

# ERSTELLUNG VON ENERGIE- UND INNOVATIONS- SZENARIEN MIT DER CROSS-IMPACT- BILANZANALYSE: INTERNATIONALISIERUNG VON INNOVATIONSSTRATEGIEN IM BEREICH DER KOH- LEKRAFTWERKSTECHNOLOGIE

**Wolfgang Weimer-Jehle, Sandra Wassermann, Gerhard Fuchs**

ZIRN – Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Risiko und Nachhaltige Technikentwicklung der Universität Stuttgart, Seidenstr. 36, 70174 Stuttgart, Tel.: +49 (0)711-685-83890/84812/84301, Fax: +49 (0)711-685-82487, gerhard.fuchs@sowi.uni-stuttgart.de, sandra.wassermann@sowi.uni-stuttgart.de, wolfgang.weimer-jehle@sowi.uni-stuttgart.de, www.zirn-info.de, www.cross-impact.de

**Kurzfassung:** Szenarien sind heute ein in Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung verbreitetes Instrument um die Unsicherheit von Zukunftsentwicklungen in strategischen Planungen zu berücksichtigen. In der Energieversorgung, die einerseits eine kritische Infrastruktur darstellt und deren Entwicklung sich andererseits in hochkomplexen Zusammenhängen zwischen technologischen, politischen, wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und ökologischen Prozessen vollzieht, spielen Szenarioanalysen traditionell eine besonders große Rolle. Die Cross-Impact Bilanzanalyse (CIB) bietet hierzu ein Instrumentarium mit dessen Hilfe qualitativ definierte Wirkungsnetze analysiert und Szenarien abgeleitet werden können. Dieser Beitrag berichtet von der Anwendung der CIB Methode auf die Frage, unter welchen Bedingungen die Internationalisierungsstrategien der in Deutschland angesiedelten Multinationalen Unternehmen (MNU) im Bereich der Kohlekraftwerkstechnologien dazu führen könnten, dass diese ihre F&E-Aktivitäten nach China verlagern.

Im Rahmen des Projektes wurden mehrere Expertenworkshops mit einem Kreis aus vier Internationalisierungswissenschaftlern, zwei Branchenexperten aus Unternehmen, einem Verbandsvertreter und einem Vertreter einer Forschungsförderungsinstitution durchgeführt. Dabei wurden zunächst die 19 wichtigsten Einflussfaktoren auf die Strategiewahl der deutschen und chinesischen Branchen-MNU identifiziert und ihre mögliche Entwicklung bis 2020/25 qualitativ abgeschätzt. In zwei weiteren Workshops wurden die Wechselbeziehungen zwischen den Einflussfaktoren auf einer Ordinalskala diskutiert und eingeschätzt und schließlich mögliche Störereignisse („Wildcards“) erörtert. Aus dem resultierenden qualitativen Systemmodell wurden die mit den Einschätzungen konsistenten Szenarien mit der CIB-Methode bestimmt. Ohne Störereignisse zeichnete sich dabei eine klare Tendenz zu einer für den F&E-Standort Deutschland günstigen Entwicklung ab. Störereignisse wie eine „globale Akzeptanzkrise der CCS-Technologie“ könnten dagegen die Umfeldbedingungen (politisches Klima, inländische Nachfrage, Technikerfahrungen) so weit zuungunsten des F&E Standorts Deutschland verändern, dass eine längerfristige Hinorientierung der MNU zu anderen F&E-Standorten in den Bereich des Möglichen rückt.

**Keywords:** Innovation, Kohlekraftwerk, Internationalisierung, Cross-Impact-Analyse

## 1 Einleitung

Die Cross-Impact Analyse „Internationalisierung von Innovationsprozessen war Teil des von der VW-Stiftung geförderten Projektes „The Significance of Germany as a Site for Power Plant Construction Against the Background of an Increasing Internationalization of Innovation Processes“. In diesem Projekt des Forschungszentrums Jülich Abt. STE (Gesamtleitung), des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW), Mannheim, und des Interdisziplinären Forschungsschwerpunkts für Risiko und Nachhaltige Technikentwicklung der Universität Stuttgart (ZIRN) sollten die bisherigen Internationalisierungsentwicklungen in der Kohlekraftwerkstechnologie durch „Process tracing“ nachvollzogen [Vögele et al. 2010], die Anwendbarkeit des „Lead market“-Konzeptes auf diese Fragestellung geprüft [Rennings und Smidt 2009] und die zukünftige Wirkung der Internationalisierung auf den Technologie-Standort Deutschland durch eine Interdependenzanalyse abgeschätzt werden. Die Leitfrage des zuletzt genannten Projektteils lautete:

*Unter welchen Umständen könnten die Internationalisierungsstrategien multinationaler Unternehmen (MNU) dazu führen, dass Deutschland seine führende Stellung als F&E-Standort in der Kohlekraftwerkstechnologie an aufstrebende Technologiestandorte mit großen Absatzmärkten verliert?*

Die systematische Erörterung der Interdependenzen zwischen den Einflussfaktoren der Internationalisierung und der Identifizierung ihrer Implikationen sollte in Form einer Cross-Impact Analyse durchgeführt werden, die es erlaubt, neben quantifizierbaren Faktoren auch qualitative Aspekte aus den Bereichen Politik, Standortqualitäten, kulturelle Eigenarten, etc. zu berücksichtigen, Experteneinschätzungen hierzu zu verwerten und diese Informationen unter Beachtung der systemischen Aspekte ihrer Interdependenzen konsistent zu einem Szenario zu integrieren. Um diese Ziel zu erreichen wurde auf eine Form der Cross-Impact Analyse, CIB, zurückgegriffen, die speziell für die Anforderungen einer diskursgestützten qualitativen Systemanalyse entwickelt wurde [Weimer-Jehle 2001, 2006, 2008, 2009a, 2009b].

Zur Operationalisierung der Leitfrage dieses Teilprojekts wurde die Cross-Impact Analyse auf folgende Frage - bezogen auf die Kohlekraftwerkstechnologie - ausgerichtet:

*Welche strategischen Optionen haben die in Deutschland und China tätigen MNU bei der F&E-Internationalisierung für den Zeitraum 2020-2025, welche Einflussfaktoren werden ihre Strategiewahl vor allem beeinflussen und welche Szenarien lassen sich daraus ableiten?*

2020/25 wurde als Zeithorizont der Szenariobetrachtung gewählt da ein näherer Zeitpunkt substantielle Veränderungen bereits aus Zeitgründen ausschließen würde und andererseits die Überlegungen zu möglichen Entwicklungen bei längeren Zeithorizonten stark spekulativ würden. Die unscharfe Definition des Zeithorizonts soll auf die Unmöglichkeit hinweisen, die diskutierten Entwicklungen zeitlich genau festzulegen. Das Länderpaar Deutschland – China wurde ins Zentrum der Analyse gestellt da es exemplarisch die Beziehung zwischen einem etablierten Technologieführer und einem aufstrebenden Technologiestandort mit dominierendem Markt repräsentiert.

## 2 Essentielle Systemfaktoren und ihre Interdependenz

Cross-Impact Analysen und allgemein Szenarioanalysen erfordern als einleitenden Schritt die Identifikation der wesentlichen Einfluss- und Beschreibungsfaktoren einer Fragestellung (Deskriptoren). Dieser Arbeitsschritt ist von elementarer Wichtigkeit für die Qualität der Analyse, da die späteren Analyseschritte notwendig alle Effekte ausblenden, die mit wichtigen, aber übersehenen Einflussfaktoren zusammenhängen. Die Auswahl der Faktoren erfolgte im Rahmen eines Expertendiskurses. Das verwendete Verfahren entspricht methodisch einem Gruppendelphi [Schulz und Renn 2009]. Die Ergebnisse des Gruppendelphis und der CIB-Auswertung werden in den folgenden Kapiteln dargestellt.

### 2.1 Strategien und Einflussfaktoren

Die durch Literaturlauswertung allgemein als relevant identifizierte MNU-Internationalisierungsstrategien sind in Tabelle 1 dargestellt (vgl. Vögele et al. 2010). Die identifizierte Einflussfaktoren auf die Strategiewahl aus den Feldern Politik, Branche, Standortqualität, F&E und MNU-Eigenschaften zeigt Tabelle 2.

Tab. 1: Literaturlauswertung identifizierte Internationalisierungsstrategien der MNU.

Strategie (Kurzbezeichnung)	Beschreibung	Strategische Ziele
Asset augmenting	F&E Aktivitäten werden ins Zielland (d.h. von Deutschland nach China oder umgekehrt) verlagert, um von dort existierendem technologischem Wissen zu profitieren.	Stärkung des Mutterkonzerns. Stärkung des Ausgangsstandorts durch späteren Wissenstransfer zurück.
Asset exploiting	Das Zentrum der F&E bleibt im Mutterland. Die dort entwickelte Technologie wird auf dem Weltmarkt verkauft. Ausländische F&E-Abteilungen werden nur gegründet, um ausländische Produktionsstätten technologisch zu unterstützen und um gegebenenfalls Anpassungsentwicklungen für die ausländischen Märkten vorzunehmen.	Ausnutzung bestehender firmenspezifischer technologischer Überlegenheiten auf ausländischen Märkten.
Technology seeking	F&E-Aktivitäten werden in ein Zielland verlagert, das über ausgewiesene Stärken in jenem Sektor verfügt, in dem sich die Firma zukünftig engagieren möchte, sie aber bislang noch keine ausreichenden Kompetenzen besitzt.	Überwindung einheimischer und firmenspezifischer Schwächen in einem bestimmten technologischen Feld.
Market seeking	Firmen mit geringen F&E-Kapazitäten gehen in fremde Märkte, die technologisch ebenfalls wenig sophistiziert sind.	Erschließung von Märkten.

Zur Gewichtung der Bedeutung der identifizierte Einflussfaktoren speziell für die Branche der Kohlekraftwerkstechnologie und für in den Ländern Deutschland und China ansässigen MNU wurde ein Kreis von deutschen Expertinnen und Experten zunächst schriftlich befragt und dann in einem Workshop gebeten, länderspezifisch die Gruppe der wichtigsten Faktoren und Strategien zu benennen. Beteiligt waren vier Branchenexperten (zwei Technologieexperten aus zwei unterschiedlichen in Deutschland tätigen MNU, ein Experte aus einem Branchenverband, ein Experte aus dem Bereich der Forschungsförderung) und fünf Innovations- und Internationalisierungswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler (darunter Personen mit speziellen Kenntnissen zum chinesischem Innovationssystem).

Tab. 1: Mittels Literaturliteraturauswertung identifizierte Einflussfaktoren für die Strategiewahl der MNU.

<b>A. Feld „Politik“</b>		
1	Patentgovernance	Kollektive Regelung des Schutzes geistigen Eigentums
2	Kohlepolitik	Energiapolitische Ziele im Hinblick auf den Umgang mit Kohle und Kohlekraftwerkstechnologien
3	Umweltstandards	Von der Politik gesetzte Umweltstandards
4	Innovationsförderung	Politische Programme und Instrumente zur Förderung der Entwicklung und Diffusion neuer Technologien
5	Globalisierungspolitik	Politik der gezielten Öffnung oder Abschottung des heimischen Marktes
6	Politikstabilität	Dauerhaftigkeit der politischen Rahmensetzungen (nicht zu verwechseln mit Nr. 25: „Standortqualität: Politische Stabilität“).
<b>B. Feld „Branche“</b>		
7	Branchenstruktur	Struktur der Wertschöpfung im Kohlekraftwerksektor
8	inländische Nachfrage	Stärke der inländischen Nachfrage in D. bzw. China nach Kohlekraftwerken
9	Produktion am Standort	Vorhandensein und Herkunft der Produzenten
10	Marktstruktur	Wettbewerbsstruktur der Branche
11	Technologie	Entwicklungsstand der eingesetzten Technologie
<b>C. Feld „F&amp;E“</b>		
12	Humankapital	Verfügbarkeit von hochqualifiziertem Personal für F&E
13	Wissensexzellenz	Wissensbasis und Wissensfortschritt (gemessen durch Anzahl von Publikationen und Patenten)
14	Wissenskultur	Austausch von Wissen innerhalb der Wissenschaft und zwischen Wissenschaft und Industrie
15	F&E-Struktur	Aufschlüsselung der Forschungslandschaft nach Art der F&E
16	Innovationszentrum	Innovationszentren (IZ) sind Regionen mit Firmen oder Forschungszentren, die eine hohe Rate an innovativem technologischem Output im untersuchten Sektor aufweisen und globale Anziehungskraft besitzen.
17	Vernetzung	Einbettung der relevanten Akteure im Sektor in kooperative Strukturen. Die Vernetzung kann sich z.B. auf die Einbindung von Firmen in Forschungsnetzwerke oder auch auf enge, kooperative Beziehungen zu Lieferanten und Kunden beziehen.
18	Time-to-market	Zeit von der Entwicklung über die Produktion bis zur erfolgreichen Distribution.
<b>D. Feld „Standortqualität“</b>		
19	Personalkosten (insbesondere F&E)	Höhe der Personalkosten (Löhne und Lohnnebenkosten) im F&E-Bereich.
20	Verwaltungseffizienz	Arbeitstempo und Zuverlässigkeit von Ämtern und Behörden
21	Finanzierung	Möglichkeiten der Finanzierung von F&E
22	Technische und Verkehrsinfrastruktur	Vorhandensein bzw. Erreichbarkeit von Flughäfen, Verkehrswegen, Glasfasernetzen etc.
23	Korruption	Vorhandensein von Korruption
24	Steuerbelastung	Steuerliche Belastung von Unternehmen im Vergleich zum OECD-Durchschnitt.
25	Politische Stabilität	Stabilität der bestehenden Strukturen und Machtverhältnisse
26	Regulierungsdichte	Quantität und Qualität der Gesetze und Vorschriften am Standort
<b>E. Feld „MNU“</b>		
27	Anvisierter Markt	Anvisierter Absatzmarkt eines MNU
28	In OECD vorherrschende MNU-Strategien	Aktivitäten anderer (nicht deutscher oder chinesischer) in OECD-Ländern heimischer MNU in Deutschland bzw. China
29	Kontrollstrukturen	Verhältnis der Konzernzentrale zur ausländischen Niederlassung
30	Wissenscharakteristik	Wissen ist teilweise kontextunabhängig und lässt sich in Form von Publikationen und Patente messen. Es kann aber auch kontextabhängig sein, etwa indem es in Mitarbeitern und Produktionsabläufen verankert ist.
31	Formale Transfermechanismen	Formale Mechanismen für den Transfer von Wissen; sowohl vom Mutterkonzern zum Standort als auch umgekehrt
32	Informelle Transfermechanismen	Informelle Mechanismen für den Transfer von Wissen; sowohl vom Mutterkonzern zum Standort als auch umgekehrt
33	Transferkapazitäten	Möglichkeiten der Zentrale, neues Wissen, das an einem ausländ. Standort produziert wird, zu absorbieren und umzusetzen
34	Globalisierungsformen	Rechtliche Form, die für ausländische Aktivitäten gewählt wird

Als Ergebnis des Workshops benannten die Expertinnen und Experten 19 essenzielle Faktoren, die als Umfeldbedingungen in Deutschland und China die Strategieentscheidungen der deutschen und chinesischen MNU wesentlich prägen könnten. Für jeden dieser Faktoren gaben die Expertinnen und Experten in qualitativer Einschätzung an, welche Entwicklung der Faktor bis 2020/25 nehmen könnte. Für 8 der 19 Faktoren sah der Expertenkreis eine absehbare Entwicklung und vergab nur eine Projektion („Rahmendeskriptoren“). Für die anderen 11 Faktoren wurde die Unsicherheit der Entwicklung durch je zwei qualitativ formulierte Alternativprojektionen ausgedrückt („variable Deskriptoren“). Schließlich wurden für die deutschen und chinesischen MNU jeweils die relevantesten Strategieoptionen („Zieldeskriptoren“) identifiziert. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tab. 3: Auswahl der Rahmenbedingungen, variablen Deskriptoren und Zieldeskriptoren gemäß Expertenworkshop I. Mit „D“ markierte Rahmenbedingungen oder Deskriptoren beziehen sich auf Deutschland, mit „C“ markierte auf China.

Rahmenbedingungen	Variante Deskriptoren
<b>D I Politik Patentgovernance</b> Regulierung und Durchsetzung strikt	<b>D1 Politik Kohlepolitik</b> kohlekritisch kohletolerant an CCS gekoppelt
<b>D II Branche Branchenstruktur</b> Komponenten+Anlagen+F&E	<b>D2 Politik Umweltstandards</b> strikt sehr strikt (nahe BAT)
<b>D III F&amp;E Innovationszentrum mit Vernetzung</b> Land besitzt virtuelles IZ für den Sektor	<b>D3 Politik Innovationsförderung</b> Forschungsgelder+Netzwerkpolitik F.gelder+NW.politik+Demoprojekte
<b>D IV Standort Regulierungsdichte</b> hoch	<b>D4 Branche Inländische Nachfrage</b> stabil neue Dynamik (an CCS gekoppelt)
<b>D V MNU Anvisierter Markt</b> Weltmarkt	<b>D5 Branche Technologie</b> CCS: nur Einzelanwendungen CCS: beginnender Markteinsatz
<b>D VI MNU Wissenscharakteristik</b> kontextabhängig + implizit	<b>D6 F&amp;E F&amp;E-Aktivitäten</b> sinkend stabil
<b>C I Politik Patentgovernance</b> Regulierung strikt / Durchsetzung lax	<b>D7 MNU Strategie</b> nur asset exploiting auch Vorläuferentwicklung asset augmenting
<b>C II Politik Globalisierungspolitik</b> Marktöffnung	<b>C1 Politik Kohlepolitik</b> neutral kohlefreundlich
	<b>C2 Politik Umweltstandards / Durchsetzung</b> mäßig steigend
	<b>C3 Branche Inländische Nachfrage</b> rückläufig neue Dynamik (an CCS gekoppelt)
	<b>C4 F&amp;E Innovationszentrum</b> Land besitzt kein IZ für den Sektor sich herausbildendes IZ für den Sektor
	<b>C5 MNU Anvisierter Markt</b> heimischer Markt Deutschland
	<b>C6 MNU Strategie</b> Technology seeking Asset augmenting (nicht in D) Asset augmenting (in D)

Es fällt auf, dass sechs auf Deutschland bezogene Faktoren als in ihrer Entwicklung absehbar eingestuft wurden (Rahmenbedingungen), jedoch nur zwei auf China bezogene Faktoren. Dies könnte dahin gehend interpretiert werden, dass sich die chinesische Politik, Gesellschaft und Technologieentwicklung in einer dynamischeren Phase befinden und die Entwicklung daher wenig eindeutig ist. Es mag aber auch eine Rolle spielen, dass es einem aus deutschen Expertinnen und Experten zusammengesetzten Kreis trotz vorhandener Chinaexpertise schwerer fiel, chinesische Entwicklungen abzusehen als deutsche.

Mit Blick auf die von den Expertinnen und Experten getroffene Auswahl der wichtigsten Einflussfaktoren fällt auch auf, dass viele von den Innovationswissenschaften im Allgemeinen für entscheidend erachteten Faktoren wie Finanzierung (d.h. Kapitalverfügbarkeit), Humanressourcen, Wissensexzellenz, u.a. nicht als erstrangige Einflussfaktoren ausgewählt wurden. Darin drücken sich die Einschätzungen insbesondere der Branchenexperten zu den sektoralen Besonderheiten der Kohlekraftwerktechnologie aus.

Auch die als Rahmenbedingungen eingeschätzten Faktoren sollten nicht so verstanden werden, dass sie unter allen Umständen Bestand haben werden. Durch neue Entwicklungen, z.B. im politischen Bereich, sind auch in diesen Fällen Änderungen denkbar. So wurde z.B. in Expertengesprächen darauf hingewiesen, dass die Absicht der EU-Kommission, EU-Finanzierungshilfen zur Durchführung von CCS-Demoprojekten an eine Weitergabe des gewonnenen Zusatzwissens an China zu binden („knowledge sharing“), zur Unterlaufung des gegenwärtig strikten Schutzes geistigen Eigentums in Deutschland (Rahmenbedingung D I in Tabelle 3) führen könnte. Die Einstufung von Faktoren als Rahmenbedingungen soll also lediglich ausdrücken, dass die Entwicklung im betreffenden Faktor aus Sicht der Experten wesentlich stärker festgelegt ist als bei den variablen Deskriptoren.

## 2.2 Die Interdependenz der Strategien und Einflussfaktoren

Der nächste Schritt der Cross-Impact Analyse besteht in der Beurteilung der Interdependenzen zwischen den variablen Deskriptoren. Gemäß der verwendeten CIB Methode wird dabei für jedes Deskriptorpaar beurteilt, ob der Eintritt einer Deskriptorentwicklung das Auftreten einer bestimmten Entwicklung des anderen Deskriptors fördert oder behindert. Die Beurteilung wird auf einer Ordinalskala von +3 (stark fördernd) über 0 (kein Einfluss) bis -3 (stark hemmend) abgegeben. Im Beispiel unten wird der Einfluss der deutschen F&E-Aktivitäten auf den Diffusionsstand der CCS-Technologie beurteilt.

	<b>D4 Branche Technologie</b>	
	CCS : nur Einzelanwendungen CCS : beginnender Markteinsatz	
<b>D6 F&amp;E F&amp;E-Aktivitäten</b>	sinkend	+1 -1
	stabil	-2 +2

Das grau hinterlegte Feld mit dem Urteil „-1“ drückt beispielsweise aus, dass sich sinkende F&E-Aktivitäten in Deutschland schwach hemmend auf die Entwicklung eines beginnenden Markteinsatzes der CCS-Technologie in Deutschland innerhalb des Szenariozeithorizonts auswirken. Die Standardbewertungsskala für die Einflusswirkung besteht zwar aus ganzen Zahlen zwischen -3 und +3, die Experten waren aber eingeladen, auch höhere oder nicht-ganzzahlige Bewertungen zu vergeben wenn sie dies für erforderlich hielten; die CIB-Methode setzt hier keine Einschränkungen.

Die Beurteilung der Interdependenzen erfolgte durch den Expertenkreis in zwei weiteren Workshops. Bei strittigen Bewertungen wurden zunächst die Argumente für die verschiedenen Positionen ausgetauscht und eine gemeinsame Bewertung angestrebt. Dies war in den ganz überwiegenden Fällen auch möglich. In den Fällen, in denen die Einschätzungsunterschiede bestehen blieben, wurden die alternativen Bewertungen als Urteilsvariante dokumentiert. Das Ergebnis der Bewertungen ist in Tabelle 4 in Matrixform dargestellt. In der Zeile „Rahmenbedingungen“ wurde die aggregierte Wirkung der in Tabelle 3 links aufgeführten Rahmenbedingungen auf die variablen Deskriptoren abgeschätzt. Für die farblich hinterlegten Felder der Matrix wurden Dissensurteile abgegeben, die in den weiteren Analyse in Variantenrechnungen berücksichtigt wurden.

Tab. 4: Cross-Impact Matrix der variablen Deskriptoren.

Cross-Impact Urteile zu den direkten Einflusswirkungen (Zeile wirkt auf Spalte)	D1 Politik Kohlepolitik		D2 Politik Umweltstandards		D3 Politik Innovationsförderung		D4 Branche Inländische Nachfrage		D5 Branche Technologie		D6 F&E F&E-Aktivitäten		D7 MNU Strategie		C1 Politik Kohlepolitik		C2 Politik Umweltstandards/Dur.		C3 Branche Inländische Nachfrage		C4 F&E Innovationszentrum		C5 MNU Anvisierter Markt		C6 MNU Strategie		
	kohlekritisch kohletolerant an CCS gekoppelt	strikt	strikt sehr strikt (nahe BAT)	sehr strikt (nahe BAT)	Forschungsgelder+Netzwerkpolitik F.gelder+NW.politik+Demoprojekte	stabil	neue Dynamik (an CCS gekoppelt)	CCS: nur Einzelanwendungen CCS: beginnender Markteinsatz	sinkend stabil	nur asset exploiting auch Vorläuferentwicklung asset augmenting	neutral kohlefreundlich	mäßig steigend	rückläufig neue Dynamik (u.a. an CCS gekopp.)	Land besitzt kein IZ sich herausbildendes IZ	heimischer Markt Deutschland	Technology seeking Asset augmenting (nicht in D) Asset augmenting (in D)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>D1 Politik Kohlepolitik</b> kohlekritisch kohletolerant an CCS gekoppelt																											
<b>D2 Politik Umweltstandards</b> strikt sehr strikt (nahe BAT)																											
<b>D3 Politik Innovationsförderung</b> Forschungsgelder+Netzwerkpolitik F.gelder+NW.politik+Demoprojekte																											
<b>D4 Branche Inländische Nachfrage</b> stabil neue Dynamik (an CCS gekoppelt)																											
<b>D5 Branche Technologie</b> CCS: nur Einzelanwendungen CCS: beginnender Markteinsatz																											
<b>D6 F&amp;E F&amp;E-Aktivitäten</b> sinkend stabil																											
<b>D7 MNU Strategie</b> nur asset exploiting auch Vorläuferentwicklung asset augmenting																											
<b>C1 Politik Kohlepolitik</b> neutral kohlefreundlich (wie bisher)																											
<b>C2 Politik Umweltstandards / Durchsetzung</b> mäßig steigend																											
<b>C3 Branche Inländische Nachfrage</b> rückläufig neue Dynamik (an CCS gekoppelt)																											
<b>C4 F&amp;E Innovationszentrum</b> Land besitzt kein IZ für den Sektor sich herausbildendes IZ für den Sektor																											
<b>C5 MNU Anvisierter Markt</b> heimischer Markt Deutschland																											
<b>C6 MNU Strategie</b> Technology seeking Asset augmenting (nicht in D) Asset augmenting (in D)																											
<b>00 Rahmenbedingungen</b> Summenwirkung																											

### **2.3 Störereignisse**

Szenarien sind keine Prognosen, sondern in sich konsistente mögliche Entwicklungen. Sie sind nicht mit dem Anspruch verbunden, eine andere Entwicklung sei undenkbar oder unwahrscheinlich. Bei ihrer Erstellung werden explizit und implizit bestimmte Umfeldentwicklungen vorausgesetzt oder ausgeschlossen, die anderenfalls zu deutlich anderen Ereignisverläufen führen könnten. Um das Verständnis für die Anfälligkeit einer szenarienhaften Entwicklung gegen überraschende Ereignisse zu fördern kann eine Störereignisanalyse durchgeführt werden.

In dieser Arbeitseinheit wurden die Expertinnen und Experten gebeten, Störereignisse zu benennen, die die grundsätzlichen Annahmen, denen ihre Einschätzungen in den zurückliegenden Arbeitseinheiten zugrundelagen, in Frage stellen wurden. Dabei sollte auch die Nennung von Störereignisse zulässig sein, die aus heutiger Sicht eher unwahrscheinlich erscheinen, denn die Erfahrungen in der Zukunftsforschung lehren, dass die Quellen späterer Entwicklungsbrüche im Vorfeld häufig in ihrer Wahrscheinlichkeit unterschätzt werden. Wichtigstes Kriterium war daher, Ereignisse zu identifizieren, die konträr zu den bisher in ihren Beurteilungen unterlegten Vorstellungen sind und massive Auswirkungen hätten.

Die Expertinnen und Experten nannten daraufhin 14 Störereignisse aus den Feldern Politik, Gesellschaft, Wirtschaft, Technologie, Ökologie und Wissenschaft und schätzten ihre Wirkung ein. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 angegeben.

Die Auswirkungen der benannten Störereignisse konzentrieren sich überwiegend auf den Nachfrageaspekt der Kohletechnologie. Auf sehr unterschiedlichen Wegen wird entweder das gesellschaftliche Interesse speziell an der CCS-Technologie (das zentrale Technologieprojekt der Branche) oder an Kohlekraftwerken überhaupt überraschend gesteigert oder gemindert. Teilweise könnten die Störereignisse auch die Nachfrage nach CCS zerstören, nach anderen Kohlekraftwerkstechnologien aber aufleben lassen (Beispiel: „anthropogener Klimawandel widerlegt“). Das Störereignis „Regionalisierung statt Globalisierung“ im Feld „Politik“ bildet eine Ausnahme, da es nicht in erster Linie bei der Technologienachfrage ansetzt, sondern die Interdependenzen, die dem Szenario zugrundeliegen, wohl am umfassendsten verändern würde.

### **2.4 Die Szenariokonstruktion**

Szenarien sind „...an internally consistent view of what the future might turn out to be - not a forecast, but one possible future outcome“ [5]. Ihr Wert liegt darin, die Robustheit strategischer Planungen in Frage zu stellen und dadurch zu fördern. Ihre Qualität misst sich nicht daran, ob ein Szenario rückwirkend durch die tatsächliche Entwicklung bestätigt wird, was in einer Welt multipler Zukünfte stets nur ein Zufallstreffer sein könnte. Sie beurteilt sich daran, dass das zur Jetztzeit verfügbare Problemverständnis umfassend und konsistent zusammengefügt werden konnte und dadurch eine aus gegenwärtiger Sicht bestehende Möglichkeit thematisiert wird, wobei Vollständigkeit der Problemsicht vor Detaillierung geht.

Tab. 5: Liste möglicher Störereignisse.

Ereignis		Wirkung
<b>Politik</b>	A. Scheitern der internationalen Klimaschutzbemühungen B. Regionalisierung statt Globalisierung	A. Keine verbindliche Vorgaben, Treibhausgasemissionen zu vermindern B. Kein weltweites, gemeinschaftliches Vorgehen beim Klimaschutz; Stop Globalisierung
<b>Gesellschaft</b>	C. Negativ verlaufende gesellschaftliche Diskussion der CCS-Technologie (Transport und Speicherung) D. Renaissance Kernenergie E. Kernschmelzunfall	C. Weltweit keine Akzeptanz von CCS (Transport und Speicherung) D. Nachlassendes politisches Interesse an Kohle E. Verstärktes Interesse an Alternativen (inklusive Kohle)
<b>Wirtschaft</b>	F. Dauerhafte Weltwirtschaftskrise (verringertes Strombedarf; Schwierigkeiten bei der Kapitalbeschaffung) G. Dauerhaft hohe Energiepreise	F. Variante 1: Vermindertes Interesse an Klimaschutz F. Variante 2: Gleichbleibendes Interesse zur Stärkung einiger Wirtschaftszweige G. Politische Prioritäten ändern sich im Hinblick auf Energiemix und Technologien
<b>Technologie</b>	H. Durchbruch bei kostengünstigen Erneuerbaren Energien (inklusive Speichermöglichkeiten) I. Unerwarteter Durchbruch bei einer anderen Technologie (Kernfusion etc.) J. Netzzusammenbruch über mehrere Tage K. Langfristiger Versorgungsengpass bei Erdgas	H. Verminderter Bedarf an CCS-Lösungen I. Alle verfügbaren Mittel fließen in die Entwicklung dieser Technologie J. Politische Prioritäten ändern sich im Hinblick auf Versorgungssicherheit (Reservekapazitäten) K. Politische Prioritäten ändern sich im Hinblick auf Versorgungssicherheit (Reservekapazitäten)
<b>Ökologie</b>	L. Dramatische Klimaereignisse M. Magnetstürme	L. Druck auf Klimaschutzmaßnahmen erhöht oder Druck auf Versorgungssicherheit erhöht M. Siehe Netzinstabilität
<b>Wissenschaft</b>	N. Anthropogener Einfluss auf Klimawandel widerlegt	N. Kein CCS mehr notwendig

Die Szenariokonstruktion im vorliegenden Fall fußt auf der Auswahl der relevanten Beschreibungs- und Einflussgrößen und ihrer Interdependenzen, wie sie in den vorausgegangenen Kapiteln beschrieben wurde. Mit dem CIB-Verfahren lassen sich daraus systematisch Szenarien konstruieren, wobei alle kombinatorisch möglichen Szenariokonfigurationen<sup>1</sup> durch ein Computerprogramm<sup>2</sup> geprüft und alle Konfigurationen als Ergebnis ausgegeben werden, die nicht im Widerspruch zu dem durch die Cross-Impact Matrix in Tabelle 4 beschriebenen Wirkungsgeflecht stehen. Der dabei angewendete Selektionsprozess prüft, ob alle in einem

<sup>1</sup> Hier existieren  $2^{12} \cdot 3 = 12288$  mögliche Szenariokonfigurationen, da die Cross-Impact Matrix aus 12 Deskriptoren mit 2 alternativen Zuständen und einem Deskriptor mit 3 Zuständen besteht.

<sup>2</sup> Weimer-Jehle W.: *ScenarioWizard* - Programm zur qualitativen Szenarioanalyse mit der Cross-Impact Bilanzanalyse. Eine freie Basisversion der Software ist unter [www.cross-impact.de](http://www.cross-impact.de) erhältlich.

Szenario angenommenen Deskriptorzustände in plausibler Übereinstimmung mit den auf sie wirkenden Einflüssen stehen. Eine Szenarioannahme gilt in CIB als unplausibel, wenn die Summe der auf sie wirkenden Einflüsse stärker für eine andere Annahme spricht, Szenarien, die in diesem Sinn widerspruchsfrei sind, bestehen aus einem Geflecht sich gegenseitig stützender Annahmen. Eine ausführlichere Beschreibung der Szenarioprüfung mit CIB ist in [CIB-1] enthalten.

## 2.5 Das Rohszenario

Wieviele Szenarien sich bei der Auswertung einer CIB-Matrix ergeben hängt von den Interdependenzdaten ab. In der Regel lassen die Daten mehrere Lösungsmöglichkeiten zu, wodurch ein Raum der Möglichkeiten aufgespannt und Multiplizität von Zukunft repräsentiert wird. Wenn die Cross-Impacts jedoch eindeutig auf eine bestimmte Konfiguration verweisen und jede andere Konfiguration mit eindeutigen Widersprüchen zu den Interdependenzschätzungen verbunden ist, dann führt die Analyse auf ein Einzelszenario. Diese Eindeutigkeit ist Teil des Befundes und Gegenstand der Ergebnisdeutung. Bei der in Tabelle 4 dargestellten Matrix ist dies der Fall: sie besitzt eine eindeutige Lösung, die in Tabelle 6 gezeigt wird.

Tab. 6: Das Rohszenario - die einzige mit den in Tabelle 4 angegebenen Cross-Impact Daten konsistente Kombination von Deskriptorzuständen.

Rahmendeskriptoren	
 Politik Patentgovernance :	Regulierung und Durchsetzung strikt
 Branche Branchenstruktur :	Komponenten+Anlagen+F&E
 F&E Innovationszentrum mit Vernetzung :	Land besitzt virtuelles IZ für den Sektor
 Standort Regulierungsdichte :	hoch
 MNU Anvisierter Markt :	Weltmarkt
 MNU Wissenscharakteristik :	kontextabhängig + implizit
Variable Deskriptoren	
 Politik Kohlepolitik :	kohletolerant an CCS gekoppelt
 Politik Umweltstandards :	sehr strikt (nahe BAT)
 Politik Innovationsförderung :	Fördergelder+NW.politik+Demoprojekte
 Branche Inländische Nachfrage :	neue Dynamik (an CCS gekoppelt)
 Branche Technologie :	CCS: beginnender Markteinsatz
 F&E F&E-Aktivitäten :	stabil
 MNU Strategie :	nur asset exploiting
Rahmendeskriptoren	
 Politik Patentgovernance :	Regulierung strikt / Durchsetzung lax
 Politik Globalisierungspolitik :	Marktöffnung
Variable Deskriptoren	
 Politik Kohlepolitik :	kohlefreundlich
 Politik Umweltstandards / Durchsetzung:	steigend
 Branche Inländische Nachfrage :	neue Dynamik (an CCS gekoppelt)
 F&E Innovationszentrum :	sich herausbildendes IZ für den Sektor
 MNU Anvisierter Markt :	heimischer Markt
 MNU Strategie :	Technology seeking

Das Szenario beschreibt eine Entwicklung bis 2020/25, in der sich die CCS-Technologie international durchsetzt, die deutsche F&E ihren technologischen Vorsprung in der Kohlekraftwerkstechnologie (im Gegensatz zu vielen anderen Branchen!) vor China aufrechterhält und

es trotz eines beginnenden technologischen Aufstiegs Chinas nicht, eventuell noch nicht, zu einer beginnenden Abkehr der MNU von Deutschland als zentralem F&E-Standort kommt. Zusammengenommen kann das Wesen der Entwicklungen durch den Szenariotitel „Stabilität im Wandel“ charakterisiert werden. Eine ausführliche narrative Umsetzung des in Tabelle 6 gezeigten Gerüsts befindet sich im Anhang.

Die Kernfrage der Projektes, auf deren Beantwortung die Analyse hauptsächlich zielt, wird durch den Deskriptor „MNU Strategien Deutschland“ beschrieben. Die Entscheidung über die Wahl der Internationalisierungsstrategien der deutschen MNU wird laut den Expertenbeurteilungen überwiegend von folgenden Faktoren bestimmt:

- D1 Deutsche Kohlepolitik
- D2 Umweltstandards in Deutschland
- D3 Innovationsförderung in Deutschland
- D4 Inländische Nachfrage in Deutschland
- D5 Technologieeinsatz CCS in Deutschland
- D6 F&E Aktivitäten in Deutschland
- C1 Chinesische Kohlepolitik
- C2 Umweltstandards in China
- C3 Inländische Nachfrage in China
- C4 Innovationszentrum in China
- C5 Anvisierter Markt der chinesischen MNU
- Rahmenbedingungen

und unterliegt damit dem Einfluss fast aller anderen Faktoren. Davon wirken sich drei Faktoren (D2, D3 und D4) stets und unabhängig von ihrem genauen Zustand mehr oder weniger stark zugunsten einer „asset exploiting“ Strategie aus.

Die Faktoren D1 und D5 können sich grundsätzlich je nach ihrem Zustand für oder gegen „asset exploiting“ auswirken. Im Szenario, in dem die deutsche Kohlepolitik kohletolerant ist und der Technologieeinsatz einen beginnenden CCS-Markteinsatz vorsieht, fallen jedoch beide Einflüsse zugunsten von „asset exploiting“ aus.

Der Faktor C1 würde nur wirkungsmächtig auf die deutschen MNU Strategien, falls sich die chinesische Kohlepolitik auf neutral verschlechterte. Dies ist im Szenario nicht der Fall, weswegen dieser Einfluss ausfällt. Entsprechendes gilt für C5, dessen Einfluss nur wirken würde, wenn die chinesischen MNU Deutschland anvisieren würden, was im Szenario alles nicht angenommen ist.

Die Faktoren D6, C2 und C3 wirken sich hingegen nur auf die Wahl der MNU-Strategie aus falls die deutschen F&E-Aktivitäten - wie im Szenario angenommen - stabil sind, die chinesischen Umweltstandards steigend und die chinesische Inlandsnachfrage dynamisch ist, und dann jeweils zugunsten von „asset exploiting“. Der Faktor C4 wirkt nur im Fall eines sich herausbildenden Innovationszentrums in China, was tatsächlich auch Teil des Szenarios ist. In diesem Fall wirkt sich der Faktor aber gegen „asset exploiting“ und zugunsten von Vorläuferentwicklungen von „asset augmenting“ aus.

Die Rahmenbedingungen wirken ergänzend zugunsten „asset exploiting“.

Die wirksamen Faktoren und die in den Experten-Workshops genannten Begründungen für die Wirkungszusammenhänge sind in Abbildung 1 angegeben.

Zusammengenommen sprechen von neun wirksamen Einflussfaktoren acht entweder generell oder aufgrund ihres im Szenario angenommenen Zustands für „asset exploiting“ als Internationalisierungsstrategie deutscher MNU und nur ein Einflussfaktor dagegen, weswegen dieser Zustand unter diesen Bedingungen die plausibelste Annahme ist.

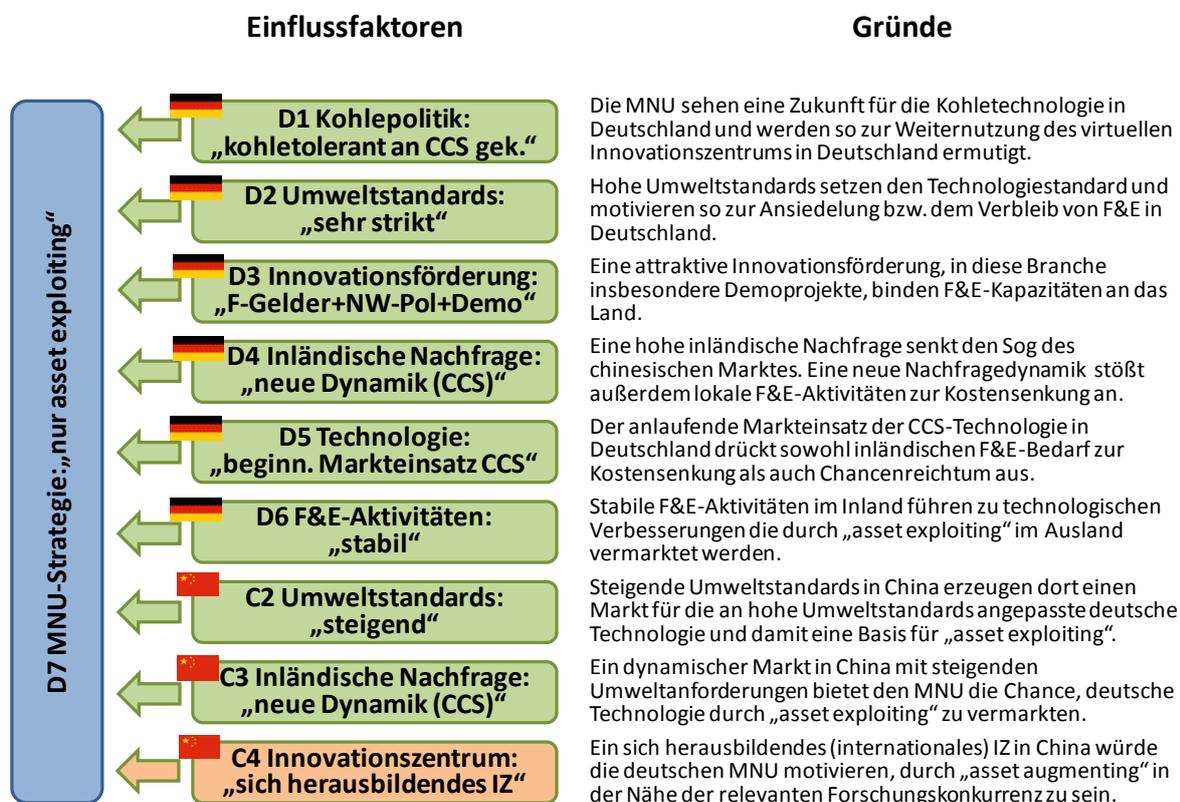


Abb. 1: Hintergrundanalyse für den Szenariozustand „Strategie der deutschen MNU: nur asset exploiting“. Faktoren, die diese Annahme stützen, sind grün, gegenwirkende Faktoren rot unterlegt.

Es kann außerdem untersucht werden, wie sensitiv die Aussagen des Szenarios zu den einzelnen Deskriptoren von den Cross-Impact Daten abhängen. Dazu wird ermittelt, wieviele Bewertungspunkte in einer Deskriptorspalte zuungunsten des Ergebniszustandes umverteilt werden könnten, ohne dass das Ergebnis kippt. Diese Werte sind in Abbildung 2 dargestellt. Sie spiegeln die Robustheit der einzelnen Ergebnisse gegenüber Bewertungsunsicherheiten bei der Erstellung der Cross-Impact Matrix, aber auch die Festigkeit der Szenariozustände gegenüber Störungen im Systemgeschehen wider.

Es ist zu erkennen, dass die meisten Szenariozustände eine erhebliche Festigkeit aufweisen. Bei Deskriptor D5 (Branche Technologie) könnten z.B. bis zu 15 Bewertungspunkte durch Änderungen der Experteneinschätzungen oder durch Änderungen in den anderen Szenarioteilen zuungunsten des beginnenden Markteinsatzes der CCS-Technologie umverteilt werden, ohne dass der Deskriptor D5 in seinen Alternativzustand kippt. Viele andere Szenariozustände sind ähnlich robust, wobei allerdings die chinabezogenen Deskriptoren vielfach ein geringeres Festigkeitsniveau aufweisen. Hier kann sowohl die größere Dynamik

der chinesischen Entwicklungen als auch die größere Vertrautheit der Expertinnen und Experten mit den deutschen Verhältnissen eine Rolle spielen.

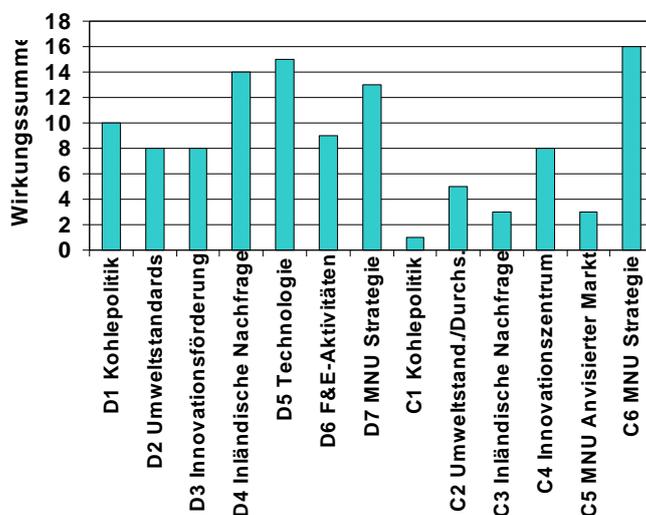


Abb. 2: Festigkeit der Ergebniszustände der Deskriptoren im Szenario.

Insbesondere die Szenarioaussagen zur chinesischen Kohlepolitik, eingeschränkt auch die zur inländischen Nachfrage in China und zum anvisierten Markt der chinesischen MNU können als Szenarioaussagen mit relativ geringerer Aussagesicherheit angesehen werden.

Die große Festigkeit der meisten Zustände des Szenarios führt auch dazu, dass die abweichenden Voten für die Cross-Impact Matrix das Szenario nicht in Frage stellen (vgl. Abbildung 2). Zum Teil stärken viele der abweichenden Voten das Szenario sogar weiter. Doch auch die gegen das Szenario wirkenden Abweichungsvoten würden weder einzeln noch in einer beliebigen Kombination genügen, um das Szenario zu destabilisieren.

Auffällig am logischen Gerüst des Szenarios ist die große Rolle, die der Erfolg der CCS-Technologie darin spielt. Viele unterstützende Faktoren sind an diese Technik gebunden. Dies bedeutet umgekehrt, dass insbesondere Störereignisse, die an dieser Technologie ansetzen (wie z.B. das Störereignis C in Tabelle 5), die Stabilität des Szenarios in Frage stellen können.

### 3 Ergebnisdiskussion

Szenarien thematisieren nicht „...was passieren wird, sondern was passieren kann“ [Becker und List 1997]. So ist auch das hier entwickelte Szenario „Stabilität im Wandel“ ein Blick in eine mögliche Zukunft, die aus der Sicht des befragten Expertenkreises zum Zeitpunkt der Befragung plausibel und detailliert begründbar erscheint. Die verwendete Szenariomethodik stellt sicher, dass keine Möglichkeiten, die Einzelmöglichkeiten zu einem plausiblen „Puzzle“ zusammensetzen, übersehen wurden und dass dabei stets alle im Expertendiskurs gefundenen Einzelzusammenhänge mit in die Plausibilitätsprüfung eingeflossen sind. Der techni-

sche Analyseprozess trifft jedoch grundsätzlich keine Aussagen über den untersuchten Gegenstand selbst, sondern über die Sicht der beteiligten Expertinnen und Experten auf diesen Gegenstand. Im Folgenden sollen einige unterschiedliche Aspekte des Szenarios näher diskutiert werden.

*Ein Einzelszenario als Ausdruck der von Experten wahrgenommenen Eindeutigkeit der Entwicklung in vielen Feldern.*

Aus Perspektive der Szenariotechnik ist es eine bemerkenswerte Besonderheit, dass die erhobenen Daten zu einem Einzelszenario führen. Der „technische“ Grund dafür ist, dass viele Deskriptoren Einflüssen unterliegen, die in eine eindeutige Richtung weisen und in Abhängigkeit vom Zustand der Einflussquelle lediglich in der Stärke variieren. Ein Beispiel ist der formulierte Einfluss der deutschen Umweltstandards (D2) auf die deutsche Kohlepolitik (D1, vgl. Tabelle 4). Wenn solche vorgeprägten Einflüsse auf einen Deskriptor überwiegen und in eine gemeinsame Richtung weisen, können sie den Deskriptor auf einen Zustand festlegen, ihn gegen das sonstige Systemgeschehen immunisieren und ihm den Charakter eines „determinierten Deskriptors“ verleihen. D.h. sein Zustand ist unabhängig vom Zustand der anderen Deskriptoren auf eine bestimmte Richtung festgelegt. In der Matrix Tabelle 4 treten solche vorgeprägten Zustände ungewöhnlich häufig auf. Diese Besonderheit vieler Bewertungen in der vorliegenden Cross-Impact Matrix ist auch mit einer Erklärung für die außergewöhnliche Festigkeit vieler Zustände des Szenarios.

Aus Sicht der Verfahrensbeobachtung ist das häufige Auftreten von vorgeprägten Einflüssen und determinierten Deskriptoren im vorliegenden Fall dahingehend zu deuten, dass die Experten anfänglich zwar mehrere Entwicklungen für diese Deskriptoren für denkbar hielten, dann bei der genaueren Betrachtung im Rahmen der Interdependenzanalyse aber feststellten, dass sich überwiegend doch nur Argumente zugunsten von einer dieser Alternativen finden lassen.

*Die beschriebenen Untersuchungen deuten nicht darauf hin, dass deutsche MNU in dieser Branche mittelfristig „asset augmenting“ Strategien verfolgen werden.*

Das zentrale Ergebnis dieses Kapitels besteht in der Aussage, die das Szenario und insbesondere die Deskriptoren D6 und D7 hinsichtlich der Leitfrage der Untersuchung trifft: Die durchgeführte Expertenbefragungen und die auf ihnen beruhende Interdependenzanalyse stützen die These nicht, dass es bis 2020/25 zu einem Bedeutungsverlust der deutschen Kohlekraftwerks F&E aufgrund der Internationalisierungsstrategien der deutschen MNU kommen wird. Da viele der stabilisierenden Faktoren jedoch in engem Zusammenhang mit der CCS-Technologie stehen, müsste dieser Befund jedoch überdacht werden, falls die im Szenario vorherrschenden Entwicklungen durch CCS-bezogene Störereignisse (wie z.B. einer Akzeptanzkrise für die CCS-Technologie) in der Zukunft verlegt werden würden.

*Die Kohlekraftwerkstechnologie ist von Branchenbesonderheiten geprägt und scheint bei der Internationalisierung andere Wege einzuschlagen als andere Branchen.*

Aus der Perspektive der Innovations- und Internationalisierungsforschung ist als bemerkenswert hervorzuheben, dass sich viele der gängigen Thesen über das Verhalten von MNU und die Verlagerung von F&E-Abteilungen nicht bestätigen. Im Kohleenergiesektor sind sektorale Charakteristika überraschend stark ausgeprägt, was mit zu einer beträchtliche Stabilität des Innovationssystems dieser Branche für beide Länder führt, wenn auch abgestuft mit höherer Stabilität für Deutschland und geringerer für China. Gründe für diese Stabilität mögen einerseits die branchentypischen hohen technologischen Zeitkonstanten (lange Standzeiten der Anlagen, lange Entwicklungszeiten) sein, andererseits die von den Expertinnen und Experten wahrgenommene Alternativlosigkeit der Kohlenutzung für beide Länder. Der technologische Vorsprung der deutschen, sowie der technologische Rückstand der chinesischen Industrie führt auch dazu, dass China nicht in eine globalisierte F&E- und Produktionsstrategie eingeordnet wird (wie dies in anderen Branchen, wie z.B. der I+K-Technologie, der Biotechnologie oder der Automobilindustrie der Fall ist). Interessanterweise wird auch nicht erwartet, dass chinesische Unternehmen in absehbarer Zeit den technologischen Rückstand aufholen können um als relevante Größe auf dem deutschen Markt aktiv zu werden.

*Zu den Branchenbesonderheiten gehört auch eine herausragende Politikabhängigkeit.*

Ebenso wichtig ist der Faktor Politik, der aufgrund der stark national orientierten Märkte von herausragender Bedeutung ist. Zu den Ergebnissen des Szenarioprozesses gehört es auch, dass die Deskriptorauswahl und die Interdependenzbewertungen eine beträchtliche Politikabhängigkeit des untersuchten sektoralen Innovationssystems implizieren. Dies setzt den Kohletechnologie-Sektor in auffälligen Gegensatz zu anderen Technologiesektoren wie zum Beispiel des Sektors für Informations- und Kommunikationstechniken. Als Treiber für die Stabilität der sich im Szenario darstellenden Entwicklungsrichtung sind drei Faktoren besonders hervorzuheben: Zum einen scheint CCS als Technologieprojekt zu helfen, deutsche Stärken auszuspielen. Desweiteren weist die Form und der Umfang der Innovationsförderung tatsächlich die gewünschte Wirkung auf. Darüber hinaus sind jedoch auch insbesondere die deutschen Umweltstandards ein entscheidender Stimulus für herausragende F&E-Aktivitäten im Kohlekraftwerkssektor.

## **Danksagung**

Die Autoren bedanken sich herzlich für die Förderung des Projektes „The Significance of Germany as a Site for Power Plant Construction Against the Background of an Increasing Internationalization of Innovation Processes“ durch die VolkswagenStiftung.

## Literatur

ARETZ, A., WEIMER-JEHLE, W.: Cross Impact Methode, in: Der Beitrag der deutschen Stromwirtschaft zum europäischen Klimaschutz. Forum für Energiemodelle und energiewirtschaftliche Systemanalyse (Hrsg.), LIT-Verlag, Münster (2004).

BECKER, A., LIST, S.: Die Zukunft gestalten mit Szenarien. In: Zerres M.P. und Zerres I. (Hrsg.): Unternehmensplanung – Erfahrungsberichte aus der Praxis. Frankfurter Allgemeine Zeitung GmbH (1997).

CIB-1: Einführung in die qualitative System- und Szenarioanalyse mit der Cross-Impact-Bilanzanalyse. CIB-Merkblatt Nr. 1, [www.cross-impact.de/deutsch/CIB\\_d\\_MBI.htm](http://www.cross-impact.de/deutsch/CIB_d_MBI.htm).

FUCHS, G.; FAHL, U.; PYKA, A.; STABER, U.; VÖGELE, S.; WEIMER-JEHLE, W.: Generating Innovation Scenarios using the Cross-Impact Methodology. Department of Economics, University of Bremen, Discussion-Papers Series No. 007-2008, (2008). <http://www.wiwi.uni-bremen.de/traub/downloads/WP08-007.pdf>

FUCHS, G.; WASSERMANN, S., WEIMER-JEHLE, W.: Cross-Impact Analyse „Internationalisierung von Innovationsprozessen am Beispiel der Kohlekraftwerkstechnologie“. ZIRN-Projektbericht, Universität Stuttgart (2009).

FÖRSTER, G.: Szenarien einer liberalisierten Stromversorgung, Analysen der Akademie für Technikfolgenabschätzung, Stuttgart (2002). <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2004/1813/>

FÖRSTER, G.; WEIMER-JEHLE, W.: Cross-Impact Methode. In: Energiemodelle zum Klimaschutz in liberalisierten Energiemärkten – Die Rolle erneuerbarer Energieträger. Forum für Energiemodelle und energiewirtschaftliche Systemanalyse (Hrsg.), LIT-Verlag, Münster (2004).

RENNINGS, K., SMIDT, W.: A Lead Market Approach Towards the Emergence and Diffusion of Coal-fired Power Plant Technology. ZEW Discussion Paper No. 08-058, Mannheim (2008).

SCHULZ, M., RENN, O.: Das Gruppendelphi – Konzept und Fragebogenkonstruktion. VS-Verlag, Wiesbaden (2009).

VÖGELE, S., WASSERMANN, S., FUCHS, S.: Globalisierung, Multinationale Unternehmen und Innovationen im Kohlekraftwerkssektor. 11. Symposium Energieinnovation, 10.-12. Februar 2010, Graz.

WEIMER-JEHLE, W.: Verfahrensbeschreibung Szenariokonstruktion im Projekt Szenarien eines liberalisierten Strommarktes. Akademie für Technikfolgenabschätzung, Stuttgart (2001).

WEIMER-JEHLE, W.: Cross-Impact Balances: A System-Theoretical Approach to Cross-Impact Analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 73(4), 334-361 (2006).

WEIMER-JEHLE, W.; FUCHS, G.: Generierung von Innovationsszenarien mit der Cross-Impact Methode. In: Innovation und moderne Energietechnik. Forum für Energiemodelle und energiewirtschaftliche Systemanalyse (Hrsg.), LIT-Verlag, Münster (2007).

WEIMER-JEHLE, W. : Cross-Impact Balances - Applying pair interaction systems and multi-value Kauffman nets to multidisciplinary systems analysis. *Physica A*, 387:14, 3689-3700 (2008).

WEIMER-JEHLE, W.: Szenarientwicklung mit der Cross-Impact-Bilanzanalyse. In: Gausemeier J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. HNI-Verlagsschriftenreihe Bd. 265, Paderborn, 435-454 (2009a).

WEIMER-JEHLE, W.: Properties of Cross-Impact Balance Analysis. arXiv:0912.5352v1 (2009b).

## Anhang: Narrative Szenariobeschreibung

# Stabilität im Wandel

## Szenario für die F&E Aktivitäten 2020/25 in der deutschen und chinesischen Kohlekraftwerksbranche

### Deutschland



#### Politik:

Die politischen Rahmensetzungen sind weiterhin günstig für F&E Aktivitäten in Deutschland. Durch strikte Regulierungen und ihre konsequente Durchsetzung (Patentgovernance) bleibt der Schutz geistigen Eigentums gesichert. Die Kohlepolitik, insbesondere die energiepolitischen Zielsetzungen, haben sich im Zuge des beginnenden Erfolgs der CCS-Technologie von der früher kritischen Haltung hin zu einer kohletoleranteren Linie entwickelt. Gleichzeitig orientieren sich deutsche Gesetzgebung, europäische Rahmensetzungen und internationale Umweltregime zunehmend an BAT (best available technology) und haben dadurch die in Deutschland geltenden Umweltstandards deutlich weiter verschärft. Die Veränderung in den energiepolitischen Zielsetzungen und die Erfordernisse der zunehmend rigiden Umweltstandards führen zur entsprechenden Ausrichtung auch der Innovationspolitik für den Bereich der Kohlekraftwerkstechnologien. Es kommt hier in der Zeit vor 2020/25 neben der direkten Forschungsförderung und der Netzwerkförderung auch zur Finanzierung von Demonstrationsanlagen.



#### Standort:

Die Regulierungsdichte in Deutschland - Regeln, Gesetze, Verordnungen und sonstige Bestimmungen - bleibt dauerhaft hoch. Dies beschränkt einerseits die Flexibilität der Unternehmen und verursacht Kosten. Andererseits gewinnen Unternehmen hierdurch Verhaltenssicherheit und Kalkulierbarkeit.



**Branche:**

Die Struktur der deutschen Kohlekraftwerksbranche umfasst weiterhin sowohl F&E, Komponentenbau und Anlagenbau. Damit bleibt auch der Erhalt von implizitem Wissen über das gesamte Spektrum der Branchenaktivitäten und die in dieser Branche traditionell gute Anbindung der Forschung an die Praxis, und damit ein zentraler F&E-Standortvorteil gewährleistet. Neben der Weiterentwicklung von Kohlekraftwerken mit superkritischen und ultrakritischen Dampfparametern gelangen - begünstigt durch die veränderte Kohlepolitik, die rigiden Umweltstandards, die gezielte Innovationsförderung und getragen von der Leistungsfähigkeit des F&E-Sektors - erhebliche Fortschritte bei der Entwicklung der CCS-Technologie. CCS erreicht so bis 2020/25 die Marktreife und, auf der Basis gesellschaftlicher Akzeptanz vor dem Hintergrund des Klimawandels, einen beginnenden Markteinsatz. Durch die erfolgreiche Entwicklung der CCS-Technologie dynamisiert sich die Nachfrage nach Kohlekraftwerken und Komponenten (auch) in Deutschland über den altersstrukturbedingten Ersatzbau hinaus, und unterstützt so (ebenso wie die in China anwachsende Nachfrage nach dieser Technologie) den CCS-Technologieentwicklungsprozess zusätzlich.



**F&E:**

Die verteilten, aber stark vernetzten F&E Akteure der deutschen Kohlekraftwerkstechnologiebranche bilden, wie bereits in der Vergangenheit, ein „virtuelles Innovationszentrum“ mit hoher Qualität des Humankapitals, hoher Reputation der eingebundenen wissenschaftlichen Einrichtungen, einer spezifischen Spezialisierung der Hochschulen und einem hohem Output an technologischen Neuerungen. Dadurch kann Deutschland weiterhin eine starke globale Anziehungskraft entfalten, die F&E-Akteure an den Standort bindet und ausländische Akteure anzieht. Die am Standort Deutschland durchgeführten F&E Aktivitäten im Bereich Kohlekraftwerkstechnologien (Grundlagenforschung, angewandte Forschung, experimentelle Entwicklung, einschl. Prototypen, Pilot- und Demonstrationsanlagen) steigen nach 2010 zunächst noch weiter an, um dann nach einem moderaten Rückgang auf hohem Niveau bis 2020/25 stabil zu bleiben. Die Voraussetzungen für diese Stabilisierung werden – neben den Standortvorteilen durch ein Innovationszentrum - durch die Innovationspolitik, die neue Nachfragedynamik, und die Perspektiven im Zuge des beginnenden Markteinsatzes der CCS-Technologie geschaffen. Der F&E Standort Deutschland kann sich damit in dieser Branche trotz der Internationalisierung von Innovationsprozessen behaupten.

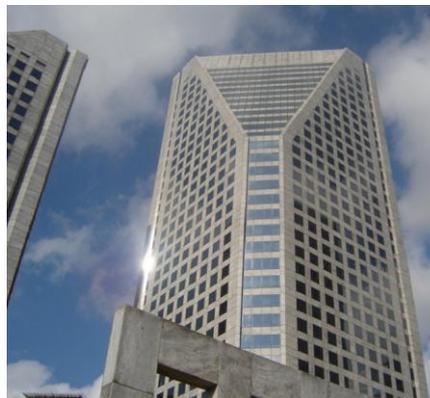


## MNU:

Die in Deutschland ansässigen multinationalen Unternehmen (MNU) der Branche entwickeln und produzieren aufgrund der Begrenztheit des heimischen Marktes traditionell für ausländische, traditionell hauptsächlich europäische Märkte. Im Zuge der Globalisierung und der Entwicklung der großen Schwellenländer, insbesondere Chinas, visieren die deutschen MNU zunehmend und dauerhaft den gesamten Weltmarkt an. Ihre Wahl der F&E-Standorte und ihre internen Mechanismen des Wissenstransfers werden davon beeinflusst, dass entscheidendes Wissen im Bereich Kohlekraftwerkstechnologien implizit und kontextabhängig ist (im Gegensatz zu explizitem Wissen in Form von Publikationen und Patenten), und dass Forschung in diesem Bereich daher enge Kooperationen zwischen Forschung, Herstellern und Betreibern erfordert. Dies führt neben

- der sich freundlicher entwickelnden deutschen Kohlepolitik,
- den Innovationsanreizen aus den sich verschärfenden Umweltstandards,
- den Chancen der hiesigen Innovationsförderung, der neuen Dynamik der inländischen Nachfrage im Zuge der einsetzenden Marktreife der CCS-Technologie
- trotz der zunehmenden Anziehungskraft Chinas durch die beginnende Entwicklung eines Innovationszentrums in China

dazu, dass die Internationalisierungsstrategien der deutschen MNU in dieser Branche zumindest bis 2020/25 daraus ausgerichtet bleiben, bestehende firmenspezifische technologische Überlegenheit in China zu nutzen („asset exploiting“). Eine strategische Vorteilssuche durch F&E Direktinvestitionen in China und anschließendem Wissens- und Technologietransfer zurück nach Deutschland („asset augmenting“) findet bis dahin nicht nennenswert statt.



## China



### Politik:

Die chinesische Politik der Marktöffnung und der Integration in die Weltwirtschaft bleibt bis 2020/25 stabil. Zwar werden Privilegien für ausländische Investitionen auf Betreiben der chinesischen Industrie abgebaut und lokale Unternehmen aufgebaut. In Bereichen wie der Kohlekraftwerkstechnologie, in denen die chinesische Wirtschaft von Technologieimporten noch abhängig ist, bleibt ausländisches Engagement dennoch willkommen. Im Bereich der Patentgovernance entwickeln sich in China bis 2020/25 zwar striktere Regulierungen zum Schutz geistigen Eigentums, die Durchsetzung bleibt aber lax. Daher bleiben Patentverletzungen ein Hindernis für das Engagement ausländischer Firmen in China, insbesondere im F&E-Bereich. Die Kohlepolitik des Landes, also die energiepolitischen Ziele im Hinblick auf den Umgang mit Kohle und Kohlekraftwerkstechnologien, nimmt vor dem Hintergrund weiter wachsenden Energiebedarfs und aufgrund fehlender, ausreichend ergiebiger Alternativen keinesfalls eine kohlefeindliche Haltung ein, sondern verortet sich im Bereich kohletolerant bis kohlefreundlich. Dabei neigt sie unter dem Einfluss der zunehmend an Bedeutung gewinnenden und auf den heimischen Markt orientierten chinesischen MNU, sowie in der Erwartung, dass steigende Umweltstandards und ihre konsequentere Durchsetzung eine umweltverträglichere Kohlenutzung ermöglichen werden, eher zur Beibehaltung der traditionell kohlefreundlichen Haltung. Die sich abzeichnende Entwicklung eines Innovationszentrums in China unterstützt diese politische Linie, da dieses die Entwicklung umweltfreundlicher Kohletechnologien beschleunigt und damit Spielräume für striktere Umweltstandards eröffnet.



**Branche:**

Im Vergleich zur außerordentlichen Dynamik der chinesischen Nachfrage nach Kohlekraftwerken in der ersten Dekade des 21. Jahrhunderts sind für die zweite Dekade aufgrund einer gedrosselten Wirtschaftsdynamik und der Umweltwirkungen der ausgeweiteten Kohleverstromung grundsätzlich Sättigungswirkungen und damit eine nachlassende Nachfragedynamik zu erwarten. Vor dem Hintergrund der steigenden Umweltstandards in China und der daraus resultierenden Perspektive einer umweltfreundlichen Kohlenutzung, den Erfolgen der CCS-Technologieentwicklung in Deutschland und der Ausstrahlung des sich herausbildenden Innovationszentrums in China bahnt sich bis 2020/25 aber eine erneuerte Nachfragedynamik auf Basis der CCS-Technologie an.



**F&E:**

Durch die Errichtung staatlich geförderter Technologieparks, die Reformen im Industriesektor und durch Auslagerung von Forschungseinrichtungen entwickeln sich zunehmende Vernetzungen und Kooperationen zwischen den Akteuren der Kohletechnologiebranche in China. Die

- kohlefreundliche Haltung der chinesischen Politik,
- der Druck durch striktere Umweltstandards und ihrer konsequenteren Durchsetzung,
- die Stimulans aus der wiedererstarkenden Nachfragedynamik, die an die fortschrittliche CCS-Technologie gebunden ist,
- die Konzentration der chinesischen MNU auf den heimischen Markt und
- die deutsche Bereitschaft zum Technologietransfer vor dem Hintergrund der zur Toleranz gewandelten Kohlepolitik in Deutschland

mündet langfristig in einem Innovationszentrum in China, das sich bis 2020/25 in den Anfängen abzeichnet. Dabei bleibt offen, ob es dabei um ein chinesisches Innovationszentrum oder um ein Innovationszentrum in China mit starker internationaler Beteiligung handelt.



**MNU:**

Die chinesischen MNU im Bereich Kohlekraftwerkstechnologie konzentrierten sich in der Vergangenheit aufgrund der technologischen Rückständigkeit und der Größe des heimischen Marktes vor allem auf diesen. China unternimmt jedoch große Anstrengungen, in dieser Branche so schnell wie möglich Weltmarktniveau zu erreichen. Eine Frucht davon ist bis 2020/25 auch das sich herausbildende Innovationszentrum in China. Dennoch kommt es bis 2020/25 nicht zu einem Auftritt chinesischer MNU auf dem deutschen Kraftwerksmarkt, denn durch den - auch durch deutsche Entwicklungen erreichte - Technologiefortschritt bei der CCS-Technologie und durch die neuerwachende Dynamik des chinesischen Marktes sind die chinesischen MNU zu stark im Inland gebunden. Die Internationalisierungsstrategie der chinesischen MNU bleibt bis 2020/25 im wesentlichen darauf konzentriert, den technologischen Rückstand des Landes in dieser Branche abzubauen („technology seeking“). Zwar eröffnen sich den chinesischen MNU durch den Aufbau der chinesischen F&E-Kapazitäten langfristig neue Chancen, bis 2020/25 verhindern jedoch die hierfür notwendigen Zeitfristen und die weiter fortschreitende Technologieentwicklung in Deutschland einen grundsätzlichen Wandel der chinesischen MNU Strategien in dieser Branche.



---

Bildquellen: Wikipedia, Siemens-Pressefoto, Heitor Carvalho Jorge, Jacob Ehnmark