

Endbericht

# **Black Swans (Risiken) in der Energiewende**

Risikomanagement für die Energiewende

Auftraggeber:  
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Ansprechpartner:  
Dr. Almut Kirchner (prognos)  
Dr. Harald Hecking (EWI  
ER&S)  
Dr. Christian Lutz (GWS)

Basel, 02.08.2016  
31-8027

## Das Unternehmen im Überblick

### Geschäftsführer

Christian Böllhoff

### Präsident des Verwaltungsrates

Gunter Blickle

### Handelsregisternummer

Basel-Stadt Hauptregister CH-270.3.003.262-6

### Rechtsform

Aktiengesellschaft nach schweizerischem Recht

### Gründungsjahr

1959

### Tätigkeit

Die Prognos AG berät europaweit Entscheidungsträger aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Auf Basis neutraler Analysen und fundierter Prognosen werden praxisnahe Entscheidungsgrundlagen und Zukunftsstrategien für Unternehmen, öffentliche Auftraggeber und internationale Organisationen entwickelt.

### Arbeitssprachen

Deutsch, Englisch, Französisch

### Hauptsitz

Prognos AG  
Henric Petri-Str. 9  
4010 Basel | Schweiz  
Telefon +41 61 3273-310  
Telefax +41 61 3273-300

Prognos AG  
Domshof 21  
28195 Bremen | Deutschland  
Telefon +49 421 517046-510  
Telefax +49 421 517046-528

Prognos AG  
Schwanenmarkt 21  
40213 Düsseldorf | Deutschland  
Telefon +49 211 91316-110  
Telefax +49 211 91316-141

Prognos AG  
Nymphenburger Str. 14  
80335 München | Deutschland  
Telefon +49 89 9541586-710  
Telefax +49 89 9541586-719

### Internet

info@prognos.com  
www.prognos.com

### Weitere Standorte

Prognos AG  
Goethestr. 85  
10623 Berlin | Deutschland  
Telefon +49 30 520059-210  
Telefax +49 30 520059-201

Prognos AG  
Science 14 Atrium; Rue de la Science 14b  
1040 Brüssel | Belgien  
Telefon +32 2808-7209  
Telefax +32 2808-8464

Prognos AG  
Heinrich von Stephan-Str. 23  
79098 Freiburg | Deutschland  
Telefon +49 761 7661164-810  
Telefax +49 761 7661164-820

Prognos AG  
Rotebühlplatz 9  
70178 Stuttgart | Deutschland  
Telefon +49 711 3209-610  
Telefax +49 711 3209-609

## prognos

---

Ansprechpartner

Dr. Almut Kirchner

Tel. +41 61 3273-331

Email: [almut.kirchner@prognos.com](mailto:almut.kirchner@prognos.com)

Mitarbeiter

Florian Ess

Dr. Stephan Heinrich

Dr. Andreas Kemmler

Sylvie Koziel

Dr. Alexander Piegsa

Samuel Strassburg

Ansprechpartner

Dr. Harald Hecking

Tel. +49 221 27729 221

Email: [Harald.Hecking@ewi.research-scenarios.de](mailto:Harald.Hecking@ewi.research-scenarios.de)

Mitarbeiter

Martin Paschmann

Jakob Peter

Helena Schweter

Florian Weiser

Ansprechpartner

Dr. Christian Lutz

Tel. +49 541 40933-120

Email: [lutz@gws-os.com](mailto:lutz@gws-os.com)

Mitarbeiter

Dr. Markus Flaute

Anne Nieters

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Aufgabenstellung und methodisches Vorgehen</b>	<b>3</b>
2.1	Hintergrund und Aufgabenstellungen	3
2.2	Methodisches Vorgehen	11
2.2.1	Überblick	11
2.2.1	Identifikation potenzieller Schwarzer Schwäne	12
2.2.2	Clusterung, Bewertung und Auswahl zu behandelnder Schwarzer Schwäne	13
2.2.3	Analyse der ausgewählten Schwarzen Schwäne	20
<b>3</b>	<b>Analyse möglicher Schwarze Schwäne in der Energiewende</b>	<b>21</b>
3.1	Prioritätenänderungen in Politik & Gesellschaft	22
3.1.1	Steckbrief	22
3.1.2	Wirkungskette	23
3.1.3	Beschreibung und Analyse	24
3.2	Infrastrukturmangel	29
3.2.1	Steckbrief	29
3.2.2	Wirkungskette	30
3.2.3	Beschreibung und Analyse	32
3.2.4	Beispielhafte Quantifizierung des Risikoclusters	35
3.3	Digitalisierung	39
3.3.1	Steckbrief	39
3.3.2	Wirkungskette	40
3.3.3	Beschreibung und Analyse	42
3.4	Entwicklung nicht-fossiler Technologien	50
3.4.1	Steckbrief	50
3.4.2	Wirkungskette	51
3.4.3	Beschreibung und Analyse	53
3.5	Durchbruch bei Speichertechnologie	59
3.5.1	Steckbrief	59
3.5.2	Wirkungskette	60
3.5.3	Beschreibung und Analyse	62
3.6	Internationales Klimaregime	67
3.6.1	Steckbrief	67
3.6.2	Wirkungskette	68
3.6.3	Beschreibung und Analyse	70
3.6.4	Beispielhafte Quantifizierung des Risikoclusters	74
3.7	Änderung der Energiepreise	78

3.7.1	Steckbrief	78
3.7.2	Wirkungskette	79
3.7.3	Beschreibung und Analyse	81
3.7.4	Beispielhafte Quantifizierung des Risikoclusters	84
3.8	Finanzmittel für erneuerbare Energien	89
3.8.1	Steckbrief	89
3.8.2	Wirkungskette	90
3.8.3	Beschreibung und Analyse	92
3.8.4	Beispielhafte Quantifizierung des Risikoclusters	96
3.9	Kriminalität & Terrorismus	102
3.9.1	Steckbrief	102
3.9.2	Wirkungskette	103
3.9.3	Beschreibung und Analyse	105
3.10	Verfügbarkeit von Energierohstoffen	109
3.10.1	Steckbrief	109
3.10.2	Wirkungskette	110
3.10.3	Beschreibung und Analyse	112
3.10.4	Beispielhafte Quantifizierung des Risikoclusters	115
3.11	Rohstoffzugang für EE-Technologien	122
3.11.1	Steckbrief	122
3.11.2	Wirkungskette	123
3.11.3	Beschreibung und Analyse	124
3.12	Stärkung fossiler Energietechnologien	127
3.12.1	Steckbrief	127
3.12.2	Wirkungskette	128
3.12.3	Beschreibung und Analyse	129
3.13	Folgekosten von Klimaschutztechnologien	132
3.13.1	Steckbrief	132
3.13.2	Wirkungskette	133
3.13.3	Beschreibung und Analyse	134
3.13.4	Beispielhafte Quantifizierung des Risikoclusters	137
3.14	Extremwetter als Naturkatastrophe	142
3.14.1	Steckbrief	142
3.14.2	Wirkungskette	143
3.14.3	Beschreibung und Analyse	144
3.15	Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates	148
3.15.1	Steckbrief	148
3.15.2	Wirkungskette	149
3.15.3	Beschreibung und Analyse	150

3.15.4	Beispielhafte Quantifizierung des Risikoclusters	153
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen</b>	<b>156</b>
4.1	Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Schwarzen Schwäne	156
4.1.1	Ergebnisse der Analyse	156
4.1.2	Ansatzpunkte für ein Risikomanagement in der Energiewende	165
4.2	Handlungsempfehlungen	166
4.2.1	Risikocluster mit hohem Handlungsbedarf	168
4.2.2	Risikocluster mit mittlerem Handlungsbedarf	170
4.2.3	Risikocluster mit geringem Handlungsbedarf	177
<b>5</b>	<b>Anhang</b>	<b>181</b>
5.1	Urliste der identifizierten Schwarzen Schwäne	181
5.2	Vorschlagsliste der abgeleiteten Cluster	185
5.3	Bewertung der abgeleiteten Cluster durch Experten	190
5.4	Auswahlliste der zu bearbeitenden Cluster	191
5.5	Literatur	191

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Kernelemente der Energiewende	4
Abbildung 2-2:	Überblick über wichtige Rahmenbedingungen der Energiewende	4
Abbildung 2-3:	Überblick über das methodische Vorgehen	12
Abbildung 2-4:	Urliste der potenziellen Schwarzen Schwäne (Wordcloud)	13
Abbildung 2-5:	Cluster der potenziellen Schwarzen Schwäne (Wordcloud)	14
Abbildung 2-6:	Einflussstärke der Rahmenbedingungen auf die Energiewende	17
Abbildung 2-7:	Auswahl der zu bearbeitenden Schwarzen Schwäne (Wordcloud)	19
Abbildung 2-8:	Beispiel für den Aufbau von Wirkungsketten	20
Abbildung 3-1:	Wirkungskette Prioritätenänderungen in Politik & Gesellschaft	23
Abbildung 3-2:	Wirkungskette Infrastrukturmangel	30
Abbildung 3-3:	Gesamtkosten der betrachteten Netzausbaumaßnahmen nach Technologiewahl	38
Abbildung 3-4:	Wirkungskette Digitalisierung	40
Abbildung 3-5:	Wirkungskette Entwicklung nicht-fossiler Technologien	51
Abbildung 3-6:	Wirkungskette Durchbruch bei der Speichertechnologie	60
Abbildung 3-7:	Wirkungskette Internationales Klimaregime	68
Abbildung 3-8:	Auswirkungen eines deutschen Alleingangs beim Klimaschutz auf BIP und Komponenten im Vergleich zu einer Referenz ohne internationalen Klimaschutz	75
Abbildung 3-9:	Volkswirtschaftliche Auswirkungen eines deutschen Alleingangs beim Klimaschutz im Vergleich zu einer Referenz ohne internationalen Klimaschutz	76
Abbildung 3-10:	Preissteigerungen eines deutschen Alleingangs beim Klimaschutz in ausgewählten Wirtschaftsbereichen im Vergleich zu einer Referenz ohne internationalen Klimaschutz	77
Abbildung 3-11:	Wirkungskette Änderung der Energiepreise	79
Abbildung 3-12:	Brennstoffpreisannahmen in Referenz- und Niedrigpreisszenario	85
Abbildung 3-13:	Entwicklung des deutschen Kraftwerksparks und resultierender Erzeugungsmengen im Szenarienvergleich	86

Abbildung 3-14:	Entwicklung der Großhandelspreise im Szenarienvergleich und resultierender zeitlicher Verlauf der Differenz eines notwendigen EE-Fördermechanismus	87
Abbildung 3-15:	Wirkungskette Finanzmittel für erneuerbare Energien	90
Abbildung 3-16:	Entwicklung der Erzeugungskapazitäten und der Stromerzeugung in Deutschland im Szenarienvergleich	97
Abbildung 3-17:	Erzeugungsmengen einer exemplarischen Früh-sommerwoche im Referenzszenario	98
Abbildung 3-18:	Erzeugungsmengen einer exemplarischen Früh-sommerwoche im EE-Förderstoppszenario	99
Abbildung 3-19:	Schematische Abbildung zu Kosten und Erlösen im Stromgroßhandel	101
Abbildung 3-20:	Wirkungskette Kriminalität & Terrorismus	103
Abbildung 3-21:	Wirkungskette Verfügbarkeit von Energierohstoffen	110
Abbildung 3-22:	Vergleich von Basis- und Kohleausstiegsszenario (Gaspreise auf Referenzniveau)	116
Abbildung 3-23:	Vergleich der Erzeugungsmengen bei Eintritt eines Gaspreisanstiegs im Vergleich zu einer Situation ohne Preisanstieg (Entwicklung bei Gaspreisanstieg abzüglich Entwicklung ohne Gaspreisanstieg)	117
Abbildung 3-24:	Änderung der Stromgroßhandelspreise durch den Gaspreisanstieg in 2030 im Szenarienvergleich	121
Abbildung 3-25:	Wirkungskette Rohstoffzugang für EE Technologien	123
Abbildung 3-26:	Wirkungskette Stärkung fossiler Energietechnologien	128
Abbildung 3-27:	Wirkungskette Folgekosten von Klimaschutztechnologien	133
Abbildung 3-28:	Entwicklung der sanierten Wohnfläche (in Mio. m <sup>2</sup> )	138
Abbildung 3-29:	Volkswirtschaftliche Auswirkungen des Schwarzen Schwan-Szenarios im Vergleich zum Referenzszenario	140
Abbildung 3-30:	Wirkungskette Extremwetter als Naturkatastrophe	143
Abbildung 3-31:	Wirkungskette Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates	149
Abbildung 3-32:	Investitionsdifferenzen in den Nachfragesektoren im Schwarzen Schwan-Szenario im Vergleich zu einer Referenz (Szenario II A der Energieszenarien) mit verstärkten Energieeffizienzmaßnahmen	154



Abbildung 3-33:	Volkswirtschaftliche Auswirkungen des Schwarzen Schwan-Szenarios im Vergleich zu einer Referenz ohne verstärkte Energieeffizienzmaßnahmen	155
Abbildung 4-2:	Gegenseitige Beeinflussung der Risikocluster	158
Abbildung 4-4:	Resilienz und Robustheit der Energiewende (Matrix)	162
Abbildung 4-5:	Resilienz und Robustheit der Energiewende	164

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Mögliche Kriterien für die Auswahl der vertieft zu bearbeitenden Schwarzen Schwäne	16
Tabelle 2-2:	Auswahl der zu bearbeitenden Schwarzen Schwäne und Initialrisiken	18
Tabelle 2-3:	Quantifizierung von ausgewählten Schwarzen Schwänen	21
Tabelle 3-1:	Geplante Wechselstrom-Netzausbaumaßnahmen auf Höchstspannungsebene	36
Tabelle 3-2:	Kostenparameter für Wechselstrom	37
Tabelle 3-3:	Volkswirtschaftliche Kenngrößen im Szenarienvergleich für Deutschland in 2030	100
Tabelle 3-4:	Betrachtete Szenarien im Risikocluster 10	115
Tabelle 3-5:	Volkswirtschaftliche Kenngrößen im Szenarienvergleich für Deutschland und Europa in 2030	119
Tabelle 3-6:	Jährliche Mehrkosten im Schwarzen Schwan-Szenario	140
Tabelle 3-7:	Volkswirtschaftliche Auswirkungen des Schwarzen Schwan-Szenarios im Vergleich zum Referenzszenario	141
Tabelle 3-8:	Volkswirtschaftliche Auswirkungen des Schwarzen Schwan-Szenarios im Vergleich zu einer Referenz ohne verstärkte Energieeffizienzmaßnahmen	155
Tabelle 4-1:	Einfluss der Risikocluster auf die Rahmenbedingungen	157
Tabelle 4-2:	Systematisierung der gegenseitigen Beeinflussung	159
Tabelle 4-3:	Zeithorizonte der Wirkungen einzelner Risikocluster	160
Tabelle 4-4:	Wesentliche Wirkungsbereiche der Risikocluster	161
Tabelle 4-5:	Einschätzungen zur Resilienz und Robustheit der Energiewende gegenüber den Risikoclustern	163
Tabelle 4-6:	Resilienz und Robustheit der Energiewende (Ergebnistabelle)	165
Tabelle 4-7:	Identifikation von Handlungsbedarf	166
Tabelle 4-8:	Handlungsoptionen für Risikocluster mit hohem Handlungsbedarf	168
Tabelle 4-9:	Handlungsoptionen für Risikocluster mit mittlerem Handlungsbedarf	170

Tabelle 4-10:	Handlungsoptionen für Risikocluster mit geringem Handlungsbedarf	177
Tabelle 5-1:	Urliste der identifizierten Schwarzen Schwäne (alphabetische Sortierung)	181
Tabelle 5-2:	Vorschlagsliste der abgeleiteten Cluster sowie beispielhafter Schwarzer Schwäne (alphabetische Sortierung)	185
Tabelle 5-3:	Expertenbewertung der Cluster (Sortierung nach Kriterium „Betroffenheit“)	190
Tabelle 5-4:	Auswahlliste der zu bearbeitenden Cluster (alphabetische Sortierung)	191

# 1 Zusammenfassung

## **Aufgabe: Annäherung an ein Risikomanagement für die Energiewende**

Die Energiewende hat eine große Bedeutung für die Energieversorgung und die wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland. Die vorliegende Studie soll zur Vorbereitung eines politischen Risikomanagements nicht erwartete oder unwahrscheinliche Ereignisse dahingehend untersuchen, ob und welche energiepolitischen und gesamtwirtschaftlichen Wirkungen sie entfalten können. Darauf aufbauend soll untersucht werden, welche (politischen) Vorsorge- und Reaktionsmöglichkeiten ergriffen werden können. Die Aufgabe der Studie liegt daher darin, wesentliche Risiken für die Energiewende und insbesondere den Ausbau der erneuerbaren Energien zu identifizieren, zu selektieren und auf ihre Wirkungen hin zu untersuchen.

## **Die Energiewende ist abhängig von stabilen Rahmenbedingungen**

Die Energiewende ist ein langfristiges Projekt, ihre Zielvorgaben reichen bis ins Jahr 2050. Weltweite Zielvorstellungen haben z.T. noch längere Zeithorizonte (2080, 2100). Unsicherheiten wachsen mit zunehmendem Zeithorizont. Zudem steigt damit die Wahrscheinlichkeit von aus heutiger Sicht unerwarteten Ereignissen und Entwicklungen. Wesentlich für das Gelingen der Energiewende ist die Gewährleistung möglichst adäquater und stabiler Rahmenbedingungen. Dazu zählen insbesondere stabile politische und wirtschaftliche Verhältnisse, die Akzeptanz der Energiewende, technologischer Fortschritt und stabile Infrastrukturen, soziale und gesellschaftliche Stabilität sowie der Zugang und die Verfügbarkeit von Rohstoffen.

## **Identifikation und Analyse von Risiken für die Energiewende**

Den Ausgangspunkt für die Identifikation und Analyse von Risiken für die Energiewende stellt der Ansatz des „Schwarzen Schwans“ (Black Swan) dar: Dabei handelt es sich um Ereignisse, die überraschend und unerwartet eintreten, enorme Auswirkungen haben und die erst nachträglich rationalisiert werden.

Im Rahmen von Literaturanalysen und Experteninterviews wurden rund 150 potenzielle Schwarze Schwäne identifiziert, die bei ihrem Eintritt Einfluss auf die Energiewende haben könnten. Um diese Quantität bearbeitbar zu machen, wurden 41 thematische Risikocluster gebildet. Diese Risikocluster wurden bewertet und 15 von ihnen wurden im Detail analysiert. Für sieben der 15 Risikocluster wurden darüber hinaus die zu erwartenden Auswirkungen und Schäden (im volkswirtschaftlichen Sinne) quantifiziert.

## **Energiewende ist robust und resilient – Ausnahme Energiepreise**

Insgesamt zeigt die Analyse, dass die Energiewende gegenüber möglicherweise auftretenden Schwarzen Schwänen weitgehend ro-

bust und resilient ist, d.h. die Energiewende setzt auch unter Stress und Belastungen ihren angestrebten Pfad fort bzw. schwenkt auch kurzfristig wieder auf diesen ein. Eine Ausnahme bildet die Änderung der Energiepreise – sowohl der Weltmarkt-Rohstoffpreise (Erdöl, Kohle, Gas) als auch der Verbraucherpreise. Sinken deren Preise, beeinflusst dies die Energiewende deutlich. Die Ursachen für Preisänderungen bei Energierohstoffen entziehen sich der direkten Intervention. Vor diesem Hintergrund sollte ein Risikomanagement für die Energiewende hier ansetzen und diesen Schwarzen Schwan in die strategischen Überlegungen und Zieldefinitionen einbeziehen. Zu erwägen ist zum Beispiel die Stärkung des CO<sub>2</sub>-Handels ebenso wie die Flexibilisierung von Förderinstrumenten, um die Anreize für die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen aufrecht zu erhalten.

Zudem bietet es sich an, die potenziellen Risiken schon auf instrumenteller Ebene anzugehen. Zu nennen ist insbesondere die Stärkung und Diversifizierung der Forschungsförderung und deren Zielen im Bereich der erneuerbaren Energien sowie der Integration von erneuerbaren Energien (z.B. Speicher). Auch könnte das „Verursacherprinzip“ gestärkt und damit externe Kosten stärker in die (beeinflussbaren) Komponenten der (Verbraucher-)Energiepreise einbezogen werden.

Für weitere mögliche Risiken wie Infrastrukturmangel, Digitalisierung, und fehlende Finanzmittel wird ebenfalls Handlungsbedarf gesehen.

### **Schwerpunkt eines Risikomanagements für die Energiewende: Ziele & Strategie**

Die Analyse macht deutlich, dass die Sicherung von Robustheit und Resilienz der Energiewende gegenüber möglichen Risiken vor allem eine Aufgabe der strategischen Ausrichtung und der Zielsetzungen ist. Das bedeutet, dass die bestehenden Strategien und Zielsetzungen vor dem Hintergrund der Kenntnisse über mögliche Risiken weiterentwickelt werden sollten. Die hierzu erforderlichen Instrumente – zur Umsetzung bzw. Wirkungsminimierung bei Risikoeintritt – sind in der Regel schon vorhanden. Neue Instrumente sind nur bedingt notwendig.

### **Kommunikation ist und bleibt wichtig**

Eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Energiewende stellt die Zustimmung und Akzeptanz der Bürger (und Wirtschaft etc.) dar. Kommunikation ist damit der entscheidende Faktor, um die Umsetzung und den Erfolg der Energiewende langfristig abzusichern. Das bedeutet aber auch, dass schnell eine aktive Kommunikation sichergestellt sein muss, wenn Risiken eintreten. Sonst könnte die Akzeptanz der Energiewende erheblich leiden.

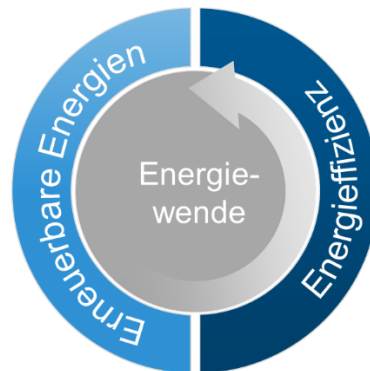
## 2 Aufgabenstellung und methodisches Vorgehen

### 2.1 Hintergrund und Aufgabenstellungen

Die Energiewende hat eine große Bedeutung für die Energieversorgung und die wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland. Die Studie soll daher im Sinne eines politischen Risikomanagements und vor dem Hintergrund des Konzepts der Schwarzen Schwäne nicht erwartete oder als unwahrscheinlich eingeschätzte Ereignisse dahingehend untersuchen, ob und welche energiepolitischen und gesamtwirtschaftlichen Wirkungen sie entfalten könnten. Hierbei geht es in dieser Arbeit darum, Risiken und Ereignisse in den Blick zu nehmen, die nicht im üblicherweise betrachteten Korridor der Voraussetzungen und Rahmenbedingungen von Planungsstudien zur Energieversorgung oder zur wirtschaftlichen Entwicklung liegen. Damit sind die betrachteten Risiken notwendig selektiv. Darüber hinaus ist von Interesse, welche (politischen) Vorsorge- und Reaktionsmöglichkeiten ergriffen werden können. Die Aufgabe der Studie liegt daher darin, wesentliche Risiken für die Energiewende und insbesondere den Ausbau der erneuerbaren Energien zu identifizieren, zu selektieren und auf ihre Wirkungen hin zu untersuchen. Grobe Abschätzungen von Kosten und Auswirkungen auf die energie- und gesamtwirtschaftliche Entwicklung sind dabei vorzunehmen und zu Handlungsempfehlungen zu verdichten.

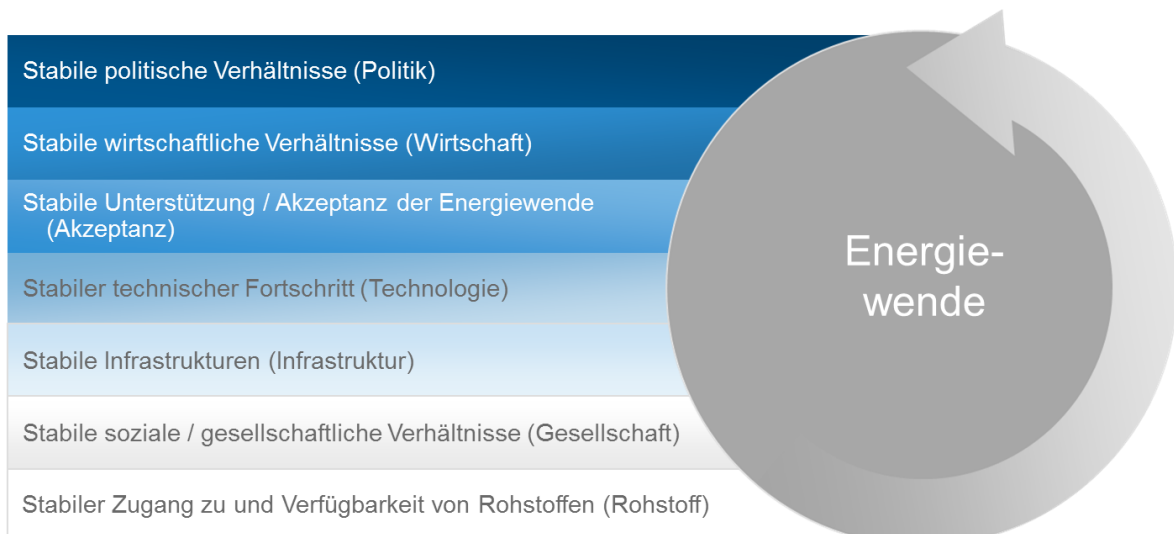
Mit der Energiewende hat die Bundesregierung den Anstoß zu umfassenden Veränderungen in der Energieversorgung gegeben. Dabei umfasst die Energiewende im Wesentlichen zwei Aspekte: Die Energieversorgung soll auf erneuerbare Energien ausgerichtet werden, d.h. fossile Energieträger sowie Atomkraft sollen substituiert werden. Daneben steht der sorgsame Umgang mit Energie (Energieeffizienz). Unter Energieeffizienz wird dabei zum einen als die zumeist mit Investitionen verbundene Umsetzung technischer und systemischer Maßnahmen verstanden. Zum anderen ist darunter auch die Energieeinsparung als nicht-technisches Verbrauchsverhalten zu verstehen. Diese beiden Themenfelder sollen dazu beitragen, dass Deutschland seine anspruchsvollen Klimaschutzziele erreicht und dabei auch zukünftig eine wettbewerbsfähige Volkswirtschaft mit hoher Versorgungssicherheit und hohem Wohlstandsniveau bleibt.

Abbildung 2-1: Kernelemente der Energiewende



Die Umsetzung der Energiewende erfolgt vor allem durch langfristige (und weitreichende) Investitionen – in Anlagen zur Energieerzeugung, in Effizienztechnologien zur Reduktion des Verbrauchs, z.B. bei langlebigen Investitionsgütern wie Gebäuden, in Infrastruktur (z.B. Stromnetze, Schienennetze, Speichertechnologien) sowie eine teilweise gerichtete und beschleunigte Technologieentwicklung. Damit diese Investitionen getätigt werden, benötigen die Investoren (langfristige) Planungssicherheit bezüglich des Bedarfs, der wirtschaftlichen Bedingungen und – gerade bei großen Investitionen der öffentlichen Versorgung – Akzeptanz. Wesentlich für das Gelingen der Energiewende ist daher die Gewährleistung möglichst stabiler und adäquater Rahmenbedingungen, vor allem bezüglich der sozioökonomischen Gegebenheiten sowie der Akzeptanz. Die für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende notwendigen Rahmenbedingungen sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

Abbildung 2-2: Überblick über wichtige Rahmenbedingungen der Energiewende



Diese Rahmenbedingungen und ihre Stabilität können durch unterschiedliche Ereignisse beeinflusst werden. Die im Folgenden beispielhaft aufgeführten Ereignisse können die Rahmenbedingungen beeinflussen. Sie sind aber nicht immer als Schwarze Schwäne zu verstehen, da oftmals das Kriterium der „Unerwartetheit“ nicht oder nur bedingt zutrifft. Zudem sind weitere Ereignisse denkbar, die zwar ebenfalls wie Schwarze Schwäne unerwartet auftreten und große Auswirkungen auf die Energiewende haben können, jedoch auch positive Wirkungen auf die Erreichung der Energiewendeziele haben können. Diese Ereignisse werden hier als „Pinke Schwäne“<sup>1</sup> bezeichnet. Im Mittelpunkt der Studie stehen jedoch Schwarze Schwäne, also Ereignisse, die die Zielerreichung der Energiewende gefährden könnten.

### **Stabile politische und wirtschaftliche Verhältnisse**

Die stabilen politischen und wirtschaftlichen Verhältnisse sind sowohl im nationalen als auch im internationalen Bezugsrahmen erforderlich, um die Energiewende erfolgreich durchzuführen. Beispiele für mögliche Ereignisse, die die Stabilität der politischen Rahmenbedingungen beeinflussen können, sind:

- Ein Zusammenbruch der Europäischen Union, der zu einem Ende des Handels mit Klimazertifikaten führen könnte. Eine Gefährdung der Emissionsreduktionsziele der Energiewende wäre die direkte Folge;
- Der Ausfall eines bedeutenden Erdgasproduzenten aufgrund von Kriegen oder Krisen;
- Die Schwächung der internationalen Kooperation zur Eindämmung der Klimaerwärmung. Obwohl im Klimaabkommen von Paris anspruchsvolle Ziele vereinbart wurden, reichen die bisher von den Nationalstaaten zugesagten Maßnahmen bei weitem nicht aus um das Zwei-Grad-Ziel zu erreichen. Wenn die außereuropäischen Länder nicht ausreichend partizipieren würden, stiege die Gefahr von Carbon Leakage, die Akzeptanz für ambitionierte Ziele würde abnehmen. Auch die Entwicklung und Diffusion von Effizienztechnologien könnte sich in der Folge verlangsamen;
- Änderungen des ordnungspolitischen Handlungsrahmens. Radikale Änderungen des europäischen Emissionshandels aufgrund von Interventionen internationaler Interessensgruppen könnten zum Beispiel dazu führen, dass Europa gezwungen wäre, seine Klimaschutzbemühungen zur Erhaltung seiner Wettbewerbsfähigkeit zu reduzieren;

---

<sup>1</sup> Dieser Begriff wurde u.W. von den Studierstellern geprägt. Der naheliegende Gegensatz „weiß“ zu den schwarzen Schwänen konnte nicht verwendet werden, da weiße Schwäne nicht selten, sondern der Normalfall sind.



- Sollten sich größere und längerfristig wirksame instabile Konstellationen (z.B. verschärfte Konflikte im Nahen und mittleren Osten, ernsthafte wirtschaftliche und politische Probleme in Russland) ergeben, könnte dies umfassende Auswirkungen auf Rohstoffzugänge, Versorgungssicherheit oder politische Prioritäten sowie die Entwicklung der Wirtschaftsstruktur haben.

Beispiele für Ereignisse, die die Stabilität der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen beeinflussen können, sind unter anderem:

- Die Nachwirkungen der globalen Finanzkrise. Die Rettungsmaßnahmen der Notenbanken und die hohe Staatsverschuldung könnten zu Fehlallokationen und Spekulationsblasen auf den Finanzmärkten und letztlich auch lang anhaltenden realwirtschaftlichen Krisen führen;
- Die Veränderung der Wirtschaftsstruktur und eine Verlagerung von energieintensiven zu weniger energieintensiven Branchen tragen langfristig nicht unerheblich zur Reduktion des Energieverbrauchs bei. Wäre der Rückgang der energieintensiven Branchen geringer als erwartet, so würde auch dies die Zielerreichung erschweren;
- Die Energiepreise sind ein wichtiger Anreiz für Effizienzmaßnahmen und Energieträgersubstitutionen. Über einen längeren Zeitraum niedrige Energiepreise würden diese Maßnahmen hemmen. Dadurch würden sich der Verbrauchsrückgang und der Ausbau der erneuerbaren Energien verringern. Dauerhaft niedrige Preise konventioneller Energieträger könnten zudem einen Rückgang oder eine Kostenerhöhung des Ausbaus erneuerbarer Stromproduktion zur Folge haben und somit die Angebotsseite der Strommärkte wandeln. Zudem wäre eine verringerte Akzeptanz der Energiewende denkbar. Neben den absoluten Energieträgerpreisen sind auch deren Relationen von Bedeutung. Sehr niedrige Kohlepreise bei sehr hohen Gaspreisen könnten beispielsweise zu hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen führen, die das Erreichen klimapolitischer Ziele sehr teuer machen würden.

## **Unterstützung und Akzeptanz**

Eine stabile Akzeptanz der Energiewende ist ein Grunderfordernis, das bei der Mehrheit der Akteure aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft gegeben sein muss. Die Akzeptanz ist Grundlage für die fortwährende Unterstützung und Förderung der Energiewende und für die Bereitschaft zu Investitionen in Effizienzmaßnahmen und erneuerbare Energien in der Wirtschaft und bei der Bevölkerung. Ereignisse, die die Stabilität der Akzeptanz beeinflussen können, haben unterschiedliche Ausgangspunkte. Zu diesen zählen zum Beispiel:

- Wirtschaftliche Aspekte wie der Anstieg von Energiepreisen (s.o.);
- Änderungen der politischen Agenda aufgrund von (internationalen) Krisen, zunehmender Migration oder epochalen Ereignissen wie dem Fall der Mauer 1989;
- Verteilungsfragen, wenn die Verteilung der Nutzen und Kosten der Energiewende als ungerecht betrachtet werden. Denkbar wäre, dass die Akzeptanz der Bevölkerung von erneuerbaren Energien aufgrund stark angestiegener Endkundenpreise signifikant abnehmen könnte;
- Die Akzeptanz für energetische Gebäudesanierungen könnte abnehmen, wenn die Energiekosteneinsparungen weniger hoch wären als erhofft – beispielsweise weil die Komfortansprüche sich verändern, die Sanierungen nicht ordnungsgemäß ausgeführt werden (Mangel an qualifiziertem Fachpersonal) oder die Energiepreise weniger stark steigen;
- Die Akzeptanz kann durch Umweltrisiken gefährdet werden, wenn sich zum Beispiel durch neue Materialien oder die Abfallentsorgung unvorhergesehene neue Herausforderungen ergeben würden.

### Technischer Fortschritt

Der technische Fortschritt ist elementar für das Gelingen der Energiewende. Im technologischen Bereich sind die Entwicklungen und damit einhergehende Risiken heute zum Teil nur schwer absehbar. Beispiele für Ereignisse, die die Stabilität des technischen Fortschritts beeinflussen können sind:

- Eine unerwartet und wesentlich langsamere technologische Entwicklung könnte im Vergleich mit den heutigen Annahmen geringere Effizienzgewinne und geringere Kostenreduktionen (flachere Lernkurven) zur Folge haben.
- Technologiedurchbrüche, z.B. im Bereich der Wasserstoffherstellung, der Kernfusion, der Shale Gas Revolution oder des „Carbon Capture and Storage“ (CCS) können langfristig das Energieversorgungssystem massiv verändern. Diese „Game Changer“ könnten bei anderen Techniken zu Fehlinvestitionen führen, insbesondere aufgrund der Langlebigkeit der Infrastruktur.

### Infrastrukturen

Für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende sind geeignete Infrastrukturen bzw. deren Aufbau, Unterhalt und Betrieb notwendig, möglichst mit auf den Ausbau der EE abgestimmten Zeitska-

len. Zur Infrastruktur gehören nicht nur die Energieinfrastruktur (Kraftwerke, Netze, Pipelines, Speicher), sondern auch die Verkehrsinfrastruktur (Schienen, Straßen, Ladeinfrastruktur für E-Mobilität und Wasserstoff-Mobilität) sowie Informationsinfrastruktur mit ihrer notwendigen (und nichttrivialen) Sicherung. Mögliche Ereignisse, die die Stabilität gefährden könnten, sind:

- Durch die zunehmende Vernetzung von Produktionsanlagen („Industrie 4.0“, Digitalisierung) und Übertragungsnetzen sowie den Einbau von Smart-Technologien (Smart Grid, Smart Metering, Smart Home) steigen die Systemrisiken. Die Verwundbarkeit der Infrastrukturen durch Angriffe (Hacking, Sabotage) nimmt ebenso zu wie diejenige durch technologische Abhängigkeiten (Schnittstellen, wachsende Systemkomplexitäten, technische Defekte). Ein gezielter Angriff auf die Software eines zentralen Netzknotenpunktes könnte so die gesamteuropäische Versorgungssicherheit gefährden.
- In Hinblick auf eine erfolgreiche Integration eines steigenden Anteils der erneuerbaren Energien sind ausreichend Übertragungskapazitäten notwendig. Aufgrund eines regional zu differenzierenden Ausbaus könnten Entwicklungen wie Verzögerungen und unerwartete Baustopps von Übertragungsleitungen den anvisierten EE-Ausbau in der Stromerzeugung, der für die Ersetzung fossiler Energien in der Strom- und Wärmezeugung und im Verkehr (Sektorkopplung) relevant ist, wesentlich beeinträchtigen.

### Soziale und gesellschaftliche Verhältnisse

Die Stabilität der sozialen und gesellschaftlichen Verhältnisse hat unterschiedliche Dimensionen, die zum Teil wieder auf die Akzeptanz der Energiewende als politisches Programm Rückwirkungen zeigen können. Als Beispiele sind anzuführen:

- Die sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen haben einen großen Einfluss auf die Entwicklung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Kommt es zum Beispiel in Folge von Migrationsbewegungen zu einem (starken) Bevölkerungswachstum in Deutschland, würde damit auch der Energieverbrauch weniger stark sinken als unter den bisherigen demographischen Prognosen erwartet oder könnte sogar (zumindest temporär) ansteigen.
- Nicht ausreichende Qualifikation bei Handwerkern bzw. Fachkräftemangel würde dazu führen, dass Effizienzmaßnahmen nicht wie erwartet umsetzbar wären oder der technologische Fortschritt nicht ausreichend aufgenommen werden könnte;

- Änderung der Bevölkerungsstruktur und damit einhergehende Auswirkungen auf Nachfrage, Infrastruktur, Fachkräftereservoir etc.

## Verfügbarkeit von Rohstoffen

Der Zugang zu und die Verfügbarkeit von Rohstoffen hat zwei Perspektiven: zum einen ist die Frage nach Energie-Rohstoffen zu stellen, zum anderen müssen auch diejenigen Rohstoffe fokussiert werden, die für die Entwicklung und Produktion von Technologien relevant sind. Beispiele hierfür sind:

- Die ausreichende Verfügbarkeit von erneuerbarer Biomasse für die energetische Nutzung ist mit größeren Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft insbesondere die biogenen Treibstoffe. Technologien für die Herstellung von Biotreibstoffen der III. Generation sind erst in der Entwicklung. Zudem bestehen bei der Biomasse Nutzungskonflikte, z.B. bei den Treibstoffen („Tank vs. Teller“).
- Rohstoffe zum Aufbau und Unterhalt der Infrastruktur. Zu erwähnen sind hier zum einen Stahl und Kupfer für Leitungen und Anlagen, zum anderen kritische Mineralien, die nur in geringen Mengen verbraucht werden, aber zentral für das Funktionieren der Anlagen und Geräte sind. Beispiele dafür sind Gallium und Germanium in der PV-Herstellung, Cerium für Hybridfahrzeuge oder Lithium und Vanadium für Stromspeicher (Moss et al. 2011, Graedel 2011, Schriegl et al. 2013).
- Die langfristige Verfügbarkeit und der geografische, politische oder physikalische Zugang bestimmt die Preisentwicklung dieser Rohstoffe. Die Rohstoffpreise wiederum beeinflussen die Kostenentwicklung der darauf basierenden Technologien (Bruckner et al. 2013, Großmann et al. 2013). Eine Verknappung seltener Metalle würde diesen Zusammenhängen gemäß zu erhöhten Technologiekosten der erneuerbaren Energien und folglich zu einem geringeren Ausbau führen.

## Grundannahmen zur Energiewende und Schwarzen Schwänen

Die Energiewende ist ein langfristiges Projekt, ihre Zielvorgaben reichen bis ins Jahr 2050. Weltweite Zielvorstellungen haben z.T. noch längere Zeithorizonte (2080, 2100). Mit einem derart langen Prognosehorizont wächst auch die Unsicherheit über Art, Ausprägung und Eintrittswahrscheinlichkeit von zukünftigen Ereignissen an. Die Erreichung der Ziele ist daher von einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren, deren Entwicklung und Interdependenzen abhängig, die in der langfristigen Perspektive nur ungenügend genau abgeschätzt werden können. Vor dem Hintergrund der angeführten Beispiele lautet die erste Grundannahme für die Studie:

Die Energiewende ist abhängig von stabilen Rahmenbedingungen

Im Sinn der Zielstellung der Studie sind daher mögliche Ereignisse zu untersuchen, die die Stabilität der angeführten Rahmenbedingungen beeinflussen können. Dabei wird auf das Bild des Schwarzen Schwans zurück gegriffen. Ereignisse, die einen Schwarzen Schwan darstellen können, haben drei Eigenschaften (vgl. Taleb 2007):

- Überraschend und unerwartet: Es ist ein Ausreißer, d.h. das Ereignis liegt außerhalb der regulären (empirischen und vergangenheitsbezogenen) Erwartungen bzw. außerhalb von Erfahrungswerten.
- Das Ereignis hat enorme Auswirkungen.
- Das Ereignis wird nachträglich rationalisiert und (dem Anschein nach) vorhersagbar gemacht, indem Erklärungen für sein Eintreten gesucht werden (psychologische Komponente).

Gemäß Talebs „Schwarzer Schwan-Ansatz“ hat der Mensch die Illusion, die gegenwärtigen Ereignisse zu verstehen. In seinem Denken neigt er dazu, unwahrscheinliche Vorkommnisse auszublenken. Er sucht stattdessen nach „Beweisen“ um seine Prognosen und Szenarien zu bestätigen und verdrängt Hinweise auf Abweichungen. Laut Taleb kann jedoch aus einer in der Vergangenheit erhobenen Messreihe nicht auf die zukünftige Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses geschlossen werden. Daher bedarf die Erstellung von und der Umgang mit Prognosen und Szenarien eine besonders sorgfältige – und wiederholte – Prüfung der Eintrittswahrscheinlichkeiten bzw. deren Bewertung. Erst unter dieser Voraussetzung und der damit verbundenen Selbstreflexion sind Aussagen zu Eintrittswahrscheinlichkeiten valide. Eintrittswahrscheinlichkeiten sind nicht Gegenstand der Studie und der im Folgenden dargestellten Risikocluster.

Ergänzend zum Verständnis der Schwarzen Schwäne sind zudem sind auch Ereignisse denkbar, deren Eintritt positive Wirkungen auf die Erreichung der Energiewendeziele haben können. Diese Ereignisse werden als „Pinke Schwäne“ bezeichnet. Im Mittelpunkt der Studie stehen jedoch Schwarze Schwäne, also Ereignisse, die die Zielerreichung der Energiewende gefährden könnten.

Es ist möglich, dass sich in einem oder mehreren Bereichen die Rahmenbedingungen für die Energiewende künftig weniger gut entwickeln als erwartet und benötigt. Angesichts der Bedeutung der Energiewende für die deutsche Energieversorgung und die wirtschaftliche Entwicklung sind im Sinne eines politischen Risikomanagements diese aus heutiger Sicht als eher unwahrscheinlich einzuschätzenden Gegebenheiten in Betracht zu ziehen. Daher sind zukünftig mögliche Ereignisse zu identifizieren. Wenn diese Ereignisse der Schwarzen Schwan-Definition entsprechen, sind sie in Bezug auf ihre Wirkungen sowie Reaktions- und Vorsorge-möglichkeiten hin zu untersuchen. Im Zusammenhang mit der Zielsetzung der Studie lautet daher die zweite Grundannahme

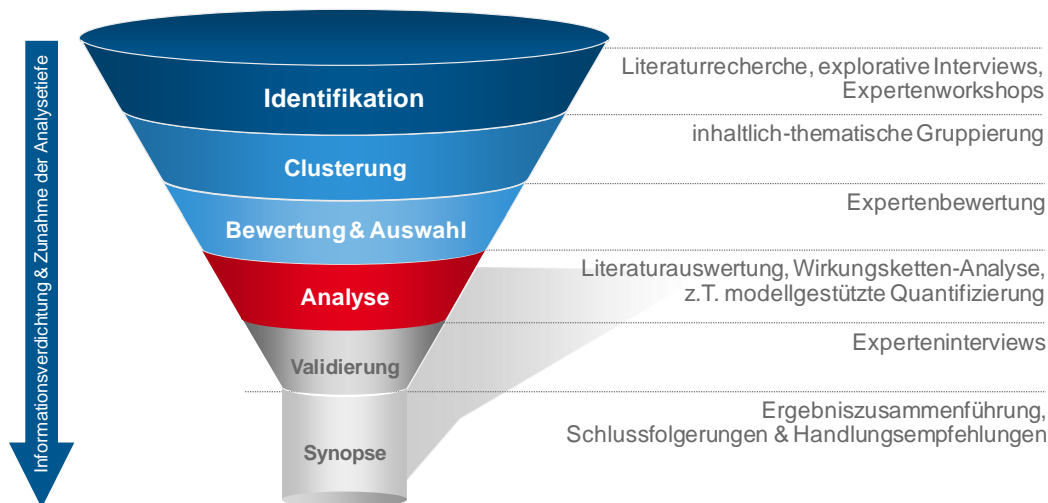
Schwarze Schwäne beeinflussen die Stabilität der Rahmenbedingungen der Energiewende

## 2.2 Methodisches Vorgehen

### 2.2.1 Überblick

Im ersten Schritt werden unterschiedliche Ereignisse identifiziert, die als Schwarze Schwäne die Stabilität der Rahmenbedingungen der Energiewende beeinflussen können. Daran anschließend werden die identifizierten Schwarzen Schwänen zu Risikoclustern zusammengefasst (Clusterung). Damit ist es möglich, die Bewertung und Auswahl von näher zu untersuchenden Schwarzen Schwänen vorzunehmen (Bewertung & Auswahl). Diese Auswahl wird einer vertieften Analyse unterzogen, die neben der Analyse der Wirkungsketten auch wesentliche Auswirkungen zu quantifizieren versucht (Analyse). Nach einer abschließenden Validierung der erarbeiteten Ergebnisse werden Schlussfolgerungen gezogen und Handlungsempfehlungen abgeleitet. Die folgende Abbildung gibt einen schematischen Überblick über das Vorgehen:

Abbildung 2-3: Überblick über das methodische Vorgehen



### 2.2.1 Identifikation potenzieller Schwarzer Schwäne

Den Ausgangspunkt der Arbeiten stellt die Recherche und Auswertung von (wissenschaftlicher) Literatur dar, die sich mit Risiken und unerwarteten Ereignissen im Hinblick auf die Energiewende beschäftigt. Auf Wunsch des Auftraggebers wird der Analyse ein Zeitraum für den Wirkungseintritt bis 2050 zugrunde gelegt. Daneben werden explorative Interviews mit Experten aus unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen und Branchen durchgeführt, um eine „Lock in“-Situation zu vermeiden und den Blick aus dem Energiesystem heraus für überraschende Ereignisse zu öffnen. Zusätzlich werden interne Workshops bei den Auftragnehmern mit dem Ziel durchgeführt, das in anderen Bereichen vorhandene Wissen zu bündeln und daraus neue Problemsichten zu entwickeln und mögliche Schwarze Schwäne zu identifizieren.

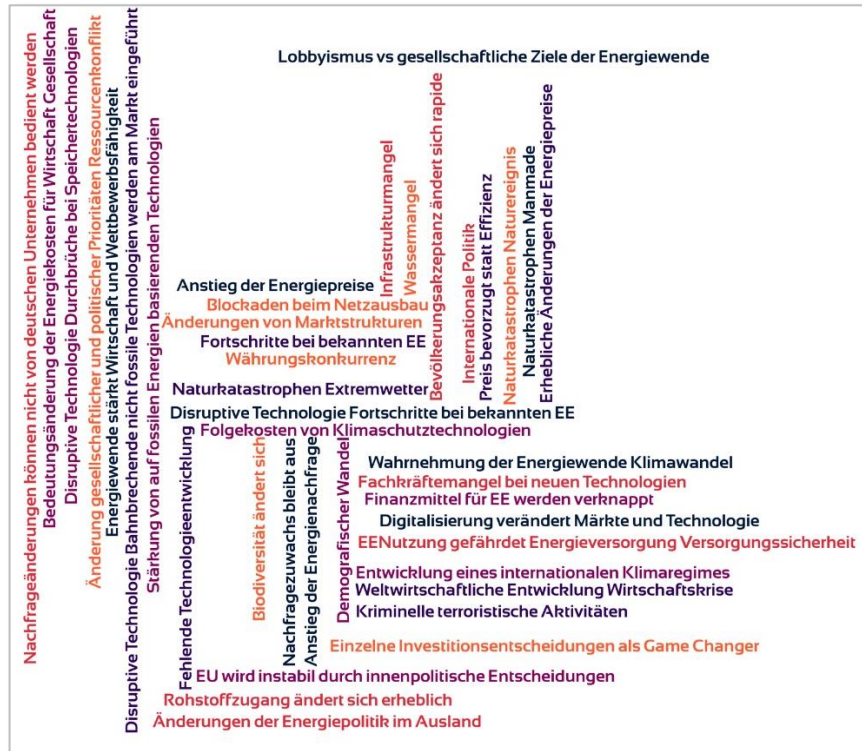
Das Ergebnis dieser Tätigkeiten stellt die „Urliste“ dar. Diese Urliste umfasst knapp 150 unterschiedliche Ereignisse. Sie haben nach der ersten Einschätzung das Potenzial, einen Schwarzen Schwan für die Energiewende darzustellen. Eine quantitative Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit oder Einfluss- und Schadensgröße ist damit nicht verbunden. Mit der Aufnahme in die Urliste entspricht das Ereignis allerdings im weiteren Sinn dem Kriterium des unerwarteten und überraschenden Eintritts. Die weiteren Kriterien der Definition von Schwarzen Schwänen werden in den anschließenden Auswahlprozessen einbezogen (siehe Kapitel 2.2.2). Die folgende Abbildung gibt einen grafischen Eindruck der Urliste, eine tabellarische Aufstellung ist im Anhang (Tabelle 5-1, ab Seite 181) zu finden:





den ihnen zugeordneten Ereignissen ist im Anhang zu finden (Tabelle 5-2, ab Seite 185).

Abbildung 2-5: Cluster der potenziellen Schwarzen Schwäne (Wordcloud)



## Bewertung

Die Auswahl der vertieft zu bearbeitenden Schwarzen Schwäne muss nachvollziehbar und transparent sein, d.h. die Selektionskriterien sind offenzulegen, müssen logisch nachvollziehbar sein sowie in einem Zusammenhang mit der Zielsetzung der Studie stehen. Vor diesem Hintergrund müssen sie aus den Ausgangsthese und dem Konzept der Schwarzen Schwäne ableitbar sein bzw. weitere bewährte Kriterien aus der Risiko-Forschung aufnehmen. Zudem sollten sie in einfacher Weise operationalisierbar sein.

Die bekanntesten Kriterien zu Bewertung von Risiken sind die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß (vgl. Kaplan & Garrick 1981: 13; SFK 2004: 13; WBGU 1998: 36 mwN). Schwarze Schwan-Risiken sind auf Grund ihrer Definition charakterisiert durch eine sehr geringe Eintrittswahrscheinlichkeit. Diese kann aber nicht genau bestimmt werden, da das Risikoereignis außerhalb der empirischen Erwartungen liegt. Eine Einstufung und Gruppierung der Risiken anhand des Kriteriums Eintrittswahrscheinlichkeit ist deshalb lediglich anhand einer qualitativen Rangordnung möglich.

Das Schadensausmaß wird im Konzept der Schwarzen Schwäne als „enorme Auswirkungen“ verstanden. Für die vorliegende Studie ist dabei nicht eine quantifizierte oder quantifizierbare Auswirkung als Schadenshöhe zu verstehen. Vielmehr steht im Mittelpunkt der Aufgabenstellung die Frage, ob diese Schwarzen Schwäne Auswirkungen bzw. welche Auswirkungen sie auf die Energiewende haben können.

Neben Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß lassen sich weitere Kriterien benennen, die für die Bewertung von Risiken genutzt werden können. Im Jahresgutachten 1998 des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung zu globalen Umweltveränderungen (WBGU 1998: 55 mwN) werden beispielsweise folgende Kriterien aufgeführt:

- Abschätzungssicherheit, d.h. die Ungewissheit über die Wahrscheinlichkeitsverteilung von potenziellen Schäden
- Ubiquität, d.h. die geografische Ausdehnung des potenziellen Schadens
- Persistenz, d.h. die zeitliche Ausdehnung der potenziellen Schäden
- Reversibilität bzw. Irreversibilität, d.h. die Möglichkeit, den Ausgangszustand (nicht) wieder herzustellen
- Verzögerungswirkung, d.h. die Zeitspanne zwischen Auslösung des Ereignisses und der tatsächlichen Auswirkung des potenziellen Schadens
- Soziales Konflikt- und Mobilisierungspotenzial, d.h. die mögliche Verweigerung der Akzeptanz durch und in der Gesellschaft.

Vor dem Hintergrund der Aufgabenstellung und des Konzept der Schwarzen Schwäne stellt der Einfluss des Ereigniseintritts auf die Stabilität der Rahmenbedingungen das wichtigste Bewertungskriterium für die Auswahl dar. Dabei wird der Einfluss als „Betroffenheit“ im Sinne von „Empfindlichkeit gegenüber einem Einfluss“ verstanden. Es handelt sich daher nicht um die Einschätzung einer Schadenshöhe, sondern um die Frage nach dem Einfluss auf die Rahmenbedingungen. Damit bleibt noch immer offen, ob es sich nicht auch um positive Einflüsse handeln kann, also die Energiewende und ihre Ziele durch das Ereignis unterstützt werden. Grundsätzlich ist damit aber immer die Nähe zum bekannten Risiko-Bestimmungsfaktor „Schaden“ gegeben, ohne diesen schon zum Auswahlzeitpunkt quantifizieren zu müssen. Dieses Kriterium ist aus den Hypothesen sowie der Definition der Schwarzen Schwäne direkt abgeleitet: Die überraschend und unerwartet auftretenden Ereignisse des jeweiligen Cluster haben erhebliche

Auswirkungen auf die Stabilität der Rahmenbedingungen der Energiewende und damit auf deren erfolgreiche Umsetzung. Das Kriterium „Betroffenheit“ hat daher bei der kriteriengestützten Auswahl eine zentrale Bedeutung, da die Ausgangshypothesen damit abgedeckt werden können. Zudem ist das Kriterium vergleichsweise einfach zu operationalisieren.

Die folgende Tabelle gibt einen kurzen Überblick und schätzt die Eignung und Operationalisierbarkeit der weiteren, oben angeführten Kriterien für die vorliegende Studie ab:

*Tabelle 2-1: Mögliche Kriterien für die Auswahl der vertieft zu bearbeitenden Schwarzen Schwäne*

	Kriterium	Anmerkung	Geeignet für Auswahl?	Detailwissen notwendig?	vorläufige Einschätzung möglich?
Definition Schwarzer Schwan	Eintrittswahrscheinlichkeit	„unerwartet und überraschend“	ja	gering	ja, Vorauswahl durch Aufnahme in die Urliste
	Betroffenheit	„enorme Auswirkungen auf Rahmenbedingungen“	ja	gering	ja, durch wissensbasierte Einschätzung
	nachträgliche Rationalisierung	deskriptiv	nein	--	--
Sonstige häufig genutzte Kriterien	Abschätzungssicherheit	Teil von „Betroffenheit“	ja	mittel	ja, implizit
	Ubiquität	Teil von „Betroffenheit“	ja	gering	ja, implizit
	Persistenz	Abhängig von Bewältigungsfähigkeit	ja	hoch	nein
	Verzögerungswirkung	--	ja	gering	ja
	Reversibilität	Abhängig von Bewältigungsfähigkeit	ja	mittel	ja

Die Kriterien „Abschätzungssicherheit“ und „Ubiquität“ werden implizit mit der Aussage zur „Betroffenheit“ der Rahmenbedingungen für die Energiewende abgeschätzt. Eine darüber hinausgehende qualifizierte Aussage zu beiden Kriterien ist im derzeitigen Projektstadium nur schwer möglich und setzt mehr Detailwissen voraus.

Damit bleiben drei weitere, häufig genutzte Kriterien übrig, zwei davon mit zeitlichem Hintergrund („Persistenz“ und „Verzögerungswirkung“). Die Persistenz oder zeitliche Dauer der Schäden (Dauer des Schadenszustandes) steht im Zusammenhang mit der Bewältigungsfähigkeit des Systems (Anpassungsfähigkeit, Coping, Resilienz) und bedarf daher für eine Einschätzung weiterer Informationen.

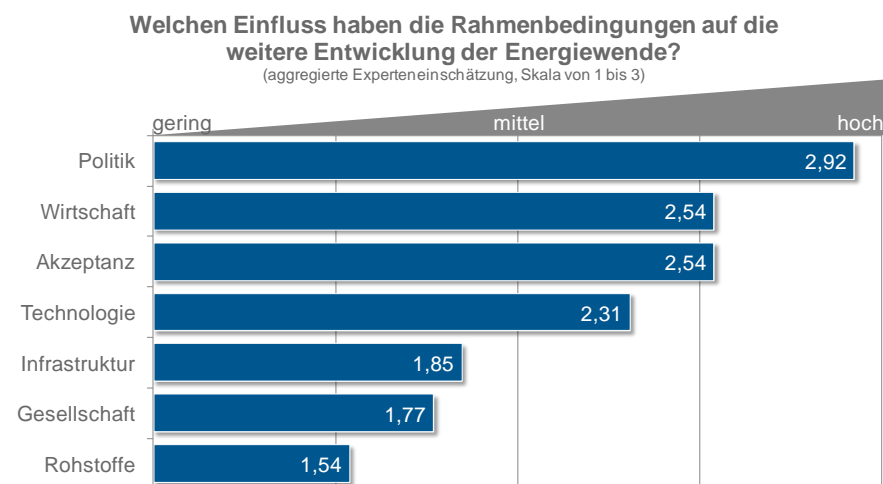
Die Verzögerungswirkung, d.h. die Zeitspanne zwischen Auslösung des Ereignisses und dem tatsächlichen Wirkung-/Schadenseintritt ist stärker an das Risiko rückgebunden und lässt sich auch als Vorannahme ohne genauere Detailkenntnisse der Wirkungsketten einschätzen.

Als letztes Kriterium steht die Reversibilität, d.h. die Möglichkeit den Ausgangszustand wieder herzustellen. Auch hier zeigt sich ein Zusammenhang mit der Bewältigungsfähigkeit des Systems. Allerdings ist die Möglichkeit einer Einschätzung eher gegeben als bei der Persistenz, da eine zeitliche Komponente fehlt.

### Auswahl der zu bearbeitenden Schwarzen Schwäne

Die Grundlage zur Auswahl der vertieft zu bearbeitenden Schwarzen Schwäne bildet vor dem Hintergrund der vorangegangenen Ausführungen die Bewertung des Kriteriums „Betroffenheit“. Für jedes Cluster erfolgte die Bewertung unabhängig durch dreizehn Experten auf Basis des vorhandenen und durch den Arbeitsschritt „Identifikation“ ergänzten Wissens. Da die Cluster – und einzelne Ereignisse – auf unterschiedliche Rahmenbedingungen wirken können, wurde der Einfluss auf jede Rahmenbedingung abgeschätzt. Die Einzelbewertungen wurden dann für jedes Cluster zu einer Gesamtbewertung aggregiert, wobei die Rahmenbedingungen nach ihrer Bedeutung für die Energiewende gewichtet wurden. Die Gewichtung ihrerseits wurde auf Basis von Experteneinschätzung vorgenommen, die in der folgenden Abbildung dargestellt ist:

Abbildung 2-6: *Einflussstärke der Rahmenbedingungen auf die Energiewende*



Quelle: Expertenbefragung 2015

Zur weiteren Unterstützung der Auswahl wurden die Kriterien „Verzögerungswirkung“ und „Reversibilität“ ebenfalls durch Experten abgeschätzt. Beide Kriterien wurden – im Gegensatz zum Kriterium „Betroffenheit“ – nur entscheidungsbegleitend genutzt.

Auf Basis dieses Vorgehens wurden die 41 Cluster in eine Rangfolge gebracht und die ersten 15 als Vorschlagsliste in einen gemeinsamen Workshop mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie eingebracht (siehe auch Tabelle 5-3 auf Seite 190). In diesem Workshop erfolgte die Diskussion der Vorschlagsliste und

die finale Auswahl der vertieft zu bearbeitenden Schwarzen Schwäne. Für die Bearbeitung wurden elf Cluster aus der Vorschlagsliste ausgewählt, weitere vier wurden nach der Diskussion durch die Workshopteilnehmer von Seiten des BMWi ergänzt. Auf Grund von spezifischem Erkenntnisinteresse des BMWi wurde dabei das Kriterium „Eintrittswahrscheinlichkeit“ bzw. „unerwartet und über-raschend“ zum Teil weniger stark in die Entscheidung einbezogen als in der ursprünglichen Vorschlagsliste.

Zur vertieften Bearbeitung wurden folgende Cluster und dazugehörige Initialrisiken ausgewählt:

*Tabelle 2-2: Auswahl der zu bearbeitenden Schwarzen Schwäne und Initialrisiken*

Cluster	Initialrisiko
Prioritätenänderung in Politik und Gesellschaft	Gesellschaftliche Prioritäten ändern sich aufgrund eines oder mehrerer Ereignisse fundamental: Die Themen Energie- und Klimapolitik erhalten eine geringere Bedeutung.
Infrastrukturmangel	Blockaden beim Netzausbau werden durch „Not In My Backyard-Mentalität“ (NIMBY) verstärkt
Digitalisierung	„Digitalisierung breitet sich in allen Lebenslagen rasant aus“ und ersetzt alte Technologien
Entwicklung nicht-fossiler Technologien	Entwicklung von bahnbrechenden neuen Technologien („Game Changer“) erfolgt und sie werden am Markt eingeführt und etabliert (z.B. Wasserstoff, Kernfusion gelingt)
Durchbruch bei Speichertechnologie	Entwicklung von bahnbrechenden Speichertechnologien sowie deren Markteinführung gelingen
Internationales Klimaregime	Trotz grundsätzlicher Einigung in Paris reichen die Klimaschutzbeiträge der Staaten nicht aus, um das Zwei-Grad-Ziel zu erreichen. Auf weitergehende Maßnahmen kann sich die Staatengemeinschaft nicht verständigen. <sup>2</sup>
Änderung der Energiepreise	Dauerhaft sehr niedrige Preise für fossile Energien
Finanzmittel für erneuerbare Energien	Es stehen in Deutschland keine weiteren finanziellen Mittel für den Ausbau der EE mehr bereit
Kriminalität & Terrorismus	Smart-Technologien in der Heizungsanlage ermöglichen den Angriff auf eine spezifische Steuerung eines bestimmten Herstellers durch Produkterpresser

<sup>2</sup> Das ursprünglich gewählte, aber im Projektverlauf durch die politische Entwicklung überholte Initialrisiko lautete „In Paris scheitert ein internationales Klimaabkommen endgültig“. Nach Abschluss der Konferenz in Paris 2015 erfolgte die Anpassung des Initialrisikos.

Verfügbarkeit von Energierohstoffen	Russisches Gas-Embargo in 2030 führt zu sehr hohen Gaspreisen in Europa, deutsches Stromsystem ist zur Sicherstellung von Versorgungssicherheit signifikant von Gaskraftwerkskapazität abhängig, da Kohlekraftwerke stillgelegt wurden (Pfadabhängigkeit)
Rohstoffzugang für EE-Technologien	Natürliche oder künstliche Verknappung seltener Metalle zur Herstellung von EE-Technologien
Stärkung fossiler Energietechnologien	Das Stromsystem wird unter der fehlerhaften Annahme, dass Carbon Capture & Storage (CCS) in fossilen Kraftwerken keine Rolle spielt, ausgerichtet, und später damit konfrontiert, dass CCS doch wirtschaftlich einsetzbar ist
Folgekosten von Klimaschutztechnologien	Ein Technologieschub ermöglicht den Einsatz neuer Dämmmaterialien im Gebäudebereich. Nach einer gewissen Zeit werden hohe Kosten der Entsorgung und Gesundheitsprobleme bekannt
Extremwetter als Naturkatastrophe	Extremwetter – Heftiges Unwetter mit Sturmflut und Orkanböen
Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates	Es kommt zu einem signifikanten Einnahmerückgang des Staatshaushaltes aufgrund nicht näher dargestellter weltwirtschaftlicher krisenhafter Entwicklungen

Auch diese Auswahl lässt sich wiederum in Form einer Wordcloud darstellen:

Abbildung 2-7: Auswahl der zu bearbeitenden Schwarzen Schwäne (Wordcloud)



### 2.2.3 Analyse der ausgewählten Schwarzen Schwäne

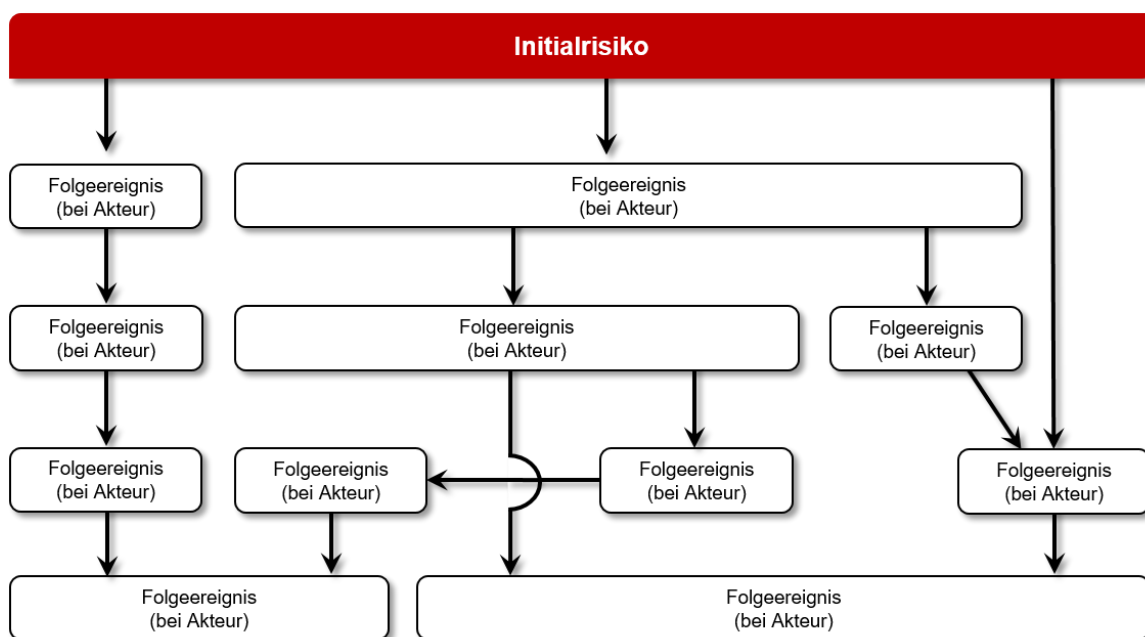
Die Analyse der Schwarzen Schwäne erfolgte in mehreren Schritten. Zuerst wurde eine Wirkungskette erstellt, deren Ausgangspunkt das jeweils ausgewählte Initialrisiko darstellt. Als Initialrisiko wird dabei das Ereignis verstanden, das stellvertretend als wirkungsauslösendes Ereignis des jeweiligen Risikoclusters analysiert wird. Ein Risikocluster kann zwar durch unterschiedliche Initialrisiken ausgelöst werden. Für den analytischen Schritt der Entwicklung von Wirkungsketten ist jedoch die Fokussierung auf ein Anfangsereignis sinnvoll, da damit die jeweiligen Wirkungszusammenhänge klar strukturiert und abgegrenzt werden können.

Diese Wirkungsketten sind das zentrale Element für die Analyse der Schwarzen Schwäne. Einerseits lassen sich damit qualitative Indikatoren beziehungsweise deren Änderungen identifizieren und beschreiben. Andererseits lassen sich mit den Wirkungsketten quantitative Indikatoren zur weiteren Bearbeitung ableiten.

Die Analyse der Wirkungsketten beinhaltet auch die Erfassung der involvierten Akteure, respektive der Akteure, die von potenziellen negativen Auswirkungen betroffen wären. Dadurch können anhand der Wirkungsketten Ansatzpunkte für die Entwicklung von Reaktions- und Vorsorgemöglichkeiten identifiziert werden. Das heißt, es lassen sich Interventionspunkte für das Management der Risiken festmachen.

Die folgende Abbildung illustriert den prinzipiellen Aufbau der Wirkungsketten:

Abbildung 2-8: Beispiel für den Aufbau von Wirkungsketten



Im Anschluss an die Entwicklung und Analyse der Wirkungsketten erfolgt für ausgewählte Schwarze Schwäne eine Quantifizierung der mit ihrem Eintritt verbundenen Auswirkungen. Für die Quantifizierung wurden gemeinsam mit dem Auftraggeber folgende Schwarze Schwäne ausgewählt:

*Tabelle 2-3: Quantifizierung von ausgewählten Schwarzen Schwänen*

Risikocluster
2 Infrastrukturmangel
6 Keine Umsetzung des globalen Klimavertrags
7 Änderung der Energiepreise
8 Finanzmittel für erneuerbare Energien
10 Verfügbarkeit von Energierohstoffen ändert sich erheblich
13 Folgekosten von Klimaschutztechnologien
15 Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates

Für die Quantifizierung wird in der Regel auf bestehende Szenarien und Prognosen zurückgegriffen.

### 3 Analyse möglicher Schwarze Schwäne in der Energiewende

Im Folgenden werden die in Kapitel 2 ausgewählten Risikocluster näher analysiert. Die Darstellung umfasst dabei

- (1) eine kurze Überblickstabelle, in der die wichtigsten Aussagen zusammengefasst sind,
- (2) eine grafische Darstellung der wichtigsten Wirkungsketten im jeweiligen Risikocluster, ausgehend vom gewählten Initialrisiko,
- (3) eine ausführliche Beschreibung der Wirkungsketten.



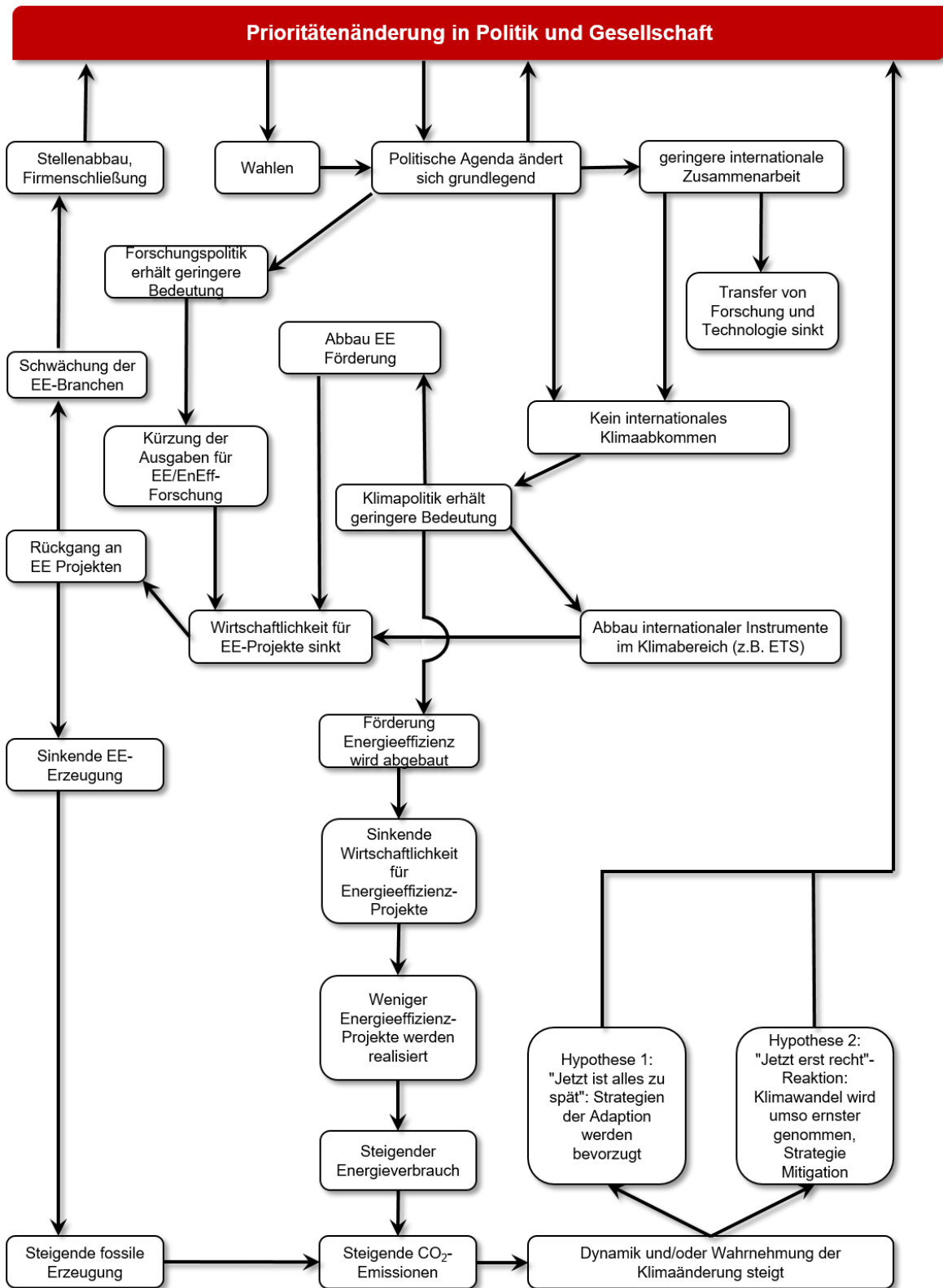
## 3.1 Prioritätenänderungen in Politik & Gesellschaft

### 3.1.1 Steckbrief

<b>Risikocluster</b>	Prioritätenänderung in Politik und Gesellschaft					
<b>Kurzbeschreibung</b>	Ein Ereignis verschiebt die gesellschaftlichen Prioritäten; damit wird die politische Agenda verändert und lenkt die vorhandenen (finanziellen, organisationellen) Ressourcen auf andere Prioritäten und Zielstellungen					
<b>Wirkungsdimensionen</b>						
Wirtschaft	Politik	Gesellschaft	Akzeptanz	Technologie	Rohstoffe	Infrastruktur
1,79	2,86	2,29	2,29	1,43	1,43	1,36
Skala von 0 bis 3 (kein Einfluss bis hoher Einfluss), Experteneinschätzung						
<b>Initialrisiko für Wirkungskette</b>	Gesellschaftliche Prioritäten ändern sich aufgrund eines oder mehrerer Ereignisse Beispiel: mehrere Terroranschläge in Mitteleuropa) fundamental: Die Themen Energie- und Klimapolitik erhalten eine geringere Bedeutung. Dies kann insbesondere im Rahmen eines schleichenden Prozesses passieren. Damit erfolgt eine grundsätzliche Änderung der politischen Agenda.					
<b>Kurzbeschreibung Wirkungskette</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schleichende Änderung der politischen Agenda</li> <li>▪ Beeinflussung der Bedeutung von Klimapolitik und ggf. indirekte Effekte durch eine geringere Forschungsförderung und geringere internationale Zusammenarbeit je nach Initialrisiko</li> <li>▪ Förderung für erneuerbare Energien und Energieeffizienz wird sukzessive abgebaut</li> <li>▪ Wirtschaftlichkeit von erneuerbaren Energien- und Effizienzprojekten sinkt</li> <li>▪ CO<sub>2</sub>-Emissionen steigen</li> <li>▪ Option 1: verstärkte Dynamik der Klimaänderung: Adaptionsstrategien und unkontrollierbare Folgen der Klimaänderung</li> <li>▪ Option 2: Wiederbesinnung der Gesellschaft auf die Probleme des Klimawandels, Klima- und Energiepolitik wieder prioritär</li> </ul>					
<b>Weitere Beispiele für Initialrisiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Migrationsproblematik</li> <li>▪ Wirtschaftskrise</li> <li>▪ Krieg</li> </ul>					
<b>Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risikocluster 6 „Internationales Klimaregime“: Möglicher Auslöser für Änderungen der politischen/gesellschaftlichen Prioritätensetzung</li> <li>▪ Risikocluster 8 „Finanzmittel für EE“: Geänderte Prioritäten können sich auf bereitgestelltes Budget auswirken</li> <li>▪ Risikocluster 9 „Kriminalität &amp; Terrorismus“: Möglicher Auslöser für Änderungen der politischen/gesellschaftlichen Prioritätensetzung</li> <li>▪ Risikocluster 13 „Folgekosten von Klimaschutztechnologien“: Möglicher Auslöser für Änderungen der politischen/gesellschaftlichen Prioritätensetzung</li> </ul>					

### 3.1.2 Wirkungskette

Abbildung 3-1: Wirkungskette Prioritätenänderungen in Politik & Gesellschaft



### 3.1.3 Beschreibung und Analyse

#### 3.1.3.1 Beschreibung des Initialrisikos

Den Ausgangspunkt der Analyse stellt ein Ereignis dar, das die politischen und/oder gesellschaftlichen Prioritäten fundamental ändert. Beispiele für ein solches Ereignis sind verstärkte Zuwanderung, Wirtschaftskrisen, Terrorismus oder kriegsähnliche Zustände in Europa. Die Themen Energie- und Klimapolitik erhalten dadurch in Politik und Gesellschaft eine geringere Bedeutung, da andere Herausforderungen als wichtiger erachtet werden.

Änderungen der politischen Agenda und damit politischer Prioritäten sind nicht damit verbunden, dass ein Thema im politischen Sinne gelöst ist. Vielmehr bekommt ein anderes Thema mehr Relevanz und seine Lösung wird als dringlicher angesehen. Es rückt damit in der Aufmerksamkeit des politischen Systems in den Vordergrund. In der Regel bestimmt es dann auch für einen bestimmten Zeitraum die politische und gesellschaftliche Diskussion. Andere Themen und Problemstellungen werden dem vorherrschenden Thema in der Bedeutung häufig untergeordnet. Auch wenn ein Thema die Diskussion dominiert, muss es nicht zu einer Änderung der (Fach-)Politiken kommen. Für Fachpolitiken bedeutsam wird die Prioritätensetzung in der Regel dann, wenn mit ihrer Durchsetzung relevante Budgetverschiebungen verbunden sind. Beispiele hierfür aus den letzten Jahren sind

- Reaktorunglück von Fukushima / Anstoß zur Energiewende
- Subprime-Krise in den USA mit weltweiten Auswirkungen / Euro-Stabilitätspakt, Bankenrettung
- Terroranschläge vom 11.09.2001 / Bedeutungsgewinn der Innen-/Äußeren Sicherheit mit zahlreichen gesetzlichen Änderungen (Kompetenzerweiterungen etc.), Islamkritische Diskussion
- Flüchtlingskrise (2015f) bzw. Asyldebatte (Anfang 1990er Jahre) / Auftreten neuer politischer Akteure, Verschärfung des Asylrechts, derzeit: vrs. Änderungen des Schengen-Systems

Der Prioritätenwandel kann plötzlich erfolgen, wenn ein herausragendes Ereignis eintritt wie zum Beispiel ein terroristischer Anschlag. Der Wandel kann aber auch im Rahmen eines schleichenden Prozesses passieren, wenn sich die neuen Herausforderungen langsam aufbauen und Stück für Stück auf die Agenda rücken. Beispiele stellen langsam anwachsende Migrationsströme oder ein langsames Anwachsen der Arbeitslosenzahlen oder der Altersarmut dar. Die entsprechende Herausforderung baut sich über einen längeren Zeitraum auf und gewinnt in der (politischen) Problembearbeitung zunehmend an Relevanz. Damit nimmt die

Bedeutung von Themen der Energiewende innerhalb der Gesellschaft deutlich ab. Die Änderungen der Agenda können über Wahlen dann auch grundsätzliche Form annehmen.

### 3.1.3.2 Wirkungen des Initialrisikos

Eine Änderung der politischen Agenda beeinflusst die Energie- und Klimapolitik direkt: Die Themen stehen weniger im Fokus der Politik, vorhandene politische Instrumente werden nicht weiterentwickelt und Herausforderungen in der Weiterentwicklung der politischen Rahmenbedingungen werden nicht wahrgenommen. In einem weiteren Schritt werden Ressourcen auf andere Themen (z.B. Sicherheit, nationale Programme zur Förderung wirtschaftlicher Stabilität, Stützung der Sozialsysteme) verschoben. Damit fallen Fördermittel oder sonstige finanzielle Steuerungsmechanismen in wichtigen Bereichen der Energiewende geringer aus.

#### Indirekte Effekte der Prioritätenänderung

Diese Entwicklungen können durch indirekte Effekte begleitet werden. Je nach Initialrisiko werden beispielsweise weniger Ressourcen im Bereich der Forschungspolitik eingesetzt. Dies ist der Fall, da die verfügbaren Ressourcen beschränkt sind und mehr Ausgaben z.B. für Sicherheit, die Förderung wirtschaftlicher Stabilität oder für die Unterstützung der Sozialsysteme getätigt werden. Geringere Ausgaben für Forschung können dazu führen, dass Innovationen als wesentliche Treiber für eine beschleunigte Energiewende ausbleiben oder nicht zur Umsetzungsreife gebracht werden.

Daneben kann der Fall eintreten, dass die internationale Zusammenarbeit weniger intensiv oder zielgerichtet wird. Dies kann dazu führen, dass zentrale (auf internationale Lastenteilung zielende) Instrumente der Klimapolitik, wie der Emissionszertifikatehandel, abgeschafft werden. Zudem ist die internationale Zusammenarbeit im Bereich der Klimapolitik allgemein bedroht. Wenn es keine internationale Zusammenarbeit in diesem Bereich gibt, kann die Klimapolitik insgesamt scheitern: Einzelne Länder haben kein Interesse daran, Klimapolitik zu betreiben, wenn es kein internationales Bekenntnis dazu gibt, da sie wirtschaftliche Nachteile befürchten. Diese Effekte sind insbesondere bei einer starken Rückbesinnung auf nationale Sicherheit und einer damit verbundenen Abschottung gegenüber dem Ausland möglich.

#### Direkte Effekte der Prioritätenänderung

Investitionen in erneuerbare Strom- und Wärmeerzeugung sind auf absehbare Zeit aufgrund hoher Fixkosten dieser Projekte und schwankender Cash-Flows auf stabile Rahmenbedingungen und Fördermittel angewiesen. Dasselbe gilt für Maßnahmen im Bereich der Energieeffizienz aufgrund langer Amortisationszeiträume so-

wie von Investitionshemmnissen. Durch den Abbau nationaler Fördermittel oder -mechanismen für erneuerbare Energien und Energieeffizienz sinkt deren Wirtschaftlichkeit und / oder ihre Attraktivität für Investoren massiv. Dadurch werden in weiterer Folge deutlich weniger EE- und Effizienz-Projekte realisiert.

Dies hat einerseits Konsequenzen für Wirtschaftsbranchen in den Bereichen erneuerbare Energien und Energieeffizienz. Ehemals stark wachsende Branchen erfahren einen deutlichen Rückgang der Nachfrage und damit auch der Produktion. Arbeitsplätze fallen weg, zum Teil müssen Unternehmen ihren Betrieb einstellen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn sich die Folgen des Initialrisikos nicht auf bestimmte Regionen oder Länder beschränken, was bei einer umfassenden Wirtschaftskrise oder hohen Migrationsströmen als Initialrisiko zu erwarten ist. Aufgrund des Wegfalls von Arbeitsplätzen und der wirtschaftlichen Probleme in einer Reihe von Branchen sinkt die gesellschaftliche Akzeptanz für klimapolitische Maßnahmen und das Vertrauen in die Politik allgemein. Langfristig angelegte Investitionen in für die Energiewende notwendige Infrastruktur (z.B. Stromnetze) werden nicht mehr als wichtig erachtet und daher nicht weiter vorangetrieben. In weiterer Folge entstehen sunk costs, die von der Gesellschaft getragen werden müssen. Diese Belastung der Gesellschaft mit weiteren Kosten verringert die Akzeptanz für die Energiewende weiter.

Durch die ausbleibende Realisierung von Projekten in den Bereichen Energieeffizienz und erneuerbare Energien kann die geplante Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht umgesetzt werden. Im weiteren Zeitverlauf steigen sogar CO<sub>2</sub>-Emissionen wieder an, da als Ersatz von erneuerbaren Technologien auf noch bestehende konventionelle Technologien (insbesondere Kohlekraftwerke) zurückgegriffen wird. Dadurch verschärft sich die Problematik der Klimaänderung, insbesondere dann, wenn die Änderung der gesellschaftlichen Prioritäten überregional stattfindet. Bei den beschriebenen Initialrisiken ist zu erwarten, dass sich die Auswirkungen nicht auf Effekte innerhalb nationaler Grenzen beschränken.

## Mögliche Rückkopplungen

Damit bestehen zwei mögliche Rückkopplungen auf die gesellschaftlichen und politischen Prioritäten. Wenn durch die verstärkte Dynamik der Klimaänderung Adaptionstrategien gegenüber Minderungsstrategien bevorzugt werden, kann sich der Klimawandel weiter verstärken (und ggf. nicht mehr kontrollierbar sein). Die geschwundene Hoffnung, den Klimawandel beherrschen zu können, führt zu weiteren Adaptionstrategien, die vor allem in wohlhabenden Ländern schnell realisiert werden können. Damit können Initialrisiken (z.B. Migration) sogar verstärkt werden.

Allerdings besteht auch die Möglichkeit einer weiteren Rückkopplung: Aufgrund der immer stärker wahrgenommenen gesellschaft-

lichen Folgen des Klimawandels (wie z.B. klimabedingter Migration) erfolgt eine Wiederbesinnung der Gesellschaft auf die Probleme des Klimawandels. Damit werden Klima- und Energiepolitik wieder prioritär behandelt und ein Einlenken auf den ursprünglichen Pfad von Politik und Gesellschaft findet statt. Allerdings stellt sich aufgrund der Verzögerung im anthropogenen Klimawandel die Frage, ob damit der Klimawandel noch in ausreichendem Maße beherrscht werden kann.

### 3.1.3.3 Betroffene Rahmenbedingungen

Als Initialrisiko und möglicher dynamischer Faktor in den Wirkungszusammenhängen spielen gesellschaftliche Prioritäten eine wichtige Rolle. Von einer Änderung der gesellschaftlichen Prioritäten betroffen sind insbesondere politische Rahmenbedingungen. Politische Rahmenbedingungen verändern sich aufgrund des Drucks gesellschaftlicher Prioritätenänderungen. Gleichzeitig senkt eine inkonsequente Klima- und Energiepolitik mit negativen Folgen für die betroffenen Branchen und Akteure die Akzeptanz für die Energiewende weiter. Wirtschaftliche Rahmenbedingungen verändern sich, da eine Änderung der Energiepolitik weitreichende Auswirkungen auf betroffene Branchen und Querschnittsbranchen haben kann.

### 3.1.3.4 Quantifizierungsmöglichkeiten der Wirkungen

Wirkungen des Wandels politischer oder gesellschaftlicher Prioritäten auf politische Rahmenbedingungen und die Ressourcenverteilung sind nicht oder nur sehr beschränkt quantifizierbar. Eine Quantifizierung der Wirkung einer Änderung von Rahmenbedingungen auf die Investitionsentscheidung ist prinzipiell möglich. Aufgrund der Vielfalt der Akteure, die von einer prinzipiellen Änderung der Rahmenbedingungen betroffen sind, ist eine allgemeine Aussage zu den hier zu erwartenden quantitativen Effekten allerdings nicht möglich. Leistbar wäre dies nur für einzelne Fallbeispiele. Denkbar ist zum Beispiel die Quantifizierung der Wirkungen des Rückgangs von Finanzmitteln für den Ausbau der erneuerbaren Energien (vgl. Risikocluster 8, Kapitel 3.8). Gleiches gilt für die Wirkung auf einzelne Branchen. Auch die mit einer wesentlichen Prioritätenänderung (im internationalen Maßstab) verbundenen dynamischen Effekte durch die Klimaänderung und mögliche Adaptionstrategien sind kaum zu quantifizieren. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass eine hohe Dynamik der Wirkungszusammenhänge eintreten kann, die umfangreiche Änderungen in der Ressourcenallokation und den Wohlstandsniveaus zur Folge hat.

### 3.1.3.5 Verbindungen und Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern

Ähnlichkeiten bestehen insbesondere mit dem Risikocluster 13 „Folgekosten von Klimaschutztechnologien“ und mit dem Risiko-

cluster 9 „Kriminalität & Terrorismus“. In beiden Risikoclustern ist die gesellschaftliche Akzeptanz für Klima- und Energiepolitik bedroht, wobei insbesondere Kriminalität und Terrorismus zu einer schnellen Änderung der politischen Agenda führen können. Unakzeptable hohe Kosten der Klimapolitik können die beschriebenen Wirkungszusammenhänge unter Umständen zusätzlich beschleunigen. Gleiches gilt für das Nichtzustandekommen eines internationalen Klimaregimes (Risikocluster 6). Eine derartige Entwicklung kann auch durch Effekte gesellschaftlicher Prioritätenänderungen initialisiert werden, wie im Rahmen des beschriebenen Risikoclusters skizziert. Eine wesentliche Auswirkung wäre zudem in Risikocluster 8 „Finanzmittel für erneuerbare Energien“ zu sehen: Ändert sich die politische Agenda, können damit auch erhebliche Änderungen der zur Verfügung stehenden Budgets verbunden sein.

## 3.2 Infrastrukturmangel

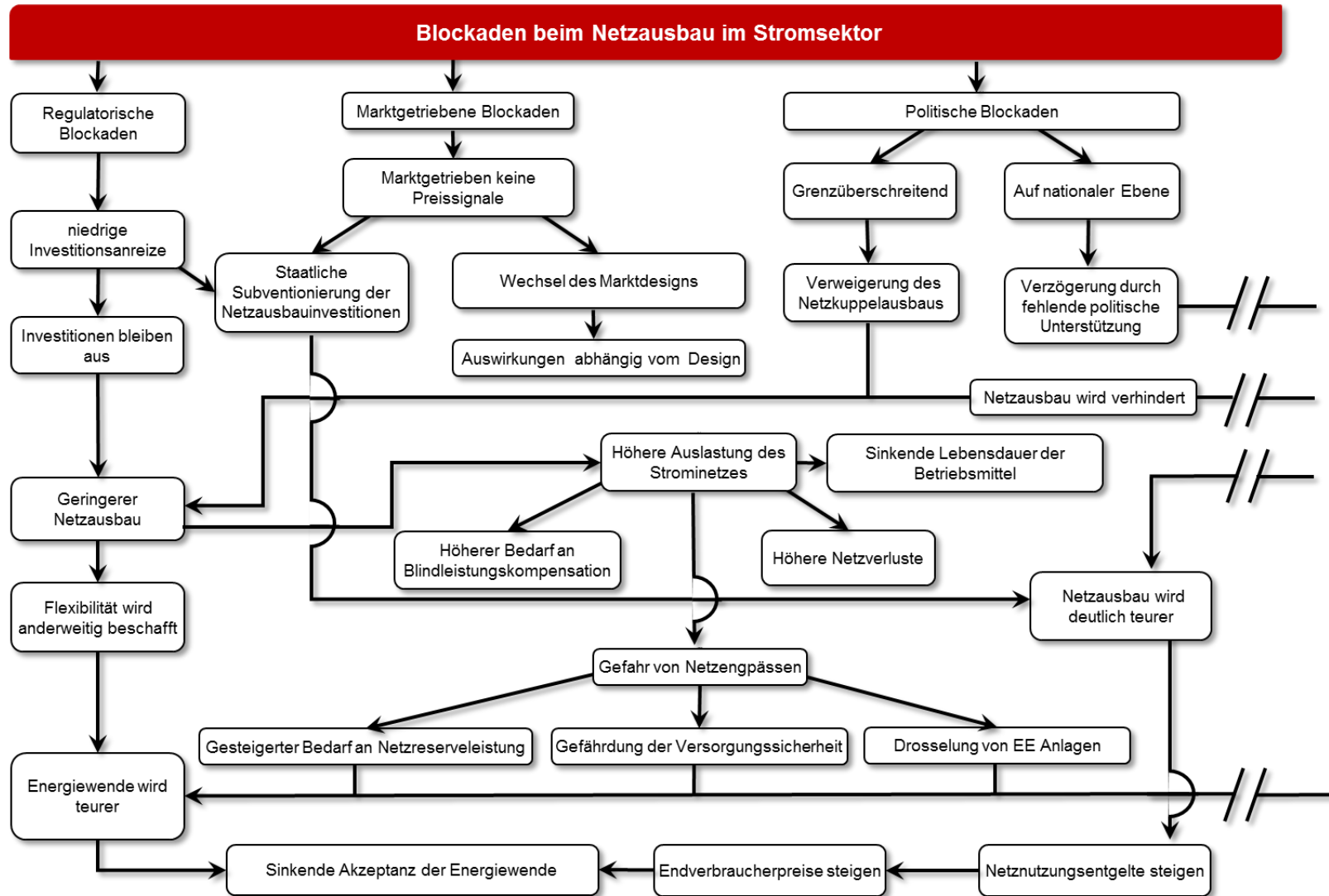
### 3.2.1 Steckbrief

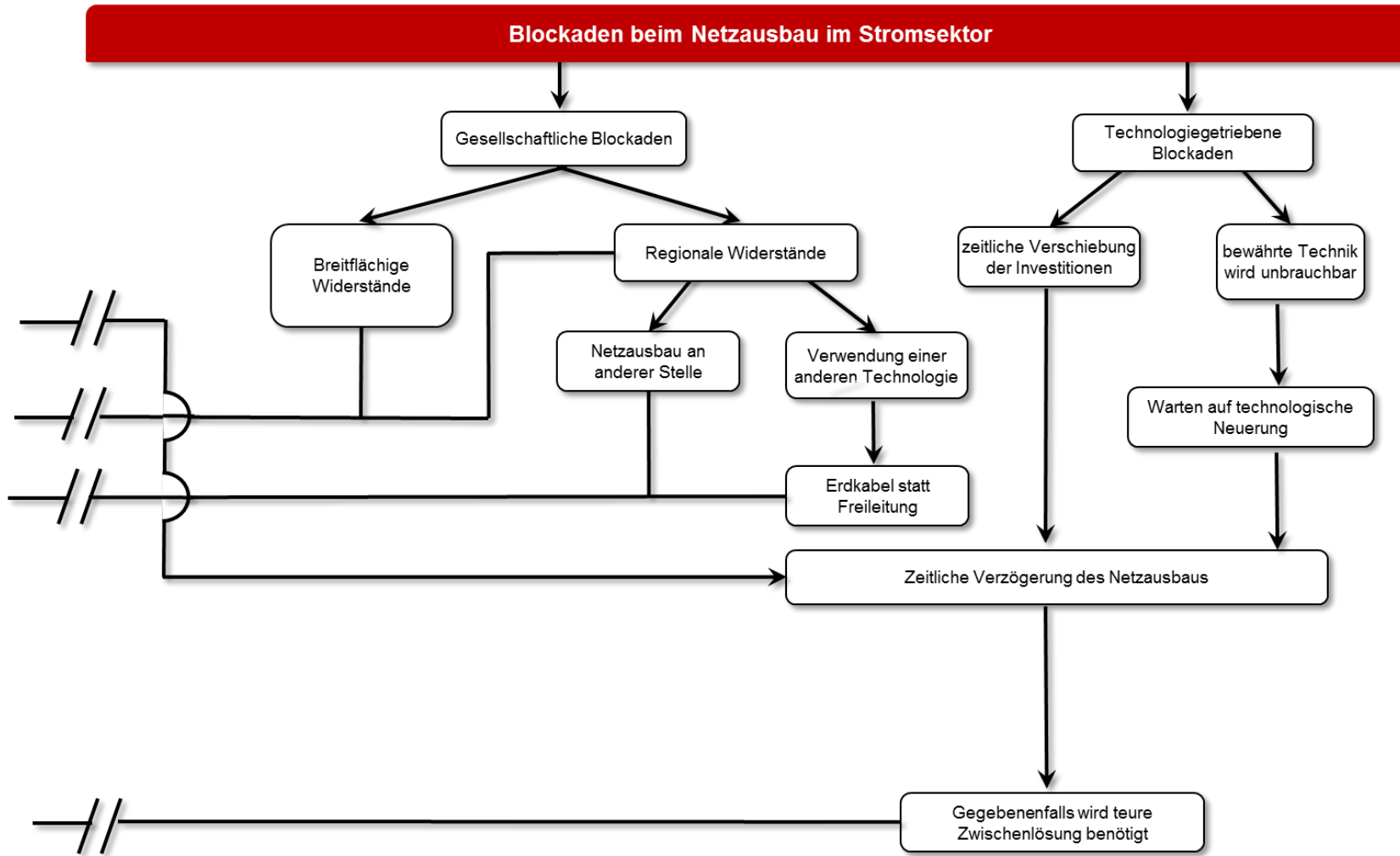
<b>Risikocluster</b>	Infrastrukturmangel						
<b>Kurzbeschreibung</b>	Der Transport von Rohstoffen und Energieträgern, insbesondere Strom, bedarf entsprechender Infrastruktur. Im Zuge der Energiewende ansteigende Anteile erneuerbarer Erzeugung stellen insbesondere das Stromnetz vor neue Herausforderungen. Zudem führen auch Rückwirkungen der Energiewende auf andere Energieträger und deren Verbrauch zu neuen Anforderungen an die Energieinfrastruktur. Somit stellen Risiken im Bereich der Infrastruktur betrachtungsrelevante Aspekte dar, die Auswirkungen auf die Rahmenbedingungen der Energiewende nehmen können.						
<b>Wirkungsdimensionen</b>	Wirtschaft	Politik	Gesellschaft	Akzeptanz	Technologie	Rohstoffe	Infrastruktur
	1,86	1,79	1,36	1,82	1,32	0,57	2,89
Skala von 0 bis 3 (kein Einfluss bis hoher Einfluss), Experteneinschätzung							
<b>Initialrisiko für Wirkungskette</b>	Blockaden beim Netzausbau im Stromsektor						
<b>Kurzbeschreibung Wirkungskette</b>	Die Energiewende erfordert insbesondere aufgrund des notwendigen Stromtransportes vom windreichen Norden Deutschlands in das verbrauchsstarke Süddeutschland einen Ausbau des bestehenden Stromnetzes. Planungsverfahren von neuen Ausbaukorridoren sind geprägt durch vielfältige Diskussionen und oftmals auch durch Blockaden seitens der Bevölkerung. „Not In My Backyard- Mentalität“ verstärkt derartige Blockaden zusätzlich. Betrachtet wird exemplarisch eine Situation, in der auf eine generelle Erdverkabelung ausgewichen werden muss, um den notwendigen Netzausbau zu realisieren.						
<b>Auswirkungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Generelle Erdverkabelung führt zu wesentlichen Mehrkosten</li> <li>▪ Die genaue Höhe der Mehrkosten lässt sich aufgrund vielfältiger Abhängigkeiten nur mit großer Spannweite quantifizieren</li> </ul>						
<b>Weitere Beispiele für Initialrisiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lokale Netzengpässe im Verteilnetz auf Grund fehlender Infrastrukturen</li> <li>▪ Gleichstromtechnologie führt nach Implementierung zu ex ante nicht erwarteten technischen Problemen, die die Leistungsfähigkeit des Stromnetzes einschränken</li> <li>▪ Lokale Opposition gegen in der langen Frist für die Energiewende ggf. sinnvolle Gasinfrastrukturen (Bsp. Wasserstoff)</li> </ul>						
<b>Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risikocluster 4 „Disruptive Technologie“: Die Entdeckung einer neuen, effizienteren Technologie kann Netzausbau gar obsolet machen.</li> <li>▪ Risikocluster 5 „Speichertechnologien“: Können Speichertechnologien genug Flexibilitätsoptionen bereitstellen, ist das bestehende Stromnetz gegebenenfalls ausreichend.</li> </ul>						



### 3.2.2 Wirkungskette

Abbildung 3-2: Wirkungskette Infrastrukturmangel





### 3.2.3 Beschreibung und Analyse

#### 3.2.3.1 Beschreibung des Initialrisikos

Der zunehmende Anteil der erneuerbaren Energien im deutschen Strommix und der steigende Bedarf an Energietransport aus dem windreichen Norden Deutschlands in den verbrauchsstarken Süden machen in diesem Zusammenhang einen Ausbau der bestehenden Netzinfrastruktur unabdingbar. Dieser Netzausbaubedarf wird weiter verstärkt durch den Kernenergieausstieg, welcher insbesondere im Süden Deutschlands zu Erzeugungseingpässen führt. Derartige räumliche Disparitäten von Stromerzeugung- und verbrauch bedingen Stromtransport über große Distanzen, um die entsprechenden Ungleichgewichte zu überbrücken. Blockaden des Netzausbaus gefährden somit die erfolgreiche Integration der erneuerbaren Energien in das deutsche Energieversorgungssystem. Vor diesem Hintergrund können Netzausbaublockaden durch verschiedene Treiber und Interessengruppen hervorgerufen werden. Neben Blockaden, die aufgrund regulatorischer Rahmenbedingungen oder marktgetriebener Rahmenbedingungen entstehen, sind ferner politisch oder gesellschaftlich motivierte Blockaden sowie Hemmnisse des Netzausbaus aufgrund technologischer Aspekte zu differenzieren. Eine Einschätzung der Implikationen von Netzausbaublockaden erfordert ein tieferes Verständnis für zu Grunde liegende Motive und Interessensgruppen. Daher werden im Folgenden wesentliche Ursachen für Netzausbaublockaden anhand der erläuterten Kategorisierung im Detail dargestellt.

Die Wirkungsentfaltung nach Eintritt des Initialrisikos Netzausbaublockaden tritt vorwiegend kurz- und mittelfristig ein. Die Wirkungen des Initialrisikos auf die Energiewende sind größtenteils kurz- und mittelfristig zu erwarten, da langfristig technologische Alternativen zur Anwendung kommen können. In der mittel- bis langfristigen Sicht könnten jedoch weitere Infrastrukturen wichtig werden und ähnlichen Initialrisiken ausgesetzt sein (Strom-Verteilnetze, Gasnetze [Erdgas, ggf. Wasserstoff], E-Mobilität-Infrastrukturen [ggf. auch für Fernverkehr]).

#### **Regulatorische Rahmenbedingungen und Marktprozesse als Ursachen für Blockaden des Netzausbaus**

Regulatorische Rahmenbedingungen können zu Blockaden des Netzausbaus beitragen. Denkbar ist beispielsweise, dass ausgehend von den Regularien bezüglich der Netznutzungsentgelte fehlende Investitionsanreize in die Netzinfrastruktur resultieren. Hieraus wiederum würde ein Ausbleiben entsprechender Investitionen und somit kein entsprechender Netzausbau folgen. Um diese Gefahr abzuwenden, müssten Investitionen dann subventioniert werden, um durchgeführt zu werden. Subventionen können zu weniger effizienten Marktergebnissen führen, so dass sich die Gesamtkosten des Netzausbaus erhöhen können. Unterbliebe entspre-

chender Netzausbau oder würde dieser in geringerem Ausmaße durchgeführt als benötigt, würde die Auslastung bestehender Netzinfrastruktur ansteigen, insbesondere in Zeiten eines hohen Lastgefälles zwischen Nord- und Süddeutschland. Folgen wären neben einem erhöhten Bedarf an Blindleistungskompensation und sinkenden Lebensdauern der stark beanspruchten Betriebsmittel höhere Netzverluste und die Gefahr von Netzengpässen.

Bei Betrachtung denkbarer marktgetriebener Blockaden sind fehlende Preissignale zum Netzausbau von zentraler Bedeutung. Derartige Preissignale können beispielsweise aus Preisdifferenzen verschiedener Marktgebiete im europäischen Strombinnenmarkt resultieren und den Ausbau von Netzkuppelkapazität zur Folge haben. Diskussionen um denkbare Lösungsansätze umfassen beispielsweise eine Aufteilung Deutschlands in zwei Preiszonen. Die konkreten Auswirkungen derartiger Wechsel des Marktdesigns in Hinblick auf den Ausbau des deutschen Stromnetzes hängen jedoch von faktorenkomplexen Wirkzusammenhängen ab und lassen sich generell nicht auf eine konkrete Wirkrichtung verdichten.

### **Politisch motivierte Blockaden des Netzausbaus**

Als zweite Ursache von Netzausbaublockaden werden im Folgenden direkt aus politischem Handeln hervorgehende Blockaden betrachtet. Diese könnten sowohl auf nationaler oder regionaler Ebene auftreten als auch breitflächiger verortet sein, wie beispielsweise in der Diskussion um den grenzscheidenden Netzausbau in Europa. Führt letzteres Hemmnis beispielsweise zu einer Verweigerung eines Ausbaus von Netzkuppelkapazität, wären die Auswirkungen auf die umfassten Strommärkte mannigfaltig und es könnte eine Verzögerung oder gar ein Unterlassen des entsprechenden nationalen Netzausbaus resultieren. Derartige Folgen sind zwar nicht zwingenderweise als kritisch für das Gelingen der Energiewende einzustufen, jedoch würden Systemmehrkosten entstehen, da Potenziale eines gemeinsamen EU-Binnenmarktes aufgrund von Kapazitätsengpässen nur eingeschränkt gehoben werden könnten. Im Bereich politikgetriebener Netzausbaublockaden auf nationaler Ebene ist insbesondere eine mangelnde politische Unterstützung des Netzausbaus anzuführen. Eine konkrete Folge könnte sein, dass entsprechender Netzausbau die genannten Herausforderungen nicht vorhersieht, und somit Anpassungen erst zeitlich verzögert erfolgen, wenn offenkundig wird, dass die bestehende Netzinfrastruktur den Anforderungen der Energiewende nicht genügen.

### **Gesellschaftliche Widerstände und technologiebasierte Blockaden**

Einen wesentlichen Treiber von Blockaden des Netzausbaus stellen gesellschaftliche Widerstände sowohl auf regionaler wie auch übergeordneter Ebene dar. Um trotz gesellschaftlicher Blockaden einen entsprechenden Zubau von Strominfrastruktur zu realisieren,

wird oftmals in gemeinsamer Diskussion von Politik und Gesellschaft nach einem gangbaren Konsens gesucht. Denkbar wäre so, dass der Netzausbau an anderer Stelle erfolgt. Zudem könnte auch die Verwendung einer anderen Technologie eine beiderseits akzeptable Lösung sein, wie beispielsweise eine generelle Erdverkabelung der zusätzlich benötigten Wechselstromleitungen. Kann keine Einigung erzielt werden, könnte Netzausbau im schlimmsten Falle auch völlig ausbleiben.

### **Technologiebedingte Blockaden des Netzausbaus**

Als letzte hier betrachtete Ursache von Netzausbaublockaden sind technologiegetriebene Blockaden anzuführen. Zum Beispiel können bislang unbekannte technische Probleme bei Erdkabeln in der Höchstspannungsebene, welche in der langen Frist noch unerprobt sind, auftreten und dadurch eine Verzögerung des Netzausbaus eintreten. Zudem kann es sein, dass nicht in eine bestehende Technologie investiert wird, wenn aufgrund aktueller Forschungsergebnisse die Erwartung besteht, dass es bald zu einer technologischen Innovation kommt, welche die bestehende Technologie wesentlich verbessert. Tritt diese Innovation in der Realität dann doch nicht ein, kommt es zu einer Verzögerung des Netzausbaus.

#### **3.2.3.2 Wirkungen des Initialrisikos**

Unabhängig von der konkreten Ursache von Blockaden können die Auswirkungen auf drei wesentliche Aspekte konzentriert werden: In Abhängigkeit der konkreten Ausgestaltung der Blockade ist im worst-case ein Ausbleiben des Netzausbaus denkbar. Die Auswirkungen im Hinblick auf das Gelingen der Energiewende wären dann insbesondere dadurch beeinflusst, zu welchem Grad anderweitig Flexibilität im Stromnetz bereitgestellt werden kann, beispielsweise durch Speicher, Demand-Side-Management oder zusätzliche Gaskraftwerke. Als zweite mögliche Folge einer Netzausbaublockade können erhebliche Mehrkostenauftritte, die z.B. aufgrund der Errichtung einer geplanten Stromtrasse in einem anderen Korridor entstehen könnten. Zuletzt könnte auch ein zeitlicher Verzug des Netzausbaus, der aus Blockaden und Widerständen resultiert, Auswirkungen auf das Stromversorgungssystem haben.

#### **3.2.3.3 Betroffene Rahmenbedingungen**

Das Risikocluster „Infrastrukturmangel“ wirkt sich insbesondere auf wirtschaftliche und infrastrukturelle Rahmenbedingungen sowie auf die Akzeptanz der Energiewende bei der Bevölkerung aus, wobei generell von starken wechselseitigen Abhängigkeiten der einzelnen Bereiche auszugehen ist. Bei jedweder Blockade des notwendigen Netzausbaus wird die Versorgungssicherheit gefährdet, was im Falle eines Blackouts wirtschaftliche Einbußen zur

Folge haben könnte, wenn beispielsweise stromintensive Industrieunternehmen zeitweise nicht mehr produzieren könnten. Ebenso könnte eine geringere Versorgungssicherheit getrieben durch Netzininstabilitäten sowohl bei Verbrauchern als auch der Industrie eine geringere Akzeptanz der Energiewende hervorrufen.

### 3.2.3.4 Quantifizierungsmöglichkeiten der Wirkungen

Aktuelle Diskussionen zeigen, dass Netzausbaublockaden zumeist im Rahmen intensiver Diskussion aufgelöst werden können. Insbesondere bei längerfristigem Betrachtungshorizont lässt sich Netzausbau nicht nur durch zunehmende Redispatchmaßnahmen vermeiden. Folglich werden in umfassenden Diskussionsprozessen Alternativlösungen erarbeitet, um der Notwendigkeit entsprechender Strominfrastruktur zur Gewährleistung von Versorgungssicherheit gerecht zu werden. Hierfür werden auch signifikante Mehrkosten in Kauf genommen. Exemplarisch sollen vor diesem Hintergrund die durchschnittlichen Mehrkosten einer generellen Erdverkabelung von neuen Übertragungsnetzleitungen anstelle der Nutzung von Freileitungstechnologie quantifiziert werden. Eine derartige generelle Erdverkabelung könnte beispielsweise notwendig werden, wenn die Kritik an einem Landschaftsbild geprägt durch Freileitungen derart ausgeprägt wäre, dass Netzausbau nur auf Basis von Erdverkabelung durchgesetzt werden könnte.

### 3.2.3.5 Verbindungen und Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern

Das Risikocluster 2 „Infrastrukturmangel“ steht in enger Beziehung zu anderen Risikoclustern. So könnte beispielsweise die Entdeckung einer neuen, effizienteren Technologie den Netzausbau gar obsolet machen. Dies wäre im Risikocluster 4 „Disruptive Technologien – Entwicklung nicht-fossiler Technologien“ zu verorten. Ebenfalls könnte in Folge von Risikocluster 5 „Speichertechnologien“ ausreichend Speicherkapazität im Stromversorgungssystem als Flexibilitätsoption weiteren Netzausbau substituieren.

### 3.2.4 Beispielhafte Quantifizierung des Risikoclusters

Im Rahmen einer exemplarischen Quantifizierung der Folgen des Eintritts von Netzausbaublockaden wird ein Szenario betrachtet, in dem alle Anfang 2016 in der deutschen Höchstspannungsebene geplanten Netzausbaumaßnahmen nur mit Erdverkabelung realisiert werden können. Dabei werden ausschließlich Netzausbaumaßnahmen mit Wechselstrom berücksichtigt. Die Quantifizierung erfolgt unter der Annahme, dass die Vollverkabelung bei Wechselstrom technisch möglich ist.

Im Bundesbedarfsplangesetz sind neue Regelungen für den Einsatz von Erdkabeltechnologie in der deutschen Höchstspannungsebene festgelegt (BBPIG vom 31.12.2015). So sind die speziell gekennzeichneten Hochspannungs-Gleichstrom-

Übertragungsleitungen (HGÜ) nun vorrangig mittels Erdverkabelung umzusetzen. Für die Quantifizierung werden die Zusatzkosten einer Erdverkabelung aller aktuell in der Höchstspannung als Freileitung geplanter Netzausbaumaßnahmen bestimmt. Mehrkosten, die aufgrund des neuerlichen Planungsprozesses und einer zeitlichen Verschiebung des Netzausbaus resultieren, werden nicht betrachtet.

Das BBPIG und das Gesetz über den Ausbau von Energieleitungen (EnLAG) bilden die gesetzliche Grundlage für Netzausbaumaßnahmen. Das BBPIG bildet hierbei den Abschluss der dritten Bedarfsermittlung. Es definiert 43 Netzausbaumaßnahmen, für die die energiewirtschaftliche Notwendigkeit sowie der vordringliche Bedarf verbindlich festgestellt wurde. Ergänzend hierzu werden in der Quantifizierung die bereits im EnLAG 2009 definierte Ausbauprojekte berücksichtigt, welche bisher noch nicht realisiert wurden. Von den bereits in der Planung befindlichen Projekten finden lediglich jene Eingang in die Quantifizierung, für die noch kein Planfeststellungsbeschluss erfolgt ist. Insgesamt ergibt sich demnach ein geplanter Freileitungs-Netzausbau in der Höchstspannungsebene Deutschlands von 2315 km aus dem BBPIG und zusätzliche 314 km aus dem EnLAG. Die Summe dieser Netzausbaumaßnahmen stellt die aktuell verbindlich geplanten Wechselstrom-Freileitungsvorhaben auf Höchstspannungsebene dar.

*Tabelle 3-1: Geplante Wechselstrom-Netzausbaumaßnahmen auf Höchstspannungsebene*

Gesamtlänge der nach Bundesbedarfsplangesetz geplanten Höchstspannungsleitung <sup>3</sup>	2.817 km
<i>davon als Erdkabel geplant</i>	502 km
<i>davon als Freileitung geplant</i>	2.315 km
Zusätzliche Leitungslänge nach dem Gesetz über den Ausbau von Energieleitungen <sup>4</sup>	895 km
<i>davon als Erdkabel geplant</i>	581 km
<i>davon als Freileitung geplant</i>	314 km
Summe als Freileitung geplanter Leitungslänge	2.629 km

Um die Zusatzkosten einer übergreifenden Erdverkabelung aktuell als Freileitung geplanter Netzausbaumaßnahmen im Höchstspannungsbereich zu quantifizieren, wird zunächst das Kostenverhältnis der Freileitungs- und Erdkabeltechnologie analysiert. Zu diesem Zweck wurde eine Metaanalyse veröffentlichter Literatur durchgeführt. Demnach liegen die Kosten für den Neubau einer Freileitung-Übertragungsnetzleitung in der Höchstspannung zwischen ein und eineinhalb Millionen Euro pro Kilometer (50 Hertz

<sup>3</sup> Netzausbauvorhaben sowie km-Angaben wurden dem Gesetz über den Bundesbedarfsplan entnommen.

<sup>4</sup> Netzausbauvorhaben sowie km-Angaben wurden dem Gesetz zum Ausbau von Energieleitungen entnommen.

2012, TU Ilmenau 2012). Der Mehrkostenfaktor bei Erdverkabelung von Wechselstromleitungen liegt hingegen zwischen vier und sechzehn, je nach Untergrund, Trassenlänge und lokalen Bedingungen (ENTSO-E & Europacable 2010, 50 Hertz 2012).

*Tabelle 3-2: Kostenparameter für Wechselstrom*

Kosten pro Kilometer Freileitung	1 bis 1,5 Mio. €
Kosten pro Kilometer Erdkabel	4 bis 16 Mio. €

Um die Mehrkosten einer generellen Erdverkabelung zu bestimmen, werden die jeweiligen Mehrkostenfaktoren mit der zusätzlich als Erdkabel zu verlegenden Leitungslänge multipliziert. Die entsprechenden Kosten sind in Abbildung 3-3 dargestellt. Während eine Verwendung von Freileitungstechnologie mit Gesamtkosten von ca. 2,6 bis 3,9 Milliarden Euro verbunden ist, führt das Auftreten von Netzausbaublockaden und die damit verbundenen Folgen zu Gesamtkosten von ca. 10,4 bis 42 Milliarden Euro. Dies entspricht Mehrkosten zwischen 6,6 und 39,4 Milliarden Euro im Vergleich Netzausbau mit Freileitungen.

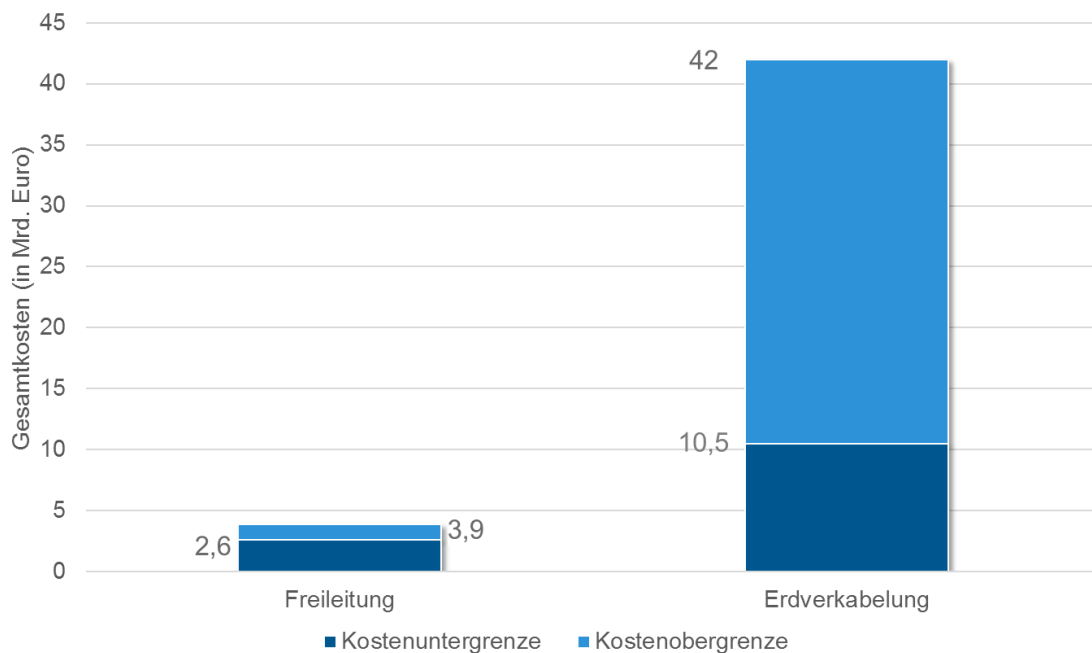
Für den Stromkonsumenten spiegeln sich die Netzausbaukosten in erhöhten Netznutzungsentgelten wider. Als Proxy für den Anstieg der Netznutzungsentgelte beim Eintritt des Schwarzen Schwans werden für die Quantifizierung die annuitätischen Kosten des Netzausbaus auf die gesamtdeutsche Stromnachfrage bezogen. Im Falle einer Realisierung durch Freikabel entspräche dies einer Erhöhung von 0,05 bis 0,08 ct/kWh. Käme es jedoch beispielsweise aufgrund von Akzeptanzproblem zu einer generellen Erdverkabelung von neuen Höchstspannungsleitungen, würde dies zu spezifischen jährlichen Kosten in Höhe von 0,2 bis 0,8 ct/kWh führen. Eine generelle Erdverkabelung würde demnach Zusatzkosten in Höhe von 0,1 bis 0,8 ct/kWh bedeuten.<sup>5</sup> Im Vergleich hierzu induziert die Erdverkabelung der HGÜ-Pilot-Leitungen zu geschätzten zusätzlichen Investitionskosten in Höhe von insgesamt rund 200 Millionen Euro. Diese Zusatzkosten führen zu einem Anstieg der Netzentgelte durchschnittlicher Haushaltskunden um 0,1 Prozent – dies entspricht in etwa 0,007 ct/kWh.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Es wurde eine Lebensdauer von 80 Jahren für Freileitungen und 40 Jahren für Erdkabel angenommen (50 Hertz 2012). Außerdem basiert die Berechnung auf dem Nettostromverbrauch im Jahr 2014 in Höhe von 511 Mrd. kWh (BMW i 2015).

<sup>6</sup> Gesetzentwurf der Bundesregierung: Entwurf eines Gesetzes zur Änderung von Bestimmungen des Rechts des Energieleitungsbaus. Drucksache 18/4655.



Abbildung 3-3: Gesamtkosten der betrachteten Netzausbaumaßnahmen nach Technologiewahl



Abgesehen von bereits gesetzlich beschlossenen Netzausbaumaßnahmen beinhaltet der aktuelle Entwurf des Netzentwicklungsplans 2015 weitere Vorschläge von Netzausbaumaßnahmen (NEP-Entwurf vom 29.02.2016). Für die Quantifizierung wird angenommen, dass alle ergänzenden Netzausbauvorhaben tatsächlich als Erdkabel realisiert werden. Für die Berechnung werden alle Projekte aus dem Entwurf des NEP 2015 berücksichtigt, die zwar bereits im NEP 2014 aufgeführt sind, jedoch nicht in das BBPIG aufgenommen wurden. Die entsprechende Leitungslänge beträgt hierbei 1.467 Kilometer. Des Weiteren werden alle erstmals angeführten Vorhaben an Freileitungsbauten im Höchstspannungsbereich berücksichtigt. Diese ergeben eine gesamte Leitungslänge von 1.109 Kilometern. Analog zu dem bisherigen Vorgehen werden lediglich jene Projekte berücksichtigt, die nicht ohnehin eine Erdverkabelung vorsehen.

Die zusätzlich anhand des NEP-Entwurf 2015 identifizierten Netzausbaukosten betragen je nach angenommenen Mehrkostenfaktoren zwischen 2,6 und 3,9 Milliarden Euro. Käme es jedoch aufgrund von Akzeptanzproblem zu einer generellen Erdverkabelung von Höchstspannungsbauten, wäre mit Gesamtkosten zwischen 10 und 41 Milliarden Euro zu rechnen. Diese Kosten sind zuzüglich der Kosten für die Netzausbaumaßnahmen auf dem BBPIG und EnLAG zu bewerten.

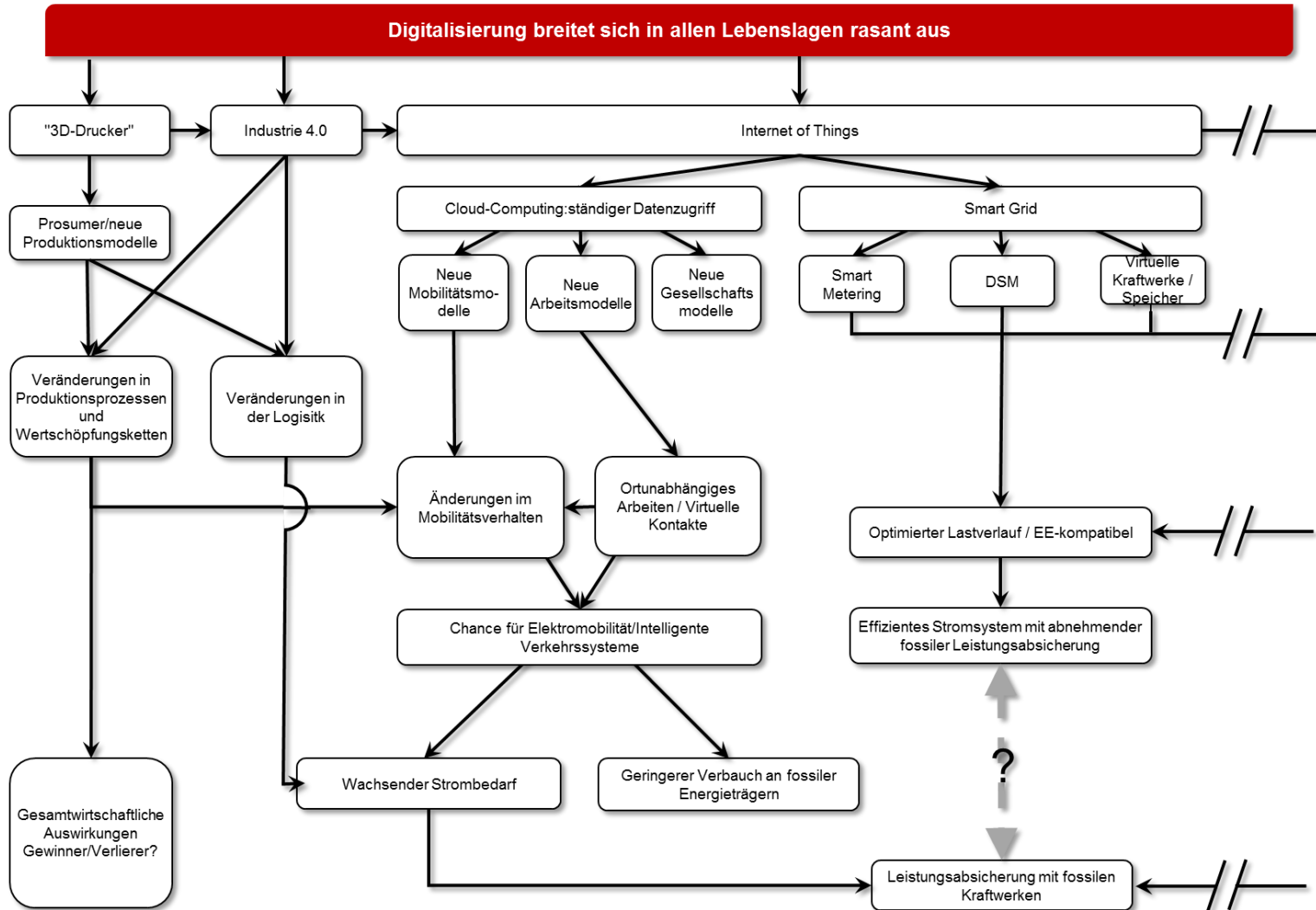
### 3.3 Digitalisierung

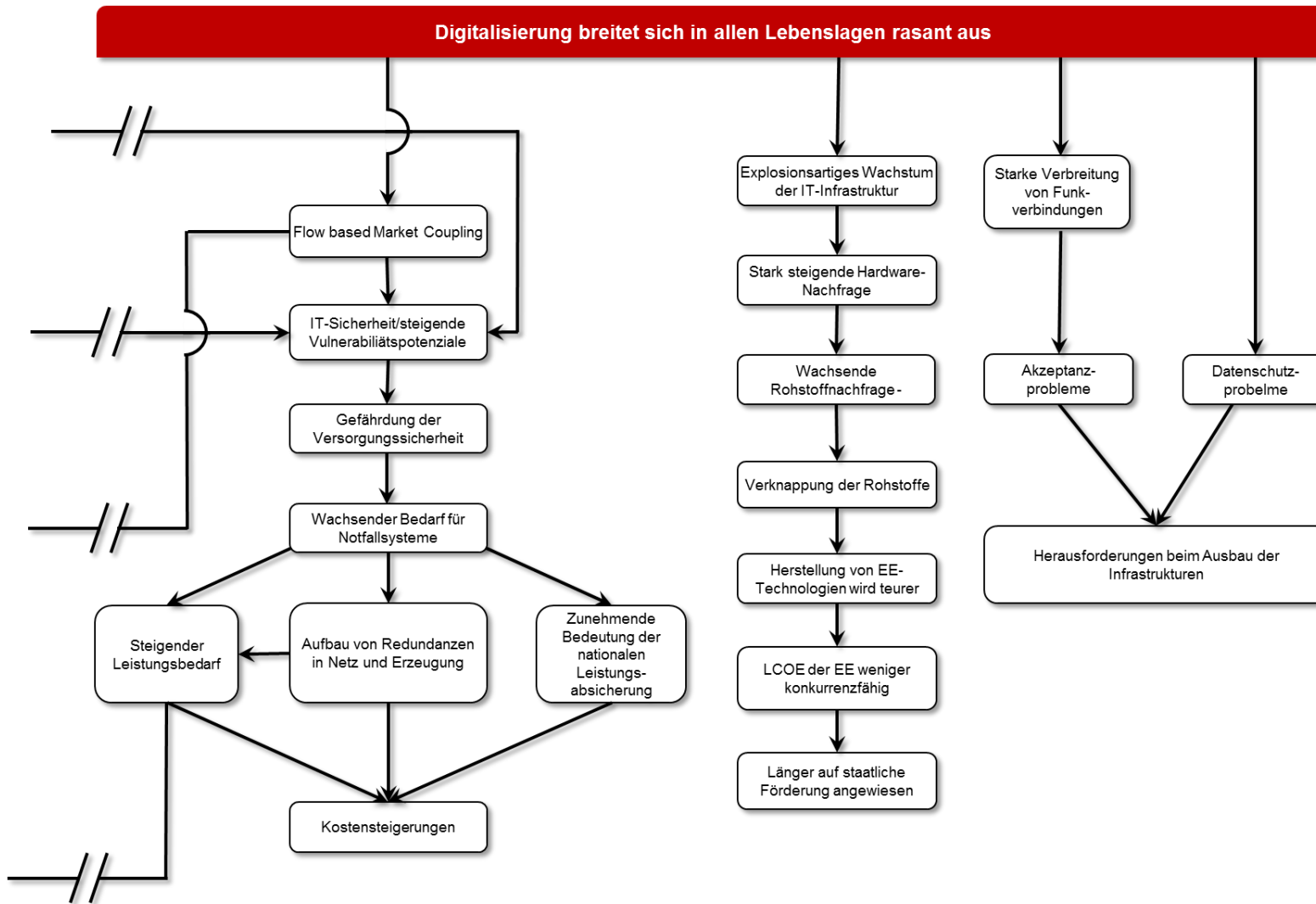
#### 3.3.1 Steckbrief

<b>Risikocluster</b>	Digitalisierung verändert Märkte und Technologien					
<b>Kurzbeschreibung</b>	Die Informations- und Kommunikationstechnologien und der mit ihnen verbundene Prozess der Digitalisierung durchdringen nahezu alle Technologie-, Arbeits- und Lebensbereiche. Sie hat eine sehr hohe Entwicklungs- und Veränderungsdynamik und wirkt als Treiber und Beschleuniger für die Entwicklung auch in anderen Technologiefeldern. Neben dem technischen Aspekt wirkt sie stark auf Organisationsformen und Prozessgestaltungen in Gesellschaft, Politik und Wirtschaft ein. Für die Entwicklung eines stabilen Energiesystems, das zu einem großen Teil auf (fluktuierenden) erneuerbaren Energien beruht, ist der großflächige Einsatz der Digitalisierung bei der Verknüpfung von Anbietern und Nachfragern sowie der Steuerung des Systems notwendig. Diese bringen jedoch auch neue Gefahren und Verwundbarkeiten mit sich.					
<b>Wirkungsdimensionen</b>						
Wirtschaft	Politik	Gesellschaft	Akzeptanz	Technologie	Rohstoffe	Infrastruktur
2,43	1,21	1,57	0,93	2,36	0,93	1,64
Skala von 0 bis 3 (kein Einfluss bis hoher Einfluss), Experteneinschätzung						
<b>Initialrisiko für Wirkungskette</b>	<p>„Digitalisierung breitet sich in allen Lebenslagen rasant aus“ -</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Stärkere Digitalisierung verändert/ersetzt alte Technologien</li> <li>▪ Vernetzung und Datenflut durch Digitalisierung</li> <li>▪ Digitalisierung zerstört alte Geschäftsmodelle und Märkte</li> </ul>					
<b>Kurzbeschreibung Wirkungskette</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ „Smarte“ Systeme machen das Energiesystem effizienter, gleichen Änderungen in Lastprofilen aus und entschärfen Spitzenlastsituationen durch Lastverlagerung/Speichereinsatz</li> <li>▪ Industrieprozesse verändern sich nachhaltig und führen zu höherer Effizienz („Industrie 4.0“). Die „Individualisierung und Dezentralisierung“ verändert Material-/Warenströme und Lastprofile verändern. Bestehende Wertschöpfungsketten werden z.T. substantiell in Frage gestellt</li> <li>▪ Neue Arbeits-/Mobilitätsmodelle und Dienstleistungsangebote führen zu neuen Anforderungen an Verkehrs- und Energiesysteme, Lastprofile werden schwerer vorhersagbar</li> <li>▪ Der rasante Ausbau der IT-Infrastruktur führt zu einer Verknappung von seltenen Rohstoffen, die auch bei erneuerbaren Erzeugungsanlagen eingesetzt werden</li> <li>▪ Vernetzung, Überwachung und Cyberangriffe führen zu Akzeptanzproblemen</li> </ul>					
<b>Weitere Beispiele für Initialrisiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Initialrisiko entspricht dem Risikocluster</li> </ul>					
<b>Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risikocluster 8 – Finanzmittel für EE: Rohstoffkonkurrenz zwischen Digitalisierung und EE belastet die Finanzmittel für EE</li> <li>▪ Risikocluster 9 – Kriminalität &amp; Terrorismus: Cyber-Angriffe auf Smart Grids gefährden die Versorgungssicherheit</li> <li>▪ Risikocluster 11 – Rohstoffzugang: Das explosionsartige Wachstum der IT-Infrastruktur lässt die Nachfrage nach Rohstoffen massiv steigen</li> <li>▪ Risikocluster 12 – Stärkung fossiler Energietechnologien: Nicht EE-kompatible Stromlast-Profile führen dazu, dass mehr fossile Kraftwerke zur Leistungsabsicherung benötigt werden</li> </ul>					

### 3.3.2 Wirkungskette

Abbildung 3-4: Wirkungskette Digitalisierung





### 3.3.3 Beschreibung und Analyse

#### 3.3.3.1 Beschreibung des Initialrisikos

Die Digitalisierung ist die die Durchdringung sämtlicher Technologie-, Lebens- Produktions- und Arbeitsbereich durch elektronische Datenerfassung sowie Auswertung und Steuerung. Es wird angenommen, dass sie sich in einem noch viel schnelleren Tempo als in den letzten Jahren der Fall durch. Die digitale Transformation der Gesellschaft und Wirtschaft wird zukünftig alle Lebenslagen erfassen und schnell erfolgen (vgl. einführung auch vbw 2015). Charakteristisch stehen für die Wirkungskette dieses Risikoclusters:

- das „Internet of Things“
- Industrie 4.0 und 3D-Drucker
- neue Dienstleistungen und Geschäftsmodelle
- das explosionsartige Wachstum von Datenträgern, Akkus, Rechnerzentren, Kommunikationstechnologien. Hierbei wird als Verschärfung des Risikos davon ausgegangen, dass bei den Rechenzentren und der Infrastruktur die Werkstofftechnologie mit ihren Miniaturisierungs- und (energie-)Effektivierungstendenzen nicht ganz mit der Steigerung der benötigten Rechen- und Rechnerleistungen und -kapazitäten mithält. Somit wächst der Energieverbrauch dieser Infrastruktur sowohl für ihren Betrieb als auch für die Klimatisierung eher.

Das „Internet of Things“ steht für die Vernetzung von Geräten, Systemen und Dienstleistungen zu intelligenten, internet-ähnlichen Systemen. Es basiert auf drei Kernelementen: Kommunikation, Geräte und Sensoren sowie deren eindeutige Identifikation. Geräte, Waren und Menschen kommunizieren untereinander und machen damit z.B. Produktions- und Logistikprozesse schneller, effizienter und fehlerärmer. Darüber hinaus sollen z.B. im „Internet of Things“ integrierte Geräte den Menschen bei seinen Tätigkeiten unmerklich unterstützen, ohne abzulenken oder überhaupt aufzufallen. Auch und insbesondere medizinische Unterstützung kann durch medikamentenabgebende Implantate, kommunizierende Sensoren oder „intelligente“ Prothesen erfolgen.

Industrielle Fertigungsprozesse werden durch miteinander kommunizierende Werkstücke und Maschinen zunehmend weiter automatisiert: Die Maschinen entscheiden anhand des Auftragsbestandes, wann sie welche Vorprodukte oder Rohstoffe benötigen und initialisieren die entsprechende Logistikkette.

Stark computerisierte Fertigungsmethoden führen dazu, dass „economy of scales“ auch mit geringen Stückzahl erzielt werden können. Als Ideal steht die Fertigung von „Losgröße 1“, das heißt

die vollständige Individualisierung wird bei vielen Produkten ermöglicht.

Der 3D-Drucker, als additives, computergesteuertes Fertigungsverfahren, ist ein weiterer Teil der Digitalisierung. 3D-Drucker können mittlerweile sehr komplexe Werkstücke aus sehr unterschiedlichen Materialien produzieren – von der Insulinpumpe bis zum Haus. Diese Möglichkeit wird sowohl die Struktur und Logistik individuellen Konsumierens als auch die industriellen Produktionsketten massiv beeinflussen und verändern.

Eine Vielzahl neuer Sensoren wie zum Beispiel hochauflösende Bildsensoren, unzählige mobile Geräte und Wearables haben den Bedarf an hocheffizienten und miniaturisierbaren Speichermedien und Akkus in den vergangenen Jahren stark ansteigen lassen. Dieser Bedarf wird bei schneller Fortschreitung der Digitalisierung weiterhin stark ansteigen.

### 3.3.3.2 Wirkungen des Initialrisikos

Eine sich rasant ausbreitende Digitalisierung in allen Lebenslagen hat innerhalb des Energiesystems grundlegende Auswirkungen. Diese können positiver Natur (Pinke Schwäne), aber auch negativer Art (Schwarze Schwäne) sein. Die Wirkungen der Digitalisierung wird alle Funktionssysteme moderner Gesellschaften – von der Wirtschaft über das Energiesystem bis hin zum sozialen Miteinander selbst – betreffen.

#### Wirkungen im Energiesystem – Black Swan Mehrverbrauch

Im „Internet of Things“ sind unzählige Computer, mobile Geräte, Wearables, Werkstücke, Maschinen etc. miteinander vernetzt. Sie kommunizieren ständig miteinander, drahtlos und zum großen Teil über Cloud Computing, also große, „nichtlokale“ Rechenzentren. Mittels Cloud Computing ist der Zugriff auf die dadurch generierte Datenflut jederzeit und ortsunabhängig möglich. Diese Infrastruktur gemeinsam mit der Funknetz- und der physischen (Glasfaser-) Leitungsnetzinfrastruktur mit ihrem Betrieb führt zu einem Anstieg des für IKT benötigten Stromverbrauchs. In Teilen ist dieser im Mittel zeitlich konstant, erhöht also nur das Verbrauchsniveau. Andere Teile verändern in Abhängigkeit vom „traffic“ und den zugrundeliegenden Prozessen der Nachfrage auch die Lastprofile in schwer vorhersehbarer Weise. Die Verschärfung von Spitzenlastsituationen ist somit möglich. Das Stromsystem wird auf die Jahreshöchstlast ausgelegt und durch fossile Kraftwerke abgesichert. Die Jahreshöchstlast tritt erfahrungsgemäß an einem kalten Winterabend zwischen 17 und 20 Uhr auf. Die entscheidende Frage ist somit, ob neue, digitale Anwendungen eine Abendlastspitze und/oder eine Winterlastspitze haben? Heutige IKT-Anwendungen zeigen im gewerblichen Sektor eine klare Struktur mit hoher Last am Tag und tieferer Last am Abend. Im privaten Sektor zeigt sich

jedoch eine deutliche Abendspitze. Die Digitalisierung verursacht in systemkritischen Stunden unter Umständen eine zusätzliche Erhöhung der Last. Abgesichert werden könnte diese Lasterhöhung zum Beispiel in traditioneller Weise durch zusätzliche (fossile) Kraftwerke oder eine Weiterentwicklung des Strombinnenmarktes.

### **Wirkungen im Energiesystem – Pink Swan Effektivierung**

Die Digitalisierung verändert auch Arbeitsqualitäten und Arbeitsverhalten. Durch die Möglichkeit des ortsunabhängigen Arbeitens und der virtuellen Kontakte zum Beispiel über Webkonferenzen verändert sich auch das Mobilitätsverhalten, v.a. im geschäftlichen Umfeld. Dies kann durchaus reduzierende Effekte auf das Verkehrsaufkommen und somit auf den Treibstoffverbrauch haben. Home-office kann zudem die Pendlerverkehr reduzieren ähnlich wie Webkonferenzen oder „kollaborative Arbeitsformen den Reiseaufwand für Konferenzen und professionellen Austausch bzw. Zusammenarbeit.

Neue Mobilitätsdienstleistungen, die Car-Sharing-Modelle professionalisieren und dem Prinzip „Nutzen statt besitzen“ folgen, führen zu höherer Auslastung von Autos sowie zur Veränderung der Flotten – insbesondere im urbanen Verkehr werden mehr Klein- und Elektrofahrzeuge genutzt, was wiederum den Verbrauch fossiler Treibstoffe reduziert, andererseits durch das Wachstum der Elektromobilität den Stromverbrauch erhöht und Einfluss auf die Lastprofile nimmt (siehe Phleps et al. 2015).

Die Effektivierung von Produktions- und Logistiksystemen führt zur Bündelung von Lieferungen und kann damit auch Effizienzpotenziale im Güter- und Materialverkehr (Reduktion von Verkehrsleistungen, höher ausgelastete Fahrten) aktivieren. Diese Effekte können den Verbrauch fossiler Treibstoffe reduzieren. Es ist auch zu erwarten, dass die Produktionsprozesse unabhängig von der Logistik insgesamt energieeffizienter gestaltet werden und somit zu einer (erheblichen) Reduktion des Energieverbrauchs bei gleichem oder sogar gesteigertem Produktionsoutput führen.

Erneuerbare Stromerzeugung aus Wind und PV ist vom Wetter abhängig und kann im Tagesverlauf stark schwanken. Diese Fluktuation muss dort intelligentes Ab- und Zuschalten von Erzeugern und Lasten (Nachfragern) mittels Smart Metering und Demand Side Management (DSM) gesteuert werden. Damit können die Schwankungen der erneuerbaren Stromproduktion effizient ausgeglichen werden, der Bedarf an flexibler konventioneller Kraftwerksleistung zur Ausregelung sinkt. Gleichzeitig kann mittels Smart Grids die Netzstabilität verbessert werden, wenn lokal starke PV-Produktion zu Stabilitätsproblemen führen und die entsprechenden technischen Möglichkeiten (Leistungselektronik) vorgeesehen sind.

Eine Abschätzung des Nettoeffekts, d.h. ob der mit der Digitalisierung zu erwartende Mehrverbrauch die realisierbaren Effizienzpotenziale übertrifft oder unterschreitet, ist derzeit nicht in seriöser Weise zu leisten. Im Idealfall für die Energiewende würden die Effekte des Pink Swans (Pinke Schwäne) diejenigen des Black Swans (Schwarze Schwäne) übersteigen.

## Gefährdungen

Das Zusammenführen und intelligente Steuern von Erzeugern und Verbrauchern in virtuellen Kraftwerken und smarten Energienetzen erhöht die Abhängigkeit von IT-Systemen und das Gefahrenpotenzial von Cyberattacken. Treten solche Cyberattacken in systemkritischen Zeiten oder in einer systemkritischen Größe auf, kann dies die Versorgungssicherheit ernsthaft gefährden. Um solchen Gefährdungen entgegen zu wirken, sind unterschiedliche Handlungsoptionen möglich. So könnte die Dezentralisierung des Energiesystems betrieben werden und Notfallsysteme in Form von zuschaltbaren fossilen Kraftwerken (bspw. Gasturbinen) in kleinräumigeren Maschen aufgebaut werden. Auf diese Weise wäre es möglich, Teile des Netzes abzutrennen und funktionsfähig zu halten um zum Beispiel kritische Infrastrukturen (bspw. Krankenhäuser, Wasserpumpen o.ä.) weiter betreiben zu können. Zu erwarten sind dann höhere Kosten im System und ggf. Anreize, das System insgesamt weniger effizient zu betreiben. Der Anteil fossiler Energieträger im Stromsystem könnte in diesem Zusammenhang auch langsamer abnehmen als erwartet.

Die mitteleuropäischen Staaten diskutieren in jüngster Zeit vermehrt über eine gemeinsame Definition von Versorgungssicherheit. Damit sollen Verbundeffekte, v.a. durch Ungleichzeitigkeiten von Last und Erneuerbaren-Einspeisung, genutzt werden können. Insgesamt müsste dann im Verbund weniger Kraftwerksleistung zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit vorgehalten werden. Wichtiger Bestandteil dabei ist die Schaffung eines europäischen Strombinnenmarktes und der grenzübergreifende Stromaustausch. Dieser wird zunehmend durch computergestützte Algorithmen allokiert (flow based market coupling). Würde in systemkritischen Zeiten die Versorgungssicherheit Deutschlands von einem Nachbarland gewährleistet werden, diese Gewährleistung aber aufgrund einer Cyberattacke im / auf das Nachbarland nicht möglich sein, müsste die Versorgungssicherheit trotz fortschreitender Digitalisierung national geregelt werden. Die notwendige Kraftwerksleistung müsste dann noch immer national in Deutschland vorgehalten werden, um eventuell auftretende Beeinträchtigungen im Ausland kompensieren zu können.

## Wirtschaft

Die zunehmende Verbreitung von 3D-Druckern wird entscheidende Veränderungen im wirtschaftlichen Gefüge mit sich bringen. So



ist einerseits eine Verlagerung von Produktionsprozessen hin zu den Konsumenten zu erwarten (Prosumer, 3D-Druck), was auch eine veränderte Logistik von Ausgangsmaterialien und Endprodukten nach sich zieht. Andererseits verändert sich durch zunehmende, sehr kleinteilige Steuerung und Automatisierung industrielles Produzieren über sämtliche Wertschöpfungsketten (Industrie 4.0). Je nachdem, über welche Prioritätensetzungen diese Systeme gesteuert und optimiert werden, kann dies fördernde oder hemmende Auswirkungen auf die Effizienz des Energiesystems haben. Falls entsprechende Anreize (z.B. über zeitlich variable Strom- oder Leistungspreise) gesetzt werden, können die Industriebetriebe mit eventuellen virtuellen Speicheroptionen (z.B. Produktion und Lagerung von Zwischenprodukten) in die Steuerung des Energiesystems einbezogen werden. Falls die Energiepreise oder die Qualität des Stroms in den Prozessen von untergeordneter Bedeutung ist, werden sie eher unter Kriterien wie Nachfrage- und Lieferoptimierung ausgelegt werden und können zu schwer prognostizierbaren erratischen Veränderungen in der Last führen.

Das explosionsartige Wachstum von Sensoren, Speichermedien und Akkus lassen die Nachfrage nach Rohstoffen, wie seltenen Metallen und Halbleitern, in den nächsten Jahren stark ansteigen. Dabei kann es zu einer Verknappung dieser Rohstoffe kommen. Diese Rohstoffe werden aber nicht nur in der Digitalisierung benötigt, sondern werden u.a. auch bei der Herstellung von Windenergie oder PV-Anlagen sowie insbesondere bei der Produktion von Generatoren und Leistungselektronik nachgefragt. Diese Rohstoffkonkurrenz würde zu einer Verteuerung der erneuerbaren Energien und damit einer Steigerung der Stromgestehungskosten führen. In der Folge wären erneuerbare Energien weniger konkurrenzfähig und möglicherweise längerfristig auf eine staatliche Förderung angewiesen.

Eine nicht unerhebliche Gefahr besteht für die Wirtschaft unter anderem in der Beschleunigung der Prozesse und Veränderung der Geschäftsmodelle durch Digitalisierung. Die dadurch verlangte Anpassungsgeschwindigkeit ist hoch. Falls Unternehmen – aus welchen Gründen auch immer – diese Anpassung nicht im erforderlichen Tempo vollziehen können, können sich Ketteneffekte und Schwächungen ganzer Branchen durch schnellere internationale Konkurrenz ergeben. Ein dadurch deutlich verringertes BIP-Wachstum wird dazu führen, dass weniger Mittel für die Finanzierung der Energiewende zur Verfügung stehen und die Akzeptanz für ggf. entstehende (echte oder befürchtete) Belastungen der Wirtschaftsbetriebe sinkt. Diese Gefahr des „Nicht-Mithalten-Könnens“ ist unter anderen dadurch real, dass in Deutschland in sehr wichtigen standardsetzenden Bereichen der IT-Technologien (Chipherstellung, Speicher-Hardwareproduktion, consumer-orientierte Software, globale Organisation von Big Data, soziale Netzwerke) kaum Unternehmen mitspielen.

## Gesellschaft

Die sich rasant entwickelnde Digitalisierung bedarf einer Vielzahl neuer Sensoren, Antennen und Leitungen. Sie führt zu einer extrem kleinschritten Sammlung und Auswertung von Informationen über Lebensgewohnheiten, Konsumverhalten von Bürgern als Verbrauchern (bis hin zu Gesundheitsfragen, aber auch politischen Haltungen), aber auch Produktionsprozessen und -verhalten von Industriebetrieben. Damit verbunden können Akzeptanzprobleme insbesondere aufgrund von Datenschutzfragen – sowohl für Bürger als auch für Wirtschaftsakteure zunehmen. Darüber hinaus gibt es in der Bevölkerung aber auch Sorgen bezüglich der physikalischen und medizinisch-physiologischen Wirkungen der Technologien – die Diskussion um „Elektrosmog“ zeigt ebenso die Richtung wie immer wieder auftretende Vorbehalte gegen Mobilfunkstationen. Damit ist es auch möglich, dass der für die Digitalisierung notwendige Ausbau der Infrastruktur sich schwierig gestaltet und verzögert.

Auch wenn immer wieder argumentiert wird, dass die Deutschen „technologieskeptisch“ eingestellt seien, lassen sich dafür empirisch keine stichhaltigen Befunde finden. Allenfalls in Einzelfällen wie zum Beispiel der grünen Gentechnologie ist dies zutreffend (vgl. Technopolis et al. 2014). Oftmals wird die Skepsis auch nur an bestimmten Anwendungen einer Technologie festgemacht, während andere Anwendungen derselben Technologie positiv besetzt sind (vgl. Heinrich 2014). Allerdings kann in den letzten Jahren (auch international) eine abnehmende Akzeptanz von Technik beobachtet werden. Eine geringe Akzeptanz besteht vor allem, wenn Technik in Verbindung mit Macht wahrgenommen wird, die Bevölkerung von externen Technologien betroffen ist, somit das Gefühl hat, fremdbestimmt zu werden und mögliche Folgen für Umwelt, Gesundheit und Privatsphäre vorhanden sind (acatech 2011). Daher ist davon auszugehen, dass es zwar zu lokalen Beschränkungen kommen kann (insbesondere „Not In My Backyard“-Motivationen), allerdings keine durchgehende Verlangsamung der Digitalisierung in Deutschland stattfinden wird.

### 3.3.3.3 Betroffene Rahmenbedingungen

Betroffen sind durch das Risikocluster Digitalisierung insbesondere die politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen. Grundsätzlich kann die Versorgungssicherheit durch die zusätzliche Last der Digitalisierung und durch mögliche Cyberattacken beeinträchtigt werden. Dies führt zu einer i.W. fossilen Systemabsicherung, die die Dekarbonisierung des Energiesystems erschwert oder verlangsamt.

Kommt es zu einer Rohstoffkonkurrenz zwischen Digitalisierung und erneuerbaren Energien ist der Staat gefordert, da einerseits Prioritäten gesetzt werden müssen oder andererseits die erneuer-

baren Energien weniger schnell wirtschaftlich konkurrenzfähig würden. Außerdem würden vermutlich Fördermittel und FuE-Mittel verstärkt in die Entwicklung integraler Systeme zur Sicherung der Sekundärrohstoffe fließen – was langfristig zur Lösung des Problems beitragen sollte.

Mit zunehmender Digitalisierung werden Gesellschaft und Akzeptanz eine entscheidende Rolle spielen. Smart Grids, Smart Metering, Cloud Computing und der Ausbau der IT-Infrastruktur ist an tiefgreifende Akzeptanzfragen und privaten Datenschutz gekoppelt.

Eine Schwächung der Wirtschaft durch das (nicht mitgehaltene) Tempo der Digitalisierung würde sowohl eine Änderung der Prioritätensetzungen wahrscheinlich machen als auch die „Energiewende“ verlangsamen.

#### 3.3.3.4 Quantifizierungsmöglichkeiten der Wirkungen

Grundsätzlich sind die Auswirkungen der Digitalisierung nur schwer quantifizierbar. Ansatzpunkte bieten Bereiche des Energiesystems und der zusätzlichen Vorhaltung fossiler Kraftwerksleistung zur Gewährleistung von Versorgungssicherheit. Dabei stellt sich die Frage inwiefern der zusätzliche Stromverbrauch der Digitalisierung die Last in systemkritischen Zeiten anhebt. Als Richtwert könnten heutige Lastprofile aus dem IKT-Bereich dienen. Die zusätzliche Leistung könnte mit Gasturbinen abgesichert werden, wobei die anfallenden Fixkosten bekannt wären.

Zur umgekehrten Frage (Effizienzsteigerung im System durch Digitalisierung) lassen sich prinzipiell Abschätzungen vornehmen, allerdings sind hier über die Prämissen sehr viele Annahmen zu treffen.

#### 3.3.3.5 Verbindungen und Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern

Das Risikocluster 3 „Digitalisierung“ steht in enger Beziehung zu anderen Risikoclustern. So könnte beispielsweise die Konkurrenz um Rohstoffe mit anderen Technologien zunehmen. Denkbar ist dann die Verknüpfung mit Risikocluster 8 „Finanzmittel für EE“: Die Rohstoffkonkurrenz zwischen Digitalisierung und EE kann dabei die Bereitstellung von Finanzmittel für EE belasten. Hier schließt auch das Risikocluster 10 „Rohstoffzugang“ an. Ein explosionsartiges Wachstum der IT-Infrastruktur würde die Nachfrage nach seltenen Metallen und Halbleitern massiv steigen lassen.

Evident ist der Zusammenhang mit Risikocluster 9 „Kriminalität & Terrorismus“. Die ansteigende Komplexität der IT-Systeme und deren Nutzung bzw. zentrale Bedeutung für ein digitalisiertes Energiesystem eröffnet zum Beispiel die Gefahr von Cyber-

Angriffen auf Smart Grids. Damit wäre insgesamt auch die Versorgungssicherheit betroffen.

Darüber hinaus könnten durch Digitalisierung Stromlast-Profile entstehen, die nicht mit der Erzeugung erneuerbarer Energien kompatibel ist. Denkbar ist dann, dass mehr fossile Kraftwerke zur Leistungsabsicherung benötigt werden (Risikocluster 11 „Stärkung fossiler Energietechnologien“).

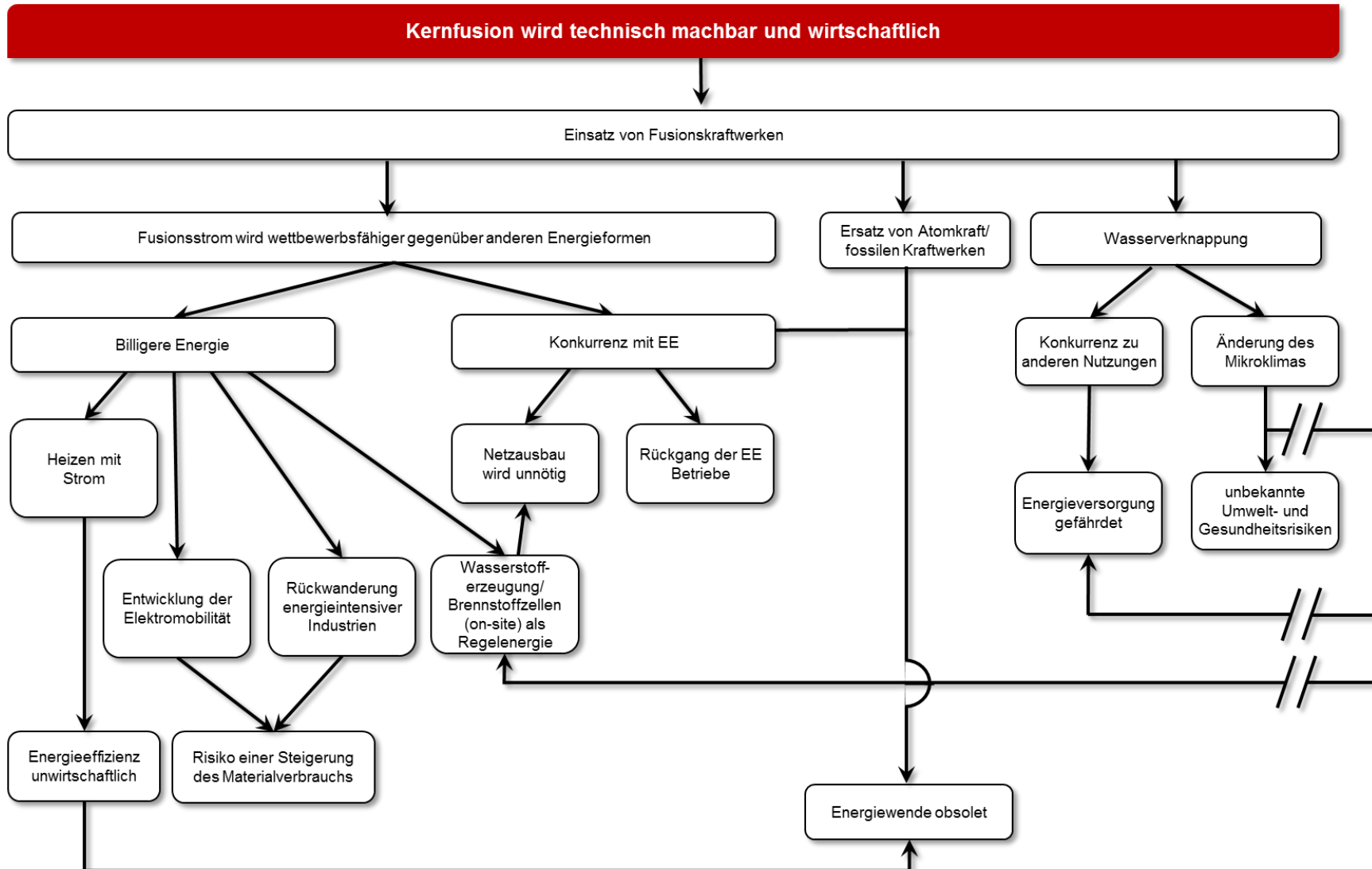
### 3.4 Entwicklung nicht-fossiler Technologien

#### 3.4.1 Steckbrief

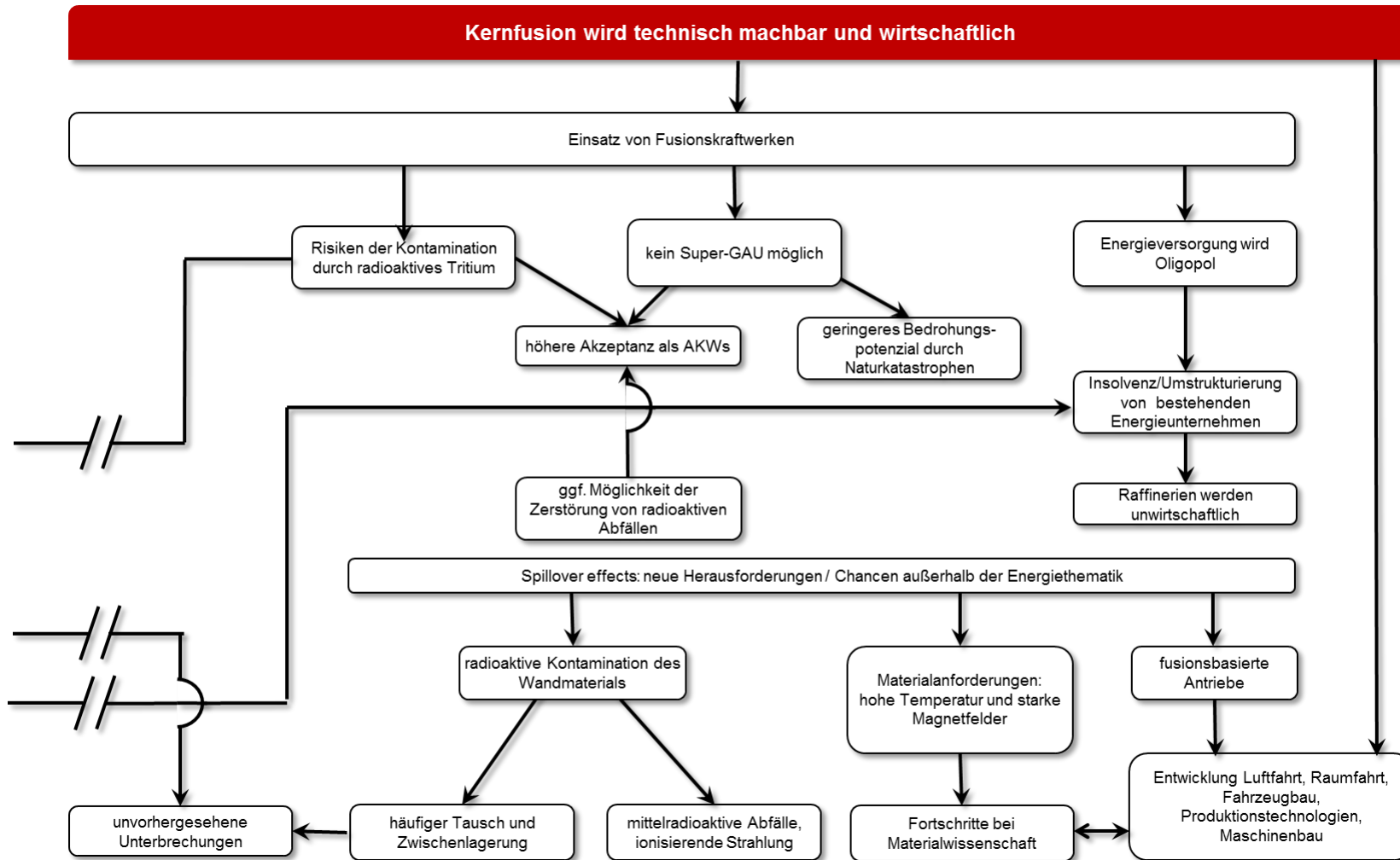
<b>Risikocluster</b>	Disruptive Technologie - Bahnbrechende (nicht fossile) Technologien werden schnell am Markt eingeführt					
<b>Kurzbeschreibung</b>	Entwicklung von bahnbrechenden neuen Technologien („Game Changer“) erfolgt und sie werden am Markt eingeführt und etabliert (z.B. Wasserstoff, Kernfusion gelingt)					
<b>Wirkungsdimensionen</b>						
Wirtschaft	Politik	Gesellschaft	Akzeptanz	Technologie	Rohstoffe	Infrastruktur
2,07	1,64	1,50	2,36	2,79	1,64	1,64
Skala von 0 bis 3 (kein Einfluss bis hoher Einfluss), Experteneinschätzung						
<b>Initialrisiko für Wirkungskette</b>	Kernfusionskraftwerke werden zur Funktionsreife entwickelt (Durchbruch bei der Aufrechterhaltung des gezündeten Plasmas, neue Materialien machen es kostengünstig) und vergleichsweise schnell eingeführt. Damit kann Strom sehr viel günstiger als mit heutigen konventionellen Kraftwerken produziert werden, was nachhaltige Wirkungen auf das Energiesystem und seine Struktur hätte: Strom würde die vorrangige Energiequelle, die Steigerung der Energieeffizienz verliert aufgrund ihrer abnehmenden Wirtschaftlichkeit an Bedeutung. Dabei sind auch Auswirkungen auf die (v.a. energie)wirtschaftliche Branchenstruktur zu erwarten.					
<b>Kurzbeschreibung Wirkungskette</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Konkurrenz mit fossilen Energieträgern und Kern(spaltungs-)kraft wird zu Umstrukturierungen und Unternehmenszusammenbrüchen führen.</li> <li>▪ Entwicklung neuer Wertschöpfungsketten, aber Risiken von Oligopolen</li> <li>▪ Back-up-Systeme, Spitzenproduktion, Ausgleichssysteme zwischen Nachfrage und Angebot notwendig (EE, Speicher, fossile Kapazitäten)</li> <li>▪ Entwicklung der Elektromobilität</li> <li>▪ EE und Netze weiter ausgebaut</li> <li>▪ Wasserstoff und synthetisiertes Methan ( aus power-to-gas-Prozessen) werden im Gasnetz transportiert</li> <li>▪ Klima- und Umweltschäden: Überwärmung, Verteuerung des Wassers, Steigerung des Ressourcenverbrauchs, Gesundheitsrisiken</li> <li>▪ Entwicklungsschub in der Raumfahrt</li> </ul>					
<b>Weitere Beispiele für Initialrisiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Wesentliche Fortschritte bei der Entwicklung eines Fusionsreaktors</li> <li>▪ Entdeckung einer kostengünstigen Variante der kalten Fusion</li> <li>▪ Genetisches Engineering: z.B. Algen/Bakterien -&gt; Massenproduktion von mariner Biomasse (keine Flächenkonkurrenz mehr)</li> <li>▪ Günstige Produktion von marinem Wasserstoff direkt aus Sonnenlicht und Wasser (biologisch mittels Algen/Bakterien oder mittels physikalisch-chemischer Katalysatoren)</li> <li>▪ günstiger Fusionsreaktor („Pink swan“)</li> <li>▪ Innovationen im Bereich Atomkraft</li> </ul>					
<b>Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risikocluster 11 „Stärkung fossiler Energietechnologien“: grundsätzliche Änderungen im Energiesystem</li> </ul>					

### 3.4.2 Wirkungskette

Abbildung 3-5: Wirkungskette Entwicklung nicht-fossiler Technologien



Schwarzer Schwan: Überraschend & unerwartet, enorme Auswirkungen



### 3.4.3 Beschreibung und Analyse

#### 3.4.3.1 Beschreibung des Initialrisikos

In diesem Risikocluster wird davon ausgegangen, dass schneller als erwartet ein technologischer Durchbruch bei der Kernfusion stattfindet. Damit wird der Bau sowie der wirtschaftliche Betrieb von (großen) Fusionskraftwerken ermöglicht und eingeleitet. Dies könnte beispielsweise durch Materialtechnik und neue Steuerungsmöglichkeiten zur Aufrechterhaltung des Plasmas erfolgen. Diese Fusionskraftwerke werden in der Größenordnung von bis zu 5 GW gebaut: Die Wirtschaftlichkeit der Fusionskraftwerke steigt mit zunehmender Leistung. 5 GW stellen die technisch machbare Obergrenze dar; Fusionskraftwerke mit einer Leistung von unter 2 GW werden nicht gebaut. Die Fusionskraftwerke sind nicht flexibel und werden durchgehend mit konstanter Leistung betrieben. Die einzelnen Fusionskraftwerke werden an den jeweiligen Standorten umfänglich mit Wasserstofferzeugungsanlagen sowie Brennstoffzellen ergänzt, um überschüssigen Strom als Wasserstoff zwischen zu speichern und bei Bedarf wieder zu verstromen.

#### 3.4.3.2 Wirkungen des Initialrisikos

##### Wirkungen im Energiesystem

Fusionskraftwerke liefern deutlich günstiger Elektrizität als alle bisherigen Technologien, besonders weil die einzelnen Anlagen zentral strukturiert sind und eine große Leistung sowie – im Verbund mit Wasserstofferzeugungsanlagen und Brennstoffzellen – die Fähigkeit zu Ausregelung des Stromnetzes bieten, auch wenn die Fusionskraftwerke selbst als nicht regelbare durchlaufende Erzeuger genutzt werden.

Strom wird in dem Maße günstiger produziert, wie sich die Technologie und die Fusionskraftwerke verbreiten. Kapitalkosten sind zu Beginn hoch, werden aber schnell immer geringer, sobald die Funktionsfähigkeit im großtechnischen Maßstab nachgewiesen ist; zur Beschreibung dieses „Initialrisikos“ wird hier davon ausgegangen, dass der technologische Durchbruch spezifische Investitionskosten im Bereich der heute ausgereiften fossilen Kraftwerke ermöglicht. Die Betriebskosten sind niedrig. Der in Fusionskraftwerken erzeugte billige Stromüberschuss produziert mittels Elektrolyse Wasserstoff. Wasserstoff kann als Speicher genutzt werden, der Schwankungen des Strombedarfs ausgleichen kann. Überschüssiger Wasserstoff wird in Methan umgewandelt und im Verkehr und zur Wärmeerzeugung verbraucht. Damit ersetzen Fusionskraftwerke in einem ersten Schritt die derzeitigen Grundlastkraftwerke, insbesondere „konventionelle“ Kernspaltungskraftwerke, Kohle- und Gaskraftwerke. Ein Netzausbau, wie er für die Einbindung der erneuerbaren Energien zwingend erforderlich ist, er-



übrigt sich: Fusionskraftwerke werden dort gebaut, wo Energie gebraucht wird und Kühlkapazitäten vorhanden sind.

Strom aus Fusionsreaktoren wird nach einer „Einschwingphase“ aufgrund der gesunkenen spezifischen Investitionskosten insgesamt günstiger produziert als Strom aus anderen Energieträgern und wird diese substituieren. Das betrifft die konventionellen Energieträger, die für die Stromerzeugung eingesetzt werden, aber auch die meisten (vor allem die fluktuierenden) erneuerbaren Energien. Die sicheren und langlebigen Lauf- und Pumpspeicherkraftwerke werden weiterhin eingesetzt. Im Vergleich damit stellen andere erneuerbare Energien wie Biomasse, Windkraft und Photovoltaik aufwändige, teure oder/und nicht regelbare Technologien dar, die große Flächen benötigen oder in Konkurrenz mit anderen Nutzungen (wie z.B. der Landwirtschaft) stehen. Sie werden an Bedeutung verlieren, da Investitionen prioritär in Fusionskraftwerke fließen.

Auch in Anwendungen, bei denen Strom bislang eine untergeordnete Rolle spielt, wird der billige Strom aus Fusionskraft verwendet: Strom- bzw. Nachtspeicherheizungen dominieren; der Landverkehr wird emissionsfrei. Denn Elektromobilität wird nun aus deutlich wirtschaftlicher als fossile Antriebe. Lediglich für den Flugverkehr werden fossile Brennstoffe benötigt. Wegen der geringen Nachfrage nach Treibstoffen auf Mineralölbasis wird Fliegen günstiger. Internationaler Schiffsverkehr kann mit Wasserstoff (durch die Fusionskraftwerke produziert, von denen einige auch aus Kühlungsgründen an den Küsten und insbesondere den großen Hafenstädten stehen werden) und Brennstoffzellen betrieben werden.

Generell gilt, dass die Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienzmaßnahmen (sowohl für die Strom- als auch für die Wärmenutzung) deutlich schneller erreicht wird und damit Energieeffizienz unattraktiv ist. Die Energiewende in der bisherigen Form ist obsolet, denn deren Ziele können ohne weitere Anstrengungen bei der Energieeffizienz sowie dem Ausbau der erneuerbaren Energien erreicht werden.

### **Wirkungen in der Akteurslandschaft**

Die Technologie der Kernfusion und die entsprechende Energieversorgung mittels Fusionskraftwerken liegen in der Hand weniger Akteure. Ähnlich wie bei den derzeitigen Kern(spaltungs-)kraftwerken werden nur wenige große Konzerne fähig sein, die notwendigen (großen) technologischen Komponenten für Fusionskraftwerke zu bauen. Ebenso werden nur wenige Konzerne den Bau und den Betrieb eines Fusionskraftwerks unternehmen, nämlich größtenteils diejenigen Energieversorger, welche heute bereits Kern(spaltungs-)kraftwerke betreiben. Dieses sich (erneut) bildende Oligopol birgt das Risiko von Marktmanipulationen sowie Machtmissbrauch.

Die Betreiber der Fusionskraftwerke stehen in direkter Konkurrenz zu den auf Öl und Gas spezialisierten Energiekonzernen und verdrängen diese, denn die Nachfrage und später auch die Preise von Öl, Gas, Uran und Kohle nehmen stark ab. Die gesamte Wirtschafts- und Wertschöpfungskette der traditionellen Energieversorgung und -konzerne ist betroffen: Kohlebergbau, Öl- und Gasförderung (auch unkonventionelle), entsprechende Dienstleistungen, Offshore-Bohrungen, Explorationsaktivitäten, usf. Sinkende Marktanteile erfordern massive Umstrukturierungen. Neue Nischenmärkte sind u.a. Energiebereitstellung zu Spitzenstunden, Märkte in unterentwickelten Ländern, welche sich ein Fusionskraftwerk nicht leisten können oder Diversifizierung nach anderen Energieträgern. Zudem finden soziale Unruhen in den Öl, Gas, Kohle und Uran exportierenden Ländern (hauptsächlich Mittlerer Osten, Venezuela, Libyen, Algerien, Angola) statt, weil die dortigen Regierungen den „sozialen Frieden“ nicht mehr kaufen können. Solche mittelbaren geopolitischen Auswirkungen könnten wiederum die gesellschaftlichen Prioritäten verschieben, auch wenn sie keine direkten Auswirkungen auf die Energiewende haben. Es wird angenommen, dass sich die Nutzung technischer Rohstoffe wie z.B. seltener Metalle etwa im gleichen Rahmen bewegt wie bei der Umsetzung der bisherigen „Energiewende“ – diese also etwa leistungsbezogen in den gleichen Mengen benötigt werden wie bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien.

Viele Handwerks- und Industriebetriebe, die sich auf den Ausbau der erneuerbaren Energien spezialisiert haben, wie z. B. die Produktion von Teilen der Windkraftanlagen oder die Montage der Solarpaneele, brechen zusammen und gehen unter. Andererseits entwickeln sich im Zuge der Kernfusion andere Wirtschaftsketten, z. B. Förderung von Deuterium, Erzeugung von Tritium und damit zusammenhängende Dienstleistungen. Auch die energieintensiven Industrien bleiben ansässig und weiten die Inlandsproduktion möglicherweise noch aus.

## Umweltauswirkungen

Fusionskraftwerke werden gewässernah errichtet, denn sie benötigen – wie alle thermoelektrischen Kraftwerke – große Mengen Kühlwasser. Sie werden damit eine direkte Konkurrenz zu anderen Anwendungen mit hohem Wasserverbrauch darstellen, insbesondere zur Landwirtschaft. Eine Konsequenz wäre die Verteuerung des Wassers bzw. der Wassernutzungsrechte. Auf der anderen Seite könnte der billige Strom Wasserentsalzungsanlagen antreiben und die Konkurrenz zur Landwirtschaft und anderen Wasserverbrauchern entschärfen. Dies sind insbesondere interessante Optionen für (Schwellen-)länder in Wüstenregionen.

Das während des Betriebes der Fusionskraftwerke den Gewässern entnommene Kühlwasser wird erwärmt und wieder zurückgepeist. Bestimmten Theorien nach kann eine dauerhafte Über-

wärmung der Gewässer eine Änderung des Mikroklimas zur Folge haben, was wiederum zu unabsehbaren Umwelt- und Gesundheitsrisiken führen kann (ähnlich dem Klimawandel, z. B. Tigermücke, Algen, Krankheitserreger). Auf der anderen Seite kann es in heißen Sommern vorkommen, dass die Kühlkapazität der (durch die Witterung erwärmten) Flüsse nicht ausreicht, um die benötigte Kühlleistung bereit zu stellen und Kraftwerke heruntergefahren werden müssen, analog zu bereits erfolgten Problemen von Kernkraftwerken in Frankreich und in der Schweiz.

Weiterhin ist es möglich, dass Tritium, ein Treibstoff des Fusionsreaktors, austritt und die Umwelt kontaminiert, da es als sehr kleines Element praktisch durch keine Barriere zurück gehalten werden kann.<sup>7</sup> Tritium ist radioaktiv und stellt ein erhebliches Gesundheitsrisiko dar. Demgegenüber sind Fusionskraftwerke intrinsisch sicher gegenüber einem der Kernschmelze bei Spaltkraftwerken vergleichbaren Unfall: Der Super-GAU eines Fusionskraftwerks besteht im genannten Austritt des Tritiums. Netto wird die Akzeptanz der Fusionstechnologie vermutlich deutlich höher liegen, als dies derzeit bei der Kernspaltungstechnologie zu beobachten ist. Zumal sich die Möglichkeit ergibt, die bestehenden hochradioaktiven Abfälle der Spaltkraftwerke während des Betriebes der Fusionskraftwerke sukzessive zu zerstören. Dennoch entsteht auch im Fusionskraftwerk mittelradioaktiver (100 bis 500 Jahre) Abfall, nämlich Teile des Wandmaterials der Brennkammer. Dieser kann prinzipiell am Fusionsreaktor selbst gelagert werden, muss jedoch ebenso wie der mittelradioaktive Abfall der Kernkraftwerke jahrzehntelang unter erhöhten Sicherheitsbedingungen gehalten werden.

Energieeffizienz wird, wie oben bereits genannt, nicht mehr in dem Maße angestrebt, wie das aktuell der Fall ist, damit wird einerseits der Stromverbrauch und damit der Bedarf an Kraftwerken steigen. Die Auswirkungen der Fusionskraft auf die Umwelt (Wassererhitzung, Tritiumkontamination, Rohstoffabbau (insbesondere Lithium), Entsorgung der radioaktiven Bauteile) werden wahrscheinlich höher sein als dies bei effizienter Energienutzung möglich wäre. Andererseits wird mit geringerer Energieeffizienz auf eine geringere Rohstoffeffizienz von Wirtschaft und Konsum verbunden sein.

## Weitere Herausforderungen und Chancen

Während des Betriebes eines Fusionskraftwerks stehen die innersten Bauteile unter enormen Neutronenbeschuss, welcher zu Radioaktivität (s. o.) und auch zu Korrosion des Materials führt. Aus diesem Grund müssen die entsprechenden Bauteile häufig (etwa zweijährlich) getauscht und zwischengelagert werden. Un-

---

<sup>7</sup> Tritium wird mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht einer Rohstoffknappheit unterliegen, da es nach der Anfangsreaktion auch im Reaktor (genauer: Im Blanket des Reaktors) selbst erbrütet werden kann.

vorhergesehene Unterbrechungen sowie lange Stillstandszeiten während Wartung und Reparatur werden die Systemstabilität und die Versorgungssicherheit gefährden, sofern es keine Fall-back-Lösungen gibt, wie z. B. erneuerbare Energien, fossile Kraftwerke, Speicherkapazitäten – oder schlicht ausreichend Fusionskraftwerke.

In der Brennkammer eines Fusionskraftwerks herrschen extremste Bedingungen (sehr hohe Temperaturen und Magnetfelder). Die Forschung, die zur Entwicklung hierfür geeigneter Materialien betrieben wird, treibt auch die Materialwissenschaft im Allgemeinen voran.

Als zusätzlicher Nutzen (im Sinne einer positiven Rückkopplung) kann die Technologie eingesetzt werden, um Antriebssysteme auf Basis der thermonuklearen Fusion zu entwickeln. Auf diese Weise werden Fortschritte bei der Luft- und Raumfahrt erzielt. Generell bedeutet die Beherrschung dieser Technologie einen Sprung im Maschinenbau sowie bei den zugehörigen Produktionstechnologien, welcher – ähnlich den Raumfahrttechnologien – im Laufe der Zeit in die Breite der Anwendungen einfließt.

#### 3.4.3.3 Betroffene Rahmenbedingungen

In den politischen Rahmenbedingungen würde sich die Entwicklung nicht-fossiler Technologien insbesondere hinsichtlich einer thematischen Verschiebung von internationalen Vereinbarungen niederschlagen. Der Fokus würde nicht mehr auf Klimaschutz und Kernkraft liegen, sondern sich zu Fusionstechnologien und Rohstoffabkommen verschieben. Zugleich wäre die Oligopol-Bildung auf der Produzentenseite ein wesentlicher Faktor für Veränderungen in den internationalen Macht(un)gleichgewichten.

Hinsichtlich der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen würden insbesondere Branchen- und Produktionsstrukturen betroffen sein, da sich die Rentabilität von energieintensive Produktionsstandorte in den Industrieländern verbessert. Zudem wäre zu erwarten, dass weniger Aktivitäten zur Effizienzsteigerung bestehender Produktionsverfahren und –anlagen erfolgen würden. Der globale Trend zu höheren wissensbasierten Wertschöpfungsanteilen würde hingegen kaum tangiert, da die Entwicklung nicht-fossiler Technologien die Digitalisierungs- und Globalisierungsfolgen eher weniger betrifft.

Die energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen würden dadurch geprägt, dass Strom zum dominanten Energieträger würde. Dies beträfe neben der Wärmeproduktion und der Prozesswärme auch den Verkehr. Gegebenenfalls würde auch noch Wasserstoff und power-to-gas-Methan vorkommen, sicher aber nur in geringeren Mengen. Die Energiewende würde in bisheriger Form nicht fortge-

führt. Damit müssten sich die mit ihr entstandenen Industrien und Dienstleistungen umorientieren.

Es wäre eine allgemeine Akzeptanz der neuen Technologien zu erwarten. Gefährdet könnte diese werden durch die kritischen Fragen aufgrund von Machtballungen und verstärkten globalen Ungleichgewichten, Abhängigkeiten und Verwundbarkeiten durch die extrem zentrale Struktur.

#### **3.4.3.4 Quantifizierungsmöglichkeiten der Wirkungen**

Denkbar ist die Bestimmung von Substitutionseffekten im Energiesystem oder die Abschätzung der stranded investments.

#### **3.4.3.5 Verbindungen und Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern**

Ähnlichkeiten sind v.a. in Verbindung zu Risikocluster 11 „Stärkung fossiler Energietechnologien“ zu sehen, da auch dort grundlegende Änderungen des Energiesystems als zentraler Wirkungsstrang zu erwarten sind.

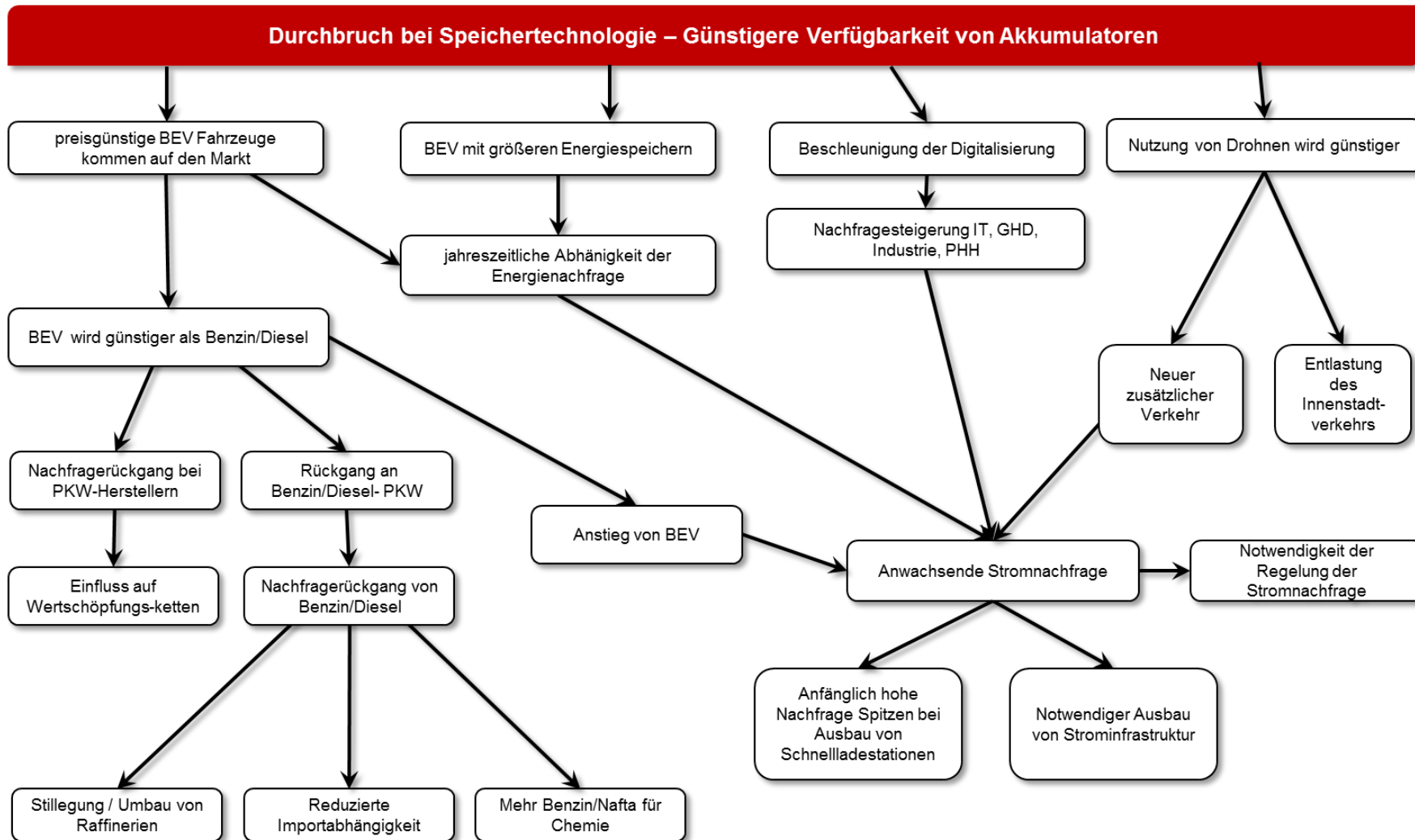
## 3.5 Durchbruch bei Speichertechnologie

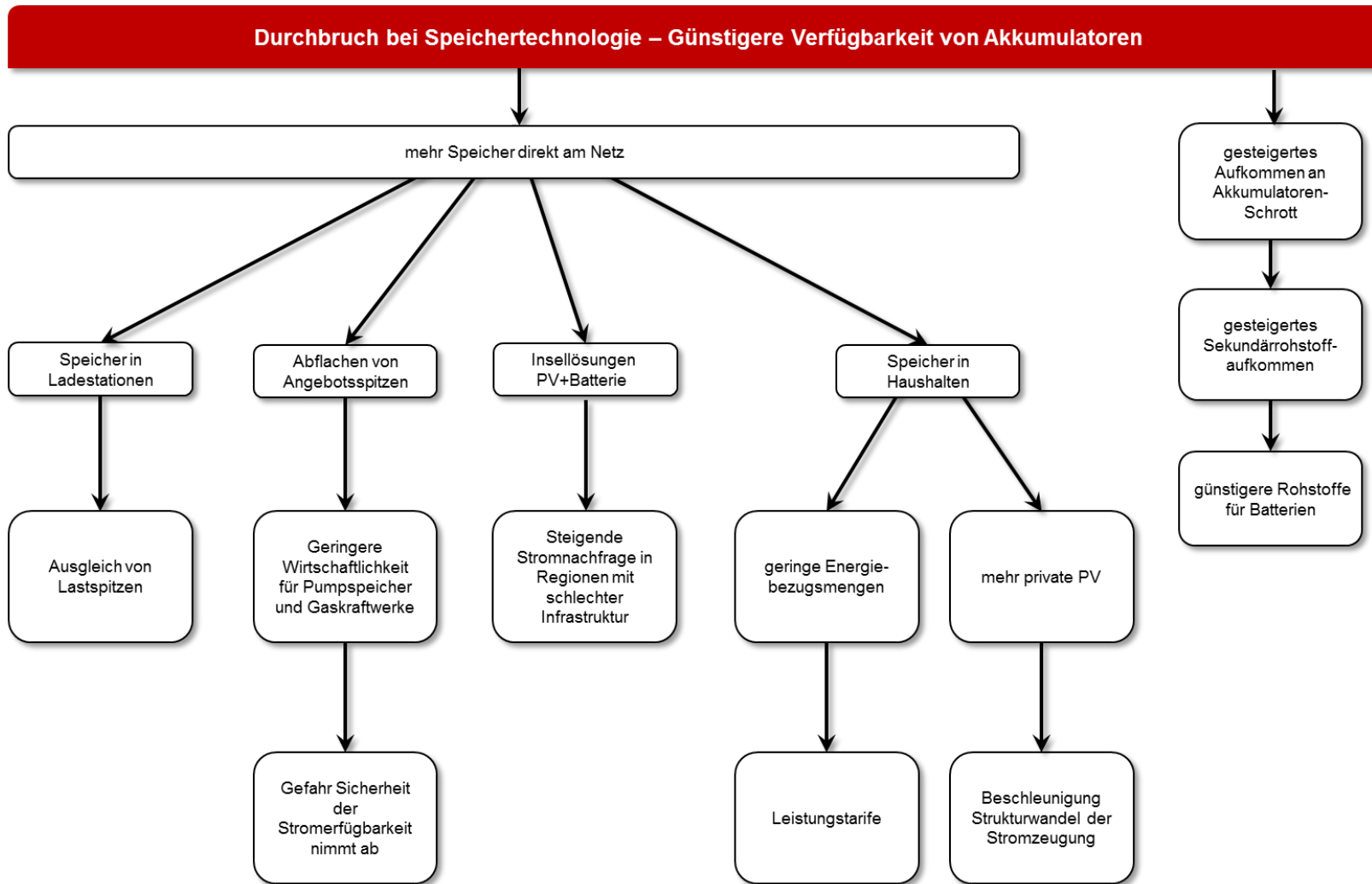
### 3.5.1 Steckbrief

<b>Risikocluster</b>	Durchbruch bei Speichertechnologie					
<b>Kurzbeschreibung</b>	Durchbruch bei Li-Ionen-Akkumulatoren oder Akkumulatoren mit vergleichbaren Eigenschaften. Elektrische Speicher werden deutlich preisgünstiger und haben eine höhere Energiedichte. Elektromobilität und der Einsatz von Speichern beim Endverbraucher entwickeln sich schneller und beeinflussen die Entwicklung der Stromnachfrage, der Schwankung der Stromnachfrage und der dezentralen Stromerzeugung. Bei dem Risikocluster handelt es sich im Schwerpunkt um einen „Pink Swan“.					
<b>Wirkungsdimensionen</b>						
Wirtschaft	Politik	Gesellschaft	Akzeptanz	Technologie	Rohstoffe	Infrastruktur
1,71	1,50	1,29	2,29	2,79	1,57	2,07
Skala von 0 bis 3 (kein Einfluss bis hoher Einfluss), Experteneinschätzung						
<b>Initialrisiko für Wirkungskette</b>	Durchbruch bei Li-Ionen-Akkumulatoren oder Akkumulatoren mit vergleichbaren Eigenschaften. Neben herkömmlichen Li-Ionen Akkumulatoren sind beispielsweise Li-Polymer, Li-S, Li-O <sub>2</sub> –Technologien denkbar. Die Markteinführung gelingt, damit sind Akkumulatoren günstiger verfügbar.					
<b>Kurzbeschreibung Wirkungskette</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Günstigere Akkumulatoren sind auf dem Markt verfügbar.</li> <li>▪ Batterieelektrische Pkw und leichte Nutzfahrzeuge kommen auf den Markt</li> <li>▪ Der Anteil der batterieelektrischen Fahrzeuge steigt</li> <li>▪ Fahrzeughersteller, die bislang unterdurchschnittlich auf Elektromobilität gesetzt haben, verzeichnen einen Nachfragerückgang – umgekehrte Auswirkung auf Hersteller, die bislang Vorreiter waren</li> <li>▪ Die Nachfrage nach Mineralölprodukten geht zurück und verändert sich in der Struktur</li> <li>▪ Verstärkte Digitalisierung und Einsatz von smarten Systemen durch den günstigeren Einsatz mobiler Speicher</li> <li>▪ Die Stromnachfrage steigt und wird potenziell unregelmäßiger und muss deshalb gesteuert werden</li> <li>▪ Speicher werden verstärkt auch lokal eingesetzt</li> <li>▪ Insbesondere kann der Eigenstromanteil durch die Kombination von PV und Batteriespeicher gesteigert werden. Dadurch verändert sich die Nutzung des Netzes. Die Speicher können auf verschiedenen Netzebenen zur Stabilisierung herangezogen werden.</li> </ul>					
<b>Weitere Beispiele für Initialrisiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Durchbruch bei Speicherung von Wasserstoff und bei Umwandlung von H<sub>2</sub> in Strom.</li> </ul>					
<b>Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risikocluster 4 „Entwicklung nicht-fossiler Technologien“: Ähnliche Konsequenzen bei einem Durchbruch im Bereich Wasserstofftechnologie</li> <li>▪ Risikocluster 9 „Kriminalität &amp; Terrorismus“: Schnellerer Ausbau smarter Nachfrage im Netz kann zu zusätzlichen Angriffspunkten für Cyberterrorismus führen</li> </ul>					

### 3.5.2 Wirkungskette

Abbildung 3-6: Wirkungskette Durchbruch bei der Speichertechnologie







### 3.5.3 Beschreibung und Analyse

#### 3.5.3.1 Beschreibung des Initialrisikos

„Günstigere Batterien“ kann Unterschiedliches bedeuten. Im Folgenden wird ein Szenario betrachtet, in dem Batterien deutlich günstiger werden und dabei sowohl Energiedichte als auch Entladeleistung bei unverändert hoher Energieeffizienz und hohen Sicherheitsanforderungen gesteigert werden können. Potenzielle Technologien sind Li-Ionen, Li-Polymer, Li-S und Li-O<sub>2</sub>. Bei diesem Szenario sind die größten Auswirkungen auf die Energiewende zu erwarten. Bei dem Risikocluster handelt es sich daher im Schwerpunkt um einen „Pink Swan“.

Je nach Technologieentwicklung könnten sich auch neue Batterien etablieren, die preisgünstig und sicher sind, aber eine geringere Energieeffizienz aufweisen. Dies wäre zum Beispiel bei Li-S Systemen denkbar. In einem solchen Szenario würde die Stromnachfrage stärker ansteigen.

Auch könnte eine höhere Energiedichte bei geringer Leistungsdichte erreicht werden. Dies würde zu einer geringeren Verbreitung führen und Lastspitzen beim Beladen senken.

#### 3.5.3.2 Wirkungen des Initialrisikos

Die Verfügbarkeit von günstigen Akkumulatoren würde sich auf vielfältige Weise und in sehr unterschiedlichen Bereichen auswirken. Die größten Wirkungen sind bei der Elektromobilität mit Pkw und leichten Nutzfahrzeugen sowie beim Einsatz von lokalen Speichern bei Endverbrauchern und in Kombination mit dezentraler Stromerzeugung zu erwarten. Dadurch wird die Direktvermarktung von dezentral erzeugtem erneuerbaren Strom erleichtert und im Stromsektor können Systemdienstleistungen bereitgestellt werden. In Folge sinkt der Back-up-Bedarf für die erneuerbare Stromerzeugung und insgesamt wird die erneuerbare Stromerzeugung begünstigt. Die Verfügbarkeit von günstigeren Speichern kann die Digitalisierung (im Energiesystem) beschleunigen und in neue mobile Anwendungen z. B. einen verstärkten Einsatz von Drohnen und anderen Smarten Systemen führen. Insgesamt entstehen durch günstige Speicher an vielen Stellen Pinke Schwäne für die Energiewende.

#### Wirtschaft

Ein Durchbruch bei der Speichertechnologie würde insbesondere in den Marktsegmenten der batterieelektrischen Pkw und leichten Nutzfahrzeuge dazu führen, dass hier die Modellpalette an Fahrzeugen größer wird. Auch durch günstigere Preise bleiben die Batterien jedoch ein wesentlicher Kostenfaktor der Elektromobilität und insbesondere die Steigerung der Reichweite wird weiterhin

mehr Geld kosten als bei herkömmlichen Fahrzeugen. Es ist davon auszugehen, dass bei sinkenden Batteriepreisen zum einen deutlich günstigere Fahrzeuge mit weiterhin eingeschränkter Reichweite auf den Markt kämen. Andererseits würde sich ein neues Fahrzeugsegment erschließen lassen durch Fahrzeuge mit gesteigerter Reichweite (wie derzeit beispielsweise optional bei Tesla-Modellen), verbesserten Ausstattungsoptionen (Klimatisierung, IT-Ausstattung etc.) sowie weitere Fahrzeugklassen (Größe, Leistung). Ausschlaggebend ist, dass diese Fahrzeuge nicht primär auf Preis und Energieverbrauch optimiert würden. Eine stärkere Verbreitung und Marktdurchsetzung von batterieelektrischen Fahrzeugen würde einhergehen mit ihrem wachsenden Anteil an der Flottenstruktur. Zugleich würde damit der Anteil an Fahrzeugen mit konventionellen bzw. Verbrennungsmotorantrieben absinken. Die Strukturverschiebung in der Fahrzeugflotte würde zudem Auswirkungen auf die Automotivbranche bzw. die Mineralölindustrie induzieren. In der Automotivbranche verlören diejenigen Fahrzeughersteller an Bedeutung, die die Elektromobilität eher stiefmütterlich behandelt haben, da sie mit einem Nachfragerückgang konfrontiert würden. Umgekehrt käme es bei Herstellern, die batterieelektrische Fahrzeuge im Portfolio und diese Kompetenzen zielgerichtet ausgebaut haben, zu einem Nachfrage- und damit Wachstumsschub. In der Mineralölindustrie würde ebenfalls ein struktureller Wandel stattfinden. Insgesamt sänke die Nachfrage nach Mineralölprodukten analog zum Nachfragerückgang bei traditionell orientierten Fahrzeugherstellern. Dabei würde sich aber auch die Nachfragestruktur ändern. Die Nachfrage nach Diesel für den Straßengüterverkehr und von Kerosin im Luftverkehr bliebe weiterhin dominierend, der Anteil von Benzin würde jedoch (stark) abnehmen. Die Verschiebung der Nachfragestruktur zu langkettigen Mineralölprodukten würde zu sinkenden Preisen von Nafta als Grundstoff für die Chemische Industrie und zum Umbau / Stilllegungen von Raffinerien führen und zugleich die Importabhängigkeit von Mineralöl verringern.

Neue Speichertechnologien würden unterstützend bei der Verbreitung und Durchsetzung der Digitalisierung wirken. Günstigere mobile Speicher würde den vermehrten Einsatz von smarten Systemen ermöglichen und unter anderem auch den verstärkten Einsatz von unbemannten, elektrisch betriebenen Flugobjekten ermöglichen. Damit würden grundsätzlich auch die Einführung und Verbreitung neuer Dienstleistungsangebote umsetzbar wie zum Beispiel Lieferservices bzw. individuelle Paketzustellungen. In der Folge käme es zu weiteren Wirkungen auch auf andere Bereiche wie zum Beispiel der Änderung von Wirtschafts- oder Verkehrsstrukturen.

Eine gesteigerte Nutzung von Akkumulatoren würde auch das Aufkommen an Akkumulatoren-Schrott steigern. Einerseits könnte dadurch das Recycling wirtschaftlich werden und damit günstigere Rohstoffe für die Produktion bereitstellen – andererseits könnte es

sein, dass Recycling auch bei gesteigertem Aufkommen unwirtschaftlich bleibt und damit im Fall eines Rücknahmewangs der Hersteller zu erhöhten Produktionskosten führen.

## Energiesystem (Strom)

Die Zunahme von batterieelektrischen Fahrzeugen würde zu einer anwachsenden Stromnachfrage führen. Dies ist grundsätzlich schon durch den wachsenden Anteil von Elektromobilen im Verhältnis zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor begründet. Allerdings würden sich Durchbrüche in der Speichertechnologie auch auf die Nutzung im Bereich der Elektromobilität auswirken. So würde die höhere Effizienz des elektrischen Antriebs dazu führen, dass der Anteil des Energieeinsatzes für den mechanischen Antrieb sinkt und damit relativ der Verbrauch der Nebenaggregate in den Fahrzeugen ansteigt. Unter anderem stiege damit der Anteil an Energie im Straßenverkehr, welcher für die Klimatisierung der Fahrzeuge verwendet wird. Damit würde der Energiebedarf im Verkehr stärker abhängig vom Wetter – an warmen Tagen würde mehr Leistung für die Klimatisierung benötigt, damit müssten auch die Speicher häufiger und insgesamt mit mehr Energie geladen werden. Potenziell würde die steigende Stromnachfrage damit unregelmäßiger und abhängig von externen Einflüssen. Dennoch ist zu erwarten, dass diesem Effekt aufgrund seiner vergleichsweise geringen Nachfragegröße nur eine untergeordnete Bedeutung zukommt.

Schnellladestationen könnten auf Mittelspannungsebene zu hohen Leistungsspitzen führen. Ein Ausbau der Verteilnetze könnte die notwendige Folge sein. Andererseits könnte die Nachfrage gezielt gesteuert werden um zu große Leistungsspitzen zu verhindern. Ebenso wäre es wahrscheinlich möglich und notwendig, die Speicher in Fahrzeugen durch entsprechende Anreize im Lade- und Entladepreissystem zur Stabilisierung des Netzes heranzuziehen.

Über die Anwendung im Verkehr hinaus würden mit neuen, verbesserten Speichertechnologien auch neue Einsatz- und Verwendungsmöglichkeiten erschlossen. Neben den schon angeführten Beispielen in der Digitalisierung oder der unbemannten Luftfahrt würde die verstärkte lokale Nutzung von Speichern in Kombination mit dezentraler Stromerzeugung, insbesondere PV, stattfinden. So könnte der Eigenstromanteil durch die Kombination von PV mit Batteriespeicher und damit die Wirtschaftlichkeit gesteigert werden oder in Gebieten mit schlecht ausgebauter Infrastruktur (insbesondere im Ausland) der dezentrale Einsatz von PV besser ermöglicht werden. Die Einspeisung von PV-Strom würde auch bei gut ausgebauter Infrastruktur regelmäßiger und besser steuerbar und evtl. auch die Herausforderungen von unregelmäßigen Nachfragespitzen durch die Elektromobilität reduziert. Andererseits könnten durch die Kombination von dezentralen PV-Anlagen mit Speichern auch die Eigenverbrauchsanteile zunehmen, so dass weniger er-

neuerbarer Strom ins Netz gelangt. Darüber hinaus können günstige Speichersysteme auf verschiedenen Netzebenen zum Ausgleich von Angebot und Nachfrage bei fluktuierender Einspeisung führen.

Die insgesamt deutlich niedrigeren Energiebezugsmengen könnten zu einem Wechsel zu Leistungstarifen bei niedrigen Bezugsmengen führen. Durch einen weitgehenden Ausgleich von Stromangebot und Nachfrage sinkt die Notwendigkeit, flexible Leistung zur Netzstabilisierung vorzuhalten und somit die Wirtschaftlichkeit von Gaskraftwerken und Pumpspeichieranlagen. Außerdem wird die Notwendigkeit des Netzausbaus verringert. Dies könnte auch zu einer sinkenden Sicherheit der Verfügbarkeit in seltenen Nachfrage- / Angebotssituationen führen – bzw. die Notwendigkeit, Dimensionierung, Positionierung und der Betrieb von Backup-Kapazitäten für die wenigen Spitzenstunden verändern sich.

### 3.5.3.3 Betroffene Rahmenbedingungen

Durch das Risikocluster sind besonders die Bereiche Technologie, Akzeptanz, Infrastruktur und Wirtschaft als Rahmenbedingungen für die Energiewende betroffen. Auf der Seite der Technologie ist nur durch die Verfügbarkeit von günstigeren Speichern eine schnelle Elektrifizierung des Straßenverkehrs denkbar. Photovoltaik wird für die dezentrale Erzeugung wirtschaftlicher, wenn die erzeugte Energie zeitlich variabel eingesetzt wird und zu hohen Anteilen den Eigenstrombedarf decken kann. Dezentrale Speicher im Netz gleichen eine fluktuierende Einspeisung von erneuerbaren Energien und fluktuierende Nachfrage von mobilen Verbrauchern bei Schnellladung aus. Durch günstige Speicher können Batterieelektrische Fahrzeuge attraktiver gestaltet werden – sowohl im Preis, als auch bzw. alternativ in der Reichweite und in mehr Komfort. Für die Strominfrastruktur bedeuten die verstärkte dezentrale Nachfrage und das dezentrale Angebot eingreifende Veränderungen. Insgesamt bergen viele smarte und ferngesteuert geregelte Nachfrager und Anbieter neue Risiken (vgl. Kapitel Kriminalität & Terrorismus). Sowohl Automobilindustrie als auch Energiewirtschaft würden durch einen Durchbruch bei Akkumulatoren stark beeinflusst.

### 3.5.3.4 Quantifizierungsmöglichkeiten der Wirkungen

Die Auswirkungen sind wie beschrieben sehr vielschichtig. In einigen Bereichen wäre eine Quantifizierung möglich, um Risiken besser einzuschätzen. Unter anderem könnten die witterungsabhängigen Anteile für Energieeinsatz im Verkehr für zukünftige batterieelektrisch betriebene Pkw und den Einfluss auf die witterungsbedingte Stromnachfrage abgeschätzt werden. Durch unterschiedliche Szenarien zu verschiedenen Ausbaupfaden von Fahr-

zeugen mit Elektroantrieb könnte die Auswirkung auf die resultierende Nachfragesteigerung beim Strom abgeschätzt werden.

### **3.5.3.5 Verbindungen und Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern**

Das Risikocluster zeigt Ähnlichkeiten und Verbindungen auf zu Risikocluster 5 „Entwicklung nicht-fossiler Technologien“, da sich die Konsequenzen bei einem Durchbruch im Bereich Wasserstofftechnologie ähneln würden. Zum Risikocluster 9 „Kriminalität & Terrorismus“ bestehen ebenfalls Querbezüge: ein schnellerer Ausbau smarterer Nachfrage im Netz kann zu zusätzlichen Angriffspunkten für Cyberterrorismus führen.

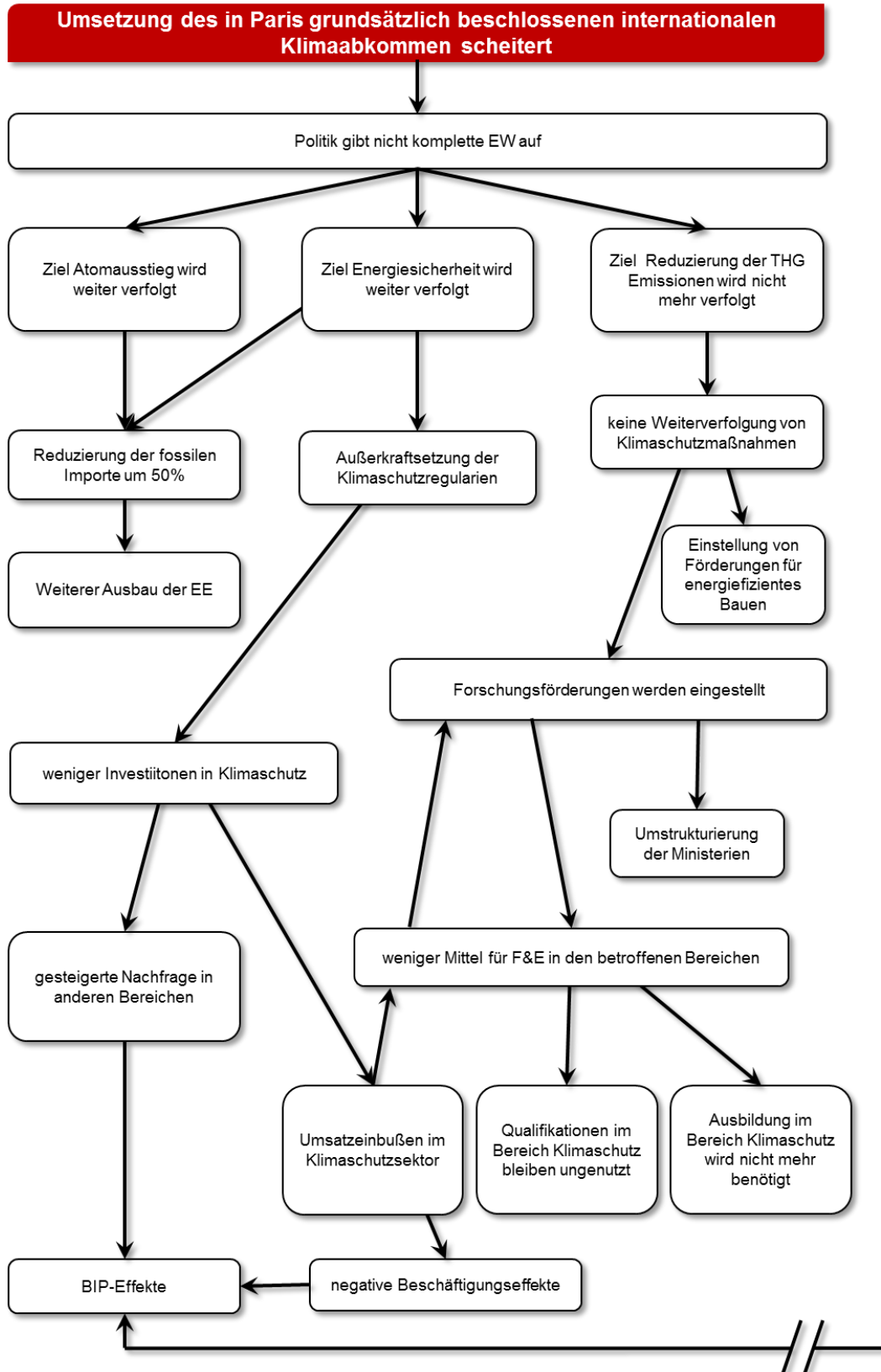
## 3.6 Internationales Klimaregime

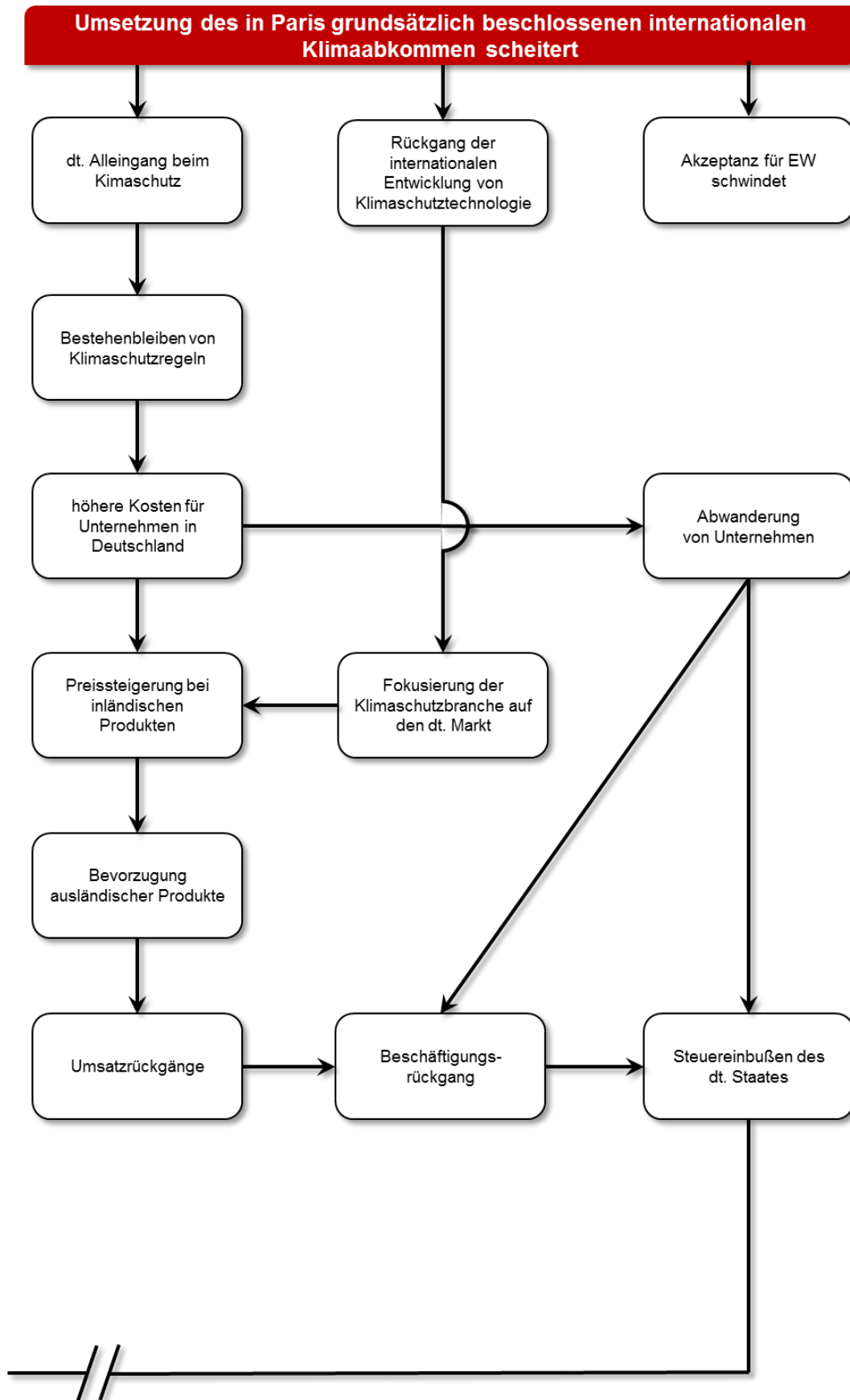
### 3.6.1 Steckbrief

<b>Risikocluster</b>	Kein globaler Klimaschutz zur Erreichung des Zwei-Grad-Ziels					
<b>Kurzbeschreibung</b>	Aufgrund mangelnder Bereitschaft zur Einigung scheitert die Umsetzung des Pariser Klimaabkommens mit Blick auf zusätzlichen Klimaschutz endgültig. Deutschland hat nun die Möglichkeit, sich entweder für einen Alleingang zu entscheiden und die Energiewende, wie gehabt, mit allen bekannten Maßnahmen durchzuführen (Pfad a) oder die Klimaschutzziele, nicht aber die komplette Energiewende (Atomausstieg & Erhöhung Energiesicherheit durch Unabhängigkeit von Importen) aufzugeben (Pfad b). Insgesamt wäre es schwierig, die Akzeptanz für die Energiewende in der Gesellschaft aufrecht zu erhalten. Darüber hinaus wäre in jedem Fall in der Branche, die die Klimaschutzgüter produziert, mit deutlichen Effekten zu rechnen, weil sie hohe Exportquoten aufweist.					
<b>Wirkungsdimensionen</b>						
Wirtschaft	Politik	Gesellschaft	Akzeptanz	Technologie	Rohstoffe	Infrastruktur
2,14	2,64	1,36	2,07	1,79	1,43	1,57
Skala von 0 bis 3 (kein Einfluss bis hoher Einfluss), Experteneinschätzung						
<b>Initialrisiko für Wirkungskette</b>	Die Umsetzung des in Paris grundsätzlich beschlossenen internationalen Klimaabkommen scheitert endgültig					
<b>Kurzbeschreibung Wirkungskette</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Internationale Regierungsvertreter können sich nicht auf Maßnahmen verständigen, mit denen das Zwei-Grad-Ziel erreicht werden kann</li> <li>▪ Dies zwingt Deutschland entweder zu Alleingang oder zur Fokussierung auf andere Bestandteile der Energiewende, wobei das Ziel der Minderung der THG-Emissionen nicht mehr verfolgt wird</li> </ul>					
<b>Auswirkungen</b>	<p>Ermittlung der gesamtwirtschaftlichen Effekte eines deutschen Alleingangs beim Klimaschutz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CO<sub>2</sub>-intensive Güter sind in Deutschland relativ teurer</li> <li>▪ Wettbewerbsnachteile für deutsche Unternehmen, insbesondere in CO<sub>2</sub>- und energieintensiven Branchen wie Metallherstellung und Chemische Industrie</li> <li>▪ Negative Effekte im Außenhandel und geringere Investitionen treiben die gesamtwirtschaftlichen Effekte</li> <li>▪ Negative Wirkungen auf BIP und Beschäftigung</li> </ul>					
<b>Weitere Beispiele für Initialrisiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Adaptionsanstrengungen v.a. in den Schwellenländern reduzieren die globalen Klimaschutzanstrengungen</li> <li>▪ ETS zerbricht und die EU spaltet sich zum Thema „Umgang mit Klimawandel / Kohleausbau in Ost-EU“</li> <li>▪ Staatengemeinschaft verzichtet auf zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen, weil Anpassung an den Klimawandel (Adaption) als günstiger/sinnvoller als die Einhaltung des 2°C Ziels erscheint</li> </ul>					
<b>Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risikocluster 1 „Prioritätenänderung in Politik &amp; Gesellschaft“: Der Klimaschutz und die Energiewende verlieren in Deutschland gesellschaftlich an Bedeutung. Gleichzeitig erfordern die neuen internationalen Rahmenbedingungen gegebenenfalls ein Umsteuern der Politik.</li> <li>▪ Risikocluster 13 „Folgekosten von Klimaschutztechnologien“: Mit den politischen Entscheidungen verbunden sind evtl. deutlich steigende Kosten der Energiewende für die deutsche Gesellschaft.</li> </ul>					

### 3.6.2 Wirkungskette

Abbildung 3-7: Wirkungskette Internationales Klimaregime







### 3.6.3 Beschreibung und Analyse

#### 3.6.3.1 Beschreibung des Initialrisikos

Die Bemühungen, ein internationales Klimaabkommen im Detail zu beschließen und umzusetzen, scheitern nach 2020 trotz der grundsätzlichen Einigung auf ein internationales Klimaschutzabkommen in Paris im Dezember 2015. Hierfür verantwortlich sind vor allem die Regierungen zahlreicher Länder, die einen trade-off zwischen wirtschaftlicher Entwicklung und verstärkten Klimaschutzanstrengungen befürchten und das von Klimaschäden ausgehende Risiko als gering einstufen. Es ist zu erwarten, dass ein solches Scheitern eher schleichend eintritt und mit Zeitverzögerung wahrgenommen wird. Auch die Wirkungen eines klimapolitischen Alleingangs treten zumindest teilweise zeitverzögert auf, z.B. in Form schleichender Produktionsverlagerung bei ausbleibenden Investitionen im Inland. Der Zeithorizont des Initialrisikos ist damit mittelfristig.

#### 3.6.3.2 Wirkungen des Initialrisikos

Angesichts der gescheiterten Umsetzung eines internationalen Klimaregimes bieten sich Deutschland neben der Aufgabe der Energiewende zwei Alternativen, wie im Kontext der Energiewende weiter vorzugehen ist:

- Pfad a: Die Politik gibt zwar die Klimaschutzziele auf, nicht aber die komplette Energiewende.
- Pfad b: Die Politik entscheidet sich für einen Alleingang Deutschlands und führt die Energiewende unter Beibehaltung aller Ziele durch.

##### **Pfad a:**

##### **Aufgabe der Klimaschutzziele, aber Beibehaltung anderer Ziele der Energiewende: Atomausstieg und Erhöhung der Versorgungssicherheit**

Entscheidet die Politik sich für den Pfad a, bedeutet dies, dass die Zielarchitektur der Energiewende neu formuliert wird. Die Ziele zum Atomausstieg und zur Erhöhung der Versorgungssicherheit bleiben erhalten, was bedeutet, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien (EE) zumindest im Strombereich vorangetrieben wird. Gleichzeitig fallen Maßnahmen zur Minderung der THG-Emissionen, wie bspw. im Bereich der Energieeffizienz, weg. Möglicherweise wird nicht gänzlich auf die Förderung von Effizienzmaßnahmen verzichtet, sondern solche ergriffen, die sich auch einzelwirtschaftlich oder zumindest längerfristig gesamtwirtschaftlich rechnen. Diese Fälle werden im Rahmen dieser Wirkungskette allerdings nicht weiter betrachtet, da eine Auflistung weiterer Abstufungen nicht zielführend wäre. Da davon ausgegangen wird, dass das THG-Minderungsziel wegfällt, müssen neue Unterziele

festgelegt und Maßnahmen wie der EU-Emissionshandel durch alternative nationale Maßnahmen z.B. zur Erhöhung der Versorgungssicherheit ersetzt werden.

### **Änderung politischer Rahmenbedingungen**

Ein neues nationales Unterziel könnte als Alternative zu einem fixen CO<sub>2</sub>-Minderungswert bis zum Jahr 2050 lauten, dass bis zum Jahr 2050 die Gas-, Öl- und Steinkohleimporte durch den Einsatz von EE um 50% reduziert werden. Die Politik verfolgt somit nach wie vor den Ausbau der EE, allerdings mit einem geänderten Zielkorridor. Hintergrund ist, dass der Atomausstieg eine alternative Stromerzeugung erfordert, eine verstärkte Hinwendung zu fossilen Energieträgern allerdings die Abhängigkeit von Importen erhöht und dementsprechend dem Ziel der Erhöhung der Versorgungssicherheit entgegensteht.

Weiterhin resultiert aus dem Bedeutungsverlust des Klimaschutzziels die Einstellung staatlicher Förderungen bspw. von Energieeffizienzmaßnahmen. Gleichzeitig werden bisher geltende Verordnungen und Richtlinien zum Klimaschutz außer Kraft gesetzt.

### **Wirtschaftliche Folgen**

Auf Seiten der Unternehmen und der privaten Haushalte werden aufgrund fehlender staatlicher Förderungen und Vorgaben im Rahmen von Verordnungen etc. insgesamt weniger Investitionen in den Klimaschutz getätigt als bei international ambitioniertem Vorgehen. Die Exporte der Klimaschutzbranche werden deutlich weniger steigen als bei ambitioniertem internationalen Klimaschutz, vielleicht sogar sinken. Dies führt auf der einen Seite zu direkten Umsatzeinbußen bzw. geringeren Umsatzsteigerungen in Unternehmen, die Klimaschutzgüter herstellen und/oder die zur Umsetzung der Energieeffizienzmaßnahmen beitragen (z.B. der Bausektor) sowie entlang der gesamten Wertschöpfungsketten. Diese Entwicklung löst direkt negative Beschäftigungseffekte aus. Auf der anderen Seite werden finanzielle Mittel, die zur Investition in Klimaschutzmaßnahmen vorgesehen waren, nicht hierfür genutzt, so dass die Nachfrage nach bzw. der Konsum von anderen Gütern und/oder Dienstleistungen womöglich steigt. Letztlich werden auch Effekte auf das Bruttoinlandsprodukt beobachtbar sein, die von den Umsatzeinbußen bzw. den geringeren Umsatzsteigerungen in der Klimawirtschaft und in den hiermit verbundenen Wirtschaftsbereichen abhängen, aber auch davon beeinflusst werden, inwieweit frei gewordene finanzielle Mittel anderweitig investiert werden. Sowohl die unternehmerischen Umsatzeinbußen als auch die Einstellung der finanziellen Förderung seitens der Politik werden darüber hinaus dazu führen, dass weniger staatliche und private finanzielle Mittel für Forschung und Entwicklung in den betroffenen Bereichen vorhanden sein werden. Die Qualifikation ausgebildeter Arbeitskräfte im Bereich Klima-

schutz/Klimaschutzgüter wird weniger nachgefragt und die Ausbildung (Hochschule, Berufsausbildung) von qualifiziertem Personal wird in geringerem Umfang benötigt. Dies bedeutet, dass viele Beschäftigte, Studierende und Auszubildende gezwungen sein werden, sich beruflich umzuorientieren.

**Pfad b:****Deutscher Alleingang im Bereich Klimaschutz. Die Energiewende wird, wie gehabt, mit allen bekannten Zielen durchgeführt**

Bei Pfad b entscheidet sich die Politik für einen deutschen Alleingang im Bereich Klimaschutz und führt die Energiewende mit allen bekannten Zielen fort. Ähnlich könnte auch für einen Alleingang der EU argumentiert werden.

**Wirtschaftliche Folgen**

Unternehmen und Haushalte haben sich nach wie vor an Richtlinien und Verordnungen zu halten, was u.U. mit steigenden Ausgaben verbunden ist. Ausgleichsregelungen für energieintensive Unternehmen werden auf Dauer eingeschränkt. Da Unternehmen im Ausland nicht mit ähnlichen Kosten belastet werden, verschlechtert sich die internationale Wettbewerbsfähigkeit insbesondere für energie- bzw. emissionsintensiv in Deutschland produzierende Unternehmen. Produktionsverlagerungen ins Ausland sind die Folge. Gleichzeitig produzieren die in der Klimaschutzwirtschaft tätigen Unternehmen in erster Linie nur noch für den deutschen Markt. Ihre Exporte gehen zurück. Insgesamt sind die steigenden Kosten mit steigenden Preisen bei inländischen Produkten verbunden, wodurch ausländische Produkte aufgrund günstigerer Preise den deutschen Produkten vorgezogen werden. Dies hat Umsatzrückgänge bei den deutschen Unternehmen zur Folge, die wiederum zu einem Abbau der Beschäftigung führen können. Gleichzeitig wandern immer mehr deutsche Unternehmen ins Ausland ab, um den Richtlinien, Verordnungen und Klimaschutzzielen der deutschen Politik zu entgehen, was zu Arbeitsplatzverlusten und sinkenden Steuereinnahmen des deutschen Staates führt.

**Wirkung auf die Akzeptanz der Energiewende**

Generell führt das Scheitern eines internationalen Klimaregimes dazu, dass die Akzeptanz in der Gesellschaft für die Energiewende schwindet. Überdies ist zu erwarten, dass die (Weiter-) Entwicklung von Klimaschutztechnologien auf internationaler Ebene gebremst wird, da der Bedarf an diesen Technologien und die Bereitschaft in die Forschung zu investieren sinken.

**3.6.3.3 Betroffene Rahmenbedingungen**

Durch das Risikocluster sind insbesondere die politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen betroffen sowie die Akzep-

tanz der Energiewende in der Gesellschaft. Die deutsche Regierung muss sich umgehend mit geänderten internationalen Rahmenbedingungen zum Klimaschutz auseinandersetzen und sich konkret für eine Politikoption entscheiden. Insbesondere die Entwicklung der deutschen Klimaschutzwirtschaft (und ihrer vor- und nachgelagerten Stufen) hängt stark von den neu formulierten politischen Zielen ab, wobei eine unzureichende Umsetzung des Pariser Klimaschutzabkommens in jedem Fall die Klimaschutzwirtschaft hierzulande beeinträchtigen würde, weil sie hohe Exportquoten aufweist. Die mangelnde internationale Bereitschaft zum Klimaschutz würde die gesellschaftliche Akzeptanz der Energiewende deutlich reduzieren, insbesondere, wenn die Erreichung der politischen Ziele mit steigenden Kosten und negativen wirtschaftlichen Effekten verbunden ist.

#### **3.6.3.4 Quantifizierungsmöglichkeiten der Wirkungen**

Es könnte quantifiziert werden, welche Auswirkungen unterschiedliche CO<sub>2</sub>-Preise in Deutschland bzw. in Europa und in der Welt haben. In Abschnitt 3.6.4 wird die gesamtwirtschaftliche Wirkung eines deutschen Alleingangs in der Klimapolitik quantifiziert. Die Größenordnung der Effekte kann mit früheren Studien verglichen werden.

Die Wirkungen höherer globaler Nachfrage nach fossilen Energieträgern können grundsätzlich quantifiziert werden, ebenso wie die Wirkungen eines fehlenden internationalen Klimaschutzes auf die internationalen Energiepreise.

Quantifiziert werden könnten ebenfalls die Auswirkungen auf die Kostenentwicklung unterschiedlicher Technologien (CCS, EE, fossile Energieträger) und die damit verbundenen Wirkungen auf dem Strommarkt sowie folgende gesamtwirtschaftliche Effekte.

#### **3.6.3.5 Verbindungen und Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern**

Das Risikocluster 6 zeigt Verbindungen und Ähnlichkeiten zum Risikocluster 1 „Prioritätenänderung in Politik & Gesellschaft“. In beiden verlieren Klimaschutz und die Energiewende in Deutschland gesellschaftlich an Bedeutung. Gleichzeitig erfordern die neuen internationalen Rahmenbedingungen gegebenenfalls ein Umsteuern der Politik.

Auch das Risikocluster 12 „Folgekosten von Klimaschutztechnologien“ steht in Verbindung mit Risikocluster 6, da mit den politischen Entscheidungen evtl. deutlich steigende Kosten der Energiewende für die deutsche Gesellschaft verbunden sind.

### 3.6.4 Beispielhafte Quantifizierung des Risikoclusters

Die Quantifizierung betrachtet die Folgen eines deutschen Alleingangs in der Klimapolitik gemäß des oben skizzierten Pfad b (S. 72). In diesem wird die Energiewende als nationaler Alleingang mit allen bekannten Zielen weitergeführt. Damit ist keine Wertung über die Eintrittswahrscheinlichkeit verbunden. Ein solcher Alleingang ist mit der grundsätzlichen Einigung auf dem Pariser Klimagipfel im Dezember 2015 unwahrscheinlicher geworden.

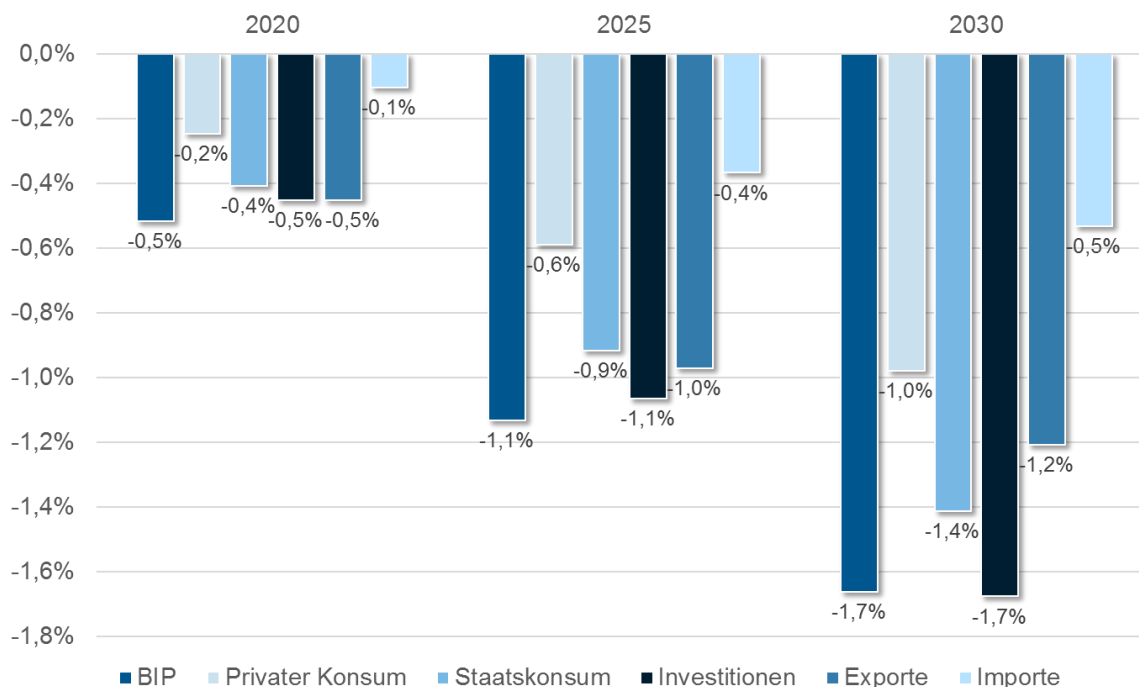
Es werden zwei Szenarien definiert und miteinander verglichen, die sich durch den CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreis in Deutschland unterscheiden. Im Szenario „kein globaler Klimaschutz“ wird angenommen, dass weltweit in dem Teil der Wirtschaft, der in der EU dem CO<sub>2</sub>-Zertifikatehandel unterliegt, kein Klimaschutz betrieben wird. Als Folge liegt der CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreis in allen Ländern bis zum Jahr 2030 bei null. Im Szenario „unilateraler Klimaschutz in Deutschland“ wird dagegen unterstellt, dass Deutschland für die dem Zertifikatehandel unterliegenden Anlagen einen nationalen CO<sub>2</sub>-Preis erhebt. Die Höhe des CO<sub>2</sub>-Preises folgt Annahmen in der Energieerferenzprognose (Prognos, EWI, GWS 2014). Im Jahr 2020 liegt der CO<sub>2</sub>-Preis bei 10 EUR<sub>2011</sub>/t und steigt bis zum Jahr 2030 auf 40 EUR<sub>2011</sub>/t CO<sub>2</sub>. Für die Strompreise wird angenommen, dass die Großhandelspreise und als Folge auch alle Verbraucherpreise dadurch im Jahr 2030 um 3 Ct/kWh höher liegen. Diese Differenz ist nicht Ergebnis umfangreicher Modellierungen mit einem Strommarktmodell, sondern auf Basis früherer Arbeiten grob abgeschätzt (Lutz, Wiebe, Wünsch 2010). Die Reduktion von Klimapolitik auf einen einheitlichen CO<sub>2</sub>-Preis stellt eine starke Vereinfachung dar, ist aber in entsprechenden internationalen Modellanalysen die Regel.

Zur Quantifizierung der gesamtwirtschaftlichen Effekte eines deutschen Alleingangs in der Klimapolitik wird das Modell GINFORS-E (Global INterindustry FORecasting System - Energy) eingesetzt (GWS, Ecofys, Fraunhofer ISI 2015, Lutz, Wiebe 2012, Wiebe, Lutz 2016), das Länder und Sektoren detailliert abbildet. Es ist ein bilaterales Welthandelsmodell, das auf Basis abgestimmter Daten der OECD für 25 Warengruppen sowie Dienstleistungen konsistent und geschlossen die Exporte und Importe von 62 Ländern und eine Region „Rest of World“ abbildet. Die Importanteile (bezogen auf Exportländer) werden für die größten Tausend Handelsströme in GINFORS-E in Abhängigkeit eines Zeittrends und den relativen Preisen (durchschnittlicher sektoraler Importpreis im Verhältnis zum sektoralen Exportpreis) ökonometrisch geschätzt. Das Modell ermöglicht in tiefer sektoraler und nationaler Gliederung eine Analyse der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen unterschiedlicher CO<sub>2</sub>- und Energiepreisentwicklungen in einzelnen Ländern, im Folgenden in Deutschland.

Höhere CO<sub>2</sub>-Preise führen unmittelbar zu höheren Kosten für die betroffenen Unternehmen. Je nach Wettbewerbssituation werden sie diese Kosten auf ihre Preise aufschlagen und/oder niedrigere Gewinne erzielen. Auf dem Strommarkt müssen die Produzenten fossiler Kraftwerken einen zusätzlichen Preis pro t/CO<sub>2</sub> bezahlen. Dadurch steigen die Beschaffungskosten für alle Stromverbraucher.

Die höheren Produktionskosten für deutsche Unternehmen im Fall des Alleingangs führen zu Wettbewerbsnachteilen insbesondere für energie- bzw. CO<sub>2</sub>-intensive Unternehmen. Die Exporte in den entsprechenden Branchen gehen zurück, während die Importe ansteigen. Außerdem sinken die Investitionen der Unternehmen deutlich, weil sich Verlagerungen der Produktion ins Ausland lohnen. Dieser Investitionseffekte ist prozentual längerfristig sogar etwas stärker als der Exporteffekt und trägt dazu bei, dass auch der Konsum der privaten Haushalte und des Staates zurückgehen, weil die verfügbaren Einkommen niedriger sind als in der Referenz.

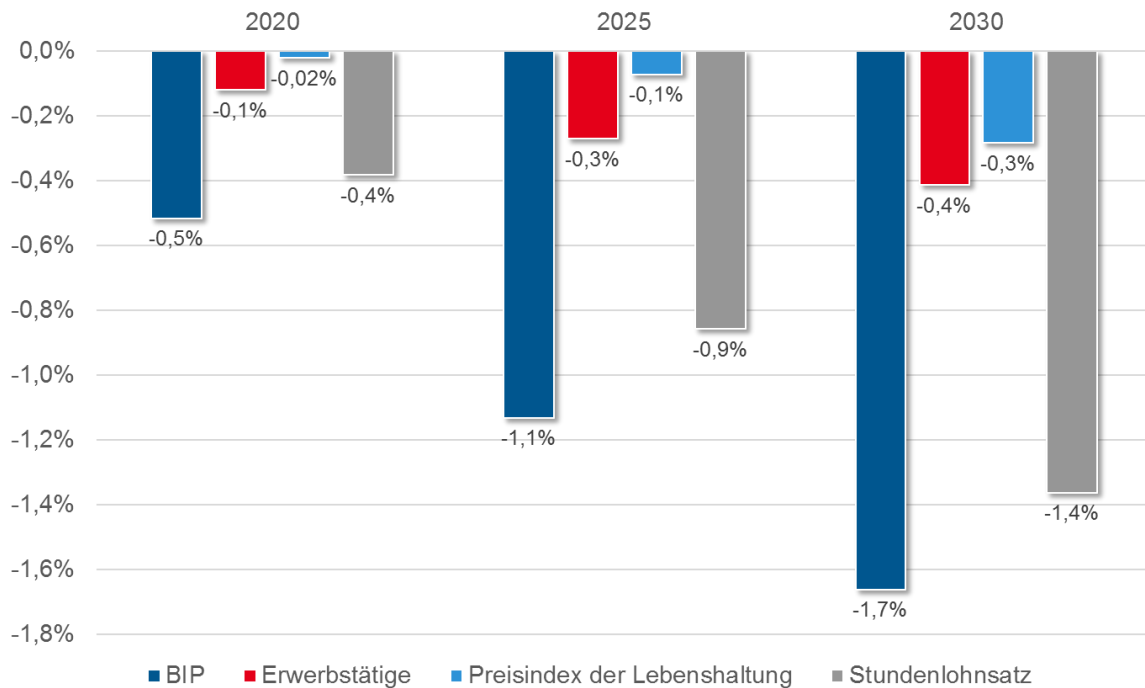
Abbildung 3-8: Auswirkungen eines deutschen Alleingangs beim Klimaschutz auf BIP und Komponenten im Vergleich zu einer Referenz ohne internationalen Klimaschutz



Die nachfolgende Abbildung zeigt, dass sich ein niedrigeres BIP nicht eins zu eins auf die Beschäftigungsentwicklung überträgt. Die Beschäftigung liegt im Jahr 2030 um 0,4% niedriger als in der Referenz. Lohnzurückhaltung in Form niedrigerer durchschnittlicher Stundenlöhne, die im Jahr 2030 um 1,35% geringer sind als in der

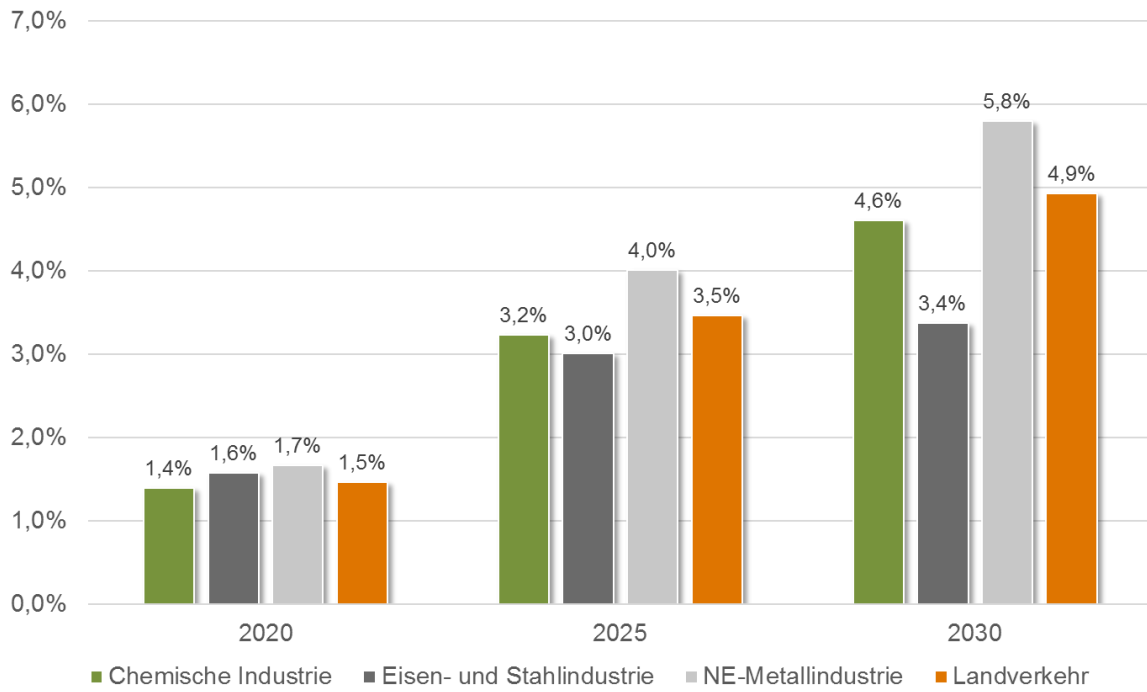
Referenz, führt dazu, dass die Erwerbstätigen einen Teil der geringeren erwirtschafteten Lohnsumme tragen.

Abbildung 3-9: Volkswirtschaftliche Auswirkungen eines deutschen Alleingangs beim Klimaschutz im Vergleich zu einer Referenz ohne internationalen Klimaschutz



Besonders betroffen von den höheren CO<sub>2</sub>- und Stromkosten sind die Chemische Industrie, die Eisen- und Stahlindustrie, die NE-Metallindustrie und der Landverkehr. Während der Landverkehr diese Kosten weitgehend an die Verbraucher weitergeben kann und das Verlagerungspotenzial ins Ausland begrenzt ist, schränken die Chemische Industrie und die metallherzeugende Industrie ihre Produktion deutlich ein.

Abbildung 3-10: Preissteigerungen eines deutschen Alleingangs beim Klimaschutz in ausgewählten Wirtschaftsbereichen im Vergleich zu einer Referenz ohne internationalen Klimaschutz





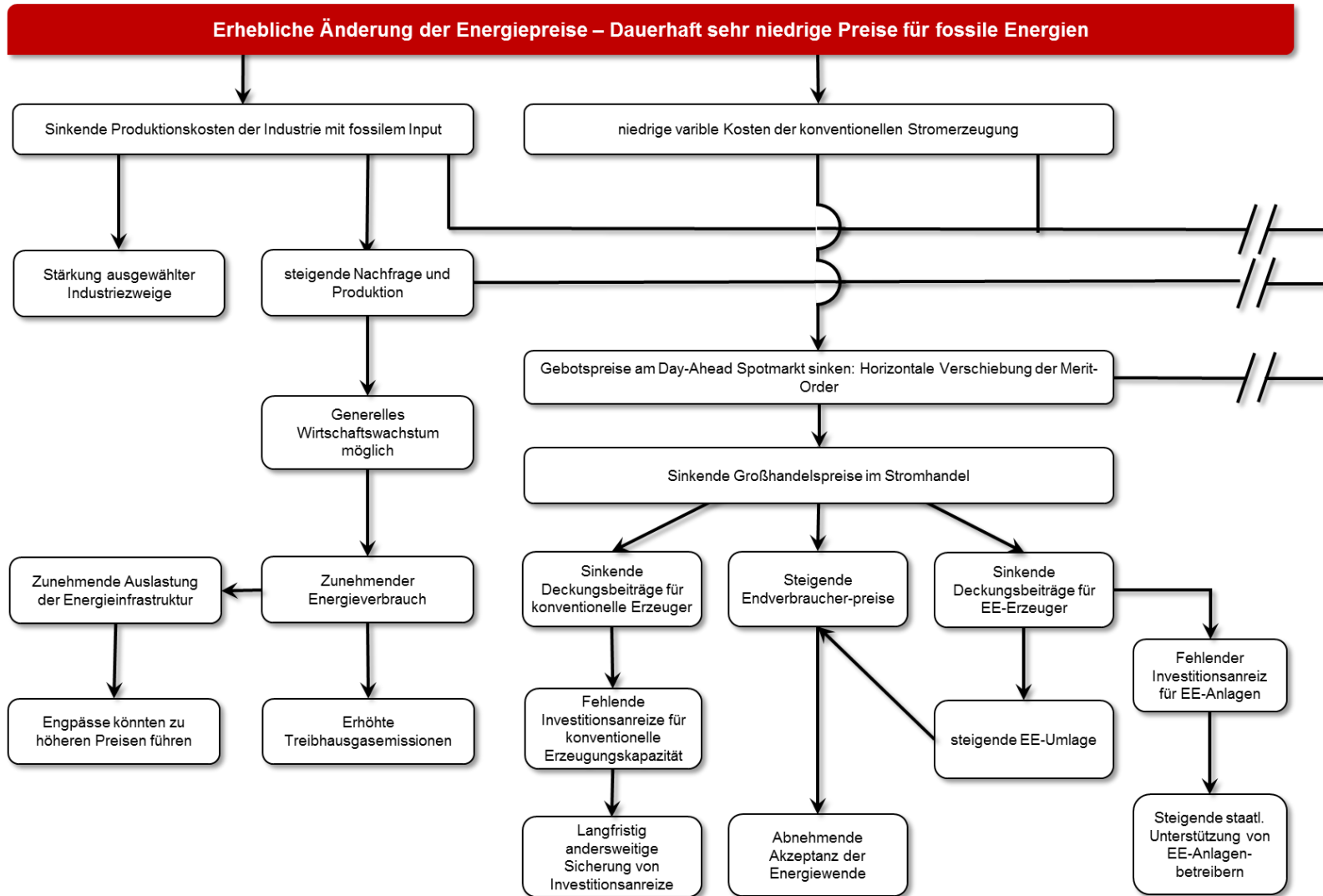
## 3.7 Änderung der Energiepreise

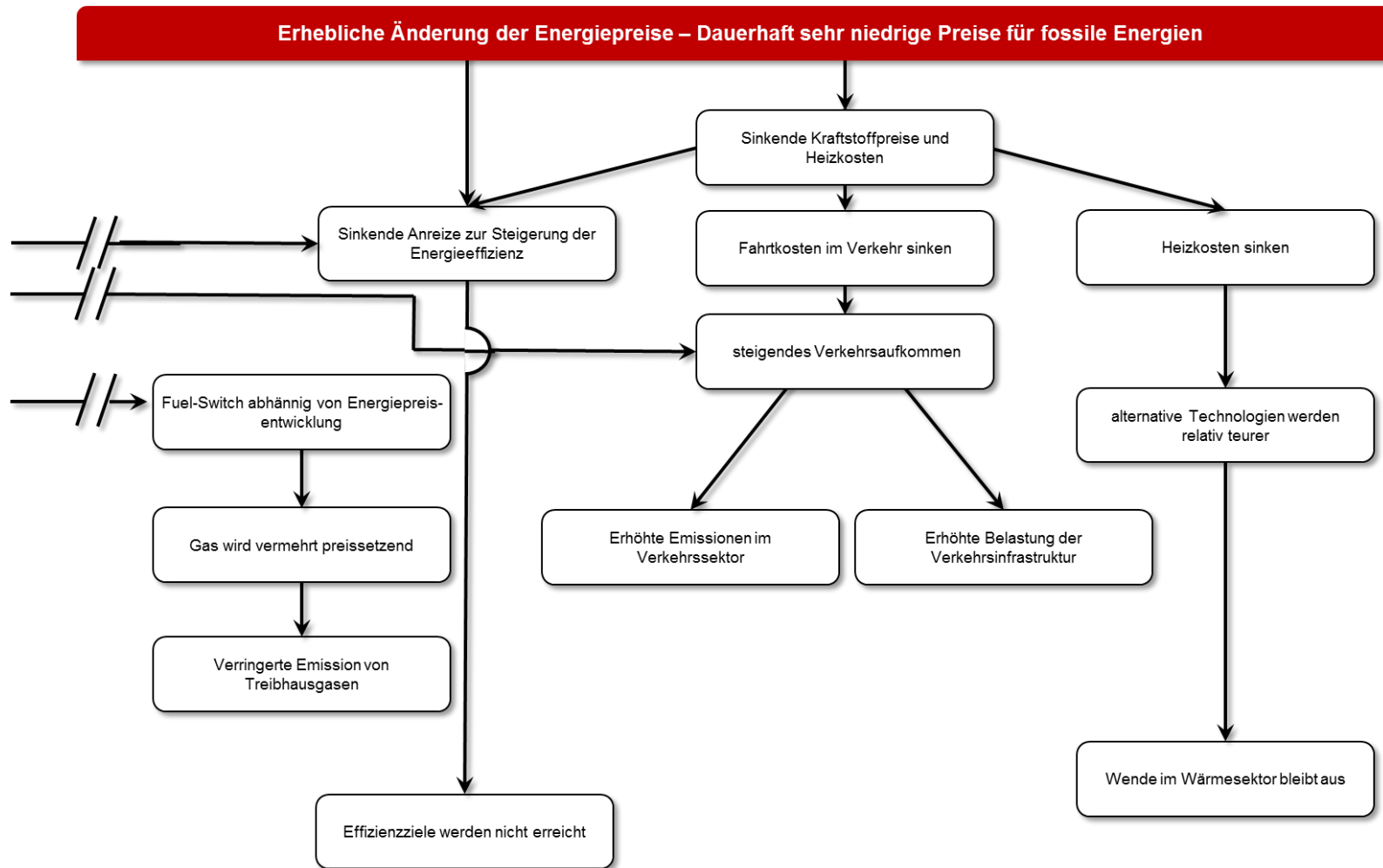
### 3.7.1 Steckbrief

<b>Risikocluster</b>	Änderung der Energiepreise					
<b>Kurzbeschreibung</b>	Preise für Primärenergieträger determinieren Preise an wettbewerblichen Stromhandelsmärkten und beeinflussen somit sowohl Kosten für Marktakteure und Endkunden auf Nachfrageseite als auch die Erlöse für Erzeuger der Angebotsseite. Sie sind eine wesentliche Einflussgröße für die zukünftige Entwicklung des Stromversorgungssystems und beeinflussen maßgeblich die Rahmenbedingungen der Energiewende. Eine Änderung der Primärenergiepreise bedingt so Veränderungen im gesamten Stromversorgungssystem. Weiterhin sind Primärenergiepreise für die Wärmeversorgung, für den Verkehr und die Industrie von Relevanz.					
<b>Wirkungsdimensionen</b>						
Wirtschaft	Politik	Gesellschaft	Akzeptanz	Technologie	Rohstoffe	Infrastruktur
2,64	2,14	1,93	2,57	1,71	1,93	1,29
Skala von 0 bis 3 (kein Einfluss bis hoher Einfluss), Experteneinschätzung						
<b>Initialrisiko für Wirkungskette</b>	Die (Weltmarkt-)Preise für fossile Primärenergieträger verharren aufgrund eines technischen Durchbruchs unerwartet auf sehr niedrigem Niveau.					
<b>Kurzbeschreibung Wirkungskette</b>	Über einen längeren Zeitraum sehr niedrige Primärenergiepreise führen zu deutlichen Effekten in den Bereichen Industrie, Energiewirtschaft und Verkehr. Signifikante Rückwirkungen auf die Rahmenbedingungen der Energiewende sind die Folge.					
<b>Auswirkungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Je nach Ausprägung der Änderung der Energiepreise kann es zu einem Fuelswitch zwischen Kohle und Gas kommen</li> <li>▪ Dauerhaft sehr niedrige Primärenergiepreise führen zu einem Anstieg der benötigten Fördergelder, um die Vollkosten der erneuerbaren Energien zu decken</li> <li>▪ Die Industrie setzt aus Wirtschaftlichkeitsgründen vermehrt auf fossile Energieträger. Auf Grund höherer Vermeidungskosten steigen CO<sub>2</sub>-Preise im EU-ETS tendenziell.</li> </ul>					
<b>Weitere Beispiele für Initialrisiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Frieden zwischen Iran und USA; Aufhebung eines Handelsembargos bei einem ressourcenreichen Land mit daraus resultierender Exportsteigerung und sinkenden Preisen für Primärenergieträger.</li> <li>▪ Auf Grund stark ansteigender Effizienz lässt eine reduzierte globale Nachfrage Primärenergiepreise dauerhaft sinken.</li> </ul>					
<b>Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risikocluster 1 „Prioritätenänderung in Politik &amp; Gesellschaft“: In der Folge extrem niedriger Primärenergiepreise potenziell ansteigende Endkundenpreise könnten Kostenaspekte der Energiewende für die Gesellschaft prioritär machen.</li> <li>▪ Risikocluster 8 „Finanzmittel für erneuerbare Energien“: Extrem niedriger fossiler Energiepreise erfordern steigende Subvention von EE-Erzeugern und könnten den Bedarf an Finanzmitteln für die Energiewende erhöhen.</li> <li>▪ Risikocluster 10 „Verfügbarkeit von Energierohstoffen“: Dauerhaft niedrige Energiepreise können aus neuen Möglichkeiten des Rohstoffzugangs resultieren</li> <li>▪ Risikocluster 12 „Stärkung fossiler Energietechnologien“: Dauerhaft niedrige Energiepreise stärken entsprechende fossile Energieträger, während andere geschwächt werden können; Lock-In-Effekte.</li> </ul>					

### 3.7.2 Wirkungskette

Abbildung 3-11: Wirkungskette Änderung der Energiepreise





### 3.7.3 Beschreibung und Analyse

#### 3.7.3.1 Beschreibung des Initialrisikos

Die Etablierung einer neuen günstigen Technologie zur Exploration fossiler Energien erleichtert den Rohstoffzugang wesentlich und ermöglicht die Verwertung bisher als nicht erschließbar geltender fossiler Rohstoffe. Es resultieren dauerhaft sehr niedrige Energiepreise für fossile Energieträger. Diese beeinflussen maßgeblich Angebot und Nachfrage auf den Energiemärkten aber auch die Industrie und den Verkehrssektor. Beispielsweise wirken sie im Strommarkt direkt auf resultierende Handelspreise und den Erzeugungsmix. Somit bestehen signifikante Wechselwirkungen zwischen Energieträgerpreisen und den Rahmenbedingungen der Energiemärkte, in die die erneuerbaren Energien sich zunehmend eingliedern. Die Umsetzung der Energiewende sollte somit die Interaktion mit den zu Grunde liegenden Energiepreisen berücksichtigen.

Die Wirkungsentfaltung nach Eintritt des Initialrisikos „Änderung der Energiepreise“ tritt vorwiegend kurzfristig ein. Die Dauer der Wirkungen des Initialrisikos auf die Energiewende sind ebenfalls größtenteils kurzfristig einzuordnen, da sich Energiepreise direkt in den Märkten niederschlagen, z.B. in Form von kurzfristig unerwartet hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen und veränderten Handelspreisen.

#### 3.7.3.2 Wirkungen des Initialrisikos

Die Auswirkungen von unerwartet dauerhaft sehr niedrigen fossilen Energiepreisen (Erdgas, Erdöl und Kohle) wären mannigfaltig und werden anhand ausgewählter Bereiche dargestellt, die von den Effekten des Initialrisikos maßgeblich beeinträchtigt würden.<sup>8</sup>

#### Industrie

Neben Auswirkungen auf Energiemärkte (s.u.), würden dauerhaft sehr niedrige Energieträgerpreise zu sinkenden Produktionskosten in Industriebetrieben führen, wenn deren Kosten maßgeblich durch fossile Primärenergieträger bestimmt werden. Hierzu gehören beispielsweise Bereiche der Stahlindustrie. Aufgrund der gesunkenen Produktionskosten wären als Folge des Wettbewerbs sinkende Endproduktpreise zu erwarten, die wiederum tendenziell ein Ansteigen der Nachfrage begünstigen würden, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Wettbewerbsfähigkeit neben Primärenergiepreisen noch von vielen weiteren Faktoren abhängt. Auf gesamtheitlicher Ebene könnte ein generelles Wirtschaftswachstum resultieren. Der hieraus resultierende zunehmende Energieverbrauch

---

<sup>8</sup> Perspektivisch wird der Zusammenhang zwischen Öl- und Gaspreisen geringer werden, da die Ölpreisindizierung von Gasverträgen ein Modell der Vergangenheit ist und die Preisbildung auf Gas-Hubs unabhängig vom Ölpreis stattfindet.

würde zu einem Anstieg der gesamten Treibhausgasemissionen führen und somit das Erreichen gesetzter Klimaziele erschweren. Gleichzeitig würde die gestiegene Energienachfrage zu einer zunehmenden Auslastung bestehender Energieinfrastruktur, beispielsweise von Gas-Pipelines, führen und gegebenenfalls resultierende Engpässe könnten zu steigenden Preisen führen.

## Verkehr und Wärmesektor

Dauerhaft sehr niedrige Preise für fossile Energien gehen einher mit niedrigen Kraftstoffpreisen. In der Folge wäre es teurer, den Verkehr zu dekarbonisieren, weil die kohlenstoffbasierten Technologien im Vergleich zu den Alternativen wettbewerbsfähiger werden. Man könnte spekulieren, dass es sogar zu einem steigenden Verkehrsaufkommen käme, da bei identischen Kraftstoffkosten eine größere Strecke gefahren werden könnte. Neben steigenden Treibhausgasemissionen bei gleichbleibenden Emissionsraten, stiege die Auslastung bestehender Infrastruktur. Zeitgleich würden sinkende Heizkosten mit Heizungsanlagen auf Basis fossiler Energieträger zu einer relativen Verteuerung alternativer Heiztechnologien führen. Die gewünschte Wende im Wärmesektor würde ausbleiben. Generell würden im Bereich Verkehr und im Wärmesektor die Anreize zu einer Steigerung der Energieeffizienz im Falle dauerhaft niedriger fossiler Energiepreise sinken.

## Energiemärkte

Neben den angeführten Bereichen, sind Energiepreise insbesondere auch im Strommarkt von zentraler Bedeutung. Bei gleichbleibenden CO<sub>2</sub>-Preisen weisen konventionelle Erzeuger proportional zu den jeweils zu Grunde liegenden Energieträgerpreisen sinkende variable Kosten der Erzeugung auf. Als direkte Folge dauerhaft sehr niedriger Energiepreise wäre in einigen Bereichen der Merit-Order ein Absinken der Gebotspreise am Day-Ahead Spotmarkt zu erwarten, die sich an den variablen Erzeugungskosten der Kraftwerke orientieren. In Abhängigkeit von der Stundenanzahl, in denen hiervon betroffene Kraftwerke preissetzend sind, würde tendenziell ein sinkendes Spotmarktpreisniveau resultieren. Dieses wiederum würde die Deckungsbeiträge für konventionelle Erzeuger und Anlagenbetreiber erneuerbarer Energien reduzieren. Eine direkte Folge wären sinkende Investitionsanreize, die langfristig zur Gewährleistung einer gesicherten Erzeugungsleistung anderweitig gewährleistet werden müssten. Je nach Ausprägung der Änderung der Energiepreise ist es möglich, dass es zu einem Fuelswitch zwischen Kohle und Gas kommt. Die Folge eines verstärkten Verstromung von Gas wären geringere Emissionen von Treibhausgasen. Im Bereich erneuerbarer Energien wären so zur Gewährleistung des Erreichens der Erneuerbaren-Energien-Ziele staatliche Subventionszahlungen oder eine Anhebung der EEG-Umlage notwendig. Bei Betrachtung der Endverbraucherpreise wäre der Preiseffekt tendenziell steigend, da der Effekt einer stei-

genden EEG-Umlage den sinkender Großhandelspreise überwiegen würde. Als direkte Folge wäre eine sinkende Akzeptanz der Energiewende denkbar, sofern diese mit einer steigenden Stromrechnung assoziiert wird.

Neben den direkten Folgen dauerhaft niedriger Energiepreise im Strommarkt, existieren denkbare Auswirkungen auf den Bereich Forschung und Entwicklung in Bezug auf Erzeuger und Marktakteure. So würde ein dauerhafter Energiepreiserückgang tendenziell zu sinkenden Anreizen führen, in Forschung und Entwicklung im Bereich Energieeffizienz zu investieren. Direkte Folge wären sinkende Fortschritte im Hinblick auf die generelle Energieeffizienz von Erzeugern.

### 3.7.3.3 Betroffene Rahmenbedingungen

Dauerhaft sehr niedrige fossile Energiepreise führen zu Veränderungen wichtiger Rahmenbedingungen der Energiewirtschaft, die sich insbesondere hinsichtlich jeweils betroffener Bereiche differenzieren lassen. Veränderte Preisstrukturen von Energieträgern beeinflussen den Rohstoffverbrauch und somit auch die Infrastruktur. Beispielsweise würde ein vermehrter Verbrauch von Gas zu einer steigenden Auslastung der bestehenden Gasinfrastruktur führen. Eine Stärkung ausgewählter Industriebetriebe hingegen würde direkt die Rahmenbedingungen für die Wirtschaft beeinträchtigen. Neben den angeführten Wirkungen würden dauerhaft sehr niedrige fossile Energiepreise, sofern sie zu steigenden Endkundenpreisen führen, die Gesellschaft und die Akzeptanz der Energiewende berühren und somit politische Reaktionen erforderlich machen. Würden Investitionsanreize in Energieeffizienz sinken, wären die technischen Rahmenbedingungen ebenfalls betroffen.

### 3.7.3.4 Quantifizierungsmöglichkeiten der Wirkungen

Zur Quantifizierung der Wirkungen dauerhaft sehr niedriger fossiler Energiepreise kann das ewi-Modell DIMENSION, ein europäisches Investitions- und Dispatch-Modell, genutzt werden, um die Entwicklung des europäischen Kraftwerksparks und entsprechende Stromerzeugung differenziert nach Energieträgern zu simulieren. Als quantitative Ergebnisse resultiert die Auswirkung dauerhaft sehr niedriger Energiepreise auf die deutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie auf das Investitionskalkül von Anlagenbetreibern erneuerbarer Energien. In diesem Zusammenhang sollen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auf Basis des Return on Investment für Anlagenbetreiber erneuerbarer Energien durchgeführt werden. Ableitbar sind hieraus resultierende Folgen für die EEG-Umlage zur Sicherstellung des geplanten Ausbaus an Erzeugern auf Basis erneuerbarer Energien.

### 3.7.3.5 Verbindungen und Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern

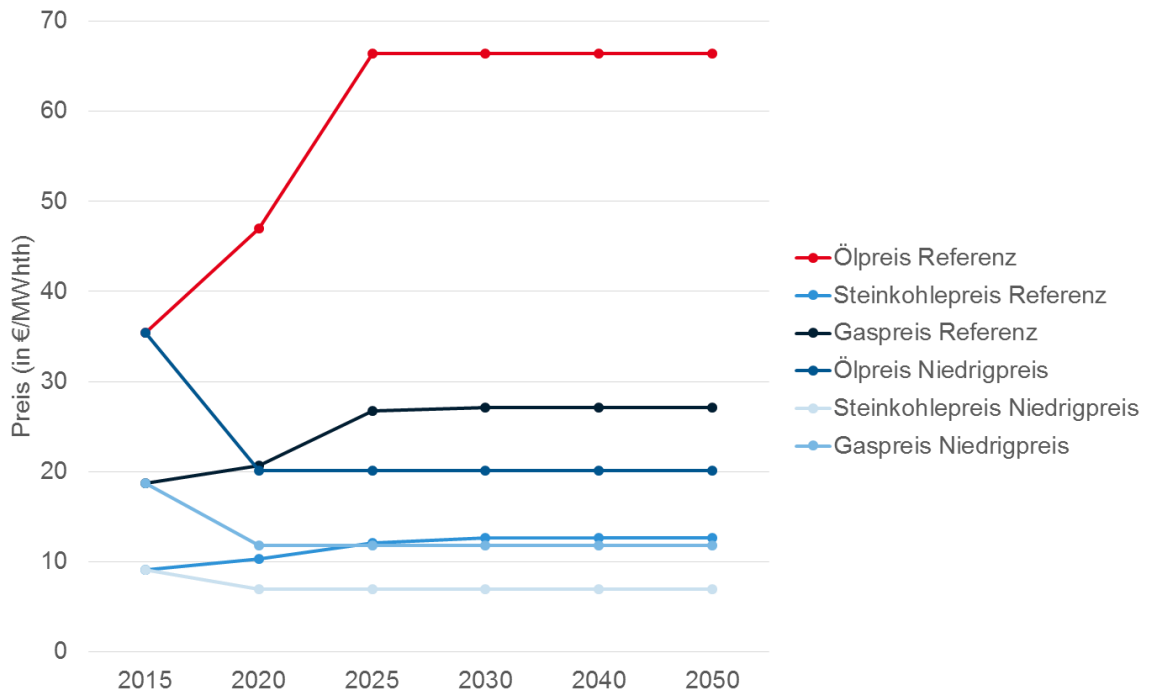
Das Risikocluster 7 „Änderung der Energiepreise“ weist Interdependenzen zu weiteren Risikoclustern auf. Augenscheinlich ist dies in Hinblick auf Risikocluster 1 „Prioritätenänderung in Politik & Gesellschaft“: Niedrige Energiepreise aber zugleich ansteigende Endkundenpreise können dazu führen, dass Kostengesichtspunkte in der gesellschaftlichen Wahrnehmung prioritär werden. Eine in der Folge extrem niedriger fossiler Energiepreise steigende Subvention von Erzeugern auf Basis erneuerbarer Energien könnte den Bedarf an Finanzmitteln für die Energiewende erhöhen, was in den Bereich von Risikocluster 8 „Finanzmittel für erneuerbare Energien“ fallen würde. Verbindungen zu Risikocluster 10 „Rohstoffzugang“ könnten insofern bestehen, dass dauerhaft niedrige Energiepreise aus neuen Möglichkeiten des Rohstoffzugangs resultieren könnten. Zuletzt wäre aus dauerhaft sehr niedrigen fossilen Energiepreisen eine Stärkung fossiler Energien zu erwarten, die Risikocluster 12 „Stärkung fossiler Energietechnologien“ tangiert.

### 3.7.4 Beispielhafte Quantifizierung des Risikoclusters

Im Rahmen von Risikocluster 7 werden exemplarisch die Auswirkungen dauerhaft sehr niedriger Energieträgerpreise analysiert. Im Detail werden insbesondere die Implikationen für das Stromversorgungssystem quantifiziert und vergleichend dargestellt.

Die Preise für konventionelle Energieträger befinden sich Anfang 2016 auf einem historischen Tiefstand. Zur Quantifizierung der Auswirkungen dauerhaft sehr niedriger Energiepreise wird neben einem „Referenzszenario“, das auf aktuell gehandelten Future-Preisen und Brennstoffpreisprognosen publizierter Studien (z.B. DECC Fossil Fuel Price Projections 2015) basiert, ein „Niedrigpreisszenario“ betrachtet. In diesem Szenario relativiert sich das „Low-Price“ Szenario aus den DECC Fossil Fuel Price Projections 2015 auch nach 2020 nicht wieder und die Primärenergieträgerpreise bleiben weiterhin konstant niedrig. Vor diesem Hintergrund skizziert Abbildung 3-12 vergleichend die angenommene Entwicklung der Brennstoffpreise für Gas, Steinkohle und Öl im Referenz- und Niedrigpreisszenario. Die zusätzlich exogen vorgegebenen CO<sub>2</sub>-Preise für die durchgeführten Simulationsrechnungen berücksichtigen Wechselwirkungen mit den zu Grunde liegenden Brennstoffpreisannahmen. Sie variieren folglich zwischen beiden Szenarien.

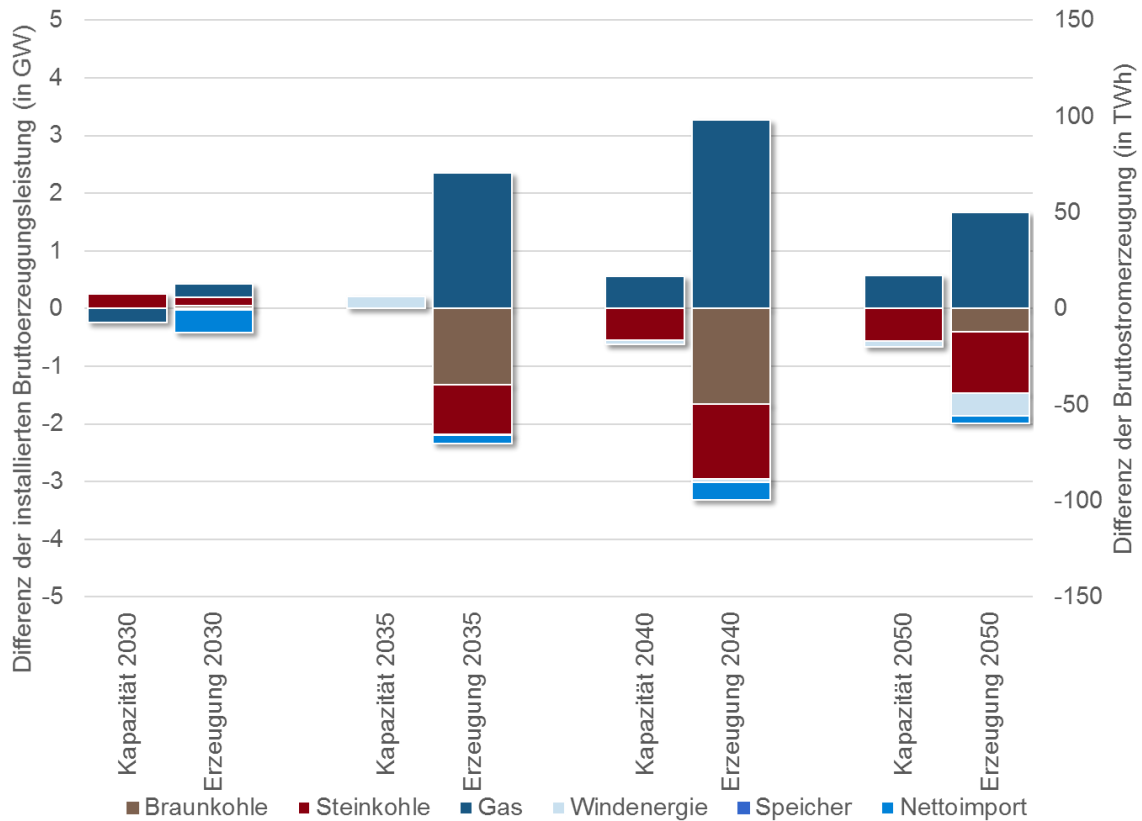
Abbildung 3-12: Brennstoffpreisannahmen in Referenz- und Niedrigpreisszenario



Die gravierenden Unterschiede der Brennstoffpreise haben Rückwirkungen auf den zeitlichen Verlauf der Erzeugungsstrukturen und die Kraftwerksparkentwicklung im Strommarkt. Die entsprechenden Ergebnisse einer Simulation der Entwicklung des Kraftwerksparks und resultierender Erzeugungsmengen sind in Abbildung 3-13 dargestellt. Abgebildet sind die Differenzen der Zielgrößen zwischen Niedrigpreis- und Referenzszenario für die Stichjahre 2030, 2035, 2040 und 2050. Beispielsweise zeigt sich im Niedrigpreisszenario in 2030 eine um 250 MW niedrigere installierte Gaskraftwerkskapazität.



Abbildung 3-13: Entwicklung des deutschen Kraftwerksparks und resultierender Erzeugungsmengen im Szenari-  
envergleich



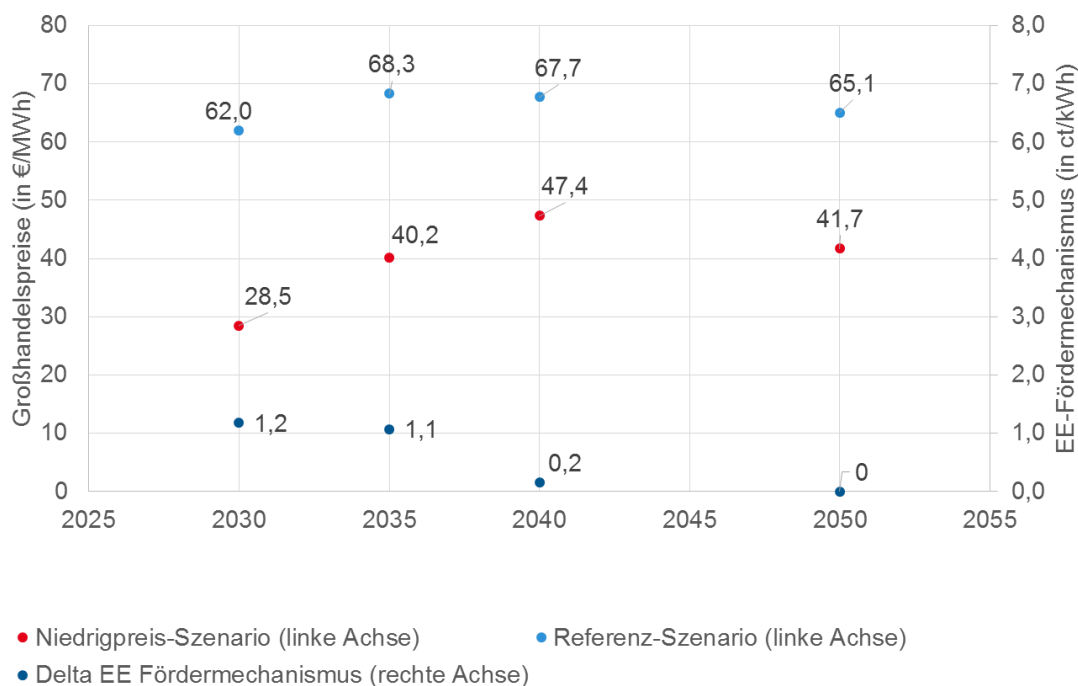
Generell wird deutlich, dass die durch die extrem niedrigen Energiepreise bedingte Szenariendifferenz der installierten Erzeugungsleistung in Deutschland in allen Jahren vergleichsweise gering ist. Eine Betrachtung der absoluten Entwicklung der Erzeugungskapazitäten im Referenzszenario zeigt, dass weiterer Zubau an Kapazität im Zeitverlauf im Wesentlichen auf EE-Erzeugungsanlagen und Gaskraftwerke entfällt. Die in Abbildung 3-12 erläuterten Brennstoffpreisannahmen im Niedrigpreisszenario bedingen, dass Gas relativ gesehen gegenüber den anderen konventionellen Primärenergieträgern zusätzlich besser gestellt wird. Im Zusammenspiel mit den hinterlegten CO<sub>2</sub>-Preisen sind die Änderungen der Kraftwerksparkentwicklung zwischen Niedrigpreisszenario und Referenzszenario lediglich marginal. Signifikant hingegen sind die Auswirkungen auf die Erzeugungsmengen. Aufgrund der zu Grunde liegenden CO<sub>2</sub>-Preisentwicklung und der sehr niedrigen Gaspreise findet ein Fuelswitch statt. Gas substituiert zunehmend Stromerzeugung in Stein- und ab 2035 sogar auch in Braunkohlekraftwerken. Ein leichter Rückgang der Stromexporte ist im Niedrigpreisszenario ebenfalls identifizierbar.

Im Szenarienvergleich lassen sich keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich der installierten EE-Kapazitäten und resultierender Erzeugungsmengen feststellen. Dies ist insbesondere auf die nati-

onalen EE-Ziele zurückzuführen. Im Rahmen der Modellrechnungen wird der EE-Ausbau abweichend von einer endogenen Modellierung anhand politischer Ziele implementiert. Zusätzliche Fördermechanismen werden somit implizit abgebildet und entsprechend notwendige Fördersummen können ex-post quantifiziert werden.

Im Detail werden vor diesem Hintergrund die Erlösstrukturen von Betreibern der EE-Erzeugungsanlagen vergleichend analysiert und quantifiziert. Nach heutigem Stand sind EE-Erzeugungsanlagen in Deutschland nicht in der Lage, ihre Vollkosten durch eine reine Vermarktung im Großhandel zu refinanzieren. Um die von der Bundesregierung vorgesehenen Ausbauziele trotzdem zu erreichen, werden Fördergelder gezahlt. Die Höhe dieser Fördergelder ist hierbei neben den spezifischen Erzeugungsmengen insbesondere von den im Großhandel erzielbaren Deckungsbeiträgen abhängig. Da für EE-Erzeugungsanlagen oftmals Grenzerzeugungskosten von Null angenommen werden, sind die Produzentenrenten im Großhandel wiederum direktes Resultat der entsprechenden Großhandelspreise. Grafisch sind diese Zusammenhänge in Abbildung 3-14 dargestellt.

Abbildung 3-14: Entwicklung der Großhandelspreise im Szenarienvergleich und resultierender zeitlicher Verlauf der Differenz eines notwendigen EE-Fördermechanismus



Deutlich ersichtlich ist, dass von 2030 bis 2050 ein Anstieg der Großhandelspreise für Strom in beiden Szenarien vorliegt. Auf-

grund der in beiden Szenarien konstanten Primärenergiepreise ab 2030 sind hierfür steigende CO<sub>2</sub>-Preise verantwortlich.

Neben der Entwicklung der Stromgroßhandelspreise im Referenz- sowie Niedrigpreisszenario ist die Differenz eines EE-Fördermechanismus zwischen Niedrigpreis- und Referenzszenario angeführt. Dieser Mechanismus bildet nicht die heutige EEG-Umlage ab. Vielmehr wird ein instrumentenneutraler Fördermechanismus modelliert, der eine reine annuitätische Vollkostendeckung der EE-Erzeugungsanlagen am Großhandelsmarkt bezweckt. Spezifische Kostengrößen werden anhand der gesamtdeutschen Stromnachfrage gebildet.

Die Abbildung veranschaulicht, dass der Subventionsbetrag im Niedrigpreisszenario generell höher ist als im Referenzszenario. Das abgebildete Delta des EE-Fördermechanismus ist somit positiv. Dies ist auf die niedrigeren Großhandelspreise im Niedrigpreisszenario zurückzuführen, die wiederum ein Absinken der Produzentenrenten bedingen. Wie bereits erläutert, sind die Stromgroßhandelspreise insbesondere Resultat der CO<sub>2</sub>-Preisentwicklung. Diese wiederum resultieren direkt aus europäischen Klima- und EE-Zielen. Eine wesentliche Erkenntnis ist, dass der jährliche Fehlbeitrag der EE-Erzeugungsanlagen zur Vollkostendeckung aufgrund der CO<sub>2</sub>-Preisentwicklung abnimmt. Gleichzeitig sinkt auch die Differenz des EE-Förderbeitrages zwischen den Szenarien im Zeitverlauf von 1,2 ct/kWh auf Null. Ursächlich hierfür ist eine Abnahme der Differenz der Großhandelspreise im Zeitverlauf. Abschließend ist festzuhalten, dass die Stromgroßhandelspreise in 2050 in beiden Szenarien eine Vollkostendeckung der EE-Erzeugungsanlagen in Deutschland und sogar Gesamteuropa ermöglichen. Zu Grunde gelegt wird hierbei ein kalkulatorischer Zinssatz von 10%.

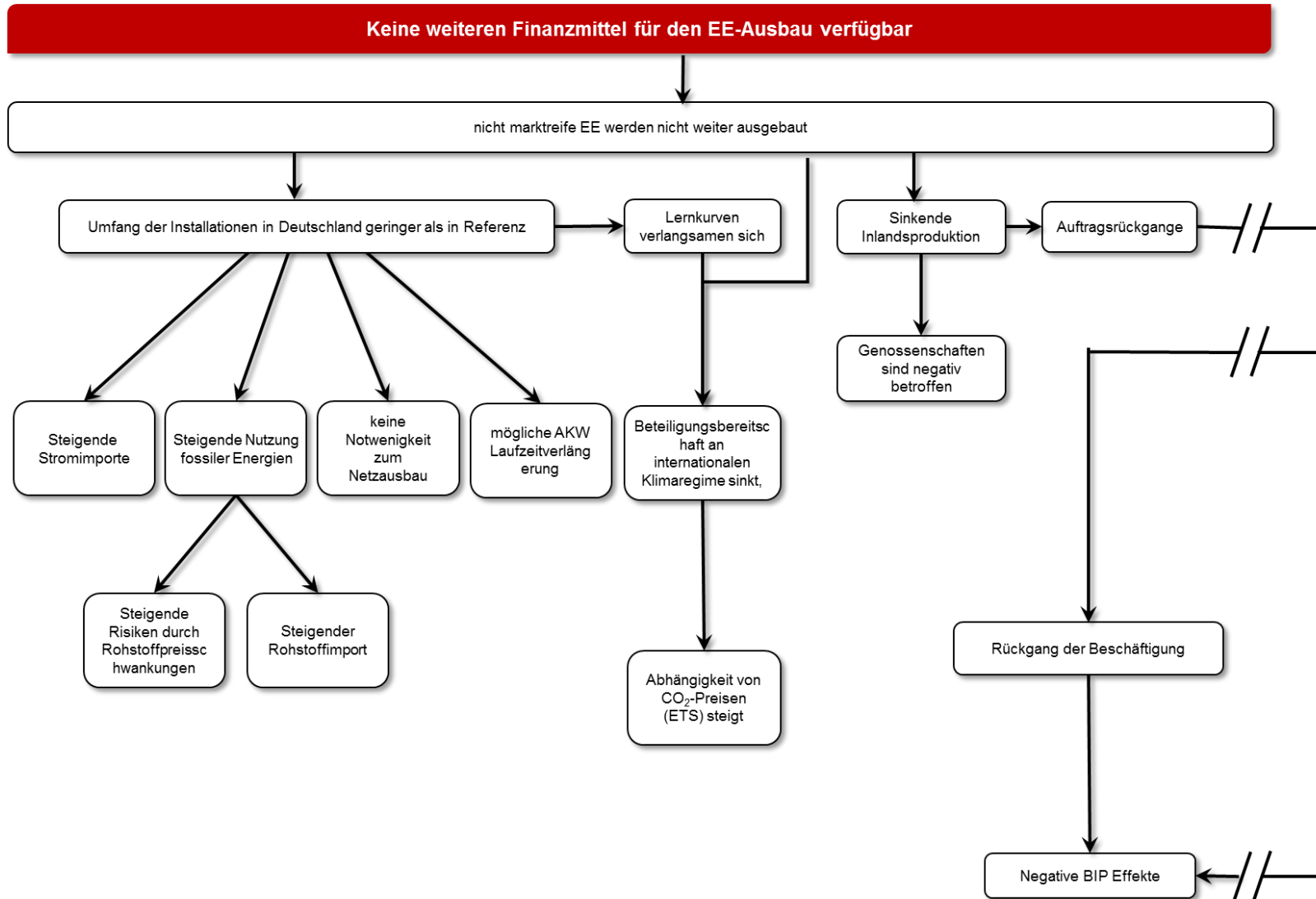
### 3.8 Finanzmittel für erneuerbare Energien

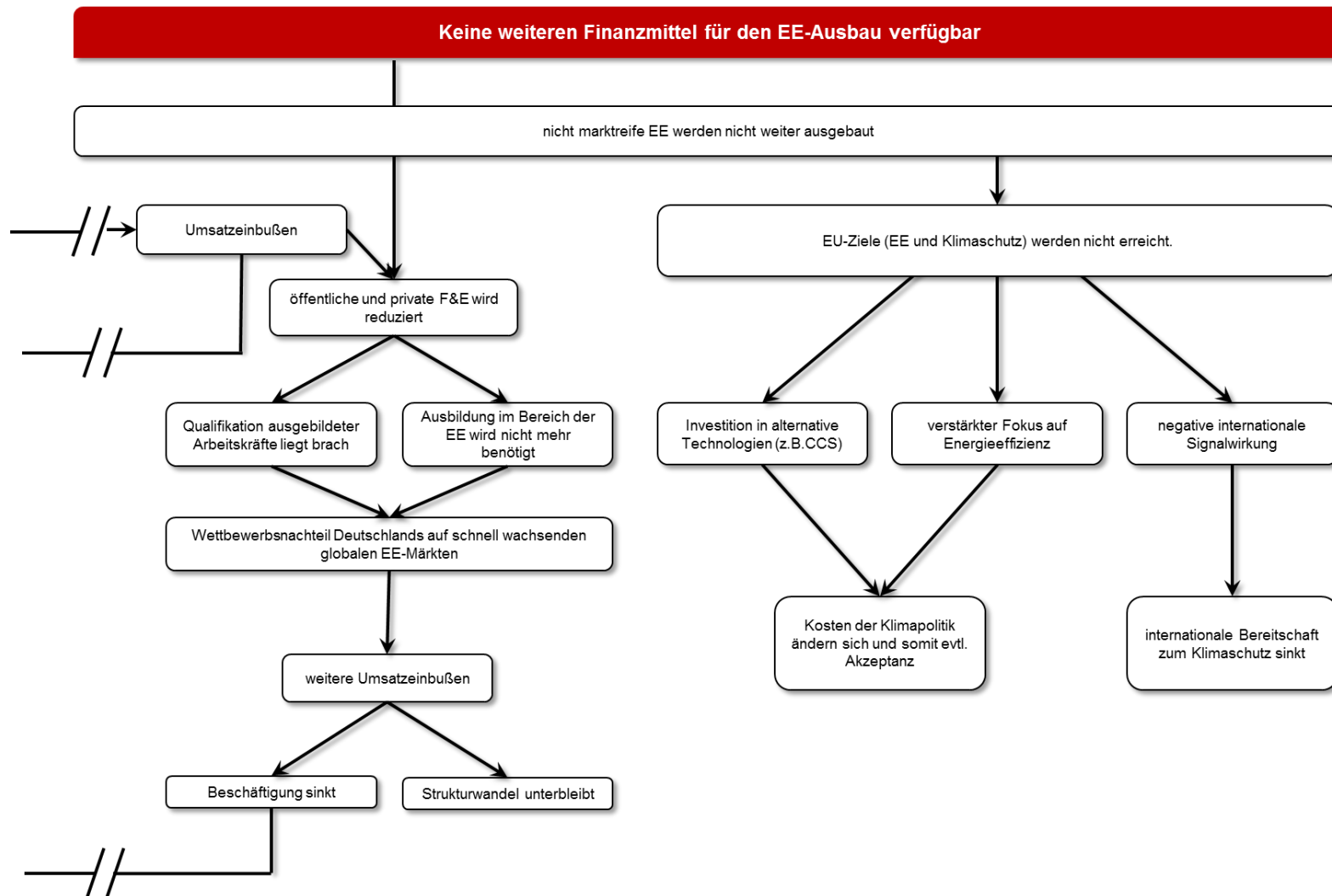
#### 3.8.1 Steckbrief

<b>Risikocluster</b>	Finanzmittel für erneuerbare Energien						
<b>Kurzbeschreibung</b>	Aufgrund mangelnder öffentlicher und privater finanzieller Mittel für den Ausbau der erneuerbaren Energien (EE) werden nicht marktreife EE nicht weiter ausgebaut. Dies hat für Deutschland zur Folge, dass der Umfang der neu installierten EE Anlagen geringer liegt als bei Beschluss des Atomausstiegs geplant, ebenso wie die heimische Produktion von EE Technologien. Im Angesicht des Atomausstiegs bis zum Jahr 2022 und der dadurch entstehenden Erzeugungslücke, die z.T. auch durch EE gefüllt werden sollte, entstehen negative Folgen für Deutschland bei einem Vergleich mit einer Situation in der der Ausbau der EE wie gehabt vorangetrieben wird.						
<b>Wirkungsdimensionen</b>							
Wirtschaft	Politik	Gesellschaft	Akzeptanz	Technologie	Rohstoffe	Infrastruktur	
1,86	1,71	1,00	1,57	2,14	1,07	1,43	
Skala von 0 bis 3 (kein Einfluss bis hoher Einfluss), Experteneinschätzung							
<b>Initialrisiko für Wirkungskette</b>	Es stehen in Deutschland keine weiteren finanziellen Mittel für den Ausbau der EE mehr bereit.						
<b>Kurzbeschreibung Wirkungskette</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mangelnde öffentliche und private finanzielle Mittel zur Förderung der EE führen dazu, dass nicht marktreife EE nicht weiter ausgebaut werden</li> <li>▪ Steigende Importe von Strom und Bedeutungsgewinn der fossilen Energieerzeugung.</li> <li>▪ Nationale Klimaschutzambitionen sinken aufgrund größerer Schwierigkeiten bei der Zielerreichung und internationale Klimaschutzambitionen aufgrund negativer internationaler Signalwirkung</li> </ul>						
<b>Auswirkungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ohne nationale EE-Fördergelder werden die EE-Ziele der Bundesregierung verfehlt</li> <li>▪ In der Folge führt dies in Deutschland zu einer erhöhten Stromerzeugung aus Steinkohle, zu erhöhten Strompreisen und sinkenden Nettoexportmengen</li> </ul>						
<b>Weitere Beispiele für Initialrisiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Finanzierungs- /Investitionsrationalität – es ergeben sich andere „bessere“ Anlageformen</li> </ul>						
<b>Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risikocluster 2 „Infrastrukturmangel“: Im Vergleich zum Referenzszenario müssen keine umfassenderen Netzausbauten mehr vorgenommen werden.</li> <li>▪ Risikocluster 6 „Internationales Klimaregime“: Aufgrund höherer Anstrengungen zur Erreichung der Klimaschutzziele verringert sich tendenziell die Bereitschaft in Deutschland, internationale Klimaschutzverträge fortzuführen/neu zu entwickeln. Die negative Signalwirkung aus Deutschland wirkt auch negativ auf die internationale Bereitschaft, Klimaschutz zu betreiben</li> <li>▪ Risikocluster 12 „Stärkung fossiler Energietechnologien“: Die Erzeugungslücke, die durch das Abschalten der letzten Atommeiler im Jahr 2022 entsteht, kann nicht mehr, wie geplant, z.T. von den EE gefüllt werden. Stattdessen ist die Bedeutung fossiler Erzeugungstechnologien höher als in der Referenz.</li> </ul>						

### 3.8.2 Wirkungskette

Abbildung 3-15: Wirkungskette Finanzmittel für erneuerbare Energien





### 3.8.3 Beschreibung und Analyse

#### 3.8.3.1 Beschreibung des Initialrisikos

Aufgrund unterschiedlicher Gründe, z.B. weil der Stellenwert der Energiewende im Vergleich zu anderen wichtigeren Themen sinkt oder aufgrund technischer Schwierigkeiten, stehen keine öffentlichen und deutlich weniger private Mittel zur Finanzierung des Ausbaus der EE zur Verfügung, so dass dieser massiv eingeschränkt wird. U.a. werden EE-Neuanlagen nicht mehr über das EEG gefördert. Nur noch marktreife EE werden weiter ausgebaut.

Das Initialrisiko unterscheidet sich für einzelne Technologien und Sektoren je nach Marktreife. Es kann über den gesamten Zeitraum der Energiewende in unterschiedlichen Teilen des Energiesystems auftreten. Generell kann ein zu früher Förderstopp Technologieentwicklung und die damit verbundene Industrieentwicklung abwürgen.

Es ist eine zeitliche Verzögerung zwischen fehlenden Fördermitteln, gesetzlichen Regelungen und den Wirkungen auf die Energiewende von zumindest einigen Jahren zu erwarten, sodass von einem kurz- (einige Jahre) bis vor allem mittelfristigen Zeithorizont auszugehen ist, nach dem das Initialrisiko auf die Energiewende wirkt.

#### 3.8.3.2 Wirkungen des Initialrisikos

Mittlerweile tragen die erneuerbaren Energien mit einem Anteil von über 30% zur Stromerzeugung in Deutschland bei. Wegen Überkapazitäten im Strommarkt und eher sinkender Nachfrage treten in den nächsten Jahren keine gravierenden Folgen für die Energiewende in Deutschland auf. Allerdings führt der Atomausstieg, der die Abschaltung des letzten Kernreaktors in Deutschland im Jahr 2022 vorsieht, dazu, dass eine Erzeugungslücke entsteht, die zum Teil durch den Ausbau der EE ausgefüllt werden soll, was im Falle fehlender finanzieller Mittel für den Ausbau der EE unterbleibt. In der folgenden Wirkungskette werden die Wirkungen erläutert, die das Ausbleiben des Zubaus bis zum Jahr 2022 im Vergleich zu einer Situation („Referenzszenario“) hätte, in der die EE, wie geplant, weiter gefördert werden.

Der Umfang von Neu-Installationen verringert sich deutlich, ebenfalls sinkt die Produktion von EE Anlagen und Technologien für Deutschland im Vergleich zur Referenz.

Im Vergleich zu einer Situation, in der der Ausbau der EE weiter vorangetrieben wird, wird der Umfang der Neu-Installationen in Deutschland bei Verknappung bzw. Wegfall der Finanzmittel für die EE stark sinken. Ab dem Jahr 2022 wäre eine Situation denkbar, in der die inländische Stromnachfrage das inländische

Stromangebot übersteigt und dazu führt, dass die Nettostromimporte wieder positiv werden und deutlich höher liegen als in der Referenz. Gleichzeitig kann die durch das Abschalten der letzten Kernreaktoren entstehende Erzeugungslücke nicht durch die EE gefüllt werden, so dass die Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern gegenüber der Referenz wieder an Bedeutung gewinnt. Diese Entwicklung wird Deutschland von zwei mit der Energiewende verbundenen Zielen im Vergleich zur Referenz weiter entfernen: Zum einen wird die Versorgungssicherheit in Deutschland tendenziell verringert, wenn vermehrt Steinkohle und Erdgas importiert werden, da Deutschland wieder stärker auf Energierohstoffe anderer Länder angewiesen ist. Zum anderen wird es deutlich schwieriger die Klimaschutzziele zu erreichen, da durch den wachsenden Anteil von fossilen Energietechnologien an der Energieerzeugung mehr CO<sub>2</sub> emittiert wird im Vergleich zu einer Situation, in der die Erzeugungslücke z.T. durch EE ausgefüllt wird.

Mit der starken Drosslung des EE Ausbaus liegt auch die Produktion von EE Anlagen und Technologien für Deutschland niedriger als in der Referenz.

### **Wirtschaftliche Folgen und Auswirkungen auf die Akzeptanz der Energiewende in Deutschland**

Wenn Deutschland im Vergleich zur Referenz stärker auf Energieträgerimporte angewiesen ist, führt dies dazu, dass Deutschland in höherem Maße Schwankungen der internationalen Energiepreise ausgesetzt ist. Dies birgt Risiken für die deutsche Wirtschaft, da sie anfälliger für internationale Preisschwankungen wird. Ein höherer Ausstoß an CO<sub>2</sub> durch die Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern führt darüber hinaus dazu, dass die Abhängigkeit von CO<sub>2</sub>-Preisen im Rahmen des ETS im Vergleich zur Referenz größer ist, da ein geringerer Anteil der Primärenergieerzeugung in Deutschland CO<sub>2</sub>-neutral gestaltet ist. Bei höheren CO<sub>2</sub>-Preisen wird Erdgas im Vergleich zu heimischer Braunkohle wirtschaftlicher, was die Abhängigkeit von Gasimporten, z.B. aus Russland zusätzlich verstärkt. Steigende CO<sub>2</sub>-Preise bedrohen, insbesondere im Fall eines Alleingangs, die Wettbewerbsfähigkeit energieintensiver Industrien.

Von einer geringeren Produktion im Vergleich zur Referenz sind Hersteller von EE-Anlagen/Technologien, Installateure und andere Unternehmer, die sich entlang der Wertschöpfungsketten befinden, besonders betroffen. Sie werden weniger Aufträge und demzufolge weniger Umsatz zu verzeichnen haben. Dies hat einerseits negative Auswirkungen auf die Beschäftigung entlang der Wertschöpfungskette und führt andererseits dazu, dass öffentliche und private Ausgaben im Bereich Forschung & Entwicklung der EE Technologien niedriger ausfallen bzw. in ihrer Ausrichtung geändert werden. Das in diesen Unternehmen bestehende Humankapital wird entwertet. Die Qualifikation bereits ausgebildeter Arbeits-



kräfte liegt teilweise brach und eine Ausbildung (Hochschule, Berufsausbildung) im Bereich der erneuerbaren Energien wird weniger mehr benötigt. Die Entwertung des Humankapitals führt zu einem Wettbewerbsnachteil Deutschlands im Vergleich zum Referenzszenario, so dass die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen auf den internationalen Märkten niedriger ausfällt. Dies hat weitere Umsatzeinbußen zufolge, was wiederum die Beschäftigung verringert und den Strukturwandel erschwert. Insgesamt verläuft das deutsche Bruttoinlandsprodukt auf einem niedrigeren Niveau als in der Referenz. Eine stärkere Exportorientierung, die in der Vergangenheit etwa in der PV-Branche bereits stattgefunden hat, könnte die beschriebenen Effekte teilweise ausgleichen. Der ortsgebundene Teil der Wertschöpfung fällt dagegen weitgehend weg.

Die Klimaschutzziele in Deutschland sind im Vergleich zur Referenz nur unter deutlich größeren Anstrengungen zu erreichen, was tendenziell die Bereitschaft zum Klimaschutz niedriger ausfallen lässt. So muss bspw. zur Erreichung der auf internationaler Ebene vereinbarten Klimaschutzziele stärker in alternative Technologien (z.B. CCS) investiert werden. Gleichzeitig wird seitens der Politik ein verstärkter Fokus auf die Energieeffizienz gelegt. Neue Gesetze und Verordnungen werden erlassen, die Unternehmen und private Haushalte dazu zwingen in deutlich stärkerem Maße im Vergleich zur Referenz in Klimaschutzgüter und Effizienzmaßnahmen zu investieren. Dies hat auf der einen Seite einen positiven Effekt auf die diese Güter herstellenden bzw. damit verbundenen Wirtschaftsbereiche. Auf der anderen Seite liegen die mit dem Klimaschutz verbundenen Kosten womöglich deutlich höher als in der Referenz. Diese Entwicklung in Verbindung mit der Einführung gesellschaftlich umstrittener Technologien, wie bspw. CCS, wird die Akzeptanz der Energiewende in Deutschland deutlich verringern.

## Sonstige Folgen

Der Umfang der Neu-Installationen auf einem geringeren Niveau als in der Referenz hat zur Folge, dass ein umfassender Netzausbau nicht mehr nötig ist. Stattdessen kommt es gegebenenfalls zu räumlichen Verlagerungen von Übertragungsnetzen, falls bspw. verstärkt Atomstrom aus Frankreich bezogen wird.

Letztlich bringt die Abkehr Deutschlands von den erneuerbaren Energien international eine negative Signalwirkung mit sich, was dazu führen kann, dass nicht nur die deutsche, sondern ebenfalls die internationale Bereitschaft zum Klimaschutz sinkt. Dies könnte gerade in einer Phase problematisch werden, in der die nationalen Beiträge zum internationalen Klimaschutz nach 2020 erhöht werden müssen.

Insgesamt könnte vor Erreichen des Jahres 2022 eine Laufzeitverlängerung der Kernkraftwerke wieder attraktiver erscheinen, um

trotz eines stockenden Ausbaus der EE die Klimaschutzziele zu erreichen.

### 3.8.3.3 Betroffene Rahmenbedingungen

Durch Eintritt des Risikoclusters wären insbesondere die technologischen, wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen der Energiewende betroffen. Eine Abkehr vom Ausbau der erneuerbaren Energien in Verbindung mit dem Atomausstieg würde in erster Linie dazu führen, dass stärker zu fossiler Energieerzeugung zurückgekehrt werden muss, um den Energiebedarf in Deutschland bei Wegfall der Atomenergie ohne einen Zubau von erneuerbaren Energien decken zu können. Gleichzeitig würde die Maßgabe zur Erreichung der Klimaschutzziele verstärkte Investitionen in alternative Technologien (CCS u.a.) erfordern. Der Rückgang der Investitionen in erneuerbaren Energien würde darüber hinaus dazu führen, dass Unternehmen, die direkt oder über die Wertschöpfungskette indirekt mit diesem Bereich verbunden sind, mit teilweise deutlich niedrigeren Umsätzen im Vergleich zur Referenz zu rechnen hätten. Diese Problematik würde sich sogar noch verstärken, da aufgrund der niedrigeren finanziellen Mittel Investitionen in die Forschung und Entwicklung von erneuerbaren Energie Technologien niedriger ausfallen würde und in der Folge die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Unternehmen auf den internationalen Märkten für diese Güter geringer wäre. Somit wären insbesondere auch negative Effekte auf das Bruttoinlandsprodukt im Vergleich zur Referenzsituation zu erwarten. Die Politik wäre gefordert, neue Alternativen zu suchen (z.B. alternative Technologien, Energieeffizienz etc.), um die EU-Klimaschutzziele trotz einer Abkehr des Zubaus von erneuerbaren Energien zu erreichen.

### 3.8.3.4 Quantifizierungsmöglichkeiten der Wirkungen

Quantifiziert werden könnten die Technologieentwicklung der EE sowie der Mix und die Kosten der Stromerzeugung. Wirtschaftliche Effekte in den EE-Industrien sind auch von der Entwicklung im Rest der Welt (und Annahmen dazu) abhängig.

### 3.8.3.5 Verbindungen und Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern

Das behandelte Risikocluster weist Verbindungen zu Risikocluster 2 „Infrastrukturmangel“ auf, da im Vergleich zum Referenzszenario keine umfassenderen Netzausbauten mehr vorgenommen werden müssen.

Ebenso bestehen inhaltliche Überschneidungen zu Risikocluster 6 „Internationales Klimaregime“. Aufgrund höherer Anstrengungen zur Erreichung der Klimaschutzziele verringert sich tendenziell die Bereitschaft in Deutschland, internationale Klimaschutzverträge fortzuführen/neu zu entwickeln. Die negative Signalwirkung aus Deutschland wirkt auch negativ auf die internationale Bereitschaft,

Klimaschutz zu betreiben. Damit würden auch hier weniger Finanzmittel für erneuerbare Energien bereit stehen.

Ähnlich stellt sich die Verbindung zu Risikocluster 12 „Stärkung fossiler Energietechnologien“ dar. Die Erzeugungslücke, die durch das Abschalten der letzten Kernkraftwerke im Jahr 2022 entsteht, würde nicht mehr, wie geplant, z.T. von den EE gefüllt werden. Stattdessen kommt den fossilen Erzeugungstechnologien eine höhere Bedeutung und im direkten Wettbewerb über das Kriterium „Wettbewerbsfähigkeit“ auch eine höhere Investitionsrate zu.

### 3.8.4 Beispielhafte Quantifizierung des Risikoclusters

Der Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland wird über Fördergelder subventioniert, da die Vollkosten der entsprechenden Erzeugungsanlagen meist nicht über am Markt erzielbare Deckungsbeiträge refinanziert werden können. Im Rahmen dieses Risikoclusters soll quantifiziert werden, welche Auswirkungen aus einem Wegfall öffentlicher und privater Mittel zur Finanzierung des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Strombereich in Deutschland resultieren würden. Zeitgleich sollen trotzdem die EE-Ziele auf gesamteuropäischer Ebene erreicht werden. Wahrscheinlichkeiten eines solchen Szenarios werden in diesem Zusammenhang nicht quantifiziert.

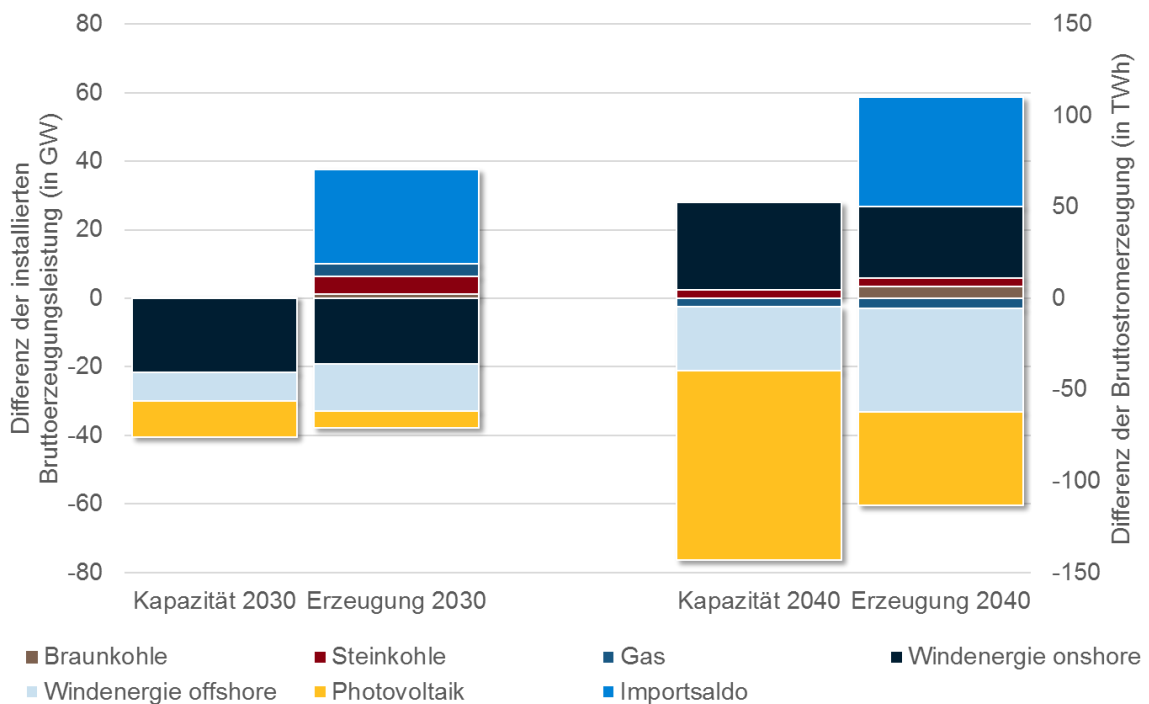
Abweichend von nationalen Ausbaupfaden resultiert aus einer Realisierung des Schwarzen Schwans eine Verschiebung des Ausbaus erneuerbarer Energien in Deutschland. Diese werden nun insbesondere dort zugebaut, wo EE-Erzeuger aufgrund der jeweils verfügbaren Flächenpotenziale und der regional erzielbaren Volllaststunden am wirtschaftlichsten sind. Zusätzlich sind die Entwicklung des Kraftwerksparks und Import- und Exportstrukturen im europäischen Strombinnenmarkt von Relevanz, wenn der EE-Ausbau mit dem Ziel minimaler Systemgesamtkosten allokiert wird.

Um diese Effekte quantitativ zu analysieren, wird ein „Referenzszenario“ mit einem „EE-Förderstopp-Szenario“ verglichen. Das Referenzszenario ist dadurch charakterisiert, dass neben gesamteuropäischen Ausbauzielen auch nationale Ausbaupfade in Anlehnung an den System Adequacy Forecast 2015 (ENTSO-E 2015) verfolgt werden. Im zweiten Szenario werden ab 2020 keine länderspezifischen Ausbaupfade mehr verfolgt, da eine entsprechende nationale Subvention von EE-Erzeugungsanlagen unterbleibt.

Der resultierende Minderausbau an EE-Erzeugungskapazitäten und einhergehende Implikationen für die Erzeugungsmengen in Deutschland in 2030 und 2040 sind in Abbildung 3-16 dargestellt. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die gesamte Erzeugungsmenge auf Basis erneuerbarer Energien in Deutschland im EE-Förderstopp-Szenario in 2030 um etwa 40 TWh und in 2040 um

etwa 70 TWh niedriger als im Referenzszenario ist. Aufgrund der regional erzielbaren Volllaststunden findet ein insgesamt niedrigerer Ausbau an EE-Erzeugungskapazitäten in Deutschland statt. Dieser kann stattdessen in anderen Ländern Europas mit günstigeren Bedingungen verortet werden. Dennoch ist es aus gesamt-europäischer Kostensicht und aufgrund europäischer EE-Ziele auch nach Ablauf der Lebensdauer von Bestandsanlagen kostenoptimal, EE-Erzeugungsanlagen in Deutschland zuzubauen. Hierbei wird jedoch aufgrund der Kostenstrukturen ein Zubau von Wind-Onshore-Erzeugungsanlagen als marktreife Technologie präferiert. Als Resultat ist im EE-Förderstopp-Szenario ohne länderspezifische Ausbaupfade die Erzeugungskapazität der Wind-Onshore-Anlagen in 2040 sogar höher als im Referenzszenario. In diesem wird nach lebensdauerbedingtem Rückbau der Bestandsanlagen auch erneut in deutsche PV-Anlagen investiert.<sup>9</sup> Die insgesamt in Deutschland installierte EE-Kapazität ist 2040 im EE-Förderstopp-Szenario um etwa 50 GW niedriger.

Abbildung 3-16: Entwicklung der Erzeugungskapazitäten und der Stromerzeugung in Deutschland im Szenarienvergleich



Für die Erzeugungsmengen ist festzustellen, dass die insgesamt niedrigere EE-Erzeugung im Wesentlichen einen Anstieg der Nettostromimporte zur Folge hat. In 2040 substituiert zudem die Erzeugung aus der gegenüber dem Referenzszenario zusätzlichen

<sup>9</sup> Die durchgeführten Modellrechnungen gehen von einer volkswirtschaftlichen Optimierung des Gesamtsystems aus und bilden beispielsweise explizit keine Steuern und Umlagen ab, wie sie für eine betriebswirtschaftliche Analyse einzelner Anlagen benötigt würden.

verfügbaren Wind-Onshore-Kapazität zum Teil die fehlende PV-Einspeisung. Zudem ist sowohl in 2030 als auch 2040 ein Anstieg der Steinkohlestromerzeugung im Vergleich zum Referenzszenario identifizierbar. Ein Anstieg der Stromerzeugung in Steinkohlekraftwerken ist möglich, da diese in beiden Szenarien nicht mit voller Verfügbarkeit einspeisen. Zudem sind sie in vielen Stunden als günstiger anzusehen als zusätzliche Stromimporte aus den deutschen Nachbarländern. Zuletzt ist eine leicht erhöhte Produktion in Gaskraftwerken beobachtbar. Insbesondere in Fällen hoher Residuallasten, in denen auch Steinkohlekraftwerke mit voller Verfügbarkeit einspeisen und Importe aus dem Umland aufgrund auch dort hoher Residuallasten teuer sind, speisen so zusätzlich Gaskraftwerke ein, um die deutsche Stromnachfrage zu bedienen.

Ein Vergleich der deutschen Stromerzeugungsmengen in einer exemplarischen Frühsommerwoche zeigt, dass die niedrigere Menge an EE-Erzeugungskapazitäten und der daraus resultierende Rückgang der EE-Erzeugungsmengen im Vergleich zum Referenzszenario seltener zu Nettostromexporten führt. Die wöchentliche Exportmenge der in Abbildung 3-17 dargestellten Erzeugungsmengen im Referenzszenario ist um den Faktor 7 größer als im EE-Förderstopp-Szenario in Abbildung 3-18. Generell führt die niedrigere Stromproduktion der EE-Erzeuger zu einem Verfehlen der EE-Ziele in den betrachteten Jahren um etwa 10%.

Abbildung 3-17: Erzeugungsmengen einer exemplarischen Frühsommerwoche im Referenzszenario

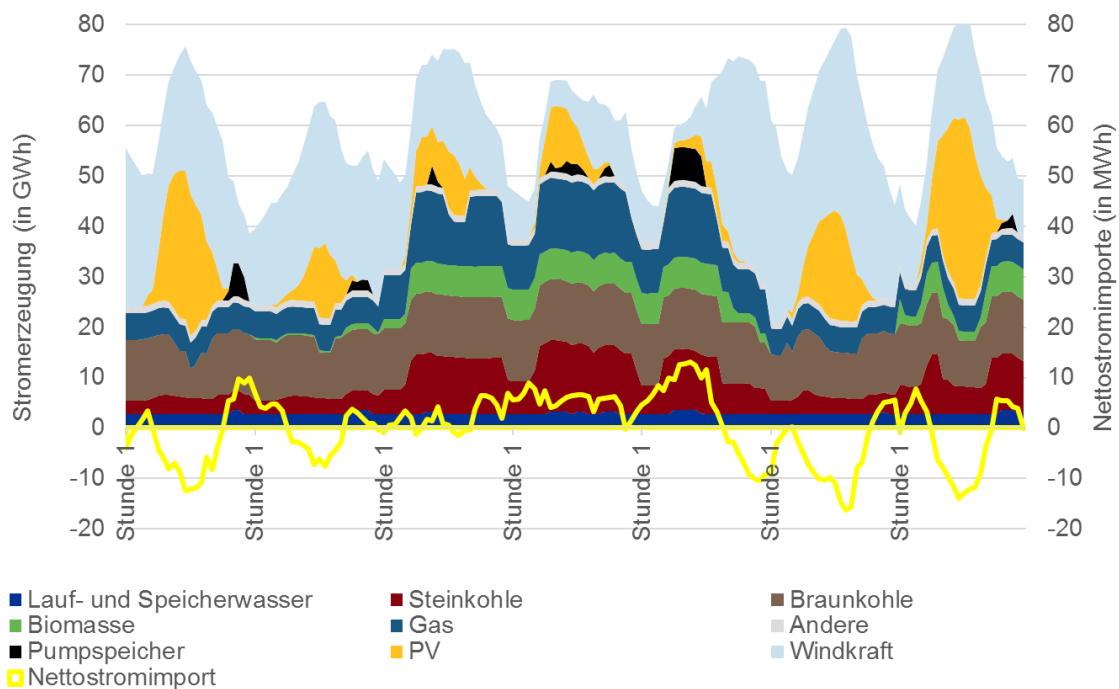
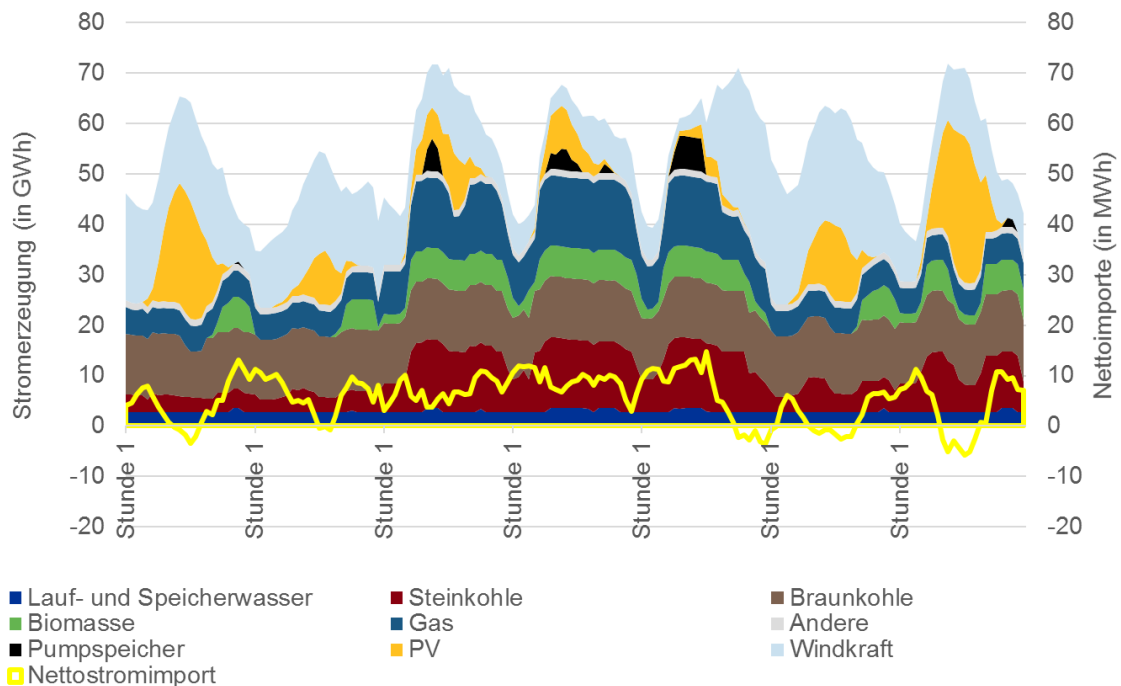


Abbildung 3-18: Erzeugungsmengen einer exemplarischen Früh-sommerwoche im EE-Förderstopp-szenario



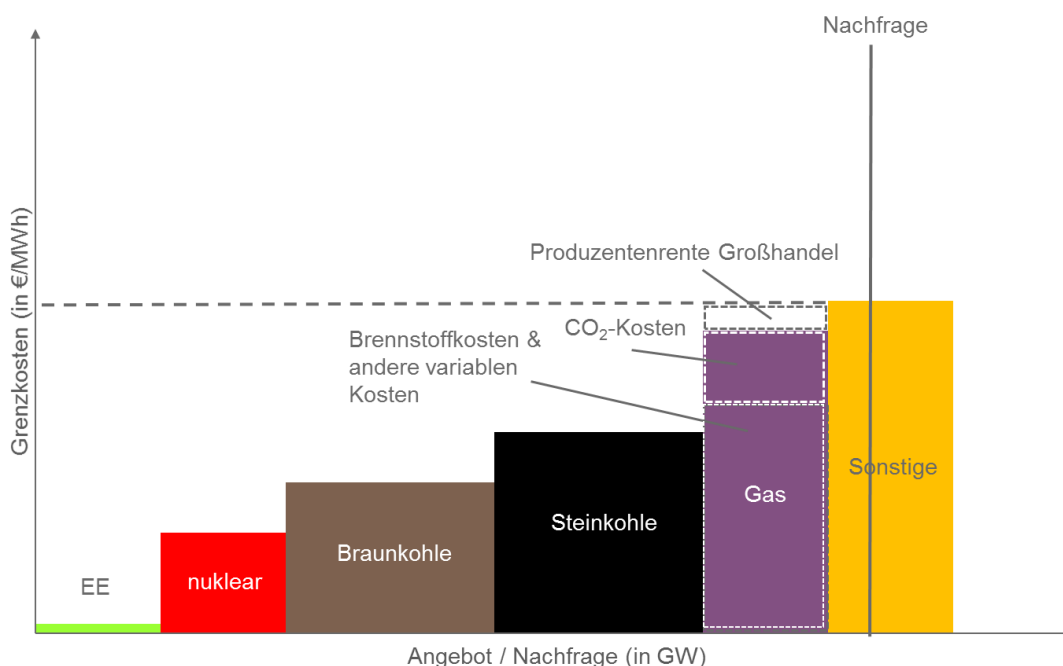
Aus Differenzen der Erzeugungs- und Kraftwerksstrukturen im Szenarienvergleich resultieren unterschiedliche volkswirtschaftlich relevante Erlös- und Kostengrößen im Stromversorgungssystem, welche Aussagen über die Wirkungen des exemplarisch betrachteten Schwarzen Schwan-Risikos ermöglichen. Dabei ist wichtig festzustellen, dass einige Wirkungen, beispielsweise auf die Gesamtwirtschaft und Klimafolgenkosten, nur begrenzt quantifiziert werden können. Daher werden in Tabelle 3-3 ausschließlich die Effekte innerhalb des deutschen Stromsektors im Jahr 2030 aufgeführt. Die Erlöse im Spotmarkt bezeichnen hierbei das Produkt aus inländischen Erzeugungsmengen und den jeweiligen Großhandelspreisen. Folglich sind auch Erlöse aus Stromexporten inbegriffen. Da diese im EE-Förderstopp-Szenario deutlich geringer ausfallen und vermehrt importiert wird, sinken die inländischen Erlöse im Spotmarkt im Vergleich zum Referenzszenario.

**Tabelle 3-3: Volkswirtschaftliche Kenngrößen im Szenarienvergleich für Deutschland in 2030**

	Unterschied in Szenario EE-Förderstopp- zu Referenzszenario in DE
Erlöse im Großhandel	-1,3 Mrd. € (-3%)
Gesamte Variable Kosten Stromerzeugung	-1,5 Mrd. € (-6%)
Brennstoffkosten (inkl. CO <sub>2</sub> )	-1,5 Mrd. € (-7%)
Brennstoffkosten (ohne. CO <sub>2</sub> )	-2,0 Mrd. € (-16%)
Produzentenrente im Großhandel	193 Mio. € (+1%)
Strombezugskosten Großhandel	380 Mio. € (+1%)
davon Kosten für Stromimporte	975 Mio. € (+46%)
EE-Förderung (Vollkostendeckung)	-7,5 Mrd. € (-52%)

Im Detail führt der Eintritt des Schwarzen Schwans so dazu, dass die Großhandelserlöse in Deutschland um 1,3 Mrd. € niedriger ausfallen als im Referenzfall. Aufgrund der in Deutschland reduzierten Stromproduktionsmengen, die durch Importe substituiert werden, sinken gleichfalls die gesamten variablen Kosten der innerdeutschen Stromerzeugung. Diese umfassen, wie in Abbildung 3-19 schematisch dargestellt, neben Brennstoffpreisen auch Kosten für CO<sub>2</sub>-Emissionen, Anfahrtkosten und andere variable Kostenbestandteile. Einen wesentlichen Anteil der sinkenden variablen Gesamtkosten machen hierbei die Brennstoffkosten aus. Diese sinken bei Berücksichtigung von Emissionskosten um 1,5 Mrd. € und nehmen somit um etwa 6% ab. Deutlich wird damit die Relevanz, die die in Deutschland installierte EE-Kapazität für das deutsche Exportsaldo und resultierende Erlöse und Kosten der Im- und Exporte hat.

Abbildung 3-19: Schematische Abbildung zu Kosten und Erlösen im Stromgroßhandel



Ein Anstieg der Produzentenrente ist durch zwei gegenläufige Effekte zu erklären. Einerseits sinken die aggregierten Deckungsbeiträge konventioneller Erzeugungsanlagen. Dieser Effekt wird jedoch überwogen durch eine geringere Anzahl von EE-Erzeugern, die negative Produzentenrenten im Großhandel bedingen. Die in Tabelle 3-3 abgebildeten Strombezugskosten im Großhandel beinhalten Kosten für Stromimporte und bilden sich als Produkt von inländischer Stromnachfrage und entsprechenden Strompreisen im Großhandel. Da die Importe im Rahmen des Eintritts des Risikoclusters in 2030 um 46 % ansteigen, ergeben sich auch insgesamt erhöhte Strombezugskosten im Großhandel.



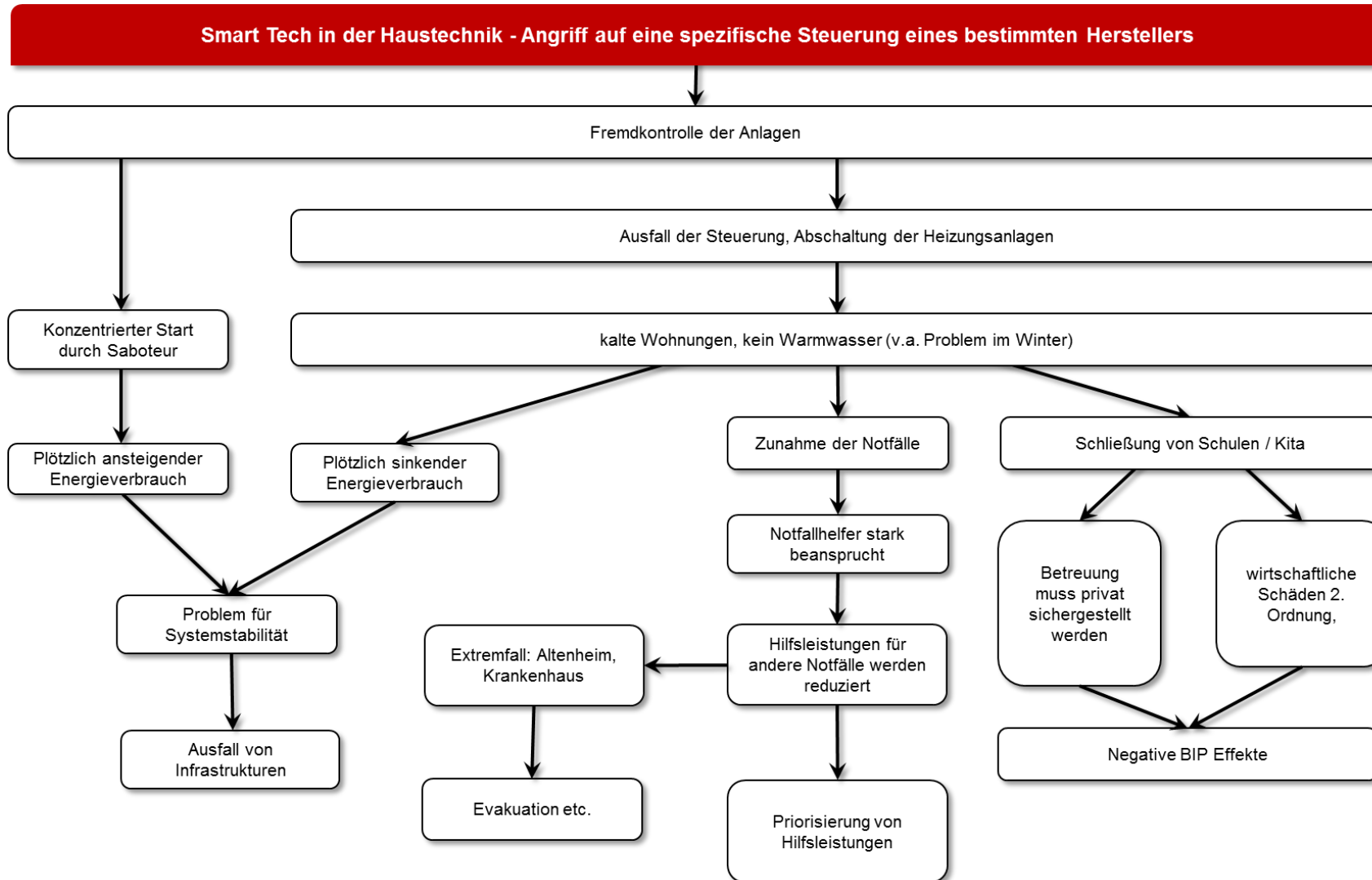
### 3.9 Kriminalität & Terrorismus

#### 3.9.1 Steckbrief

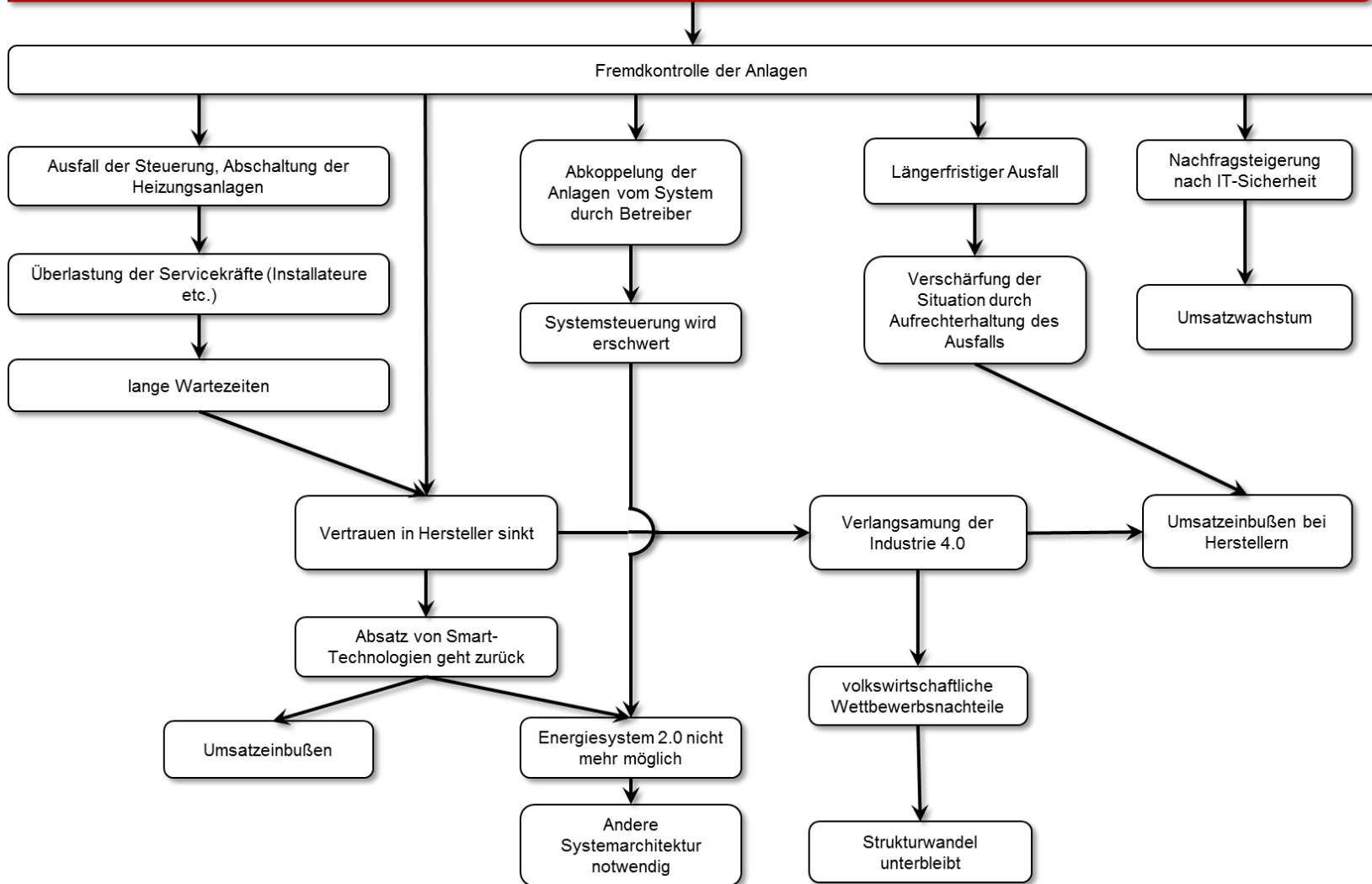
<b>Risikocluster</b>	Kriminelle oder terroristische Aktivitäten gefährden das Energiesystem					
<b>Kurzbeschreibung</b>	Die unbefugte externe Kontrolle über Steuerungsanlagen in der Haustechnik beeinflusst die Systemstabilität und stellt die Gesellschaft vor unterschiedliche Herausforderungen. Zugleich sinkt das Vertrauen in die Smart-Technologien in der Bevölkerung bzw. bei den Nutzern. Damit verbunden sind auch gesamtwirtschaftliche Effekte (insbesondere Nachfrage und Absatz).					
<b>Wirkungsdimensionen</b>						
Wirtschaft	Politik	Gesellschaft	Akzeptanz	Technologie	Rohstoffe	Infrastruktur
2,00	2,71	2,29	1,71	1,21	1,36	2,29
Skala von 0 bis 3 (kein Einfluss bis hoher Einfluss), Experteneinschätzung						
<b>Initialrisiko für Wirkungskette</b>	Smart-Technologien in der Haustechnik (z.B. Heizungsanlagen) ermöglichen den Angriff auf eine spezifische Steuerung eines bestimmten Herstellers durch Produkterpresser					
<b>Kurzbeschreibung Wirkungskette</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Steuerung durch Unbefugte beeinflusst die Stabilität des Energiesystems (Strom) und führt evtl. zu Kaskadeneffekten</li> <li>Bei bestimmten Wetterlagen werden Infrastrukturen und Funktionen in der Gesellschaft erheblich beeinträchtigt und bedürfen besonderer Reaktionen</li> </ul>					
<b>Weitere Beispiele für Initialrisiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cyberterrorismus (gegen Energie-Infrastruktur) / IT-Virus legt System partiell lahm</li> <li>Salafistischer Anschlag in Berlin (Änderung der politischen Prioritäten, vgl. Risikocluster 1) Schmutzige Bombe in Berlin – Stärkung der Proliferation und internationale Abwendung von Nukleartechnologie</li> <li>Transnationale Gruppen kontrollieren Teile von Ländern (Drogen, Mafia, Islamisten, Anonymous) und kontrollieren Teile der Rohstoffversorgung</li> <li>Zerstörung aller elektrischen und elektronischen Geräte durch Sabotage mittels elektromagnetischer Wellen (EMP-Bombs, Eruption auf der Sonnenoberfläche)</li> </ul>					
<b>Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Risikocluster 1 „Prioritätenänderungen in Politik und Gesellschaft“: Kriminelle Aktivitäten verändern Policies</li> <li>Risikocluster 3 „Digitalisierung“: Bedeutung von Smart-Technologien als Einfallstor für Kriminalität und Terrorismus</li> </ul>					

### 3.9.2 Wirkungskette

Abbildung 3-20: Wirkungskette Kriminalität & Terrorismus



**Smart Tech in der Haustechnik - Angriff auf eine spezifische Steuerung eines bestimmten Herstellers**



### 3.9.3 Beschreibung und Analyse

#### 3.9.3.1 Beschreibung des Initialrisikos

Die Firmware in der Steuerung einer Haustechnik-Anlage wie zum Beispiel der Heizungsanlage des Herstellers A hat eine kritische Sicherheitslücke. Sie kann durch die Einbindung der Steuerungsanlage in das Internet angegriffen werden. Dabei ist die Einbindung der Anlage in das Internet durch den Hersteller A vorge-schrieben – damit soll die Fernwartung und Ferndiagnose durch den Hersteller bzw. entsprechende Servicedienstleister ermöglicht werden.<sup>10</sup>

Die Sicherheitslücke in der Heizungsanlage von Hersteller A wird durch Produkterpresser genutzt: Sie übernehmen die Kontrolle über eine bestimmte Anzahl der Steuerungsanlagen in einer Großstadt. Die gekaperten Anlagen sind in der Mehrzahl in Mehrfamilienhäusern installiert, zudem sind aber auch öffentliche Einrichtungen wie eine Feuerwache, ein Universitätsklinikum sowie Schulen und Kindergärten betroffen. Technisch haben die Produkterpresser neben der Änderung des Passwortschutzes zusätzlich eine Schadsoftware auf allen erreichbaren Anlagen installiert. Damit wird verhindert, dass die Steuerungsanlagen einfach vom Internet getrennt und dann wieder ordnungsgemäß in Betrieb genommen werden können. Ergänzend haben sie dort, wo die Steuerungsanlagen mit weiterer Haustechnik in Verbindung stehen, die entsprechenden Haustechnikanlagen infiltriert und können damit unterschiedliche weitere Funktionen der Anlagen missbrauchen.

In einer ersten Demonstration ihrer Fähigkeiten schalten die Produkterpresser an einem Montagmorgen im Winter um 5:00 die Heizungsanlagen aus und fahren nach etwa 3 Stunden alle Anlagen zeitgleich auf Maximallast wieder an. Danach deaktivieren sie die Heizungen wieder, nehmen Kontakt zum Hersteller A auf und stellen finanzielle Forderungen. Ergänzend versuchen die Hacker, weitere mit den Heizungsanlagen vernetzte Systeme zu infiltrieren.

#### 3.9.3.2 Wirkungen des Initialrisikos

Die Fremdkontrolle einer größeren Anzahl von Steuerungsanlagen eines bestimmten Herstellers wirkt sich auf unterschiedlichen Ebenen aus. Neben den potenziellen Wirkungen im Energiesystem sind Wirkungen in der Gesellschaft und Wirtschaft zu erwarten.

---

<sup>10</sup> Das Initialrisiko ist durchaus gegeben, wie Veröffentlichungen in einschlägigen Fachpublikationen belegen. Oftmals wird die eingesetzte Steuerungssoftware nicht unter Gesichtspunkten der IT-Sicherheit entwickelt bzw. bekannt gewordene Schwachstellen und Vulnerabilitäten nicht behoben (vgl. Benz / Scherschel 2015). Dabei sind die betroffenen Anlagen und Systeme breit gestreut: Von Heizungsanlagen über smarte Fernseher bis hin zur Gebäudetechnik in einer Kirche oder einem Feuerwehrgebäude, von Industrie- und Produktionsanlagen bis hin zu Scharfschützengewehren scheint kaum eine Steuerungsanlage sicher vor unberechtigten Zugriffen von Außen (vgl. z.B. Bergert 2015, Benz et al. 2015, Stahl et al. 2015, Eikenberg 2013).

## Wirkungen im Energiesystem

Das im Szenario gedachte gleichzeitige Wiederanfahren einer größeren Anzahl von Verbrauchern (Heizanlagen) auf Maximallast stellt eine punktuelle Belastungsspitze für das Stromsystem dar. Der Stromverbrauch steigt kurzfristig an und kann die Stabilität des Stromsystems beeinflussen. Umgekehrt gilt dies auch für das zeitgleiche Abschalten einer größeren Anzahl von Verbrauchern und damit dem Absinken des Strombedarfs. Grundsätzlich wird damit das Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage beeinflusst (Regelleistung vs. Lastschwankungen). Für das Stromnetz würden die Auswirkungen sicherlich verkraftbar sein. Es könnte jedoch bei den Gasnetzen Be- und Entlastungen auftreten, die die Netzstabilität beeinflussen könnten.

Insgesamt wird die Systemsteuerung erschwert. Eine automatisierte Abkoppelung der Anlagen (gezielter Lastabwurf einzelner Anlagen) kann nicht stattfinden, da die entsprechenden Routinen durch die Produkterpresser blockiert werden. Unter Umständen kann das gezielte An- und Abschalten von Lasten durch die Hacker zu erheblichen Störungen des regionalen Stromsystems führen.

Grundsätzlich zeigt sich, dass die Überlegungen zum flächendeckenden Einsatz von Smart-Technologien zur Weiterentwicklung eines verbraucher- und lastgesteuerten Energiesystems sicherheitskritische Aspekte beinhaltet, die eine solche Systemarchitektur stärker verwundbar macht und – in Abhängigkeit von der gesellschaftlichen Akzeptanz für Smart-Technologien – in ihren Grundprinzipien überdacht werden muss. Möglicherweise muss vor diesem Hintergrund nicht nur der Aspekt der IT-Sicherheit bedacht werden, sondern auch grundsätzlichere Fragen der Topologie des Energiesystems (Dezentralisierung, Verringerung von Großrisikofaktoren) mit einbezogen werden.

## Gesellschaft

Die Manipulation der Heizanlagen hat zwei grundlegende Wirkungen. Wenn die Heizanlagen in Privatwohnungen und öffentlichen Gebäuden ausfallen, ist damit eine Abkühlung der Raumtemperatur verbunden. Die Räume werden kalt und – je nach Raumfunktion – in ihrer Nutzbarkeit eingeschränkt. Daneben ist zu erwarten, dass in einer Vielzahl der Fälle die Warmwasserversorgung ebenfalls nicht mehr funktioniert.

Auf Heizung und Warmwasser angewiesene Personen sind bedroht – zentral in Krankenhäusern, Altenheimen etc.; dezentral in Privatwohnungen – dies führt zu einer Zunahme von Notfällen, was die Notfallhelfer beansprucht (Rettungsdienste, Feuerwehr) – die Priorisierung von Hilfsleistungen, wenn die Belastung zu groß wird, wird unumgänglich, u.U. Evakuierung bei Krankenhäusern oder Altenheimen.

Für öffentliche Einrichtungen, deren Haustechniksysteme nicht nur Heizungsanlagen sondern noch weitere, u.U. kritische Funktionen beinhalten (Krankenhäuser, bspw. Lüftungsanlagen), werden aus Sicherheitsgründen die Anlagen komplett vom Netz getrennt. Da kein Einzelbetrieb mehr möglich ist, verschärft sich die Situation und führt zu Einschränkungen im Betrieb bzw. Betriebseinstellung und Evakuation. Generell steigt die Belastung der personellen und materiellen Ressourcen bei den Hilfskräften. Aushilfsstellen sind zu schaffen und zu betreiben, was die Hilfskräfte weiter beansprucht.

Öffentliche Gebäude wie Schulen und Kindergärten werden geschlossen, Kinder müssen entweder zentral betreut werden (bspw. Turnhallen, Aufsichtspflicht der Schulen/Kita) oder privat betreut werden – unter Umständen müssen Eltern für die Betreuung ihren Arbeitsplatz verlassen, was zu Umsatzverlusten / Verringerung der Wertschöpfung führen kann. Bei längerfristiger Schließung können wirtschaftliche Schäden zweiter Ordnung auftreten, wenn bspw. die Notwendigkeit für Catering oder Transportdienstleistungen entfallen.

## Wirtschaft

Ähnlich wie bei der Notfallhilfe gehen verstärkt Hilfsanfragen bei den Servicebetrieben bzw. bei Hersteller A ein. Auf diese Nachfragesteigerung sind die Servicebetriebe bzw. der Hersteller nicht eingestellt, was zu einer Überlastung führt. Zudem sind bis zum Eingang der Forderungen der Produkterpresser bei Hersteller A die Ursachen für die Dysfunktionen der Steuerungsanlagen unklar. Die erste Maßnahme, die Steuerungsanlagen vom Internet zu trennen, führt zu Missmut bei den Kunden, da sich die Lage nicht bessert. Nun müssen der Hersteller bzw. die Servicebetriebe jeden Kunden zurückrufen bzw. einen Mitarbeiter vorbeischicken. Der Hersteller ist durch den Angriff bereits auf jeden Fall stark geschädigt, unabhängig davon, ob und wie die Erpressung weitergeht.

Längerfristig werden weitere Wirkungen und Effekte eintreten. Dazu zählt ein Absatzrückgang für Smart-Technologien, da die gesellschaftliche Akzeptanz und das Vertrauen in die Technologien bzw. deren Hersteller absinken. Verstärkt werden kann der Effekt, wenn zum Beispiel die Systemwiederherstellung durch Auflagen der Sicherheitsbehörden oder Versicherungen zur Beweissicherung verlangsamt wird. Damit verbunden sind Umsatzeinbußen auf Seiten der Hersteller und Serviceanbieter, zudem weitere Rückwirkungen auf die Gestaltungsmöglichkeit einer Systemarchitektur, die stark auf die Möglichkeiten der Smart-Technologien ausgerichtet ist. Im Extremfall ist anzunehmen, dass damit generell das „Internet der Dinge“ und „Industrie 4.0“ in der Umsetzung und Verbreitung verlangsamt wird. Gegenläufig kann aber auch im Bereich der IT-Branche die Entwicklung neuer Dienstleistungen und Angebote („Hardening“, IT-Sicherheit) angestoßen werden.

### 3.9.3.3 Betroffene Rahmenbedingungen

Betroffen sind durch das Risikocluster insbesondere die politischen, infrastrukturellen, gesellschaftlichen und auch wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Grundsätzlich wird die Versorgungssicherheit und -verlässlichkeit beeinträchtigt. Dies führt zu einer Beeinträchtigung der Infrastrukturen sowie verschiedenen wirtschaftlichen Einbußen (Umsatzrückgang in verschiedenen Branchen, Skepsis gegenüber Digitalisierung und Industrie 4.0, in geringerem Umfang auch Produktionsausfälle). Zum anderen stellt das Risikocluster eine Herausforderung für den Staat dar, da mit ihm die Gewährleistung von Sicherheit als eine zentrale staatliche Aufgabe tangiert wird. Je nach Ausprägung kann dies zu einer Änderung von politischen Agenden und Policies beitragen. Wesentlich für die längerfristigen Auswirkungen wird die Akzeptanz des Einsatzes von Smart-Technologien für die optimale Nutzung der erneuerbaren Energien im Energiesystem sein – sowohl auf Seiten der (Energie-)Wirtschaft als auch auf Seiten der Bevölkerung.

### 3.9.3.4 Quantifizierungsmöglichkeiten der Wirkungen

Die Auswirkungen von Kriminalität und Terrorismus sind grundsätzlich quantifizierbar, zum Beispiel über den Schaden und die volkswirtschaftlichen Kosten entsprechender Aktivitäten. Dennoch variieren die zu erwartenden Schäden und deren Quantifizierungsmöglichkeiten erheblich in Abhängigkeit von der jeweils angenommenen kriminellen oder terroristischen Aktivität.

### 3.9.3.5 Verbindungen und Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern

Das Risikocluster zeigt Ähnlichkeiten und Verbindungen mit dem Risikocluster 1 „Prioritätenänderungen in Politik und Gesellschaft“ auf, da kriminelle oder terroristische Aktivitäten die gesellschaftliche und politische Agenda nachhaltig verändern können. Ebenso steht das Risikocluster in Verbindung mit Risikocluster 3 „Digitalisierung“: Mit zunehmender Verbreitung von Smart-Technologien wächst die Abhängigkeit von sicheren IT-Infrastrukturen. Damit nimmt zugleich die Verletzbarkeit der Gesellschaft zu.

## 3.10 Verfügbarkeit von Energierohstoffen

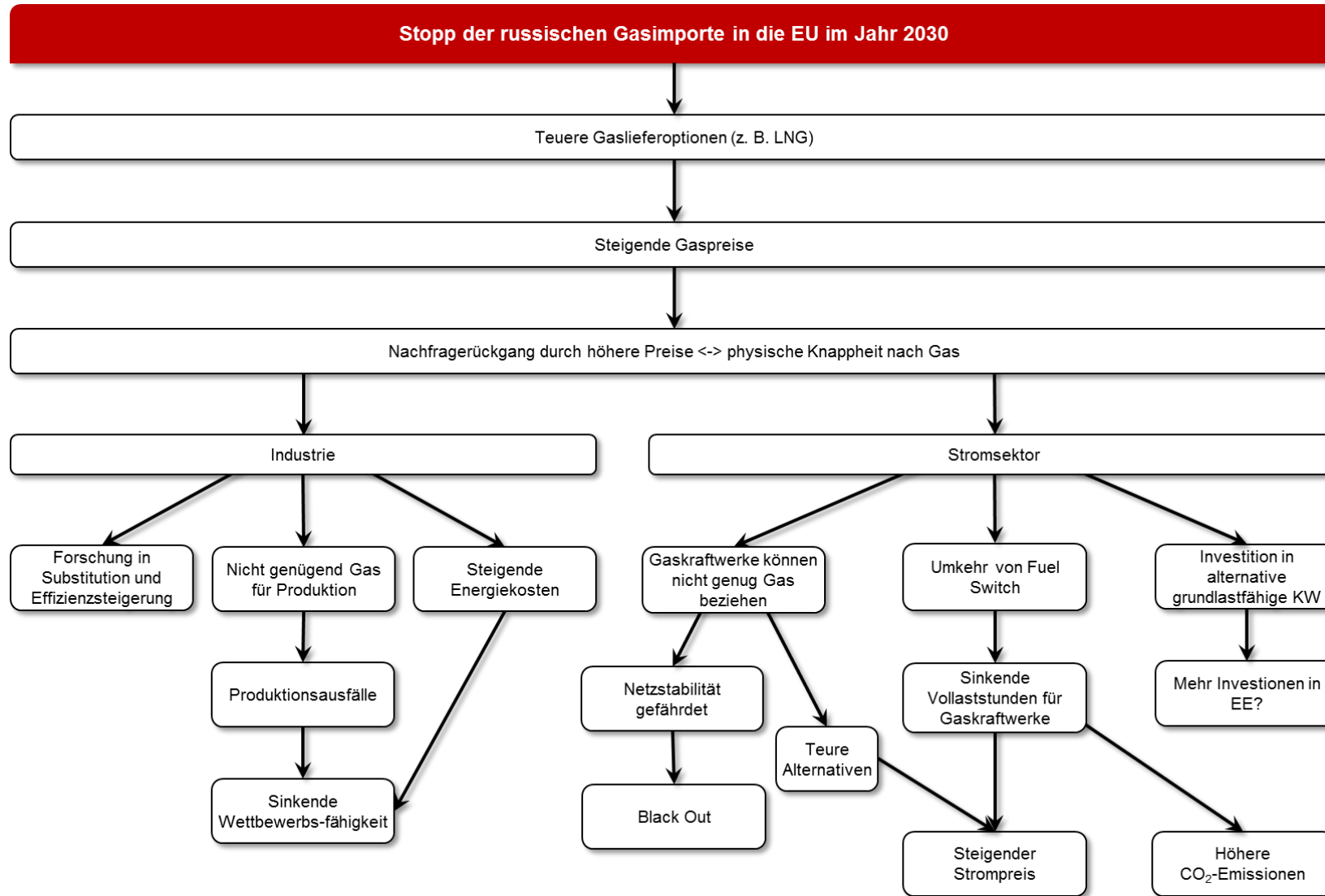
### 3.10.1 Steckbrief

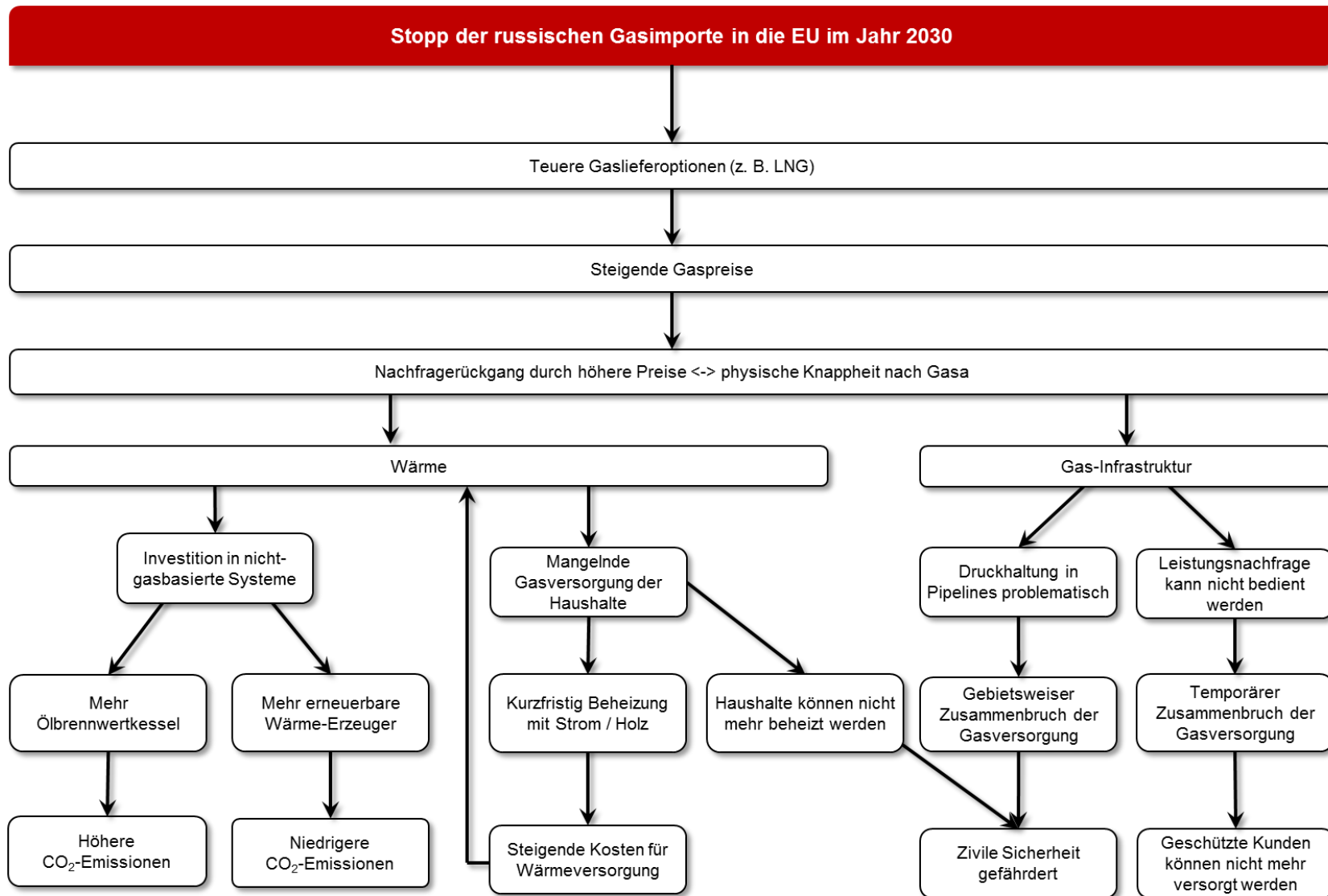
<b>Risikocluster</b>	Verfügbarkeit von Energierohstoffen ändert sich erheblich					
<b>Kurzbeschreibung</b>	Ein Gas-Embargo lässt die Gaslieferungen nach Deutschland einbrechen, infolgedessen die Preise in verschiedenen Sektoren stark ansteigen. Abhängigkeit von Gas wird gesellschaftlich und politisch hinterfragt.					
<b>Wirkungsdimensionen</b>						
Wirtschaft	Politik	Gesellschaft	Akzeptanz	Technologie	Rohstoffe	Infrastruktur
2,57	2,07	1,29	2,07	2,29	2,86	1,57
Skala von 0 bis 3 (kein Einfluss bis hoher Einfluss), Experteneinschätzung						
<b>Initialrisiko für Wirkungskette</b>	Russisches Gas-Embargo in 2030 führt zu sehr hohen Gaspreisen in Europa, deutsches Stromsystem ist zur Sicherstellung von Versorgungssicherheit signifikant von Gaskraftwerkskapazität abhängig, da Kohlekraftwerke stillgelegt wurden (Pfadabhängigkeit)					
<b>Kurzbeschreibung Wirkungskette</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fuel-Switch Kohle zu Gas im Stromsektor wird in Frage gestellt</li> <li>▪ Erhöhung von Elektrizitätspreisen, Heizkosten, Transportkosten</li> <li>▪ Beeinträchtigung von auf Gas beruhenden Industrieprozessen.</li> </ul>					
<b>Auswirkungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ändert sich die Verfügbarkeit von Gas, wird infolge hoher Gaspreise Gaserzeugung durch Steinkohleezeugung substituiert</li> <li>▪ Je nach nationaler Kapazität und Auslastung der Steinkohlekraftwerke resultieren Verschiebungen der Im- und Exporte</li> </ul>					
<b>Weitere Beispiele für Initialrisiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erdöl-/Gas-Lieferländer verkaufen nicht mehr (Marktaustritt) aufgrund von Eigenbedarf</li> <li>▪ Peak Oil, die weltweite Gasproduktion erreicht aufgrund zurückgehenden wirtschaftlich erschliessbaren Ressourcen ihr Maximum und sinkt anschliessend.</li> </ul>					
<b>Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risikocluster 7 „Änderung der Energiepreise“: Die Versorgung mit Energierohstoffen und damit die Preise der Energierohstoffe haben Auswirkung auf die Wertschöpfungskette und den entsprechenden Preis beim Abnehmer/Nutzer</li> <li>▪ Risikocluster 1 „Prioritätenänderung in Politik &amp; Gesellschaft“: Neue Herausforderungen ändern die Prioritätensetzungen in Politik und Gesellschaft</li> </ul>					



### 3.10.2 Wirkungskette

Abbildung 3-21: Wirkungskette Verfügbarkeit von Energierohstoffen





### 3.10.3 Beschreibung und Analyse

#### 3.10.3.1 Beschreibung des Initialrisikos

Durch die Energiewende erhöht sich der Anteil der Stromerzeugung auf Basis von erneuerbaren Energien. Dadurch steigt der Bedarf an Flexibilität im Stromsystem. Eine Möglichkeit, Flexibilität bereitzustellen, ist neben Demand Side Management, Stromspeicherung oder Abschaltung erneuerbarer Energien, der Einsatz flexibler Gaskraftwerke. Wenn Gaskraftwerke die günstigste Flexibilitätsoption sind, kommt es zum Bau und Einsatz von Gaskraftwerken. Gleichzeitig werden Kohlekraftwerke rückgebaut, da diese eine hohe spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionsintensität haben. Es ist ein Szenario denkbar, in welchem das deutsche Stromversorgungssystem in 2030 signifikant auf Gaskraftwerke angewiesen wäre, um Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Auch wenn es aufgrund von Effizienzsteigerungen zu einer sinkenden Gasnachfrage in Deutschland kommt, ist zu erwarten, dass auch in 2030 Gas für die Industrie sowie die Wärmeversorgung benötigt wird.

In den wichtigen europäischen Erdgasproduktionsländern Norwegen und Niederlande ist die Gasproduktion rückläufig. Auch wenn politisch eine Diversifizierung von Erdgasimporten angestrebt wird (z. B. durch eine Importpipeline in die kaspische Region oder LNG-Importe), wird der Anteil von russischem Gas am europäischen Gasbedarf mittel- bis langfristig hoch bleiben.

Die Spannungen der Europäischen Union mit Russland infolge der Ukraine Krise könnten die gegenseitigen Beziehungen langfristig belasten. Es ist möglich, dass es auch in der Zukunft zu Wirtschaftssanktionen kommt. Denkbar wäre sowohl ein Importembargo von Gas durch die Europäische Union als auch ein Exportembargo durch Russland.

Die Wirkungsentfaltung nach Eintritt des Initialrisikos Verfügbarkeit von Energierohstoffen tritt vorwiegend kurzfristig ein. Relevante Auswirkungen auf die Energiewende sind vorwiegend in einem mittelfristigen Zeithorizont zu erwarten, falls Erdgas in größerem Ausmaß als Brückenenergieträger hin zu einem dekarbonisierten Energiesystem zum Einsatz kommt. Die Auswirkungen treten dann jedoch ohne Verzögerung ein, da sich Primärenergieträgerpreise direkt in den Märkten niederschlagen.

#### 3.10.3.2 Wirkungen des Initialrisikos

Käme es im Jahr 2030 zu einem derartigen Gasembargo, müssten teure Gaslieferoptionen wie z. B. LNG verwendet werden, um die Gasnachfrage zu decken. Dadurch würde sich der Gaspreis erhöhen. In der Folge wäre es möglich, dass es zu einer Nachfragere-

aktion in Form höherer Preise käme. Wäre die Gasnachfrage nicht hinreichend preiselastisch, könnte es auch zu einer physischen Knappheit von Gas kommen. Das Spannungsfeld von Preiselastizität und Knappheit betrifft die gasnachfragenden Sektoren Wärme, Strom und Industrie.

### Elektrizitätssektor

Hätte bis 2030 bereits ein Fuel-Switch im Stromsektor von Kohle zu Gas stattgefunden, würden die Auswirkungen des skizzierten Initialrisikos diesem entgegenwirken, d. h. Kohlekraftwerke würden trotz hoher CO<sub>2</sub>-Preise wirtschaftlich attraktiver. Dadurch stiegen tendenziell sowohl Strompreise als auch CO<sub>2</sub>-Emissionen. Könnten Gaskraftwerke aufgrund der Knappheit nicht mehr genügend Gas beziehen, müsste auf alternative teurere Flexibilitätsoptionen wie Öl-Kraftwerke oder Lastabwurf zurückgegriffen werden. Dadurch würde der Strompreis gleichfalls steigen. Darüber hinaus könnte eine Gefährdung der Netzstabilität resultieren. Blackouts wären denkbare worst-case-Szenarien. Längerfristig würde tendenziell vermehrt in steuerbare Kraftwerke investiert werden, die nicht mit Gas befeuert werden, beispielsweise Kohle- oder steuerbare regenerative Kraftwerke sein

### Wirtschaftssektor

Wenn industrielle Produktionsstätten nicht genügend Gas für Prozesswärmeproduktion und den Betrieb von Stromeigenproduktionsanlagen beziehen könnten, wären Produktionsausfälle die Folge. Mittelfristig könnte die Industrie Zweitstoffbrenner, welche mit Öl oder sonstigen Brennstoffen befeuert würden, einsetzen. Zusätzlich steigende Energiekosten verteuern die Produktion. Als Konsequenz würde die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie im Vergleich zur internationalen Konkurrenz sinken. Weiterhin würde die Industrie Forschung in Technologien, welche Gas substituieren können (z.B. Kohleverflüssigung oder -vergasung, sonstige Pyrolyse, aber auch Wasserstoffproduktion), sowie Forschung in Effizienzsteigerungen forcieren.

### Wärmesektor

Im Wärmemarkt hätte eine mangelnde Gasversorgung steigende Heizkosten zur Folge. In einer Knappheitssituation könnten Haushalte nicht mehr ausreichend geheizt werden, was gravierende wirtschaftliche und soziale Folgen hätte. Längerfristig käme es zu Investitionen in nicht-gasbasierte Wärmeerzeuger. Dies können zum einen Öl-basierte Systeme sein, welche einen höheren spezifischen CO<sub>2</sub>-Ausstoß als Gas-Brennwertkessel haben, oder es könnten Wärmeerzeuger auf Basis erneuerbarer Energien sein, welche einen relativ niedrigeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß haben.

## Transportsektor

Auch der Transportsektor wäre von steigenden Transportkosten durch steigende Gaspreise betroffen. Der Grad der Betroffenheit hängt wesentlich davon ab, ob erdgasbasierte Fahrzeuge und die hierzu nötige Infrastruktur (z. B. Tankstellen, Werkstätten) in 2030 etabliert sind. Eine Knappheit von Gas würde den Öl-basierten Verkehr stärken und die Einführung von gasbasierten Antriebstechnologien als Übergangstechnologien hemmen.

## Gasinfrastruktur

Auch für die Gasinfrastruktur würden sich vielfältige Implikationen durch einen Lieferstopp Russlands ergeben. Die Druckhaltung in Pipelines könnte zusammenbrechen, so dass ganze Gebiete von der Gasversorgung abgeschnitten würden. Damit verbunden ist die Frage, ob die Gasinfrastruktur genügend Leistung bereitstellen kann. Insbesondere an kalten Wintertagen ist die Gasnachfrage sehr hoch. Falls die Nachfrage nach Leistung nicht gedeckt werden könnte, wäre ein temporärer Zusammenbruch der Gasversorgung die Folge. Auch geschützte Kundengruppen wie private Haushalte könnten in einer solchen Extremsituation nicht mehr hinreichend versorgt werden.

### 3.10.3.3 Betroffene Rahmenbedingungen

Betroffen sind durch das Risikocluster insbesondere die politischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Das Risikocluster gefährdet die Versorgungssicherheit im Strom- und Wärmemarkt, sowie in geringerem Maße im Wirtschafts- und Transportsektor. Dadurch könnte einerseits die Fuel-Switch-Entwicklung von Kohle zu Gas als Element der Energiewende in Frage gestellt werden und somit die Flexibilitätsoption Gaskraftwerk an Bedeutung verlieren. Andererseits könnten soziale Schwierigkeiten aufgrund gestiegener Heizkosten auftreten und dadurch die politischen Rahmenbedingungen verändern. Das Ausmaß hängt dabei wesentlich davon ab, ob das Gasembargo von vorübergehender Natur ist, oder langfristig bestehen bleibt.

### 3.10.3.4 Quantifizierungsmöglichkeiten der Wirkungen

Grundsätzlich ist es möglich, zum Beispiel Substitutionsmöglichkeiten und deren Mehr- oder Minderkosten zu quantifizieren. Dabei ist die Fragestellung bedeutsam, in welchen Sektoren wie schnell Anpassungsreaktionen erfolgen. Zu unterscheiden sind dann zum einen die Technologiekosten für EE sowie die Änderungen im Strommix und die damit verbundenen Kosten. Zum anderen sind auch die Preiswirkung fossile Energieträger und daran anschließende Effekte quantifizierbar. So kann zum Beispiel der Gasbedarf und die Systemkosten für den Fall bestimmt werden, dass das Energiesystem aufgrund eines hohen EE-Anteils auf Gaskraftwer-

ke zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit angewiesen ist.

### 3.10.3.5 Verbindungen und Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern

Das Risikocluster weist unterschiedliche Verbindungen zu anderen Risikoclustern auf. Dies ist der Fall beim Risikocluster 7 „Änderung der Energiepreise“, da die Versorgung mit Energierohstoffen und damit die Preise der Energierohstoffe Auswirkung auf die Wertschöpfungskette und den entsprechenden Preis beim Abnehmer/Nutzer zeigen. Ebenso ist das Risikocluster 1 „Prioritätenänderung in Politik & Gesellschaft“ betroffen. Neue Herausforderungen können die Prioritätensetzungen in Politik und Gesellschaft beeinflussen und ändern.

### 3.10.4 Beispielhafte Quantifizierung des Risikoclusters

Beispielhaft sollen im Rahmen dieses Abschnittes die Auswirkungen eines unerwarteten und deutlichen Gaspreisanstiegs in 2030 auf den Stromsektor quantifiziert werden. Ein Fokus liegt hierbei auf dem deutschen Stromversorgungssystem. Der Preisanstieg wird, unabhängig von zu Grunde liegenden Auslösern wie beispielsweise einem Gas-Exportembargo und entsprechender Wahrscheinlichkeiten, als gegeben betrachtet. Konkret werden in Anlehnung an die im Rahmen des Atomunglücks in Fukushima beobachtete Gaspreisentwicklung die Auswirkungen eines 50-prozentigen Anstiegs der Gaspreise analysiert.

Die Implikationen eines Gaspreisanstiegs im Stromsektor sind mannigfaltig. Die einhergehenden Auswirkungen sind insbesondere abhängig von den zu Grunde liegenden Erzeugungsstrukturen in Deutschland und dem europäischen Strombinnenmarkt. Daher ist es im Rahmen einer Quantifizierung der Auswirkungen des betrachteten Gaspreisanstiegs zunächst wichtig, die angenommene Entwicklung der Erzeugungsstrukturen zu erläutern. Generell werden die Auswirkungen eines Gaspreisanstiegs für ein Referenzszenario und ein Szenario mit forciertem Rückbau von Kohlekraftwerkskapazität im deutschen Kraftwerkspark betrachtet. Die vier entsprechenden Szenarien werden im Folgenden gemäß Tabelle 3-4 bezeichnet.

*Tabelle 3-4: Betrachtete Szenarien im Risikocluster 10*

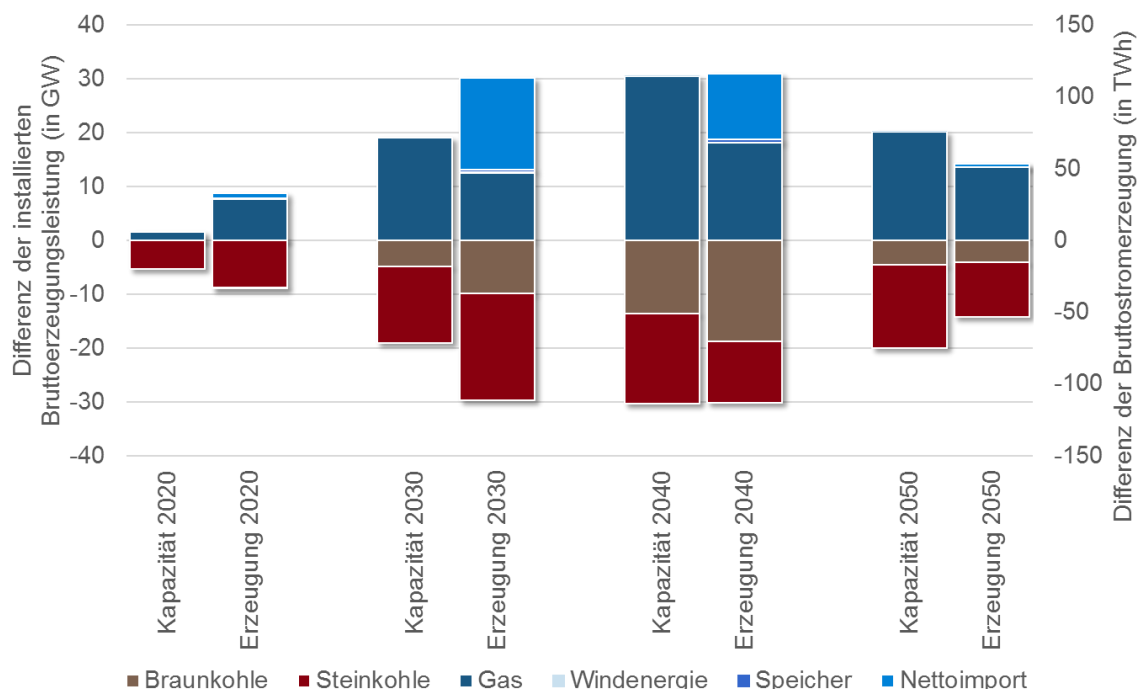
	Referenzentwicklung des Kraftwerksparks	Entwicklung mit zusätzlichem Kohleausstieg
Preise auf Referenzniveau	„Referenzszenario“	„Kohleausstiegsszenario“
Gaspreisanstieg	„Referenzszenario mit Gaspreisanstieg“	„Kohleausstiegsszenario mit Gaspreisanstieg“

Im Detail werden zur Simulation des Referenzszenarios wesentliche Eingangsparameter analog zur Energierferenzprognose 2014 (EWI/PROGNOS/GWS 2014) herangezogen. Ergänzt wurden ak-

tualisierte Brennstoffpreise und Nachfragedaten. Das Kohleausstiegsszenario hingegen modelliert zudem einen Ausstieg aus der Kohlerzeugung in Deutschland bis 2040 gemäß der Studie „Elf Eckpunkte für einen Kohlekonsens“ (Agora 2015).

Vor diesem Hintergrund stellt Abbildung 3-22 die Differenz der installierten Kraftwerkskapazitäten und entsprechender Erzeugungsmengen zwischen Kohleausstiegs- und Referenzszenario in Deutschland dar. Hierbei wird zunächst kein Gaspreisanstieg angenommen. Beispielsweise führt der zusätzliche vorgezogene Rückbau von 5,4 GW Steinkohlekraftwerkskapazität bis 2020 im Kohleausstiegsszenario zu einem Anstieg der inländischen Stromerzeugung in Gaskraftwerken um etwa 28 TWh gegenüber dem Referenzszenario. Das Kohleausstiegsszenario ist deutlich charakterisiert durch eine Substitution von Kohle- durch Gaskraftwerkskapazität im Vergleich zum Referenzszenario. Zeitgleich wird die vermiedene Erzeugung in Kohlekraftwerken durch einen Anstieg der Stromerzeugung in Gaskraftwerken und ansteigende Stromimporte kompensiert. Diese Effekte sind insbesondere in den simulierten Stichjahren 2030 und 2040 zu beobachten.

Abbildung 3-22: Vergleich von Basis- und Kohleausstiegsszenario (Gaspreise auf Referenzniveau)

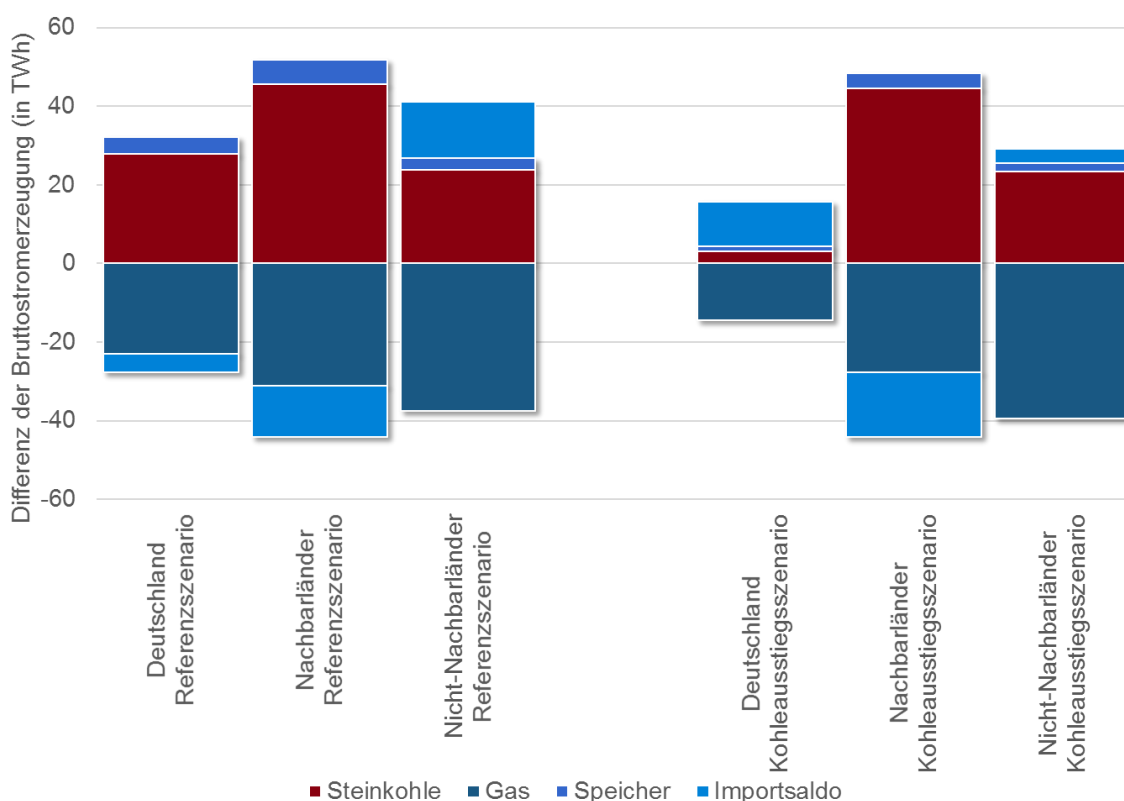


Die Entwicklung der Erzeugungskapazitäten in beiden Szenarien basiert auf identischen Gaspreisprognosen bis 2030, ohne Abbildung des unerwarteten Gaspreisanstiegs.

In einem weiteren Szenariovergleich wird ein unerwarteter Gaspreisanstieg angenommen, der von den Wirtschaftssubjekten so nicht antizipiert wird und wie ein exogener unerwarteter Schock auf das bestehende Stromversorgungssystem wirkt.

Vor diesem Hintergrund stellt Abbildung 3-23 die Änderung der Erzeugungsstrukturen im Referenz- sowie Kohleausstiegsszenario im Falle eines 50-prozentigen Gaspreisanstiegs in 2030 dar.

Abbildung 3-23: Vergleich der Erzeugungsmengen bei Eintritt eines Gaspreisanstiegs im Vergleich zu einer Situation ohne Preisanstieg (Entwicklung bei Gaspreisanstieg abzüglich Entwicklung ohne Gaspreisanstieg)



Im Detail stellen die linken drei Balken den Effekt des Gaspreisanstiegs auf die Erzeugung im Referenzszenario dar, d.h. die Differenzen in der Erzeugung zwischen einem Modelllauf mit und ohne Gaspreisanstieg. Hierbei wird die Erzeugung im Falle eines Gaspreisanstiegs von der Erzeugung ohne Preisänderung abgezogen. Die Differenzen der Erzeugungsmengen werden gesondert für Deutschland, Nachbarländer und modellierte europäische Nicht-nachbarländer dargestellt. Die rechten drei Balken präsentieren analog die Ergebnisse für einen Gaspreisanstieg im Kohleausstiegsszenario.



Im Folgenden werden zentrale Ergebnisse des Szenarienvergleichs erläutert. Ohne Gaspreisanstieg erfolgt bis 2030 aufgrund der CO<sub>2</sub>-Preisentwicklung ein Fuel-Switch von Steinkohle zu Gas. Ein 50-prozentiger Gaspreisanstieg kehrt diese Entwicklung um. Als Ergebnis sind die Gaserzeugungsmengen in Deutschland sowie den Nicht- und Nachbarländern im Falle eines Gaspreisanstiegs niedriger als in einer Modellrechnung ohne Preisanstieg. Die entsprechenden Erzeugungsmengen werden im Wesentlichen durch zusätzliche Stromerzeugung in Steinkohlekraftwerken substituiert. In Deutschland lässt sich diese Substitution im Kohleausstiegsszenario nur stark eingeschränkt beobachten. Der forcierte Rückbau an Steinkohlekraftwerkskapazität führt im Wesentlichen dazu, dass die residuale installierte Steinkohlekraftwerkskapazität kraftwärmegekoppelt ist und die verbundene Stromerzeugung wärmegeführt erfolgt. Somit ist keine Reaktion der Stromerzeugung in Steinkohlekraftwerken auf den exogenen Schock eines Gaspreisanstiegs im Kohleausstiegsszenario zu beobachten. Statt dessen wird die fehlende Gaserzeugungsmenge in Deutschland durch zusätzliche Stromimporte ersetzt. Die zusätzlichen deutschen Stromimporte im Kohleausstiegsszenario bedingen in den deutschen Nachbarländern einen Anstieg der Stromerzeugung in Steinkohlekraftwerken. Dieser geht über den Rückgang der Gaserzeugungsmengen hinaus. Es lassen sich auch leichte Verschiebungen im Speichereinsatz der einzelnen Länder erkennen. Dieser steigt tendenziell, da die Flexibilität des Speichereinsatzes mit der flexibler Gaskraftwerke vergleichbar ist. Somit wird der Speichereinsatz je nach Verfügbarkeit erhöht, um an Stelle der Gaskraftwerke hohe Residualnachfragen in einzelnen Stunden zu decken.

**Tabelle 3-5: Volkswirtschaftliche Kenngrößen im Szenarienvergleich für Deutschland und Europa in 2030**

	Veränderung der Kenngröße in ...			
	DE im Referenzszenario	DE im Kohleausstiegs-szenario	Europa im Referenzszenario	Europa im Kohleausstiegs-szenario
	... bedingt durch den Gaspreisanstieg			
Erlöse im Großhandel	7,5 Mrd. € (+20%)	10,4 Mrd. € (+31%)	53,2 Mrd. € (+22%)	64,4 Mrd. € (+26%)
Gesamte Variable Kosten Stromerzeugung	256,8 Mio. € (+1%)	-685,4 Mio. € (-3%)	504,9 Mio. € (+0,6%)	381,9 Mio. € (+0,5%)
Brennstoffkosten (inkl. CO <sub>2</sub> )	181 Mio. € (+1%)	-755,4 Mio. € (-4%)	344,4 Mio. € (+0,4%)	223 Mio. € (+0,3%)
Brennstoffkosten (ohne. CO <sub>2</sub> )	-385 Mio. € (-3%)	-675,2 Mio. € (-5%)	-1,6 Mrd. € (-3%)	-1,3 Mrd. € (-2%)
Produzentenrente im Spotmarkt	7,3 Mrd. € (+51%)	11,1 Mrd. € (+82%)	52,7 Mrd. € (+33%)	64 Mrd. € (+40%)
Strombezugskosten Großhandel	5,4 Mrd. € (+17%)	9,6 Mrd. € (+31%)	42,5 Mrd. € (+20%)	54,2 Mrd. € (+25%)
davon Kosten für Stromimporte	1,4 Mrd. € (+40%)	2,1 Mrd. € (+48%)	10,7 Mrd. € (+38%)	10,2 Mrd. € (+37%)
EE-Förderung (zur Vollkostendeckung)	-2,1 Mrd. € (-15%)	-3,6 Mrd. € (-26%)	-9,1 Mrd. € (-22%)	-11,4 Mrd. € (-28%)

Aus volkswirtschaftlicher Perspektive ergeben sich die in Tabelle 3-5 dargestellten Änderungen wesentlicher Kosten- und Erlösgrößen des Stromversorgungssystems.

Dabei ist wichtig festzustellen, dass einige Wirkungen, beispielsweise auf die Gesamtwirtschaft und Klimafolgenkosten, nur begrenzt quantifiziert werden können. Daher werden in Tabelle 3-5 ausschließlich die Effekte innerhalb des deutschen Stromsektors im Jahr 2030 aufgeführt.

Deutlich erkennbar ist in beiden Szenarien sowohl in Deutschland als auch Gesamteuropa eine durch den Gaspreisanstieg bedingte Zunahme der Erlöse im Großhandel. Die Erlöse im Großhandel ergeben sich aus dem Produkt der Strompreise und Erzeugungsmengen. Der Erlösanstieg resultiert aus einem generellen Anstieg der Großhandelspreise für Strom. Kausal hierfür ist der 50-prozentige Anstieg der variablen Erzeugungskosten von Gaskraftwerken. Diese weisen trotz Preisanstieg immer noch signifikante jährliche Erzeugungsmengen auf. Sie treiben als oftmals preissetzende Kraftwerke den generellen Strompreis. Gleichzeitig bleiben die Kostenstrukturen für andere Energieträger auch bei Eintritt des Schwarzen Schwan-Risikos konstant. Der Anstieg der Großhandelspreise führt somit zu einem direkten Anstieg der Produzentenrenten im Strommarkt, die die Differenz von Strompreisen und variablen Erzeugungskosten widerspiegeln und in Zeile 5 abgebildet sind.

Von Interesse ist die Entwicklung der gesamten Brennstoffkosten im Falle eines Gaspreisanstieges. Die Betrachtung der Veränderung der Erzeugungsstrukturen zeigt, dass im Referenzszenario

durch den Gaspreisanstieg ein Anteil der absinkenden Erzeugungsmengen in Gaskraftwerken durch Stromproduktion in deutschen Steinkohlekraftwerken ersetzt wird. Wenn die Kosten für CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht berücksichtigt werden, resultieren daraus sinkende Brennstoffkosten. Sie nehmen ab, da die variablen Erzeugungskosten der substituierenden Steinkohleerzeugung geringer sind als die Grenzkosten der Gaskraftwerke. Werden zusätzlich jedoch die CO<sub>2</sub>-Preise betrachtet, ist im Falle des Gaspreisanstiegs eine Zunahme der entsprechenden Kosten aufgrund der emissionsintensiveren Erzeugung in Steinkohlekraftwerken festzustellen. Im Kohleausstiegsszenario ist eine derartige Substitution wegen der Kraftwerksstrukturen nicht möglich. Es wird hauptsächlich mehr Strom importiert. Das Resultat sind sinkende Brennstoffkosten auch bei Berücksichtigung der Emissionskosten. Auf gesamteuropäischer Ebene ist eine Entwicklung analog zu den deutschen Auswirkungen im Referenzszenario zu beobachten. Ursächlich ist wiederum eine Substitution von Gas- durch Steinkohleerzeugung.

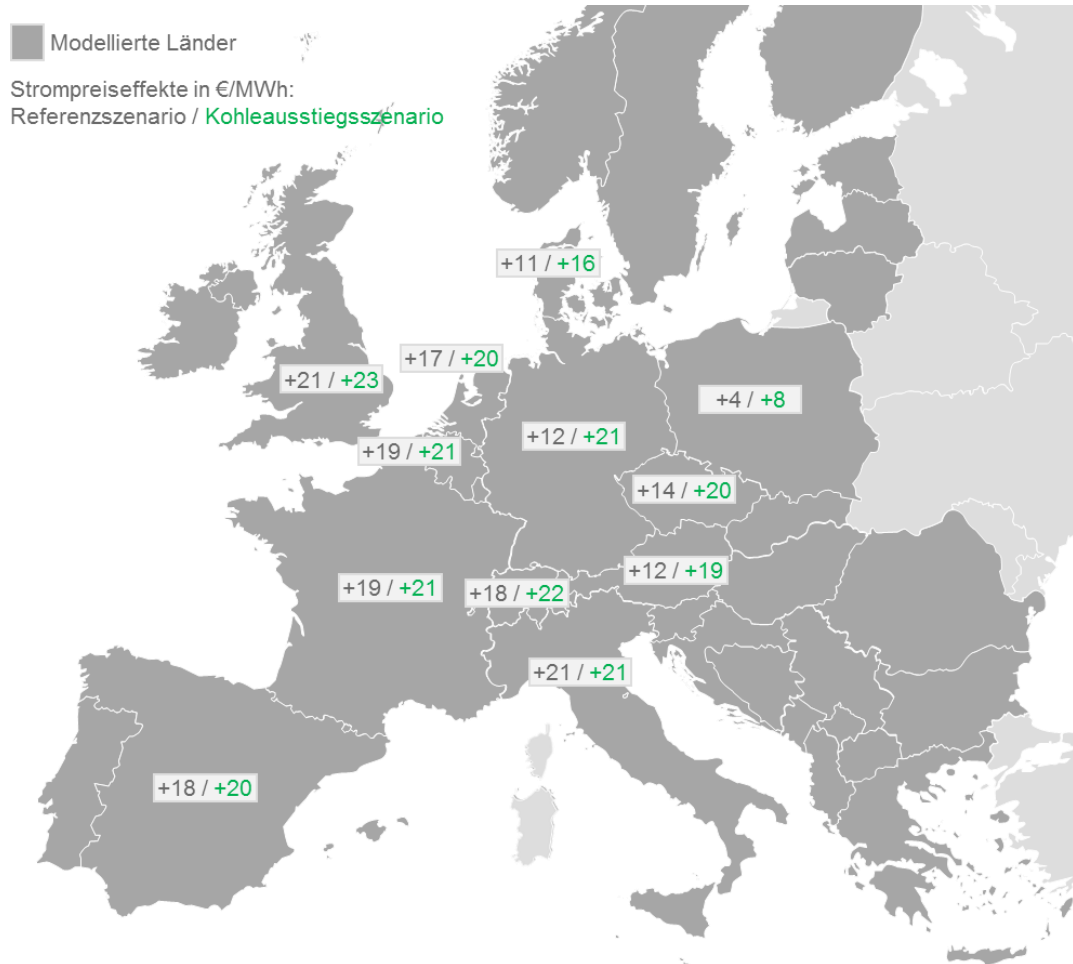
Die Kenngröße „Gesamte Variable Kosten Stromerzeugung“ umfasst neben Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preisen auch kraftwerksspezifische Anfahrtskosten und weitere variable Kostenbestandteile. Da die Brennstoff- und Emissionskosten den wesentlichen Anteil der Kostengröße ausmachen, entspricht die Entwicklung bei Eintritt eines Gaspreisanstiegs der Veränderung der Brennstoffkosten inklusive CO<sub>2</sub>-Kosten. Neben der Angebotsseite und entsprechender Produzentenrenten sind die Auswirkungen auf die Kosten der Konsumenten bedeutsam. Da diese für den gesamten Strombezug die ansteigenden Großhandelspreise zahlen, steigen die Strombezugskosten durch den Gaspreisanstieg sowohl in Deutschland als auch in Gesamteuropa. Insbesondere die Kosten für Stromimporte in Deutschland steigen an, da im Vergleich zu einer Modellrechnung ohne Gaspreisanstieg im Kohleausstiegsszenario deutlich mehr Strom importiert wird. Auch auf gesamteuropäischer Ebene steigt der Stromaustausch.

Der Fehlbetrag gibt die Lücke zur Vollkostendeckung von EE-Erzeugungsanlagen an und ist in der letzten Zeile ausgewiesen. Aufgrund der steigenden Stromgroßhandelspreise nehmen die Produzentenrenten der EE-Erzeuger zu und der Fehlbetrag sinkt. Somit nehmen zeitgleich die benötigten Subventionszahlungen zur Vollkostendeckung ab.

Bei Betrachtung der volkswirtschaftlichen Kenngrößen wurde bereits mehrfach auf die Entwicklung der Großhandelspreise verwiesen. Abbildung 3-24 stellt diesen Effekt quantitativ im europäischen Strombinnenmarkt dar. Generell ist ein deutlicher Preisanstieg in sämtlichen betrachteten Ländern verzeichnenbar. Das Ausmaß des Preisanstiegs ist hierbei insbesondere von der Bedeutung des Energieträgers Gas in den Stromversorgungssystemen der betrachteten Länder und möglichen Import- und Export-

potenzialen abhängig. Zudem ist erkennbar, dass der Strompreis-  
anstieg im Kohleausstiegsszenario deutlicher ausfällt.

Abbildung 3-24: Änderung der Stromgroßhandelspreise durch  
den Gaspreisanstieg in 2030 im Szenarienver-  
gleich



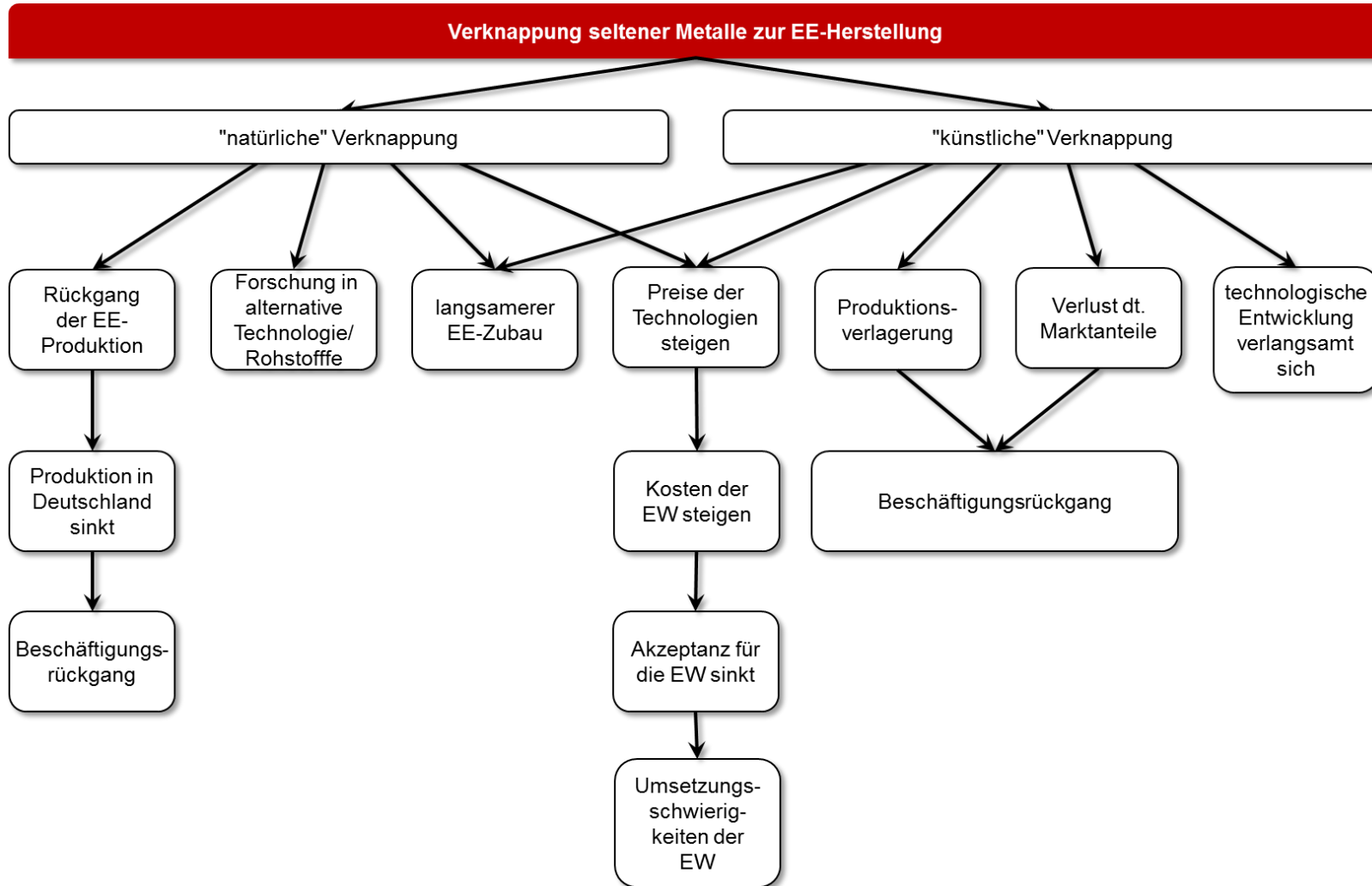
### 3.11 Rohstoffzugang für EE-Technologien

#### 3.11.1 Steckbrief

<b>Risikocluster</b>	Rohstoffzugang für EE Technologien					
<b>Kurzbeschreibung</b>	Der Zugang zu den für EE Technologien benötigten Rohstoffe ändert sich erheblich, was zum einen darauf zurückgeführt werden kann, dass die Rohstoffe an sich (z.B. Seltene Metalle, z.B. Neodym) in geringerem Umfang auf der Erde vorhanden sind bzw. abgebaut werden können. Die Folge wäre, dass weltweit alle Länder/Unternehmen in gleichem Umfang von der Ressourcenknappheit betroffen sind. Zum anderen könnte die Monopolstellung eines Landes (z.B. China oder Kasachstan) den Zugang zu den Ressourcen erschweren, was zu einer künstlichen Verknappung der Rohstoffe führt. In dieser Situation profitiert das Land von der Monopolstellung und schafft eine Abhängigkeit aller anderen ressourcen-nachfragenden Länder.					
<b>Wirkungsdimensionen</b>						
Wirtschaft	Politik	Gesellschaft	Akzeptanz	Technologie	Rohstoffe	Infrastruktur
2,57	2,07	1,29	2,07	2,29	2,86	1,57
Skala von 0 bis 3 (kein Einfluss bis hoher Einfluss), Experteneinschätzung						
<b>Initialrisiko für Wirkungskette</b>	Verknappung natürlich (Pfad a) & künstlich (Pfad b)) seltener Metalle zur Herstellung von EE-Technologien					
<b>Kurzbeschreibung Wirkungskette</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Internationale Produktion von EE-Technologien geht zurück (a) bzw. verlangsamt sich erheblich (b)</li> <li>▪ Der Zubau der EE Anlagen verlangsamt sich im Vergleich zu den Vorjahren und die Forschung in alternative Technologien oder Rohstoffe wird verstärkt (a &amp; b)</li> <li>▪ Teile der Produktion werden von Deutschland ins Ausland verlagert und deutsche Unternehmen verlieren Marktanteile (b)</li> <li>▪ Die Preise für Technologien steigen (a &amp; b)</li> <li>▪ Insgesamt negative gesamtwirtschaftliche Effekte und größere Schwierigkeiten auf Seiten der Politik, die Energiewende umzusetzen (a &amp; b)</li> </ul>					
<b>Weitere Beispiele für Initialrisiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kritische Rohstoffe für Querschnittstechnologien</li> <li>▪ Tipping Point für Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen: Z.B. wird eine bestimmte, als gefährlich eingestufte Abhängigkeit von wenigen (unsicheren) Lieferländern erreicht.</li> </ul>					
<b>Ähnlichkeiten mit anderen Risiko-clustern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risikocluster 13 „Folgekosten von Klimaschutztechnologien“: Durch die Verknappung der Rohstoffe steigen die Preise für die Technologien und somit auch die Kosten für die Energiewende.</li> </ul>					

### 3.11.2 Wirkungskette

Abbildung 3-25: Wirkungskette Rohstoffzugang für EE Technologien



### 3.11.3 Beschreibung und Analyse

#### 3.11.3.1 Beschreibung des Initialrisikos

Der Zugang zu kritischen Rohstoffen, die für EE Technologien benötigt werden, ändert sich erheblich. Gründe für diese Entwicklung können sein, dass zum einen der Umfang der vorhandenen bzw. (zu rentablen Kosten) abbaubaren Ressourcen überschätzt wurde (Pfad a), z.B. durch verschärfte Umwelt- oder Sozialstandards in den Förderländern oder Neueinschätzungen der Größe von Lagerstätten durch Beobachter wie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Zum anderen besteht die Möglichkeit, dass die Ressourcen künstlich verknappt werden, indem Länder, die über einen Großteil der Ressourcen verfügen, den Zugang zu diesen für andere Länder bspw. durch eine deutliche Erhöhung der Bezugspreise einschränken oder ein Anstieg im Umfang der alternativen Anwendungen zu einer höheren Nachfrage und höheren Preisen führen (Pfad b).

Grundsätzlich könnten Wirkungen des Initialrisikos sehr schnell eintreten. Bei sich kontinuierlich entwickelnden Änderungen der Nachfrage, bestehenden mehrjährigen Lieferverträgen und verschiedenen Lieferländern ist aber eher davon auszugehen, dass die Wirkungen erst nach einigen Jahren stärker durchschlagen (mittelfristiger Zeithorizont).

#### 3.11.3.2 Wirkungen des Initialrisikos

##### **Pfad a:**

##### **Verringerung des Zugangs zu Rohstoffen für EE Technologien durch Überschätzung des Umfangs oder extrem hoher Kosten des Abbaus**

Wenn die Änderung des Rohstoffzugangs zur Herstellung von EE Technologien dadurch ausgelöst wird, dass die Vorkommen bspw. der Seltenen Erden wie Neodym für Windanlagen in ihrem Umfang überschätzt wurden oder ein Abbau der Rohstoffe nur noch in Verbindung mit extrem hohen Kosten möglich ist, sind weltweit alle Länder und Unternehmen gleichermaßen von dieser Entwicklung betroffen. Weltweit ist ein Einbruch bei der Produktion von EE Technologien zu beobachten, wobei Deutschland keine Ausnahme darstellt. Als Folge sinkt die Beschäftigung in allen Wirtschaftsbereichen, die direkt oder indirekt mit der Herstellung oder Installation von EE Technologien verbunden sind.

##### **Pfad b:**

##### **„Künstliche“ Verknappung der Rohstoffe für EE Technologien durch Besitzmonopol eines Landes**

Bei einer künstlichen Verknappung der Rohstoffe bspw. durch das Besitzmonopol eines Landes sind Länder und Unternehmen in unterschiedlichem Grad betroffen. Dies hat für deutsche Unterneh-

men zur Folge, dass Teile der Produktion in das Land verlagert werden, das Zugang zu den Rohstoffen besitzt. Insgesamt werden deutsche Unternehmen allerdings Marktanteile verlieren und sich die Beschäftigungssituation in Deutschland in den betroffenen Wirtschaftsbereichen verschlechtern. Im Gegensatz zu der Situation, in der sich der Rohstoffzugang weltweit für alle Länder gleichermaßen erschwert, bricht die internationale Produktion von EE Technologien nicht ein, sondern es verlangsamt sich lediglich die (Weiter-) Entwicklung der Technologien aufgrund eines fehlenden Wettbewerbs.

### **Folgen einer Verknappung der Rohstoffe für EE Technologien unabhängig von der Ursache**

Insgesamt führt die erhebliche Änderung des Rohstoffzugangs dazu, dass der Zubau der EE Anlagen in Deutschland (und der Welt) sich langsamer vollzieht als in den Jahren zuvor. Weltweit werden sich die Forschungsanstrengungen im Hinblick auf alternative Rohstoffe erhöhen, um den Ausbau der EE weiter vorantreiben und die Klimaschutzziele trotzdem erreichen zu können. Längerfristig könnte durch verstärkte Forschung die Entwicklung von Alternativen, etwa auf organischer Basis, auch in Deutschland vorangetrieben werden. Darüber hinaus steigen die Preise der EE-Technologien, was die Kosten der Energiewende in die Höhe treibt und die gesellschaftliche Akzeptanz der Energiewende verringert. Die Politik trifft bei der Umsetzung der Energiewende auf größeren Widerstand.

#### **3.11.3.3 Betroffene Rahmenbedingungen**

Das Risikocluster betrifft insbesondere natürlich die Rahmenbedingungen für Rohstoffe, sowie die wirtschaftlichen und technologischen Rahmenbedingungen. Etwas abgeschwächt wirkt das Risiko auf die Akzeptanz in der Gesellschaft und die politischen Rahmenbedingungen. Durch Verringerung der Produktion von EE Technologien bzw. die Verlagerung dieser ins Ausland, werden alle mit der Herstellung und Installation von EE Technologien verbundenen Wirtschaftsbereiche negativ beeinflusst, was zu gesamtwirtschaftlich negativen Effekten in Deutschland führt. Um die Ziele der Energiewende nicht zu gefährden, werden erhebliche Anstrengungen unternommen, um Alternativen zu den bisher genutzten EE Technologien bzw. zu den bisher verwendeten Rohstoffen zu entwickeln. Die mit der Knappheit der Ressourcen in Verbindung stehenden steigenden Kosten der Energiewende führen letztlich dazu, dass die Akzeptanz in der Gesellschaft für die Energiewende sinkt und diese politisch schwieriger durchzusetzen ist.



#### **3.11.3.4 Quantifizierungsmöglichkeiten der Wirkungen**

Ausgehend von Annahmen zu den Kostensteigerungen einzelner EE-Technologien können zum Beispiel die Wirkungen auf den Strommarkt quantifiziert werden.

#### **3.11.3.5 Verbindungen und Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern**

Das Risikocluster 12 „Folgekosten von Klimaschutztechnologien“ steht in einer Verbindung zum Risikocluster 11: Durch die Verknappung der Rohstoffe steigen die Preise für die Technologien und somit auch die Kosten für die Energiewende.

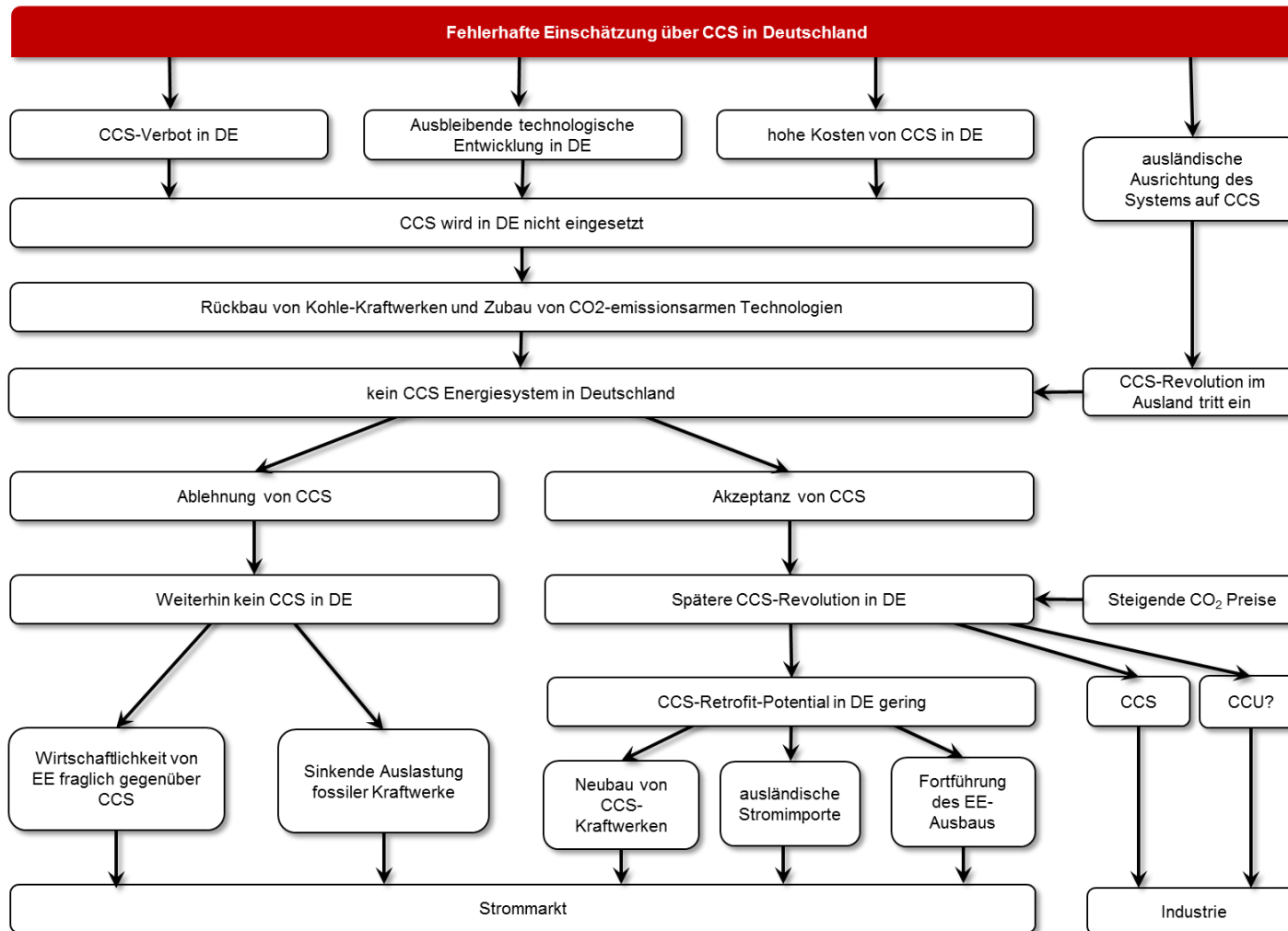
## 3.12 Stärkung fossiler Energietechnologien

### 3.12.1 Steckbrief

<b>Risikocluster</b>	Stärkung von auf fossilen Energien basierenden Technologien					
<b>Kurzbeschreibung</b>	In Deutschland geht man davon aus, dass Carbon Capture & Storage (CCS) in fossilen Kraftwerken keine Rolle spielt. Dann kommt es aber doch zu einem Durchbruch bei CCS im Ausland. Es wird eine Entwicklung untersucht, in welcher Deutschland trotz Wirtschaftlichkeit von CCS diese Technologie weiterhin ablehnt, und eine Entwicklung, in welcher in Deutschland CCS verspätet zugebaut wird.					
<b>Wirkungsdimensionen</b>						
Wirtschaft	Politik	Gesellschaft	Akzeptanz	Technologie	Rohstoffe	Infrastruktur
2,00	1,92	1,38	2,15	2,08	2,00	1,31
Skala von 0 bis 3 (kein Einfluss bis hoher Einfluss), Experteneinschätzung						
<b>Initialrisiko für Wirkungskette</b>	Das Stromsystem wird unter der fehlerhaften Annahme, dass Carbon Capture & Storage (CCS) in fossilen Kraftwerken keine Rolle spielt, ausgerichtet, und später damit konfrontiert, dass CCS doch wirtschaftlich einsetzbar ist					
<b>Kurzbeschreibung Wirkungskette</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Stromsystems wird ausgerichtet unter Erwartung, dass CCS im Stromsystem der Zukunft keine Rolle spielt (Rückbau von Kohlekraftwerken)</li> <li>▪ CCS-Revolution im Ausland tritt ein</li> <li>▪ Entscheidung in Deutschland, ob CCS weiter abgelehnt wird, oder ob es akzeptiert wird</li> <li>▪ Bei fortdauernder Ablehnung von CCS in Deutschland Import von CCS-Strom nach Deutschland und neu zu bewertende Wirtschaftlichkeit des EE-Ausbaus gegenüber verstärktem Zubau von CCS-Technologie im Ausland</li> <li>▪ Bei Umdenken in Deutschland bezüglich CCS ist das Retrofit-Potential der bestehenden Anlagen gering. Neubau von Kohlekraftwerken oder Festhalten an EE-Zielen sind denkbare Folgen</li> </ul>					
<b>Weitere Beispiele für Initialrisiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aufgrund von Effizienzgewinnen wird Kohleverflüssigung als wirtschaftliches Verfahren zunehmend v.a. in Australien und China angewandt</li> <li>▪ Einführung einer disruptiven Technologie, die die Effizienz konventioneller Kraftwerke erheblich steigert</li> </ul>					
<b>Ähnlichkeiten mit anderen Risiko-clustern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risikocluster 1 „Prioritätenänderung in Politik &amp; Gesellschaft“: Akzeptanzprobleme der Energiewende aufgrund sich verändernder Wirtschaftlichkeit fossiler Energieträger</li> <li>▪ Risikocluster 7 „Änderung der Energiepreise“: Änderung in der Wirtschaftlichkeit fossiler Energieträger</li> <li>▪ Risikocluster 8 „Finanzmittel für erneuerbare Energien“: Geänderte Investitionsverhalten auf Basis geänderter Wirtschaftlichkeit</li> </ul>					

### 3.12.2 Wirkungskette

Abbildung 3-26: Wirkungskette Stärkung fossiler Energietechnologien



### 3.12.3 Beschreibung und Analyse

#### 3.12.3.1 Beschreibung des Initialrisikos

Deutschland richtet sein Energieversorgungssystem in der Erwartung aus, dass es nicht zu einer Etablierung von Carbon Capture and Storage (CCS)-Technologie kommt. Dies kann verschiedene Gründe haben: ein politisches CCS-Verbot, die Erwartung mangelnder technologischer Entwicklung von CCS oder auch prohibitiv hohe Kosten von CCS. In 2030 gibt es eine CCS-Revolution im Ausland mit starkem Einfluss auf den deutschen Strommarkt. Im Rahmen der Darstellung resultierender Wirkzusammenhänge werden die Effekte in der deutschen Energiewirtschaft abgebildet.

#### 3.12.3.2 Wirkungen des Initialrisikos

##### Elektrizitätssektor

Aufgrund einer kategorischen Ablehnung von CCS als möglichem Technologiepfad erfolgen in Deutschland ein Rückbau von Kohlekraftwerken sowie ein Zubau von CO<sub>2</sub>-emissionsarmen Technologien. Dies geschieht aufgrund ansteigender CO<sub>2</sub>-Preise, welche emissionsintensive Kohlekraftwerke unrentabel werden lassen und CO<sub>2</sub>-emissionsarme Technologien wie Wind-, Solar- und Gaskraftwerke wettbewerbsfähiger machen. In 2030 gibt es entgegen deutscher Erwartungshaltung eine CCS-Revolution im Ausland, welche die Stromgestehungskosten von Bestands-Kohlekraftwerken mit CCS-Retrofit günstiger werden lassen als die Stromgestehungskosten von erneuerbaren Energien. Darüber hinaus gibt es einen energetisch günstigen und kostengünstigen Anschlussprozess, der aus dem CO<sub>2</sub> einen Feststoff herstellt, der problemlos zu deponieren ist und daher Akzeptanzprobleme vermeidet. Daher stellt sich die Frage, wie sich die Effekte einer Ausrichtung des Stromsystems unter fehlerhafter Einschätzung einer Etablierung von CCS-Technologie in der Stromwirtschaft in Deutschland darstellen. Es sind prinzipiell zwei Pfade denkbar:

##### **Pfad A:**

##### **Weiterhin Ablehnung von CCS in der Bevölkerung & weiterhin CCS-Verzicht in Deutschland**

Trotz CCS-Revolution im Ausland ist es möglich, dass die Bevölkerung und Regierung in Deutschland CCS weiterhin ablehnen. Die neue Situation im Ausland würde somit eine Neubewertung der Wirtschaftlichkeit des EE-Zubaus gegenüber fossilen Kraftwerken mit CCS im Ausland erfordern. Denn falls die Stromgestehungskosten von Bestands-Kohlekraftwerken mit CCS-Retrofit im Ausland ab 2030 günstiger werden würden als die Stromgestehungskosten von erneuerbaren Energien, stünde der weitere EE-Ausbau in Deutschland vor veränderten politischen Rahmenbedingungen und könnte eventuell mit Akzeptanzproblemen zu kämpfen

haben. Die Einführung von CCS im Ausland führt zu sinkenden CO<sub>2</sub>-Preisen, da entsprechende Vermeidungskosten sinken. Zeitgleich bleiben die Vermeidungskosten in Deutschland konstant. Dies führt bei einer gleichbleibenden Mengenbeschränkung dazu, dass CO<sub>2</sub>-Zertifikate vermehrt im Ausland erworben und die Emissionen der Kraftwerke innerhalb Deutschlands vermutlich zurückgehen. Ein Ausgleich der entsprechenden Erzeugung erfolgt durch einen Anstieg der Stromimporte in Deutschland.

#### **Pfad B:**

#### **Steigende Akzeptanz von CCS und fossilen Energieträgern in der Bevölkerung.**

Das Alternativszenario betrachtet einen Meinungsumschwung in Deutschland nach 2030. CCS sowie fossile Energieträger würden demnach in der Bevölkerung an Akzeptanz gewinnen. Aufgrund des CCS-Verzichts vor 2030 und aufgrund des hohen CO<sub>2</sub>-Preises wären viele emissionsintensive Kohlekraftwerke bis 2030 bereits aus dem Markt diffundiert. Somit wäre das CCS-Retrofitpotential für verbleibende Bestandskohlekraftwerke in Deutschland gering. Entsprechend müsste zwischen Investitionen in neue Kohle-CCS-Kraftwerke, der Fortführung des EE-Ausbaus ohne CCS-Kraftwerke und verstärkten Stromimporten von ausländischen fossilen Kraftwerken mit CCS-Technologie entschieden werden. Diese Entscheidung würde unter anderem von der Wirtschaftlichkeit neu zu bauender CCS-Kraftwerke unter Einhaltung der Sicherheitsanforderungen gegenüber EE-Anlagen abhängen.

#### **Industriesektor**

Falls CCS und Carbon Capture and Usage (CCU) für die Industrie wirtschaftlich zur Verfügung stünde, bestünde die Möglichkeit zur erleichterten Dekarbonisierung des Industriesektors.

#### **3.12.3.3 Betroffene Rahmenbedingungen**

Betroffen sind durch das Risikocluster die politischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, speziell im Strommarkt. Dabei könnten sich bisher als fortwährend eingestufte gesellschaftliche Präferenzen bezüglich der CCS-Technologie ändern. Dies hängt stark davon ab, inwieweit die technologische Entwicklung von CCS die Sicherheitsbedenken ausräumen kann und wie wirtschaftlich die CCS-Technologie einerseits in Kombination mit Bestandsanlagen (CCS-Retrofit) und andererseits mit Kraftwerksneubauten wird.

#### **3.12.3.4 Quantifizierungsmöglichkeiten der Wirkungen**

Es ist möglich, die Entwicklung des Stromsystems bei Erwartung und ohne Erwartung von CCS in der Zukunft als pfadabhängige Simulation von Investitionen und Rückbau im Stromsystem zu modellieren und zu vergleichen. Eine weitere Möglichkeit der Quanti-

fizierung würde die Bestimmung der Auswirkung einer Einschätzung auf das Stromsystem nach Einführung von CCS darstellen, die von der späteren realen Entwicklung abweicht. Dabei könnten zum Beispiel die Systemkosten, Investitionskosten, EE-Ausbau oder die Auswirkungen auf den deutsche CO<sub>2</sub>-Ausstoß untersucht werden.

### **3.12.3.5 Verbindungen und Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern**

Das Risikocluster zeigt starke Ähnlichkeiten und Verbindungen mit den Risikoclustern 1 „Prioritätenänderung in Politik & Gesellschaft“, 7 „Änderung der Energiepreise“ sowie 8 „Finanzmittel für erneuerbare Energien“ auf. Den Ansatzpunkt dafür stellen die Änderungen in der Wirtschaftlichkeit fossiler Energieträger dar, die dann ebenfalls auf die Akzeptanz oder das Investitionsverhalten Rückwirkungen aufzeigen können.

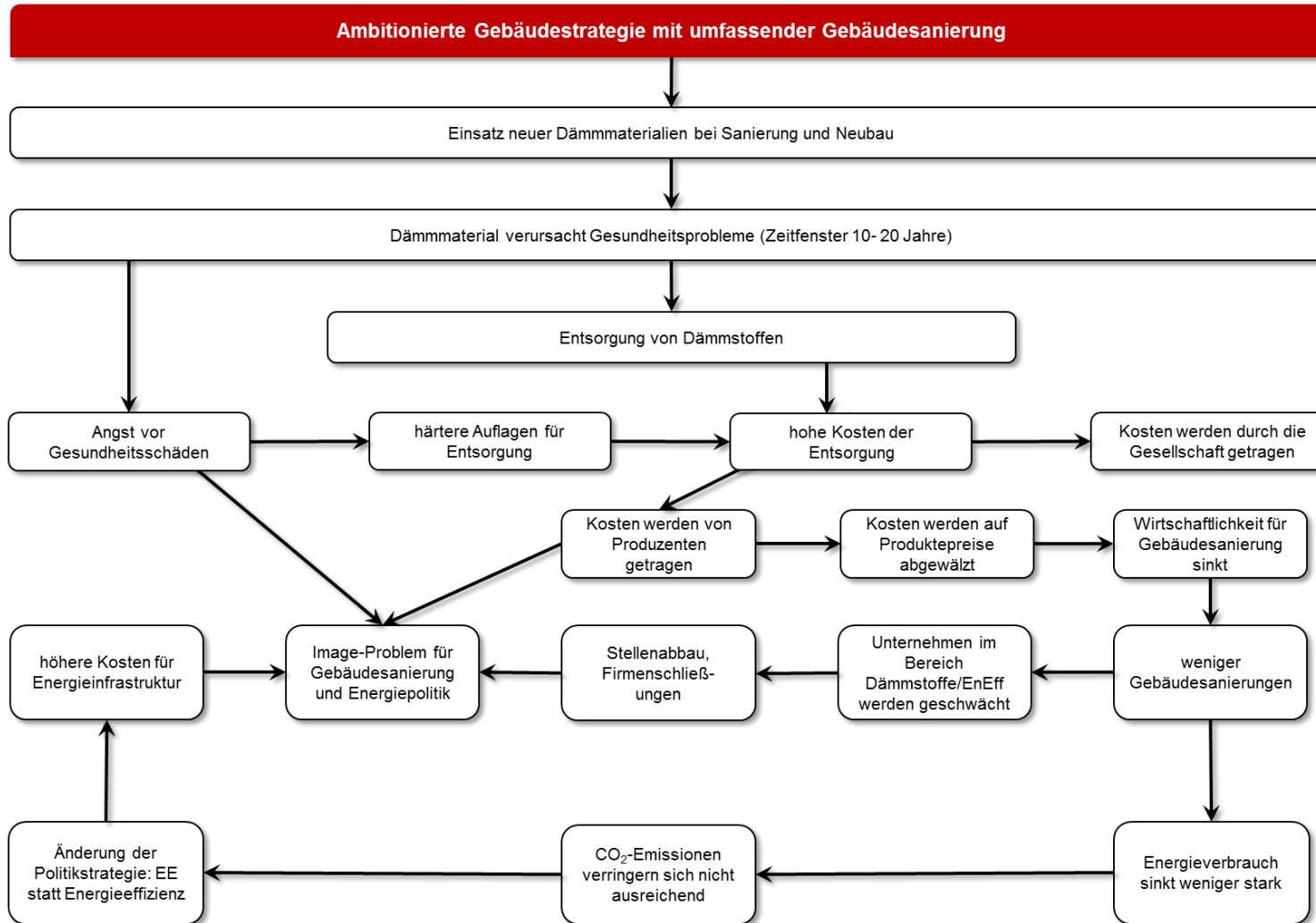
### 3.13 Folgekosten von Klimaschutztechnologien

#### 3.13.1 Steckbrief

<b>Risikocluster</b>	Folgekosten von Klimaschutztechnologien					
<b>Kurzbeschreibung</b>	Der Einsatz neuer Dämmmaterialien in der Gebäudesanierung und im Neubau führt zu Gesundheitsproblemen und hohen Entsorgungskosten. Damit sinkt die Akzeptanz für klimapolitische Maßnahmen im Gebäudebereich.					
<b>Wirkungsdimensionen</b>						
Wirtschaft	Politik	Gesellschaft	Akzeptanz	Technologie	Rohstoffe	Infrastruktur
2,14	2,36	2,21	2,71	1,50	0,93	1,07
Skala von 0 bis 3 (kein Einfluss bis hoher Einfluss), Experteneinschätzung						
<b>Initialrisiko für Wirkungskette</b>	Innovationen im Bereich von Dämmmaterialien unterstützen den flächendeckenden Einsatz dieser Materialien im Gebäudebereich. Nach einer gewissen Zeit werden Gesundheitsprobleme und hohe Kosten der Entsorgung bekannt.					
<b>Kurzbeschreibung Wirkungskette</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ambitionierte Gebäudestrategie mit umfassender Sanierung von Gebäuden</li> <li>▪ Innovationen im Bereich von Dämmmaterialien</li> <li>▪ Leistungsstarke Dämmmaterialien mit vergleichsweise geringen Kosten erreichen hohen Anteil an den verbauten Dämmstoffen</li> <li>▪ Zeitfenster von 10 bis 20 Jahren: Inhaltsstoffe des Dämmstoffes könnten massive Gesundheitsprobleme verursachen</li> <li>▪ Hohe Kosten für Ersatz und Entsorgung der Dämmstoffe</li> <li>▪ Imageproblem für die Branche und die Effizienzpolitik</li> <li>▪ Teilweise Kostenumwälzung auf Gesellschaft oder Hersteller: Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen nimmt ab</li> <li>▪ Branche gerät in wirtschaftliche Probleme: Stellenabbau und Firmenschließungen</li> <li>▪ Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen nehmen nicht im gewünschten Ausmaß ab und führt zu politischer Strategieänderung: Erneuerbare statt Energieeffizienz</li> <li>▪ Infrastruktur-Problem, hohe Kosten und fehlendes Vertrauen in Politik</li> </ul>					
<b>Auswirkungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ab 2030 nimmt die Sanierungsrate wg höherer Kosten ab</li> <li>▪ Ersatzinvestitionen für den Austausch und die Entsorgung der Dämmmaterialien nötig</li> <li>▪ Aufgrund der rückläufigen Erst-Sanierungsaktivitäten verringert sich der Energieverbrauch nur verlangsamt, die Energiekosten nehmen weniger ab</li> <li>▪ Investitionen zum Ersatz der Dämmmaterialien bringen keine Reduktion der Energiekosten, der Konsum geht zurück, auch Bruttoinlandsprodukt und Erwerbstätigkeit fallen deutlich niedriger aus</li> </ul>					
<b>Weitere Beispiele für Initialrisiken</b>	Ähnliche Wirkungszusammenhänge sind bei Technologien der erneuerbaren Stromerzeugung (PV, Wind) und weiteren für die Energiewende zentralen Technologien (z.B. Stromnetze, Speicher, Effizienztechnologien) vorstellbar.					
<b>Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Risikocluster 1 „Prioritätenänderung in Politik &amp; Gesellschaft“: Akzeptanz als Auslöser für geänderte Prioritätensetzung</li> <li>▪ Risikocluster 9 „Kriminalität &amp; Terrorismus“: Mögliche weitere Auslöser für geänderte Prioritätensetzung, d.h. ähnliche Wirkungsweisen und Effekte</li> </ul>					

### 3.13.2 Wirkungskette

Abbildung 3-27: Wirkungskette Folgekosten von Klimaschutztechnologien





### 3.13.3 Beschreibung und Analyse

#### 3.13.3.1 Beschreibung des Initialrisikos

Im Rahmen der Analysen wird davon ausgegangen, dass in Zukunft neue Dämmmaterialien im Gebäudebereich für Sanierung und Neubau eingesetzt werden. Innovationen im Bereich neuer Dämmmaterialien ermöglichen eine verbesserte Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen der Gebäudesanierung. Nach einer gewissen Zeit werden jedoch Gesundheitsprobleme durch einen zentralen Inhaltsstoff bekannt. Die neuen Dämmmaterialien müssen durch konventionelle Dämmstoffe ersetzt und entsorgt werden. Dadurch entstehen hohe Zusatzkosten.

#### 3.13.3.2 Wirkungen des Initialrisikos

Als Teil der Energiewende wird eine ambitionierte Gebäudestrategie mit einer umfassenden Sanierung von Gebäuden und Neubauten mit strengen Standards umgesetzt. Innovationen im Bereich von Dämmmaterialien werden von der Politik über eine umfassende Forschungsförderung angestoßen und sind in weiterer Folge ein wesentlicher Treiber von energetischen Gebäudesanierungen. Diese Innovationen ermöglichen kostengünstigere Sanierungsmaßnahmen mit weitreichenden Energieeinsparungen, wodurch sich die Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen verbessert. Damit wird in der Klimapolitik im Gebäudebereich ein verstärkter Fokus auf Effizienzmaßnahmen gelegt. Der nahezu klimaneutrale Gebäudebestand soll schwerpunktmäßig durch die Steigerung der Effizienz erreicht werden, wodurch geringere Beiträge im Bereich erneuerbarer Energien (und damit geringere Investitionen in Infrastruktur) notwendig werden.

### Gesundheitsprobleme, Entsorgungskosten und Imageschaden

Nach einigen Jahren verbreiten sich erste Gerüchte über die gesundheitsschädliche Wirkung eines zentralen Inhaltsstoffs des neuen Dämmmaterials. Den Ausgangspunkt stellt eine Untersuchung des Bundesinstituts für Risikoforschung zu Nanomaterialien dar, die in keinem Zusammenhang mit Dämmmaterialien steht. Allerdings stellt sich heraus, dass der Ausgangsstoff auch in den Dämmstoffen des Szenarios eingesetzt wird. Zunächst ist unklar, inwieweit Bewohner sanierten Gebäude ebenfalls einem Gesundheitsrisiko ausgesetzt sind. Nach einem Zeitfenster von ca. 15-20 Jahren ist die negative Wirkung des Materials im Labor wissenschaftlich belegt. Der Einsatz wird verboten. Um weitere Risiken zu vermeiden wird angeordnet, die potenziell schädlichen Dämmungen in Gebäuden zu ersetzen. Die gesundheitsgefährdenden Dämmstoffe müssen anschließend fachgerecht entsorgt werden. Aufgrund des hohen Risikopotenzials werden harte Auflagen an die Entsorgung gefordert. Es fallen hohe Kosten für die Entsorgung der Rest- und Gefahrstoffe an.

Hersteller von Dämmstoffen verneinen zuerst die Problematik. Als aber immer mehr Studien zu negativen gesundheitlichen Folgen des Inhaltsstoffes der neuen Dämmmaterialien auftauchen und die Kritik zunimmt, werden schließlich Zugeständnisse gemacht und Versäumnisse in der Prüfung der Materialien eingestanden. Dadurch entsteht ein massives Imageproblem für die Branche. Gleichzeitig wird der Politik vorgeworfen, von den Problemen gewusst zu haben und diese trotz besseren Wissens zu lange verschwiegen zu haben. Die Akzeptanz für die Energie(effizienz)politik sinkt, die Sanierungsaktivität geht zurück.

### **Reaktion der Politik**

Der Ersatz und die Entsorgung der gesundheitsschädlichen Dämmstoffen liegt in der Verantwortung der (Haus)Eigentümer. Damit fallen bei ihnen auch zusätzliche Kosten an. Zugleich greifen Regelungen zur Produkthaftung, sodass auch die Hersteller in einem gewissen Umfang an den anfallenden Kosten beteiligt werden. Die betroffenen Hersteller versuchen, die bei ihnen anfallenden Kosten durch Preisanpassungen in ihrem Produkt-Portfolio auszugleichen. Dadurch sinkt die Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen und führt dazu, dass die Sanierungsaktivitäten abnehmen. Zudem gerät die sich zuvor noch positiv entwickelnde Branche in massive wirtschaftliche Probleme. Die Folge sind Stellenabbau und Firmenschließungen. Dies erzeugt weitere Akzeptanzprobleme in der Gesellschaft durch die direkt oder über die Kommunikation in den Medien wahrgenommenen wirtschaftlichen Probleme in den betroffenen Branchen.

Aufgrund der drohenden Verfehlung klimapolitischer Ziele geraten die politischen Entscheidungsträger unter Handlungsdruck. Schließlich wird der Fokus der Klimapolitik wieder geändert: Anstatt Energieeinsparungen durch umfassende Gebäudemaßnahmen voranzutreiben wird versucht die Ziele über einen stärkeren Einsatz von erneuerbarer Wärme und Strom-Anwendungen (z.B. Wärmepumpen, Stromheizungen) zu erreichen (Dekarbonisierung). Aufgrund der drohenden Zielverfehlung ist die Politik dabei zu einem schnellen Handeln gezwungen.

### **Folgen der Änderung der energiepolitischen Ausrichtung**

Durch den gesteigerten Einsatz von erneuerbarer Wärme und den hohen Ausbau an erneuerbarer Stromerzeugung gerät die Infrastruktur (Netze, Speicher, etc.) an ihre Grenzen. Um schwerwiegende Folgen für die Versorgungssicherheit zu vermeiden, muss eine schnelle Anpassung der Infrastruktur (z.B. Stromnetze) erfolgen. Folge davon sind wiederum hohe Kosten, die von der Gesellschaft innerhalb eines relativ kurzen Zeitraums (wenige Jahre) getragen werden müssen, und weitere Akzeptanzprobleme entstehen.

Ein Teil des geplanten zusätzlichen Ausbaus erneuerbarer Stromerzeugung kann jedoch in kurzer Zeit aufgrund der fehlenden Infrastruktur nicht realisiert werden. Aus Gründen der Versorgungssicherheit können konventionelle Technologien auf Basis fossiler Energieträger nicht wie geplant ersetzt werden. Aus diesem Grund, und auch weil der Energieverbrauch aufgrund der nicht realisierbaren Einsparungen im Gebäudebereich weniger stark reduziert wird, müssen die klimapolitischen Ziele nach unten korrigiert werden bzw. eine Zielerreichungslücke muss eingestanden werden.

### 3.13.3.3 Betroffene Rahmenbedingungen

Die zentrale gesellschaftliche Rahmenbedingung, die durch mehrere Wirkungszusammenhänge beeinflusst wird, ist die Akzeptanz für Klimapolitik in der Bevölkerung. Die Gesellschaft verändert ihre Haltung zur Bedeutung der Klimapolitik und präferiert Maßnahmen zur Wiederherstellung der individuellen Sicherheit/Gesundheit. Darüber hinaus ist die Politik zu Anpassungen der Rahmenbedingungen für die Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienz-Maßnahmen gezwungen. Insgesamt verändern sich die gesetzten Rahmenbedingungen im Zeitverlauf: Zuerst erfolgt ein Fokus auf die Förderung von Energieeffizienz-Maßnahmen, dann wechselt der klimapolitische Fokus verstärkt auf die Förderung von erneuerbaren Energien. Aufgrund sich verändernder regulatorischer Voraussetzungen und Förderregimes hat dies spürbare Auswirkungen auf die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen in den betroffenen Branchen und Querschnittsbranchen. Die wechselnden Rahmenbedingungen sorgen für Unsicherheit und mindern die Investitionsbereitschaft der relevanten Unternehmen.

### 3.13.3.4 Quantifizierungsmöglichkeiten der Wirkungen

Die Quantifizierung der Wirkungen von Akzeptanzproblemen auf politische Entscheidungen und Strategien ist nicht möglich. Effekte von Ersatzinvestitionen und höheren Entsorgungskosten auf die Wirtschaftlichkeit von Gebäudesanierungsmaßnahmen sind für bestimmte Fallbeispiele möglich. Eine Gesamtbewertung ist jedoch nur beschränkt möglich. Denkbar ist der Vergleich mit der Referenzprognose, wenn für ein neues Szenario auf Basis einer nicht umfassenden Sanierung ein Gleichbleiben oder Anstieg des Energieverbrauchs angenommen wird.

### 3.13.3.5 Verbindungen und Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern

Ähnlichkeiten bestehen mit Risikoclustern, in denen Akzeptanzprobleme innerhalb der Gesellschaft ebenfalls eine wichtige Rolle spielen. Zu nennen sind der Risikocluster 1 („Gesellschaftliche Prioritätenänderung“) und der Risikocluster 9 („Kriminalität und Terrorismus“).

Ähnliche Wirkungszusammenhänge sind bei Technologien der erneuerbaren Stromerzeugung (PV, Wind) und weiteren für die Energiewende zentralen Technologien (z.B. Stromnetze, Speicher, Effizienztechnologien) möglich. Die hier skizzierten Zusammenhänge für den Bereich der Gebäudesanierung und Dämmmaterialien dienen dabei als Fallbeispiel.

#### 3.13.4 Beispielhafte Quantifizierung des Risikoclusters

Um die möglichen Auswirkungen bei einem Eintritt des Risikoclusters quantifizieren zu können, muss die oben dargestellte Beschreibung in einem Szenario näher definiert werden. Dieses Szenario, im Folgenden Schwarzer Schwan-Szenario genannt, wird dann mit einer Referenzentwicklung verglichen, bei der Dämmstoffe keine Gesundheitsrisiken darstellen. Als Referenzszenario wird das ESG-Effizienzscenario verwendet (Prognos et al. 2015). Die Gestaltung des Schwarzer Schwan-Szenarios selbst gibt keine Auskunft über seine Eintrittswahrscheinlichkeit; diese ist auch nicht Gegenstand der weiteren Ausführungen. Grundsätzlich gilt hier die Definition des Schwarzen Schwans als „unerwartet, überraschend und mit enormen Auswirkungen verbunden sowie nachträglich rationalisiert“.

Im Schwarzen Schwan-Szenario sind bereits ab den nächsten Jahren neue Dämmmaterialien am Markt erhältlich, die sehr effizient (hohe Dämmleistung) und im Vergleich zu herkömmlichen Dämmmaterialien kostengünstig sind. Die neuen Dämmmaterialien werden bei entsprechenden Baumaßnahmen mit einem Marktanteil von bis zu 50% eingesetzt. Der neue Dämmstoff unterstützt scheinbar die Realisierung der Energieeffizienzstrategie Gebäude, die grundsätzliche Entwicklung verläuft daher zunächst entlang des ESG-Effizienzscenarios. In diesem Szenario steigt die Sanierungsaktivität stark an. Die Sanierungsrate, verstanden als jährlich energetisch sanierte Wohnfläche im Verhältnis zur Gesamtwohnfläche, erhöht sich von rund 1,15 % im Jahr 2010, auf über 2 % im Jahr 2030. Gleichzeitig wird der Effizienzstandard der sanierten Gebäude angehoben.

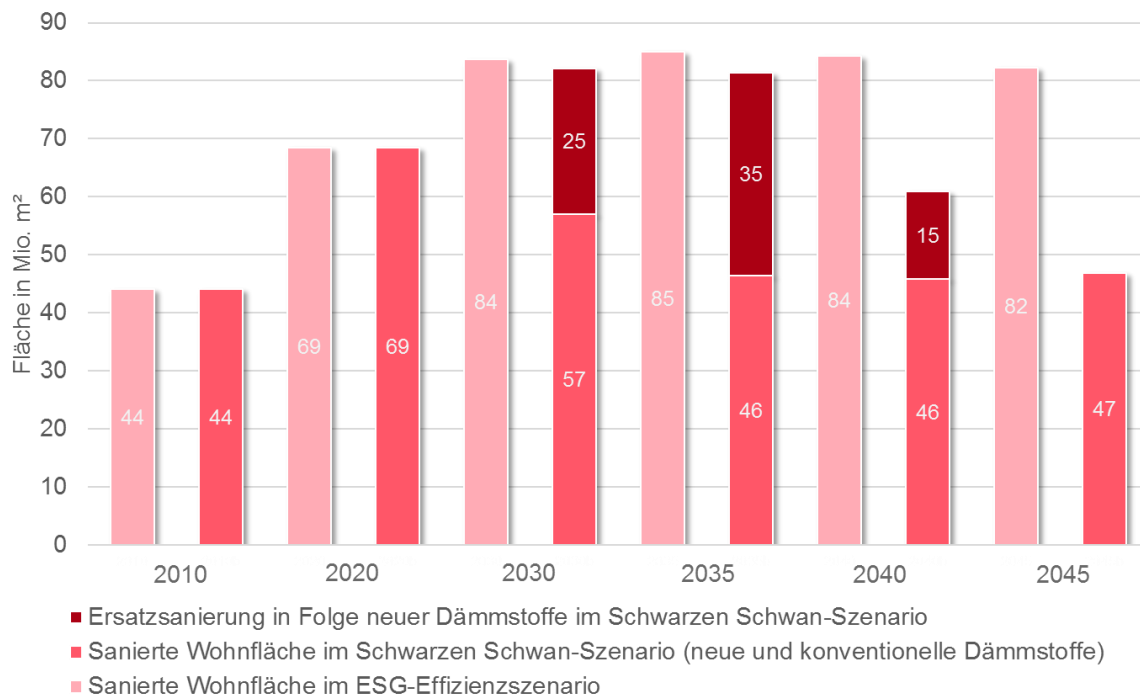
Bis etwa 2030 deuten wissenschaftliche Überprüfungen der zentralen Materialkomponente des neuen Dämmstoffs auf Gesundheitsrisiken hin: Schädigende Auswirkungen auf die Gesundheit der Bewohner sind wahrscheinlich, respektive sie können nicht ausgeschlossen werden. Als Vorsorge vor hohen Gesundheitsschäden und -kosten müssen die neuen Dämmmaterialien ersetzt und entsorgt werden. Schon um das Jahr 2030 kursieren erste Gerüchte und Hinweise zu den möglichen negativen Implikationen, so dass die Sanierungsrate gegenüber dem ESG-Effizienzscenario sinkt.

Unter der Annahme, dass der neue Dämmstoff nach 2020 einen Marktanteil von 50 % erreicht hatte, entspricht das zu ersetzende

Material etwa 40% der im Zeitraum seit Markteinführung und 2030 verbauten Dämmung. Aus dem Rückbau, dem Ersatz und der Entsorgung der gesundheitsgefährdenden Materialien ergeben sich zusätzliche Kosten.<sup>11</sup> Zudem wird die Gebäudesanierung bzw. Gebäudeisolierung gesellschaftlich als riskant wahrgenommen, sie bekommt ein negatives Image. Daher wird trotz Förderangeboten wesentlich weniger energetisch saniert. In diesem Szenario Schwarzer Schwan fällt die Sanierungsrate auf das Niveau des Jahres 2010 zurück (rund 1,15 %) und die Sanierungstiefe erreicht nicht das Effizienzniveau des ESG-Effizienzscenario, auch weil die alternativen Dämmmaterialien weniger leistungsfähig sind.

Die jährlich sanierten Wohnflächen im ESG-Effizienzscenario und im Schwarzen Schwan-Szenario sind in Abbildung 3-28 abgebildet. Die Ersatzsanierungen entsprechen den Wohnflächen, bei denen die gesundheitsschädlichen Dämmmaterialien ersetzt werden müssen; sie tragen nicht zur Reduktion des Energieverbrauchs bei.

Abbildung 3-28: Entwicklung der sanierten Wohnfläche (in Mio. m<sup>2</sup>)



Die noch zur Verfügung stehenden alternativen Dämmmaterialien sind teurer und weniger leistungsfähig. Die Durchführung ambitionierter energetischer Dämmmaßnahmen wird dadurch schwieriger

<sup>11</sup> Für den Rückbau/Entsorgung werden das 1,5-Fache der Kosten der energetischen Sanierung angenommen. Als Ersatzkosten durch neue Dämmschicht werden die Vollkosten angenommen, da der Ersatz außerhalb des natürlichen Sanierungszyklus durchgeführt wird.

und teurer. Die gesetzlichen Verbrauchsstandards werden deshalb sowohl bei Neubauten als auch bei Bestandssanierungen weniger stark abgesenkt als in der Basisentwicklung (ESG-Effizienzscenario).

Langfristig, nach 2040, sinken im Schwarzer Schwan-Szenario die Bauinvestitionen im Gebäudebestand: Die Ersatzsanierungen sind abgeschlossen und die Erst-Sanierungsaktivitäten sind rückläufig (Sanierungsrate sinkt auf das Niveau des Jahres 2010). Die Bauinvestitionen sind deshalb nach 2040 im Szenario des Schwarzen Schwans geringer als im ESG-Effizienzscenario. Im Vergleich der Szenarien ergeben sich in diesen Jahren daher negative Mehrkosten (vgl. Tabelle 3-6). Insgesamt ergeben sich jedoch im Schwarzer Schwan-Szenario über den Zeitraum bis 2050 kumulierte Mehrkosten im Gebäudebereich von über 125 Mrd. Euro.

Um dennoch das Emissionsziel im Gebäudesektor zu erreichen, muss im Szenario Schwarzer Schwan der Einsatz von Biomasse, Solarthermie, erneuerbarer Fernwärme und Wärmepumpen erhöht werden. Hier erfolgen Investitionen in EE-Anlagen und im Bereich der EE-Wärme. Damit steigen die Kosten gegenüber dem ESG-Effizienzscenario. Im Mittel der Jahre 2025 bis 2050 ergeben sich zusätzliche Investitionskosten von rund 1,46 Mrd pro Jahr. Euro. Kumuliert über die Jahre 2025 bis 2050 entstehen Mehrkosten im Umfang von 38 Mrd. Euro.

Insgesamt erhöhen sich auch die Energiekosten, da aufgrund der geringeren Effizienzanstrengungen (niedrigere Sanierungsrate, geringere Sanierungstiefe) der Raumwärmeverbrauch weniger reduziert wird. Im Schwarzer Schwan-Szenario steigt zudem der Preis für Biomasse aufgrund der Verknappung etwas stärker an als im ESG-Effizienzscenario. Um im Schwarzen Schwan-Szenario im Gebäudebereich den nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarf um mindestens 80 % reduzieren zu können<sup>12</sup>, müssen die fossilen Heizsysteme verstärkt ersetzt werden, so dass bis 2050 der Verbrauch an fossilen Energieträgern geringer ist als im ESG-Effizienzscenario. Dadurch erklären sich die niedrigeren Energiekosten in 2050 für Heizöl und Gas (vgl. Tabelle 3-6). Insgesamt fallen im Schwarzer Schwan-Szenario zwischen 2025 bis 2050 zusätzliche Energiekosten im Umfang von rund 50 Mrd. Euro an (Summe der Jahreswerte).

Die zusätzlichen Kosten aufgrund der negativen Wirkung auf die Gesundheit der Bevölkerung können nicht abgeschätzt werden, sie fehlen bei der Betrachtung.

---

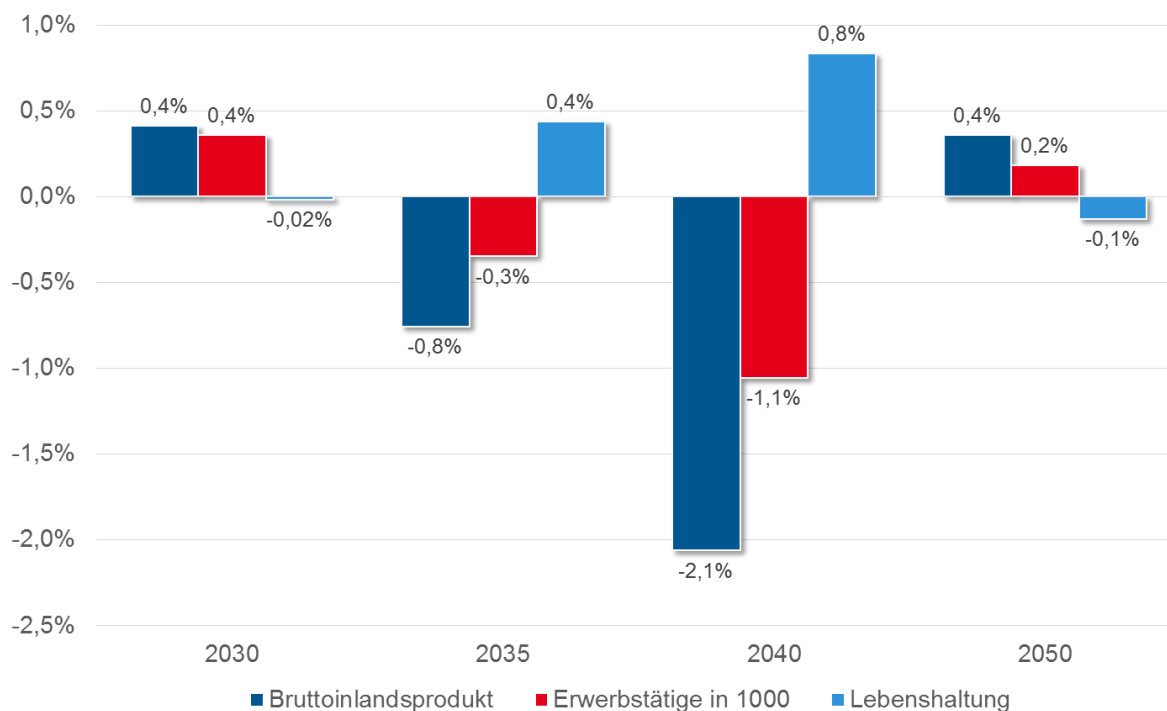
<sup>12</sup> Die Reduktion des nicht-erneuerbaren Primärenergiebedarf um 80 % entspricht der Mindestvorgabe für die Erreichung des nahezu klimaneutralen Gebäudebestands.

Tabelle 3-6: Jährliche Mehrkosten im Schwarzen Schwan-Szenario

	Mehrkosten (in Mio. €)			Summe 2025- 2050
	2030	2040	2050	
<b>Investitionen</b>				
Gebäude	13.617	4.006	-8.178	125.029
EE-Wärme	650	2.090	1.617	38.079
Summe	14.267	6.096	-6.561	163.108
<b>Energiekosten</b>				
Kohle	1	6	2	98
Heizöl	173	46	-756	-1.468
Erdgas/Gas	273	577	-455	6.995
Strom	83	245	344	4.604
Fernwärme	76	994	1.820	20.194
Biomasse	98	852	1.889	19.126
Summe	704	2.721	2.845	49.549

Auf dieser Basis lassen sich die volkswirtschaftlichen Auswirkungen der mit dem Eintritt des Schwarzen Schwan-Szenarios verbundenen Kosten im Vergleich mit dem Referenzszenario (ESG-Effizienzzenario) darstellen:

Abbildung 3-29: Volkswirtschaftliche Auswirkungen des Schwarzen Schwan-Szenarios im Vergleich zum Referenzszenario



Stärkere negative Auswirkungen entfaltet das Schwarzer Schwan-Szenario zwischen 2035 und 2040, mit einem Höhepunkt um 2040. Im Vergleich mit dem Referenzszenario fällt das Bruttoinlandsprodukt in 2040 um 2,1 Prozentpunkte geringer aus, die Zahl der Erwerbstätige um 1,1 Prozent. Zwar sind die Bauinvestitionen insbesondere in den Jahren 2030 und 2035 höher als im ESG-Effizienzscenario. Da zugleich hohe Kosten für die Entsorgung der Dämmmaterialien und höhere Energieausgaben anfallen, müssen vor allem die privaten Haushalte ihren (übrigen) Konsum deutlich einschränken (-77 Mrd. € im Jahr 2040). Das Preisniveau liegt insgesamt deutlich höher.

Im Jahr 2050 würden sich die Effekte mit einem im Vergleich zum Referenzszenario deutlich anderen Entwicklungspfad (niedrigere Bauinvestitionen, höherer privater Konsum) sowie einer anderen Struktur der Energieträger (weniger Öl- und Gas-Importe) leicht umkehren.

Tabelle 3-7: Volkswirtschaftliche Auswirkungen des Schwarzen Schwan-Szenarios im Vergleich zum Referenzszenario

	Absolutwerte				Abweichung in %			
	2030	2035	2040	2050	2030	2035	2040	2050
Komponenten des preisbereinigten BIP	Abweichungen in Mrd. €							
Bruttoinlandsprodukt	12,5	-23,7	-68,4	13,2	0,4	-0,8	-2,1	0,4
Privater Konsum	0,5	-43,0	-77,0	20,9	0,0	-2,6	-4,5	1,2
Staatskonsum	-0,1	-1,3	-3,3	0,9	0,0	-0,2	-0,5	0,1
Ausrüstungen	2,2	-2,2	-8,8	2,6	0,8	-0,7	-2,6	0,6
Bauten	14,0	17,6	3,0	-7,1	5,8	7,6	1,3	-3,3
Exporte	0,4	-0,7	-3,9	0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0
Importe	4,7	-6,2	-22,3	4,5	0,2	-0,3	-0,9	0,1
Preisindizes	Abw. in Prozentpunkten							
Lebenshaltung	-0,02	0,66	1,30	-0,22	-0,02	0,44	0,83	-0,13
Produktion	0,01	0,54	0,95	-0,16	0,00	0,39	0,67	-0,11
Importe	-0,02	0,03	0,08	-0,01	-0,01	0,02	0,06	0,00
Arbeitsmarkt	absolute Abweichungen							
Erwerbstätige in 1000	137	-128	-378	65	0,4	-0,3	-1,1	0,2
Erwerbslose in 1000	-85	79	234	-40	-6,2	5,4	12,7	-2,6



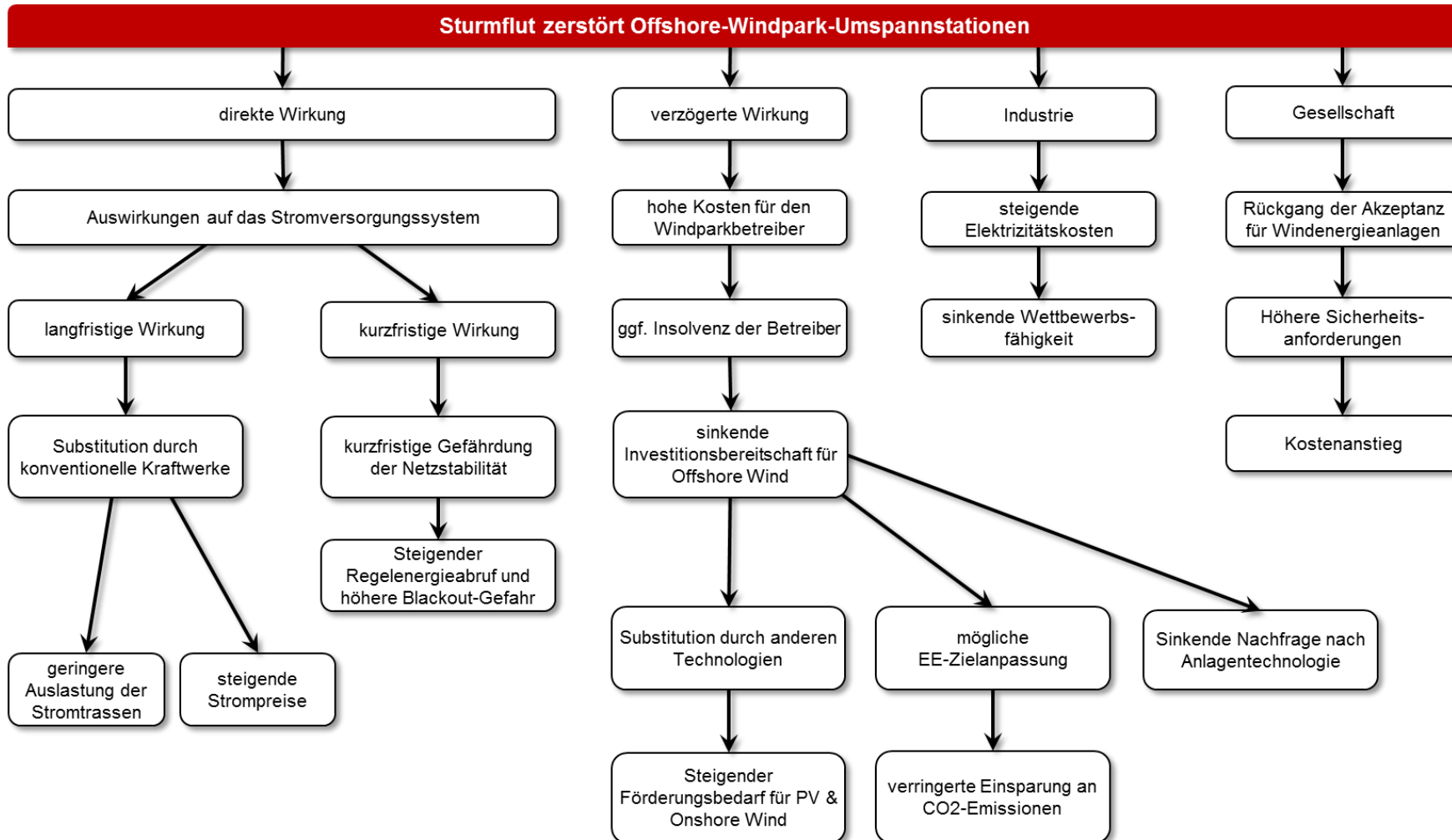
### 3.14 Extremwetter als Naturkatastrophe

#### 3.14.1 Steckbrief

<b>Risikocluster</b>	Extremwetter als Naturkatastrophe					
<b>Kurzbeschreibung</b>	Ein Sturm mit Orkanböen zerstört die Umspannstationen eines Offshore Windparks. Damit fällt unvorhergesehen eine Stromerzeugungsleistung von 900 MW aus.					
<b>Wirkungsdimensionen</b>						
Wirtschaft	Politik	Gesellschaft	Akzeptanz	Technologie	Rohstoffe	Infrastruktur
1,93	1,86	2,00	2,21	0,79	0,71	2,07
Skala von 0 bis 3 (kein Einfluss bis hoher Einfluss), Experteneinschätzung						
<b>Initialrisiko für Wirkungskette</b>	Extremwetter – Sturmflut zerstört Offshore-Windpark-Umspannstationen					
<b>Kurzbeschreibung Wirkungskette</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Der Ausfall von 900 MW Offshore Windkraft aufgrund eines Umspannstationsschadens führt kurzfristig zu einem Abruf von Regelenergie, um einen Blackout zu verhindern. Die entstehenden Netzinstabilitäten werden vom Netzverbund aufgefangen.</li> <li>Wirtschaftliche Einbußen betroffener Windparkbetreiber führen zu einer sinkenden Investitionsbereitschaft in Offshore-Windanlagen und damit verbunden zu wirtschaftlichen und politischen Implikationen</li> <li>Sinkende Akzeptanz von Windenergieanlagen als Investitionsoption. Neue Sicherheitsanforderungen führen zu höheren Kosten bei Bau und Betrieb von Windparks.</li> </ul>					
<b>Weitere Beispiele für Initialrisiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deutlich kälterer Winter führt zu Ausfall der Umspannstation (Phase mit deutlich kälteren Wintern / Extremwetterlagen)</li> <li>Sturm "knickt" Windkraftanlagen-Feld und verursacht damit Ausfall der gesamten Erzeugungsleistung des Windparks (Blackout).</li> </ul>					
<b>Ähnlichkeiten mit anderen Risiko-clustern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Risikocluster 8 „Finanzmittel für erneuerbare Energien“: Änderung des Investitionsverhaltens führt zu verringerten Finanzmitteln für erneuerbare Energien</li> <li>Risikocluster 15 „Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates“: Budgeteinschränkungen betreffen auch die Förderung erneuerbarer Energien</li> </ul>					

### 3.14.2 Wirkungskette

Abbildung 3-30: Wirkungskette Extremwetter als Naturkatastrophe



### 3.14.3 Beschreibung und Analyse

#### 3.14.3.1 Beschreibung des Initialrisikos

Im Bereich der Nordsee baut sich ein Sturmtief auf, das als Sturmflut mit Orkanböen über die dort errichteten Windparks hinwegzieht. Dabei werden zwei HVDC Offshore Umspannstationen irreparabel zerstört und somit können insgesamt 900 MW installierte Leistung unerwartet und kurzfristig ausfallen.

#### 3.14.3.2 Wirkungen des Initialrisikos

Der Ausfall der HVDC Offshore Umspannstationen würde zu Wirkungen in drei unterschiedlichen Bereichen führen: erstens wäre das Stromsystem beeinflusst, zweitens würden Auswirkungen in der Wirtschaft eintreten und drittens – voraussichtlich eher mit längerfristigem Wirkungshorizont – könnte die gesellschaftliche Einstellung gegenüber den erneuerbaren Energien und insbesondere der Windkraft auf See beeinflusst werden.

Die Wirkungsentfaltung nach Eintritt des Initialrisikos Extremwetter als Naturkatastrophe tritt vorwiegend kurz- und mittelfristig ein. Die Auswirkungen auf die Energiewende sind vorwiegend von mittel- bis längerfristiger Natur, da das System kurzfristig stabilisiert werden kann und die anderen Wirkungen erst mit einer gewissen Verzögerung erkennbar werden.

### Stromsystem

Grundsätzlich wäre mit dem Ausfall der HVDC Offshore Umspannstationen vermutlich keine Gefährdung der Systemstabilität verbunden, da ein Ausfall von 900 MW Leistung an einem Netzknotenpunkt vergleichbar der Größenordnung eines konventionellen Kraftwerksausfalls wäre und Regelenergieabruf im Netzregelverbund kurzfristig Systemstabilität gewährleisten könnte. Dennoch könnte dann ein temporär erhöhtes Blackout-Risiko bestehen, wenn beispielsweise zeitgleich ein Mehrfachausfall an anderer Stelle vorliegt und die verfügbare Regelleistung restringiert ist.

Bei dauerhafter Zerstörung der Anlagen wäre davon auszugehen, dass die längerfristig wegfallenden Offshore Wind-Erzeugungskapazitäten durch konventionelle Kraftwerksleistung ersetzt werden würden. Eine Substitution durch konventionelle Erzeugung wäre daher wahrscheinlich, da die bestehenden EE-Erzeugungsanlagen ohnehin mit ihrer maximal verfügbaren Erzeugungsleistung in das Netz einspeisen. Konventionelle Kraftwerkstechnologien weiter rechts in der Merit-Order, die nicht voll ausgelastet sind oder gar stillstehen, könnten die wegfallende Wind-Offshore-Erzeugung so substituieren. Leicht erhöhte Strompreise und ein Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen wären die Folge.

Eine reduzierte Einspeisung im Norden Deutschlands würde zudem tendenziell zu einer geringeren Auslastung der bestehenden Stromtrassen – insbesondere der Nord-Süd-Trasse – führen.

Längerfristig wäre mit weiteren, verzögerten Wirkungen und Effekten im Stromsystem bzw. an der Schnittstelle zur Energiewirtschaft zu rechnen. In erster Linie beträfe dies die Betreiber des betroffenen Offshore-Windparks, bei denen durch den Ausfall der Erlöse aus der Vermarktung der Erzeugungsleistung (fest verplante) Einnahmen wegfallen würden. Zusätzlich entstünden durch die Behebung der Schäden weitere Kosten beim Betreiber. Im schlimmsten Fall wäre der Betreiber damit der Gefahr einer Insolvenz ausgesetzt, da er sich nicht vollständig gegen derartige Schadensfälle verursacht durch höhere Gewalt absichern kann. Grundsätzlich wäre daher auch von einem Rückgang der Investitionsbereitschaft in Offshore Winderzeugung auszugehen. Zudem würden – u.a. zum Erhalt der gesellschaftlichen Akzeptanz – neue technische, bauliche oder betriebliche Sicherheitsanforderungen aufgestellt und damit der Bau und Betrieb von Windparks verteuert werden.

Damit würde der Zubau von Offshore Windparks verlangsamt oder ins Stocken geraten. Für die Erreichung des beabsichtigten Anteils erneuerbarer Energien im Energiesystem müssten dann andere Technologien einbezogen bzw. deren Bedeutung erhöht werden. Hieraus würde ein zunehmender monetärer Förderbedarf bei der Photovoltaik und evtl. auch für Onshore Wind erwachsen. Alternativ wäre jedoch auch eine Anpassung der EE-Ausbauziele nach unten denkbar.

## Wirtschaft

Bezogen auf die Wirtschaft könnten die längerfristig leicht ansteigenden Strompreise an Großhandelsmärkten und gegebenenfalls ansteigende EE-Umlagen zu steigenden Strompreisen für Industrie- und Haushaltskunden führen. Dies würde sich insbesondere bei energieintensiven Produktionsprozessen niederschlagen und dort zu erhöhten Kosten bzw. einer sinkenden Wettbewerbsfähigkeit führen.

Im Bereich des Produzierenden Gewerbes könnten längerfristig insbesondere diejenigen Unternehmen negativ beeinflusst werden, die sich mit der Herstellung, Errichtung oder dem Betrieb von Windkraftanlagen beschäftigen. Würde es zu einer signifikanten Änderung im Investitionsverhalten kommen, wären die Produzenten von Windkraftanlagen direkt betroffen, die Errichter und Betreiber eher in längerfristigem Wirkungshorizont.

## Gesellschaft

Könnte der Blackout vermieden werden, wären für die Gesellschaft kaum direkte und sehr kurzfristig eintretende Effekte zu erwarten. Indirekt könnte über die sinkende wirtschaftliche Wettbewerbsfä-

higkeit eine gewisse negative Auswirkung erwartet werden. Von höherer Bedeutung hingegen wären mit Sicherheit die eher längerfristig eintretenden bzw. bemerkbaren Auswirkungen auf die gesellschaftliche Akzeptanz oder damit in Verbindung stehenden neuen Anforderungen an eine technische Sicherung von Windparks.

Was auf Seiten der Investoren als abnehmende Investitionsbereitschaft in Offshore Wind zu erwarten wäre, fände seine gesellschaftliche Entsprechung in einer zunehmenden Skepsis gegenüber der Windkraft und ihrem Einsatz im Energie- bzw. Stromsystem. Insbesondere könnte die Akzeptanz von Windenergieanlagen sinken, wenn mit ihrem Einsatz negative Auswirkungen auf die Stromversorgung bzw. die Versorgungssicherheit einhergingen. Dabei wäre die Stärke und Eintrittsgeschwindigkeit der Akzeptanzminderung zum Beispiel davon abhängig, welche Auswirkungen schlussendlich mit dem Ausfall HVDC Offshore Umspannstationen verbunden wären: Bei einem partiellen Blackout würde die gesellschaftliche Akzeptanz mehr in Mitleidenschaft gezogen als wenn die Endverbraucher nicht betroffen wären. Generell würde zudem aus der Frage der gesellschaftlichen Akzeptanz die Forderung nach einer technischen Absicherung der Windparks resultieren. Zusätzliche technische und bauliche Maßnahmen würden eingefordert, um die Akzeptanz aufrecht zu erhalten. Damit verbunden würden die Kosten für die Errichtung und den Betrieb von Windparks ansteigen.

Längerfristig könnte die bestehende Kritik an Windparks wie zum Beispiel Natur- und Umweltschutz oder Lärm und Schattenwurf durch einen weiteren Aspekt ergänzt werden. Dies wäre dann der Fall, wenn in einem Analogieschluss mögliche Sturmschäden auf Onshore Windanlagen übertragen würden. Denkbar wäre hierbei sogar eine „Boulevardisierung“ im Stil eines Szenarios wie „Schulklasse im Windparkfeld erschlagen“, das bei entsprechend populistischer Verwendung sicherlich einen großen Einfluss auf die Akzeptanz hätte.

Ebenfalls längerfristig, wenn auch in sicherlich geringerem Ausmaß, wäre zu erwarten, dass die Effekte auf Wirtschaft wie eine geringere Wettbewerbsfähigkeit oder die Auswirkungen der sinkenden Investitionsbereitschaft indirekt auf die Akzeptanz der Windenergie rückwirken würden.

### 3.14.3.3 Betroffene Rahmenbedingungen

Im Wesentlichen würde durch einen sturmbedingten Ausfall von HVDC Umspannstationen für Offshore Windparks in erster Linie und vor allem kurzfristig die Infrastruktur als Rahmenbedingung der Energiewende betroffen sein. Längerfristig würde insbesondere die Akzeptanz sowohl auf Seiten der Investoren als auch – vor allem wohl in längerfristiger Perspektive – der Gesellschaft wo-

möglich sinken. Die absinkende Akzeptanz hätte dann sowohl direkt als auch indirekt Einfluss auf die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Generell wären die politischen Rahmenbedingungen damit ebenfalls betroffen, indem zum Beispiel Ziele der Energiewende u.U. reformiert bzw. die zu ihrer Erreichung eingesetzten (Förder)Instrumente neu entworfen werden müssten.

#### **3.14.3.4 Quantifizierungsmöglichkeiten der Wirkungen**

Eine Möglichkeit zur Wirkungsquantifizierung stellt die modellgestützte Simulation der Kraftwerks- und Erzeugungsstrukturen nach Ausfall von 900 MW Wind-Offshore dar.

#### **3.14.3.5 Verbindungen und Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern**

Das Risikocluster zeigt Verbindungen auf zu den Risikoclustern 8 „Finanzmittel für erneuerbare Energien“ und 15 „Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates“. Änderungen des Investitionsverhaltens führen ebenso wie die Einschränkungen der staatlich bereitgestellten Budgets zu verringerten Finanzmitteln für erneuerbare Energien. In geringem Umfang bestehen ebenfalls Verbindungen zu den Risikoclustern 12 „Stärkung fossiler Energietechnologien“ bzw. 7 „Änderung der Energiepreise“.

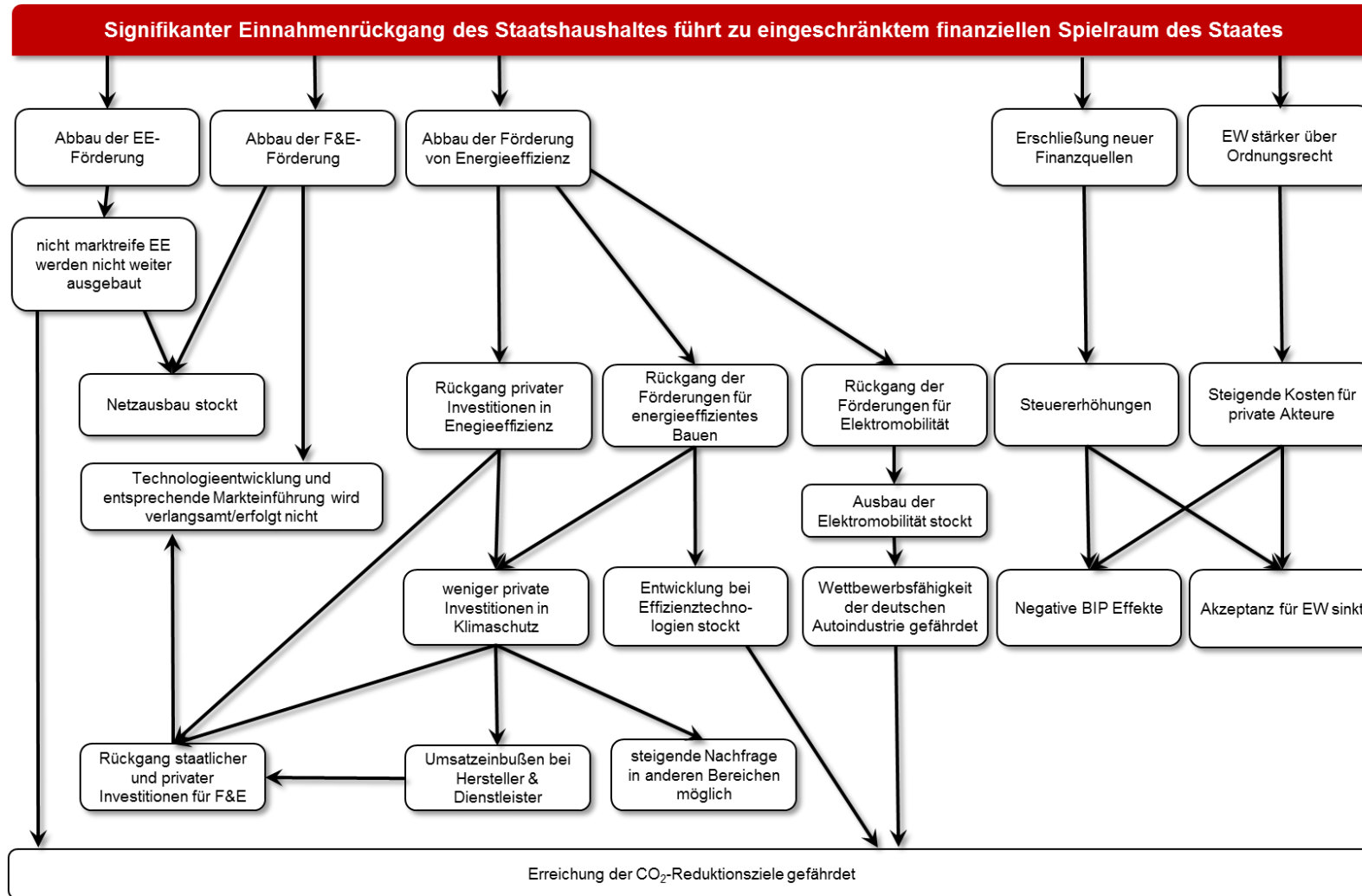
### 3.15 Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates

#### 3.15.1 Steckbrief

<b>Risikocluster</b>	Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates						
<b>Kurzbeschreibung</b>	Die weltwirtschaftliche Entwicklung hat signifikant negative Auswirkungen auf den Staatshaushalts Deutschlands. Damit sind verschiedene Änderungen in der Ausgabenstruktur sowie die Suche nach neuen Umsetzungsmöglichkeiten für die Realisierung der Energiewende verbunden.						
<b>Wirkungsdimensionen</b>	Wirtschaft	Politik	Gesellschaft	Akzeptanz	Technologie	Rohstoffe	Infrastruktur
	3,00	2,57	2,14	1,71	1,71	1,71	1,14
	Skala von 0 bis 3 (kein Einfluss bis hoher Einfluss), Experteneinschätzung						
<b>Initialrisiko für Wirkungskette</b>	Es kommt zu einem signifikanten Einnahmerrückgang des Staatshaushaltes aufgrund nicht näher dargestellter weltwirtschaftlicher krisenhafter Entwicklungen.						
<b>Kurzbeschreibung Wirkungskette</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Abbau der Förderung von erneuerbaren Energien, F&amp;E für erneuerbare Energien und Energieeffizienzmaßnahmen</li> <li>▪ Verlangsamung des technologischen Fortschritts bzw. der Marktdurchdringung und damit absehbare Verfehlung der klimapolitischen Zielsetzungen bzw. der Ziele der CO<sub>2</sub>-Reduktion</li> <li>▪ Erschließung von Finanzierungsoptionen wie Steuererhöhungen, neue Steuern etc. bzw. Nutzung des Ordnungsrechts für die Zielsetzungen der Energiewende führt zu Mehrbelastung von Unternehmen und privaten Haushalten sowie negativen gesamtwirtschaftlichen Effekten</li> </ul>						
<b>Auswirkungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fehlende finanzielle Mittel für Energie- und Klimapolitik</li> <li>▪ Maßnahmen in Energieeffizienz werden beispielhaft stark reduziert</li> <li>▪ Niedrigere Investitionen verringern die gesamtwirtschaftliche Nachfrage</li> <li>▪ CO<sub>2</sub>-Emissionen und Energieverbrauch steigen und sind mit höheren Energiekosten verbunden</li> <li>▪ Negative gesamtwirtschaftliche Effekte in Form eines niedrigeren BIP und geringerer Beschäftigung</li> </ul>						
<b>Weitere Beispiele für Initialrisiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entwicklung Weltwirtschaft (z.B. Chinas Wirtschaftswachstum bricht ein)</li> <li>▪ Niedrige Wachstumsrate: Auslöser „Krise in Europa“ (Auseinanderbrechen EU, Rezessionsphase ...); Kriege in der Welt, Zerfall/Schwächung der EU (nicht: technologischer Stillstand oder Alterung)</li> </ul>						
<b>Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cluster 1 „Prioritätenänderung in Politik &amp; Gesellschaft“: Geänderte Herausforderungen als (budgetrelevante) Prioritätenänderungen und Verteilungskonflikte</li> <li>▪ Cluster 6 „Internationales Klimaregime“: Ähnlichkeiten in verschiedenen Wirkungssträngen</li> <li>▪ Cluster 8 „Finanzmittel für erneuerbare Energien“: Budgetrelevante Prioritätenänderungen und Verteilungskonflikte</li> </ul>						

### 3.15.2 Wirkungskette

Abbildung 3-31: Wirkungskette Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates





### 3.15.3 Beschreibung und Analyse

#### 3.15.3.1 Beschreibung des Initialrisikos

Aufgrund nicht näher spezifizierter weltwirtschaftlicher Entwicklungen kommt es zu einer Wirtschaftskrise, die sich signifikant auf die finanziellen Spielräume des Staates auswirkt. Das Beispiel der Finanzkrise 2008 zeigt, dass entsprechende Verwerfungen innerhalb von Monaten, d.h. kurzfristig auftreten können. Damit sind verschiedene Änderungen in der Ausgabenstruktur sowie die Suche nach neuen Umsetzungsmöglichkeiten für die Realisierung der Energiewende sowie entsprechende Verteilungskonflikte verbunden.

#### 3.15.3.2 Wirkungen des Initialrisikos

Die zu erwartenden Auswirkungen eines reduzierten finanziellen Spielraums des Staates würden mit Bezug zur Energiewende mindestens auf drei Ebenen stattfinden. Neben strukturellen Änderungen der Förderung von erneuerbaren Energien bzw. deren Technologien würden neue Finanzierungsquellen für die Umsetzung der Energiewende erschlossen werden sowie die Umsetzung der Energiewende stärker durch alternative Instrumente des Ordnungsrechts erfolgen.

#### **Strukturelle Veränderungen der Förderung neuer Technologien für die Energiewende**

Ein verminderter finanzieller Spielraum des Staates hätte zuvorderst Rückwirkungen auf die Ausgestaltung des Haushaltes und die Verteilung der stark beschränkten finanziellen Ressourcen. Damit würden die politischen Gestaltungs- und Steuerungsmöglichkeiten in vielen Fällen reduziert. Eine wesentliche Ausprägung dieser Änderungen wäre im Abbau der Förderung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz als auch bei der entsprechenden Forschung und Entwicklung zu erwarten. Begleitend würde auch das allgemein zur Verfügung stehende Budget für Forschung und Entwicklung (F&E) reduziert, d.h. eine Substitution der reduzierten Förderung bei der Entwicklung erneuerbarer Energietechnologien könnte nicht erfolgen. Grundsätzlich würde damit zum einen die Technologieentwicklung, zum anderen aber auch die entsprechende Markteinführung oder –durchdringung verlangsamt. Dies könnte in bestimmten Bereichen mit derzeit noch nur gering ausgeprägter ökonomischer Bedeutung zur Einstellung der Aktivitäten in F&E bzw. des Marktaufbaus und –eintritts führen. Insgesamt würde sich die Entwicklung entsprechender Technologien verlangsamen und damit die Erreichung der klimapolitischen Zielsetzungen negativ beeinflussen.

Insbesondere der Abbau der Förderung von Energieeffizienzmaßnahmen würde dazu führen, dass entsprechende Aktivitäten in den

Unternehmen unterbleiben oder nur in geringem Umfang durchgeführt würden. Ebenso würden die Privathaushalte reagieren und zum Beispiel weniger Wohnungen energieeffizient saniert werden. Dies bedeutet, dass hierfür weniger Investitionen getätigt würden und somit Umsatzeinbußen bei Unternehmen, die Klimaschutzgüter herstellen oder Energieeffizienzmaßnahmen umsetzen, auftreten. Indirekt würden damit auch die jeweiligen Wertschöpfungsketten beeinträchtigt, wie zum Beispiel der Bausektor. Grundsätzlich könnten die damit frei gewordenen Investitionsmittel jedoch auch in anderen Bereichen zu einem Nachfragewachstum führen. Dennoch wäre davon auszugehen, dass die Entwicklung bei den Effizienztechnologien ins Stocken gerät und insgesamt weniger finanzielle Mittel für erneuerbare Energien vorhanden wären.

Ähnlich würde sich die Entwicklung im Bereich der Elektromobilität darstellen: auch hier würden einerseits die Technologieentwicklung andererseits auch die Markteinführung und –durchsetzung verlangsamt oder würden sogar erliegen. Damit würden die ehrgeizigen, mit der massenhaften Einführung der Elektromobilität verbundenen politischen Ziele nicht erreicht werden können. Darüber hinaus wäre indirekt und eher längerfristig auch die deutsche Autoindustrie in ihrer wirtschaftlichen und technischen Entwicklung gefährdet.

### **Erschließung neuer Finanzierungsquellen**

Um den eingeeengten finanziellen Spielraum wieder zu erweitern, wäre es eine Möglichkeit für die politischen Akteure neue Finanzierungsquellen erschließen. Als allgemein akzeptierte Optionen würde dabei neben der Erhöhung bestehender Steuern auch die Entwicklung von neuen Steuern mit dem Ziel erfolgen, für die Finanzierung der Energiewende und ihrer Umsetzung zusätzliche Ressourcen zu gewinnen. Beispielsweise haben IWF und Weltbank vor dem Pariser Klimagipfel für CO<sub>2</sub>-Steuern geworben. Zudem könnte der Versteigerungsanteil im ETS, der für die Finanzierung der Maßnahmen zur Umsetzung der Energiewende herangezogen wird, erhöht werden. Mit Maßnahmen dieser Art könnte der finanzielle Spielraum des Staates durch den Zufluss neuer Mittel erweitert werden.

Insbesondere die steuerlichen Maßnahmen würden Unternehmen und Privathaushalte jedoch stärker belasten als heute. Damit verbunden wären dann zum einen negative gesamtwirtschaftliche Effekte, da die steuerlichen Mehraufwendungen dem Wirtschaftskreislauf entzogen würden. Tendenziell verbunden wäre damit eine Verstärkung der wirtschaftlichen Krise bzw. die weitere Gefahr eines reduzierten oder ausbleibenden Wachstums der Wirtschaft, da benötigte Investitionsmittel – zum Beispiel für F&E-Maßnahmen oder Energieeffizienzmaßnahmen – nicht oder nur in geringerem Umfang aufgebracht werden könnten. Zum anderen würde damit aber auch die Akzeptanz für Maßnahmen der Energiewende nega-

tiv beeinflusst, da die steuerliche Belastung anwachsen und damit das frei verfügbare Einkommen bei Privathaushalten bzw. das verfügbare Kapital bei Unternehmen reduziert würde und nicht mehr für die eigenen konsumtiven oder investiven Interessen genutzt werden könnte. Insbesondere bei organisierten Akteuren wie Lobbyverbänden würde zudem die politische Unterstützung sinken, da die jeweiligen Partialinteressen der Akteure betroffen wären.

### **Durchführung der Energiewende als Teil des Ordnungsrechts**

Zumindest aus Sicht des Staatshaushaltes wäre die weitere Umsetzung der Energiewende im Rahmen des Ordnungsrechts eine gangbare Lösung, die eine Umgehung der finanziellen Restriktionen erlauben würde. Es würden zwar keine neuen Einnahmen erzeugt werden, aber die Ausgaben für die Umsetzung der Energiewende auf die Unternehmen und Privathaushalte übertragen werden.

Mit ordnungsrechtlichen Vorgaben könnte die Finanzierung der Maßnahmen der Energiewende entweder nach dem Verursacherprinzip oder aber allgemein über Auflagen etc. erfolgen. Unabhängig von der konkreten Ausgestaltung wären damit aber jeweils steigende Kosten für Unternehmen und Privathaushalte verbunden. Auch hier wären negative gesamtwirtschaftliche Effekte ebenso zu erwarten wie eine sinkende Akzeptanz der Energiewende und ihre abnehmende politische Unterstützung.

#### **3.15.3.3 Betroffene Rahmenbedingungen**

Zu den Rahmenbedingungen, die im Wesentlichen bei einem Eintritt des zugrundeliegenden Risikoclusters beeinflusst würden, zählen zuvorderst die Wirtschaft und die Politik. Letztere würde zudem über die Änderungen in den Rahmenbedingungen Akzeptanz und Technologie aufgrund der Rückwirkungen auf die Zielerreichung der Energiewende bedingt beeinflusst und unter Handlungsdruck geraten: die Verlangsamung des technologischen Fortschritts bzw. der Umsetzung von klimapolitischen Maßnahmen hätte Einfluss auf die Erreichung der CO<sub>2</sub>-Zielsetzungen, zugleich würde die sinkende Akzeptanz in Gesellschaft und Wirtschaft zu einem erhöhten Handlungsdruck führen.

#### **3.15.3.4 Quantifizierungsmöglichkeiten der Wirkungen**

Quantifiziert werden könnten die Folgen einer sinkenden Förderung für EE, Energieeffizienzmaßnahmen oder Elektromobilität. Damit könnte sich die jeweilige Technologieentwicklung verlangsamten und verschiedene energiepolitische Ziele nicht erreicht werden. Gesamtwirtschaftliche Effekte ergeben sich durch niedrigere Investitionen wegen fehlender Förderung z.B. zur Gebäudesanierung. Wirtschaftliche Effekte in den entsprechenden Industrien

sind auch von der Entwicklung im Rest der Welt (und Annahmen dazu) abhängig.

### 3.15.3.5 Verbindungen und Ähnlichkeiten mit anderen Risikoclustern

Das Risikocluster zeichnet sich durch eine starke Ähnlichkeit mit Risikocluster 8 „Finanzmittel für erneuerbare Energien“ aus, da beide Änderungen des finanziellen Rahmens für die Durchführung der Energiewende behandeln. Zudem kann durch die Verteilungskonflikte, die mit der Neuaushandlung von Haushaltsbudgets einhergehen, auch eine Analogie zum Risikocluster 1 „Prioritätenänderung in Politik & Gesellschaft“ aufgezeigt werden: Verteilungskonflikte sind in dieser Sicht auch immer ein sichtbares Zeichen für Änderungen in der Setzung politischer und gesellschaftlicher Prioritäten, da mit bzw. in ihnen bestimmt wird, welche Herausforderungen als lösungsrelevant erachtet werden und damit eine Hierarchisierung erfolgt. Auch können Ähnlichkeiten zum Risikocluster 6 „Internationales Klimaregime“ und seinen detaillierten Wirkungen angenommen werden.

### 3.15.4 Beispielhafte Quantifizierung des Risikoclusters

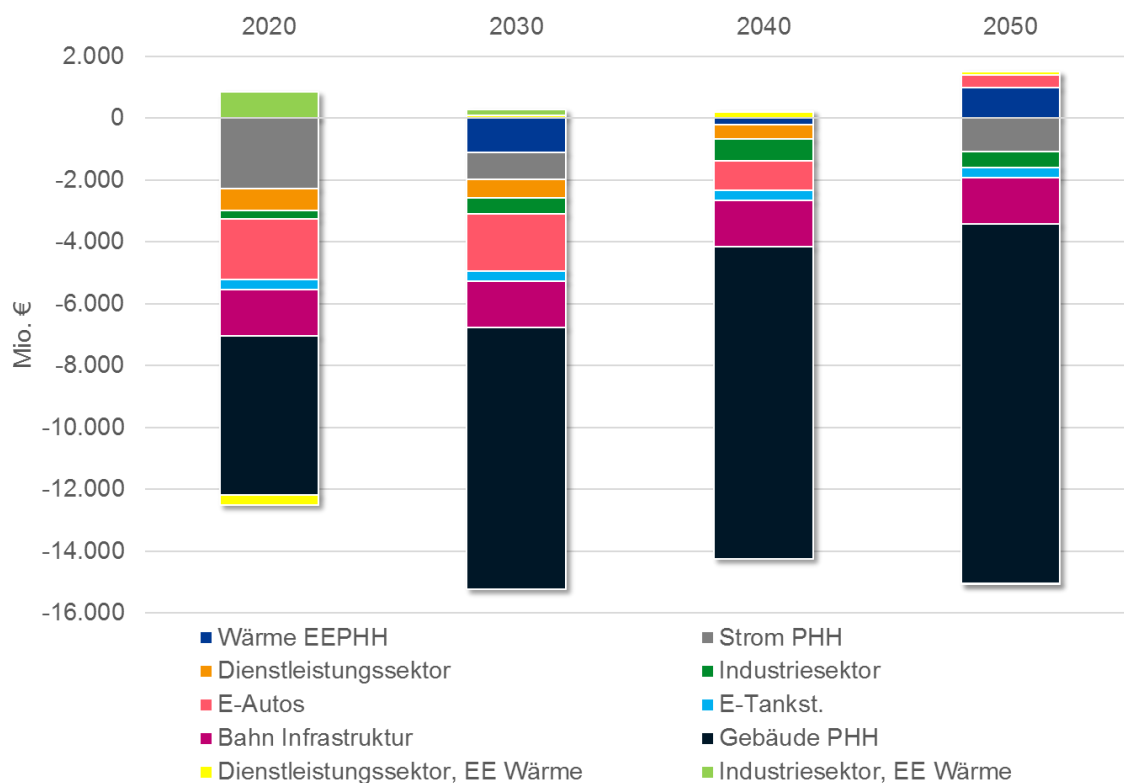
Die Quantifizierung geht von einer nicht näher konkretisierten Verschlechterung der globalen wirtschaftlichen Entwicklung aus. Als Folge ist der finanzielle Spielraum der öffentlichen Haushalte in Deutschland deutlich eingeschränkt. Im Folgenden wird nur betrachtet, was eine dadurch bedingte deutliche Einschränkung der Förderung von Energieeffizienzmaßnahmen durch den Staat bedeuten würde. Die Wirkung fehlender Finanzmittel für erneuerbare Energien ist bereits in Abschnitt 3.8 beispielhaft quantifiziert worden und bleibt an dieser Stelle unberücksichtigt.

Als Quantifizierungsbeispiel dienen die Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung (Prognos, EWI, GWS 2010). Es wird untersucht, was ein Wegfall der zusätzlichen Effizienzmaßnahmen im Szenario II A gesamtwirtschaftlich bedeuten würde. Um die Energieeinsparungen in den Zielszenarien zu erreichen, wäre die Umsetzung zahlreicher technischer Maßnahmen notwendig, die mit Investitionen verbunden sind.

Die wegfallenden Investitionen konzentrieren sich im Bereich der privaten Haushalte auf Einsparungen von Raumwärme und Strom. Bei Industrie und Dienstleistungen werden solche Effizienzmaßnahmen nicht umgesetzt, die im Rahmen der jeweiligen Rahmenbedingungen betriebswirtschaftlich ihre Kosten durch Einsparungen wieder einspielen. Im Verkehrssektor unterbleiben Investitionen in Elektromobilität, sowohl in Fahrzeuge als auch in Infrastruktur, sowie im Bereich Schienengüterverkehr.

Die verschiedenen Investitionselemente werden in Abbildung 3-32 im Vergleich zu Szenario II A im Zeitablauf dargestellt.

Abbildung 3-32: Investitionsdifferenzen in den Nachfragesektoren im Schwarzen Schwan-Szenario im Vergleich zu einer Referenz (Szenario II A der Energieszenarien) mit verstärkten Energieeffizienzmaßnahmen



Die nicht getätigten Investitionen in Energieeffizienz reduzieren unmittelbar die gesamtwirtschaftliche Nachfrage. Bei geringerer Beschäftigung fallen die Einkommen der privaten Haushalte etwas niedriger aus, was auch den privaten Konsum im Vergleich zur Referenz etwas verringert. Wegen der nicht getätigten Investitionen und der damit verbundenen höheren Energieverbräuche liegen die Produktionspreise und damit auch der Preisindex der Lebenshaltung höher als in der Referenz. Die Importe fossiler Energieträger sind langfristig höher, was sich insbesondere bei hohen Energiepreisen negativ auf die Handelsbilanz auswirkt.

Der in Tabelle 3-8 dargestellte Staatskonsum erfasst nur den konsumtiven Teil der staatlichen Ausgaben. Die im Rahmen der Quantifizierung wegfallenden Fördermittel sind darin nicht enthalten.

Abbildung 3-33: Volkswirtschaftliche Auswirkungen des Schwarzen Schwan-Szenarios im Vergleich zu einer Referenz ohne verstärkte Energieeffizienzmaßnahmen

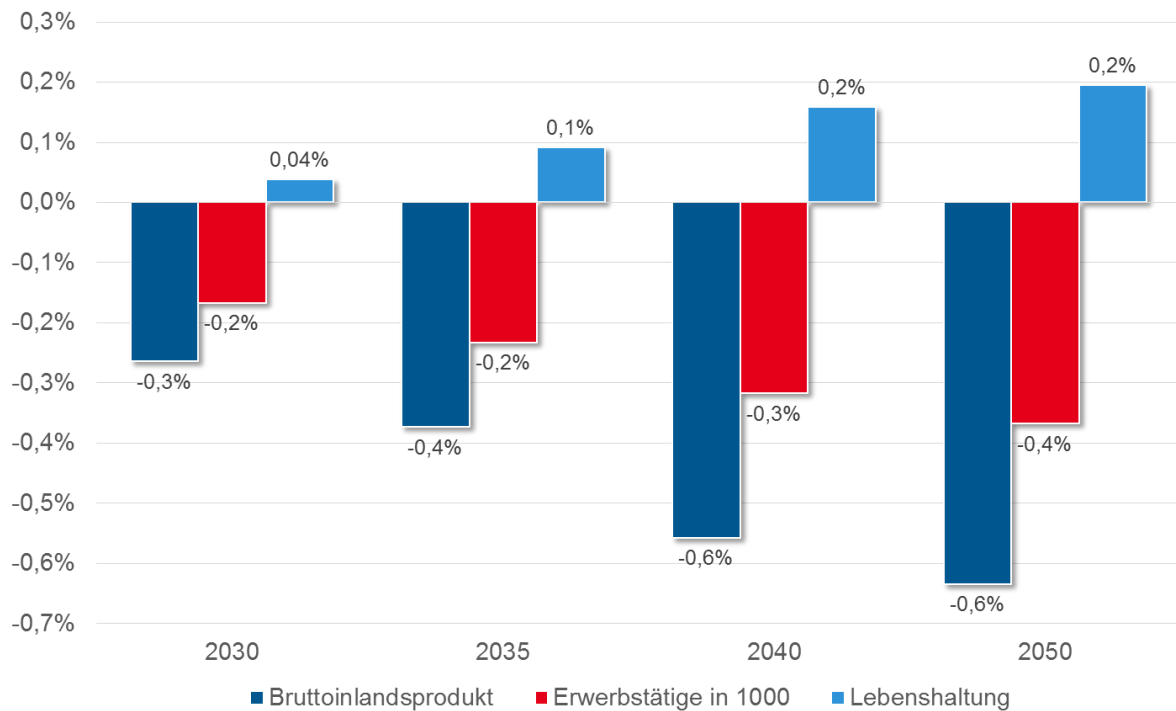


Tabelle 3-8: Volkswirtschaftliche Auswirkungen des Schwarzen Schwan-Szenarios im Vergleich zu einer Referenz ohne verstärkte Energieeffizienzmaßnahmen

	Absolutwerte				Abweichung in %			
	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Komponenten des preisbereinigten BIP								
	Abweichungen in Mrd. €							
Bruttoinlandsprodukt	-7,1	-11,2	-18,5	-23,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,6
Privater Konsum	-3,7	-3,9	-5,5	-7,4	-0,3	-0,2	-0,3	-0,4
Staatskonsum	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8	0,0	-0,1	-0,1	-0,1
Ausrüstungen	-1,0	-1,9	-2,4	-3,0	-0,4	-0,6	-0,7	-0,7
Bauten	-4,1	-5,9	-8,2	-10,6	-1,8	-2,4	-3,6	-4,9
Exporte	-0,3	-1,2	-3,5	-5,2	0,0	-0,1	-0,1	-0,1
Importe	-2,2	-2,0	-1,9	-3,5	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1
Preisindizes								
	Abw. in Prozentpunkten							
Lebenshaltung	0,05	0,12	0,22	0,28	0,04	0,09	0,16	0,20
Produktion	0,04	0,15	0,26	0,27	0,04	0,11	0,18	0,18
Importe	0,03	0,15	0,39	0,56	0,03	0,12	0,29	0,41
Arbeitsmarkt								
	absolute Abweichungen							
Erwerbstätige in 1000	-67	-90	-114	-130	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4
Erwerbslose in 1000	41	55	70	80	1,7	4,0	3,8	5,1

## 4 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

### 4.1 Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Schwarzen Schwäne

Die auf die Einzelrisiken bezogenen konkreten Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen erfolgen auf Ebene der Risikocluster (Kapitel 2.2.2). Daher wird in diesem Kapitel von den in Kapitel 3 dargestellten Risiken und deren spezifischen Ausprägungen abstrahiert.

#### 4.1.1 Ergebnisse der Analyse

##### 4.1.1.1 Einfluss auf Rahmenbedingungen

Schon im Rahmen der Auswahl der vertieft zu bearbeitenden Risikocluster wurde der Einfluss der 41 Risikocluster auf die Rahmenbedingungen der Energiewende untersucht. Dargestellt sind diese Einschätzungen im jeweiligen Steckbrief zu den 15 ausgewählten Risikocluster (Kapitel 3). Die folgende Tabelle fasst die Einschätzungen zusammen und bildet daraus eine Gesamtbewertung für jedes der ausgewählten Risikocluster:

Tabelle 4-1: Einfluss der Risikocluster auf die Rahmenbedingungen

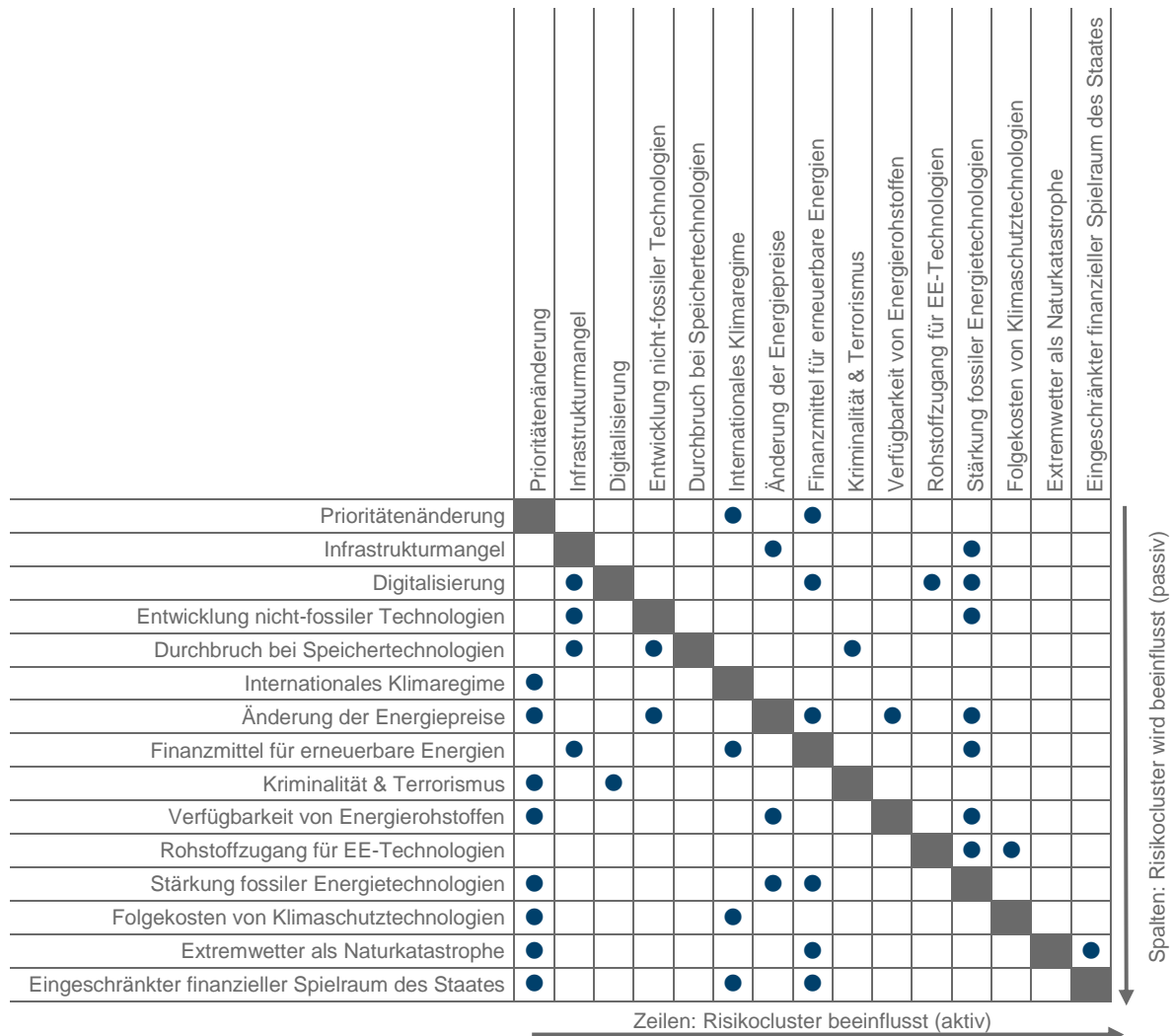
	Gesamt	Wirtschaft	Politik	Gesellschaft	Akzeptanz	Technologie	Rohstoffe	Infrastruktur
Prioritätenänderung	mittel	mittel	hoch	hoch	hoch	mittel	mittel	mittel
Infrastrukturmangel	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel	gering	hoch
Digitalisierung	mittel	hoch	mittel	mittel	gering	hoch	gering	mittel
Entwicklung nicht-fossiler Technologien	mittel	hoch	mittel	mittel	hoch	hoch	mittel	mittel
Durchbruch bei Speichertechnologien	mittel	mittel	mittel	mittel	hoch	hoch	mittel	hoch
Internationales Klimaregime	mittel	hoch	hoch	mittel	hoch	mittel	mittel	mittel
Änderung der Energiepreise	hoch	hoch	hoch	mittel	hoch	mittel	mittel	mittel
Finanzmittel für erneuerbare Energien	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel	hoch	mittel	mittel
Kriminalität & Terrorismus	mittel	hoch	hoch	hoch	mittel	mittel	mittel	hoch
Verfügbarkeit von Energierohstoffen	hoch	hoch	hoch	mittel	hoch	hoch	hoch	mittel
Rohstoffzugang für EE-Technologien	hoch	hoch	hoch	mittel	hoch	hoch	hoch	mittel
Stärkung fossiler Energietechnologien	mittel	hoch	mittel	mittel	hoch	hoch	hoch	mittel
Folgekosten von Klimaschutztechnologien	mittel	hoch	hoch	hoch	hoch	mittel	gering	mittel
Extremwetter als Naturkatastrophe	mittel	mittel	mittel	hoch	hoch	gering	gering	hoch
Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates	hoch	hoch	hoch	hoch	mittel	mittel	mittel	mittel

#### 4.1.1.2 Gegenseitige Beeinflussungspotenziale der betrachteten Risikocluster

Grundsätzlich hat sich herausgestellt, dass die Risikocluster nicht unabhängig voneinander existieren, sondern dass eine Vielzahl von Überschneidungen in den Wirkungsketten auftreten können. Daher können sich die Risikocluster gegenseitig beeinflussen. Die Intensität der Beeinflussung ist dabei unterschiedlich. Unterschieden werden kann grundsätzlich in eine aktive Beeinflussung, bei der das Risikocluster ein oder mehrere andere Risikocluster beeinflusst und in die passive Beeinflussung, bei der ein Risikocluster von einem oder mehreren anderen Risikoclustern beeinflusst wird. In der folgenden Abbildung werden die gegenseitigen Beeinflussungen schematisiert und auf die wichtigen und im Text oben jeweils benannten Aspekte beschränkt. Damit wird keine Aussage über die Intensität des Einflusses getroffen.



Abbildung 4-1: Gegenseitige Beeinflussung der Risikocluster



Deutlich tritt hervor, dass manche Risikocluster stark aktiv beeinflussend wirken, während wiederum andere eher beeinflusst werden. So kann zum Beispiel das Risikocluster „Digitalisierung“ vier andere Risikocluster beeinflussen, wird aber nur von einem Risikocluster potenziell beeinflusst. Umgekehrt kann das Risikocluster „Prioritätenänderung“ von acht anderen Risikoclustern beeinflusst werden, selbst hat es allerdings einen eher eingeschränkten Wirkungsbereich bei nur zwei weiteren Risikoclustern.

Auffällig ist, dass pro Risikocluster eine aktive Beeinflussung in der Regel weniger häufig vorkommt als eine passive Beeinflussung. Das bedeutet, dass in der Regel der Eintritt eines Risikoclusters nicht zum Eintreten anderer Cluster führt. Umgekehrt ist allerdings zu erwarten, dass bei einem gleichzeitigen Eintritt unterschiedlicher Risikocluster eine Beeinflussung auftritt.

Ausnahmen vom Primat der passiven Beeinflussung bilden die Risikocluster „Änderung der Energiepreise“ sowie „Digitalisierung“. Ihr Eintritt würde möglicherweise als Anstoß für weitere Risiken,

zumindest aber für eine Verstärkung der in ihnen angelegten Wirkungsketten fungieren. Die Risikocluster „Prioritätenänderung“, „Stärkung fossiler Energietechnologien“ sowie „Finanzmittel für erneuerbare Energien“ sind diejenigen, die am häufigsten durch andere Risikocluster beeinflusst werden könnten. Die folgende Tabelle fasst die aktive und passive Beeinflussung der Risikocluster zusammen.

Tabelle 4-2: Systematisierung der gegenseitigen Beeinflussung

	Beeinflussungen	Aktiv	Passiv
Prioritätenänderung	10	gering	hoch
Infrastrukturmangel	6	gering	mittel
Digitalisierung	5	hoch	gering
Entwicklung nicht-fossiler Technologien	4	gering	gering
Durchbruch bei Speichertechnologien	3	mittel	gering
Internationales Klimaregime	5	gering	mittel
Änderung der Energiepreise	8	hoch	gering
Finanzmittel für erneuerbare Energien	9	mittel	hoch
Kriminalität & Terrorismus	3	gering	gering
Verfügbarkeit von Energierohstoffen	4	mittel	gering
Rohstoffzugang für EE-Technologien	3	gering	gering
Stärkung fossiler Energietechnologien	10	mittel	hoch
Folgekosten von Klimaschutztechnologien	3	gering	gering
Extremwetter als Naturkatastrophe	3	mittel	gering
Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates	4	mittel	gering

Zu den Risikoclustern, deren (aktives und passives) Beeinflussungspotenzial am höchsten ist, zählen neben „Prioritätenänderung“ und „Stärkung fossiler Energietechnologien“ noch „Finanzmittel für erneuerbare Energien“ sowie „Änderung der Energiepreise“. Diese vier Risikocluster umreißen zudem die wesentlichen Punkte, die als Wirkungsdimensionen der unterschiedlichen Risikocluster abgeleitet werden können:

- Politische Wirkungen: Der Eintritt eines Risikoclusters hat Rückwirkungen auf die politische Agenda und kann deren zukünftige Ausrichtung mitbestimmen. Wesentlich hierfür ist der Einfluss auf das Agenda Setting und damit die Problemwahrnehmung durch politische Akteure.
- Finanzierungssituation der erneuerbaren Energien: Der Eintritt eines Risikoclusters hat Rückwirkungen auf die Verfügbarkeit von finanziellen Ressourcen. Diese Ressourcen können durch Private oder durch die öffentliche Hand bereitgestellt werden.
- Wirtschaftlichkeit der erneuerbaren Energien: Der Eintritt eines Risikoclusters hat Rückwirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der erneuerbaren Energien. Damit ist insbesondere für nicht-

öffentliche Akteure ein wesentlicher Aspekt für oder gegen ein Engagement im Bereich der erneuerbaren Energien angesprochen.

#### 4.1.1.3 Zeithorizonte der Risikocluster

Die Risikocluster wirken in einer bestimmten zeitlichen Dimension. Wie die Analyse der Risikocluster gezeigt hat, können die Einflüsse auf die Energiewende kurz-, mittel- oder auch erst langfristig erfolgen (Wirkungseintritt). Die folgende Tabelle fasst die erwarteten und jeweils in Kapitel 3 dargestellten Zeithorizonte zusammen:

Tabelle 4-3: Zeithorizonte der Wirkungen einzelner Risikocluster

	Zeithorizont gesamt	kurzfristig (bis 5 J.)	mittelfristig (5 bis 10 J.)	langfristig (mehr als 10 J.)
Prioritätenänderung	kurz	x		
Infrastrukturmangel	kurz	x		
Digitalisierung	mittel		x	
Entwicklung nicht-fossiler Technologien	lang			x
Durchbruch bei Speichertechnologien	mittel		x	
Internationales Klimaregime	mittel		x	
Änderung der Energiepreise	kurz	x		
Finanzmittel für erneuerbare Energien	mittel		x	
Kriminalität & Terrorismus	kurz	x		
Verfügbarkeit von Energierohstoffen	mittel		x	
Rohstoffzugang für EE-Technologien	mittel		x	
Stärkung fossiler Energietechnologien	mittel		x	
Folgekosten von Klimaschutztechnologien	mittel		x	
Extremwetter als Naturkatastrophe	mittel		x	
Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates	kurz	x		

#### 4.1.1.4 Wirkungsbereiche der Risikocluster

Die Risikocluster haben jeweils unterschiedliche Wirkungsbereiche, in denen sie für die Energiewende Relevanz entfalten können. Dabei erfolgt die Analyse entsprechend der Zielsetzungen der Energiewende und deren zwei Säulen (Kapitel 2.1.). Einschätzt wurden daher potenzielle Einflüsse auf die Entwicklung/Situation der erneuerbaren Energien sowie der Energieeffizienz. Dabei wird die Energieeffizienz unterschieden in den verhaltensbasierten Aspekt der Energieeinsparung sowie dem technischen Aspekt der Energieeffizienz, zumeist die mit Investitionen verbundene Umsetzung technischer und systemischer Maßnahmen. Die folgende Tabelle fasst die Einschätzungen auf Basis der Analyse in Kapitel 3 zusammen:

Tabelle 4-4: Wesentliche Wirkungsbereiche der Risikocluster

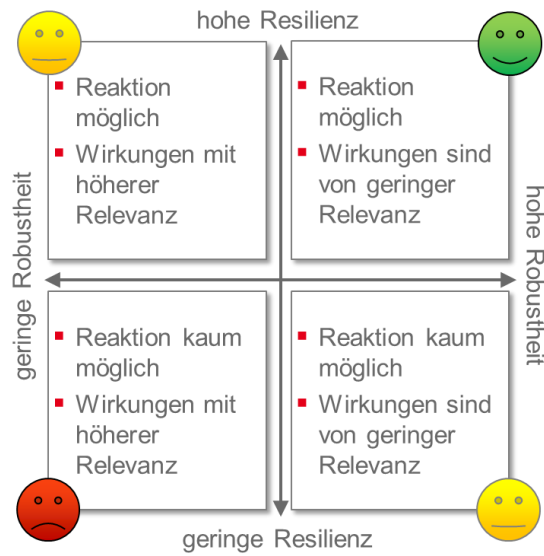
	Wirkungsbereich gesamt	Erneuerbare Energien	Energie- einsparung	Energie- effizienz
Prioritätenänderung	mittel	x		x
Infrastrukturmangel	gering	x		
Digitalisierung	hoch	x	x	x
Entwicklung nicht-fossiler Technologien	hoch	x	x	x
Durchbruch bei Speichertechnologien	gering	x		
Internationales Klimaregime	hoch	x	x	x
Änderung der Energiepreise	hoch	x	x	x
Finanzmittel für erneuerbare Energien	hoch	x	x	x
Kriminalität & Terrorismus	gering	x		
Verfügbarkeit von Energierohstoffen	mittel	x		x
Rohstoffzugang für EE-Technologien	gering	x		
Stärkung fossiler Energietechnologien	hoch	x	x	x
Folgekosten von Klimaschutztechnologien	mittel	x		x
Extremwetter als Naturkatastrophe	gering	x		
Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates	hoch	x	x	x

#### 4.1.1.5 Robustheit und Resilienz der Energiewende gegenüber Risikoclustern

Die Einschätzungen zur Resilienz bzw. Robustheit der Energiewende basiert auf den Ergebnissen der Einzelanalysen in Kapitel 3. Sie wurden in einem Workshop sowohl mit Fach- als auch Verwaltungsexperten diskutiert und validiert. Dabei wurden die einzelnen Risikocluster mittels zwei Fragestellungen in eine Matrix eingeordnet (Abbildung 4-2). Konkret lauten die Fragen zur Einordnung der Risikocluster in die Matrix:

- Wo ist die Energiewende resilient, d.h. wo kann die Energiewende auf Schwarze Schwäne reagieren und deren Wirkungen abfangen?
- Wo ist die Energiewende robust, d.h. welche Wirkungen sind von geringer Relevanz für das Weiterbestehen der Energiewende?

Abbildung 4-2: Resilienz und Robustheit der Energiewende (Matrix)



Die wichtigsten Faktoren, die zu einer höheren Robustheit bzw. Resilienz des Energiesystems beitragen, werden in der folgenden Tabelle dargestellt (Tabelle 4-5):

Tabelle 4-5: Einschätzungen zur Resilienz und Robustheit der Energiewende gegenüber den Risikoclustern

Risikocluster	Resilienz		Robustheit	
	resilient	weniger resilient	robust	weniger robust
Prioritätenänderung in Politik & Gesellschaft	Umschichtung der verfügbaren Mittel	Umwidmung / Nichtverfügbarkeit eingeplanter Mittel, Ressourcen-konkurrenz	EW finanziert sich aus dem Energiesystem heraus	Abbau der Förderung, Umleitung von EW-Mitteln, System nicht selbsttragend
Infrastrukturmangel	Effizienzsteigerung der Infrastrukturen (bspw. Digitalisierung)	Regionale Blackouts; Gezielte Attacken gegen bestehende Infrastruktur	Verzögerung einzelner Netzerweiterungen, Engpässe verteuern das System; Umsetzung von Ausbaumaßnahmen mit alternativer Technologie, ggf. Mehrkosten	Großflächige prinzipielle Ablehnung von Freileitungen / Erdverkabelung, Struktur der EW funktioniert nicht; Technologien stellen sich nachträglich als ungeeignet heraus
Digitalisierung	Fehlertolerante & redundante Systeme	Zunehmende Vernetzung & Komplexität	Energiesystem wird flexibler & effizienter, redundanter & fehlertoleranter	Zunehmende Komplexität & Verletzbarkeit des Systems, Änderung von Lastprofilen / Wertschöpfungsketten, Reduktion der Planbarkeit, Nachfrage sinkt ungenügend
Entwicklung nicht-fossiler Technologien	Änderung der Schwerpunktsetzung (Fokus auf Spitzenproduktion, Ausgleichssysteme)	EE-Technik erfüllt Anforderungen nicht, neue Risiken (Logistik, Kühlung)	Bedeutungsverlust von EE, aber keine Zieländerung der EW	Umbruch im Energiesystem und seiner Akteure, neue Abhängigkeiten
Durchbruch bei Speichertechnologien	Systementwicklung unter Abstimmung der versch. Elemente	EE-Potenziale werden überschätzt	Neue Speichersysteme, erhöhte Netzstabilität	Nachfrageänderungen, Änderung von Lastspitzen, verschlechterte Prognosefähigkeit
Internationales Klimaregime	Änderungen der Zielsetzungen	Schwindende gesell. Akzeptanz	Aufgabe der Klimaschutzziele	Beibehaltung der Zielarchitektur
Änderung der Energiepreise	Effizienzmaßnahmen verlieren an Bedeutung	Geändertes Investitionsverhalten in EE-Technologien wegen fehlender Deckungsbeiträge	Dauerhaft niedrige Energiepreise bei steigenden CO <sub>2</sub> -Preisen	Dauerhaft niedrige Energiepreise bei niedrigen CO <sub>2</sub> -Preisen
Finanzmittel für erneuerbare Energien	Umschichtung der verfügbaren Mittel	Zu geringe Mittel für adäquate Umsetzung gemäß politischer Zielsetzung	Nachträgliche Änderung der Zahlungen für bestehende Technologien	Entwicklung neuer / effizienterer EE-Technologien gefährdet
Kriminalität & Terrorismus	Bei kleineren Angriffen fehlertolerantes Energiesystem	Abhängigkeit von IT-Sicherheit & Akzeptanz	Lokal begrenzt	Blackout, Abhängigkeit von „Smarties“
Verfügbarkeit Energierohstoffe	Effizienzsteigerung der Infrastrukturen (bspw. Digitalisierung); Verschiebung der regionalen Verfügbarkeit von Rohstoffen	Regionale Versorgungsengpässe (Blackout, Gasmangel), genereller Rohstoffzugang wird eingeschränkt	Langfristig wird Substitution erwartet; Stärkung von liquiden wettbewerblichen Rohstoffmärkten; Diversifizierung der Energieträger, Lieferquellen und Infrastrukturen, Verfügbarkeit entsprechender Infrastruktur um Substitute verwenden zu können	Kurzfristige Auswirkung möglich, wenn Gaskraftwerke nicht mehr zur Verfügung stehen / Wärmeträger rationiert werden muss; langfristige Probleme des Rohstoffzugangs kritisch
Rohstoffzugang für EE-Technologien	Änderung des F&E-Fokus	Substitution gelingt nicht	Substitution möglich	Abhängigkeiten hoch
Stärkung fossiler Energietechnologien	Entwicklung eines effizienten Systems über die gesamte Kette	Spätere Akzeptanzprobleme, weitere Abhängigkeit von fossilen Energieträgern	Eingeschlagener Pfad (kein CCS in D) unter Mehrkosten weiterhin verfolgbar	Mögliche Akzeptanzprobleme für Energiewende aufgrund von Mehrkosten
Folgekosten von Klimaschutztechnologien	Änderung des Fokus – Energieeffizienz verliert an Bedeutung	Sinkende Akzeptanz für Effizienzmaßnahmen	Flexibilität der Teilziele und Technik (bspw. mehr EE, weniger Effizienz)	Langfristig sinkende Akzeptanz
Extremwetter als Naturkatastrophe	Geringe Auswirkungen	Sinkende Investitionsbereitschaft in Windenergieanlagen	Geringe Auswirkungen, höhere Diversifizierung im Mix	Neue Verwundbarkeiten durch „Zentraltechnologie“
Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates	Erschließung neuer Finanzierungsoptionen	Ressourcenkonkurrenzen	Bisherige Finanzierung	Sinkende Akzeptanz durch Mehrkosten, Verlangsamung der Technologieentwicklung

Auf dieser Basis ist die Zuordnung der Risikocluster zu den Feldern der Matrix möglich:

Abbildung 4-3: Resilienz und Robustheit der Energiewende



Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Matrix zusammen:

Tabelle 4-6: Resilienz und Robustheit der Energiewende (Ergebnistabelle)

	Resilienz & Robustheit
Prioritätenänderung	gering
Infrastrukturmangel	mittel
Digitalisierung	gering
Entwicklung nicht-fossiler Technologien	mittel
Durchbruch bei Speichertechnologien	gering
Internationales Klimaregime	mittel
Änderung der Energiepreise	hoch
Finanzmittel für erneuerbare Energien	gering
Kriminalität & Terrorismus	gering
Verfügbarkeit von Energierohstoffen	mittel
Rohstoffzugang für EE-Technologien	gering
Stärkung fossiler Energietechnologien	gering
Folgekosten von Klimaschutztechnologien	gering
Extremwetter als Naturkatastrophe	gering
Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates	mittel

#### 4.1.2 Ansatzpunkte für ein Risikomanagement in der Energiewende

Für die Identifikation von Ansatzpunkten für ein Risikomanagement in der Energiewende lassen sich die bisher erarbeiteten Ergebnisse nach aus dem Einzelfaktoren resultierendem Handlungsbedarf einordnen (Tabelle 4-7). Die bisherigen Analyseergebnisse wurden dazu aggregiert.

Um den Handlungsbedarf zu identifizieren, wird von den in der Analyse in Kapitel 3 dargestellten konkreten Risikoausprägungen abstrahiert. D.h. der Handlungsbedarf bezieht sich allgemein auf das jeweilige Risikocluster. Damit ist es möglich, generische Handlungsempfehlungen abzuleiten, die den Grundcharakteristika des jeweiligen Risikoclusters entsprechen.

Folgende Tabelle fasst die identifizierten und im vorhergehenden Kapitel 4.1.1 aggregierten Befunde zusammen und leitet daraus Handlungsbedarfe ab:



Tabelle 4-7: Identifikation von Handlungsbedarf

Einzelbewertungen aus Kapitel 4.1.1

	Handlungsbedarf	Resilienz & Robustheit	Zeithorizont	Aktive Beeinflussung	Passive Beeinflussung	Wirkungsbereich	Rahmenbedingungen
Prioritätenänderung	mittel	gering	kurz	gering	hoch	mittel	mittel
Infrastrukturmangel	mittel	mittel	kurz	gering	mittel	gering	mittel
Digitalisierung	mittel	gering	mittel	mittel	gering	hoch	mittel
Entwicklung nicht-fossiler Technologien	mittel	mittel	lang	gering	gering	hoch	mittel
Durchbruch bei Speichertechnologien	gering	gering	mittel	mittel	gering	gering	mittel
Internationales Klimaregime	mittel	mittel	mittel	gering	mittel	hoch	mittel
Änderung der Energiepreise	hoch	hoch	kurz	hoch	mittel	hoch	hoch
Finanzmittel für erneuerbare Energien	mittel	gering	mittel	mittel	hoch	hoch	mittel
Kriminalität & Terrorismus	gering	gering	kurz	gering	gering	gering	mittel
Verfügbarkeit von Energierohstoffen	mittel	mittel	mittel	mittel	gering	mittel	hoch
Rohstoffzugang für EE-Technologien	gering	gering	mittel	gering	gering	gering	hoch
Stärkung fossiler Energietechnologien	mittel	gering	mittel	mittel	hoch	hoch	mittel
Folgekosten von Klimaschutztechnologien	gering	gering	mittel	gering	gering	mittel	mittel
Extremwetter als Naturkatastrophe	gering	gering	mittel	mittel	gering	gering	mittel
Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates	mittel	mittel	kurz	mittel	gering	hoch	hoch

## 4.2 Handlungsempfehlungen

Aus dem im vorhergehenden Kapitel identifizierten Handlungsbedarf für einzelne Risikocluster können Handlungsoptionen abgeleitet werden. Der Adressat der Handlungsoptionen ist die nationale Politik auf Bundesebene. Übergreifend können die Handlungsoptionen dabei unterschieden werden in

- Ziele & Strategie, d.h. die Entwicklung oder Anpassung von Zielstellungen sowie Strategien zu deren Erreichung
- Instrumente, d.h. politische Maßnahmen
- Kommunikation, d.h. Aktivitäten die für Verständnis und Zustimmung werben
- Wichtige Elemente einer Absicherungsstrategie für das Energiesystem unter verschiedenen Risiken und „Bedrohungsszenarien“ sind geometrische Aspekte wie Redundanz & Topologie insbesondere in den Netzen. Diese können als zusätzliche strategische und Zielelemente verstanden werden, die bewusst eingesetzt und abgeprüft werden müssen, da sie ggf. Abstriche

vom Ziel der wirtschaftlichen, aber auch physikalischen Effizienz zugunsten der (Versorgungs-)Sicherheit und Systemstabilität bedeuten. Grundsätzlich sind diese Kategorien für alle vernetzten Systeme und kritische Infrastrukturen bedeutsam, um sie gegenüber Ausfällen einzelner Elemente resilienter zu machen. Bei der Energiewende (und insbesondere angesichts der strukturellen Veränderungen bei der Stromversorgung) wird sich auch die Ausprägung dieser Kriterien im Vergleich zum Status quo ante verändern müssen. Daher wird an dieser Stelle zusammenfassend auf die Notwendigkeit hingewiesen, das Energiesystem auch mit diesen Kategorien „resilient“ und robust auszugestalten. „Redundanz“ bedeutet hier, die Versorgung von (Kern-)Verbrauchern auf verschiedene Weisen sicherstellen zu können, z.B. Brennstoffe aus mehreren erzeugerländern und über mehrere Wege zu beziehen. Topologische Aspekte beziehen sich z.B. auf den Vermaschungsgrad von Netzen, die Möglichkeit, die Funktionsfähigkeit einzelner (kleiner) Einheiten aufrechtzuerhalten sowie das Zusammenspiel verschiedener räumlicher Ebenen. Entsprechende Strategien wirken vor allem Infrastrukturengpässen sowie dem Ausfall von Produktionseinheiten, Quellen von oder Transportwegen für Rohstoffe entgegen.

Die meisten Handlungsoptionen sind dabei dem Bereich „Ziele & Strategie“ zuzuordnen. Deutlich wird, dass die Robustheit und Resilienz der Energiewende gegenüber möglichen Schwarzen Schwänen vor allem eine Frage der strategischen Ausrichtung ist. Auch der Bereich „Instrumente“ wird mit zahlreichen Handlungsoptionen abgedeckt. Diese sind in der Regel konkreter als die Optionen des Bereichs „Ziele & Strategie“. Allerdings ist für die Entwicklung von geeigneten Instrumenten oftmals erst die Beantwortung der strategischen Fragen notwendig. Diese können anschließend in Instrumente überführt werden. Weniger häufiger wird „Kommunikation“ angesprochen. Dennoch handelt es sich um einen wichtigen Aspekt: Die Zustimmung und Akzeptanz der Bürger (und Wirtschaft etc.) zum Projekt „Energiewende“ ist notwendig, um ihre Umsetzung und ihren Erfolg langfristig abzusichern.

Die Handlungsoptionen abstrahieren, wie oben dargestellt, von den in der Analyse dargestellten Risikoausprägung in Kapitel 3. Sie beziehen sich auf das jeweilige Risikocluster. Es handelt sich daher um generische Handlungsempfehlungen, die den Grundcharakteristika des jeweiligen Risikoclusters entsprechen.

In der tabellarischen Darstellung werden die generischen Handlungsoptionen mit ergänzenden Aspekten der Einflussnahme aus Sicht der Energiewende beschrieben. Dabei werden folgende Aspekte behandelt:

- Präventiv: Ist Prävention vor Ereigniseintritt möglich, d.h. kann eine Intervention im Rahmen der Energiewende den Ereignis-

eintritt verhindern bzw. die mit seinem Eintritt verbundenen Wirkungen vermeiden bzw. abschwächen?

- **Reaktiv:** Ist eine Intervention nur nach Ereigniseintritt möglich?
- **Effektivität (Wirksamkeit):** Ermöglicht es die Intervention, den Ereigniseintritt, Wirkungen oder Folgeschäden zu vermeiden bzw. zu reduzieren?
- **Effizienz:** Ist die Intervention politisch oder ökonomisch in Relation zum erwarteten Schaden gerechtfertigt und durchführbar?

#### 4.2.1 Risikocluster mit hohem Handlungsbedarf

##### 4.2.1.1 Änderung der Energiepreise

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über Handlungsoptionen für das Risikocluster mit hohem Handlungsbedarf („Änderung der Energiepreise“). Im Anschluss an die Tabelle werden die wichtigsten Handlungsoptionen kurz dargestellt

*Tabelle 4-8: Handlungsoptionen für Risikocluster mit hohem Handlungsbedarf*

	Handlungsoptionen	präventiv	Reaktiv	Effektivität	Effizienz	Kategorie	
Änderung der Energiepreise	▪ exogener Faktor, kann nicht durch EW-Interventionen beeinflusst werden (Wirkungen auf EW können evtl. beeinflusst werden)		x				
	▪ Ausgleich der Energiepreisunterschiede im Verhältnis zu EE durch Steuern/Subventionen (Anreizsetzung für EE-Investitionen/Nutzung)		x	mittel	mittel	Instrumente	
	Wirkungen auf die Energiewende können evtl. beeinflusst werden durch:						
	▪ Verstärkte Anstrengungen zur Energieeffizienz	x		mittel	mittel	Ziele & Strategie	
	▪ Stärkung des CO <sub>2</sub> -Handels, so dass Klimaziele trotzdem erreicht werden	x		mittel	hoch	Instrumente	
	▪ Einrechnung externer Kosten verschiedener Energieträger („Verursacherprinzip“)	x		mittel	hoch	Instrumente	
	▪ Verstärkte/diversifizierte Forschungsstrategien im Bereich EE	x		mittel	mittel	Ziele & Strategie	
	▪ Verstärkte Forschung in Speichertechnologien	x		mittel	mittel	Ziele & Strategie	
	▪ Flexibilisierung und Stärkung der Reagibilität bei verschiedenen Förderungen	x				Ziele & Strategie Instrumente	
	▪ Förderung preiselastischen Nachfrageverhaltens, direkte Weitergabe von Preissignalen an den Endkunden	x		gering	hoch	Instrumente	
▪ Proaktive Kommunikation der Bedeutung der Energiewende und des Klimaschutzes für die Zukunft der Bundesrepublik (Wettbewerbsfähigkeit, gesellschaftlicher Wohlstand, Versorgungssicherheit, globale Verantwortung ...)	x		mittel	hoch	Kommunikation		

Preise für die fossilen Primärenergieträger Öl, Gas und Steinkohle werden auf globalen Märkten bestimmt und können nur bedingt

durch nationale oder europäische Interventionen beeinflusst werden. Somit beschränken sich die Handlungsoptionen vor allem darauf, etwaige negative Auswirkungen der Preisentwicklungen auf die Energiewende zu vermeiden, d.h., die Ziele der Energiewende von den Auswirkungen dauerhaft niedriger Brennstoffpreise unabhängiger zu machen.

Eine der wichtigsten Strategien umfasst in diesem Zusammenhang eine Stärkung des Emissionshandelssystems EU-ETS. Denn bei einer hinreichend ambitionierten und somit wirksamen CO<sub>2</sub>-Obergrenze im EU-ETS führen tiefe Brennstoffpreise unmittelbar zu höheren CO<sub>2</sub>-Preisen, was die variablen Erzeugungskosten CO<sub>2</sub>-emissionsintensiver Kraftwerke wieder ansteigen lässt und so den niedrigen reinen Energiepreisen entgegenwirkt. Dadurch entstehen für die Erreichung der EE-Ziele in einem Niedrigeenergiepreis-Szenario trotz sinkenden Großhandelspreisen längerfristig keine Mehrkosten. Um möglichen Lock-in Effekten vorzubeugen, kann die Einführung eines CO<sub>2</sub>-Mindestpreises innerhalb des EU-ETS geprüft werden. Ein international abgestimmter CO<sub>2</sub>-Mindestpreis kann außerdem Carbon Leakage-Effekten entgegenwirken. Zusätzlich sollten auch für die nicht-EU-ETS-Sektoren die Dekarbonisierungsanstrengungen unabhängig von Primärenergiepreisen werden, beispielsweise durch eine Einbindung dieser Sektoren in das EU-ETS.

Grundsätzlich sollten externe Kosten der Nutzung fossiler Energieträger (Klima-, Umwelt- und Gesundheitskosten) durch geeignete Instrumente eingepreist (z.B. Steuern oder Abgaben) und Subventionen konventioneller Energieträger abgebaut werden. Dadurch kann Kostentransparenz zwischen den Energieträgern hergestellt werden und damit können die realen Kosten der Energiewende bestimmt werden.

Die Steigerung der Energieeffizienz reduziert den Primärenergiebedarf und gleichzeitig auch die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern. Niedrige Primärenergiepreise reduzieren die Brennstoff- und Elektrizitätsverbraucherpreise und senken somit den Anreiz für Effizienzsteigerungen. Wenn Brennstoff- und Elektrizitätspreise dauerhaft niedrig bleiben, verliert auch das Argument der Absicherung gegenüber volatilen Preisen an Schlagkraft. Dann werden zur Umsetzung von nicht rentablen Effizienzmassnahmen verstärkt unterstützende Instrumente eingesetzt werden müssen. Ansätze für entsprechende Anreizsetzungen bieten z. B. Informationsprogramme für Endkunden, Austauschprogramme für alte Heizsysteme oder steuerliche Begünstigungen für Unternehmen. Insgesamt wird sich die Kostenverteilung bei der Umsetzung dieser Massnahmen dann stärker vom Verbraucher auf den Steuerzahler verschieben.

Einen weiteren Ansatzpunkt stellt die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von erneuerbaren Energien dar. Verstärkter Wettbewerb

unter erneuerbaren Energien, Energieeffizienz- und Speichertechnologien, und intensiviert Forschung in diese Technologien können mittelfristig dazu beitragen, deren Wirtschaftlichkeit auch bei dauerhaft niedrigen Preisen für fossile Energieträger zu steigern.<sup>13</sup>

Schließlich kann eine aktive Kommunikation der Bedeutung der Energiewende und des Klimaschutzes für die Zukunft der Bundesrepublik Deutschlands eine geeignete Handlungsoption sein, um die Akzeptanz für steigende Kosten der Energiewende in der Folge dauerhaft sehr niedriger Brennstoff- und Elektrizitätspreise in der Bevölkerung zu erhöhen.

#### 4.2.2 Risikocluster mit mittlerem Handlungsbedarf

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über Handlungsoptionen für Risikocluster mit mittlerem Handlungsbedarf. Im Anschluss an die Tabelle werden die wichtigsten Handlungsoptionen kurz dargestellt.

Tabelle 4-9: Handlungsoptionen für Risikocluster mit mittlerem Handlungsbedarf

	Handlungsoptionen	präventiv	reaktiv	Effektivität	Effizienz	Kategorie
Prioritätenänderung	Proaktive Kommunikation der Bedeutung der Energiewende und des Klimaschutzes für die Zukunft der Bundesrepublik (Wettbewerbsfähigkeit, gesellschaftlicher Wohlstand, Versorgungssicherheit, globale Verantwortung ...)	x		mittel	hoch	Kommunikation
	Entwicklung adaptiver Strategien für den Klimawandel	x		gering	gering	Ziele & Strategie
	Finanzierung der EE/wesentlicher (Kern)Elemente gegenüber kurzfristigen Einflüssen stabilisieren ("Selbsttragendes System")	x		hoch	mittel	Ziele & Strategie
Infrastrukturmangel	Proaktive Kommunikation der Bedeutung des Infrastrukturausbaus für das Gelingen der Energiewende und deren Bedeutung für eine zukunftsfähige Bundesrepublik (Versorgungssicherheit etc.)	x		mittel	hoch	Kommunikation
	Forcierung grenzüberschreitenden Netzausbaus	x		mittel	mittel	Ziele & Strategie
	Dezentralisierung/Regionalisierung der Energieerzeugung und des Netzes	x		hoch	hoch	Redundanz & Topologie
	Überarbeitung bisheriger Konzepte für die Versorgungssicherheit (z.B. n-1)	x		mittel	mittel	Instrumente
	Regionale Versorgungsstrategien mit unterschiedlichen Erzeugungsquellen	x		gering	hoch	Ziele & Strategie
	Steigerung der Flexibilität im Stromnetz (Speicher, Demand-Side-Management, zusätzliche Gaskraftwerke)	x		mittel	mittel	Redundanz & Topologie
	Vermeidung von Investitionsengpässen durch Anreizsetzung in den regulatorischen Rah-		x	hoch	gering	Instrumente

<sup>13</sup> Diese Bewertung orientiert sich anhand von engen, an der Energiewende orientierten quantitativen Zielen. In einer weitergehenden Betrachtung müssten zusätzliche gesellschaftliche Kriterien herangezogen werden, mit ggf. anders gelagerter resultierender Bewertung.

	Handlungsoptionen	präventiv	reaktiv	Effektivität	Effizienz	Kategorie
	menbedingungen					
	▪ Direkte Preiswirkung von Versorgungspässen	x		hoch	hoch	Instrumente
Digitalisierung	▪ exogener Faktor		x			
	▪ Entwicklung einer Digitalisierungsstrategie für die Energieversorgung/Nutzung ("Smarties", Beachtung unterschiedlicher Entwicklung bei den Lastprofilen/Demand Side Management)	x		mittel	gering	Ziele & Strategie Redundanz & Topologie
	▪ Sicherheit nicht nur als Versorgungssicherheit denken	x		hoch	hoch	Ziele & Strategie
	▪ Dezentralisierung des Netzes/Abkoppelung vs. Redundanz/Notfallsysteme	x		hoch	hoch	Redundanz & Topologie
Entwicklung nicht-fossiler Technologien	▪ exogen, "Pink Swan" möglich, d. h. eine die Energiewende unterstützende Entwicklung					
	▪ (kommunikative) Strategie zum Umgang mit stranded investments/sunk costs -> Gegenüberstellung mit möglichen positiven Wirkungen ("Pink Swans")	x		mittel	gering	Kommunikation
	▪ Szenarien zum Umgang mit einer möglichen Renaissance der Kohle / Laufzeitverlängerung Atomkraft		x	gering	gering	Kommunikation Ziele & Strategie
Internationales Klimaregime	▪ Proaktive Kommunikation der Bedeutung der Energiewende und des Klimaschutzes für die Zukunft der Bundesrepublik (Wettbewerbsfähigkeit, gesellschaftlicher Wohlstand, Versorgungssicherheit, globale Verantwortung ...)	x		mittel	hoch	Kommunikation
	▪ Definition von Kernzielen bzw. "Nice to have" der Energiewende bzw. des Klimaschutzes; Priorisierung; alternative Zielarchitekturen für die Energiewende	x		mittel	hoch	Ziele & Strategie
	▪ Strategie zum Umgang mit Zusammenbruch/geringere Erlöse aus ETS	x		mittel	mittel	Ziele & Strategie
	▪ Diplomatische Arbeit bzgl. einem global abgestimmten CO2-Mindestpreis („Carbon pricing“), welcher als gemeinsame Verpflichtung die Kooperationsbereitschaft erhöht	x		hoch	hoch	Ziele & Strategie Instrumente
Finanzmittel für erneuerbare Energien	▪ Strategien für alternative Anreize	x		hoch	mittel	Ziele & Strategie
	▪ Proaktive Kommunikation der Vorteile erneuerbarer Energien für Deutschland	x		mittel	hoch	Kommunikation
	▪ Strategien für Umgang mit nicht zieladäquatem Strom- und Wärmemix	x		hoch	mittel	Ziele & Strategie
	▪ Verstärkt kostenoptimierter EE-Ausbau	x		mittel	mittel	Instrumente
	▪ Stärkere Konzentration auf Energieeffizienz	x		mittel	mittel	Ziele & Strategie
Verfügbarkeit von Energierohstoffen	▪ Abbau von Abhängigkeiten in Lieferstrukturen/Aufbau von Redundanzen	x		hoch	hoch	Ziele & Strategie Instrumente
	▪ Diversifikation des Energiemix	x		hoch	hoch	Ziele & Strategie
	▪ Flexibilisierung der Gasversorgung (Pipeline-Bau, Gasspeicher)	x		mittel	gering	Ziele & Strategie
	▪ Stromerzeugung flexibilisieren (Demand Side Management, Speicherentwicklung ...)	x		mittel	hoch	Redundanz & Topologie
	▪ Elektrifizierung des Energiesystems stärken	x		mittel	gering	Ziele & Strategie
Stärkung fossiler Energietechnologien	▪ Monitoring von Forschung und Entwicklungsstand	x		mittel	mittel	Ziele & Strategie
Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates	▪ Priorisierung von Kernelementen der Energiewende	x		hoch	mittel	Ziele & Strategie
	▪ Entwicklung neuer Finanzierungsoptionen (CO2-Steuer, Stärkung des ETS-Anteils etc.)	x		hoch	gering	Instrumente
	▪ Abstimmung nationaler und europäischer EE-Ziele	x		mittel	mittel	Ziele & Strategie
	▪ Förderung von Forschung, um EE-Erzeugungsanlagen beispielsweise durch	x		hoch	hoch	Ziele & Strategie

Handlungsoptionen	präventiv	reaktiv	Effektivität	Effizienz	Kategorie
erhöhte Volllaststunden wirtschaftlicher zu machen					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Entwicklung von Optionen im Ordnungsrecht (Verursacherprinzip, Auflagen etc.)</li> </ul>	x		hoch	mittel	Instrumente

#### 4.2.2.1 Prioritätenänderung

Änderungen der politischen und gesellschaftlichen Prioritäten erfolgen häufig. Um damit einhergehenden Risiken für die Energiewende zu begegnen, ist die proaktive Kommunikation ein wichtiges Strategieelement. Die Bedeutung der Energiewende und des Klimaschutzes für Wettbewerbsfähigkeit, den gesellschaftlichen Wohlstand und die Versorgungssicherheit sowie der globalen Verantwortung muss dazu im Bewußtsein von Politik und Bevölkerung fest verankert sein.

Adaptionsstrategien können helfen, die Folgen des Klimawandels zu mildern und bieten eine Fallback-Option oder eine ergänzende Option zur internationalen Klimapolitik. Derartige Adaptionsstrategien sind nur in internationaler Abstimmung und mit gezieltem Know-how-Transfer sowie internationalen Ausgleichs- und Unterstützungsmechanismen zielführend. Nationale Alleingänge sollten vermieden werden, da ansonsten eine Verstärkung der Dynamik der gesellschaftlichen Prioritätenänderungen zu befürchten ist (z.B. verstärkte Migrationsströme durch ausbleibende Adaption in Entwicklungsländern). Zudem sollten – möglicherweise budgetrelevante – Prioritätenänderungen dadurch in ihren Wirkungen abgedeckt werden, dass die Finanzierung der Energiewende zunehmend als selbsttragendes System konzipiert wird. Ansatzpunkte dazu stellen zum Beispiel Fondslösungen wie beim Energie- und Klimafonds dar. Damit kann die Energiewende hinsichtlich ihrer Finanzierung zumindest für die Kernelemente unabhängig gemacht werden von jährlichen Budget-aushandlungen und den darin evtl. auftretenden Änderungen der politischen Prioritäten.

#### 4.2.2.2 Infrastrukturmangel

Je nach konkreter Ursache des Infrastrukturmangels ergeben sich unterschiedliche Ansätze für das Risikomanagement. Grundsätzlich ist auch beim Netzausbau die proaktive Kommunikation ein wichtiges Strategieelement. Die Bedeutung des Netzausbaus für die Energiewende und damit für die Wettbewerbsfähigkeit, den gesellschaftlichen Wohlstand und die Versorgungssicherheit sowie der globalen Verantwortung muss dazu im Bewußtsein von Politik und Bevölkerung fest verankert sein.

Generell fördert ein grenzüberschreitender Netzausbau die europäische Marktintegration. Dauerhafte Preisdifferenzen zwischen Marktgebieten führen zu Standortnachteilen für das höherpreisige Marktgebiet. Sie zeigen zudem Ausbaunotwendigkeiten an. Geeignete Maßnahmen sollten dieser Entwicklung entgegenwirken.

In diesem Zusammenhang ist es möglich, dass grenzüberschreitender Netzausbau den nationalen Netzausbaubedarf reduziert.

Regionale Versorgungsstrategien können unterschiedliche Erzeugungsquellen berücksichtigen. Die lastnahe Erzeugung kann dazu beitragen, Netzausbau zu vermeiden. Auch eine Steigerung der Flexibilität im Stromsystem, z. B. durch Speicher, Demand-Side-Management oder Flexibilisierung des Kraftwerksparks kann helfen, den Bedarf eines Netzausbaus zu verringern. Damit können gezielt Engpasssituationen vermieden werden. Damit diese Flexibilitätsoptionen jedoch wirtschaftlich werden, müssen die notwendigen Preissignale gewährleistet bzw. ihre Entwicklung gegebenenfalls explizit gefördert werden. Dem Marktdesign kommt hierbei eine zentrale Rolle zu.

Neben Topologie und Netzstruktur stellen auch neue Technologien eine Handlungsoption dar. Werden bestehende Erdgasinfrastrukturen in Verbindung mit Power-To-Gas-Konzepten genutzt, reduziert dies den Ausbau-Bedarf. So könnte Windstrom in Gas umgewandelt werden, welches mit der bestehenden Infrastruktur transportiert und ggf. gespeichert werden könnte.

Flankierend wirken geeignete regulatorische Rahmenbedingungen, um Investitionsengpässe zu vermeiden. Dies umfasst z. B. Investitionssicherheit oder eine Verkürzung von Genehmigungsdauern durch die zuständigen Behörden.

#### 4.2.2.3 Digitalisierung

Die Digitalisierung durchdringt nahezu alle Technologie-, Arbeits- und Lebensbereiche. Sie hat eine sehr hohe Entwicklungs- und Veränderungsdynamik für Technik, Organisationsformen und Prozessgestaltungen in Gesellschaft, Politik und Wirtschaft.

Den wesentlichen Ansatzpunkt, um die Vorteile der Digitalisierung für die Energiewende nutzen zu können, stellt die Entwicklung einer Digitalisierungsstrategie für die Energieversorgung und -nutzung dar. Insbesondere die Nutzung und Integration von Smart Technologien und das Demand Side Management sollte in dieser Strategie vorangetrieben werden.

Darüber hinaus muss eine Digitalisierungsstrategie für das Energiesystem auch Sicherheitsaspekte umfassen, die über den engen Begriff der Versorgungssicherheit hinaus gehen. Ein digitalisiertes Energiesystem benötigt als funktionale Grundlage sowohl (missbrauchs-)sichere Technologie (siehe auch Kapitel 0) als auch eine sichere Infrastruktur. Daher sollte sich die Digitalisierungsstrategie auch mit Fragen von Netztopologie, Dezentralität, abkoppelbaren oder redundanten Systemen bzw. Notfallsystemen beschäftigen.



#### 4.2.2.4 Entwicklung nicht-fossiler Technologien

Die Entwicklung nicht-fossiler Technologie könnte sowohl als „Pink Swan“ auftreten und die Ziele der Energiewende unterstützen oder aber als „Black Swan“ mit negativen Auswirkungen. Für den Eintritt dieses Risikoclusters müsste eine Kommunikationsstrategie entwickelt werden, die den Umgang mit „stranded investments“ oder „sunk costs“ der bisherigen Energiewende thematisiert. Geeignet wäre hier eine Gegenüberstellung mit möglichen positiven Wirkungen der innovativen nicht-fossilen Technologien.

Zudem sollte eine strategische Beschäftigung mit Szenarien erfolgen, die zum Beispiel eine mögliche Renaissance der Kohle oder die Laufzeitverlängerung der Atomkraft zum Inhalt haben. Beides sind im Gegensatz zu „Game Changern“ (wie billiger Wasserstoff, Kernfusion) negativ wirkende Risiken für die Energiewende. Ihr Eintritt könnte die Energiewende erheblich belasten.

#### 4.2.2.5 Internationales Klimaregime

Die Verabschiedung und wirksame Umsetzung eines internationalen Klimaabkommens sind wichtige Voraussetzungen für die Energiewende. Die oben durchgeführte Quantifizierung zeigt, dass ein einseitiges Festhalten Deutschlands am Klimaschutz ohne ein international wirksames Klimaabkommen gerade CO<sub>2</sub>-intensive Industrien besonders belasten und zu gesamtwirtschaftlich negativen Effekten führen würde. Die Vorteile der Energiewende und von international abgestimmtem Klimaschutz gehen über die wirtschaftliche Ebene hinaus, u.a. in Form höherer Versorgungssicherheit wegen niedrigerer Energieimporte oder dem Vermeiden von durch Klimawandel ausgelösten Flüchtlingsströmen. Diese Vorteile sollten deshalb national wie international immer wieder proaktiv kommuniziert werden.

Bezüglich der Zielarchitektur der Energiewende können Mängel eines internationalen Klimaregimes zumindest teilweise durch unterschiedliche Schwerpunktsetzungen bei den Zielen abgefangen werden. Vorsorgend sollte die Debatte möglicher Priorisierungen der Ziele bei unterschiedlicher Schnelligkeit oder Verbindlichkeit des internationalen Klimaschutzes geführt werden, um flexibel und schnell auf Entwicklungen beim internationalen Klimaschutz reagieren zu können. Auch mit Blick auf den europäischen Emissionshandel und einen international einheitlichen CO<sub>2</sub>-Preis reicht es nicht aus, allein auf die idealtypische Umsetzung eines vollständigen internationalen Marktes zu setzen. Verschiedene Lösungsstrategien für denkbare Probleme oder Unterschiede zwischen Ländergruppen und Bereichen sollten vorbereitet und frühzeitig auf internationaler Ebene abgestimmt werden.

#### 4.2.2.6 Finanzmittel für erneuerbare Energien

Falls zukünftig Finanzmittel für den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien fehlen sollten, steht eine ganze Reihe von Handlungsmöglichkeiten zur Verfügung. Einerseits kann der weitere Ausbau verstärkt kostenoptimiert erfolgen, etwa durch Konzentration auf marktreife Technologien oder günstigere Standorte im In- und Ausland. Mit Blick auf den Strommarkt wäre zu prüfen, welche Optionen bei einem stockenden Ausbau der erneuerbaren Energien bestehen. So wäre eine vorübergehend etwas stärkere Erzeugung in Gaskraftwerken möglich oder die Stromimporte werden erhöht. Auch Quotenregelungen oder ordnungsrechtliche Vorgaben für einen höheren Anteil erneuerbarer Energien bei Strom und Wärme sind denkbar.

Andererseits kann die Zielarchitektur der Energiewende in Richtung anderer Optionen wie insbesondere Energieeffizienz verschoben werden. Außerdem könnten auch andere Finanzierungsquellen oder Anreizmechanismen für den weiteren Ausbau und die Förderung noch nicht marktreifer EE-Technologien erschlossen bzw. entwickelt werden. Auf der Ebene der Kommunikation ist es wichtig, die gerade langfristig vielfältigen Vorteile der erneuerbaren Energien zu verdeutlichen, damit ggfs. auch Maßnahmen schnell ergriffen werden können, die Industrie und Verbraucher zusätzlich belasten

#### 4.2.2.7 Verfügbarkeit von Energierohstoffen

Für das Gelingen der Energiewende ist es entscheidend, dass das derzeit hohe Maß an Versorgungssicherheit auch im zukünftigen Energiesystem fortbesteht. Ein Faktor hierfür ist die Verfügbarkeit von Energierohstoffen. Diese werden mittelfristig benötigt, um sichere Backup-Kapazität für die fluktuierenden erneuerbaren Energien bereitzustellen. Insbesondere in der Industrie werden sie zudem noch längerfristig signifikante Bedeutung haben.

Erdöl und Steinkohle sind auf Weltmärkten verfügbar, so dass die Abhängigkeit von einzelnen Marktakteuren eher gering ist. Bei Erdöl gibt es zudem eine strategische Reserve in Deutschland. Daher wird im Folgenden eine mangelnde Rohstoffverfügbarkeit bei Erdgas thematisiert. Da die innereuropäische Gasproduktion tendenziell sinkt, wird es in Zukunft eine vermehrte Abhängigkeit von Gasimporten geben. Wettbewerbliche, liquidere und europäisch integrierte Gasmärkte sind ein wirksames Mittel gegen die Ausübung von Marktmacht einzelner Produzenten. Zudem sollten Diversifizierungsoptionen (LNG, Gas aus dem Southern Gas Corridor) genutzt werden. Ihre Integration in den europäischen Binnenmarkt könnte den Wettbewerb intensivieren. Strategische Energiepartnerschaften mit neuen Lieferländern könnten Investitionsanreize für alternative Gasquellen bieten.

Eine Diversifizierung des Energiemixes kann Abhängigkeiten reduzieren. Auch wenn aktuell die Versorgungssicherheit in Deutschland als gut erachtet werden kann, sollte sie regelmäßig neu bewertet werden. Zuletzt kann auch eine Förderung von Flexibilitätsoptionen im Energieversorgungssystem helfen, die Nachfrage in Zeiten von Versorgungsengpässen zu reduzieren und diesen so gezielt entgegenzuwirken. Derartige Flexibilitätsoptionen sind beispielsweise in der Gasversorgung Ausbau des Pipeline-Netzes, Demand Side Management oder Gasspeicher.

#### 4.2.2.8 Stärkung fossiler Energietechnologien

Ein kontinuierliches Monitoring des Forschungs- und Entwicklungsstandes von fossilen Technologien kann verhindern, dass Deutschland einen möglichen Entwicklungsschub im Ausland verpasst. Dies gilt insbesondere bei Technologien, welche derzeit in Deutschland keine Akzeptanz finden, wie beispielsweise Carbon Capture and Storage (CCS). Wenn negative Umweltauswirkungen der entsprechenden Technologien durch technischen Fortschritt reduziert werden, könnten diese auch in Deutschland neu bewertet werden. Über das Monitoring hinaus kann es sinnvoll sein, aktiv die Forschung an Technologien wie CCS, Carbon Capture and Use (CCU) zu fördern.

#### 4.2.2.9 Eingeschränkter finanzieller Spielraum des Staates

Bei eingeschränktem finanziellem Spielraum des Staates ist eine Priorisierung der Energiewende eine mögliche Strategie, bei der Mittel aus weniger prioritären Bereichen zugunsten der Energiewende umgeschichtet werden. Alternativ könnten neue Finanzierungsquellen für die Energiewende wie eine CO<sub>2</sub>-Steuer erhoben oder der CO<sub>2</sub>-Handel gestärkt werden. Wird es für Erzeuger relativ teurer CO<sub>2</sub> zu emittieren, erhöht sich dadurch die Wettbewerbsfähigkeit der erneuerbaren Energien gegenüber konventionellen fossilen Kraftwerken, so dass weniger zusätzliche Förderung zur Vollkostendeckung benötigt wird. Um Ausgleichseffekte im europäischen Strommarkt, die in Folge von nationalen Maßnahmen auftreten könnten, zu verhindern, ist es notwendig, nationale und europäische EE-Ziele abzustimmen und so Ineffizienzen zu vermeiden.

Eine weitere Handlungsoption kann darin bestehen, vor einer Verknappung der Finanzmittel stärker in die Forschung im Bereich erneuerbare Energien zu investieren. So können erneuerbare Energien z. B. durch erhöhte Volllaststundenzahlen in Folge von Innovationen wirtschaftlicher werden und die Auswirkungen später knapp werdender Finanzmittel würden gemindert.

Das Ordnungsrecht bietet dem Gesetzgeber die Möglichkeit, Kosten nach dem Verursacherprinzip auf Unternehmen und private Haushalte umzulegen. Um den Betrieb erneuerbarer Energien

wirtschaftlicher zu machen, könnten beispielsweise zusätzliche Auflagen für konventionelle Kraftwerke eingeführt werden. Hier ist aber zu beachten, dass ordnungsrechtliche Eingriffe in der Regel zu ineffizienteren Resultaten führen als ein marktbasierter Mechanismus wie beispielsweise der CO<sub>2</sub>-Handel. Zur Steigerung der Energieeffizienz können als Alternative zur finanziellen Förderung z.B. Auflagen weiter verschärft werden.

#### 4.2.3 Risikocluster mit geringem Handlungsbedarf

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über Handlungsoptionen für Risikocluster mit geringem Handlungsbedarf. Im Anschluss an die Tabelle werden die wichtigsten Handlungsoptionen kurz dargestellt.

Tabelle 4-10: Handlungsoptionen für Risikocluster mit geringem Handlungsbedarf

	Handlungsoptionen	präventiv	reaktiv	Effektivität	Effizienz	Kategorie
Durchbruch bei Speichertechnologien	exogen, "Pink Swan" (unwahrscheinliches Ereignis mit unterstützender Wirkung)					
	Netztopologie	x		hoch	mittel	Redundanz & Topologie
	Strategieentwicklung für preisgünstige, aber weniger effiziente Speicher und der damit steigenden Stromnachfrage	x		hoch	gering	Ziele & Strategie
	Strategie für steigende Stromnachfrage bei "explodierender Elektromobilität" (durch Erschließung neuer Einsatz/Verwendungsmöglichkeiten)	x		hoch	gering	Ziele & Strategie
Kriminalität & Terrorismus	exogen, kaum Einflussmöglichkeiten					
	Sichere Gestaltung der Infrastrukturen und Digitalisierung	x		hoch	hoch	Redundanz & Topologie Instrumente
	Dezentralisierung zur Verringerung lokaler Großrisikofaktoren	x		hoch	gering	Ziele & Strategie
Rohstoffzugang für EE-Technologien	Forschung diversifizieren	x		hoch	gering	Ziele & Strategie
	Abbau von Abhängigkeiten in Lieferstrukturen/Aufbau von Redundanzen	x		hoch	gering	Redundanz & Topologie
Folgekosten von Klimaschutztechnologien	Technologiefolgenabschätzung, Prüfung und Zulassung von Materialien	x		mittel	gering	Instrumente
	Strategie der EW: Flexibilisierung bei Inhalten, Verringerung der Abhängigkeit von einem/wenigen Instrumenten/Ansätzen	x		mittel	mittel	Instrumente
Extremwetter als Naturkatastrophe	exogener Faktor					
	Redundanzen in Erzeugung und Infrastruktur, Dezentralisierung	x		hoch	gering	Redundanz & Topologie

##### 4.2.3.1 Durchbruch bei Speichertechnologien

Durchbrüche bei den Speichertechnologien können positive und weitreichende Auswirkungen für die Integration erneuerbarer Energien in das Energiesystem haben („Pink Swan“). Zugleich können damit aber auch negative Auswirkungen verbunden sein. Diese erfordern unter anderem die Entwicklung einer (Reaktions-)Strategie, wenn preisgünstige, aber weniger effiziente Speicher

oder eine „explodierende Elektromobilität“ bzw. die Erschließung neuer Verwendungsmöglichkeiten von Stromspeichern zu einem starken Anstieg der Stromnachfrage führen.

Speichertechnologien, insbesondere direkte und indirekte Stromspeichertechnologien stehen in enger Wechselwirkung mit den Netzen und ihrer Topologie, d.h. räumlichen Anordnung und Struktur. Um hier Absicherungen in beide Richtungen einzubauen, ist es notwendig, dass in der Netztopologie ein gewisses Maß an Redundanz eingebaut wird, damit keine Engpässe an bestimmten Netzknoten entstehen: Jeder Netzknoten, d.h. jeder Punkt an dem sich drei oder mehr Leitungen treffen sollte auf mindestens zwei Wegen erreichbar sein. Für stark belastete Netzabschnitte oder solche, von denen sehr viele Verbraucher abhängig sind, sollten Alternativverbindungen gebaut werden.

Durch Dezentralisierung der Stromerzeugung kann eine Verringerung lokaler Großrisikofaktoren erreicht werden. Im Falle eines Angriffs auf dezentrale Stromerzeugung bleibt die Auswirkung lokal begrenzt.

#### 4.2.3.2 Kriminalität & Terrorismus

Auf das Risikocluster „Kriminalität & Terrorismus“ hat die Energiepolitik kaum Einflussmöglichkeiten. Die hier auftretenden Risiken sind in der Regel exogen ausgelöst bzw. motiviert. Daher kann ein Risikomanagement für die Energiewende auch nur indirekt auf das Risikocluster einwirken. Wesentliche Aspekte der Prävention für das Risikocluster entsprechen denen des Risikoclusters „Digitalisierung“ bzw. stehen in Einklang mit ihnen (siehe Kapitel 4.2.2.3).

Einen Ansatzpunkt stellt jedoch die Ausgestaltung der Infrastrukturen insbesondere im Zusammenhang mit der Digitalisierung und informationstechnischen Vernetzung dar. Wesentlich dafür ist die Entwicklung sicherer Technologien (v.a. im Sinne von security). Hier bieten sich insbesondere Instrumente zur Förderung der entsprechenden Forschung und Entwicklung (FuE) an. Darüber hinaus müssen die sicheren Technologien auch verbreitet und genutzt werden. Dazu bieten sich Zulassung bzw. Richtlinien für die Implementation und den Betrieb von Smart Technologien an. Dieser Ansatz wird zum Beispiel über das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende (ehemals: Messsystemverordnung) verfolgt. Mit diesem Gesetz soll die Grundlage für die Entwicklung, Vermarktung und Einsatz von robuste, praxistauglichen Technologien gelegt werden.

Einen weiteren Ansatzpunkt stellt die strategische Planung und das Verständnis der Versorgungssicherheit dar. Hierbei wäre darauf zu achten, dass neuralgische Punkte definiert und möglichst vermieden bzw. beseitigt werden. Die Netztopologie sollte zum

Beispiel so aufgebaut sein, dass redundante und dezentrale Architekturen zur Verringerung lokaler Großrisikofaktoren beitragen.

#### 4.2.3.3 Rohstoffzugang für EE-Technologien

Um den Zugang zu wichtigen Rohstoffen für EE-Technologien sicherzustellen, bieten sich mehrere Handlungsoptionen an. Eine regelmäßige Beobachtung der Marktentwicklung hilft, mögliche Engpässe frühzeitig zu erkennen. Die Diversifizierung von Förderländern kann Abhängigkeiten reduzieren.

Die Forschung sollte verschiedene Technologien und Entwicklungslinien einschließen, um Abhängigkeiten von einzelnen Rohstoffen gering zu halten.

#### 4.2.3.4 Folgekosten von Klimaschutztechnologien

Hinsichtlich des Risikoclusters „Folgekosten von Klimaschutztechnologien“ sind die möglichen Aktivitäten und deren Wirkungen limitiert. In der Regel müssen zum Beispiel neue Materialien schon bestehende Prüfungs-, Kennzeichnungs- und Zulassungsprozesse durchlaufen. Diese Art der Technologiefolgenabschätzung könnte für die relevanten Materialien verstärkt werden. Grundsätzlich ist aber zu hinterfragen, ob die bestehenden Regularien nicht ausreichen.

Von wesentlich größerer Bedeutung ist die Strategie der Energiewende. Dabei wird es notwendig sein, die Abhängigkeit ihrer Ziele von wenigen Ansätzen bzw. Instrumenten zu mindern und sie damit inhaltlich zu flexibilisieren. Am konkreten Beispiel des Risikoclusters illustriert bedeutet dies, die Erreichung der Emissionsreduktion nicht mit grossen technologischen Schwerpunkten (einzelne Lösungen für spezifische Effizienzfragen) zu verfolgen, sondern hier mehrere Ansätze gleichbedeutend nebeneinander stehen zu lassen (erneuerbare Energien & Energieeffizienz, verschiedene technologische Umsetzungen), um flexibel reagieren zu können – selbst wenn sich eine Technologie als die vermeintlich effizienteste herausstellt.

#### 4.2.3.5 Extremwetter als Naturkatastrophe

Einzelne Extremwetter sind nicht beeinflussbar. Längerfristig kann jedoch eine Zunahme von lokalen Extremwettern verhindert werden, in dem durch Klimaschutzmaßnahmen dem globalen Klimawandel entgegengewirkt wird.

Um die Wirkungen möglicher Extremwetterereignisse auf das Energiesystem und die Energiewende zu begrenzen, können entsprechende Puffer in Erzeugung und Infrastruktur vorgehalten werden. Dazu gehören die Dezentralisierung der Anlagen und die Diversifizierung der Technologien im Rahmen der Energiewende.

Aufgrund der dezentralen Erzeugungsstruktur und der damit einhergehenden verringerten Größenordnung ist dann z. B. selbst bei einem Ausfall eines großen Offshore-Umspannwerks damit zu rechnen, dass die Situation durch Abruf von Regelenergie aufgefangen werden kann.

Möglichen wirtschaftlichen Einbußen für Offshore-Windparkbetreiber kann durch vorteilhafte Finanzierungs- und Risikostrukturen entgegengewirkt werden.

## 5 Anhang

### 5.1 Urliste der identifizierten Schwarzen Schwäne

Tabelle 5-1: *Urliste der identifizierten Schwarzen Schwäne (alphabetische Sortierung)*

#### mögliche Schwarze Schwäne

Adaption an Klimawandel in globalem Maßstab, führt zu Resignation bei Klimaschutzpolitik (Dynamik des Klimawandels wird entschärft)
"Eiszeit-Panik" – Naturereignis führt zu Abkühlung, Angst vor zu viel Abkühlung wird (politisch, medial) geschürt und damit Klimaschutz ausgehebelt ("Erwärmung notwendig")
2035 könnte das Internet den gesamten britischen Strom benötigen
Abfälle, z.B. Entsorgung von Silizium, Dämmstoffen
Abhängigkeit von komplexen Systemen – System ist nicht mehr so klar berechenbar wie vor 10 Jahren
Adaptionsanstrengungen v.a. in Schwellenländern reduzieren Klimaschutzanstrengungen
Akzeptanz für Maßnahmen und Kosten, Verteilungsmechanismen
Alarmierender Rückgang der Biodiversität (Aussterben der Bienen)
Anpassung an Klimawandel geht „geräuschlos“ vor sich – damit sinkt die Akzeptanz für die Energiewende (bspw. durch technologische Entwicklung)
Auftreten einer neuen unheilbaren Krankheit ("Superkeime")
Australien und / oder China setzen voll auf Kohleverflüssigung
bahnbrechende neue Technologien („Game Changer“), z.B. Wasserstoff, Kernfusion gelingt
Bahnbrechende Speichertechnologien werden am Markt eingeführt
Bedeutung von Energiekosten als Produktions-/Kostenfaktor ändert sich im Produktionssystem oder in bestimmten Branchen (bspw. durch neue Produktionstechnologien/-verfahren)
Bevölkerungswachstum
Billige, aber nicht effiziente Technologie
Biomassepotenziale
Blockaden beim Netzausbau
Brexit - UK tritt aus EU aus
Carbon Bubble: internationaler Konsens, dass viele der bekannten Energierohstoffe im Boden bleiben müssen / Divestment-Dynamiken
CCS / Probleme mit CCS
Cyberterrorismus (gegen Energie-Infrastruktur)
Dämmung führt bundesweit zu massivem Schimmelbefall (Altgebäude-Dämmung, mehr Schaden als energetische Einsparung)
Dauerhaft angespanntes Verhältnis mit Russland
Dauerhaft sehr niedrige Energiepreise (fossil)
Demand-Side-Management wird durch sehr starke Datenschutzanforderungen verunmöglicht
Demografischer Wandel (Altersstruktur, Verteilung)
Deutsche Wirtschaft profitiert durch Klimawandel und Export entsprechender Technologien
Die deutsche Wirtschaft ist nicht innovativ genug, um Anpassungen an neue Rahmenbedingungen schnell genug zu vollziehen
Digitalisierung zerstört alte Geschäftsmodelle und Märkte
Dollar wird als internationale Währung nicht mehr akzeptiert
Durch Klimawandel beeinflusster Strukturwandel stärkt die Position deutscher Unternehmen auf dem Weltmarkt
Effizienzfortschritte
Einer oder alle der vier großen Versorger verschwinden plötzlich vom Markt
E-Mobilität wird nicht in dem Umfang eingeführt, wie sie für die bisherigen Szenarien/Erwartungen erforderlich ist



## mögliche Schwarze Schwäne

- Emotionale Aufladung – Kindergruppe wird von umfallendem Windkraftwerk erschlagen
- Energiewende verläuft mit neuen Technologien aus dem Ausland
- Energiewende wird Erfolgsmodell und belebt deutsche Wirtschaft
- Entdeckung einer kostengünstigen Variante der kalten Fusion
- Entdeckung und Ausbeutung von Rohstoffen auf dem Mars
- Entkoppelung der wirtschaftlichen Entwicklung vom Energieverbrauch
- Entwicklung Weltwirtschaft (z.B. Chinas Wirtschaftswachstum bricht ein)
- Epochale Ereignisse lenken unsere Ressourcen auf andere Prioritäten (bspw. „1989 – Fall der Mauer“)
- Erdöl-/Gas-Lieferanten verkaufen nicht mehr (Marktaustritt), weil sie den Rohstoff selbst benötigen oder aus politischen Gründen (Boycott, Russische Machtspiele)
- Erneuerbare bedrohen die Biodiversität
- ETS zerbricht, EU spaltet sich zum Thema „Umgang mit Klimawandel / Kohleausbau in Ost-EU“ – Regulatorien EU, Kyoto stirbt
- EU als wichtiger Faktor für die Integration des Energiesystems, aber auch für das wirtschaftliche Wachstum allgemein
- EU bricht auseinander
- EW und Klimaschutz geraten in Misskredit durch "wissenschaftlich" gestützte Kampagnen der Anti-Klimaschutzexponenten
- Extremwetter
- Extremwetterlagen nehmen zu – Abwendung von der Energiewende
- Extremwetterlagen nehmen zu – Zusätzliche Emissionsminderungsziele
- Fachkräftemangel / fehlende Qualifizierung
- Falsch gemachte Dezentralisierung erhöht die Verletzbarkeit und verringert die Versorgungssicherheit (Steigert Abhängigkeit von Infrastruktur)
- Fehlende Infrastrukturen
- Finanzierung über große Zeiträume nicht sicherstellbar
- Finanzierungs-/Investitionsrationalität - Was passiert, wenn sich andere „bessere“ Anlagenformen ergeben – gibt es hier einen Einfluss einer rationalen Politik?
- Flexibilität (v.a. hinsichtlich Lastmanagement) hat Grenzen
- Frieden zwischen Iran und USA – Ölpreis sinkt stark
- Geänderte Nachfrage, die von der deutschen Industrie nicht bedacht wird
- Genetisches Engineering: z.B. Algen/Bakterien -> Massenproduktion Biomasse
- Gesellschaftliche Wahrnehmung des Klimawandels sinkt und damit seine Priorität
- Größere Wanderungsbewegungen führt zu Bevölkerungswachstum
- Grundlagen der Energiewende erodieren (Klimawandel)
- günstiger Fusionsreaktor (punk swan)
- Harte Winter, in denen die Häuser nicht mehr warm werden
- Heftiger Nordsee-Sturm – Offshore-Felder klappen um.
- Innovationen im Bereich Atomkraft
- Investoren finden attraktivere Anlagemöglichkeiten
- IT-Virus legt System partiell lahm
- Kein globaler Klimavertrag
- Kein globaler Klimavertrag - Adaption ist günstiger / sinnvoller als Abwendung des Klimawandels?
- Kein globales Klimaregime
- Keine Energiewende im Ausland
- Klimapolitik als "Eliten-Politik" – Wirtschaftskrise (oder bspw. Einbruch bei Markteinbrüche der dt. Autobauern) führt zu Änderung der politischen Agenda (bspw. Verzicht auf CO<sub>2</sub>-Flottenvorgaben)
- Klimawandel tritt nicht (merkbar) ein
- Konkurrenz um (finanzielle) Ressourcen: Sicherheit hat höhere Priorität („Kern der Staatlichkeit“)

## mögliche Schwarze Schwäne

Kostendegressionen / Lernkurven

Kriege und kriegerische Auseinandersetzungen in Europa nehmen zu / finden statt

kritische Rohstoffe für Querschnittstechnologien (jeder Kühlschrank hat ein Handy, smart grids)

Lichtflackern wg. Windkraftanlagen führt zu Zunahme von psychosomatischen Erkrankungen

Lobbyismus der fossilen Energiewirtschaft hin zu längerer Betriebserlaubnis / Kapazitätssubvention

Lobbyismus für ökonomisch ineffiziente CO<sub>2</sub>-Vermeidungsoptionen

Lobbyismus von Netzausbauegegnern

mangelnde öffentliche & private Mittel zur Finanzierung der EW

Mangelnder politischer Konsens über Energiewende

Marine Wasserstoffproduktion ohne Strom/mit Sonnenlicht

Masseneinwanderung

Mehreren aufeinanderfolgenden Jahren mit außergewöhnlich wenigen Extremwetterereignissen

Milliardär steigt als Hobby in Desertec ein und bringt das Projekt zum Erfolg

Nachfrageänderungen durch Kostenexplosion - gibt es eine Schmerzgrenze?

Negative Berichterstattung über Energiewende

Netzausbau stockt – AKW bleiben am Netz, Notwendigkeit für Netzausbau sinkt

Netzausbau stockt – hohe systemische Abhängigkeit der EW („Sündenfall angelegt“)? -> Ist der Plan der Energiewende durchführbar? Wie schnell kann bspw. für neue Gaskraftwerke gesorgt werden?

Netzausbau stockt - Was passiert, wenn man ein System hat, das nicht mehr so klar berechenbar ist wie vor 10 Jahren?

Niedrige Wachstumsrate: Auslöser „Krise in Europa“ (Auseinanderbrechen EU, Rezessionsphase ...); Kriege in der Welt, Zerfall/Schwächung der EU (nicht: technologischer Stillstand oder Alterung)

NIMBY bei Großprojekten nimmt zu

NIMBY bei Großprojekten nimmt zu

Nuklearausstieg in Frankreich

Ölpreis steigt erheblich und damit bleibt kein Geld mehr für Anderes

Peak Oil

Phase mit deutlich kälteren Wintern

Pink Swan: Billige H<sub>2</sub>-Produktion aus Meerwasser, Algen und Sonnenlicht

Pink Swan: Erdwärme und Geothermie

Politisch gewollte Innovationsförderung in bestimmten Bereichen („werden mit der Forschungsförderung bei Technologien die richtigen Spielfelder angesprochen (Blinde Flecken der Förderung)?“)

Politische Agenda wird verschoben (z.B. Bedeutungszuwachs von Migration, Arbeitslosigkeit, Auseinanderfallen der EU), Klimaschutz wird damit unwichtiger

Populistische Parteien werden an Bundesregierung beteiligt (AfD, Pegida)

Preisschwankungen durch Spekulation

Protektionismus

Qualifizierung - fehlende Qualifikationen bei Handwerkern

Rapider Anstieg von Mietpreisen (z.B. Berlin - Touristen lukrativer als Stadtbewohner) senkt Akzeptanz für Energiekosten

Rechtsruck – jedes Land schaut auf seine Autonomie

Schleichende Deindustrialisierung aufgrund von Angst vor / Unsicherheit über Elektrizitätspreisentwicklung

Schmutzige Bombe in Berlin – Stärkung der Proliferation und internationale Abwendung von Atomtechnologie

Schwere Umweltkatastrophen als Treiber – Fukushima II in Frankreich, führt zu internationalen Nachvollzug der EW

Sehr ambitioniertes globales Klimaregime

Seuchen oder exotische Tiere treten auf (Malaria am Oberrhein, Dornfingerspinne nördlich der Alpen, Migration von tropischen Tieren)

Smart Home als Einfallstor für Terrorismus (Ziel: Unsicherheit in der Bevölkerung steigern)

Stahl und Kupfer

---

## mögliche Schwarze Schwäne

---

Stark steigende Stromnachfrage

Starke Divergenz der Entwicklung der Energiepreise, Energiepreisrelation

Stärkere Digitalisierung ersetzt alte Technologien

Steigende Energiepreise führen zu dauerhaften Abkoppelung von Bevölkerungsschichten

Steigende Energiepreise führen zur dauerhaften Abkoppelung von Bevölkerungsschichten

Stellenwert des Themas sinkt und führt zu sinkender Investitionsbereitschaft bspw. in Effizienzmaßnahmen

Stigmatisierung fossile Energie vs. fossile Energie als Partner der Energiewende: Effizienzsteigerung in fossilen Technologien werden nicht weiterverfolgt, obwohl global gesehen großer CO<sub>2</sub>-Impact

Stromausfall und Problemfeld "Wiederanfahren" dank kleinteiliger erneuerbarer Energien

Sturm "knickt" Windkraftanlagen-Feld und verursacht damit Blackout

Tanker-Unglück vor der deutschen Küste

Technologie, die die Effizienz fossiler Energien erheblich steigert

Technologien, die wir brauchen, kommen nicht

Tipping Point für Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen

Transnationale Gruppen kontrollieren Teile von Ländern (Drogen, Mafia, Islamisten, Anonymous) und kontrollieren Teile der Rohstoffversorgung

Unerwartet hoher Stromverbrauch der „digitalen Welt“

Ungeklärte Verantwortlichkeiten, z.B. für die Bereitstellung von Blindleistung oder zur Netzregelung (insbesondere im Millisekunden-Bereich)

Verknappung seltener Metalle

Verteilungskonflikte, Umstrukturierung der Arbeitsverteilung

Verzögerte Lernkurven / Ausbau aufgrund fehlender kritischer Rohstoffe

Vulkanausbruch führt zu einer (weltweiten) Abkühlung

Vulkanausbruch: Verschattung und geringe PV-Ausbeute

Vulnerabilität gegenüber Sabotage/Terrorismus

Wassermangel

Wesentliche Fortschritte bei der Entwicklung eines Fusionsreaktors

Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft

Zerstörung aller elektrischen und elektronischen Geräte durch Sabotage mittels elektromagnetischer Wellen (EMP-Bombs, Eruption auf der Sonnenoberfläche)

Zugang zu Rohstoffen / Zwischenprodukten (Monopole und deren „Auszug“ aus dem Weltmarkt)

Zunahme von Naturkatastrophen (Überschwemmungen, Erdbeben ...)

Zusammenbruch des ETS-Handels

---

## 5.2 Vorschlagsliste der abgeleiteten Cluster

Tabelle 5-2: Vorschlagsliste der abgeleiteten Cluster sowie beispielhafter Schwarzer Schwäne (alphabetische Sortierung)

Risikocluster	mögliche Schwarze Schwäne / Initialrisiko
Änderung gesellschaftlicher & politischer Prioritäten / Ressourcenkonflikt	Adaption an Klimawandel in globalem Maßstab, führt zu Resignation bei Klimaschutzpolitik (Dynamik des Klimawandels wird entschärft)
	Auftreten einer neuen unheilbaren Krankheit ("Superkeime")
	Epochale Ereignisse lenken unsere Ressourcen auf andere Prioritäten (bspw. „1989 – Fall der Mauer“)
	Gesellschaftliche Wahrnehmung des Klimawandels sinkt und damit seine Priorität
	Konkurrenz um (finanzielle) Ressourcen: Sicherheit hat höhere Priorität („Kern der Staatlichkeit“)
	Politisch gewollte Innovationsförderung in bestimmten Bereichen ("werden mit der Forschungsförderung bei Technologien die richtigen Spielfelder angesprochen (Blinde Flecken der Förderung)?")
	Politische Agenda wird verschoben (z.B. Bedeutungszuwachs von Migration, Arbeitslosigkeit, Auseinanderfallen der EU), Klimaschutz wird damit unwichtiger
Änderungen der Energiepolitik im Ausland	Verteilungskonflikte, Umstrukturierung der Arbeitsverteilung
	Demand-Side-Management wird durch sehr starke Datenschutzerfordernisse verunmöglicht
Änderungen von Marktstrukturen	Ölpreis steigt erheblich und damit bleibt kein Geld mehr für Anderes
	Nuklearausstieg in Frankreich
Anstieg der Energienachfrage	Einer oder alle der vier großen Versorger verschwinden plötzlich vom Markt
	2035 könnte das Internet den gesamten britischen Strom benötigen
Anstieg der Energiepreise	Stark steigende Stromnachfrage
	Preisschwankungen durch Spekulation
	Schleichende Deindustrialisierung aufgrund von Angst vor / Unsicherheit über Elektrizitätspreisentwicklung
Bedeutungsänderung der Energiekosten für Wirtschaft / Gesellschaft	Starke Divergenz der Entwicklung der Energiepreise, Energiepreisrelation
	Bedeutung von Energiekosten als Produktions-/Kostenfaktor ändert sich im Produktionssystem oder in bestimmten Branchen (bspw. durch neue Produktionstechnologien/-verfahren)
	Entkoppelung der wirtschaftlichen Entwicklung vom Energieverbrauch
Bevölkerungsakzeptanz ändert sich rapide	Nachfrageänderungen durch Kostenexplosion - gibt es eine Schmerzgrenze?
	Dämmung führt bundesweit zu massivem Schimmelbefall (Altgebäude-Dämmung, mehr Schaden als energetische Einsparung)
	Emotionale Aufladung – Kindergruppe wird von umfallendem Windkraftwerk erschlagen
	Harte Winter, in denen die Häuser nicht mehr warm werden
	Lichtflackern wg. Windkraftanlagen führt zu Zunahme von psychosomatischen Erkrankungen
	NIMBY bei Großprojekten nimmt zu
	Rapider Anstieg von Mietpreisen (z.B. Berlin - Touristen lukrativer als Stadtbewohner) senkt Akzeptanz für Energiekosten
	Smart Home als Einfallstor für Terrorismus (Ziel: Unsicherheit in der Bevölkerung steigern)
Steigende Energiepreise führen zu dauerhaften Abkoppelung von Bevölkerungsschichten	
Biodiversität ändert sich	Alarmierender Rückgang der Biodiversität (Aussterben der Bienen)
	Erneuerbare bedrohen die Biodiversität
	Seuchen oder exotische Tiere treten auf (Malaria am Oberrhein, Dornfingerspinne nördlich der Alpen, Migration von tropischen Tieren)

Risikocluster	mögliche Schwarze Schwäne / Initialrisiko
Blockaden beim Netzausbau	Blockaden beim Netzausbau
	Netzausbau stockt – AKW bleiben am Netz, Notwendigkeit für Netzausbau sinkt
	Netzausbau stockt – hohe systemische Abhängigkeit der EW („Sündenfall angelegt“)? -> Ist der Plan der Energiewende durchführbar? Wie schnell kann bspw. für neue Gaskraftwerke gesorgt werden?
	NIMBY bei Großprojekten nimmt zu
	Abhängigkeit von komplexen Systemen – System ist nicht mehr so klar berechenbar wie vor 10 Jahren
	Netzausbau stockt - Was passiert, wenn man ein System hat, das nicht mehr so klar berechenbar ist wie vor 10 Jahren?
Demografischer Wandel	Bevölkerungswachstum
	Demografischer Wandel (Altersstruktur, Verteilung)
	Größere Wanderungsbewegungen führt zu Bevölkerungswachstum
	Masseneinwanderung
Digitalisierung verändert Märkte und Technologie	Digitalisierung zerstört alte Geschäftsmodelle und Märkte
	Unerwartet hoher Stromverbrauch der „digitalen Welt“
	Stärkere Digitalisierung ersetzt alte Technologien
Disruptive Technologie - Bahnbrechende (nicht fossile) Technologien werden am Markt eingeführt	Wesentliche Fortschritte bei der Entwicklung eines Fusionsreaktors
	bahnbrechende neue Technologien („Game Changer“), z.B. Wasserstoff, Kernfusion gelingt
	Entdeckung einer kostengünstigen Variante der kalten Fusion
	Genetisches Engineering: z.B. Algen/Bakterien -> Massenproduktion Biomasse
	günstiger Fusionsreaktor (punk swan)
Innovationen im Bereich Atomkraft	
Disruptive Technologie - Durchbrüche bei Speichertechnologien	Bahnbrechende Speichertechnologien werden am Markt eingeführt
Disruptive Technologie - Fortschritte bei bekannten EE	Marine Wasserstoffproduktion ohne Strom/mit Sonnenlicht
	Pink Swan: Billige H2-Produktion aus Meerwasser, Algen und Sonnenlicht
	Pink Swan: Erdwärme und Geothermie
EE-Nutzung gefährdet Energieversorgung / Versorgungssicherheit	Falsch gemachte Dezentralisierung erhöht die Verletzbarkeit und verringert die Versorgungssicherheit (Steigert Abhängigkeit von Infrastruktur)
	Flexibilität (v.a. hinsichtlich Lastmanagement) hat Grenzen
	Ungeklärte Verantwortlichkeiten, z.B. für die Bereitstellung von Blindleistung oder zur Netzregelung (insbesondere im Millisekunden-Bereich)
	Stromausfall und Problemfeld "Wiederanfahren" dank kleinteiliger erneuerbarer Energien
Einzelne Investitionsentscheidungen als Game Changer	Milliardär steigt als Hobby in Desertec ein und bringt das Projekt zum Erfolg
Energiewende stärkt Wirtschaft und Wettbewerbsfähigkeit	Deutsche Wirtschaft profitiert durch Klimawandel und Export entsprechender Technologien
	Durch Klimawandel beeinflusster Strukturwandel stärkt die Position deutscher Unternehmen auf dem Weltmarkt
	Energiewende wird Erfolgsmodell und belebt deutsche Wirtschaft
	Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft
Entwicklung eines internationalen Klimaregimes	Adaptionsanstrengungen v.a. in Schwellenländern reduzieren Klimaschutzanstrengungen
	ETS zerbricht, EU spaltet sich zum Thema „Umgang mit Klimawandel / Kohleausbau in Ost-EU“) – Regulatorien EU, Kyoto stirbt
	Kein globaler Klimavertrag
	Kein globaler Klimavertrag - Adaption ist günstiger / sinnvoller als Abwendung des Klimawandels?
	Kein globales Klimaregime

Risikocluster	mögliche Schwarze Schwäne / Initialrisiko
	<p>Sehr ambitioniertes globales Klimaregime</p> <p>Carbon Bubble: internationaler Konsens, dass viele der bekannten Energierohstoffe im Boden bleiben müssen / Divestment-Dynamiken</p> <p>Zusammenbruch des ETS-Handels</p>
Erhebliche Änderungen der Energiepreise	<p>Dauerhaft sehr niedrige Energiepreise (fossil)</p> <p>Frieden zwischen Iran und USA – Ölpreis sinkt stark</p> <p>Steigende Energiepreise führen zur dauerhaften Abkoppelung von Bevölkerungsschichten</p>
EU wird instabil durch innenpolitische Entscheidungen	<p>Brexit - UK tritt aus EU aus</p> <p>EU als wichtiger Faktor für die Integration des Energiesystems, aber auch für das wirtschaftliche Wachstum allgemein</p> <p>EU bricht auseinander</p> <p>Populistische Parteien werden an Bundesregierung beteiligt (AfD, Pegida)</p> <p>Protektionismus</p> <p>Rechtsruck – jedes Land schaut auf seine Autonomie</p>
Fachkräftemangel bei neuen Technologien	<p>Fachkräftemangel / fehlende Qualifizierung</p> <p>Qualifizierung - fehlende Qualifikationen bei Handwerkern</p>
Fehlende Technologieentwicklung	<p>E-Mobilität wird nicht in dem Umfang erfolgreich eingeführt, wie sie für die bisherigen Szenarien / Erwartungen erforderlich ist</p> <p>Technologien, die wir brauchen, kommen nicht</p> <p>Stigmatisierung fossile Energie vs. fossile Energie als Partner der Energiewende: Effizienzsteigerung in fossilen Technologien werden nicht weiterverfolgt, obwohl global gesehen großer CO<sub>2</sub>-Impact</p> <p>Verzögerte Lernkurven / Ausbau aufgrund fehlender kritischer Rohstoffe</p>
Finanzmittel für EE werden verknappt	<p>Finanzierungs-/Investitionsrationalität - Was passiert, wenn sich andere „bessere“ Anlagenformen ergeben – gibt es hier einen Einfluss einer rationalen Politik?</p> <p>Investoren finden attraktivere Anlagemöglichkeiten</p> <p>mangelnde öffentliche &amp; private Mittel zur Finanzierung der EW</p> <p>Finanzierung über große Zeiträume nicht sicherstellbar</p> <p>Stellenwert des Themas sinkt und führt zu sinkender Investitionsbereitschaft bspw. in Effizienzmaßnahmen</p>
Fortschritte bei bekannten EE	<p>Biomassepotenziale</p> <p>Effizienzfortschritte</p> <p>Kostendegressionen / Lernkurven</p>
Infrastrukturmangel	Fehlende Infrastrukturen
Internationale Politik	<p>Dauerhaft angespanntes Verhältnis mit Russland</p> <p>Frieden zwischen Iran und USA – Ölpreis sinkt stark</p> <p>Kriege und kriegerische Auseinandersetzungen in Europa nehmen zu / finden statt</p>
Kriminelle / terroristische Aktivitäten	<p>Cyberterrorismus (gegen Energie-Infrastruktur)</p> <p>IT-Virus legt System partiell lahm</p> <p>Schmutzige Bombe in Berlin — Stärkung der Proliferation und internationale Abwendung von Atomtechnologie</p> <p>Transnationale Gruppen kontrollieren Teile von Ländern (Drogen, Mafia, Islamisten, Anonymous) und kontrollieren Teile der Rohstoffversorgung</p> <p>Vulnerabilität gegenüber Sabotage/Terrorismus</p> <p>Zerstörung aller elektrischen und elektronischen Geräte durch Sabotage mittels elektromagnetischer Wellen (EMP-Bombs, Eruption auf der Sonnenoberfläche)</p>
Lobbyismus vs. gesellschaftliche Ziele der Energiewende	Lobbyismus der fossilen Energiewirtschaft hin zu längerer Betriebserlaubnis / Kapazitätssubvention

Risikocluster	mögliche Schwarze Schwäne / Initialrisiko
	Lobbyismus für ökonomisch ineffiziente CO <sub>2</sub> -Vermeidungsoptionen
	Lobbyismus von Netzausbaugegnern
Nachfrageänderungen können nicht von deutschen Unternehmen bedient werden	Geänderte Nachfrage, die von der deutschen Industrie nicht bedacht wird
	Die deutsche Wirtschaft ist nicht innovativ genug, um Anpassungen an neue Rahmenbedingungen schnell genug zu vollziehen
	Energiewende verläuft mit neuen Technologien aus dem Ausland
Nachfragezuwachs bleibt aus	Keine Energiewende im Ausland
	Extremwetter
	Extremwetterlagen nehmen zu – Abwendung von der Energiewende
	Extremwetterlagen nehmen zu – Zusätzliche Emissionsminderungsziele
Naturkatastrophen – Extremwetter	Heftiger Nordsee-Sturm – Offshore-Felder klappen um.
	Mehreren aufeinanderfolgenden Jahren mit außergewöhnlich wenigen Extremwetterereignissen
	Phase mit deutlich kälteren Wintern
	Sturm "knickt" Windkraftanlagen-Feld und verursacht damit Blackout
Naturkatastrophen – Man-made	Schwere Umweltkatastrophen als Treiber – Fukushima II in Frankreich, führt zu internationalen Nachvollzug der EW
	Tanker-Unglück vor der deutschen Küste
Naturkatastrophen – Naturereignis	Vulkanausbruch führt zu einer (weltweiten) Abkühlung
	Vulkanausbruch: Verschattung und geringe PV-Ausbeute
	Zunahme von Naturkatastrophen (Überschwemmungen, Erdbeben ...)
Preis bevorzugt (statt Effizienz)	Billige, aber nicht effiziente Technologie
	Entdeckung und Ausbeutung von Rohstoffen auf dem Mars
	Erdöl-/Gas-Lieferanten verkaufen nicht mehr (Marktaustritt), weil sie den Rohstoff selbst benötigen oder aus politischen Gründen (Boycott, Russische Machtspiele) kritische Rohstoffe für Querschnittstechnologien (jeder Kühlschrank hat ein Handy, smart grids)
Rohstoffzugang ändert sich erheblich	Peak Oil
	Stahl und Kupfer
	Tipping Point für Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen
	Verknappung seltener Metalle
	Zugang zu Rohstoffen / Zwischenprodukten (Monopole und deren „Auszug“ aus dem Weltmarkt)
Stärkung von auf fossilen Energien basierenden Technologien	Australien und / oder China setzen voll auf Kohleverflüssigung
	CCS / Probleme mit CCS
	Technologie, die die Effizienz fossiler Energien erheblich steigert
Unakzeptable Kosten (Umwelt, Wirtschaft) der Klimapolitik	Abfälle, z.B. Entsorgung von Silizium, Dämmstoffen
	Akzeptanz für Maßnahmen und Kosten, Verteilungsmechanismen
Wahrnehmung der Energiewende/Klimawandel	"Eiszeit-Panik" – Naturereignis führt zu Abkühlung, Angst vor zu viel Abkühlung wird (politisch, medial) geschürt und damit Klimaschutz ausgehebelt ("Erwärmung notwendig")
	Anpassung an Klimawandel geht „geräuschlos“ vor sich – damit sinkt die Akzeptanz für die Energiewende (bspw. durch technologische Entwicklung)
	EW und Klimaschutz geraten in Misskredit durch "wissenschaftlich" gestützte Kampagnen der Anti-Klimaschutzexponenten
	Grundlagen der Energiewende erodieren (Klimawandel)
	Klimapolitik als "Eliten-Politik" – Wirtschaftskrise (oder bspw. Einbruch bei Markteinbrüche der dt. Autobauern) führt zu Änderung der politischen Agenda (bspw. Verzicht auf CO <sub>2</sub> -Flottenvorgaben)

Risikocluster	mögliche Schwarze Schwäne / Initialrisiko
	Klimawandel tritt nicht (merkbar) ein
	Mangelnder politischer Konsens über Energiewende
	Negative Berichterstattung über Energiewende
Währungskonkurrenz	Dollar wird als internationale Währung nicht mehr akzeptiert
Wassermangel	Wassermangel
Weltwirtschaftliche Entwicklung / Wirtschaftskrise	Entwicklung Weltwirtschaft (z.B. Chinas Wirtschaftswachstum bricht ein) Niedrige Wachstumsrate: Auslöser „Krise in Europa“ (Auseinanderbrechen EU, Rezessionsphase ...); Kriege in der Welt, Zerfall/Schwächung der EU (nicht: technologischer Stillstand oder Alterung)



### 5.3 Bewertung der abgeleiteten Cluster durch Experten

Tabelle 5-3: Expertenbewertung der Cluster (Sortierung nach Kriterium „Betroffenheit“)

Risikocluster	Betroffenheit (0= niedrig, 3=hoch)
Rohstoffzugang ändert sich erheblich	2,11
Erhebliche Änderungen der Energiepreise	2,08
Weltwirtschaftliche Entwicklung / Wirtschaftskrise	2,07
EE-Nutzung gefährdet Energieversorgung / Versorgungssicherheit	2,00
Änderung gesellschaftlicher & politischer Prioritäten / Ressourcenkonflikt	1,99
Disruptive Technologie - Bahnbrechende (nicht fossile) Technologien werden am Markt eingeführt	1,98
Kriminelle / terroristische Aktivitäten	1,97
Entwicklung eines internationalen Klimaregimes	1,94
Unakzeptable Kosten (Umwelt, Wirtschaft) der Klimapolitik	1,94
Disruptive Technologie - Durchbrüche bei Speichertechnologien	1,91
Disruptive Technologie - Fortschritte bei bekannten EE	1,88
Stärkung von auf fossilen Energien basierenden Technologien	1,87
Naturkatastrophen - Man-made	1,83
Anstieg der Energiepreise	1,79
Internationale Politik	1,78
EU wird instabil durch innenpolitische Entscheidungen	1,77
Infrastrukturmangel	1,74
Wassermangel	1,71
Naturkatastrophen - Extremwetter	1,70
Fortschritte bei bekannten EE	1,69
Wahrnehmung der Energiewende/Klimawandel	1,65
Blockaden beim Netzausbau	1,65
Energiewende stärkt Wirtschaft und Wettbewerbsfähigkeit	1,64
Preis bevorzugt (statt Effizienz)	1,63
Bedeutungsänderung der Energiekosten für Wirtschaft / Gesellschaft	1,63
Naturkatastrophen - Naturereignis	1,61
Lobbyismus vs. gesellschaftliche Ziele der Energiewende	1,60
Digitalisierung verändert Märkte und Technologie	1,60
Finanzmittel für EE werden verknappt	1,60
Bevölkerungsakzeptanz ändert sich rapide	1,58
Fehlende Technologieentwicklung	1,55
Anstieg der Energienachfrage	1,50
Änderungen von Marktstrukturen	1,48
Nachfrageänderungen können nicht von deutschen Unternehmen bedient werden	1,46
Nachfragezuwachs bleibt aus	1,46
Einzelne Investitionsentscheidungen als Game Changer	1,43
Währungskonkurrenz	1,39
Fachkräftemangel bei neuen Technologien	1,27
Änderungen der Energiepolitik im Ausland	1,20
Biodiversität ändert sich	1,13
Demografischer Wandel	1,07

## 5.4 Auswahlliste der zu bearbeitenden Cluster

Tabelle 5-4: *Auswahlliste der zu bearbeitenden Cluster (alphabetische Sortierung)*

Zur Bearbeitung ausgewählte Cluster
Änderung gesellschaftlicher & politischer Prioritäten / Ressourcenkonflikt
Digitalisierung verändert Märkte und Technologie
Disruptive Technologie - Bahnbrechende (nicht fossile) Technologien werden am Markt eingeführt
Disruptive Technologie - Durchbrüche bei Speichertechnologien
Entwicklung eines internationalen Klimaregimes
Erhebliche Änderungen der Energiepreise
Finanzmittel für EE werden verknappt
Infrastrukturmangel (/ Blockaden beim Netzausbau)
Kriminelle & terroristische Aktivitäten
Rohstoffzugang ändert sich erheblich
Stärkung von auf fossilen Energien basierenden Technologien
Unakzeptable Kosten (Umwelt, Wirtschaft) der Klimapolitik

## 5.5 Literatur

acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) (2011): Akzeptanz von Technik und Infrastrukturen, Berlin.

Agora Energiewende (2015): Elf Eckpunkte für einen Kohlekonsum – Konzept zur schrittweisen Dekarbonisierung des deutschen Stromsektors, Berlin.

Benz, B. / Scherschel, F. A. (2015): Der Feind im Innern - Risiko Firmware: Vom gehackten Auto bis zum bössartigen USB-Stick, in: c't 21/15, S. 80.

Benz, B. / Scherschel, F. A. / Windeck, C. (2015): Vermurkst. Weshalb Firmware längst ausgerotteten Sicherheitslücken eine Renaissance beschert, in: c't 21/15, S. 90.

Bergert, D. (2015): Sicherheit: Hacker übernehmen smartes Scharfschützengewehr, in: Heise Security vom 29.07.2015, online: <http://www.heise.de/security/meldung/Sicherheit-Hacker-uebernehmen-smartes-Scharfschuetzengewehr-2765095.html>.

BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie)(2015): Zahlen und Fakten, online: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Strommarkt-der-Zukunft/zahlen-fakten.html>.

- Brucker, M., de Schutter, L., Schriefl, E., Haider, A., Bohunovsky, L., Lugschitz, B., Polzin, C. (2013): Progress Report 3: Scenarios of RE technology growth. im Rahmen des Projekts „Feasible Futures for the Common Good“, Wien.
- DECC (2015), DECC Fossil Fuel Price Projections 2015, [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/477958/2015\\_DECC\\_fossil\\_fuel\\_price\\_assumptions.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/477958/2015_DECC_fossil_fuel_price_assumptions.pdf).
- Eikenberg, R. (2013): Vaillant-Heizungen mit Sicherheits-Leck, in: Heise Security vom 15.04.2013, online: <http://www.heise.de/security/meldung/Vaillant-Heizungen-mit-Sicherheits-Leck-1840919.html>.
- ENTSO-E & Europacable (2010): Joint paper: Feasibility and technical aspects of partial undergrounding of extra high voltage power transmission lines. Brüssel, Dezember 2010.
- ENTSO-E (2015), Scenario Outlook & Adequacy Forecast (SO&AF) 2015, [https://www.entsoe.eu/Documents/SDC%20documents/SOAF/150630\\_SOAF\\_2015\\_publication\\_wcover.pdf](https://www.entsoe.eu/Documents/SDC%20documents/SOAF/150630_SOAF_2015_publication_wcover.pdf).
- Graedel, T. (2011): On the Future Availability of the Energy Metals. Annual Review of Materials Research, 41, 323-335.
- Großmann, A., Lehr, U., Wiebe, K.S., Wolter, M.I. (2013): Progress Report 5a - Modelling the Effects of the Energy Transition in Austria. Assessment of the Economic and Environmental Effects, Osnabrück.
- GWS, Ecofys & Fraunhofer ISI (2015): Wettbewerbsfähigkeit und Energiekosten der Industrie im internationalen Vergleich. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Berlin.
- Heinrich, S. (2014): Regulierung neuer Technologien – konkurrierende Sicherheitskulturen am Beispiel der Nanotechnologie. In: Lange, Hans-Jürgen, Wendekamm, Michaela, Endreß, Christian (Hrsg.), Dimensionen der Sicherheitskultur, S. 163-178, Wiesbaden.
- 50 Hertz (2012): Freileitung oder Erdkabel, Hintergrundinformation. März 2012.
- Kaplan, S. & Garrick, B.J. (1981): On the quantitative definition of risk. Risk Analysis, 1, 11-27.

- Lutz, C., Wiebe, K. S. (2012): Economic impacts of different Post-Kyoto regimes. *International Journal of Energy Science* 2(4), 163-168.
- Lutz, C., Wiebe, K. S., Wunsch, M. (2010): *Ökonomische Analyse alternativer Klimaschutzbeiträge von Staaten im Rahmen eines internationalen Klimaschutzabkommens für die Zeit nach 2012 und deren Auswirkungen auf die Energiewirtschaft und andere Sektoren*, Studie im Auftrag des BMWi, Osnabrück.
- Moss, R.L., Tzimas, E., Kara, H., Willis, P., Kooroshy, J. (2011): *Critical Metals in Strategic Energy Technologies. Assessing Rare Metals as Supply-Chain Bottlenecks in Low-Carbon Energy Technologies*. JRC Scientific and Technical Reports, Luxembourg.
- NEP (2015): *Netzentwicklungsplan Strom 2025, Version 2015, Zweiter Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber*, 29. Februar 2016.
- Phleps, P., Feige, I., Zapp, K. (2015): *Die Zukunft der Mobilität – Szenarien für Deutschland in 2035* (ifmo in Zusammenarbeit mit Prognos, Inovaplan, Fraunhofer AG), München.
- Prognos, EWI, GWS (2010): *Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung*. Studie im Auftrag des BMWi, Basel, Köln, Osnabrück.
- Prognos, EWI, GWS (2014) *Entwicklung der Energiemärkte - Energiereferenzprognose*. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (heute: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie), Basel, Köln, Osnabrück.
- Prognos, ifeu, IWU (2015): *Effizienz-Strategie Gebäude; Hintergrundpapier im Auftrag des BMWi*, Berlin.
- Schriegl, E., Bruckner, M., Haider, A., Windhaber, M. (2013): *Metallbedarf von Erneuerbare-Energie-Technologien. Progress Report 2 im Rahmen des Projekts „Feasible Futures for the Common Good“*, Wien.
- Stahl, L.-F. / Benz, B. / Eikenberg, R. (2015): *Risiko verdrängt und vergessen. Industriesteuerungen nach über zwei Jahren noch verwundbar*, in: *ct* 21/15, S. 86.
- SFK (Störfall-Kommission)(2004): *Risikomanagement im Rahmen der Störfall-Verordnung*. [http://www.sfk-taa.de/berichte\\_reports/berichte\\_sfk/sfk\\_gs\\_41.pdf](http://www.sfk-taa.de/berichte_reports/berichte_sfk/sfk_gs_41.pdf)

Taleb, N.N. (2007): The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable, London.

Technopolis Group / F.A.Z.- Institut GmbH (Hrsg.) (2014): Workshopreihe mit begleitender Studie zur Technologieaufgeschlossenheit und Innovationsfreundlichkeit der Gesellschaft in Deutschland. Begleitstudie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie

TU Ilmenau (2012): Freileitungen oder Erdkabelleitungen? Eine Metastudie über die Kriterien und Ergebnisse von Untersuchungen zum Netzausbau. Ilmenauer Beiträge zur elektrischen Energiesystem-, Geräte- und Anlagentechnik (IBEGA). Universitätsverlag Ilmenau, 2012.

Vbw (Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft)(2015): Bayerns Zukunftstechnologien. Eine Studie im Auftrag der vbw erstellt von der Prognos AG, München.

WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen)(1998): Welt im Wandel. Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken. Jahresgutachten 1998, Berlin.

Wiebe, K. S., Lutz, C. (2016): Endogenous technological change and the policy mix in renewable power generation. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 60, pp. 739-751. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.176.