zum primären Sektor, eventuell auch zu einem gegenläufigen Trend der Urbanisierung und einer Rückkehr zur Selbstversorgungswirtschaft. Gleichsam ist aber auch denkbar, dass in der Landwirtschaft aufgrund der Nahrungsmittelknappheit die Maxime der Produktionssteigerung zu einem verstärkten Düngereinsatz führen würde. Eine Effizienzsteigerung in der Landwirtschaft könnte aber auch zur Folge haben, dass die Fleischproduktion zurückginge und mehr Pflanzen angebaut würden. Entsprechend wären sowohl ein steigender als auch ein sinkender Stickstoffüberschuss denkbar.

Es wurde abschließend als Ergebnis festgehalten, dass die Interpretation dieser Wild Card als einem singulären Ereignis weniger zielführend ist, als ihre Auslegung als ein kontinuierlicher Prozess einer stetigen Abkühlung.

7.7.2 Wild Card: Wirtschaftskrise

Als zweite Wild Card wurde eine schwere Wirtschaftskrise in Folge einer platzenden Derivatенblase diskutiert (vgl. Anhang 6). Diese Wild Card wurde von Herrn Dirk Osiek (UBA) entworfen. Die Expertengruppe war sich hier in einer zentralen Frage, nämlich den daraus resultierenden Folgen für den Ölpreis nicht einig. Einige der Experten vertraten die Meinung, dass es zu einer Explosion des Ölpreis käme, wohingegen andere Workshopteilnehmer der Ansicht waren, dass durch eine schwere Wirtschaftskrise die Nachfrage nach Energie sinken würde und es als Konsequenz auch zu einer Absenkung des Ölpreises käme.

Einigkeit bestand über die Folgen für den Primärenergieverbrauch. Dieser würde aufgrund des sinkenden BIP auch stark zurückgehen, ebenso die Bevölkerung. Die Migration nach Deutschland würde aufhören, es käme sogar eher zu Abwanderungen. Der Güterverkehr würde stagnieren, die Personenverkehrsleistung würde sinken, Boden- und Immobilienpreise dagegen steigen.

Es wäre auch denkbar, dass der Globalisierungstrend gestoppt würde. Dadurch würde die deutsche Wirtschaft aufgrund ihrer starken Exportorientierung weiter geschwächt.

8 Schlussbemerkungen

Die beschriebenen Arbeiten demonstrieren, wie mit der CIB-Methode Kontextszenarien als integrativer Rahmen für themenspezifische Modell- und Szenarioanalysen am UBA entwickelt werden können. In einem diskursiven Prozess mit der UBA-Begleitgruppe wurden relevante Szenariofaktoren identifiziert, alternative Entwicklungen für diese Faktoren beschrieben und die Interdependenz der Faktoren systematisch erörtert. Mit Hilfe der Cross-Impact Bilanzanalyse lassen sich daraus Materialien zur Unterstützung eines Fachdiskurses erarbeiten und konsistente Szenarien als integrative Referenz für die Auswahl von Modellrahmenannahmen gewinnen. Weiter können vorgegebene Szenarien und Rahmenannahmen auf ihre innere Konsistenz hinterfragt und mögliche Schwachstellen identifiziert werden.

Der Vorteil der Methode liegt in der qualitativen, aber systematischen Aufarbeitung der Wirkungszusammenhänge, die die oft thematisch breit gestreuten Themenfelder eines Umweltmodellinstrumentariums miteinander verbinden, sowie in der nachvollziehbaren Umsetzung des diskursiv erarbeiteten Wirkungsgeflechts in systemanalytisch begründete Szenarien. Änderungen in den Annahmen zum Wirkungsgeflecht können mit geringem Aufwand auf ihre Folgen für das Szenariogerüst überprüft werden. Auf diese Weise können Szenarien explizit durch die zugrundeliegenden Wirkungsbeziehungen begründet, dadurch einer kontroversen Fachdiskussion besser zugänglich gemacht, und damit auch in einem prozeduralen Sinn stärker verwissenschaftlicht werden.

Auf der anderen Seite hebt CIB das grundlegende Problem der Szenariomethodik und der Zukunftsanalyse nicht auf: Untersuchungen dieser Art sind grundsätzlich auf Experteneinschätzungen angewiesen, deren subjektiver Charakter nicht eliminiert, sondern im besten Fall durch Gruppenprozesse mit der Gewinnung intersubjektiver Urteile gemildert werden kann. Es bleibt also zu beachten, dass Prozesse dieser Form streng genommen keine unmittelbaren Aussagen über die Wirklichkeit, sondern über die Wahrnehmung der Wirklichkeit durch einen bestimmten Expertenkreis treffen. Die so entstehenden Analysen sind dennoch relevant und eine sinnvolle Entscheidungsgrundlage, sofern prozedurale Qualitätskriterien eingehalten werden.

Diese Ausführungen machen auch verständlich, dass eine gründliche interdisziplinäre Erörterung der Faktorenauswahl und der Wirkungsbeziehungen mit Fachexperten qualitätsbestimmend für die Ergebnisse einer Szenariokonstruktion mit CIB ist. Die Methode stellt an dieser Stelle etwas höhere Anforderungen an Zeitressourcen der beteiligten

Expertinnen und Experten als einfachere Methoden, deren Konstruktionsprinzip nicht so stark systemanalytisch geprägt ist wie bei CIB. Dies resultiert vor allem aus der Notwendigkeit, den möglichen Einfluss jedes Faktors auf jeden anderen Faktor zu erwägen, wodurch bei einer höheren Faktorenzahl zwangsläufig ein erhebliches Mengengerüst an Erwägungen entsteht. Es ist psychologisch wichtig, Beteiligte und Verantwortliche eines Szenarioprozesses frühzeitig auf diesen Umstand aufmerksam zu machen, damit ausreichende Zeit- und andere Ressourcen für den Prozess eingeplant werden können. Aus Sicht der CIB-Methode ist diese Anforderung jedoch kein methodischer Nachteil, sondern unumgänglich: ein glaubwürdiger Anspruch auf stimmige Szenarien wäre schließlich kaum begründbar, wenn man aus Aufwandsgründen darauf verzichten wollte, die möglichen Einflussbeziehungen zwischen den Szenariofaktoren zumindest in einer elementaren Form vollständig in den Blick zu nehmen.

Aufgrund des Aufwands einer fundierten Interdependenzanalyse einerseits und den engen Zeitzielen des Gutachtens andererseits hatte das Projekt weitgehend Demonstrationscharakter. D.h. die diskursiven Prozesse zur Gewinnung der Datengrundlage für die Szenariokonstruktion wurden teilweise nur angedeutet oder verkürzt. Die Faktorenauswahl folgte in Zahl und Zusammenstellung dem gegebenen Zeitrahmen (unter anderem unter Ausklammerung qualitativer gesellschaftlicher Faktoren), die diskursive Erörterung der Interdependenzen wurde mit Rücksicht auf das Zeitbudget der beteiligten Personen auf die Durchsprache besonders divergenter Einschätzungen beschränkt und zur Störereignisanalyse wurde lediglich eine kursorische Betrachtung durchgeführt. Trotz dieser Einschränkungen konnte nach Einschätzung der Autoren nicht nur der Prozess und sein möglicher Nutzen für das UBA demonstriert werden, sondern auch das konkrete Ergebnis erscheint von hinreichender Qualität, um Orientierung für Modell- und Szenarioanalysen des UBA innerhalb des von den Szenariofaktoren erschlossenen Themenfeldes zu bieten.

Literatur

- Alcamo, Joseph (2008): Environmental Futures. The Practice of Environmental Scenario Analysis. Elsevier, 123-149.
- Aretz, Astrid; Weimer-Jehle, Wolfgang (2004): Cross Impact Methode, in: Der Beitrag der deutschen Stromwirtschaft zum europäischen Klimaschutz. Forum für Energiemodelle und energiewirtschaftliche Systemanalyse (Hrsg.), LIT-Verlag.
- Becker, Axel; List, Stefan (1997): Die Zukunft gestalten mit Szenarien. In: Zerres, M.P.; Zerres, I. (Hrsg.): Unternehmensplanung – Erfahrungsberichte aus der Praxis. Frankfurter Allgemeine Zeitung GmbH.
- EEA–European Environment Agency (2005): European environment outlook. EEA Report 4/2005, Luxembourg.
- EEA–European Environment Agency (2007): The pan European environment: glimpses into an uncertain future. EEA report 4/2007, Copenhagen.
- Garb, Yaakov; Pulver, Simone; VanDeveer, Stacy (2008): Scenarios in Society, Society in Scenarios: Toward a Social Scientific Analysis of Storyline-driven Environmental Modeling. Environmental Research Letters, 3(4) Nov.-Dec. 2008.
- Gausemeier, Jürgen; Fink, A.; Schlake, O. (1996): Szenario-Management - Planen und Führen mit Szenarien, München, 2. Auflage.
- Gordon, Theodore. J.; Hayward, H. (1968): Initial Experiments with the Cross-Impact Method of Forecasting, Futures, Vol. 1, No. 2, S. 101-116.
- Götze, Uwe (1993): Szenario-Technik in der strategischen Unternehmensplanung. Deutscher Universitäts-Verlag Wiesbaden, 2. Auflage.
- Kriegler, Elmar; O'Neill, Brian; Hallegatte, Stephane; Kram, Tom; Lempert, Robert; Moss, Richard, Wilbanks, Thomas (2010): Socio-economic Scenario Development for Climate Change Analysis. Working Paper, Published 18 October 2010.
- Moss, Richard H.; Edmonds, Jae A.; Hibbard, Kathy A.; Manning, Martin R.; Rose, Steven K.; van Vuuren, Detlef P. et al. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. In: Nature, Jg. 463, H. 7282, S. 747–756.
- Pahl-Wostl, Claudia (2007): The implications of complexity for integrated resources management. In: Environmental Modelling & Software, Jg. 22, H. 5: 561–569.
- Petersen, John (2000): Out of The Blue - How to Anticipate Big Future Surprises, Madison Books.
- Renn, Ortwin; Deuschle, Jürgen; Jäger, Alexander, Weimer-Jehle, Wolfgang (2007): Leitbild Nachhaltigkeit - Eine normativ-funktionale Konzeption und ihre Umsetzung. VS-Verlag, Wiesbaden.
- Schweizer, Vanessa J. (2007): Thinking about Conditions Influencing the Future of Carbon Emissions: Implications of Internally Consistent Scenarios Generated by a Cross-Impact Matrix. Qualifying Exam Paper for Engineering and Public Policy, 5. Jan 2007. Carnegie Mellon University.
- van der Sluijs, Jeroen. P. (2002): A way out of the credibility crisis of models used in integrated environmental assessment. In: Futures, Jg. 34, H. 2, S. 133–146.

- Steinmüller, Karl-Heinz; Steinmüller, Angela (2004): Wild Cards. Wenn das Unwahrscheinliche eintritt. Murmann Verlag.
- Walker, Warren E.; Harremoes, Poul; Rotmans, Jan; van der Sluijs, Jeroen. P.; van Asselt, Marjolein B.A. (2003): Defining Uncertainty. A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support. In: Integrated Assessment, Jg. 4, H. 1, S. 5–17.
- Weimer-Jehle, Wolfgang (2006): Cross-impact balances: a system-theoretical approach to cross-impact analysis. In: Technological Forecasting and Social Change, Jg. 73: 334–361.
- Weimer-Jehle, Wolfgang (2008): Cross-impact balances: Applying pair interaction systems and multi-value Kauffman nets to multidisciplinary systems analysis. In: Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Jg. 387, H. 14: 3689–3700.
- Weimer-Jehle, Wolfgang (2009): Szenarienentwicklung mit der Cross-Impact-Bilanzanalyse. In: Gausemeier J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. HNI-Verlagsschriftenreihe Bd. 265, Paderborn: 435-454.
- Weimer-Jehle, Wolfgang (2010): ScenarioWizard V 3.22 – Programm zur qualitativen System- und Szenarioanalyse mit der Cross-Impact Bilanzanalyse. ZIRN – Universität Stuttgart.
- Weimer-Jehle, Wolfgang. (2009): Properties of Cross-Impact Balance Analysis. arXiv:0912.5352v1 [physics.soc-ph].
- Weimer-Jehle, Wolfgang, Kosow, Hannah (2010): Gesellschaftliche Kontextszenarien als Ausgangspunkt für modellgestützte Energieszenarien. Thesenpapier zum Expertenworkshop „Energieszenarien – Nachfrage trifft Angebot“ 02.-03. 12.2010, KIT - Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- Winterscheid, Axel (2008): Szenariotechnik im Hochwassermanagement. Dissertation, TU Darmstadt.

Zur Auswahl der Faktoren und Subszenarien ausgewertete Studien

Bach, Martin (2010): Zeitreihe Stickstoffindikator. Vereinheitlichte Methodik zur Berechnung von Stickstoff-Bilanzen für die Landwirtschaft in Deutschland.

Destatis (2009): Bevölkerungsvorausberechnung, unter:

<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Navigation/Statistiken/Bevoelkerung/VorausberechnungBevoelkerung/VorausberechnungBevoelkerung.psml>

DLR (2008): Leitstudie 2008. Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas, Stuttgart.

EU Kommission (2008): European Energy and Transport. Trends to 2030 – Update 2007.

GWS (2010): Quantitative und qualitative Analyse der ökonomischen Effekte einer forcierten Ressourceneffizienzstrategie. Paper zu Arbeitspaket 5 des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRess), Wuppertal.

Helmholtz Gemeinschaft (2010): Regionaler Klimaatlas Deutschland der Helmholtzgemeinschaft. www.regionaler-klimaatlas.de, Abruf November 2010

IEA (2008): World Energy Outlook, Paris.

IER/RWI/ZEW (2010): Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030. Energieprognose 2009, Stuttgart/Essen/Mannheim.

IFEU (2010): Fortschreibung und Erweiterung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030 (TREMODO, Version 5). Endbericht, Heidelberg.

Penn-Bressel, Gertrude (2009): Handlungsbedarf in Umbauregionen – Thesen und Positionen zu aktuellen Entwicklungen der Flächenpolitik aus Sicht des Umweltbundesamtes, in: Zeitschrift für angewandte Umweltforschung, Sonderheft 16: 71-94.

Prognos/EWI/GWS (2010): Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, Basel/Köln/Osnabrück.

UBA (2008): Ressourcenverbrauch von Deutschland – aktuelle Kennzahlen und Begriffsbestimmungen, unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3426.pdf>

UBA (2009): Politiksznarien für den Klimaschutz V, Dessau-Roßlau.

UBA (i.E.): Politiksznarien für den Klimaschutz VI, Dessau-Roßlau.

UBA (2010): Panta rhei modell, Dessau-Roßlau.

WWF (2009): Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her denken, Berlin.

Anhang

Anhang 1: Die Cross-Impact Matrix zur qualitativen Beschreibung der Faktor-Interdependenz

Cross-Impact Analyse UBA - Deutschland 2030	A. Bev	B. WF	C. BIP	D. Öl	E. PEV	F. TMR	G. PVL	H. GVL	I. N-Üb	J. Klima
	a1 leichter Rückgang a2 mod. Rückgang a3 starker Rückgang	b1 starker Anstieg b2 geringer Anstieg	c1 starker Anstieg c2 mittlerer Anstieg c3 schwacher Anstieg c4 volatil	d1 starker Anstieg d2 mittlerer Anstieg d3 etwa konstant	e1 leichter Rückgang e2 mittlerer Rückgang e3 starker Rückgang	f1 ansteigender Verbr. f2 etwa stabil	g1 deutlicher Anstieg g2 moderater Anstieg g3 leichter Rückgang	h1 sehr starker Anstieg h2 starker Anstieg h3 mod. Anstieg + Verl.	i1 Stagnation i2 Business as usual i3 Verstärkter Rückgang	j1 deutlich feuchter j2 moderat wärmer j3 deutlich wärmer
A. Bevölkerungsentwicklung a1 leichter Rückgang auf ca. 81 Mio a2 moderater Rückgang auf ca. 79 Mio a3 starker Rückgang auf ca. 76.6 Mio		1 1 1 1 2 1	0 1 1 0 -1 1 1 0 -2 -1 1 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0	2 1 -1 2 2 0 1 2 2	1 0 0 0 -1 0	-1 0 1 -2 -1 1 -3 -1 2	0 0 1 -1 0 1 -1 -1 1	1 1 0 1 1 1 0 1 2	0 0 0 0 0 0 0 0 0
B. Wohnfläche pro Kopf b1 starker Anstieg auf ca. 50.4 qm b2 geringer Anstieg auf ca. 44.2 qm	0 0 0 0 0 0		0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	3 1 -2 -1 1 3	2 0 0 2	1 0 -1 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0
C. BIP c1 starker Anstieg auf ca. 3509 G€ (1.6%/a) c2 mittlerer Anstieg auf ca. 3120 G€ (1.2%/a) c3 schwacher Anstieg auf ca. 2830 G€ (0.8%/a) c4 geringes und stark volatiles Wachstum	1 0 -1 0 0 0 -1 0 1 -2 0 2	2 -1 1 0 0 1 -1 2		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	2 -1 -3 1 0 -1 -1 0 1 -1 0 0	2 -2 1 -1 0 1 0 1	2 1 -2 1 1 -1 0 1 1 -1 0 1	3 2 -1 2 1 0 -1 1 1 -2 0 0	1 0 0 0 1 0 0 1 1 1 1 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
D. Ölpreis d1 starker Anstieg auf ca. 125 \$/b d2 mittlerer Anstieg auf ca. 91 \$/b d3 etwa konstant bei ca. 67 \$/b	0 0 0 0 0 0 0 0 0	-2 2 -1 1 0 0	-3 -2 -2 2 -2 -1 -1 2 2 2 2 1		-1 1 2 0 1 0 2 0 -2	1 -1 0 0 0 0	-2 -1 1 -1 0 1 1 1 0	-2 -1 0 -1 -1 0 1 1 1	0 0 1 0 1 0 1 1 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0
E. Primärenergieverbrauch e1 leichter Rückgang auf ca. 13400 PJ e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ e3 starker Rückgang auf ca. 7700 PJ	0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0		-1 1 -2 2 -3 3	0 0 0 0 0 0 0 0 0	1 1 0 1 1 1 0 0 1	0 0 0 0 0 0 0 0 0	1 1 2 0 0 0 0 0 -1
F. Totaler Materialverbrauch f1 ansteigender Verbrauch auf ca. 7200 Mt f2 etwa stabil bei ca. 6400 Mt	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0	-1 0 0 1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 -1 -1 0 0 -1		0 0 0 0 0 0	1 1 0 0 1 1	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0
G. Personenverkehrsleistung g1 deutlicher Anstieg um ca. 32% g2 moderater Anstieg um ca. 10% g3 leichter Rückgang um ca. 5%	0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	1 1 1 0 1 1 1 0 -1 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 -1 -1 0 0 -1 1 1 1	1 -1 0 0 0 0		0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0
H. Güterverkehrsleistung h1 sehr starker Anstieg um ca. 69% h2 starker Anstieg um ca. 53% h3 moderater Anstieg um ca. 34% + Verlagerung	0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	2 1 0 0 1 1 0 0 0 1 1 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 -1 -2 0 0 -1 -1 0 0	2 -2 1 -1 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0		0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft i1 Stagnation i2 Business as usual (ca. -20%) i3 Verstärkter Rückgang (ca. -30%)	0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0	1 0 -1 0 1 0 -1 0 1	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 -1 0 1		1 1 2 0 0 0 0 0 -1
J. Klimaänderung j1 kaum wärmer - deutlich feuchter j2 moderat wärmer - kaum feuchter j3 deutlich wärmer - kaum feuchter	0 0 0 0 0 0 1 0 -1	0 0 0 0 0 0	-1 0 0 1 -1 -1 0 1 -1 -1 0 2	0 0 0 0 0 0 0 0 0	2 1 1 1 1 1 1 1 2	0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0	

Legende:

-3: stark hemmender Einfluss

-2: hemmender Einfluss

-1: schwach hemmender Einfluss

0: kein Einfluss

+1: schwach fördernder Einfluss

+2: fördernder Einfluss

+3: stark fördernder Einfluss

Die in den Zeilen genannten Deskriptoren und Subszenarien sind als die Quelle eines Einflusses zu verstehen, die in den Spalten aufgeführten Deskriptoren und Subszenarien als Ziel des Einflusses. Ein Eintrag in der Matrixzelle mit der Zeilenadresse "a1" und der Spaltenadresse "c2" charakterisiert also den Einfluss, den a1 auf c2 ausübt.

Anhang 2: Liste der 22 vollkonsistenten Szenarien

=====	
Szenario Nr. 1	

A. Bevölkerungsentwicklung	: a1 leichter Rückgang auf 81 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b1 starker Anstieg auf 50.4 qm
C. BIP	: c2 mittlerer Anstieg auf 3120 G€ (ca. 1.2%/a)
D. Ölpreis	: d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e1 leichter Rückgang auf ca. 13400 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f1 ansteigender Verbrauch auf 7200 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g1 deutlicher Anstieg um 32%
H. Güterverkehrsleistung	: h1 sehr starker Anstieg um 69%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)
J. Klimaänderung	: j3 deutlich wärmer - kaum feuchter
=====	
Szenario Nr. 2	

A. Bevölkerungsentwicklung	: a1 leichter Rückgang auf 81 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b1 starker Anstieg auf 50.4 qm
C. BIP	: c2 mittlerer Anstieg auf 3120 G€ (ca. 1.2%/a)
D. Ölpreis	: d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e1 leichter Rückgang auf ca. 13400 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f1 ansteigender Verbrauch auf 7200 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g2 moderater Anstieg um 10%
H. Güterverkehrsleistung	: h1 sehr starker Anstieg um 69%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)
J. Klimaänderung	: j3 deutlich wärmer - kaum feuchter
=====	
Szenario Nr. 3	

A. Bevölkerungsentwicklung	: a1 leichter Rückgang auf 81 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm
C. BIP	: c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)
D. Ölpreis	: d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g2 moderater Anstieg um 10%
H. Güterverkehrsleistung	: h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)
J. Klimaänderung	: j3 deutlich wärmer - kaum feuchter
=====	
Szenario Nr. 4	

A. Bevölkerungsentwicklung	: a1 leichter Rückgang auf 81 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm
C. BIP	: c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)
D. Ölpreis	: d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung	: h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)
J. Klimaänderung	: j3 deutlich wärmer - kaum feuchter
=====	

=====

Szenario Nr. 5

A. Bevölkerungsentwicklung	: a2 moderater Rückgang auf 79 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm
C. BIP	: c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)
D. Ölpreis	: d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung	: h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)
J. Klimaänderung	: j3 deutlich wärmer - kaum feuchter

=====

=====

Szenario Nr. 6

A. Bevölkerungsentwicklung	: a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b1 starker Anstieg auf 50.4 qm
C. BIP	: c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)
D. Ölpreis	: d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e1 leichter Rückgang auf ca. 13400 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung	: h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)
J. Klimaänderung	: j3 deutlich wärmer - kaum feuchter

=====

=====

Szenario Nr. 7

A. Bevölkerungsentwicklung	: a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b1 starker Anstieg auf 50.4 qm
C. BIP	: c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)
D. Ölpreis	: d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e1 leichter Rückgang auf ca. 13400 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung	: h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i3 Abnahme um 30% (ca. 1.6%/a)
J. Klimaänderung	: j1 kaum wärmer - deutlich feuchter

=====

=====

Szenario Nr. 8

A. Bevölkerungsentwicklung	: a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b1 starker Anstieg auf 50.4 qm
C. BIP	: c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)
D. Ölpreis	: d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e1 leichter Rückgang auf ca. 13400 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung	: h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i3 Abnahme um 30% (ca. 1.6%/a)
J. Klimaänderung	: j2 moderat wärmer - kaum feuchter

=====

```

=====
Szenario Nr. 9
-----
A. Bevölkerungsentwicklung      : a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf         : b1 starker Anstieg auf 50.4 qm
C. BIP                          : c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)
D. Ölpreis                      : d3 etwa konstant bei ca 63 $/b
E. Primärenergieverbrauch      : e1 leichter Rückgang auf ca. 13400 PJ
F. Totaler Materialverbrauch    : f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung     : g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung       : h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft: i3 Abnahme um 30% (ca. 1.6%/a)
J. Klimaänderung               : j3 deutlich wärmer - kaum feuchter
=====

```

```

=====
Szenario Nr. 10
-----
A. Bevölkerungsentwicklung      : a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf         : b1 starker Anstieg auf 50.4 qm
C. BIP                          : c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)
D. Ölpreis                      : d3 etwa konstant bei ca 63 $/b
E. Primärenergieverbrauch      : e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ
F. Totaler Materialverbrauch    : f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung     : g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung       : h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft: i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)
J. Klimaänderung               : j2 moderat wärmer - kaum feuchter
=====

```

```

=====
Szenario Nr. 11
-----
A. Bevölkerungsentwicklung      : a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf         : b1 starker Anstieg auf 50.4 qm
C. BIP                          : c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)
D. Ölpreis                      : d3 etwa konstant bei ca 63 $/b
E. Primärenergieverbrauch      : e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ
F. Totaler Materialverbrauch    : f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung     : g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung       : h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft: i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)
J. Klimaänderung               : j3 deutlich wärmer - kaum feuchter
=====

```

```

=====
Szenario Nr. 12
-----
A. Bevölkerungsentwicklung      : a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf         : b1 starker Anstieg auf 50.4 qm
C. BIP                          : c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)
D. Ölpreis                      : d3 etwa konstant bei ca 63 $/b
E. Primärenergieverbrauch      : e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ
F. Totaler Materialverbrauch    : f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung     : g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung       : h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft: i3 Abnahme um 30% (ca. 1.6%/a)
J. Klimaänderung               : j2 moderat wärmer - kaum feuchter
=====

```


=====

Szenario Nr. 13

A. Bevölkerungsentwicklung	: a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm
C. BIP	: c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)
D. Ölpreis	: d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung	: h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)
J. Klimaänderung	: j1 kaum wärmer - deutlich feuchter

=====

=====

Szenario Nr. 14

A. Bevölkerungsentwicklung	: a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm
C. BIP	: c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)
D. Ölpreis	: d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung	: h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)
J. Klimaänderung	: j2 moderat wärmer - kaum feuchter

=====

=====

Szenario Nr. 15

A. Bevölkerungsentwicklung	: a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm
C. BIP	: c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)
D. Ölpreis	: d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung	: h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)
J. Klimaänderung	: j3 deutlich wärmer - kaum feuchter

=====

=====

Szenario Nr. 16

A. Bevölkerungsentwicklung	: a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm
C. BIP	: c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)
D. Ölpreis	: d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e3 starker Rückgang auf 7700 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung	: h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i3 Abnahme um 30% (ca. 1.6%/a)
J. Klimaänderung	: j1 kaum wärmer - deutlich feuchter

=====

=====

Szenario Nr. 17

A. Bevölkerungsentwicklung	: a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm
C. BIP	: c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)
D. Ölpreis	: d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e3 starker Rückgang auf 7700 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung	: h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i3 Abnahme um 30% (ca. 1.6%/a)
J. Klimaänderung	: j2 moderat wärmer - kaum feuchter

=====

=====

Szenario Nr. 18

A. Bevölkerungsentwicklung	: a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm
C. BIP	: c4 geringes und stark volatiles Wachstum
D. Ölpreis	: d1 starker Anstieg auf 127 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e3 starker Rückgang auf 7700 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung	: h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i3 Abnahme um 30% (ca. 1.6%/a)
J. Klimaänderung	: j1 kaum wärmer - deutlich feuchter

=====

=====

Szenario Nr. 19

A. Bevölkerungsentwicklung	: a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm
C. BIP	: c4 geringes und stark volatiles Wachstum
D. Ölpreis	: d1 starker Anstieg auf 127 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e3 starker Rückgang auf 7700 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung	: h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i3 Abnahme um 30% (ca. 1.6%/a)
J. Klimaänderung	: j2 moderat wärmer - kaum feuchter

=====

=====

Szenario Nr. 20

A. Bevölkerungsentwicklung	: a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm
C. BIP	: c4 geringes und stark volatiles Wachstum
D. Ölpreis	: d2 mittlerer Anstieg auf 110 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung	: h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)
J. Klimaänderung	: j1 kaum wärmer - deutlich feuchter

=====

=====

Szenario Nr. 21

A. Bevölkerungsentwicklung	: a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm
C. BIP	: c4 geringes und stark volatiles Wachstum
D. Ölpreis	: d2 mittlerer Anstieg auf 110 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung	: h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)
J. Klimaänderung	: j2 moderat wärmer - kaum feuchter

=====

=====

Szenario Nr. 22

A. Bevölkerungsentwicklung	: a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio
B. Wohnfläche pro Kopf	: b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm
C. BIP	: c4 geringes und stark volatiles Wachstum
D. Ölpreis	: d2 mittlerer Anstieg auf 110 \$/b
E. Primärenergieverbrauch	: e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ
F. Totaler Materialverbrauch	: f2 etwa stabil um 6400 Mt
G. Personenverkehrsleistung	: g3 leichter Rückgang um 5%
H. Güterverkehrsleistung	: h3 moderater Anstieg um 34%
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft	: i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)
J. Klimaänderung	: j3 deutlich wärmer - kaum feuchter

=====

Anhang 3: Die Steckbriefe der Faktoren und Subszenarien

„Konsistente Rahmendaten für Modellierungen und Szenariobildung im UBA“

Steckbriefe

Faktoren und Subszenarien

**Sandra Wassermann
Wolfgang Weimer-Jehle**

Einleitung

Das Projekt „Konsistente Rahmendaten für Modellierungen und Szenariobildung im UBA“ hat zum Ziel, Kombinationen von Rahmenannahmen für umweltbezogene Modellrechnungen zu identifizieren, die das Wirkungsgeflecht zwischen den Umfeldbereichen in zumindest qualitativer Weise adäquat berücksichtigen.

In einem ersten Schritt wurden dazu zehn zentrale Faktoren für Deutschland durch eine Expertengruppe des UBA identifiziert. In einem zweiten Schritt sollen die Wirkungsbeziehungen zwischen diesen Faktoren in Form einer Cross-Impact Bilanzanalyse (CIB) erörtert werden.

Zur Vorbereitung dieses Schrittes wurden Steckbriefe für die Faktoren angefertigt, um diese Faktoren näher zu definieren und zu beschreiben. Weiterhin sollten die unterschiedliche Entwicklungen, die in der Literatur für die Entwicklung dieser Faktoren bis zum Jahr 2030 angegeben werden, zusammengetragen werden und daraus Subszenarien für die Cross-Impact Bilanzanalyse ausgewählt werden. Die Auswahl war insbesondere vom Ziel geleitet, mit Hilfe von Subszenarien eine möglichst breite Varianz abdecken zu können, um das Unsicherheitsfeld, das durch die abweichenden Einschätzungen verschiedener Quellen entsteht, repräsentieren zu können. Daher wurden für die Mehrzahl der Steckbriefe jeweils die höchste, die niedrigste sowie eine mittlere Variante ausgewählt. Bei zwei Steckbriefen wurden aufgrund fehlender mittlerer Alternativen nur zwei Subszenarien beschrieben. Für einen Steckbrief wurde in Absprache mit der Expertengruppe eine vierte Entwicklung als zusätzliches Subszenario aufgenommen.

Die im Folgenden beschriebenen Faktoren sind nicht ausschließlich als Rahmendaten für Modellrechnungen zu interpretieren, sondern sie können in bestimmten Modellrechnungen auch Output-Größen darstellen. Doch alle Faktoren haben – in Abhängigkeit der Fragestellung – die Qualität als Eingangsgrößen in Szenarien und Modellierungen einzufließen.

Die Reihenfolge der Steckbriefe orientiert sich an der Cross-Impact-Matrix.

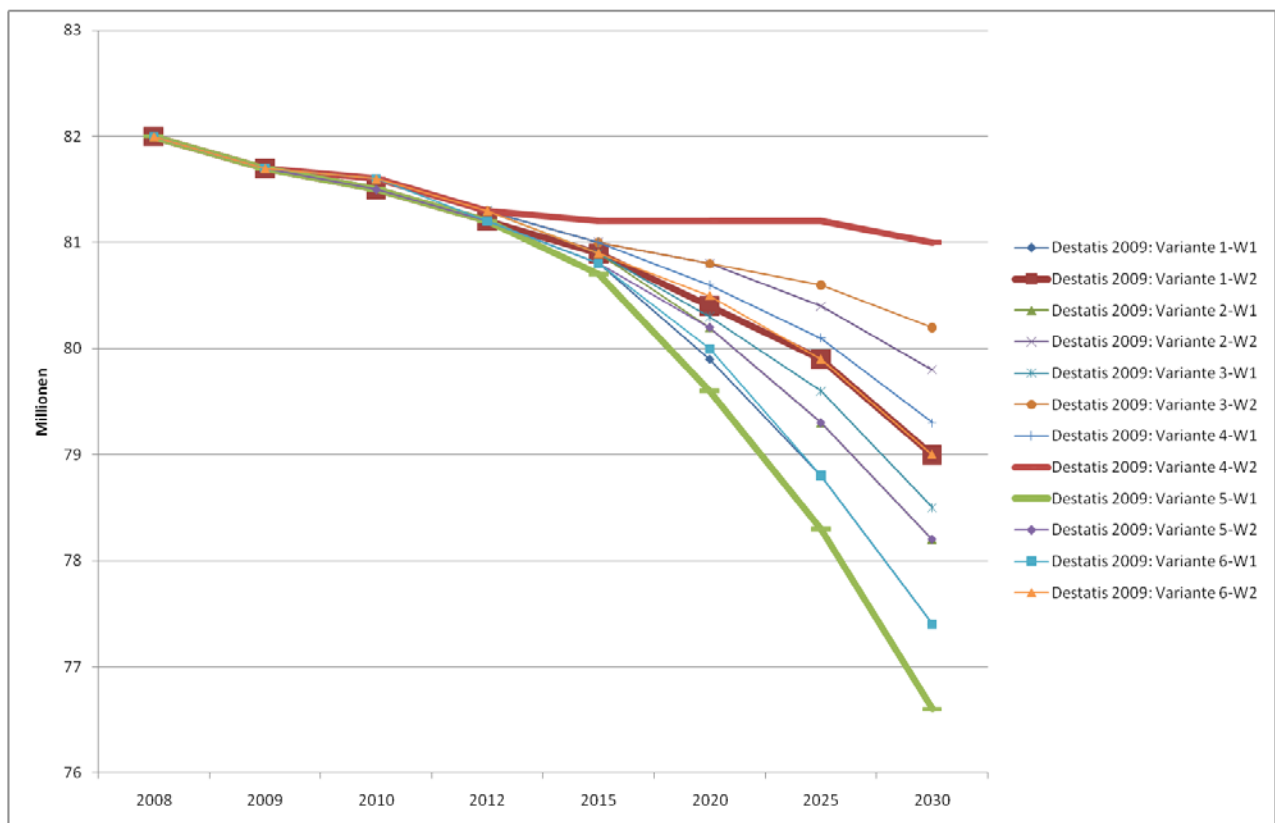
Inhaltsverzeichnis Steckbriefe

Steckbrief: Bevölkerung in Deutschland	53
Steckbrief: Wohnfläche pro Kopf in Deutschland.....	57
Steckbrief: Bruttoinlandsprodukt in Deutschland.....	59
Steckbrief: Ölpreis	63
Steckbrief: Primärenergieverbrauch in Deutschland	66
Steckbrief: Totaler Materialverbrauch in Deutschland.....	69
Steckbrief: Personenverkehrsleistung in Deutschland.....	71
Steckbrief: Güterverkehrsleistung in Deutschland.....	75
Steckbrief: Stickstoffüberschuss aus der Landwirtschaft in Deutschland.....	79
Steckbrief: Klimaänderung in Deutschland	81

Steckbrief: Bevölkerung in Deutschland

Der Faktor Bevölkerung in Deutschland findet sich in zahlreichen Umwelt- und Energieszenarien wieder. Ursache für die grundsätzliche Bedeutung dieses Faktors ist die treibende Wirkung, die die Bevölkerungszahl und die Altersstruktur auf die Nachfrage nach Waren und Dienstleistungen, und damit auch für die mit deren Bereitstellung verbundenen Ressourcen- und Umweltbelastungen, haben.

Die 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes aus dem Jahre 2009 errechnet zwölf mögliche Varianten einer Bevölkerungsentwicklung bis 2060. In der nachfolgenden Abbildung sind die Varianten bis 2030 (dem Zieljahr der Cross-Impact Analyse) dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung

Die Varianten ergeben sich aus der Kombination verschiedener Annahmen zu den drei Größen „Geburtenhäufigkeit“, „Lebenserwartung“ und „Wanderungssaldo“. Bezüglich der Geburtenziffer flossen drei mögliche Ausprägungen in die Berechnungen ein: „annähernde Konstanz bei 1,4 Kinder je Frau“, „leichter Anstieg ab 2025 bei 1,6 Kinder je Frau“ sowie „langfristiger Rückgang auf 1,2 Kinder je Frau bis 2060“.

Die Annahmen zur Lebenserwartung waren zum Ersten die Basisannahme, der zufolge die Lebenserwartung Neugeborener im Jahr 2060 bei 85,0 (männlich) bzw. 89,2 (weiblich) Jahren

liegt und zum Zweiten die Annahme eines starken Anstiegs auf 87,7 (männlich) bzw. 91,2 (weiblich) Jahre.

Zum Wanderungssaldo wurden zwei alternative Annahmen verwendet: zum Einen ein allmählicher Anstieg auf einen jährlichen Saldo von 100 000 ab dem Jahr 2014 und zum Anderen ein allmählicher Anstieg auf einen jährlichen Saldo von 200 000 ab dem Jahr 2020.

In der Kombination dieser drei mal zwei mal zwei Annahmen wurden zwölf mögliche Varianten errechnet.

Für die Cross-Impact-Analyse werden daraus drei Varianten als Subszenarien ausgewählt.

Subszenario 1: Bevölkerungszahl hoch

Die höchste Bevölkerungsprognose für das Jahr 2030 findet sich in der Destatis Variante 4-W2.

	2010	2012	2015	2020	2025	2030
Destatis 2009: Variante 4-W2	81,6 Mio.	81,3 Mio.	81,2 Mio.	81,2 Mio.	81,2 Mio.	81 Mio.

Sie ist die Kombination aus den Annahmen eines leichten Anstiegs der Geburtenrate bei einer gleichzeitig stark steigenden Lebenserwartung sowie einem höheren Anstieg des jährlichen Außenwanderungssaldos auf 200 000. Träfen diese drei Annahmen zu, würde die Bevölkerung in Deutschland im Jahre 2030 immer noch 98,8% (im Jahr 2050 noch 95,9%) der Bevölkerung von 2008 betragen. Immerhin 17,8% (im Jahr 2050 17%) der Bevölkerung wären dann noch unter 20 Jahren, 28,5% (im Jahr 2050 32,2%) wären 65 Jahre und älter. 53,7% (43,5 Millionen) (im Jahr 2050 50,8% bzw. 39,9 Millionen) wären zwischen 20 und 64 Jahren. Letztere Größe kann ggf. auch als Proxy für den Anteil der Personen im erwerbsfähigen Alter im Jahre 2030 herangezogen werden.

- Sehr ähnliche Bevölkerungsannahmen wie in dieser Variante finden sich in einer EU-Studie zu Energie und Transport 2008 (2030: 81,1 Millionen).

Subszenario 2: Bevölkerungszahl mittel

Für das Subszenario 2 wurde die Obergrenze einer mittleren Entwicklung ausgewählt, da die hier für das Jahr 2030 formulierte Prognose am ehesten einer mittleren Größe zwischen den Entwicklungen in Subszenario 1 und Subszenario 3 entspricht. Die Mehrzahl der vom Statistischen Bundesamt berechneten Varianten beschreibt eine mittlere Bevölkerungsentwicklung. Am häufigsten werden die Varianten 1-W1 und 1-W2 zitiert (so auch vom Statistischen Bundesamt selbst), da diese die Untergrenze (1-W1) bzw. die Obergrenze (1-W2) möglicher mittlerer Entwicklungen markieren, die auf den Annahmen basieren, der gegenwärtige demografische Trend setze sich fort.

	2010	2012	2015	2020	2025	2030
Destatis 2009: Variante 1-W2	81,5 Mio.	81,2 Mio.	80,9 Mio.	80,4 Mio.	79,9 Mio.	79 Mio.

Destatis Variante 1-W2 ist die Kombination aus den Annahmen einer annähernden Konstanz der Geburtenrate, der Basisannahme bezüglich der Lebenserwartung sowie einem höheren Anstieg des jährlichen Außenwanderungssaldos auf 200 000. Träfen diese drei Annahmen zu, würde die Bevölkerung in Deutschland im Jahre 2030 noch 96,4% (im Jahr 2050 nur noch 89,8%) der Bevölkerung von 2008 betragen. Nur noch 16,7% (im Jahr 2050 nur noch 15,6%) der Bevölkerung wären unter 20 Jahren, 28,3% (im Jahr 2050 31,8%) wären 65 Jahre und älter. 55% (43,5 Millionen) (im Jahr 2050 52,6%, d.h. 38,7 Millionen) wären zwischen 20 und 64 Jahren. Letztere Größe kann ggf. auch als Proxy für den Anteil der Personen im erwerbsfähigen Alter im Jahre 2030 herangezogen werden.

- Sehr ähnliche Bevölkerungsannahmen wie in dieser Variante finden sich in der WWF-Studie 2009 (2030: 78,6 Millionen), der DLR Leitstudie 2008 (2030: 79,3 Millionen), sowie in den Energieszenarien von Prognos/EWI/GWS 2010 (2030: 79,1 Millionen).

Subszenario 3: Bevölkerungszahl niedrig

Die niedrigste Bevölkerungsprognose für das Jahr 2030 findet sich in der Destatis Variante 5-W1.

	2010	2012	2015	2020	2025	2030
Destatis 2009: Variante 5-W1	81,5 Mio.	81,2 Mio.	80,7 Mio.	79,6 Mio.	78,3 Mio.	76,6 Mio.

Sie ist die Kombination aus den Annahmen eines langfristigen Rückgangs der Geburtenrate, der Basisannahme bezüglich der Lebenserwartung sowie einem niedrigeren Anstieg des jährlichen Außenwanderungssaldos auf nur 100 000. Träfen diese drei Annahmen zu, würde die Bevölkerung in Deutschland im Jahre 2030 nur noch 93,4% (im Jahr 2050 nur noch 82,2%) der Bevölkerung von 2008 betragen. Nur noch 15,9% (im Jahr 2050 nur noch 14%) der Bevölkerung wären dann unter 20 Jahren, aber 29,1% (im Jahr 2050 34,1%) wären 65 Jahre und älter. 55% (42,2 Millionen) (im Jahr 2050 51,9%, d.h. 34,9 Millionen) wären zwischen 20 und 64 Jahren. Letztere Größe kann ggf. auch als Proxy für den Anteil der Personen im erwerbsfähigen Alter im Jahre 2030 herangezogen werden.

- Diese Variante findet sich in keiner gängigen Studie. Die Bevölkerungsannahmen der durchgeführten Sensitivitätsanalysen in der Energieprognose 2009 von IER/RWI/ZEW entsprechen diesem Wert noch am ehesten (2030: 77,2 Millionen).

Literatur

Destatis 2009: Bevölkerungsvorausberechnung, unter:

<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Navigation/Statistiken/Bevoelkerung/VorausberechnungBevoelkerung/VorausberechnungBevoelkerung.psml>

DLR 2008: Leitstudie 2008. Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas, Stuttgart.

EU Kommission 2008: European Energy and Transport. Trends to 2030 – Update 2007.

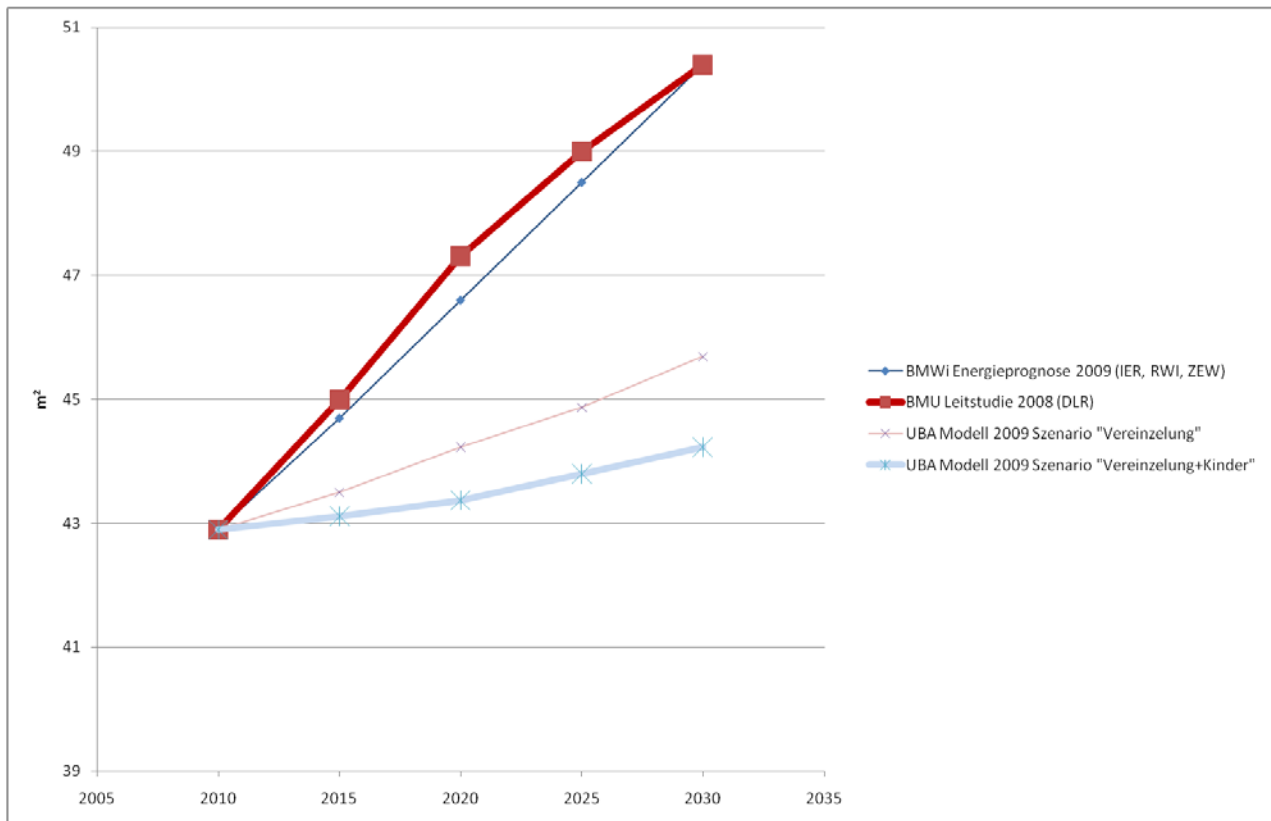
IER/RWI/ZEW 2010: Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030. Energieprognose 2009, Stuttgart/Essen/Mannheim.

Prognos/EWI/GWS 2010: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, Basel/Köln/Osnabrück.

WWF 2009: Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her denken, Berlin.

Steckbrief: Wohnfläche pro Kopf in Deutschland

Der Faktor Wohnfläche pro Kopf ist eine für Umwelt- und Energiesimulationen bedeutsame Größe aufgrund seiner treibenden Wirkung für die Nachfrage nach Wärmeenergie, aber auch nach Flächenverbrauch. Dieser Faktor findet sich neben einer Reihe ähnlicher Größen, wie z.B. der Haushaltsgröße oder der Anzahl an Einfamilienhäusern, als Eingangsgröße in einer Vielzahl von Szenariostudien und Prognosen.



Quelle: Eigene Darstellung¹⁰

Der Faktor selbst wird von einer Reihe demografischer und ökonomischer Faktoren geprägt, aber auch Lebensstil-bezogene Einstellungen und Werte können von Relevanz sein.

Subszenario 1: Starke Zunahme der Wohnfläche pro Kopf

	2010	2015	2020	2025	2030
BMU Leitstudie 2008 (DLR, Quelle Prognos 2005)	42,9 m ²	45 m ²	47,3 m ²	49 m ²	50,4 m ²

¹⁰ Zur einheitlichen Darstellung der Werte wurden Indexwerte der beiden UBA-Szenarien auf den 2010-Wert der anderen Studien kalibriert.

Die starke Zunahme der Wohnfläche pro Kopf des Subszenarios 1 begründet sich auf einer zunächst bis 2020 etwa konstanten Bevölkerungsgröße, die erst allmählich absinkt. Gleichzeitig sinkt die Anzahl der Personen je Haushalt von derzeit 2,1 auf langfristig unter 2,0. Bei einem gleichzeitig hohen Wachstum des Bruttoinlandsproduktes wird daher die Annahme begründet, die Wohnfläche pro Kopf werde von 42,9 m² in 2010 auf 50,4 m² in 2030 (und auf 51,9 m² in 2050) ansteigen (vgl. DLR 2008: 44ff.)

SubszENARIO 2: Geringe Zunahme der Wohnfläche pro Kopf

	2010	2015	2020	2025	2030
UBA Szenario "Vereinzelung+Kinder"	42,9 m ²	43,11 m ²	43,37 m ²	43,8 m ²	44,23 m ²

Das SubszENARIO 2 beschreibt die Entwicklung einer hohen Zuwanderungsrate nach Deutschland (ca. 240.000 Personen pro Jahr) bei einer gleichzeitig steigenden Geburtenrate. Da die Anzahl der Haushalte trotz höherer Bevölkerungszahl jedoch nur moderat wächst, nehmen die Haushaltsgrößen nur langsamer ab, entsprechend nimmt auch die Wohnfläche pro Kopf nur langsam zu (vgl. UBA-Modell nach Penn-Bressel 2009).

Da die vorhandenen Quellen zu dieser Größe alle entweder dem oberen oder dem unteren SubszENARIO ähneln, wird in diesem Fall auf ein drittes, mittleres SubszENARIO verzichtet.

Literatur

DLR 2008: Leitstudie 2008. Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas, Stuttgart.

IER/RWI/ZEW 2010: Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030. Energieprognose 2009, Stuttgart/Essen/Mannheim.

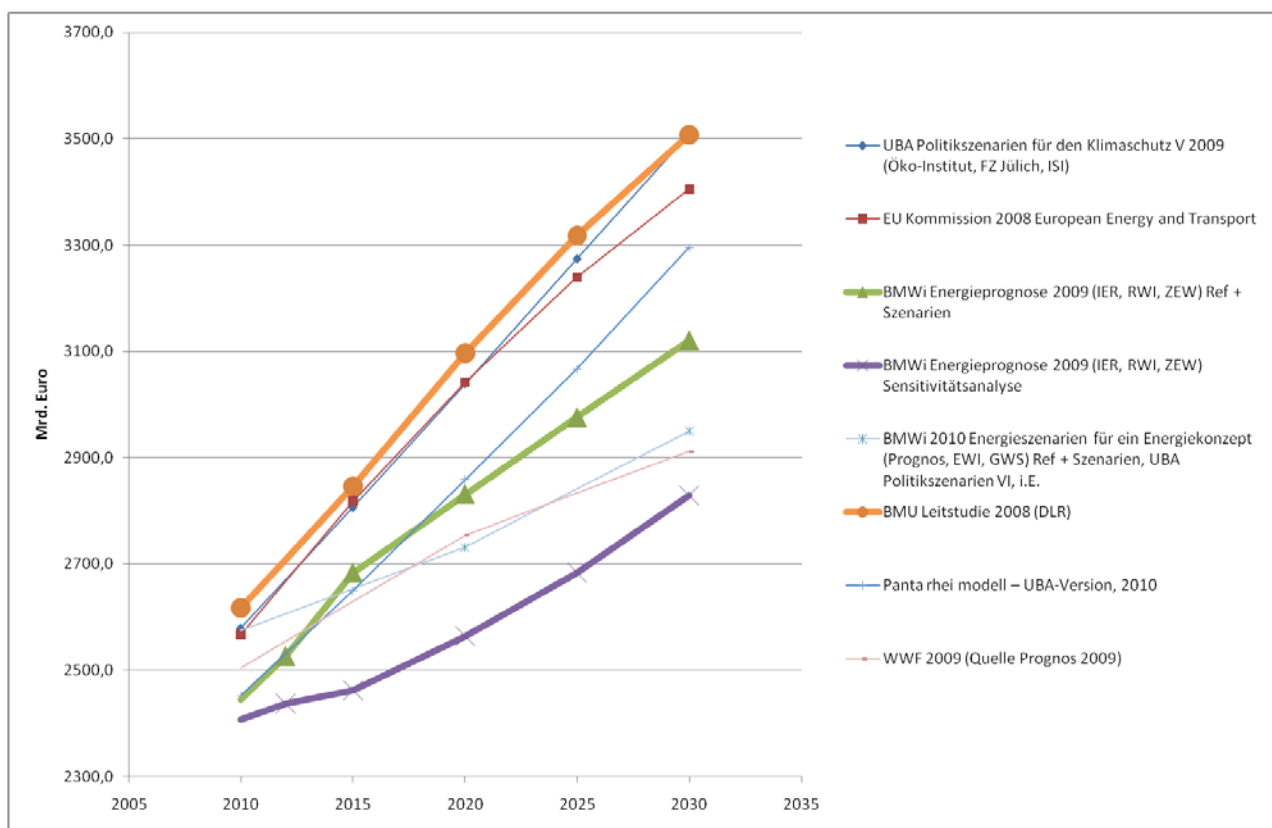
Penn-Bressel, Gertrude (2009): Handlungsbedarf in Umbauregionen – Thesen und Positionen zu aktuellen Entwicklungen der Flächenpolitik aus Sicht des Umweltbundesamtes, in: Zeitschrift für angewandte Umweltforschung, Sonderheft 16: 71-94.

Steckbrief: Bruttoinlandsprodukt in Deutschland

Der Faktor Bruttoinlandsprodukt in Deutschland findet sich in zahlreichen Umwelt- und Energieszenarien wieder. Das Bruttoinlandsprodukt gilt als Maßzahl für die Leistung einer Volkswirtschaft, denn es erfasst alle in einem Land hergestellten Waren und Dienstleistungen in einem Jahr. Der Faktor BIP hat einen starken indirekten Einfluss auf die durch die Herstellung von Gütern verursachten Ressourcen- und Umweltbelastungen.

Aber die Stärke dieser Wirkung hängt insbesondere auch entscheidend von der sektoralen Verteilung des BIP ab. So sind die Umwelt- und Klimabelastungen durch die Dienstleistungsbranche weniger stark als durch die Schwerindustrie, wie z.B. in der Stahl- und Zementerzeugung.

Unten stehende Abbildung zeigt die in den vorliegenden Studien unterschiedlichen Annahmen bezüglich der Entwicklung des BIP bis 2030 (dem Zieljahr der Cross-Impact-Analyse). Um die Studien besser vergleichbar zu machen, wurde eine Umrechnung der Werte auf die Preisbasis 2007 vorgenommen¹¹.



Quelle: Eigene Darstellung

¹¹ Die Umrechnung erfolgte auf Basis des Verbraucherpreisindex des Statistischen Bundesamtes.

Für die Cross-Impact-Analyse werden aus den Studien drei Varianten als Subszzenarien ausgewählt. Zusätzlich wird eine fiktive, stark volatile Entwicklung des BIP als 4. SubszENARIO beschrieben.

SubszENARIO 1: BIP hoch

Die höchste Prognose für das Bruttoinlandsprodukt in Deutschland für das Jahr 2030 findet sich bei den UBA Politikszenerarien für den Klimaschutz V 2009.

	2010	2015	2020	2025	2030
UBA 2009 (Quelle DIW), Preisbasis 2007	2579,8 Mrd.€	2806,3 Mrd. €	3039,1 Mrd. €	3273,9 Mrd. €	3508,7 Mrd. €

In diesem SubszENARIO wird von keiner starken strukturellen Veränderung der Wirtschaft ausgegangen. Steigende Anteile weisen einige Dienstleistungssektoren wie Grundstückswesen; Vermietung; Unternehmensdienstleistungen, Verkehr; Nachrichtenübermittlung oder Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen auf. Der Anteil des verarbeitenden Gewerbes stagniert. Die Gesamtwertschöpfung der Industrie erhöht sich allerdings zwischen 2005 und 2030 um 52%. Ein überdurchschnittlich hohes Wachstum wird für NE-Metalle, Metallbearbeitung sowie den Maschinen- und Fahrzeugbau erwartet (vgl. UBA 2009: 50ff.).

SubszENARIO 2: BIP mittel

Als eine der mittleren Prognosen für das Bruttoinlandsprodukt in Deutschland für das Jahr 2030 wurde die Energieprognose des BMWi 2009, erstellt von IER/RWI/ZEW ausgewählt.

	2007	2015	2020	2025	2030
BMWi Energieprognose 2009, Preisbasis 2007	2512, 8 Mrd. €	2683,2 Mrd. €	2831,2 Mrd. €	2975,8 Mrd. €	3120,4 Mrd. €

Das SubszENARIO 2 geht von keinen tiefgreifenden Umbrüchen im Sinne eines Rückgangs bestimmter sektoraler Wertschöpfungen aus. Ein Einbruch der Grundstoffindustrie ist ebenso wenig zu erwarten wie ein tiefgreifender Wandel hin zu einer Dienstleistungsgesellschaft. Trotzdem wird es innerhalb der Sektoren zu Verschiebungen kommen. Die Zement- und Kalkindustrie wird sinkende Produktionsmengen verzeichnen. Dagegen zeigt sich für die Papier- Ammoniak- und Chlorproduktion bis 2030 ein Anstieg.

Für die übrigen Wirtschaftssektoren spezifiziert dieses SubszENARIO die wirtschaftliche Entwicklung bis 2030 nicht.

Subszenario 3: BIP niedrig

	2007	2015	2020	2025	2030
BMW Energieprognose 2009, Sensitivitätsanalyse, Preisbasis 2007	2512,8 Mrd. €	2462,4 Mrd. €	2564,6 Mrd. €	2683,6 Mrd. €	2829,5 Mrd. €

Die niedrigste Prognose für das Bruttoinlandsprodukt in Deutschland für das Jahr 2030 findet sich in den Annahmen der Sensitivitätsanalyse S1 der Energieprognose des BMWi 2009, erstellt von IER/RWI/ZEW.

Die Sensitivitätsanalyse S1 trägt den Titel „Wirtschaftswachstum – die Krise dauert länger“. Sie beschreibt ein pessimistisches Szenario der weltwirtschaftlichen Entwicklung. Die globale Rezession dauert bis 2015 an, erst danach findet die Weltwirtschaft auf einen Wachstumspfad zurück. Für Deutschland folgen aus dieser Entwicklung eine Strukturkrise und hohe Beschäftigungsverluste. Die Zahl der Beschäftigten im Sektor Gewerbe Handel Dienstleistungen (GHD) sinkt von 31,06 Mio. in 2007 auf nur noch 24 Mio. in 2030 ab.

Subszenario 4: BIP niedrig und stark schwankend

Mit diesem Subszenario sollen insbesondere die Wirkungen stark schwankender Wirtschaftsentwicklungen thematisiert werden. Zwar sind Wirtschaftsprognosen wie die im Diagramm gezeigten grundsätzlich so zu verstehen, dass ein geglätteter Pfad beschrieben wird, um den konjunkturelle und andere Schwankungen im aus der Vergangenheit vertrauten Umfang stattfinden. Dabei muss offenbleiben, ob sich ein konkretes Jahr dabei über- oder unterhalb des geglätteten Pfades befindet. Das Subszenario 4 soll nun jedoch einen Wirtschaftsverlauf ausdrücken, bei dem die Volatilität des Wirtschaftswachstums massiv stärker ausfällt als es der langjährigen Vergangenheitserfahrung entspricht. Auch hier bleibt offen, zu welchen Jahreszahlen die Höhen und Tiefen der Wachstumsraten auftreten.

Aufgrund der Störungen, die von einer hohen Volatilität für die Planungssicherheit, die wirtschaftliche Effizienz und das Vertrauen der Wirtschaftsakteure ausgehen dürften, geht dieses Subszenario von einem niedrigem mittleren Wachstum entsprechend Subszenario 3 aus, wobei dieses jedoch wesentlich ungleichmäßiger einschließlich stärkerer Boomphasen, aber auch längerer Schwäche- und stärkerer Rezessionsphasen stattfinden soll als im Fall des Subszenarios 3.

Literatur

DLR 2008: Leitstudie 2008. Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas, Stuttgart.

EU Kommission 2008: European Energy and Transport. Trends to 2030 – Update 2007.

IER/RWI/ZEW 2010: Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030. Energieprognose 2009, Stuttgart/Essen/Mannheim.

Prognos/EWI/GWS 2010: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, Basel/Köln/Osnabrück.

UBA 2009: Politiksznarien für den Klimaschutz V, Dessau.

UBA i.E.: Politiksznarien für den Klimaschutz VI, Dessau.

UBA 2010: Panta rhei modell, Dessau.

WWF 2009: Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her denken, Berlin.

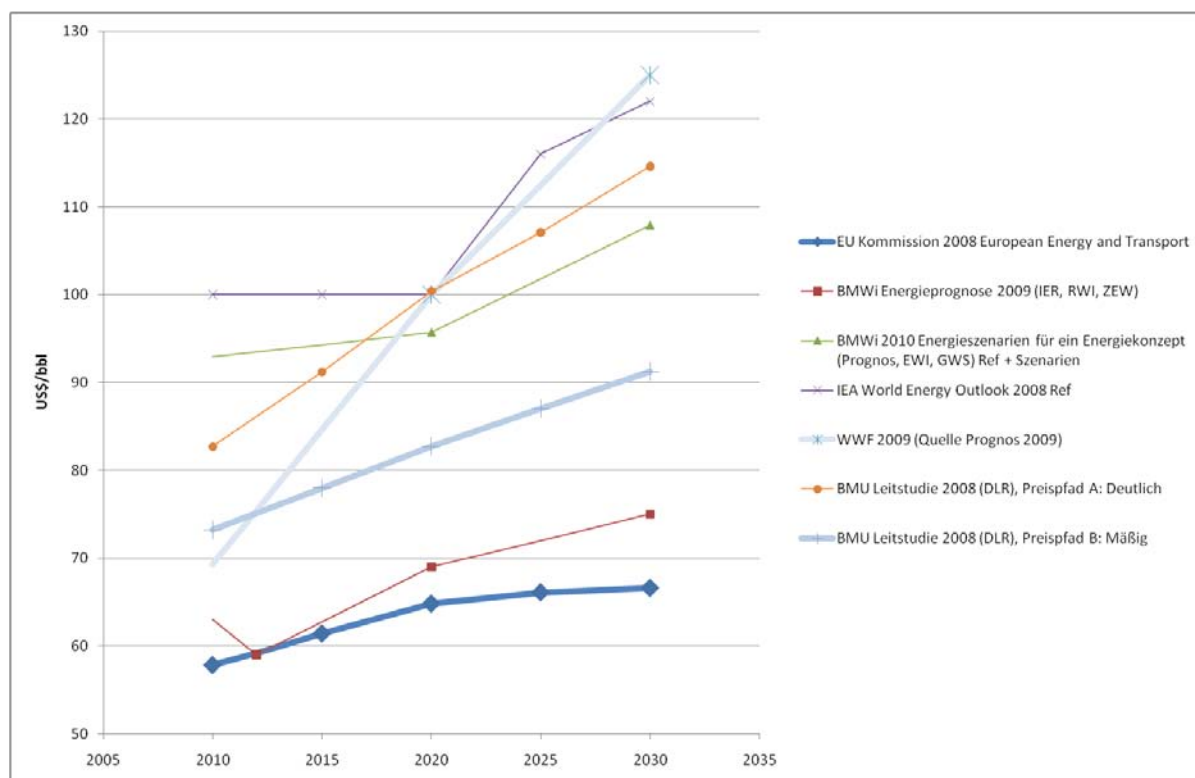
Steckbrief: Ölpreis

Der Faktor Ölpreis findet sich in zahlreichen Umwelt- und Energieszenarien wieder. Dieser Faktor gilt als treibende Kraft für mehrere relevante Größen in Umwelt- und Energieszenarien. Er beeinflusst nicht nur die Endenergiepreise für Mineralölprodukte wie Heizöl und Kraftstoffe, sondern kann teilweise auch die Richtung für die Entwicklung der Preise anderer Energieträger wie Kohle und Gas vorgeben. So wirkt der Ölpreis u.a. auf die wirtschaftliche Entwicklung eines Landes – und eng damit verknüpft auch auf die Ressourcen- und Umweltbelastungen. Zudem hat die Höhe des Ölpreises auch Auswirkungen auf die Nachfrage nach Energiedienstleistungen, auf die Energieeffizienzentwicklung und die Entwicklung von Substitutionstechnologien wie die Erneuerbaren Energien.

Kennzeichnend für den Ölpreis ist seine Volatilität. Determinanten sind u.a. die weltweite wirtschaftliche Entwicklung, insbesondere auch die Entwicklungen in den Schwellenländern, die Höhe der Erdölreserven bzw. die Bewertung dieser Reserven, die Preispolitik der Förderländer und Konflikte oder Kriege in den Förderstaaten.

Unten stehende Abbildung zeigt die Annahmen verschiedener Studien zu den Ölpreisentwicklungen ohne CO₂-Aufschlag bis 2030 (dem Zieljahr der Cross-Impact-Analyse)¹².

¹² Preise von Quellen mit unterschiedlicher Preisbasis wurden unter Verwendung des US-GDP-Preisindex (US Government Printing Office, <http://www.gpoaccess.gov/usbudget/fy09/hist.html>, Abruf 12.11.2010) auf Preisbasis 2007 umgerechnet.



Quelle: Eigene Darstellung

Für die Cross-Impact-Analyse werden aus den gängigen Studien zu Umwelt- und Energieszenarien drei Varianten als Subsznarien ausgewählt.

SubszENARIO 1: Ölpreis hoch

Die höchste Prognose für den Ölpreis in 2030 findet sich in der WWF Studie 2009.

	2005	2020	2030
WWF 2009 (Quelle Prognos 2009), Preisbasis 2007	54 US\$/bbl	100 US\$/bbl	125 US\$/bbl

Auch die Entwicklung anderer Primärenergiepreise sieht die WWF Studie 2009 stark steigend. Demnach steigt der Importpreis für Erdgas von 1,7 Cent/kWh in 2005 auf 3,9 Cent/kWh in 2030 an. Für Kraftwerkssteinkohle wird eine Preissteigerung von 67 Euro/t SKE in 2005 auf 118 Euro/t SKE prognostiziert¹³.

SubszENARIO 2: Ölpreis mittel

Als eine der mittleren Prognosen für den Ölpreis für das Jahr 2030 wurde die Datenreihe des Preispfades B „mäßig“ der Leitstudie des DLR 2008 ausgewählt.

¹³ Jeweils Preisbasis 2007

	2010	2015	2020	2025	2030
DLR Leitstudie 2008, Preispfad B „mäßig“, Preisbasis 2007	73,2 US\$/bbl	78 US\$/bbl	82,7 US\$/bbl	87 US\$/bbl	91 US\$/bbl

Die Gaspreise sieht dieses SubszENARIO dagegen deutlicher steigen und ähnelt SubszENARIO 1. Der Preis für Erdgas steigt von 1,7 Cent/kWh in 2005 auf 3,7 Cent/kWh in 2030. Für die Entwicklung des Steinkohlepreises wird eine starke Steigerung von 64 Euro/t in 2005 auf 152 Euro/t in 2030 vorhergesagt¹⁴.

SubszENARIO 3: Ölpreis niedrig

Die niedrigste Prognose für den Ölpreis für das Jahr 2030 findet sich bei der Studie European Energy and Transport der EU Kommission 2008.

	2010	2015	2020	2025	2030
EU Kommission 2008, Preisbasis 2007	57,8 US\$/bbl	61,4 US\$/bbl	64,8 US\$/bbl	66,1 US\$/bbl	66,6 US\$/bbl

Bei der Entwicklung der Gas- und Kohlepreise sieht das SubszENARIO deutliche Unterschiede für die beiden Energierohstoffe voraus. Demnach steigt der Gaspreis deutlich stärker an als der Preis für Kohle, nämlich von 44 US\$/boe (barrel of oil equivalent) in 2010 auf 50,5 US\$/boe in 2030. Der Kohlepreis steigt dagegen nur leicht an von 14,5 US\$/boe in 2010 auf 15,8 US\$/boe in 2030¹⁵.

Literatur

DLR 2008: Leitstudie 2008. Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas, Stuttgart.

EU Kommission 2008: European Energy and Transport. Trends to 2030 – Update 2007.

IEA 2008: World Energy Outlook, Paris.

IER/RWI/ZEW 2010: Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030. Energieprognose 2009, Stuttgart/Essen/Mannheim.

Prognos/EWI/GWS 2010: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, Basel/Köln/Osnabrück.

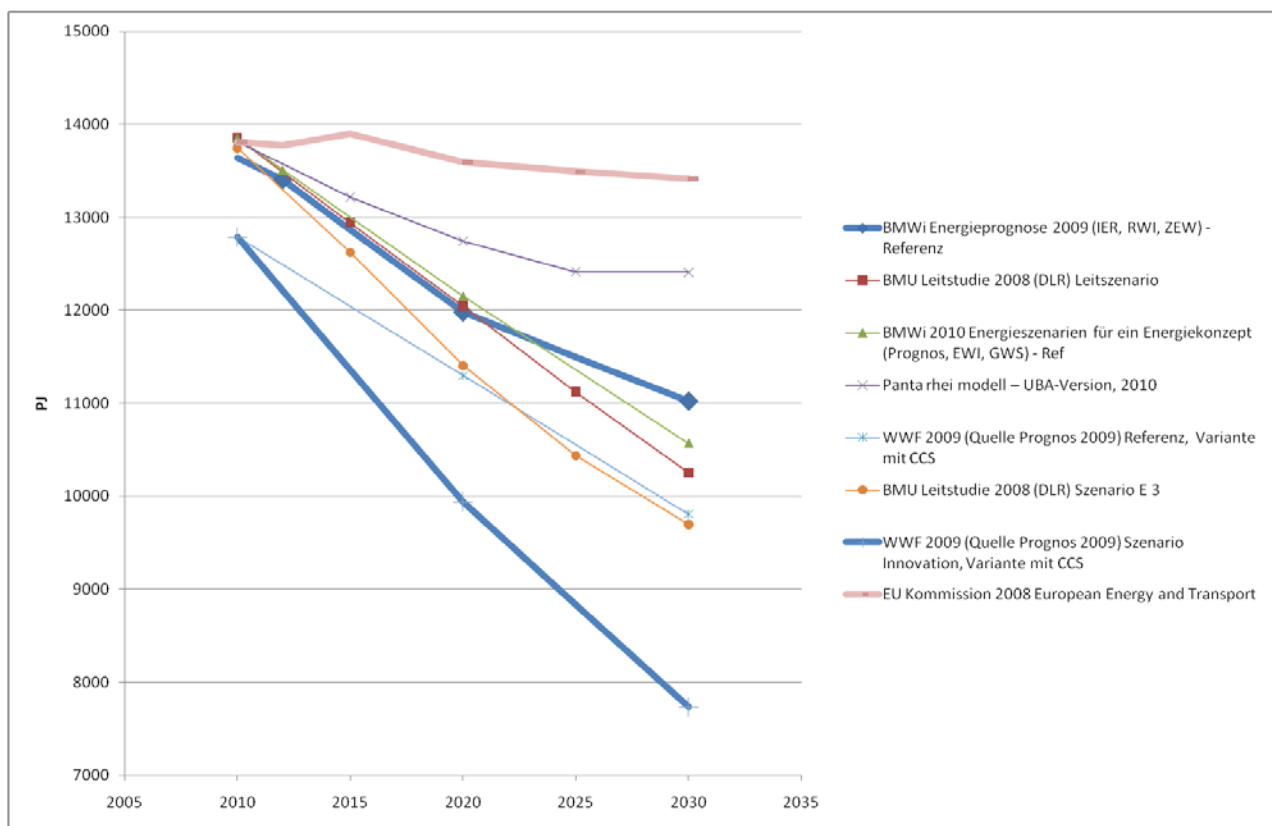
WWF 2009: Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her denken, Berlin.

¹⁴ Jeweils Preisbasis 2007

¹⁵ Jeweils Preisbasis 2007

Steckbrief: Primärenergieverbrauch in Deutschland

Der Faktor Primärenergieverbrauch in Deutschland wirkt direkt auf die Ressourcen- und Umweltbelastungen in Deutschland und über die nationale Ebene hinaus. Beispiele sind der Rohstoffabbau bei der Gewinnung der Primärenergieträger, die Freisetzung von umweltrelevanten Gasen, wie z.B. Treibhausgasen bei der Umwandlung, und die Produktion von problematischen Abfällen wie z.B. radioaktiven Abfällen. Dabei ist der Energiemix von Relevanz. Denn unterschiedliche Energieformen haben qualitativ und quantitativ verschiedene Umwelt- und Klimawirkungen. Allerdings ist jede Form der Energieumwandlung und -nutzung mit Materialaufwendungen und Umweltbelastungen verbunden.



Quelle: Eigene Darstellung

Für die Cross-Impact-Analyse wurden aus den gängigen Studien zu Umwelt- und Energieszenarien drei Varianten als Subsznarien ausgewählt. In einem weiteren Schritt wurde auch überprüft, welchen Energiemix im Primärenergieverbrauch die Studien für das Jahr 2030 annehmen.

Subszenario 1: Primärenergieverbrauch hoch

Die höchste Prognose für den Primärenergieverbrauch für das Jahr 2030 findet sich beim Szenario der EU Kommission 2008.

	2010	2015	2020	2025	2030
EU Kommission 2008	13811 PJ	13901 PJ	13592 PJ	13492 PJ	13418 PJ

Der Energiemix in diesem Szenario besteht 2030 aus 27% Kohle, 34,3% Mineralöl, 28,1 % Naturgase, 0% Kernenergie und 10,2% Erneuerbare. Dies entspricht einer Zunahme bei Kohle, Erneuerbaren und Naturgasen und einer Abnahme bei Kernenergie.

Subszenario 2: Primärenergieverbrauch mittel

Als eine der mittleren Prognosen für den Primärenergieverbrauch für das Jahr 2030 wurde die Energieprognose 2009 von IER/RWI/ZEW ausgewählt (Referenzprognose).

	2012	2020	2030
IER/RWI/ZEW 2009	13403 PJ	11979 PJ	11021 PJ

Der Energiemix in diesem Szenario besteht 2030 aus 35,4% Mineralöl, 24,4 % Naturgase, 21,3% Kohle, 0% Kernenergie und 16,5% Erneuerbare. Dies entspricht einer Zunahme vor allem bei den Erneuerbaren und einer Abnahme bei Kernenergie und Kohle. In den Laufzeitverlängerungsvarianten dieser Studie erreicht die Kernenergie bis zu 15,4% Anteil im Jahr 2030 (Variante Laufzeitverlängerung 60 Jahre) zu Lasten aller anderen Energieträger. Im Fall der Laufzeitverlängerung auf 60 Jahre nimmt außerdem der Primärenergieverbrauch insgesamt zu (von 11.021 PJ auf 11.919 PJ im Jahr 2030).

Subszenario 3: Primärenergieverbrauch niedrig

Die niedrigste Prognose für den Primärenergieverbrauch für das Jahr 2030 findet sich beim WWF 2009 im Szenario Innovation, Variante mit CCS.

	2005	2020	2030
WWF 2009 (Quelle Prognos) Variante Innovation mit CCS	13532 PJ	9936 PJ	7733 PJ

Der Energiemix in diesem Szenario besteht 2030 aus 35,3% Erneuerbaren, 3,3% Abfall, 20,9% Gase, 19,6% Kohle, 20,9% Mineralöl und 0% Kernenergie.

Dieses Szenario geht von einem starken Ausbau der Erneuerbaren Energien aus. So erhöht sich z.B. der Beitrag der Geothermie auf 484 PJ, die Windenergienutzung verfünffacht sich und die Solarenergie zeigt einen Zuwachs um 350 %. Durch den Einsatz von CCS können durch Kohlekraftwerke weiterhin Grund- und Mittellast bereitgestellt werden. Dadurch verbessert sich

die Last- und Leistungscharakteristik der Erneuerbaren und es kommt auch zu keinen Speicherverlusten.

Literatur

DLR 2008: Leitstudie 2008. Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas, Stuttgart.

EU Kommission 2008: European Energy and Transport. Trends to 2030 – Update 2007, Brüssel.

IER/RWI/ZEW 2010: Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030. Energieprognose 2009, Stuttgart/Essen/Mannheim.

Panta Rhei Modell – UBA Version 2010

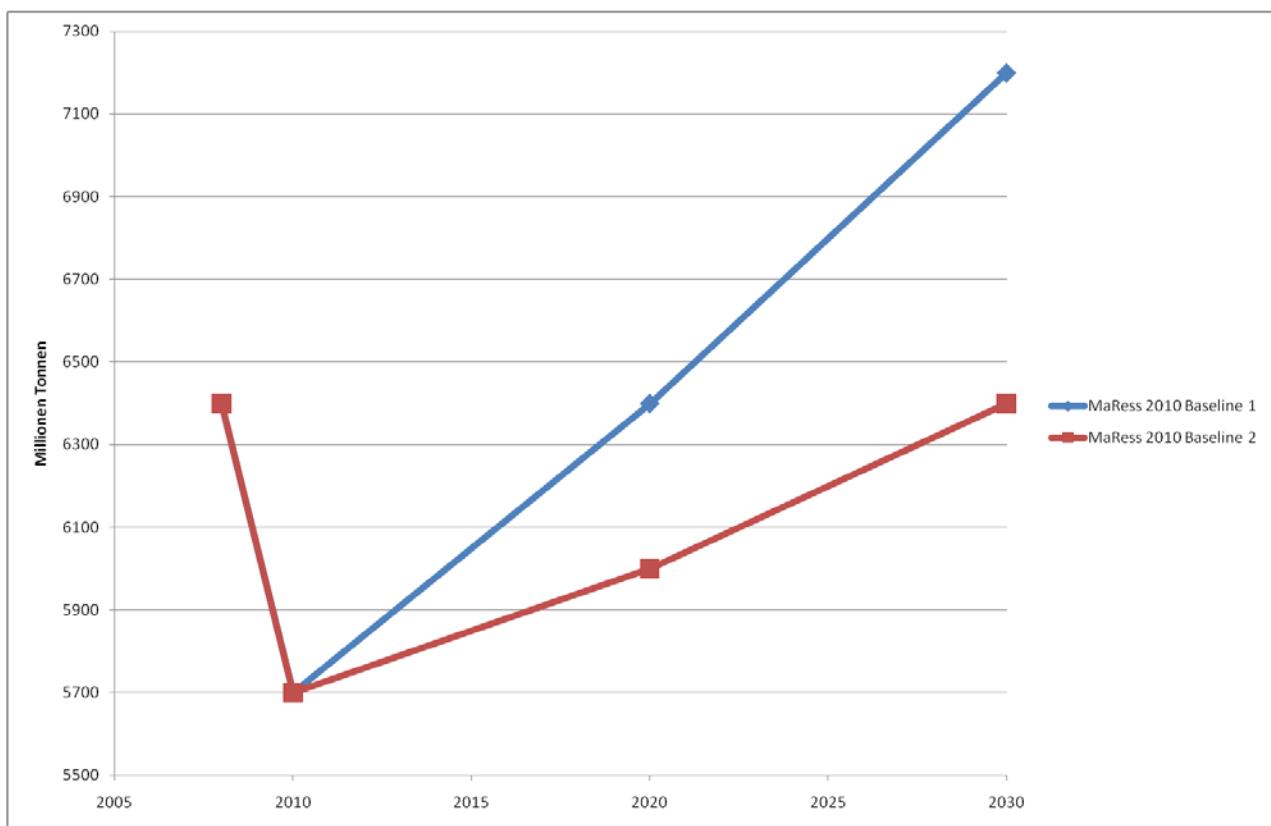
Prognos/EWI/GWS 2010: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, Basel/Köln/Osnabrück.

WWF 2009: Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her denken, Berlin.

Steckbrief: Totaler Materialverbrauch in Deutschland

Der Totale Materialverbrauch (Total Material Requirement, TMR) gilt als ein wesentlicher Faktor für Umweltszenarien. Er ist der umfassendste Indikator zur Bestimmung des Materialflusses in einer Volkswirtschaft, da er sowohl die direkten als auch die indirekten Materialinputs (die „ökologischen Rucksäcke“) misst. „Der TMR ist damit ein Schätzwert für die Größenordnung der potenziellen Umweltbelastungen durch die Entnahme und Nutzung natürlicher stofflicher Ressourcen“ (UBA 2008: 84f.).

Zu den möglichen Entwicklungen des TMR in Deutschland wurde im Rahmen des Projektes „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRes) folgende Subszenarien entworfen:



Quelle: Eigene Darstellung

Diese beiden Subszenarien werden auch in die Cross-Impact-Analyse aufgenommen und daher im Folgenden noch näher beschrieben.

Subszenario 1

	2008	2010	2020	2030
MaRes 2010	ca. 6400 Mio. t	ca. 5700 Mio. t	ca. 6400 Mio. t	ca. 7200 Mio. t

In diesem SubszENARIO steigt der Materialverbrauch deutlich an. Es wird von einer exportgetriebenen Erhöhung des Einsatzes von Metallen ausgegangen. Höhere Exporte bedeuten für Deutschland vor allem Fahrzeuge, Maschinenbauprodukte und andere Investitionsgüter, die eine hohe Metallintensität haben.

Dieser Steigerung des Materialeinsatzes stehen rückläufige inländische Entnahmen von Ressourcen gegenüber.

SubszENARIO 2

	2008	2010	2020	2030
MaRess 2010	ca. 6400 Mio. t	ca. 5600 Mio. t	ca. 6000 Mio. t	ca. 6400 Mio. t

In diesem SubszENARIO erreicht der Materialverbrauch etwa auf dem Niveau des letzten Jahres vor der Krise (2008). Aufgrund höherer Ressourcenpreise bei einem gleichzeitig schwächeren Wachstum der Weltwirtschaft stagniert der TMR.

Literatur

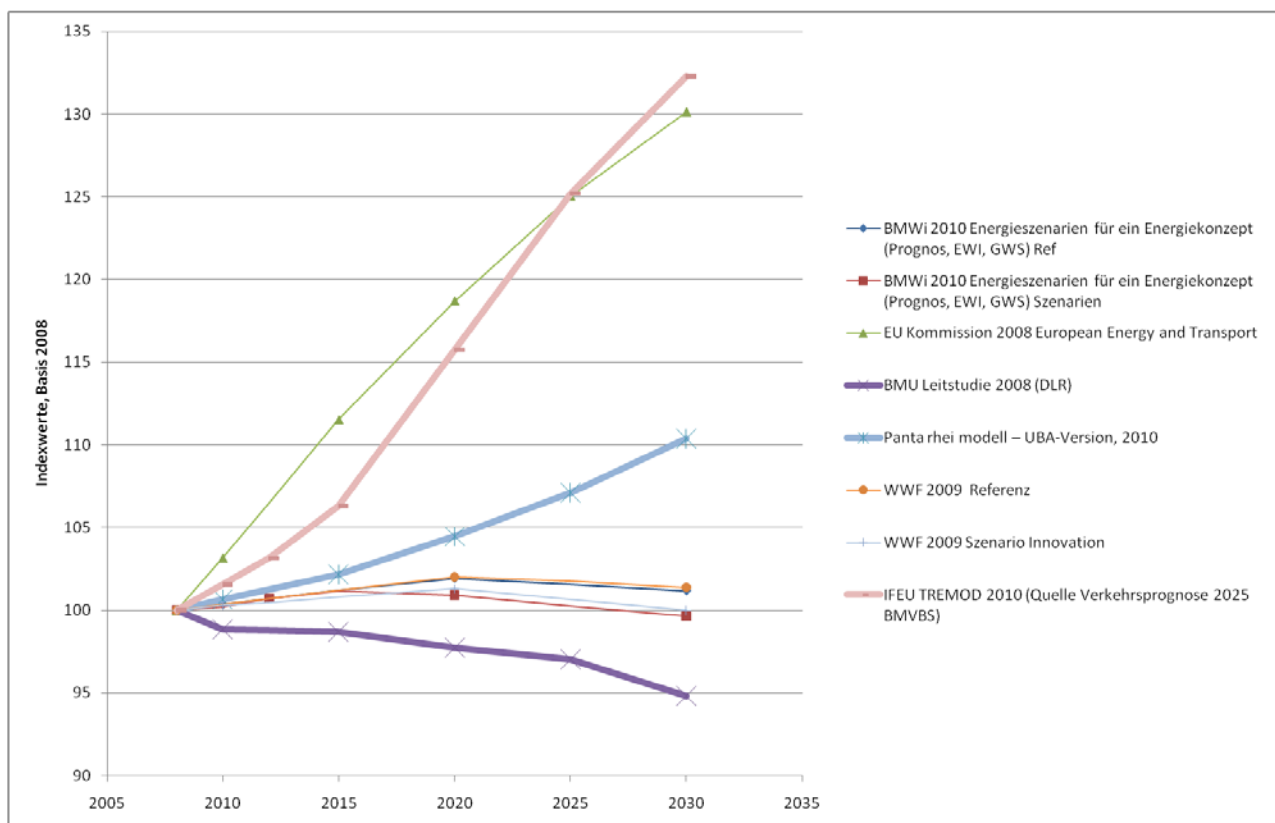
GWS 2010: Quantitative und qualitative Analyse der ökonomischen Effekte einer forcierten Ressourceneffizienzstrategie. Paper zu Arbeitspaket 5 des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRess), Wuppertal.

UBA 2008: Ressourcenverbrauch von Deutschland – aktuelle Kennzahlen und Begriffsbestimmungen, unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3426.pdf>

Steckbrief: Personenverkehrsleistung in Deutschland

Der Faktor Personenverkehrsleistung ist eine für Umwelt- und Energiesimulationen bedeutsame Größe aufgrund der mit der Personenmobilität verknüpften Nachfrage nach Energieressourcen, der Flächenbeanspruchung und der global und lokal wirksamen Emissionen. Entscheidend ist jedoch nicht allein die nominale Größe (gemessen in Mrd. Pkm), sondern von besonderer Relevanz ist in diesem Zusammenhang die Verteilung des Personenverkehrs auf Schiene, Straße und Luft. Für die Straße wiederum ist noch einmal zwischen MIV (Motorisierten Individualverkehr) und straßengebundenem ÖV (Öffentlicher Verkehr) zu differenzieren.

Aufgrund unterschiedlicher Berechnungsmethoden unterscheiden sich die Angaben bereits bei Ist-Werten in den relevanten Studien teilweise deutlich. Um diese besser vergleichbar zu machen, wurden die nominalen Größen in Indexwerte umgerechnet, jeweils mit der Basis 100 im Jahr 2008. Die nachfolgende Abbildung zeigt deutlich, dass die Unterschiede bezüglich der Entwicklung der Personenverkehrsleistung bis 2030 (dem Zieljahr der Cross-Impact Analyse) auch nach Umrechnung in Indexwerte bestehen bleiben.



Quelle: Eigene Darstellung

Für die Cross-Impact-Analyse wurden drei Varianten als Subsznarien ausgewählt. In einem weiteren Schritt wurde auch überprüft, welche Verteilung des Personenverkehrs auf Schiene, Straße und Luft sowie zwischen MIV und ÖV für das Jahr 2030 prognostiziert werden.

SubszENARIO 1: Starke Zunahme der Personenverkehrsleistung

	2010	2015	2020	2025	2030
IFEU TREMOD 2010 (Quelle Verkehrsprognose 2025 BMVBS), Indexwerte 2008=100	101,6	106,3	115,8	125,2	132,3

Die stärkste Zunahme findet sich bei der TREMOD-Studie (vgl. IFEU 2010). Diese wurde daher als Grundlage für das SubszENARIO 1 gewählt. Für die Studie liegen keine tabellierten Werte vor, daher wurden die Werte aus einer grafischen Darstellung abgelesen (vgl. IFEU 2010: 47).

Demzufolge wächst die Personenverkehrsleistung nominal von ca. 1270 Mrd. Pkm in 2008 auf ca. 1680 Pkm in 2030 an. In Indexwerten entspricht dies im Vergleich zur Basis 100 in 2008 einem deutlichen Zuwachs bei der Personenverkehrsleistung bis 2030 auf den Wert 132,28.

Der starke Zuwachs der Personenverkehrsleistung ist insbesondere dem starken Zuwachs des Luftverkehrs geschuldet. Aber auch der MIV und die Schiene verzeichnen einen weiteren Anstieg bis 2030. Einzig der ÖV auf der Straße bleibt gleich. In der Verteilung (Modal Split) sieht dieses SubszENARIO daher einen deutlichen Anstieg für den Luftverkehr, dagegen sinken die Anteile des MIV.

Im SubszENARIO 1 wird davon ausgegangen, dass sich die Art der verwendeten Antriebsenergien nicht wesentlich ändert. Diesel- und Otto-Kraftstoff sowie Kerosin bleiben die dominierenden Antriebsenergien, Strom wird nur im Schienenverkehr verwendet.

Bei den konventionellen Kraftstoffen steigt der Dieselanteil bis zum Jahr 2030 deutlich an. Der Anteil an Biokraftstoffen steigt ebenfalls an.

SubszENARIO 2: Mittlere Zunahme der Personenverkehrsleistung

	2010	2015	2020	2025	2030
Panta Rhei Modell - UBA Version 2010, Indexwerte 2008=100	100,6	102,2	104,5	107,1	110,4

Eine mittlere Zunahme findet sich im Panta Rhei Modell (vgl. Panta Rhei Modell UBA Version 2010). Dieses wurde daher als Grundlage für das SubszENARIO 2 gewählt. Es sieht im Vergleich zur Basis 100 in 2008 einen mittleren Zuwachs bei der Personenverkehrsleistung bis 2030 auf den Wert 110,37. Aufgrund unterschiedlicher Berechnungsmethoden unterscheiden sich die nominalen Werte deutlich von SubszENARIO 1. Für 2008 wird die Personenverkehrsleistung mit 1099 Mrd. Pkm bemessen. Der nominale Wert für 2030 beträgt 1213 Mrd. Pkm.

Subszenario 3: Sinkende Personenverkehrsleistung

	2010	2015	2020	2025	2030
BMU Leitstudie 2008 (DLR), Indexwerte 2008=100	98,9	98,7	97,7	97	94,8

Dieses Subszenario unterscheidet sich deutlich von den beiden anderen Subszenarien. Denn es prognostiziert eine rückläufige Entwicklung der Personenverkehrsleistung. Im Vergleich zur Basis 100 in 2008 sinkt demnach die Personenverkehrsleistung bis 2030 auf den Wert 94,82 ab. Als Grundlage zur Beschreibung dieses Szenario wurde auf die BMU Leitstudie (vgl. DLR 2008) zurückgegriffen. Nominal sinkt in diesem Szenario die Personenverkehrsleistung vom relativ hohen Wert 1139 Mrd. Pkm in 2008 auf 1080 Mrd. Pkm in 2030 ab.

Aufgrund von Verbesserungen im mittleren spezifischen Kraftstoffverbrauch, sinkt der Endenergieverbrauch beim MIV in Subszenario 3 deutlich von 1292 PJ/a in 2010 auf 883 PJ/a in 2030 ab. Der Endenergieverbrauch im Personenverkehr bei der Bahn sinkt von 41 PJ/a in 2010 auf 245 PJ/a in 2030 und der Endenergieverbrauch von Kerosin im Personenverkehr sinkt von 296 PJ/a in 2010 auf 245 PJ/a in 2030 ab.

Bei den konventionellen Kraftstoffen steigt der Dieselanteil bis zum Jahr 2030 zwar an, nominal sinkt dieser jedoch. Der Einsatz von Benzin sinkt sehr stark. Dagegen steigt der Anteil an Biokraftstoffen und regenerativ erzeugtem Wasserstoff am Energieverbrauch des Personenverkehrs deutlich bis 2030 auf 23,2% an.

Eine weitere Option ist die Nutzung von Elektrizität im Individualverkehr. In diesem Subszenario wird diese Option bis 2030 entsprechend dem DLR-Leitszenario in einer zurückhaltenden Weise berücksichtigt. Es wird von einem Anteil elektrobetriebener PKW von 1,5% an der Gesamtfahrleistung des Individualverkehrs in 2020 ausgegangen, der dann kontinuierlich ansteigt. Erst nach 2030 besteht die Option eines massiv ansteigenden Stromanteils im Individualverkehr, sofern großen Mengen günstigen EE-Stroms verfügbar werden (Variante E3 DLR-Studie: 30% Anteil von E-Fahrzeugen im Individualverkehr im Jahr 2050)

Literatur

DLR 2008: Leitstudie 2008. Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas, Stuttgart.

IFEU (2010): Fortschreibung und Erweiterung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030 (TREMOMOD, Version 5). Endbericht, Heidelberg.

EU Kommission 2008: European Energy and Transport. Trends to 2030 – Update 2007.

Panta Rhei Modell – UBA Version 2010

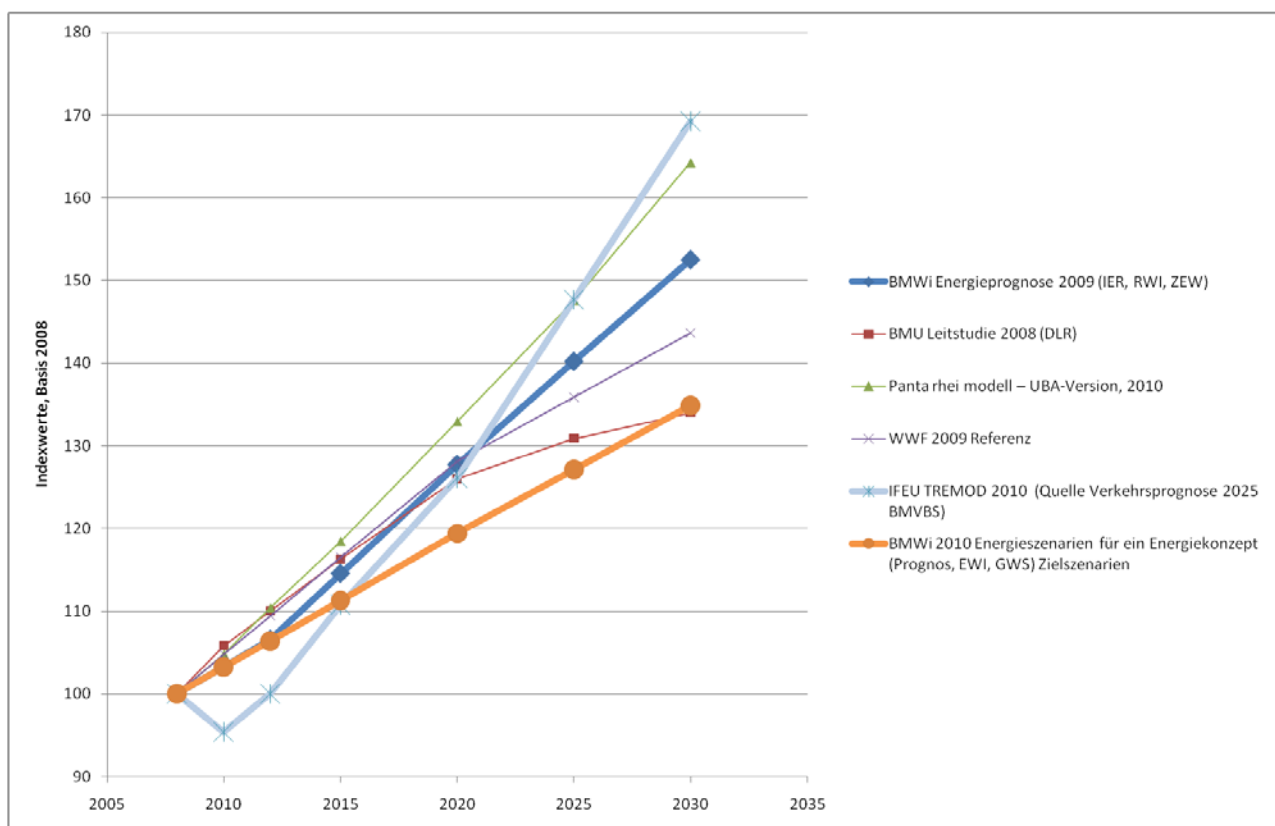
Prognos/EWI/GWS 2010: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung,
Basel/Köln/Osnabrück.

WWF 2009: Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her denken, Berlin.

Steckbrief: Güterverkehrsleistung in Deutschland

Der Faktor Güterverkehrsleistung ist eine für Umwelt- und Energiesimulationen bedeutsame Größe aufgrund der mit dem Gütertransport verknüpften Nachfrage nach Energieressourcen und Emissionen. Entscheidend ist jedoch nicht allein die nominale Größe (Mrd. tkm), sondern von besonderer Relevanz ist in diesem Zusammenhang die Verteilung des Gütertransportes auf Schiene, Wasser, Straße und Luft.

Aufgrund unterschiedlicher Berechnungsmethoden unterscheiden sich die Größenangaben in den relevanten Studien teilweise deutlich. Um diese besser vergleichbar zu machen, wurden die nominalen Größen in Indexwerte umgerechnet, jeweils mit der Basis 100 im Jahr 2008. Die nachfolgende Abbildung zeigt deutlich, dass die Unterschiede bezüglich der Entwicklung der Güterverkehrsleistung bis 2030 (dem Zieljahr der Cross-Impact Analyse) auch nach Umrechnung in Indexwerte bestehen bleiben.



Quelle: Eigene Darstellung

Für die Cross-Impact-Analyse wurden drei Varianten als Subszenarien ausgewählt. In einem weiteren Schritt wurde dann überprüft, welche Verteilungen für den Güterverkehr auf Schiene, Straße, Luft und Wasser für das Jahr 2030 prognostiziert werden.

Subszenario 1: Sehr starke Zunahme der Güterverkehrsleistung

	2010	2015	2020	2025	2030
IFEU TREMOD 2010 (Quelle bis 2025 Verkehrsprognose 2025 BMVBS), Indexwerte 2008=100	95,4	110,8	126,2	147,7	169,2

Die stärkste Zunahme findet sich bei der TREMOD-Studie (vgl. IFEU 2010). Diese wurde daher als Grundlage für das Subszenario 1 gewählt. Dieses sieht im Vergleich zur Basis 100 in 2008 (nach einer kurzen Absenkung zwischen 2008 und 2010 aufgrund der Wirtschaftskrise) einen sehr starken Zuwachs bei der Güterverkehrsleistung bis 2030 auf den Wert 169,2. Für die TREMOD-Studie liegen keine genauen Werte vor, diese wurden daher aus einer grafischen Darstellung abgelesen (vgl. IFEU 2010: 47). Demzufolge wächst die Güterverkehrsleistung nominal von ca. 650 Mrd. tkm in 2008 auf ca. 1100 tkm in 2030 an.

Der starke Zuwachs der Güterverkehrsleistung verteilt sich auf Wasser, Luft, Schiene und Straße, d.h. nirgends wird ein Rückgang prognostiziert. Allerdings sind die Zuwächse für den Güterverkehr auf der Straße besonders stark. Entsprechend sieht die Verteilung (Modal Split) dieses Subszenario einen leichten Anstieg für den Gütertransport auf der Straße, dagegen sinkt der Anteil der Schiene leicht. Der Transport auf dem Wasser verliert leicht, wohingegen die Anteile der Luftfracht leicht steigen.

Subszenario 2: Starke Zunahme der Güterverkehrsleistung

	2010	2015	2020	2025	2030
BMWi Energieprognose 2009 (IER/RWI/ZEW), Indexwerte 2008=100	103,3	114,6	127,7	140,2	152,5

Eine starke Zunahme der Güterverkehrsleistung findet sich in der Energieprognose des BMWi (vgl. IER/RWI/ZEW 2009). Diese wurde daher als Grundlage für das Subszenario 2 gewählt. Es sieht im Vergleich zur Basis 100 in 2008 einen starken Zuwachs bei der Güterverkehrsleistung bis 2030 auf den Wert 152,5. Aufgrund unterschiedlicher Berechnungsmethoden unterscheiden sich die nominalen Werte deutlich von Subszenario 1. Für 2008 wird die Güterverkehrsleistung mit 577 Mrd. tkm bemessen. Der nominale Wert für 2030 beträgt 880 Mrd. tkm.

Die Ausweitung der Güterverkehrsleistung fällt für die einzelnen Verkehrsmittel unterschiedlich aus. Ab 2010 sind beim Schienen- und Straßengüterverkehr positive

Wachstumsraten zu verzeichnen: Das Verkehrsaufkommen wächst beim Schienenverkehr um 0,86 % jährlich bzw. um ca. 19 % insgesamt, beim Straßenverkehr um 0,61 % jährlich bzw. um 13 % insgesamt. Für die Binnenschifffahrt wird ab 2015 eine Stagnation erwartet, so dass ihr Anteil (Modal Split) bis 2030 sinkt. Der Anteil der Bahn bleibt bis 2030 konstant, der Anteil der Straße steigt.

Subszenario 3: Moderate Zunahme der Güterverkehrsleistung + Verkehrsverlagerung

	2010	2015	2020	2025	2030
BMWi 2010 Energieszenarien (Prognos/EWI/GWS), Zielszenarien, Indexwerte 2008=100	103,2	111,3	119,4	127,1	134,8

Dem Subszenario 3 liegen die Annahmen der Zielszenarien des BMWi (Prognos/EWI/GWS 2010) zugrunde, obwohl der Indexwert für 2030 der DLR-Studie noch etwas niedriger ausfällt (134,0). Die Auswahl begründet sich jedoch darin, dass die Zielszenarien des BMWi im Vergleich zur DLR-Studie auch eine qualitative Varianz bezüglich Modal Split im Vergleich zu den anderen beiden Subszenarien aufweisen.

Das Subszenario 3 sieht im Vergleich zur Basis 100 in 2008 – und im Vergleich zu den beiden anderen Szenarien – nur einen moderaten Zuwachs bei der Güterverkehrsleistung bis 2030 auf den Wert 134,8. Aufgrund unterschiedlicher Berechnungsmethoden unterscheidet sich jedoch der nominale Wert für 2030 kaum von Subszenario 2: Für 2008 wird die Güterverkehrsleistung mit 654 Mrd. tkm bemessen, die dann bis 2030 auf 882 Mrd. tkm ansteigt.

Absolut steigt in diesem Subszenario die Güterverkehrsleistung sowohl im Straßenverkehr, als auch auf Schiene, Wasser und in der Luft an. Die Zuwächse beim Bahnverkehr sind jedoch deutlich höher als in der Schifffahrt und im Luftverkehr. Die Straße verliert sogar Anteile. In der Verteilung (Modal Split) steigt der Anteil der Schiene deutlich von 17,7% in 2008 auf 22,1% in 2030. Im gleichen Zeitraum sinkt der Anteil der Straße von 72,3% in 2008 auf nur noch 69% in 2030. Der Anteil der Schifffahrt sinkt leicht von 9,8/ auf 8,7% in 2030 und der Anteil des Luftverkehrs bleibt konstant bei 0,2%.

Literatur

DLR 2008: Leitstudie 2008. Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas, Stuttgart.

IER/RWI/ZEW 2010: Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030. Energieprognose 2009, Stuttgart/Essen/Mannheim.

IFEU (2010): Fortschreibung und Erweiterung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030 (TREMOD, Version 5). Endbericht, Heidelberg.

Panta Rhei Modell – UBA Version 2010

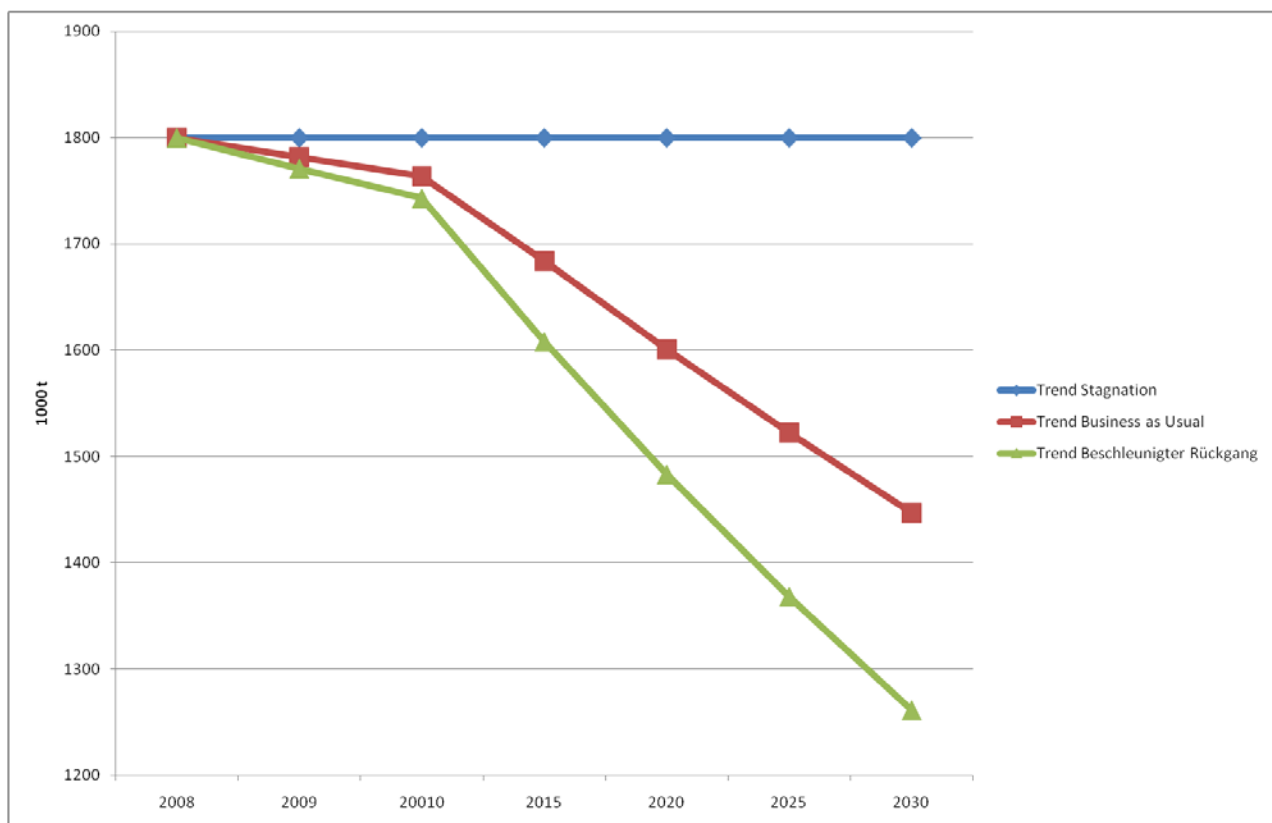
Prognos/EWI/GWS 2010: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, Basel/Köln/Osnabrück.

WWF 2009: Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her denken, Berlin.

Steckbrief: Stickstoffüberschuss aus der Landwirtschaft in Deutschland

Für Umweltszenarien sind auch die Stoffströme in der Landwirtschaft zu berücksichtigen. Als ein wichtiger Indikator zur Messung der Nachhaltigkeit der Landwirtschaft gilt der Stickstoffüberschuss. Dieser Stickstoffüberschuss ist ein Bilanzwert aus Stickstoff-Zufuhr (wesentlich durch Dünge- und Futtermittel) minus Stickstoff-Abfuhr durch landwirtschaftliche Produkte. Besonders hoch ist der Stickstoffüberschuss in Regionen mit hohem Viehbestand. Gülleausbringung auf den Boden, oft noch mit zusätzlicher mineralischer Düngung bieten den Pflanzen mehr Stickstoff an als durch den Bestand aufgenommen werden kann. Dieses Stickstoff-Überangebot im Boden kann leicht zum Stickstoffaustrag in das Grundwasser sowie in Oberflächengewässer führen. Stickstoffverbindungen emittieren aber auch aus dem Boden und aus Gewässern in die Luft. Die Folgen sind Versauerung und Eutrophierung terrestrischer und mariner Ökosysteme, Nitratbelastung des Grundwassers sowie ein Verlust der Biodiversität.

Unten stehende Abbildung zeigt drei mögliche zukünftige Entwicklungen des N-Überschusses aus der Landwirtschaft (Gesamtbilanz), ausgehend von der Situation 2008, wie sie im Abschlussbericht „Zeitreihe Stickstoffindikator“ (Bach 2010: 39) festgehalten wurde.



Quelle: Eigene Darstellung

Ausgehend von der Höhe des N-Überschusses aus der Landwirtschaft im Jahr 2008 und nach Mitteilung des UBA sind folgende Subsznarien denkbar:

SubszENARIO 1 Trend „Stagnation“

	2008	2010	2015	2020	2025	2030
Trend Stagnation	1800 kt	1800 kt	1800 kt	1800 kt	1800 kt	1800 kt

Dieses SubszENARIO beschreibt einen konstanten N-Überschuss von 1,8 Mio. t jährlich. Positive Entwicklungen durch Maßnahmen zur Reduktion werden durch einen kontinuierlichen „rebound“ in anderen Bereichen, insbesondere einer erhöhten Nachfrage nach Fleisch und tierischen Eiweißen, aufgehoben.

SubszENARIO 2: Trend: „Business as Usual“

	2008	2010	2015	2020	2025	2030
Trend Business as Usual	1800 kt	1764 kt	1684 kt	1601 kt	1522 kt	1447 kt

Dieses SubszENARIO sieht eine Fortschreibung der durch die Düngeverordnung 2007 eingeleiteten positiven Entwicklung. Diese würde eine kontinuierliche jährliche Absenkung um 1% bedeuten. Dies führt dazu, dass in 2030 noch rund 80% des N-Überschusses von 2008 (= 85 kgN/ha LN) zu erwarten ist. Ein wichtiges Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung wird mit diesem Szenario nicht erreicht. Der N-Überschuss soll hiernach bis 2010 auf 80kgN/ha sinken.

SubszENARIO 3: Trend „Beschleunigter Rückgang“

	2008	2010	2015	2020	2025	2030
Trend Beschl. Rückgang	1800 kt	1743 kt	1608 kt	1483 kt	1368 kt	1261 kt

Dieses SubszENARIO postuliert das zusätzliche Auftreten von reduktionswirksamen Brüchen z.B. aufgrund technischer Innovationen oder der Wirkung neuer politischer Maßnahmen, so dass eine stärkere Reduktion von durchschnittlich 1,6% pro Jahr bis 2030 zu erwarten ist. Auf diese Weise könnte der N-Überschuss bis zum Jahr 2030 auf nur noch rund 70% des Wertes von 2008 absinken. Der Zielwert der Nachhaltigkeitsstrategie von 80 kgN/ha LN wird demnach etwa in 2025 erreicht.

Literatur

Bach, Martin 2010: Zeitreihe Stickstoffindikator. Vereinheitlichte Methodik zur Berechnung von Stickstoff-Bilanzen für die Landwirtschaft in Deutschland.

Steckbrief: Klimaänderung in Deutschland

Die globale Erderwärmung hat auch in Deutschland regionale Klimaänderungen zur Folge. Die Bedeutung des Faktors Klimaänderung für Umwelt- und Energieszenarien resultiert aus den ihm zugeschriebenen Wirkungen auf die Ökosysteme (z.B. Artenvielfalt), auf die land- und forstwirtschaftliche Produktivität, auf die Häufigkeit von meteorologischen Extremereignissen (wie Stürmen, Trockenheit, Hitzewellen, Überschwemmungen) oder z.B. auf die Nachfrage nach Energiedienstleistungen zum Heizen oder Kühlen, aber auch auf die gesellschaftlichen Technikpräferenzen.

Die Klimaänderung in Deutschland lässt sich über mögliche Änderungen der Temperatur, des Niederschlags, der Luftfeuchte, des Windes und der Bewölkung im Jahresmittel messen. Der regionale Klimaatlas (Helmholtz Gemeinschaft) gibt Auskunft über die möglichen Änderungen in naher Zukunft, bis zur Mitte des Jahrhunderts und bis zum Ende des Jahrhunderts. Für das Zieljahr der Cross-Impact Analyse 2030 wurden die möglichen Änderungen in naher Zukunft (2016-2045) im Vergleich zu den Angaben des regionalen Klimaatlas für „Heute“ (1961-1990) berücksichtigt. Angegeben ist die Spanne der in einem Satz von Klimamodellrechnungen für Deutschland auftretenden Werte.

	Veränderung 1961-1990 bis 2016-2045
Temperatur	
Durchsch. Temperatur	+0,5°C bis +1,2°C
Sommertage	+2,4 bis +9,2 Tage
Heiße Tage	+1,1 bis +4,5 Tage
Tropische Nächte	+0,5 bis +1,3 Tage
Frosttage	-7,1 bis -22,4 Tage
Eistage	-2,2 bis -12,8 Tage
Niederschlag	
Regen	+1% bis +9%
Regentage	-2,7 bis +6,8 Tage
Schnee	-19% bis -47%
Schneetage	-0,1 Tage bis -1,8 Tage
Luftfeuchte	
Relative Luftfeuchte	0% bis +1%
Wasserdampf	+5% bis +9%
Wind	
Mittlere Windgeschw.	0% bis +1%
Sturmintensitäten	0% bis +1%
Sturmtage	+0,2 Tage bis 1,7 Tage
Windstille Tage	-1 Tag bis +0,1 Tage
Bewölkung	
Sonnenscheindauer	-5% bis +1%
Bedeckungsgrad	0% bis +1%

Um die Varianz der möglichen Klimaentwicklungen zu beschreiben werden drei Szenarien mit der Szenariofunktion des regionalen Klimaatlas konstruiert. Aufgrund der Komplexität des Klimasystems treffen dabei Maximalentwicklungen in einer Klimagröße nicht zwangsläufig mit den Maximalentwicklungen in anderen Klimagrößen zusammen. Entsprechendes gilt für die Minimalentwicklungen.

Subszenario 1 (nur mäßig wärmer aber deutlich feuchter)

Ausgangspunkt für dieses Subszenario ist die minimale Variante für die Jahresdurchschnittstemperatur. Sie steigt um 0,5 °C. Vergleichsweise maßvoll ist auch die Zunahme der Hitzetage um 1,1 Tage und die Abnahme der Frosttage um 7,1 Tage. Die Regentage nehmen jedoch um 6,8 Tage zu und der Regen um 9 % zu. Der Schnee nimmt dagegen um 29 % ab. Die Windgeschwindigkeiten und Sturmaktivitäten ändern sich kaum.

Subszenario 2 (mittlere Zunahme von Temperatur, kaum feuchter)

In diesem Fall wird die mittlere Variante für die Jahresdurchschnittstemperatur als Ausgangspunkt für das Subszenario gewählt. Sie steigt um 0,9 °C. Die Zahl der Hitzetage nimmt um 3,1 Tage zu und die Frosttage um 17,3 Tage ab. Die Regentage nehmen um 2,1 Tage ab und der Regen um 2 % zu und ähneln damit dem Subszenario 3. Der Schnee nimmt um 33 % ab. Die Windgeschwindigkeiten und Sturmaktivitäten ändern sich kaum.

Subszenario 3 (deutlich wärmer aber kaum feuchter)

Dieses Subszenario geht von der maximalen Variante für die Jahresdurchschnittstemperatur aus. Sie steigt um 1,2 °C. Die Hitzetage nehmen um 4,5 Tage zu und die Frosttage um 19,4 Tage ab. Die Regentage nehmen um 2,7 Tage ab bzw. der Regen um 2% zu. Der Schnee nimmt dagegen um 29 % ab. Die Windgeschwindigkeiten und Sturmaktivitäten ändern sich kaum.

Literatur

Helmholtz Gemeinschaft: Regionaler Klimaatlas Deutschland der Helmholtzgemeinschaft.
www.regionaler-klimaatlas.de, Abruf November 2010

Anhang 4: Konsistenzanalyse von Szenariotyp VII

Die nachstehende Tabelle zeigt die Berechnung der Wirkungsbilanzen von Szenariotyp VII (die unten in der Tabelle aufgeführten Wirkungsbilanzen sind die Summe der in der Matrix markierten Zeilen, vgl. Kapitel 3). Dadurch ist erkennbar, dass die Annahme eines starken BIP-Wachstums zu einer schwachen Inkonsistenz führt (die Wirkungssumme des Szenariozustands c1 ist nicht die höchste Wirkungssumme innerhalb der Wirkungsbilanz des Faktors „BIP“, sondern bleibt um den Wert 1 gegenüber dem Maximalwert zurück). Es ist weiter zu erkennen, dass es vor allem die in Typ VII enthaltenen Szenariomerkmale „f1 ansteigender Materialverbrauch“ und „j3 Klimaänderung - deutlich wärmer“ sind, die in diesem Szenario gegen ein starkes Wirtschaftswachstum arbeiten und daher das Urteil einer schwachen Inkonsistenz für dieses Szenario begründen.

Deutschland 2030 Wirkungsbilanzen Szenariotyp VII	A.			B.		C.				D.			E.			F.		G.			H.			I.			J.			
	a1	a2	a3	b1	b2	c1	c2	c3	c4	d1	d2	d3	e1	e2	e3	f1	f2	g1	g2	g3	h1	h2	h3	i1	i2	i3	j1	j2	j3	
C. BIP																														
c1 starker Anstieg auf 3509 G€ (ca. 1.6%/a)	1	0	-1	2	-1					0	0	0	2	-1	-3	2	-2	2	1	-2	3	2	-1	1	0	0	0	0	0	0
c2 mittlerer Anstieg auf 3120 G€ (ca. 1.2%/a)	0	0	0	1	0					0	0	0	1	0	-1	1	-1	1	1	-1	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0
c3 schwacher Anstieg auf 2830 G€ (ca. 0.8%/a)	-1	0	1	0	1					0	0	0	-1	0	1	0	1	0	1	1	-1	1	1	0	1	1	0	0	0	0
c4 geringes und stark volatiles Wachstum	-2	0	2	-1	2					0	0	0	-1	0	0	0	1	-1	0	1	-2	0	0	1	1	1	0	0	0	0
A. Bevölkerungsentwicklung																														
a1 leichter Rückgang auf 81 Mio				1	1	0	1	1	0	0	0	0	2	1	-1	1	0	-1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
a2 moderater Rückgang auf 79 Mio				1	1	-1	1	1	0	0	0	0	2	2	0	0	0	-2	-1	1	-1	0	1	1	1	1	0	0	0	0
a3 starker Rückgang auf 76.6 Mio				2	1	-2	-1	1	0	0	0	0	1	2	2	-1	0	-3	-1	2	-1	-1	1	0	1	2	0	0	0	0
B. Wohnfläche pro Kopf																														
b1 starker Anstieg auf 50.4 qm	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	3	1	-2	2	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b2 geringer Anstieg auf 44.2 qm	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	-1	1	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D. Ölpreis																														
d1 starker Anstieg auf 127 \$/b	0	0	0	-2	2	-3	-2	-2	2				-1	1	2	1	-1	-2	-1	1	-2	-1	0	0	0	1	0	0	0	0
d2 mittlerer Anstieg auf 110 \$/b	0	0	0	-1	1	-2	-1	-1	2				0	1	0	0	0	-1	0	1	-1	-1	0	0	1	0	0	0	0	0
d3 etwa konstant bei ca 63 \$/b	0	0	0	0	0	2	2	2	1				2	0	-2	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
E. Primärenergieverbrauch																														
e1 leichter Rückgang auf ca. 13400 PJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				-1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	2
e2 mittlerer Rückgang auf ca. 11000 PJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				-2	2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
e3 starker Rückgang auf 7700 PJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				-3	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1
F. Totaler Materialverbrauch																														
f1 ansteigender Verbrauch auf 7200 Mt	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	-1	-1			0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
f2 etwa stabil um 6400 Mt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1			0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
G. Personenverkehrsleistung																														
g1 deutlicher Anstieg um 32%	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	-1	-1	1	-1				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
g2 moderater Anstieg um 10%	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
g3 leichter Rückgang um 5%	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H. Güterverkehrsleistung																														
h1 sehr starker Anstieg um 69%	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	-1	-2	2	-2	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0
h2 starker Anstieg um 53%	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	-1	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0
h3 moderater Anstieg um 34%	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0
I. Stickstoffüberschuss Landwirtschaft																														
i1 Stagnation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0				1	1	2	
i2 Abnahme um 20% (ca. 1%/a)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	
i3 Abnahme um 30% (ca. 1.6%/a)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	1				0	0	-1	
J. Klimaänderung																														
j1 kaum wärmer - deutlich feuchter	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
j2 moderat wärmer - kaum feuchter	0	0	0	0	0	-1	-1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
j3 deutlich wärmer - kaum feuchter	1	0	-1	0	0	-1	-1	0	2	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilanz:	2	0	-2	3	0	3	4	4	4	0	0	0	11	-1	-11	7	-4	3	2	-2	6	5	1	3	2	0	2	2	4	

Anhang 5: Wildcard „Klimawandel: starke Temperaturabsenkung“

Entgegen aller Prognosen kommt es zu einer starken Temperaturabsenkung. Verschiedene Ursachen kommen hierfür in Frage:

1. Veränderungen an der Sonnenoberfläche führen zu einer globalen Kältewelle, ähnlich dem "Dalton-Minimum" zwischen 1793 und 1830¹⁶.
2. Der Nordatlantikstrom versiegt und es kommt zu einer deutlichen Temperaturabsenkung in Nord- und Westeuropa, sowie in Teilen Nordamerikas¹⁷.
3. Die durch den Klimawandel bedingte Polarschmelze lässt die Westströmung versiegen. Es droht eine Kälteperiode¹⁸.
4. Ein starker Vulkanausbruch in der Nähe des Äquators führt zu einer globalen Temperaturabsenkung („vulkanischer Winter“)¹⁹.

Folgende Entwicklungen sind dann als Folge möglich:

- Eine neue globale „kleine Eiszeit“ bzw. eine deutliche Temperaturabsenkung in Teilen Nordamerikas und Europas führt zu schlechten Ernten und zu Versorgungsengpässen bei landwirtschaftlichen Produkten.
- In der Landwirtschaft entsteht eine Konkurrenz zwischen Biomasse als Energieträger und Nahrungsmitteln.
- Durch die globale Temperaturabsenkung wächst die Nachfrage nach Wärmeenergieleistungen.
- Das momentan schon stark ausgelastete Energieversorgungssystem bricht zusammen.
- Bei einer schnellen Temperaturabsenkung (z.B. bei einem Vulkanausbruch) führen Missernten und Hungersnöte kurzfristig zu einer globalen Katastrophe.

16 Siehe <http://www.freiewelt.net/nachricht-2473/kein-konsens-%FCber-globale-erw%E4rmung-interview-mit-prof.-singer.html>

17 Siehe: http://ec.europa.eu/research/rtdinfo/pdf/rtd48_de.pdf

18 Siehe http://www.aktuell.ru/russland/panorama/golfstrom_schaltet_ab_neue_eiszeit_beginnt_bald_1963.html

19 Siehe http://www.the-threat.de/geo/climate_change/5.aerosole.php#quelle_5;
<http://www.mpimet.mpg.de/institut/jahresberichte/jahresbericht-2002.html>

Anhang 6: Wildcard „Wirtschaftskrise“

Diese Wildcard wurde von Herrn Dirk Osiek (UBA) entworfen.

Wachsende Schuldenprobleme in Griechenland und/oder Spanien/Portugal sorgen für eine Kapitalflucht in den Dollar. Der Euro wird im Bezug zum Dollar stark abgewertet.

Die FED wird weiterhin niedrige Zinsen anlegen um den Aufwärtstrend des Dollars entgegen zu wirken. Dies führt zu einer weiteren Erhöhung der Geldmenge. Die Derivate steigen kurzfristig weiter. Eine Zinserhöhung oder Herabstufung der Kreditbonität der USA oder auch einfach nur die zu große Differenz zwischen Basiswerten und Derivaten lässt die heute schon große Blase zwischen Basiswerten und Derivaten platzen.

In Stichpunkten entwickelt sich das Szenario bis 2024 wie folgt:

2015 mehren sich Anzeichen, dass es die südeuropäischen Länder nicht schaffen werden, ihre maroden Haushalte in den Griff zu bekommen.

2017 erfährt der Dollar eine starke Aufwertung, der Euro wird im Gegenzug stark abgewertet.

2019 platzt die Derivatenblase. Bei einer Neubewertung der Derivate müssen 10 Prozent abgeschrieben werden, d.h. auf einen Schlag gehen 80 Billionen Dollar verloren (zum Vergleich: Weltweit hatte die letzte Finanzkrise „lediglich“ einen Verlust von 11 Billionen Dollar (1.4 Prozent des Gesamt-Derivat-Volumens) verursacht.

In Folge des Platzens der Derivatenblase kommt es zu weltweit hohen Inflationen.

Rückkehr zur "Normalität" 2024.