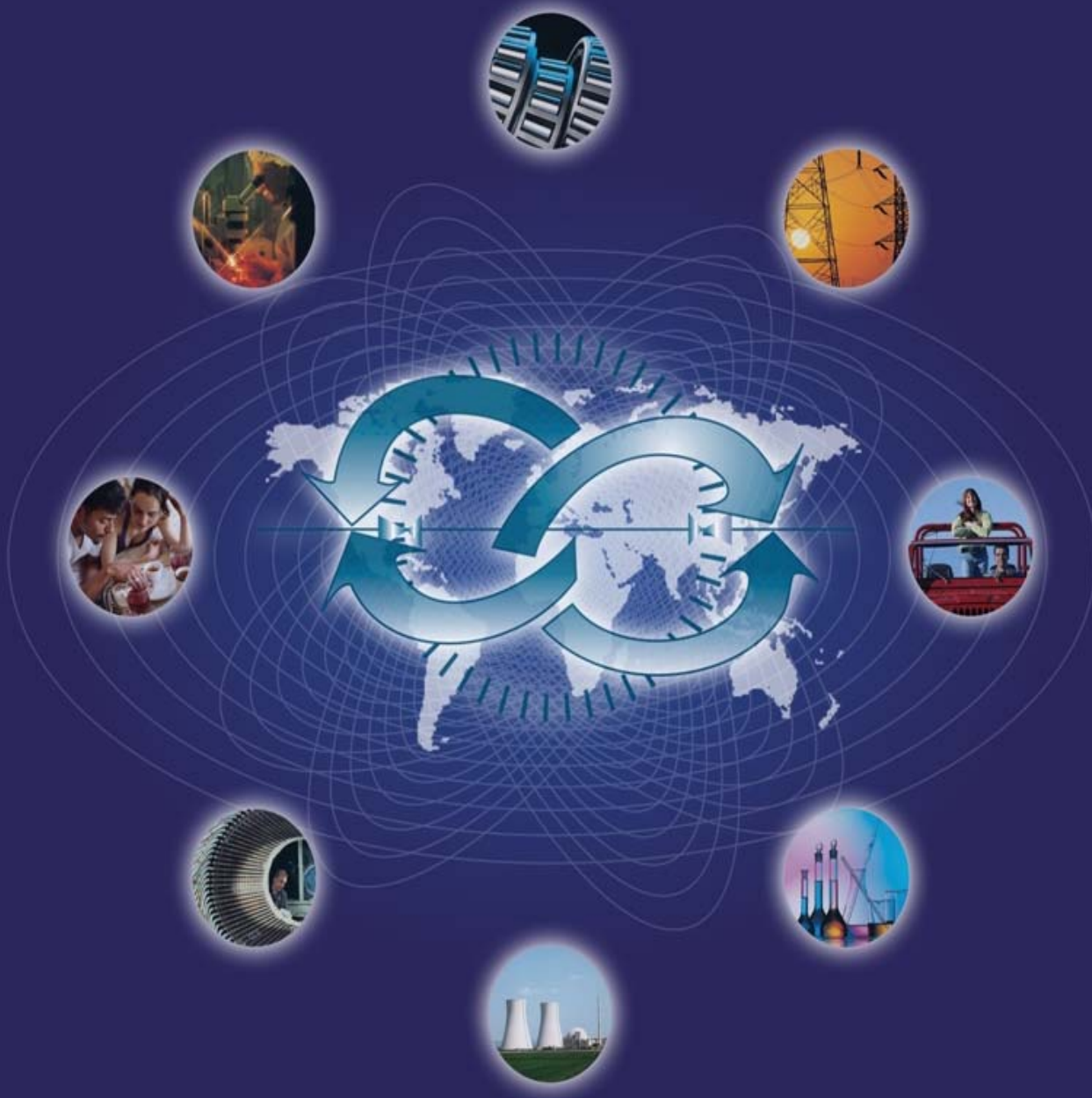




STE Research Report

03/2013

Vögele, S.; Hansen, P.; Kuckshinrichs, W.; Schürmann, K.; Schenk, O.;
Pesch, T.; Heinrichs, H.; Markewitz, P.

Konsistente Zukunftsbilder im Rahmen von Energieszenarien

Institut für Energie- und Klimaforschung
Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEK-STE)

Konsistente Zukunftsbilder im Rahmen von Energieszenarien

Stefan Vögele, Patrick Hansen, Wilhelm Kuckshinrichs, Karin Schürmann, Olga Schenk,
Thiemo Pesch, Heidi Heinrichs, Peter Markewitz

Forschungszentrum Jülich
Institut für Energie- und Klimaforschung – Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEK-STE)
D-52425 Jülich, Germany

Executive Summary

The generation of scenarios of future energy systems and its assessment within the scope of a sustainability approach are among the central tasks of energy systems analysis. The IEK-STE approach comprises 4 central steps: (1) generation of consistent energy futures, (2) modeling of energy systems, (3) development of an indicator set, suitable to characterize sustainability of energy systems, and (4) sustainability assessment.

The report focuses on the first step (generation of consistent energy futures). Based on the cross-impact balance approach 3 different energy futures are developed which comply to a great extent to the challenge of consistency: (I) Increasing competition – shipwreck of climate protection policy, (II) Prosperity for everyone - Europe's pioneering task for climate protection policy is underachieved, and (III) Resource scarcity – Europe's climate protection path succeeds in reductions of GHGs and energy demand. These energy futures provide the basis for the selection of assumptions and quantification of framework data for quantitative energy scenarios in step 2.

Keywords

Sustainable energy scenario, energy futures, transparency, cross-impact analysis

Contribution to:

Milestone POF3 (Sustainable energy scenario (SES) development)

Inhalt

I	Einleitung	5
II	Zukunftsbilder und Szenarien im Rahmen der Entwicklung von Energiesystemen	5
III	Cross-Impact-Methode zur Entwicklung konsistenter Zukunftsbilder	7
IV	Anwendung der Cross-Impact-Bilanzanalyse und Generierung konsistenter Zukunftsbilder für das Energiesystem	10
IV.1	Analyseziel und Systemgrenzen für die Zukunftsbilder	10
IV.2	Identifikation der Deskriptoren	10
IV.3	Wirkungsbeziehungen zwischen den Deskriptoren	11
IV.4	Überprüfung der Cross-Impact-Matrix	12
IV.5	Computerbasierte Auswertung und Identifikation von konsistenten Zukunftsbildern	17
IV.6	Festigkeitsgrad als Auswahlkriterium	20
V	Storylines der zentralen Zukunftsbilder	22
VI	Zusammenfassung	25
VII	Literaturverzeichnis	26

I Einleitung

Die Erstellung von Szenarien für zukünftige Energiesysteme und ihre Bewertung im Rahmen eines Nachhaltigkeitsansatzes zählen zu den zentralen Aufgaben der Energiesystemanalyse. Der von IEK-STE gewählte methodische Ansatz für die Szenarioerstellung und Bewertung ist in [Kuckshinrichs, 2012] dargestellt und umfasst die Kernelemente (1) Erstellung konsistenter Zukunftsbilder, (2) Modellierung von Energiesystemen, (3) Darstellung der Charakteristik von Energiesystemen mittels Indikatoren, und (4) Bewertung im Rahmen einer Nachhaltigkeitsanalyse.

Im Mittelpunkt des vorliegenden Beitrags steht die Ermittlung und Beschreibung konsistenter – d.h. in sich widerspruchsfreier – Zukunftsbilder als Element von Energieszenarien. Dazu wird zunächst der Baustein Zukunftsbild in Beziehung zum Szenarioansatz gesetzt (Kap. II). Während Zukunftsbilder hier qualitative Aussagen darstellen, ist der Szenarioansatz umfassender und benötigt z.B. auch die Eingangsdaten für makro- und techno-ökonomische Energiemodelle, die zum Einsatz kommen. Im Folgenden wird die Cross-Impact-Methode (CI-Methode) als ein Ansatz zur Beschreibung konsistenter Zukunftsbilder dargestellt (Kap. III). Die CI-Methode wird hier in der speziellen Form der so genannten Cross-Impact-Bilanzanalyse von einem interdisziplinären Team von Energieexperten von IEK-STE (Ingenieure-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften) angewendet. Dem diskursiven Charakter der Methode wird in besonderer Weise durch die durchgeführten Gruppendiskussionen Rechnung getragen. Das Ergebnis der CI-Analyse umfasst die Darstellung konsistenter Zukunftsbilder (Kap. IV) und die anschließende Auswahl und Beschreibung zentraler Zukunftsbilder (Kap. V). Der Ansatz führt konkret zu acht konsistenten Zukunftsbildern, von denen für die weitere Analyse drei ausgewählt werden, die in besonderer Weise dem Gesichtspunkt von Konsistenz Rechnung tragen.

II Zukunftsbilder und Szenarien im Rahmen der Entwicklung von Energiesystemen

Energieszenarien beschreiben mögliche Energiesysteme der Zukunft in ihrem jeweiligen gesellschaftlich-politischen und ökonomischen Kontext. Energiesysteme werden hier interpretiert als Verknüpfungen von Technologien zur Versorgung mit und Nutzung von Energie, die von wirtschaftlich handelnden Akteuren eingesetzt werden. Sie setzen die Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen voraus, stehen in Wechselwirkung mit ökonomischen und gesellschaftlich-politischen Systemen und beeinflussen die Umwelt.

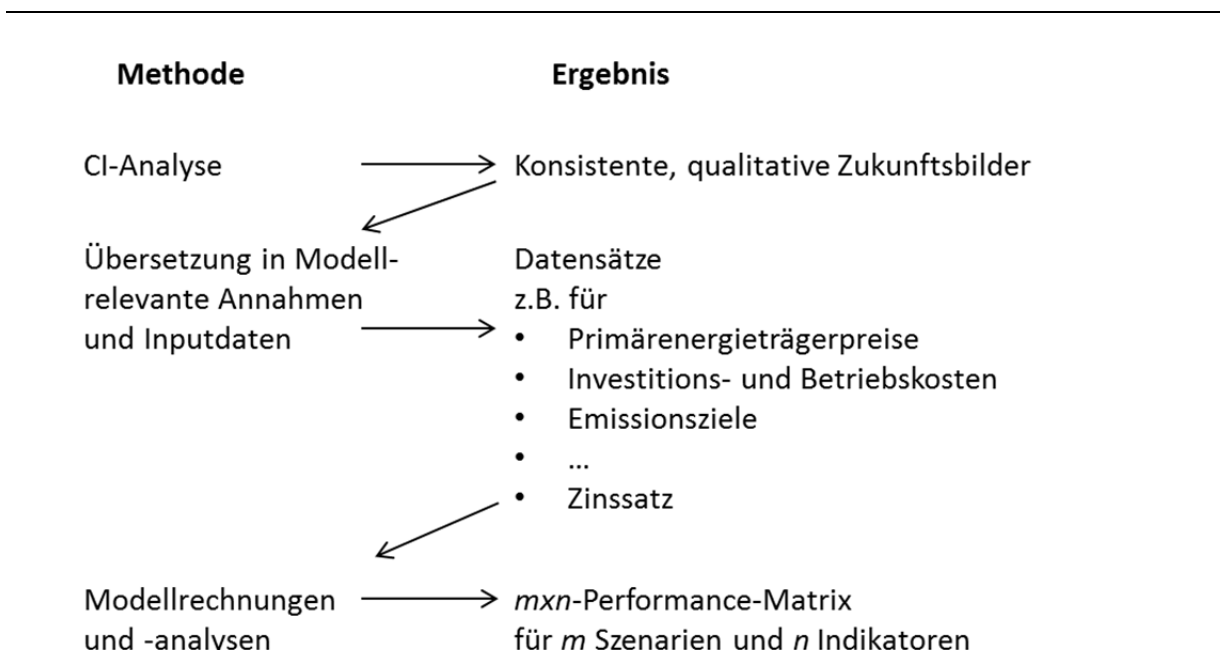
Szenarien dienen per se der Analyse zukünftiger Entwicklungen und können Start- oder Zielwert orientiert sein. Startwert orientierte Szenarien explorieren mögliche Entwicklungen von Energiesystemen auf der Basis heutiger und zukünftig bekannter Randbedingungen. Je höher die Wahrscheinlichkeit der Entwicklung herausgearbeitet werden kann, umso mehr gewinnen sie prognostischen Charakter. Zielwert orientierte Szenarien richten sich auf einen angestrebten Zielwert aus und analysieren mögliche Entwicklungspfade dahin. Ein wesentliches

Unterscheidungsmerkmal zu Startwert orientierten Ansätzen ist, dass mögliche, aber nicht gewünschte Entwicklungen ausgeblendet werden. Hierfür wird auch der Begriff ‚normative Szenarien‘ verwendet. Szenarien können quantitativer Natur sein; dann basieren sie i.W. auf der Analyse durch Energiemodelle (s. Übersicht zu Energieszenarien für Deutschland [Kronenberg et al., 2012]). Steht die qualitative Beschreibung von Zukunft im Vordergrund, sind ‚narrative Szenarien‘ angesprochen (z.B. [Venjakob, 2012]). Häufig liegen auch Mischformen vor, so dass einfache Zuordnungen nicht immer möglich sind.

In dem hier dargestellten Fall sind Energieszenarien quantitativ orientiert, bedienen sich aber einer qualitativen Einbettung in Form von Zukunftsbildern, wie in Abbildung 1 dargestellt. Solche Zukunftsbilder beschreiben Konstellationen von demografischen, wirtschaftlichen, politisch-gesellschaftlichen Trends, Positionen und Willensbildungsprozessen sowie von technologischen Entwicklungspfaden, die in Wechselwirkung zueinander stehen.

Idealerweise werden Zukunftsbilder für Szenarienanalysen so aufgebaut, dass daraus unterschiedliche Entwicklungsmöglichkeiten für Energiesysteme abgeleitet werden können. Daher bedarf es der Übersetzung in Modell-relevante Annahmen und Rahmendaten. Annahmen können sich z.B. darauf beziehen, in welchem Umfang bestimmte Technologien eingesetzt werden können. Für ein Energiesystemmodell übersetzt sich so der Beschluss zum Ausstieg aus der Kernenergie in eine Begrenzung der entsprechenden Strombereitstellung und in eine Vorgabe von Kapazitäten. Andere Annahmen übersetzen sich in mögliche Preisentwicklungen für Primärenergieträger. Annahmen zur Höhe des Zinssatzes spiegeln beispielsweise Zeitpräferenzen sowie Einstellungen zu Risiken wider und finden ihren Niederschlag in Kosten- und Rentabilitätsberechnungen.

Abbildung 1: Zukunftsbilder im Rahmen einer Szenarioanalyse



III Cross-Impact-Methode zur Entwicklung konsistenter Zukunftsbilder

Zur Entwicklung von Energieszenarien ist es notwendig, für gesellschaftliche, politische und wirtschaftliche sowie technologische Entwicklungen grundlegende Annahmen zu treffen und Rahmendaten zu bestimmen. Die Rahmendaten werden Energiemodellen in Abhängigkeit des jeweils gewählten Szenarios vorgegeben, um beispielsweise Aussagen für den zukünftigen Verlauf des Energieverbrauchs und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen treffen zu können. In diesem Zusammenhang ist es erforderlich, für die zentralen Einflussfaktoren der Szenarien plausible und widerspruchsfreie Annahmen und Wirkungszusammenhänge zu bestimmen. Ein Instrument zur qualitativen Analyse von Energiesystemen und zur Bestimmung konsistenter Zukunftsbilder ist nach Weimer-Jehle die Cross-Impact Analyse (CIA) [Weimer-Jehle, 2012]. „Allen CI-Methoden gemeinsam ist“ nach Weimer-Jehle „der systemanalytische Ansatz, die Interdependenzen der wichtigsten Systemgrößen durch Experten paarweise schätzen zu lassen, wodurch eine Cross-Impact-Matrix als Systemformulierung entsteht.“ [Weimar-Jehle, 2010, 2].

Die nachfolgenden Zukunftsbilder wurden dabei mittels einer speziellen Form der Cross-Impact Analyse - der Methode der so genannten Cross-Impact-Bilanzanalyse (CIB) - entwickelt. Bei dieser speziellen Form der Cross-Impact-Analyse stehen qualitative Aspekte im Vordergrund. Jenssen & Weimar-Jehle definieren die Cross-Impact-Bilanzanalyse somit auch „als eine qualitative Form der Cross-Impact-Analyse“, die „ein besonderes Augenmerk auf eine diskursive Erhebung der Systemwechselwirkungen als Grundlage der Szenariokonstruktion und auf die Transparenz der Szenariokonstruktion durch Beschränkung auf mathematisch einfache Konstruktionsverfahren“ legt [Jenssen & Weimar-Jehle, 2012, 176].

Der CIB-Ansatz basiert auf einem mehrstufigen Verfahren, dessen methodischer Ablauf in Anlehnung an Weimer-Jehle et al. [Weimer-Jehle et al., 2011] folgendermaßen charakterisiert werden kann¹:

1. **Definition der Analyseziele und Bestimmung der Systemgrenzen:** Zunächst wird innerhalb der Expertengruppe diskursiv festgelegt, über welchen Sachverhalt die zu generierenden Zukunftsbilder eine Aussage treffen sollen. Das Abstecken der jeweiligen Systemgrenzen ist eine notwendige Voraussetzung für das spätere Erstellen von Szenarien.
2. **Identifizierung der relevanten Einflussfaktoren (Deskriptoren) und aussagekräftiger Ausprägungen:** Determinanten, die potenziell Einfluss auf das zu analysierende System ausüben, werden als Deskriptoren ausgewählt. Zur Beschreibung entscheidender Zustände des Deskriptors werden relevante qualitative Ausprägungen bestimmt. Die Tabelle 1 zeigt beispielhaft ein System mit H Deskriptoren, die jeweils über eine Anzahl von Ausprägungen verfügen.

¹Weimer-Jehle beschreibt das Verfahren in 5 Schritten. Z.B. wird der hier beschriebene Arbeitsschritt 4, Kritische Überprüfung der Bewertung in der Cross-Impact-Matrix' nicht explizit genannt.

Tabelle 1: Beispiel für Bewertungen der Einflüsse zwischen Ausprägungen in einer Cross-Impact-Matrix

	Deskriptor A				Deskriptor B					Deskriptor H			
	Ausprägung a_1	Ausprägung a_2	...	Ausprägung a_n	Ausprägung b_1	Ausprägung b_2	...	Ausprägung b_o	...	Ausprägung h_1	Ausprägung h_2	...	Ausprägung h_t
Deskriptor A													
Ausprägung a_1					a_1b_1	a_1b_2	...	a_1b_o	...	a_1h_1	a_1h_2	...	a_1h_t
Ausprägung a_2					a_2b_1	a_2b_2	...	a_2b_o	...	a_2h_1	a_2h_2	...	a_2h_t
...					...	...	...	...	...	...	...	...	...
Ausprägung a_n					a_nb_1	a_nb_2	...	a_nb_o	...	a_nh_1	a_nh_2	...	a_nh_t
Deskriptor B													
Ausprägung b_1	b_1a_1	b_1a_2	...	b_1a_n					...	b_1h_1	b_1h_2	...	b_1h_t
Ausprägung b_2	b_2a_1	b_2a_2	...	b_2a_n					...	b_2h_1	b_2h_2	...	b_2h_t
...	...	...	...	...					...	...	...	...	...
Ausprägung b_o	b_oa_1	b_oa_2	...	b_oa_n					...	b_oh_1	b_oh_2	...	b_oh_t
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Deskriptor H													
Ausprägung h_1	h_1a_1	h_1a_2	...	h_1a_n	h_1b_1	h_1b_2	...	h_1b_o	...				
Ausprägung h_2	h_2a_1	h_2a_2	...	h_2a_n	h_2b_1	h_2b_2	...	h_2b_o	...				
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...				
Ausprägung h_t	h_ta_1	h_ta_2	...	h_ta_n	h_tb_1	h_tb_2	...	h_tb_o	...				

Quelle: IEK-STE

IEK-STE 2013

3. Bewertung der direkten Wirkungsbeziehungen zwischen den Deskriptoren und zugehörigen Ausprägungen: Die Einflüsse, die eine Ausprägung eines Deskriptors auf alle anderen Deskriptoren und die zugehörigen Ausprägungen ausübt, werden durch die Experten in einer qualitativen Systemanalyse üblicherweise auf einer Skala mit ganzzahligen Werten von -3 bis +3 $\{x \in [-3; +3]\}$ beurteilt. Die Stärke des Einflusses reicht damit von stark hemmend (-3) bis stark fördernd (+3). Wenn ein direkter Einfluss nicht vorliegt, wird die Stärke mit (0) angegeben.

Die Bewertungen der direkten Einflüsse ergeben die Eintragungen für die Elemente der Cross-Impact-Matrix. Dabei ist zusätzlich zu beachten, dass in der Zeilenbetrachtung die Werte für die Ausprägungen eines Deskriptors eine Bewertungsreihe darstellen, deren Summe gleich null sein muss. Für die Tabelle 1 bedeutet dies, dass der jeweilige Wert x für jedes Wirkungsgeflecht der Deskriptoren von A bis H und somit für alle Kombinationen a_1b_1 bis h_tb_o zu bestimmen ist. Diese Matrix bildet beispielsweise die Interdependenzen der Ausprägung a_1 des Deskriptors A mit den verschiedenen Ausprägungen $b_1 \dots b_o$ des Deskriptors B ab. In Zeilenbetrachtung stellen die Werte für a_1b_1 , a_1b_2 , ..., a_1b_o oder a_2b_1 , a_2b_2 , ..., a_2b_o jeweils eine Bewertungsreihe dar, deren Summe gleich 0 ist.

4. **Kritische Überprüfung der Bewertungen in der Cross-Impact-Matrix:** Die von den Experten erarbeiteten Bewertungen werden in einer gesonderten Sitzung auf Plausibilität der gesamten Cross-Impact-Matrix überprüft und im Bedarfsfall werden Einträge geändert.
5. **Computerbasierte Auswertung:** Die mathematische Auswertung der Cross-Impact-Matrix erfolgt unter Verwendung eines Computerprogramms. Durch die computerbasierte Auswertung werden Wirkungsbilanzen zur Identifikation von konsistenten Ausprägungen der Deskriptoren gewonnen. Für die Erstellung der Wirkungsbilanzen wird in der Zeilenbetrachtung der Matrix je Deskriptor eine Ausprägung ausgewählt und die Werte anschließend je Spalte summiert. Die Wirkungsbilanzen können somit als Bilanzsummen (BS) der Spalten ermittelt werden. Dabei gilt die ausgewählte Ausprägung eines Deskriptors als konsistent, wenn deren Bilanzsumme im Vergleich zu den anderen Ausprägungen des Deskriptors am größten oder in Ausnahmefällen mindestens gleich groß ist. Andernfalls liegt eine inkonsistente Ausprägung vor. Die Kombination der konsistenten Ausprägungen führt zur Ableitung konsistenter Zukunftsbilder.

Für das Beispiel der Matrix aus Tabelle 1 sind in Tabelle 2 die Bilanzsummen (BS) für die gewählten Ausprägungen a_2 , b_1 und h_t dargestellt. Weist die Bilanzsumme für die Ausprägung a_2 mit $BS_{a_2} = b_1a_2 + \dots + h_ta_2$ die größte Bilanzsumme des Deskriptors A aus, so ist die ausgewählte Ausprägung konsistent, d. h., dass in diesem Fall mehr Gründe für als gegen diese Ausprägung sprechen. Sind analog die Ausprägungen b_1 und h_t konsistent, so führt deren Kombination zu einem konsistenten Zukunftsbild.

Tabelle 2: Beispiel für die Ermittlung konsistenter Zukunftsbilder

	Deskriptor A				Deskriptor B					Deskriptor H			
	Ausprägung a_1	Ausprägung a_2	...	Ausprägung a_n	Ausprägung b_1	Ausprägung b_2	...	Ausprägung b_o	...	Ausprägung h_1	Ausprägung h_2	...	Ausprägung h_t
Konsistente Ausprägungen		X			X								X
Bewertung für a_2		Σ aus:			Σ aus:								Σ aus:
Bewertung für b_1	b_1a_1	b_1a_2	...	b_1a_n	a_2b_1	a_2b_2	...	a_2b_o	...	a_2h_1	a_2h_2	...	a_2h_t
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Bewertung für h_t	h_ta_1	h_ta_2	...	h_ta_n	h_tb_1	h_tb_2	...	h_tb_o	...				
=	=			=	=			=		=			=
Bilanzsumme:	BS_{a1}	BS_{a2}	...	BS_{an}	BS_{b1}	BS_{b2}	...	BS_{bo}		BS_{h1}	BS_{h2}	...	BS_{ht}

Quelle: IEK-STE

IEK-STE 2013

6. **Ermittlung der Festigkeit von Zukunftsbildern:** Die Festigkeit gibt Auskunft über die Widerspruchsfreiheit der Kombination der Deskriptoren und ihrer jeweiligen Ausprägungen innerhalb eines Zukunftsbildes. Der Beitrag zur Festigkeit wird pro Deskriptor ermittelt. Hierzu wird die Differenz der Bilanzsummen für die konsistente Ausprägung und die bes-

te Alternative gebildet wird. Die Gesamtfestigkeit eines Zukunftsbildes ergibt sich aus der Summe der Differenzen. Je höher die Summe der Differenzen ist, desto größer ist die Festigkeit des Zukunftsbildes. Die Bilder mit dem höchsten Festigkeitsgrad bilden in der folgenden qualitativen Systemanalyse die Grundlage der Storylines für Energieszenarien.

IV Anwendung der Cross-Impact-Bilanzanalyse und Generierung konsistenter Zukunftsbilder für das Energiesystem

IV.1 Analyseziel und Systemgrenzen für die Zukunftsbilder

Die CIB-Methode wurde hier von einer interdisziplinär zusammengesetzten Expertengruppe benutzt. Die Gruppe bestand aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts für Energie- und Klimaforschung – Systemforschung und Technologische Entwicklung am Forschungszentrum Jülich mit den thematischen Schwerpunkten Energie- und Klimapolitik, Energiewirtschaft und Energietechnik. In einem ersten Schritt wurden die Wechselwirkungen von Einflussfaktoren auf das Energiesystem bis 2050 als Analyseziel gesetzt. Als Systemgrenzen für die Zukunftsbilder wurden in geografischer Betrachtung die Grenzen der Europäischen Union und thematisch die globalen gesellschaftlich-politischen, ökonomischen und technischen Entwicklungen mit Einfluss auf das Energiesystem festgelegt.

IV.2 Identifikation der Deskriptoren

Die Expertengruppe identifizierte 17 Deskriptoren mit insgesamt 44 Ausprägungen (Tabelle 3), die sich in 4 Gruppen zusammenfassen lassen:

- **Sozio-demographische Faktoren**

Der Deskriptor „Bevölkerungsentwicklung“ bezieht sich auf die Bevölkerungsentwicklung in der Europäischen Union (EU) und berücksichtigt insbesondere die Auswirkungen der zukünftigen Migration.

- **Gesellschaftlich-politische Faktoren**

- *Klimapolitische Entwicklungen:* Der Deskriptor „Klimapolitik“ erfasst die zukünftigen Entwicklungspfade, die eine internationale, europäische und/oder deutsche Klimaschutzpolitik nach 2020 einnehmen kann. Darüber hinaus werden das Erreichen der Reduktionsziele für die Treibhausgase in der EU bis 2020 und eine Fortschreibung der Klimaschutzziele mit dem Deskriptor „CO₂-Vermeidung EU“ konkretisiert.
- *Stellung des Umweltschutzes:* Der Deskriptor „Umweltschutz“ berücksichtigt den Stellenwert von energiebezogenen Umweltschutzmaßnahmen innerhalb der EU.
- *Stabilität der Eurozone und der gesamten Europäischen Union:* Vor dem Hintergrund der aktuellen Turbulenzen im Wirtschafts- und Finanzsektor sowie der angespannten Haushaltslage einiger Mitgliedsstaaten innerhalb der Eurozone werden mit dem Deskriptor „Zukunft der EU“ mögliche Entwicklungspfade von einer weiteren Integration bis zum Zerfall der Eurozone bzw. der gesamten EU erfasst.

-

- **Wirtschaftliche Deskriptoren**

- *Gesamtwirtschaftliche Entwicklung*: Das „globale Wirtschaftswachstum“ ist ein Deskriptor zur Berücksichtigung gesamtwirtschaftlicher Entwicklungspfade.
- *Preisentwicklung für Rohstoffe*: Die Entwicklung der Rohstoffpreise für Rohöl, Kohle und Gas werden auf der Grundlage verschiedener Preispfade erörtert.
- *CO₂-Zertifikatspreise*: Die weitere Entwicklung des europäischen Emissionshandels mit CO₂-Zertifikaten wird anhand verschiedener Preisentwicklungen beschrieben.
- *Entwicklung der Ressourcenverfügbarkeit*: Die Einflüsse durch eine Verknappung von Ressourcen oder das Erschließen neuer Lagerstätten sowie durch freien oder eingeschränkten Handel mit Ressourcen finden Berücksichtigung in getrennten Deskriptoren für „Energie-Ressourcen“ und „Sonstige Ressourcen“. Seltene Erden, die insbesondere für den Ausbau der erneuerbaren Energien benötigt werden, gehören beispielsweise in die Gruppe der sonstigen Ressourcen.
- *Unternehmerische Investitionsbereitschaft*: Die Risikobereitschaft der Unternehmen wird u.a. in diesem Zusammenhang durch verschiedene Ausprägungen für die Einflussgröße „Investitionsbereitschaft“ konkretisiert.

- **Technische Deskriptoren**

- *Änderung des Technikmix*: Der Einsatz von neuen und innovativen Techniken und die Diffusion dieser Techniken innerhalb der EU wird mit dem Deskriptor „Technische Innovationsdynamik“ abgeschätzt.
Darüber hinaus wird der zukünftige Einsatz neuer und weiterer Stromanwendungen in der EU durch den Deskriptor „Neue Stromanwendungen in der EU“ klassifiziert.
- *Grenzübergreifende Nutzung von erneuerbaren Energien*: Vorzeigeprojekte wie beispielsweise Desertec zeigen einen Weg auf, um Klimaschutz und Energiesicherheit gleichermaßen zu gewährleisten. Zur Realisierung dieser Projekte werden bevorzugt weltweit die Standorte genutzt, die über das größte Potential an erneuerbaren Energien verfügen. Eine Einschätzung, ob diese oder ähnliche Vorhaben umgesetzt werden, erfolgt mit dem Deskriptor „Desertec & ähnliche Projekte“.
- *Entwicklung der Energienachfrage in Verbrauchersektoren*: Der Deskriptor „Weltweite Endenergienachfrage“ kennzeichnet die weitere Entwicklung der Nachfrage in den Verbrauchersektoren.

IV.3 Wirkungsbeziehungen zwischen den Deskriptoren

Nach der Bestimmung des Vektors mit den wesentlichen Deskriptoren und den zugehörigen Ausprägungen wurden die Bewertungen der direkten Wirkungsbeziehungen durchgeführt. Hierbei wurde jede direkte Interdependenz, die eine Ausprägung eines Deskriptors auf eine Ausprägung eines anderen Deskriptors ausübt, bewertet. Entsprechend der Beschreibung der methodischen Vorgehensweise in Kapitel III wurde in Anlehnung an [Weimer-Jehle et al., 2011] die Bewertung des direkten Einflusses mit ganzzahligen Faktoren von -3 (stark hemmend) bis +3 (stark fördernd) vorgenommen. Lag kein direkter Einfluss für die Wechselbeziehung vor, so wurde der Faktor 0 verwendet.

Tabelle 3: Deskriptoren und deren Ausprägungen

Deskriptor	Ausprägung
Bevölkerungsentwicklung	Weltbevölkerung wächst, Migrationsentwicklung Teil der Lösung (EU-Bev nimmt zu) Weltbevölkerung wächst, Migrationsentwicklung als Bedrohung für einzelne Regionen (EU-Bev nimmt ab)
Klimapolitik, Klimaschutzziele	Internationale Priorität, abgestimmte ambitionierte Ziele International inferiore Stellung, keine Klimaziele EU ab 2020 europäischer Alleingang nationaler Alleingang
CO ₂ -Vermeidung EU	Ziele werden erreicht und zukünftig fortgeschrieben Ziele werden tendenziell erreicht/ weitere Ziele erwogen Ziele werden verfehlt/ keine weiteren Ziele
Umweltschutz (energiebezogen)	hoher Stellenwert niedriger Stellenwert
Zukunft der EU/Eurozone	Weitere Integration Status quo Zerfall
Globales Wirtschaftswachstum	stark zunehmend gebremstes Wachstum
Rohstoffpreise (Öl, Steinkohle, Gas)	Stagnieren Steigen Steigen stark
CO ₂ -Zertifikatspreise	Sinken Stagnieren Steigen leicht Steigen stark
Zugang zu Energieresourcen	Neue Lagerstätten Ressourcenverknappung
Handel mit Energieresourcen	freier Handel eingeschränkter Handel
Zugang zu Sonstigen Ressourcen	Neue Lagerstätten Ressourcenverknappung
Handel mit Sonstigen Ressourcen	freier Handel eingeschränkter Handel
Investitionsbereitschaft	Unverändert Zunehmend
(Technische) Innovationsdynamik	Risikoaffinität, hohe Dynamik und Technikakzeptanz Risikoaversität, geringe Dynamik und Technikakzeptanz
Neue Stromanwendungen in der EU	Rückgang Bleibt grob konstant Steigt moderat
Desertec & ähnliche Projekte	Kommt nicht/kaum Kommt verspätet/wenig Kommt wie geplant inkl. Netzanschluss
Endenergienachfrage weltweit	Steigt moderat Steigt wesentlich Steigt enorm

Quelle: IEK-STE

IEK-STE 2013

IV.4 Überprüfung der Cross-Impact-Matrix

Es oblag jedem Mitglied der Expertengruppe, die eingetragenen Beurteilungswerte noch einmal für sich zu überprüfen. Nur wenige Änderungsvorschläge wurden eingebracht, wodurch sich nur eine geringfügige Modifikation der finalen Cross-Impact-Matrix ergab. Die

Tabelle 4 und die Tabelle 5 zeigen die auf Basis der Experteneinschätzungen erstellte CI-Matrix.

Tabelle 4: Finale Cross-Impact-Matrix – Teil I

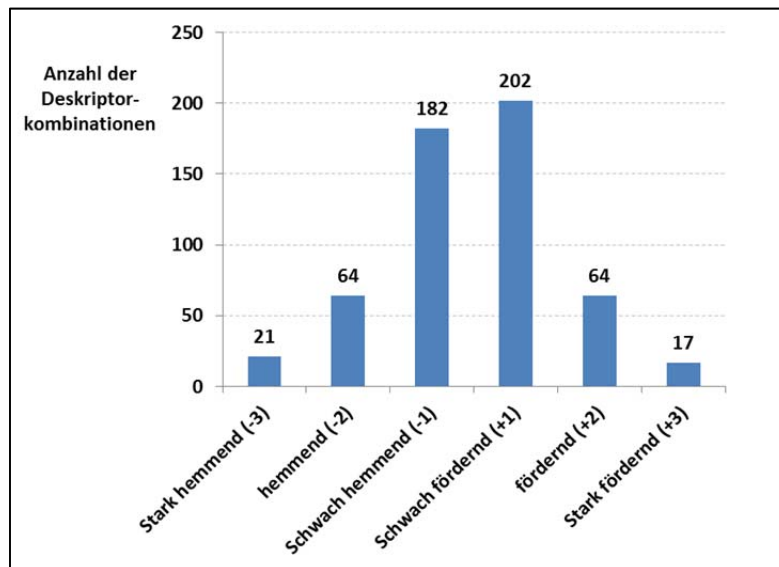
		Bevölkerungs-entwicklung		Klimapolitik; Klima-schutzziele				Umwelt-schutz (Energie-bez.)		CO ₂ -Vermeidung EU			Zukunft der EU/Eurozone			Energie Res-sourcen	
		Weltbevölkerung wächst, Migration: Teil der Lösung	Weltbevölkerung wächst, Migration als Bedrohung für einzelne Regionen	Internationale Priorität, abgestimmte und ambitionierte	International inferiore Stellung, keine EU-Klimaziele ab 2020	europäischer Alleingang	nationale Klimaschutzziele	hoher Stellenwert	Niedriger Stellenwert	Ziele werden erreicht und zukünftig fortgeschrieben	Ziele werden tendenziell erreicht/ weitere Ziele	Ziele werden verfehlt/ keine weiteren Ziele	Weitere Integration	Stagnation	Zerfall	Neue Lagerstätten	Ressourcenverknappung
Bevölkerungs-entwicklung	Weltbevölkerung wächst, Migrations-entwicklung Teil der Lösung			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Weltbevölkerung wächst, Migrations-entwicklung als Bedrohung			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Klimapolitik; Klimaschutz-ziele	Internationale Priorität, abgest. ambitionierte	0	0							2	1	-3	1	0	-1	1	-1
	International infer. Stellung, keine Klimaziele EU ab 2020	0	0					1	-1	-1	-1	2	0	0	0	0	0
	europäischer Alleingang	0	0					0	0	1	2	-3	3	0	-3	0	0
	nationale Alleingänge	0	0					0	0	-2	-1	3	-2	1	1	0	0
Umweltschutz Energie-bez.	hoher Stellenwert	0	0	0	0	0	0			-1	1	0	1	0	-1	-3	3
	Niedriger Stellenwert	0	0	0	0	0	0			1	0	-1	-1	1	0	2	-2
CO₂-Vermeidung EU	Ziele werden erreicht und zukünftig fortgeschrieben	0	0	2	-2	0	0	1	-1				2	0	-2	-1	1
	Ziele werden tendenziell erreicht/ weitere Ziele	0	0	1	-1	0	0	0	0				1	0	-1	0	0
	Ziele werden verfehlt/ keine weiteren Ziele"	0	0	-2	2	0	0	-1	1				-2	0	2	1	-1
Zukunft der EU/Eurozone	Weitere Integration	0	0	0	-1	1	0	2	-2	2	1	-3				0	0
	Status quo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1				0	0
	Zerfall	0	0	-1	3	-2	0	-2	2	-2	-1	3				0	0
Energie Res. (I)	Neue Lagerstätten	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1	0	1	0	0	0		
	Ressourcenverknapp.	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0		
Energie Res. (II)	freier Handel	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0
	eingeschr. Handel	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0
Sonstige Res. (I)	Neue Lagerstätten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ressourcenverknapp.	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Res. (II)	freier Handel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	eingeschr. Handel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Innovations-dynamik	Risikoaffinität	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	-2	0	0	0	1	-1
	Risikoaversität	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	2	0	0	0	-1	1
Desertec & ähnliche Projekte	Kommt nicht/kaum	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	2	0	0	0	0	0
	Kommt verspätet/wenig	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	0
	Kommt wie geplant	0	0	0	0	0	0	1	-1	2	0	-2	1	-1	0	0	0
Glob. Wirt.-wachstum	stark zunehmend	0	0	0	-2	1	1	1	-1	-1	1	0	1	0	-1	1	-1
	gebremstes Wachstum	0	0	0	0	0	0	-1	1	1	0	-1	-1	0	1	-1	1
Rohstoffpreise	Stagnieren	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	-1	3	0	0	0	0	0
	Steigen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
	Steigen stark	0	0	1	-2	1	0	0	0	2	1	-3	0	0	0	2	-2
CO₂-Zertifikatspreise	Sinken	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stagnieren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Steigen leicht	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Steigen stark	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Investitionsbereitschaft	Unverändert	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Zunehmend	0	0	0	-1	1	0	1	-1	0	0	0	1	0	-1	1	-1
Neue Stromanwendungen in der EU	Rückgang	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bleibt grob konstant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Steigt moderat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0
Endenergienachfr. Welt.	Steigt moderat	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	1	-1	0	0	0	0	0
	Steigt wesentlich	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Steigt enorm	0	0	1	-2	1	0	1	-1	-1	0	1	0	0	0	0	0

Tabelle 5: Finale Cross-Impact-Matrix – Teil II

		Ener- gie- Res.		Son- stige Res.	Son- stige Res.	Innov.- Dyn.	Desertec & ähnliche Projekte			Glob. Wirt.- wachs.	Rohstoff- preise			CO ₂ - Zertifikats- preise			Inv.-be- reit- schaft	Neue Strom- anw. EU			Endener.- nachfr. weltweit										
		freier Handel	eingeschränkter Handel	Neue Lagerstätten	Ressourcenverknappung	eingeschränkter Handel	freier Handel	Risikoanfinität	Risikoaversität	Kommt nicht/kaum	Kommt verspätet/wenig	Kommt wie geplant inkl. Netzanschluss	stark zunehmend	gebremstes Wachstum	Stagnieren	Steigen	Steigen stark	Sinken	Stagnieren	Steigen leicht	Steigen stark	Unverändert	Zunehmend	Rückgang	Bleibt grob konstant	Steigt moderat	Steigt moderat	Steigt wesentlich	Steigt enorm		
Bev.- entwick- lung	Weltbev. wächst, Migration Teil der Lös.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1		
	Weltbev. wächst, Migration als Bedrohung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Klima- politik; Klima- schutz- ziele	Internationale Priorität, abgest. ambi.	1	-1	1	-1	-1	1	2	-2	-3	1	2	1	-1	3	-1	-2	-3	-1	1	3	-3	3	-1	0	1	3	-1	-2		
	International inf. Stellung, keine Klimaziele EU	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	-3	0	0	-1	1	0	2	1	-1	-2	1	-1	0	0	0	-1	2	-1		
	europäischer Alleingang	0	0	0	0	0	0	2	-2	-1	1	0	0	0	1	-1	0	-2	-1	1	2	-2	2	-1	0	1	0	0	0		
	ationale Alleingänge	0	0	0	0	0	0	1	-1	3	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Umwelt- schutz Energie- bez.	hoher Stell.t	0	0	-3	3	0	0	1	-1	1	1	-2	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0		
	Niedriger Stell.	0	0	2	-2	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0		
CO ₂ - Vermeid- ung EU	Ziele werden erreicht und fortgeschr.	0	0	1	-1	0	0	2	-2	-3	1	2	1	-1	2	-1	-1	0	-2	1	1	-2	2	-1	0	1	0	0	0		
	Ziele werden erreicht/ weitere Ziele	0	0	1	-1	0	0	1	-1	-3	2	1	0	0	1	0	-1	0	-2	2	0	-1	1	-1	1	0	0	0	0		
	Ziele werden verfehlt/ keine weiteren Ziele	0	0	0	0	0	0	0	0	3	-2	-1	-1	1	-1	1	0	0	3	-1	-2	2	-2	0	1	-1	0	0	0		
Zukunft der EU/Euro- zone	Weitere Integr	1	-1	0	0	-1	1	0	0	-3	1	2	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0		
	Status quo	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0		
	Zerfall	-1	1	0	0	1	-1	0	0	2	-1	-1	-2	2	0	0	0	3	-1	-1	-1	2	-2	0	0	0	2	0	-2		
Energie Res. (I)	Neue Lagerst	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	1	-1	2	0	-2	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0		
	Ressourcen- verknapp.	0	0	0	0	0	0	1	-1	-3	1	2	-1	1	-2	0	2	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0		
Energie Res. (II)	freier Handel			0	0	0	0	-1	1	-2	1	1	2	-2	1	0	-1	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0		
	eingeschr. Handel			0	0	0	0	1	-1	2	-1	-1	-2	2	-3	1	2	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0		
Sonstige Res. (I)	Neue Lager - stät.	0	0			0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0		
	Ressourcen- verknapp	0	0			0	0	1	-1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0		
Sonstige Res. (II)	freier Handel	0	0	0	0			-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	eingeschr. Handel	0	0	0	0			1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0		
Innov.-Dyn.	Risikooff.	0	0	1	-1	0	0			-3	1	2	1	-1	1	0	-1	1	0	0	-1	-1	1	-1	0	1	0	0	0		
	Risikoaversität	0	0	-1	1	0	0			3	-1	-2	-1	1	-1	0	1	-1	0	0	1	1	-1	1	0	-1	0	0	0		
Desertec & ähnliche Projekte	Kommt nicht/kaum	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Kommt ver- spätet/wenig	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Kommt wie geplant	0	0	0	0	0	0	1	-1				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	
Globales Wirtschaf- tschafts- wachstum	stark zuneh.	0	0	1	-1	0	0	0	0	-1	0	1			-3	1	2	-2	-1	1	2	-2	2	-1	0	1	-3	1	2		
	gebrem. Wachstum	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0			0	1	-1	1	2	-1	-2	-1	1	0	0	0	1	1	-2		
Rohstoff- preise	Stagnieren	0	0	0	0	0	0	-1	1	1	0	-1	1	-1				0	0	0	0	2	-2	0	0	0	-1	0	1		
	Steigen	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0				0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	1	-1		
	Steigen stark	0	0	0	0	0	0	2	-2	-1	0	1	-2	2				0	0	0	0	-2	2	-1	0	1	2	0	-2		
CO ₂ - Zertifikats- preise	Sinken	0	0	0	0	0	0	-2	2	0	0	0	0	0	-1	0	1							2	-2	0	0	0	0	0	0
	Stagnieren	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0							1	-1	0	0	0	0	0	0
	Steigen leicht	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0							-1	1	0	0	0	0	0	0
	Steigen stark	0	0	0	0	0	0	2	-2	0	0	0	0	0	0	1	0	-1							-2	2	0	0	0	0	0
Inv.-bereit.	Unveränd.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	-1	1	0	0	0	0	0					-1	1	0	1	0	-1
	Zunehm.	0	0	1	-1	0	0	1	-1	-1	0	1	1	-1	-2	1	1	0	0	0	0					-1	0	1	-1	1	0
Neue Stromanw. in der EU	Rückgang	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	
	Bleibt grob konstant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	0	0	
	Steigt moderat	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0					0	0	0
Endener- gienach- frage welt- weit	Steigt moderat	0	0	0	0	0	0	-1	1	1	0	-1	0	0	1	1	-2	0	1	0	-1	2	-2	0	0	0	0				
	Steigt wesentlich	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	2	1	-1	0	1	0	1	-1	0	0	0					
	Steigt enorm	0	0	0	0	0	0	1	-1	-2	1	1	0	0	-3	0	3	-2	0	1	1	-1	1	0	0	0					

Insgesamt umfasst die finale Cross-Impact-Matrix 1.757 Bewertungen von Deskriptorkombinationen, die sich aus den 17 Deskriptoren und 44 Ausprägungen der Tabelle 3 ergeben. Bei den Bewertungen hat die Expertengruppe in 550 Deskriptorkombinationen einen Einfluss festgestellt, während sie in 1.207 Deskriptorkombinationen keinen direkten Einfluss gesehen hat. Ein überdurchschnittlicher Einfluss wurde mit den Bewertungen stark fördernder bzw. stark hemmender Einfluss für 17 bzw. 21 Deskriptorkombinationen ermittelt (vgl. Abbildung 2).

Abbildung 2: Verteilung der Bewertungen nach Stärke des Einflusses



Quelle: IEK-STE

IEK-STE 2013

Anhand des Zusammenhangs zwischen „Klimaschutzpolitik/Klimaschutzziele“ und „CO₂-Vermeidung der EU“ soll im Folgenden beispielhaft die Argumentationsstruktur der Expertenrunde verdeutlicht werden

- Die Experten waren der Meinung, dass wenn die Klimapolitik auf der internationalen Ebene Priorität hat und abgestimmte und ambitionierte Klimaschutzziele verfolgt werden, dies den direkten Einfluss auf die Ausprägung „Ziele werden erreicht und zukünftig fortgeschrieben“ fördert (+2). Die Wirkung auf die Aussage „Ziele werden tendenziell erreicht/ weitere Ziele“ wird als schwach fördernd bewertet (+1). Andererseits ist es in diesem Fall sehr unwahrscheinlich, dass die Ziele verfehlt werden. Entsprechend wird der Einfluss hier mit -3 bzw. stark hemmend bewertet.
- Werden international und auf der EU-Ebene nach 2020 keine Klimaziele verfolgt, so ist die Wahrscheinlichkeit für Eintreten der Zustände „Ziele werden erreicht“ oder „Ziele werden tendenziell erreicht“ eher unwahrscheinlich. Der direkte Einfluss wird hier in beiden Fällen als schwach hemmend bewertet (-1). Demgegenüber liegt eine größere Wahrscheinlichkeit für das Verfehlen der derzeitigen Ziele vor. Entsprechend wird die direkte Wirkung auf die Ausprägung „Ziele werden verfehlt/ keine weiteren Ziele“ mit einer +2 bzw. einem förderndem Einfluss bewertet.

- Im Falle eines europäischen Alleingangs in der Klimapolitik wird die Wahrscheinlichkeit, dass die Ziele tendenziell erreicht werden mit +2 im Vergleich zur Ausprägung „Ziele werden erreicht“ mit +1 höher bewertet. Unwahrscheinlich ist hingegen, dass die Ziele verfehlt werden (-3).
- Wird die Klimapolitik durch einen deutschen Alleingang geprägt, so ist die Wahrscheinlichkeit für ein Verfehlen der derzeitigen Klimaziele und keiner weiteren Verfolgung von Zielen nach 2020 sehr groß. Der entsprechende Einfluss wird als stark fördernd bewertet (+3). Dass die gesetzten Ziele vollständig oder tendenziell erreicht werden, ist nach Meinung der Experten eher unwahrscheinlich. Entsprechend wurden diese Zusammenhänge mit -2 und -1 bewertet.

Beispielhafte Ermittlung der Gesamtwirkung eines Deskriptors

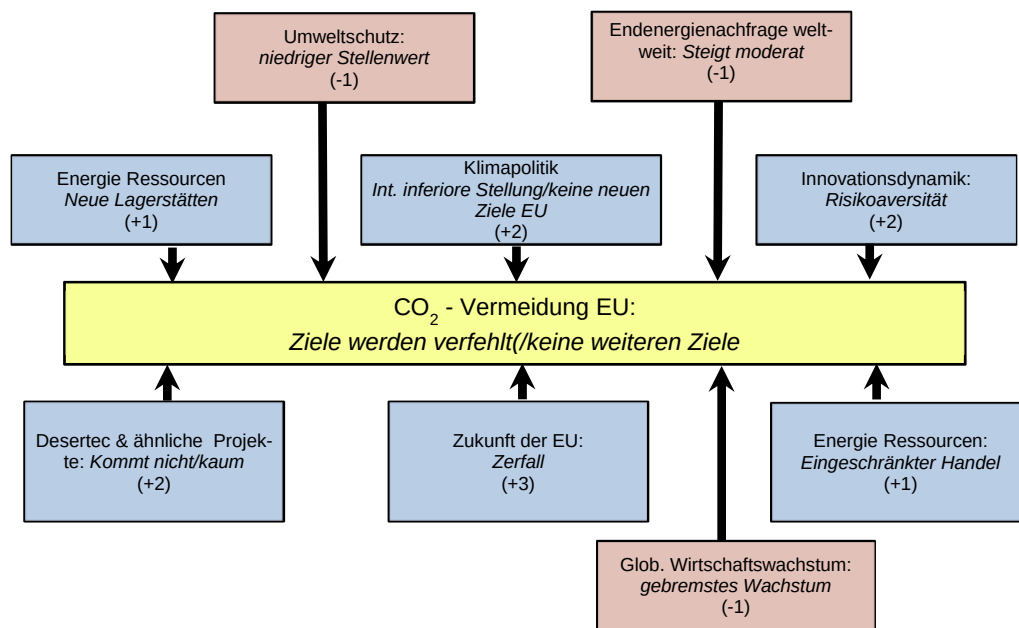
Das Zusammenwirken der verschiedenen Bewertungen und die daraus resultierenden Ergebnisse werden im Folgenden beispielhaft für den Deskriptor „CO₂-Vermeidung EU“ im Zukunftsbild II – „Wohlstand für alle – Europas klimapolitische Vorreiterrolle bleibt hinter den Erwartungen zurück“ durchgeführt (s. Abbildung 3). Da das Zukunftsbild II konsistent ist, bilden die in der Tabelle 6 aufgelisteten Ausprägungen ein Geflecht sich gegenseitig stützender Annahmen. Dabei wird für den Deskriptor 'CO₂-Vermeidung EU' die Ausprägung „Ziele werden verfehlt/ keine weiteren Ziele“ angenommen. Für diese Variante sprechen folgende Elemente:

- Klimapolitik: International inferiore Stellung keine Klimaziele EU (Bewertung mit +2)
- Zukunft der EU: Zerfall (Bewertung mit +3)
- Energie Ressourcen: Neue Lagerstätten (Bewertung mit +1)
- Energie Ressourcen: eingeschränkter Handel (Bewertung mit +1)
- Innovationsdynamik: Risikoaversität (Bewertung mit +2)
- Desertec & ähnliche Projekte: Kommt nicht/kaum (Bewertung mit +2)

Gegen diese Variante sprechen folgende Elemente:

- Umweltschutz: Niedriger Stellenwert (Bewertung mit -1)
- Globales Wirtschaftswachstum: gebremstes Wachstum (Bewertung mit -1)
- Endenergienachfrage weltweit: Steigt moderat (Bewertung mit -1)

Damit ergibt sich für diese Kombination eine Bilanz von +8. Es überwiegen also die Argumente für diese Ausprägung (vgl. Abbildung 2). Mit dem Wert von +8 ist die Ausprägung relativ fest, d.h. es bedarf erheblicher Änderungen in den hemmenden Bewertungen, bevor die Ausprägung in einem konsistenten Bild nicht zum Tragen kommt.

Abbildung 3: Einflüsse auf den Deskriptor „CO₂-Vermeidung EU“ (Zukunftsbild II)

Quelle: IEK-STE

IEK-STE 2013

Anhand des Beispiels wird das Zusammenwirken verschiedener Ausprägungen von Deskriptoren auf die Ausprägung eines ausgewählten Deskriptors deutlich. Das CI-Verfahren ermöglicht die Identifizierung konsistenter Zukunftsbilder unter Berücksichtigung der Zusammenhänge zwischen Deskriptoren. Da die Wechselwirkungen sämtlicher als wichtig angesehenen Deskriptoren berücksichtigt werden, wird die Gefahr der Erstellung inkonsistenter Bilder, die bei einer isolierten Betrachtung einiger weniger Einflussgrößen besteht, vermindert bzw. beseitigt.

IV.5 Computerbasierte Auswertung und Identifikation von konsistenten Zukunftsbildern

Im Anschluss an die diskursiven Arbeitsschritte erfolgte die computerbasierte Auswertung der Cross-Impact-Matrix mittels des Programms SzenarioWizard 4.0 [Weimer-Jehle, 2012]. Ziel der Auswertung im Rahmen dieser qualitativen Systemanalyse war es, Kombinationen zu ermitteln, die sich als konsistente Zukunftsbilder zur Entwicklung von Storylines und zur Quantifizierung in Energiemodellen für die Szenarioanalysen eignen (vgl. Tabelle 6).

Bei der computerbasierten Auswertung wurden ausgehend von der ausgefüllten Cross-Impact-Matrix die Wirkungsbilanzen (in Form von Bilanzsummen) für alle Ausprägungen bestimmt. Aus den einzelnen Bilanzsummen, die zur Prüfung der Konsistenz der einzelnen Ausprägungen je Deskriptor dienen, wurden die Maximalwerte bestimmt. Die größte Bilanzsumme einer Ausprägung je Deskriptor charakterisiert dabei den Zustand des Deskriptors mit dem höchsten Grad an Konsistenz. Werden für alle Deskriptoren die konsistenten Ausprägungen miteinander kombiniert, so können konsistente Zukunftsbilder identifiziert werden.

Gemäß den Auswertungen erwiesen sich acht mögliche Kombinationen von Ausprägungen als konsistent. Bei diesen konsistenten Zukunftsbildern sind die Wirkungen der Deskriptoren plausibel, da die gewählten Ausprägungen ein Geflecht sich gegenseitig unterstützender Annahmen bilden [Weimer-Jehle, 2012]. Die acht konsistenten Zukunftsbilder der computerbasierten Auswertung unterscheiden sich erheblich in Bezug auf die Ausprägungen der einzelnen Deskriptoren. So lassen sich die erzeugten Zukunftsbilder in zwei Gruppen bestehend aus den Zukunftsbildern 1 bis 4 (in der Tabelle 6 rot markiert) und den Zukunftsbildern 5 bis 8 (in der Tabelle 6 grün markiert) aufteilen.

Die Zukunftsbilder 1 bis 4 weisen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung eine eher pessimistische Perspektive auf, denn insbesondere für die künftige internationale und europäische Klimaschutzpolitik wird international von einer inferioren Stellung und von keinen neuen Klimaschutzziele in der EU nach 2020 ausgegangen. Zudem werden die gesetzten Klimaschutzziele der EU bis 2020 verfehlt. Folglich hat die Einstellung zum energiebezogenen Umweltschutz in der EU nur einen niedrigen Stellenwert. Die technische Innovationsdynamik spiegelt in dieser Gruppe Risikoaversität wider und Vorzeigevorhaben wie Desertec & ähnliche Projekte kommen nicht oder werden nur sehr begrenzt realisiert. Insgesamt stagnieren der CO₂-Zertifikatspreis und die Investitionsbereitschaft der Unternehmen auf dem heutigen Niveau. Dies gilt auch für neue Stromanwendungen in der EU, für die angenommen wird, dass sie grob konstant bleiben. Die Ressourcenverfügbarkeit von Energieträgern und sonstigen Ressourcen ist innerhalb dieser Gruppe durch einen eingeschränkten Handel geprägt. Für die Energieressourcen wird unterstellt, dass neue Lagerstätten die zukünftige Entwicklung dominieren. Insgesamt wird in dieser Gruppe für die gesamtwirtschaftliche Entwicklung von einem gebremsten globalen Wachstum ausgegangen. Die Rohstoffpreise steigen hier entsprechend eines mittleren Wachstumspfad. Die Zukunft der Eurozone und der gesamten Europäischen Union wird bei diesen Zukunftsbildern sehr skeptisch eingestuft. Bei einem Ausbleiben einer verstärkten politischen Integration droht tendenziell eher der Zerfall der EU in seiner derzeitigen Form.

Unterschiedliche Ausprägungen liegen in dieser Gruppe von Zukunftsbildern für die weitere Bevölkerungsentwicklung in der EU vor, die in den Bildern 1 bis 3 zu- und im Bild 4 abnimmt. Ähnlich verhält es sich hinsichtlich der weltweiten Endenergienachfrage, die in den Bildern 1 und 2 moderat sowie in den Bildern 3 und 4 wesentlich ansteigt. Für den Deskriptor Verfügbarkeit von sonstigen Ressourcen gehen die Bilder 1, 3 und 4 von neuen Lagerstätten für die zukünftige Entwicklung aus. Das Zukunftsbild 2 unterstellt für diesen Deskriptor eine zunehmende Ressourcenverknappung.

Die Gruppe der grün markierten Zukunftsbilder 5 bis 8 stellt für die zukünftige Entwicklung in der EU eine eher optimistische Perspektive dar. Bei einer zukünftig verstärkten Integration in der EU wird hier für die Klimaschutzpolitik nach 2020 von einem europäischen Alleingang ausgegangen. Des Weiteren wird dem energiebezogenen Umweltschutz ein hoher Stellenwert zugeordnet. Die technische Innovationsdynamik ist geprägt durch Risikoaffinität und die Investitionsbereitschaft der Unternehmen wird bei steigenden CO₂-Zertifikatspreisen zunehmend größer. Für das globale Wirtschaftswachstum wird gekoppelt mit einem middle-

ren Anstieg der Rohstoffpreise und einem wesentlichen Anstieg der weltweiten Endenergienachfrage ein zukünftig stark steigender Pfad erwartet. Die Verfügbarkeit von Energieträgern und sonstigen Ressourcen ist hier durch einen freien Handel gekennzeichnet. Zudem wird bei den sonstigen Ressourcen von der kontinuierlich fortschreitenden Erschließung neuer Lagerstätten ausgegangen. Für neue und zusätzliche Stromanwendungen in der EU wird ein moderater Anstieg unterstellt.

Tabelle 6: Konsistente Zukunftsbilder

Deskriptor	Zukunftsbild 1	Zukunftsbild 2	Zukunftsbild 3	Zukunftsbild 4	Zukunftsbild 5	Zukunftsbild 6	Zukunftsbild 7	Zukunftsbild 8
Bevölkerungsentwicklung der EU	Migrationentwicklung Teil der Lösung (Bev nimmt zu)			Migrationentwicklung als Bedrohung (Bev nimmt ab)	Migrationentwicklung Teil der Lösung (Bev nimmt zu)	Migrationentwicklung als Bedrohung (Bev nimmt ab)	Migrationentwicklung Teil der Lösung (Bev nimmt zu)	Migrationentwicklung als Bedrohung (Bev nimmt ab)
Klimapolitik	International inferiore Stellung keine Klimaziele EU				europäischer Alleingang			
CO ₂ -Vermeidung EU	Ziele werden verfehlt/ keine weiteren Ziele				Ziele werden tendenziell erreicht/ weitere Ziele werden erwogen	Ziele werden erreicht u. fortgeschrieben		
Umweltschutz (energiebezogen)	Niedriger Stellenwert				hoher Stellenwert			
Zukunft der EU	Zerfall				Weitere Integration			
Globales Wirtschaftswachstum	gebremstes Wachstum				stark zunehmend			
Rohstoffpreise					Steigen			
CO ₂ -Zertifikatspreise	Stagnieren				Steigen leicht		Steigen stark	
Zugang zu Energieressourcen	Neue Lagerstätten				Ressourcenverknappung			
Handel mit Energieressourcen	eingeschränkter Handel				freier Handel			
Zugang zu Sonstigen Ressourcen	Neue Lagerstätten	Ressourcenverknappung			Neue Lagerstätten			
Handel mit Sonstigen Ressourcen	eingeschränkter Handel				freier Handel			
Investitionsbereitschaft	Unverändert				Zunehmend			
(Technische) Innovationsdynamik	Risikoaversität				Risikoaffinität			
Neue Stromanwendungen in der EU	Bleibt grob konstant				Steigt moderat			
Desertec & ähnliche Projekte	Kommt nicht/kaum				Kommt verspätet/wenig		Kommt wie geplant	
Endenergienachfrage weltweit	Steigt moderat				Steigt wesentlich			

Quelle: IEK-STE

IEK-STE 2013

Differenzen bestehen bei der Gruppe der Zukunftsbilder 5 bis 8 im Hinblick auf das Erreichen der Klimaschutzziele in der EU, denn während in den Bildern 5 und 6 eine tendenzielle

Zielerreichung bis 2020 und die Fortsetzung neuer Ziele danach nur erwogen wird, werden in den Bildern 7 und 8 die gesetzten Klimaschutzziele erreicht und fortgeschrieben. Weitere Unterschiede weisen die Bilder 5 und 6 gegenüber 7 und 8 bei der Realisierung von grenzübergreifenden Vorhaben zum Ausbau und der Nutzung von erneuerbaren Energien wie z.B. Desertec, dem Anstiegspfad für die CO₂-Zertifikatspreise und bei der Verfügbarkeit von Energieressourcen aus. Tendenziell sind die Ausprägungen der Zukunftsbilder 7 und 8 bei diesen Deskriptoren eher von einem verstärkten Umbau der Energieversorgung und einem Ausbau der regenerativen Energien kombiniert mit dem stärkeren Anstieg der CO₂-Zertifikatspreise und einer zunehmenden Ressourcenverknappung der fossilen Energien verbunden. Die Ausprägungen der weiteren Bevölkerungsentwicklung in der EU sind sowohl bei den Zukunftsbildern 5 und 6 als auch bei den Bildern 7 und 8 nicht eindeutig. In beiden Untergruppen ist weder ein Anstieg noch ein Rückgang der Bevölkerungszahlen in der EU ausgeschlossen.

Zusammengefasst stellen somit für die qualitative Systemanalyse im Rahmen der Gewinnung von konsistenten Zukunftsbildern sowohl die Zukunftsbilder 1 bis 4 als auch 5 bis 8 je eine Gruppe dar. Die Gruppe der Bilder 5 bis 8 kann aufgrund der unterschiedlichen Ausprägungen einiger Deskriptoren weiter untergliedert werden in die Teilgruppen 5 und 6 sowie 7 und 8.

IV.6 Festigkeitsgrad als Auswahlkriterium

Der Grad der Konsistenz eines jeden Deskriptors für die gewählte Ausprägung wird durch den Festigkeitswert des Zukunftsbilds gekennzeichnet. Dieser ergibt sich aus der Summe der einzelnen Differenzen, die sich jeweils aus der Bilanzsumme für die konsistente Ausprägung eines Deskriptors und dem entsprechenden Wert für die Bilanz der besten alternativen Ausprägung des gleichen Deskriptors ergeben. Wenn der Wert genau 0 ergibt, so ist die angenommene Variante des Deskriptors insgesamt zwar konsistent aber nur schwach ausgeprägt, so dass durch Störeinflüsse auf diesen Deskriptor am ehesten eine Destabilisierung hin zu einer inkonsistenten Ausprägung des gesamten Zukunftsbilds erfolgen kann. Insgesamt ergeben sich aus dieser Vorgehensweise im vorliegenden Fall nachfolgende Werte für die Festigkeit der Zukunftsbilder und die Anzahl der destabilisierenden Deskriptoren (vgl. Tabelle 7). Die höchste Festigkeit besitzen in der Gruppe der Zukunftsbilder 1 bis 4, die insbesondere im Hinblick der zukünftigen Klimapolitik eine pessimistische Entwicklung aufzeigen, die Bilder 1 und 2 mit je einem Wert von 91. Diese Zukunftsbilder weisen zugleich jeweils zwei destabilisierende Deskriptoren auf (Beiträge der Deskriptoren "Zugang zu Sonstigen Ressourcen" und „Endenergienachfrage weltweit“ sind jeweils 0). In der Gruppe der Zukunftsbilder 5 bis 8, die tendenziell eine vertiefte Fortführung der europäischen Klimaschutzpolitik annehmen, verfügt einerseits innerhalb der Untergruppe der Bilder 7 und 8 das Zukunftsbild 7 mit einem Wert von 96 und andererseits in der Untergruppe der Bilder 5 und 6 das Zukunftsbild 5 mit einem Wert von 94 über die höchsten Festigkeitswerte. Während das Zukunftsbild 5 über keinen destabilisierenden Deskriptor verfügt, der am ehesten durch Störereignisse zur Inkonsistenz des gesamten Zukunftsbilds führen kann, besitzt Zukunftsbild 7 zwei destabilisie-

rende Deskriptoren (Beiträge der Deskriptoren "CO₂-Vermeidung EU" und "Zugang zu Energieressourcen" sind jeweils 0).

Von den acht konsistenten Zukunftsbildern wurden die Zukunftsbilder 2, 5 und 7 als diejenigen mit dem höchsten Festigkeitsgrad identifiziert. In Tabelle 7 sind die Zukunftsbilder in ihrer Festigkeit und in den Beiträgen der Deskriptoren dargestellt. Tabelle 8 konzentriert sich auf die Ausprägungen der Zukunftsbilder 2, 5 und 7.

Tabelle 7: Gesamtfestigkeit und Auswahl der Zukunftsbilder

Beiträge der Deskriptoren zur Gesamtfestigkeit	Zukunftsbild 1	Zukunftsbild 2	Zukunftsbild 3	Zukunftsbild 4	Zukunftsbild 5	Zukunftsbild 6	Zukunftsbild 7	Zukunftsbild 8
Deskriptor								
Bevölkerungsentwicklung								
Klimapolitik, Klimaschutzziele	5	5	4	4	3	3	2	2
CO ₂ -Vermeidung EU	9	9	11	11	4	4	0	0
Umweltschutz (energiebezogen)	6	8	4	4	10	10	10	10
Zukunft der EU	2	2	2	2	7	7	10	10
Globales Wirtschaftswachstum	10	12	10	14	14	10	12	8
Rohstoffpreise	9	9	7	7	5	5	1	1
CO ₂ -Zertifikatspreise	1	1	1	1	2	1	1	1
Zugang zu Energieeessourcen	4	4	4	4	2	2	0	0
Handel mit Energieressourcen	2	2	2	2	2	2	2	2
Zugang zu Sonstigen Ressourcen	0	0	0	0	1	2	2	2
Handel mit Sonstigen Ressourcen	2	2	7	7	5	5	1	1
Investitionsbereitschaft	16	16	14	14	22	22	26	26
Innovationsdynamik	4	0	2	2	8	8	18	18
Neue Stromanwendungen in der EU	4	4	4	4	4	4	7	7
Desertec & ähnliche Projekte	17	17	16	16	2	2	1	1
Endergienachfrage weltweit	0	0	0	1	3	2	3	2
Gesamtkonsistenz	91	91	88	93	94	89	96	91
Destabilisierende Deskriptoren	2	2	2	1	0	0	2	2
Ausgewählte Zukunftsbilder		X			X		X	

Tabelle 8: Konsistente Ausprägungen der drei ausgewählten Zukunftsbilder

Deskriptor	Zukunftsbild 2		Zukunftsbild 5		Zukunftsbild 7	
	Konsistente Ausprägung	Beitrag zur Gesamtfestigkeit	Konsistente Ausprägung	Beitrag zur Gesamtfestigkeit	Konsistente Ausprägung	Beitrag zur Gesamtfestigkeit
Bevölkerungsentwicklung	Migrationsentwicklung Teil der Lösung (EU-Bev nimmt zu)	X	Migrationsentwicklung Teil der Lösung (EU-Bev nimmt zu)	X	Migrationsentwicklung Teil der Lösung (EU-Bev nimmt zu)	X
Klimapolitik, Klimaschutzziele	International inferiore Stellung/ keine Klimaziele EU	5	Europäischer Alleingang	3	Europäischer Alleingang	2
CO ₂ -Vermeidung EU	Ziele werden verfehlt/ keine weiteren Ziele	9	Ziele werden erreicht/ weitere Ziele erwogen	4	Ziele werden erreicht und fortgeschrieben	0
Umweltschutz (energiebezogen)	Niedriger Stellenwert	8	Hoher Stellenwert	10	Hoher Stellenwert	10
Zukunft der EU	Zerfall	2	Weitere Integration	7	Weitere Integration	10
Globales Wirtschaftswachstum	gebremstes Wachstum	12	stark zunehmend	14	stark zunehmend	12
Rohstoffpreise	Steigen	9	Steigen	5	Steigen	1
CO ₂ -Zertifikatspreise	Stagnieren	1	Steigen leicht	2	Steigen stark	1
Energie Ressourcen - Zugang	Neue Lagerstätten	4	Neue Lagerstätten	2	Ressourcenverknappung	0
Energie Ressourcen - Handel	eingeschränkter Handel	2	freier Handel	2	freier Handel	2
Sonstige Ressourcen - Zugang	Ressourcenverknappung	0	Neue Lagerstätten	1	Neue Lagerstätten	2
Sonstige Ressourcen - Handel	eingeschränkter Handel	2	freier Handel	2	freier Handel	2
Investitionsbereitschaft	Unverändert	16	zunehmend	22	zunehmend	26
(Technische) Innovationsdynamik	Risikoaversität	0	Risikoaffinität	8	Risikoaffinität	18
Neue Strommanwendungen in der EU	Bleibt grob konstant	4	Steigt moderat	4	Steigt moderat	7
Desertec & ähnliche Projekte	Kommt nicht/kaum	17	Kommt verspätet/wenig	2	Kommt wie geplant	1
Endergie nachfrage weltweit	Steigt moderat	0	Steigt wesentlich	3	Steigt wesentlich	3
	Gesamtfestigkeit	91	Gesamtfestigkeit	91	Gesamtfestigkeit	97

Quelle: IEK-STE

IEK-STE 2013

V Storylines der zentralen Zukunftsbilder

Der Vergleich der drei Zukunftsbilder zeigt einen Deskriptor, der keinen Beitrag zur Unterscheidung liefert. Für die „Bevölkerungsentwicklung EU“ wird eine Fortschreibung des gegenwärtigen Trends mit einer Zunahme der EU-Bevölkerung unterstellt (Tabelle 9).

Eine Reihe von Deskriptoren zeigen in ihren Ausprägungen entweder eine Abgrenzung von Zukunftsbild 2 von den Zukunftsbildern 5 und 7 (z.B. „Klimapolitik“), oder eine Abgrenzung von den Zukunftsbildern 2 und 5 vom Zukunftsbild 7 (z.B. „Zugang zu Energieressourcen“).

Tabelle 9: Konsistente Ausprägungen der drei ausgewählten Zukunftsbilder

Deskriptor	Zukunftsbild 2	Zukunftsbild 5	Zukunftsbild 7
Bevölkerungsentwicklung	Migrationsentwicklung Teil der Lösung (EU-Bev nimmt zu)	Migrationsentwicklung Teil der Lösung (EU-Bev nimmt zu)	
Klimapolitik	International inferiore Stellung keine Klimaziele EU	Europäischer Alleingang	
Umweltschutz	Niedriger Stellenwert	Hoher Stellenwert	
CO ₂ -Vermeidung EU	Ziele werden verfehlt/ keine weiteren Ziele	Ziele werden tendenziell erreicht/ weitere Ziele werden erwogen	Ziele werden erreicht u. fortgeschrieben
Zukunft der EU	Zerfall	Weitere Integration	
Energie Ressourcen - Zugang	Neue Lagerstätten		Ressourcenverknappung
Energie Ressourcen - Handel	Eingeschränkter Handel	Freier Handel	
Sonstige Ressourcen - Zugang	Ressourcenverknappung	Neue Lagerstätten	
Sonstige Ressourcen - Handel	Eingeschränkter Handel	Freier Handel	
Innovationsdynamik	Risikoaversität	Risikoaffinität	
Desertec & ähnliche Projekte	Kommt nicht/kaum	Kommt verspätet/wenig	Kommt wie geplant
Globales Wirtschaftswachstum	Gebremstes Wachstum	Stark zunehmend	
Rohstoffpreise	Steigen		
CO ₂ -Zertifikatspreise	Stagnieren	Steigen leicht	Steigen stark
Investitionsbereitschaft	unverändert	Zunehmend	
Neue Stromanwendungen in der EU	Bleibt grob konstant	Steigt moderat	
Endenergienachfrage weltweit	Steigt moderat	Steigt wesentlich	

Quelle: IEK-STE

IEK-STE 2013

Bei drei Deskriptoren zeigt sich dagegen die höchste Variationsbreite, so dass jedes Zukunftsbild eine unterschiedliche Ausprägung favorisiert. Dazu zählen „CO₂-Vermeidung EU“, „Desertec & ähnliche Projekte“ sowie „CO₂-Zertifikatspreise“. Für die genannten Deskriptoren besitzt jedes Zukunftsbild allein jeweils eine Ausprägung.

Hierin liegt der Schlüssel für die Identifikation von Zukunftsbildern, deren Ausprägungen nachfolgend dargestellt sind:

1. **Zunehmender Wettbewerbsdruck – Scheitern der Klimaschutzpolitik (Zukunftsbild 1):** Ausgangspunkt ist ein länger anhaltendes global gebremstes Wirtschaftswachstum, dass sich ebenfalls auf die EU Zone auswirkt. Das deutlich hinter den Erwartungen bleibende Wirtschaftswachstum (weniger Wohlstand) führt dazu, dass ursprüngliche Prioritäten verändert werden, indem z.B. Klimaschutz einen deutlich niedrigeren Rang einnimmt. Ein globales Klimaschutzabkommen kommt nicht zustande. Aufgrund sich abzeichnender Wettbewerbsverzerrungen (global als auch innerhalb der EU) verschieben sich auch in

der EU die Prioritäten. So werden die Klimaschutzziele innerhalb der EU aufgegeben, politische Instrumente abgeschafft bzw. nicht fortgeschrieben. Vorrang besitzt die Wettbewerbsfähigkeit im globalen Kontext. Auch innerhalb der EU drohen divergierende Energie- und Klimapolitiken zu einem Wettbewerbsnachteil zu werden. Die Folge davon ist, dass auch in Deutschland Reduktionsziele sowie bislang etablierte Klimagasinstrumente (z.B. Emissionshandel, Subventionen) aufgegeben bzw. nicht weiter fortgeschrieben werden. Dies führt dazu, dass zwar in Summe die Investitionsbereitschaft unverändert bleibt, jedoch im energie- und umwelttechnischen Bereich eine deutliche Risikoaversität vorherrscht und risikobehaftete Techniken nicht eingesetzt werden.

2. ***Wohlstand für alle – Europas klimapolitische Vorreiterrolle bleibt hinter den Erwartungen zurück (Zukunftsbild II):*** Ein starkes globales Wirtschaftswachstum führt zu einem starken globalen Streben nach Wohlstand, was gegenüber anderen Zielen (z.B. Bekämpfung des Treibhauseffekts) absoluten Vorrang besitzt. Trotzdem hält die EU an den ursprünglich gesetzten Klimareduktionszielen und den implementierten Instrumenten fest und definiert für sich eine klimapolitische Vorreiterrolle. Allerdings partizipieren auch die europäischen Staaten von dem globalen Wirtschaftsboom, was wiederum zu einer zeitlichen Verfehlung der klimapolitischen Ziele führt. So steigt zwar der CO₂-Zertifikatspreis leicht an, entscheidende Investitionsreize werden jedoch nicht gesetzt, was wiederum zu einer zeitlich gehemmten Einführung neuer Techniken bzw. geplanter Initiativen (z.B. Desertec) führt. Gegenüber dem ersten Zukunftsbild sind jedoch eine zunehmende Investitionsbereitschaft und ein deutlich risikoaffineres Investitionsverhalten im energie- und umwelttechnischen Bereich festzustellen.
3. ***Ressourcenverknappung – Europas klimapolitischer Weg führt zu einer Verringerung der Klimagasemissionen und der Energienachfrage (win-win-Option) (Zukunftsbild III):*** Ein starkes globales Wirtschaftswachstum führt zu einem starken Wohlstandsstreben. Der gegenüber den Industrieländern bestehende Aufholbedarf führt zu einem erhöhten Ressourcenverbrauch und letztendlich zu einer Ressourcenverknappung. Während weltweit das Wirtschaftswachstum dominiert und die Klimapolitik immer mehr in den Hintergrund rückt, hält Europa an den ursprünglichen Emissionszielen weiter fest. Neue politische Instrumente werden implementiert und alte Instrumente fortgeschrieben. Dies führt dazu, dass die gesetzten klimapolitisch motivierten Ziele eingehalten werden. Energieeffizienz sowie der Einsatz Erneuerbarer Energien sind wesentliche Säulen dieser Entwicklung. Vor dem Hintergrund der Ressourcenverknappung und global steigender Energiepreise profitiert Europa durch eine rechtzeitig eingeleitete Klimapolitik, die auch den Ressourcenbedarf und damit auch die Importabhängigkeit deutlich verringert (win-win-Option). Gegenüber anderen Industrieländern besitzt Europa einen deutlichen Wettbewerbsvorteil. Dies führt zu einer deutlich steigenden Investitionsbereitschaft und einem risikoaffinen Investitionsverhalten insbesondere auf dem Gebiet der Umwelt- und Energietechnik. Forschung und Entwicklung besitzen auf der politischen Agenda eine sehr hohe Priorität. Der Wettbewerbsvorteil führt darüber hinaus zu einer engeren Integration der EU Länder und zu einer Harmonisierung einzelstaatlicher Politiken.

Für eine Einordnung dieser Zukunftsbilder im Rahmen von Energieszenarien sind zwei Argumente von zentraler Bedeutung. In methodischer Hinsicht erlaubt die CI-Analyse die Erstellung konsistenter Zukunftsbilder auf der Basis von Expertenwissen und unter Nutzung mathematisierter Verfahren. Im Hinblick auf die bisher für Deutschland erstellten Energieszenarien findet somit der Methodenapparat eine Erweiterung und die Erstellung von Szenarien gewinnt an Transparenz (s. methodische Einordnung von Energieszenarien für Deutschland in [Kronenberg et al., 2011]). In inhaltlicher Hinsicht richten die Zukunftsbilder den Blick auf eine klimaschutzpolitische Konstellation, die in Energieszenarien (bisher) praktisch nicht zum Tragen kommt (s. [Deutsch et al., 2011, Kronenberg et al., 2011]: Ein Scheitern der Klimaschutzpolitik (Zukunftsbild I) bzw. eine nur teilweise Erreichung von klimaschutzpolitischen Zielen (Zukunftsbild II) wird als mögliche Entwicklung thematisiert. Die Auswirkungen dieser nicht wünschenswerten, aber dennoch möglichen Entwicklungen für ein deutsches Energiesystem der Zukunft werden ebenso analysiert wie die Auswirkungen einer klimaschutzpolitisch erfolgreichen Perspektive für die Europäische Union (Zukunftsbild III).

VI Zusammenfassung

Ziel des vorliegenden Beitrags war es, über die Ermittlung und Beschreibung konsistenter Zukunftsbilder eine Grundlage für die Erstellung von Energieszenarien zu schaffen. Energieszenarien beschreiben die mögliche Ausgestaltung von zukünftigen Energiesystemen und berücksichtigen dabei verschiedene demographische, gesellschaftlich-politische, ökonomische sowie technologische Faktoren. Als Methode für die Generierung verlässlicher Zukunftsbilder wurde die Cross-Impact-Bilanzanalyse gewählt, wobei es sich um eine bestimmte Form der Cross-Impact-Analyse handelt, bei der qualitative Faktoren eine besondere Berücksichtigung erfahren (vgl. Kapitel III).

Entsprechend des Designs der Cross-Impact-Bilanzanalyse wurden die Wechselwirkungen von Einflussfaktoren auf das Energiesystem für den Zeitraum bis 2050 als Analyseziel festgelegt. Die Grenzen der Europäischen Union sowie die globalen gesellschaftlich-politischen, ökonomischen und technologischen Entwicklungen mit Einfluss auf das Energiesystem wurden dabei als Systemgrenzen für die Zukunftsbilder definiert. Im Anschluss an die diskursive Festlegung von 17 Deskriptoren mit insgesamt 44 Ausprägungen und der Bestimmung ihrer direkten Wechselbeziehungen in einer Cross-Impact-Matrix konnten mittels der computerbasierten Auswertung der Matrix acht konsistente Zukunftsbilder ermittelt werden, die sich mit Blick auf zukünftige Entwicklung der Europäischen Union jeweils zur Hälfte in eine pessimistische und eine optimistische Gruppe aufteilen lassen. Die Zukunftsbilder wurden im Hinblick auf ihren Festigungsgrad untersucht und die drei Zukunftsbilder mit dem höchsten Festigungsgrad wurden als Grundlage für die Storylines ausgewählt (vgl. Kapitel IV).

Zukunftsbilder haben den Mehrwert, dass sie klimaschutzpolitische Aspekte einflechten, die in Energieszenarien bisher zumeist keine oder nur eine unzureichende Berücksichtigung erfahren haben. Zukunftsbild 1 „Zunehmender Wettbewerbsdruck – Scheitern der Klimaschutzpolitik“ geht – basierend auf einem gebremsten globalen Wirtschaftswachstum – von einer Re-Fokussierung auf wirtschaftliche Interessen bei gleichzeitiger Aufgabe des Klima-

schutzes auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene aus. Auch in Zukunftsbild 2 „Wohlstand für alle – Europas klimapolitische Vorreiterrolle bleibt hinter den Erwartungen zurück“ rückt die Bekämpfung der globalen Erwärmung in den Hintergrund. Zwar werden die Klimaschutzziele programmatisch zumindest auf europäischer Ebene beibehalten, ein starkes globales Wirtschaftswachstum wirkt den Zielen aber de facto entgegen. Im Gegensatz zu diesen beiden Storylines präsentiert Zukunftsbild 3 „Ressourcenverknappung – Europas klimapolitischer Weg führt zu einer Verringerung der Klimagasemissionen und der Energienachfrage“ eine Win-Win-Situation. Die programmatische Beibehaltung der europäischen Klimaschutzziele bei einem gleichzeitig starken globalen Wirtschaftswachstum schlägt sich hier nicht nur in einem tatsächlichen Einhalten der Klimaschutzziele auf europäischer Ebene, sondern auch in einem daraus resultierenden Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Industrieländern nieder (Vgl. Kapitel V).

Aus den hier abgeleiteten Zukunftsbildern lassen sich unterschiedliche Entwicklungsmöglichkeiten für Energiesysteme ableiten. Für die von IEK-STE angestrebten quantitativ orientierten Energieszenarien bedarf es daher es der Übersetzung in Modell-relevante Annahmen und Rahmendaten (s. Abbildung 1). Annahmen und Rahmendaten können sich z.B. auf Art und Ausgestaltung von Klimaschutzzielen, energiepolitischen Zielen oder Vorgaben für ein Technikportfolio beziehen. Andere Annahmen übersetzen sich in Rahmendaten für mögliche Preisentwicklungen für Primärenergieträger und Kostenentwicklungen für Energietechniken oder spiegeln Zeitpräferenzen sowie Einstellungen zu Risiken und Akzeptanz von Energietechniken wider. Dazu werden in einem weiteren Report die Ergebnisse einer Arbeitsgruppe ‚Energieszenarien – Annahmen und Rahmendaten‘ vorgelegt.

VII Literaturverzeichnis

- DEUTSCH, M., ESS, F., HOBOHM, J., RITS, V., SCHLESINGER, M. & STRASSBURG, S. (2011) *Analysis and comparison of relevant mid- and long-term energy scenarios for EU and their key underlying assumptions*. Prognos, Basel.
- JENSSEN, T. & WEIMAR-JEHLE, W. (2012) *Möglichkeitsräume des zukünftigen Konsums von Wärme*. In GALLEGO CARRERA, D., WASSERMANN, S., WEIMAR-JEHLE, W. & RENN, O. (Eds.) *Nachhaltige Nutzung von Wärmeenergie. Eine technische, soziale und ökonomische Herausforderung*. 175-194, Wiesbaden, Springer Vieweg.
- KRONENBERG, T., MARTINSEN, D., PESCH, T., SANDER, M., FISCHER, W., HAKE, J.-F., KUCKSHINRICHS, W. & MARKEWITZ, P. (2012) *Energieszenarien für Deutschland: Stand der Literatur und methodische Auswertung*. In BRUNS, H. (Ed.) *Energiewende: Aspekte, Optionen, Herausforderungen*. 132-166, Bad Honnef, Deutsche Physikalische Gesellschaft.
- KRONENBERG, T., MARTINSEN, D., PESCH, T., SANDER, M., FISCHER, W., HAKE, J.-F., MARKEWITZ, P. & KUCKSHINRICHS, W. (2011) *Energieszenarien für Deutschland: Stand der Literatur und methodische Auswertung*. Forschungszentrum Juelich, STE Research Report 13/2011, Juelich.
- KUCKSHINRICHS, W. (2012) *Prospective assessment of energy systems. Contribution to midterm program evaluation 2012*. Juelich, Forschungszentrum Juelich, IEK-STE.

- VENJAKOB, J. (2012) Das Thema "Energie" in der wissenschaftlichen Zukunftsforschung. *Zeitschrift für Zukunftsforschung*, 1:1, 37-50.
- WEIMER-JEHLE, W. (2012) *Scenario Wizard 4.0, Programm zur qualitativen System- und Szenarioanalyse mit der Cross-Impact Bilanzanalyse (CIB)*. ZIRUS - Zentrum für Interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung, Universität Stuttgart.
- WEIMER-JEHLE, W., WASSERMANN, S. & KOSOW, H. (2011) *Konsistente Rahmendaten für Modellierungen und Szenariobildung im Umweltbundesamt*. Dessau-Roßlau.

Preprints 2013

- 01/2013 Stenzel, Peter, Bongartz, Richard, Kossi, Ewgenij: Potenzialanalyse für Pumpspeicher an Bundeswasserstraßen in Deutschland.
- 02/2013 Fischer, Wolfgang: Kein CCS in Deutschland trotz CCS-Gesetz?
- 03/2013 Bhandari, Ramchandra, Trudewind, Clemens A, Zapp, Petra: Life cycle assessment of hydrogen production via electrolysis – A review.
- 04/2013 Schlör, Holger, Fischer, Wolfgang, Hake, Jürgen-Friedrich: Distribution of income, energy consumption and CO₂ emissions in Germany – adapting Thurow's approach of a pure public good to the German energy sector and its CO₂ emissions.
- 05/2013 Pesch, Thiemo, Heinrichs, Heidi, Hake, Jürgen-Friedrich, Martinsen, Dag: German energy concept versus grid development plan 2012 - A discrepancy?
- 06/2013 Rübelke, Dirk, Vögele, Stefan: Time and tide wait for no man pioneers and laggards in the deployment of CCS.
- 07/2013 Stenzel, Peter, Bongartz, Richard, Fleer, Johannes, Hennings, Wilfried, Linssen, Jochen: Energiespeicher.
- 08/2013 Hansen, Patrick, Vögele, Stefan: Strategien zur Senkung der Energienachfrage der privaten Haushalte.
- 09/2013 Schlör, Holger, Fischer, Wolfgang, Hake, Jürgen-Friedrich: Germany's energy journey - The German energy strategy in the context of the German green economy approach.
- 10/2013 Trudewind, Clemens A., Schreiber, Andrea, Haumann, David: Photo-catalytic methanol and methane production using captured CO₂ from coal-fired power plants - Part I – A life cycle assessment
- 11/2013 Trudewind, Clemens A., Schreiber, Andrea, Haumann, David: Photo-catalytic methanol and methane production using captured CO₂ from coal power plants Part II – Well-to-Wheel analysis on fuels for passenger transportation services.
- 12/2013 Schumann, Diana, Fischer, Wolfgang, Hake, Jürgen-Friedrich: Energiewende und Stromnetzausbau aus Sicht der Bevölkerung.

Research Reports 2013

- 01/2013 Bhandari, Ramchandra, Trudewind, Clemens A., Zapp, Petra: Life cycle assessment of hydrogen production methods – A review.
- 02/2013 Hansen, Patrick: Private Haushalte: Politikszenerarien bis 2030 und Abschätzung von Kosten und Nutzen für klimapolitische Maßnahmen im Kontext der Energiewende.

Systems Analysis and Technology Evaluation at the Research Centre Jülich

Many of the issues at the centre of public attention can only be dealt with by an interdisciplinary energy systems analysis. Technical, economic and ecological subsystems which interact with each other often have to be investigated simultaneously. The group Systems Analysis and Technology Evaluation (STE) takes up this challenge focusing on the long-term supply- and demand-side characteristics of energy systems. It follows, in particular, the idea of a holistic, interdisciplinary approach taking an inter-linkage of technical systems with economics, environment and society into account and thus looking at the security of supply, economic efficiency and environmental protection. This triple strategy is oriented here to societal/political guiding principles such as sustainable development. In these fields, STE analyses the consequences of technical developments and provides scientific aids to decision making for politics and industry. This work is based on the further methodological development of systems analysis tools and their application as well as cooperation between scientists from different institutions.

Leitung/Head: Prof. Jürgen-Friedrich Hake

Forschungszentrum Jülich

Institute of Energy and Climate Research

IEK-STE: Systems Analysis and Technology Evaluation

52428 Jülich

Germany

Tel.: +49-2461-61-6363

Fax: +49-2461-61-2540

Email: preprint-ste@fz-juelich.de

Web: www.fz-juelich.de/ste