



Arbeitspapier zur Vorbereitung des Stakeholderdialogs zu Chancen und Risiken des Klimawandels - Energiewirtschaft

Autoren: Elisa Dunkelberg, Antje Stegnitz, Dr. Bernd Hirschl
Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)
Forschungsfeld Nachhaltige Energiewirtschaft und Klimaschutz

Stand: 11. Juni 2009

Inhalt

1	Einleitung.....	1
2	Auswirkungen des Klimawandels auf die Energiewirtschaft	2
2.1	Rohstoff- und Brennstoffversorgung (inkl. Logistik)	2
2.2	Erzeugung von Energie	3
2.3	Übertragung und Verteilung von Energie - Infrastrukturen / Netze.....	4
2.4	Gesamtnachfrage und Nachfragemuster nach Energie.....	5
3	Maßnahmen zur Anpassung der Energiewirtschaft an den Klimawandel..	5
3.1	Rohstoff- und Brennstoffversorgung (inkl. Logistik)	5
3.2	Erzeugung von Energie	6
3.3	Übertragung und Verteilung von Energie - Infrastrukturen / Netze.....	6
3.4	Gesamtnachfrage und Nachfragemuster nach Energie.....	7
4	Fokussierung auf ausgewählte Auswirkungen.....	8
5	Literatur.....	10

1 Einleitung

Der Klimawandel stellt eine große Herausforderung an Sektoren und Unternehmen, die nicht nur einen Beitrag zum Klimaschutz leisten sollen, sondern sich an bevorstehende und bereits eintretende Klimaänderungen anpassen müssen. Hierfür sind möglichst genaue Prognosen zur regionalen Entwicklung des Klimas notwendig. Derzeit existieren mindestens vier Regionalisierungsmodelle (REMO, CLM, WETTREG und STAR), die die vom IPCC definierten Klimaszenarien auf Deutschland anwenden bzw. auf die regionale Skala herunterrechnen. Die Jahresmitteltemperatur wird allen Modellen zufolge ansteigen, die Prognosen liegen abhängig vom gewählten Modell zwischen ca. 1 und 2,5 °C Zunahme bis 2050. Die Niederschlagsmenge wird sich voraussichtlich nur geringfügig ändern, bezüglich der regionalen und saisonalen Verteilung werden jedoch deutliche Veränderungen prognostiziert. Allen Modellen zufolge sinken die Niederschläge im Sommer, während die Winter feuchter werden (BMU 2008b). Die Vorhersage von Extremwetterereignissen wie Trocken- und Dürreperioden, Starkniederschläge, Stürme, Hagel, Blitze und Gewitter ist im Vergleich zu Temperaturzunahme und Veränderung der Niederschläge weniger verlässlich. Die wissenschaftliche Absicherung, dass Hitzeperioden, Starkregenereignisse und Blitze zunehmen werden, ist laut Deutscher Meteorologischer Gesellschaft (DMG) jedoch gut bis sehr gut (DMG 2007).

Während der Beitrag der Energiewirtschaft zum Klimaschutz in aller Munde ist, dringt das Thema Anpassungsbedarf der Energiewirtschaft erst in der letzten Zeit in die wissenschaftliche und politische Diskussion sowie in die Unternehmenspraxis.

Von der **Europäischen Kommission** liegt ein White Paper zur Anpassung an den Klimawandel vor, in dem das Thema Energieinfrastrukturen länderübergreifend behandelt wird (COM 2009). Eine Komponente des White Papers ist die Einrichtung einer staatenübergreifenden Daten- und Wissensbasis zu den Folgen des Klimawandels und best-practice-Beispielen der Anpassung. In einem EU-Forschungsprojekt (ADAM¹) wird eine Fallstudie zu den politischen Optionen bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels auf den Elektrizitätssektor innerhalb der EU erarbeitet (Hulme et al. 2009) sowie die Anpassungskosten und die makroökonomischen Wirkungen der Anpassungsmaßnahmen auf EU-Ebene untersucht (Jochem 2009). Im selben Projekt entstand eine Veröffentlichung von Eskeland et al., die die Auswirkungen des Klimawandels auf die Energiewirtschaft für den Zeitraum bis 2020 betrachtet und standortspezifische Unterschiede zwischen den EU-Ländern herausstellt. Der Fokus der Studie liegt jedoch auf der Vermeidung von CO₂-Emissionen (Eskeland et al. 2008). Ebenfalls auf den Elektrizitätssektor fokussieren Arbeiten von Rothstein und Mimler et al., Schwerpunkte sind unter anderem die Abhängigkeit des Sektors von einem verlässlichen Schifftransport (Rothstein et al. 2008), die

¹ ADAM (Adaption and Mitigation Strategies for Europe) ist ein integriertes Projekt der EU mit dem Ziel, das Verständnis des Trade-Offs und der Konflikte zwischen Anpassungs- und Vermeidungsstrategien zu verbessern. Vor diesem Hintergrund werden verschiedene Fallstudien, u.a. „Climate Change Adaption Scenario for the European Electricity Sector“ erarbeitet (Hulme et al. 2009).

Kühlung in thermischen Kraftwerken sowie Verbrauchsänderungen (Mimler et al. 2009)). Mansanet-Bataller et al. (2008) untersuchen die Auswirkungen des Klimawandels für den französischen Energiesektor mit Fokus auf die Infrastruktur. Bezüglich der Auswirkungen werden Vulnerabilitäten gegenüber Trends in der Klimaentwicklung (z.B. stetige Temperaturzunahme) und gegenüber Extremwetterereignissen (z.B. Stürme) unterschieden und Anpassungsmaßnahmen abgeleitet (Mansanet-Bataller et al. 2008).

Für **Deutschland** wurde am 17. Oktober 2008 die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) beschlossen, der zufolge die Energiewirtschaft eigenständig Strategien zur Anpassung entwickeln und umsetzen soll. Bund und Länder könnten lediglich Kenntnisse einbringen und einen ordnungsrechtlichen Rahmen setzen (BMU 2008b). Wichtige Veranstaltungen innerhalb von Deutschland waren das „Nationale Symposium zur Identifizierung des Forschungsbedarfs“ (27.-28. August 2008) im Rahmen der DAS und der Nationale Workshop des UBA „Klimaänderungen in Deutschland. Regionale Szenarien und nationale Aufgaben“ (17. Oktober 2006), für den das Papier „Elektrizitätswirtschaft als Betroffene des Klimawandels“ erarbeitet wurde (Rothstein et al. 2006). Für das Symposium im Rahmen der DAS liegt ein Thesenpapier für das Betrachtungsfeld Energie vor, in dem eine Vielfalt von Klimaauswirkungen sowie Anpassungsmaßnahmen aufgeführt sind (Kuckshinrichs et al. 2008).

Im Rahmen dieser Kurzexpertise wird analysiert, welche Auswirkungen der Klimawandel auf den Energiesektor in Deutschland entlang der Wertschöpfungskette haben kann. Daran anknüpfend werden Anpassungsmaßnahmen vorgestellt. Als Fazit erfolgt eine kriterienbasierte Priorisierung der Themen.

2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Energiewirtschaft

Die Auswirkungen des Klimawandels beeinflussen die Energiewirtschaft in der gesamten Prozesskette (Eskeland et al. 2008). Als besonders empfindlich gelten die Bereiche Elektrizitätserzeugung – sowohl aus fossilen Rohstoffen als auch aus Erneuerbaren Energien –, Elektrizitätsübertragung und -verteilung sowie Elektrizitätsnachfrage (KomPass 2006; BMU 2008b).

Abbildung 1: Wertschöpfungskette der Energiewirtschaft

Roh- und Brennstoffversorgung	Logistik / Transport	Energieerzeugung	Energieverteilung / Netze	Energienachfrage
<ul style="list-style-type: none"> - Fossile Rohstoffe: Öl, Gas, Kohle - Biomasseerzeugung - Wasserangebot - Windangebot - Solarstrahlung 	<ul style="list-style-type: none"> - Schifffahrt - Bahnverkehr - Straße / LKW - Pipelines 	<ul style="list-style-type: none"> - thermische Kraftwerke - Windenergie - Solarenergie - Wasserkraft - Geothermie 	<ul style="list-style-type: none"> - Transformatoren - Leitungsnetze - Masten - Kabeltrassen - Umspannwerke - Fernwärmenetz 	<ul style="list-style-type: none"> - Wärmebedarf im Winter - Kühlungsbedarf im Sommer - Lastkurve im Tagesverlauf

2.1 Rohstoff- und Brennstoffversorgung (inkl. Logistik)

Bereits die vorgelagerten Versorgungsprozesse des Energiesektors, die Roh- und Brennstoffgewinnung sowie Transport und Logistik sind gegenüber Klimaänderungen

empfindlich. So kann die **Ölförderung** durch zunehmende Stürme weltweit beeinträchtigt werden, was infolge eines höheren Förderaufwands sowie einer Rohstoffverknappung zu einer Erhöhung der Rohstoffpreise führen könnte (Kemfert 2007). Höhere Kosten und unter Umständen auch Versorgungsengpässe wären die Folgen für den nationalen Energiesektor. Prinzipiell gilt dies auch für die **Gasförderung**, da sich insbesondere die Förderung aus Lagerstätten im Meer durch Zunahme von Extremwetterereignissen erschweren könnte. Beim Abbau von **Braunkohle** können sich infolge von Starkregenereignissen veränderte Ansprüche an die Wasserhaltung ergeben. Eine Veränderung der regionalen Wasserhaushalte stellt darüber hinaus möglicherweise neue Anforderungen an eine Rekultivierung der Tagebaurestlöcher, die derzeit durch Flutung erfolgt (Kuckshinrichs et al. 2008). Auch die Bereitstellung von **Biomasse** reagiert sensibel auf Klimaänderungen, da die Erträge wesentlich von klimatischen Faktoren wie Temperatur und Niederschlag beeinflusst sowie durch Extremwetterereignisse beeinträchtigt werden (BMU 2008b).

Engpässe in der Versorgung von Kraftwerken mit fossilen Brennstoffen können zudem infolge von **Verkehrsbeeinträchtigungen** auftreten (BMU 2008a). Ereignisse wie Stürme, Starkregen, Sturmfluten und Gewitter beeinträchtigen in besonders hohem Maße die Gütertransporte durch Bahn und Schiffe. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung veröffentlichte 2007 eine Bestandsaufnahme, in der mögliche klimabedingte Auswirkungen auf die Binnen- und Seeschifffahrt ermittelt wurden (BMVBS 2007). Wassertiefstände ebenso wie Hochwasser können den Transport mit Schiffen erschweren bzw. verhindern (Kuckshinrichs et al. 2008). Eine Abnahme der Eis- und Frosttage als Folge des Klimawandels würde dagegen zu geringeren Einschränkungen in allen Verkehrssektoren führen (UBA 2009).

2.2 Erzeugung von Energie

Für **thermische Kraftwerke**, wie Kohle- GuD- und Kernkraftwerke, wird als ein zentrales Problem in allen Studien sowie als Ergebnis der bisherigen Workshops die Verfügbarkeit von Kühlwasser genannt (BMU 2008a; KomPass 2006; Mansanet-Bataller et al. 2008; Mimler et al. 2009; Rothstein et al. 2008). Diese Kraftwerke können in den Sommermonaten insbesondere durch Niedrigwasser und höhere Gewässertemperaturen Einschränkungen erfahren. Auch Kraftwerke, die ihre Kühlung aus dem Grundwasser beziehen, könnten durch lange Trockenperioden und somit sinkende Wasserpegel beeinträchtigt werden. Um den wasserrechtlichen Auflagen zu entsprechen, müssen Energieerzeuger die Leistung flusswasser- und grundwassergekühlter Kraftwerke reduzieren. Alternativ könnten Ausnahmeregelungen, wie im Sommer des Jahres 2003, erlassen werden, was jedoch die Flussökosysteme zusätzlich belasten würde (BMU et al. 2008; Kemfert 2007). Der Klimawandel induziert zudem Wirkungsgradverschlechterungen bei konventionellen Kraftwerken infolge höherer Temperaturen des Kühlwassers und bei Gasturbinen zusätzlich durch eine höhere Lufttemperatur. Auch die Effizienz eines Kühlturms sinkt mit steigender Lufttemperatur (Kuckshinrichs et al. 2008).

Innerhalb der **Erneuerbaren Energien** ist die Windenergienutzung in besonderer Weise durch eine Veränderung der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit und des Energiegehalts des Windes betroffen. Dies kann einerseits in Mehrerträgen resultieren, andererseits jedoch zu einer höheren Abschalthäufigkeit der Anlagen führen, um bei Starkwin-

den einer Netzüberlastung entgegenzuwirken. Allerdings ist die Prognose, dass heftigere Stürme auftreten werden, der DMG zufolge mit großer Unsicherheit behaftet. Die Solarenergienutzung erfährt eine Beeinflussung durch eine Veränderung des Solarstrahlungsangebots. Infolge einer Veränderung von Lufttrübung und Aerosolen kann sich die Wolkenbildung verstärken oder auch verringern und dadurch die Solarenergieausbeute beeinflussen. Bis 2100 zeigen im Modell Remo alle Szenarien eine Abnahme der Bewölkung im Sommer und eine potentielle Zunahme im Winter (UBA 2008). Die wissenschaftliche Absicherung der Änderung der Wolkenbildung ist der DMG zufolge jedoch gering. Zudem können bei Solaranlagen durch eine höhere Lufttemperatur Wirkungsgradverschlechterungen auftreten (Kuckshinrichs et al. 2008). Insgesamt werden durch zunehmende Extremwetterereignisse wie Starkwinde und Hagel die Anforderungen an die Sicherheit der Befestigung von Solar- und Windenergieanlagen steigen (BMU 2008b). Für Wasserkraftwerke ermittelte das BMU mögliche Betriebseinschränkungen bei Hoch- oder Niedrigwasserereignissen, die als Folge von veränderten Niederschlagsmengen und Trockenperioden auftreten (BMU 2008b). Bezüglich des Abschmelzens der Alpengletscher existieren kontroverse Meinungen: Grundsätzlich können neue Erzeugungsmöglichkeiten wie z.B. Gletscherwasserkraftwerke entstehen (Kuckshinrichs et al. 2008). Durch eine Abnahme der Wasserspeicherkapazität in Form von Schnee und Gletschern werden im Frühling und Sommer jedoch geringere Wassermengen zur Verfügung stehen, so dass die Wasserkraftnutzung insgesamt eingeschränkt wird (Mansanet-Bataller et al. 2008).

2.3 Übertragung und Verteilung von Energie - Infrastrukturen / Netze

Die Verteilung von Elektrizität kann entweder über Freileitungen oder Erdkabel erfolgen. Während im Mittel- und Niederspannungsbereich bereits Erdkabel überwiegen, ist der Anteil im Hochspannungsbereich verschwindend gering (Wassenberg 2009). Bei **Freileitungen** muss ein bestimmter Sicherheitsabstand zwischen Freileitung und Boden eingehalten werden. Klimatische Faktoren wie Temperatur und Wind sowie hohe Leitertemperaturen (große Ströme) beeinflussen den Durchhang der Freileitungen (E.ON Netz 2007). Bei der Ermittlung der Transportkapazität müssen Klimaänderungen aus diesem Grund berücksichtigt werden. Daneben werden erhöhte Übertragungsverluste in Hochtemperaturzeiten als kritischer Aspekt identifiziert (Jochem 2009). Leitungsnetze werden außerdem infolge erhöhter Frequenz und Intensität atmosphärischer Einwirkungen (Blitze, Gewitter, Wind, Eislasten) höheren Anforderungen ausgesetzt (BMU 2008a; KomPass 2006). Häufigere und heftigere Extremwetterereignisse wie Stürme oder Blitze können zu Beschädigungen an den Leitungsnetzen führen (BMU 2008b). Bei Starkwinden kann zudem eine Überlastung der Netze auftreten, in deren Folge Windenergieanlagen abgeschaltet werden müssten. In der Mittel- und Hochspannung (10 bis 100 kV) hat der Anteil an Versorgungsunterbrechungen bei windbedingten Störungen seit den 70er Jahren zugenommen. Ein ebenfalls positiver Trend ist bei blitzbedingten Störungen zu beobachten. Beide Ereignisse sind möglicherweise auf häufigere bzw. intensivere Gewitter- und Sturmereignisse zurückzuführen. Ein direkter Zusammenhang zum Klimawandel ist jedoch nicht zweifelsfrei nachgewiesen (KomPass 2006). An **Erdkabeln** können Trockenheit und Hitze Beschädigungen verursachen (Kuckshinrichs et al. 2008).

Als eine weitere mögliche Folge des Klimawandels wurde ein erhöhter Bedarf an Speicher- und Regelenergie identifiziert (BMU 2008a), der auf mögliche Leistungsreduktionen thermischer Kraftwerke in Hitzeperioden sowie auf Fluktuationen in der Stromspeisung infolge von Starkwinden zurückgeführt werden kann. Weitere Aspekte sind eine kürzere Lebensdauer von Betriebsmitteln wie z.B. Transformatoren auf Grund des häufigeren Auftretens von Spitzenlasten. Bei häufigeren Hochwasserereignissen wären Umspannanlagen einem Überflutungsrisiko ausgesetzt und es könnte zum Freispülen von Kabeltrassen, Unterspülen von Mastfundamenten und zur Beschädigung von Masten durch Erdrutsche und Murenabgänge kommen (Kuckshinrichs et al. 2008).

2.4 Gesamtnachfrage und Nachfragemuster nach Energie

Sowohl in der Gesamtnachfrage nach Energie als auch im Verbrauchsmuster sind Veränderungen bei Privathaushalten sowie bei Industriekunden zu erwarten. Ein allgemeiner Temperaturanstieg senkt vermutlich den Wärmebedarf im Winter, wodurch sich die Auslastung durch einen Nachfragerückgang verringern könnte und/oder Fernwärmenetze angepasst werden müssten. Zugleich erhöht sich jedoch der Kühlungsbedarf im Sommer, dies wird verstärkt durch intensivere und häufigere Hitzeperioden (BMU 2008b; Mansanet-Bataller et al. 2008; KomPass 2006). Ein höherer Elektrizitätsbedarf zur Kühlung könnte besonders in Zeiten eingeschränkter Produktionsmöglichkeiten entstehen (BMU 2008a), da Hitzeperioden mit einer Einschränkung des Kühlwasserangebots und einer Abnahme des Wirkungsgrades einhergehen. Eine Alternative zu dezentralen Kühlanlagen könnten Systeme der Fernkühlung darstellen. Mit einer Mediterranisierung des Lebensstils wäre außerdem eine Verschiebung der Lastkurve im Tagesverlauf verbunden (Kuckshinrichs et al. 2008).

3 Maßnahmen zur Anpassung der Energiewirtschaft an den Klimawandel

Basierend auf den beschriebenen Auswirkungen werden nachfolgend einige in der Diskussion befindliche oder teilweise bereits angegangene Maßnahmen in der Reihung der oben genannten Themenschwerpunkte dargestellt.

3.1 Rohstoff- und Brennstoffversorgung (inkl. Logistik)

Umfangreiche Forschungsaktivitäten existieren zum Thema Anpassung der Biomasseerzeugung (z.B. GPZ (o.J.), Schaller/ Weigel (2007)). Bezüglich Öl-, Gas- und Kohleförderung liegen keine Informationen über bereits umgesetzte Anpassungsmaßnahmen vor, auf dem Symposium der DAS wurde für diesen Bereich Forschungsbedarf identifiziert. Im Themengebiet Logistik besteht besonders hoher Anpassungsbedarf bezüglich der Wasserwege. Ein Unternehmen, das bereits Anpassungsmaßnahmen entwickelt, ist die EnBW. Diese plant den Ausbau von Lagerflächen und -speichern sowie die Erschließung von zusätzlichen Infrastrukturmöglichkeiten (Bahntransport). Rothstein et al. entwickeln verschiedene Vorschläge zum Ausbau von Lager- und Speicherkapazitäten sowie weiterführende Anpassungsmaßnahmen wie höhere Frachtkosten, um modernere Frachtschiffe in Anspruch nehmen zu können (Rothstein et al. o.J.).

3.2 Erzeugung von Energie

In zentralen Anlagen der Energiewirtschaft werden teilweise bereits die Abwassernetze verstärkt, um eine verbesserte Abführung von Regenwasser als Schutz gegen Starkregen zu gewährleisten. Außerdem soll die Bildung von Krisenstäben bei extremen Wetterereignissen eine schnelle Reaktion ermöglichen (BMU 2008b).

Thermische Kraftwerke sind insbesondere durch eine sich verändernde Verfügbarkeit von Kühlwasser betroffen. Um zum einen das ökologische Gleichgewicht von Gewässern zu erhalten und zum anderen eine Leistungsreduktion von thermischen Kraftwerken zu vermeiden, sind genaue, flussgebietsbezogene Analysen sowie innovative Kühlungsansätze vonnöten. Im GLOWA Elbe und Donau Projekt werden Strategien zur nachhaltigen Bewältigung von Wasserverfügbarkeitsproblemen ermittelt (GLOWA 2009). Die drei Elbländer Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein haben einen neuen Wärmelastplan für die Elbe aufgestellt, der seit dem 01.01.2009 in Kraft ist und in dem Grenzwerte für maximale Einleit- und Gewässertemperaturen festgelegt sind (Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt 2008). Dem BMU zufolge werden für den Fall, dass im Sommer Fluss- und Grundwasserkühlung nicht mehr möglich sind, partiell bereits Notwasseranschlüsse für Kraftwerke angelegt (BMU 2008b). Als wenig energieeffiziente Variante werden in thermischen Kraftwerken Kühltürme eingesetzt, um das anfallende Kühlwasser auf eine geringere Einleittemperatur zu bringen (Mimler et al. 2009). Grundsätzlich bietet die Kraft-Wärme-Kopplung bzw. die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung eine sinnvolle Möglichkeit, die anfallende Wärme in Nah- oder Fernwärmekonzepten zu nutzen. (Wagner 2002; Berliner Energieagentur 2008). Voraussetzung für diese Nutzung ist eine möglichst geringe Distanz der Heizkraftwerke zu den Wärme- bzw. Kälteabnehmern. Weitere Maßnahmen sind die Installation von Einsaug-Luftkühlern bei Gasturbinen-Anlagen und das Anlegen und Vorhalten von Ausgleichsseen, die eine Wasserentnahme ermöglichen, wenn nicht ausreichend Flusswasser zur Verfügung steht (Kuckshinrichs et al. 2008).

3.3 Übertragung und Verteilung von Energie - Infrastrukturen / Netze

Die dena hat in der Netzstudie I Maßnahmen zur **Optimierung der Netze** abgeleitet und dabei ausgehend vom angestrebten Ausbau der Windenergie das Problem der Starkwinde berücksichtigt² (dena 2008). Der dort geforderte Ausbau von Kabelstrecken zum Schutz vor Starkwinden wird laut BMU bereits umgesetzt (BMU 2008b). In ihrer zweiten Netzstudie hat die dena Maßnahmen zum Umgang mit einer windbedingten Erhöhung der Netzübertragungsleistung ermittelt. Ebenso wenig wie in der Netzstudie I wird hier ein direkter Bezug zum Klimawandel hergestellt, die Maßnahmen können jedoch im Falle zunehmender Starkwinde hilfreich sein. Neben Freileitungs-Monitoring bzw. Temperaturmonitoring wird die Netzverstärkung durch Hochtemperaturseile als eine kosten-

² Unter anderem wurde der Bau von Querreglern, die Erweiterung von Schaltanlagen, die Bereitstellung von Anlagen zur Blindleistungskompensation, der Bau neuer Transformatoren, die Umstellung bestimmter Stromkreise auf eine höhere Spannungsebene und die Verstärkung von bestehenden Trassen vorgeschlagen.

günstige Möglichkeit vorgeschlagen, um mit fluktuierendem Windstrom und erhöhten Übertragungsleistungen umzugehen (Wörlen 2008). Auch der Bundesverband Wind-Energie (BWE) beschäftigt sich mit den Auswirkungen von Stürmen auf Windenergieanlagen und Netze. Um mechanische Überbelastungen und Störungen im Übertragungsnetz zu vermeiden, wird in vielen Anlagen heute eine sogenannte Sturmregelung oder sanfte Sturmabschaltung eingesetzt (BWE 2009).

Ebenfalls zur Vermeidung einer Netzüberlastung wird bereits das so genannte Einspeisemanagement eingesetzt, bei dem einzelne EEG- oder KWK-Anlagen bei Überlastung der Netze ihre Leistung herunter fahren (z.B. E.ON (2009)). Eine ähnliche Maßnahme ist der Einsatz eines Netzsicherheitsmanagements (NSM) (z.B. envia Netz GmbH). In diesem Fall werden nur noch Anlagen angeschlossen, die mit einer Einrichtung zur Leistungsreduzierung, dem NSM-Modul ausgestattet sind. Dieses Modul erkennt eine Überschreitung der zulässigen Belastung im Netzsystem und kann die notwendige Reduktion errechnen (Envia Netz GmbH o.J.).

Insgesamt steigen infolge der genannten Risiken die Ansprüche an Wettervorhersagen (**Energiemeteorologie**) (BMU 2008a). Im Zusammenhang mit Starkwinden und der Netzstabilität ist eine möglichst genaue Vorhersage der Windstärke notwendig. Das Thesenpapier zum Forschungssymposium sieht aus diesem Grund die Notwendigkeit, im Bereich der Windmodelle Unsicherheiten zu reduzieren und Aussagen darüber zu treffen, wie sich das Auftreten von Schwellenwerten, die zum Ausschalten von Windanlagen führen können, ändern wird (Kuckshinrichs et al. 2008). Da durch Offshore-Windparks der Bedarf an Windvorhersagen in 50-150 m Höhe steigt, verschiebt sich außerdem der Fokus der Wettervorhersagen. Forschung im Bereich Energiemeteorologie wird bereits intensiv betrieben, beispielsweise wurde das virtuelle Institut für Energiemeteorologie gegründet (viEM).

Im Zusammenhang mit Erneuerbaren Energien gewinnt der Einsatz von **Speicherenergie** zunehmend an Bedeutung, da infolge des weiteren Ausbaus der EE-Stromerzeugung der Anteil fluktuierenden EE-Stroms auch unabhängig vom Klimawandel steigen wird. Der Klimawandel kann den Bedarf an Speicherenergie jedoch verstärken. Forschungsaktivitäten in diesem Bereich bestehen bezüglich Batterie(weiter)entwicklungen (Dötsch 2008). Auch die Energieversorger befassen sich bereits zunehmend mit dem Thema Elektrizitätsspeicherung – etablierte Umsetzungen sind Pump- und Druckluftspeicherkraftwerke. Um den Einsatz von Kraftwerken schwankungsfreier gestalten zu können, besteht die Möglichkeit dezentrale Einspeiser zu so genannten virtuellen Kraftwerken oder Kombi-Kraftwerken zusammen zu schließen. Als Beispiel einer diesbezüglichen Aktivität ist ein Pilotprojekt von RWE mit Siemens zu nennen, das 2008 seinen Betrieb aufnahm (Siemens 2008).

3.4 Gesamtnachfrage und Nachfragemuster nach Energie

In diesem Bereich gibt es eine Reihe von IKT-gestützten Entwicklungen zur Optimierung von Erzeugungs- und Verbrauchsmanagement. Von **Smart Metering** bis **Smart Grid** existieren im Strombereich gegenwärtig diverse Pilotvorhaben und Serientests, um den Verbrauch besser zu erfassen und an das Angebot anzupassen. Der Faktor Klimawandel spielt in diesem Bereich eher einen ergänzenden, denn prägenden Einflussfaktor.

4 Fokussierung auf ausgewählte Auswirkungen

Aus den zuvor beschriebenen vielfältigen (möglichen) Folgen des Klimawandels auf die Energiewirtschaft sollen besonders relevante Auswirkungen fokussiert werden. Zur Auswahl dieser Auswirkungen wurden zunächst folgende **Ausschlusskriterien** angewandt:

- Anpassungsmaßnahmen betreffen primär einen anderen Sektor (Bsp. Biomasseerzeugung)
- Anpassungsmaßnahmen betreffen primär den internationalen Raum (Bsp. Erdöl- und Erdgasförderung)

Das erste Ausschlusskriterium wurde gewählt, da die direkten Anpassungsmaßnahmen nur begrenzt von den Akteuren der Energiewirtschaft ergriffen werden können. So betreffen Auswirkungen auf die Biomasseerzeugung maßgeblich die Land- und Forstwirtschaft. Die Begründung für das zweite Ausschlusskriterium ist ähnlich: Zwar kann eine Betroffenheit der nationalen Akteure durch steigende Brennstoffkosten und/oder durch Versorgungsengpässe entstehen, die konkreten Maßnahmen wie Anpassung der Erdöl- und Erdgasförderung müssen jedoch im Ausland ergriffen werden.

Des Weiteren sollen die Auswirkungen fokussiert werden, die eine große (ökonomische) Relevanz aufweisen. Diese kommt durch ein hohes Schadenspotenzial zustande, welches zum einen durch häufige Ereignisse bzw. kontinuierliche Veränderungen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit eintreten, entsteht. Beispielhaft zu nennen sind die Verfügbarkeit und die Qualität von Kühlwasser, die infolge einer Erhöhung der Durchschnittstemperatur und insbesondere infolge häufigerer Hitzeperioden negativ beeinflusst werden. Zum anderen können Extremwetterereignisse wie Gewitter, Blitze und Stürme, deren Eintrittswahrscheinlichkeit weniger verlässlich vorhergesagt werden kann, auch bei seltenem Auftreten zu einem sehr hohen Schaden führen (z. B. Gefährdung der Elektrizitätsnetze).

Verschiedene Auswirkungen können zu übergeordneten Problemfeldern gruppiert werden. So lässt sich das Problemfeld Versorgungssicherheit und mögliche Zunahme der Brennstoffkosten identifizieren, von dem in erster Linie die Akteure der fossilen Energieerzeugung aber auch Betreiber von Biomasseheizkraftwerken betroffen sind. Von dem Problemfeld Infrastruktur (Stand- und Wetterfestigkeit von Anlagen und Kraftwerksparks) sind sowohl die fossile Energiewirtschaft, die Wind- und Solarenergieerzeugung als auch die Anlagen zur Elektrizitätsverteilung betroffen. Das Problemfeld Kühlung betrifft die thermischen Kraftwerke, die überwiegend zur fossilen Energiewirtschaft gehören. Unter das Problemfeld Netzsicherheit fallen wiederum verschiedene Auswirkungen wie Überlastung der Netze durch Starkwinde, Schäden an Erdkabeln und neue Anforderungen an das Lastmanagement. Von diesen Auswirkungen direkt betroffen sind die Netzbetreiber, mit den Anpassungsmaßnahmen werden sich außerdem alle Elektrizitätserzeuger befassen müssen. Als letztes breiteres Problemfeld lässt sich die Änderung der Energienachfrage identifizieren – auch von diesem Thema sind verschiedene Akteursgruppen wie Netzbetreiber, fossil betriebene Kraftwerke, IKT-Akteure sowie Privathaushalte betroffen.

Ziel des Stakeholderdialogs ist es, die relevantesten Problemfelder abzudecken und einen intensiven Austausch zwischen verschiedenen Akteuren anzuregen. Auf der Veranstaltung werden die Bereiche **Elektrizitätserzeugung** (mit Einschränkung auf fossile Elektrizitätserzeugung und Windenergieerzeugung) und **Elektrizitätsverteilung** fokussiert. Relevante Problemfelder sind demnach **Infrastruktur, Versorgungssicherheit mit Brennstoffen, Kühlung und Netzsicherheit**.

5 Literatur

- Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (2008): Damit der Elbe nicht zu heiß wird - Neuer Wärmeplan für die Tideelbe. <http://www.hamburg.de> (29.04.09).
- Berliner Energieagentur (2008): Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung: Möglichkeiten zur Nutzung von Wärme aus KWK-Anlagen im Sommer zur Klimatisierung; Berlin, www.eu-summerheat.net (10.06.09).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2008a): BMU-Konferenz „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ am 15./16.4.2008 in Berlin - Rapport Workshop „Energiewirtschaft“; <http://www.wasklim.de> (29.04.09).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2008b): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen; <http://www.bmu.de> (29.04.09).
- BMU/ UBA/ KomPass (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel – Erwartungen, Ziele und Handlungsoptionen – Hintergrundpapier zur Fachkonferenz, 15./16.04.2008; <http://www.wasklim.de> (29.04.09).
- BMVBS (2007): Schifffahrt und Wasserstraßen in Deutschland - Zukunft gestalten im Zeichen des Klimawandels: Bestandsaufnahme; [Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung]; <http://www.bmvbs.de> (29.04.09).
- BWE [Bundesverband WindEnergie e.V.] (2009): Thema: Regelenergie. <http://www.wind-energie.de> (29.04.09).
- COM [Commission of the European Communities] (2009): White Paper: Adapting to Climate Change: Towards a European Framework for Action; COM(2009) 147 final; Brüssel, <http://ec.europa.eu> (01.04.09).
- dena [Deutsche Energie-Agentur GmbH] (2008): Stellungnahme der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) zur öffentlichen Anhörung des Ausschusses Wirtschaft und Technologie des Deutschen Bundestages am 15.12.2008 zum Energieleitungsausbaugesetzes; <http://www.netzausbau-niedersachsen.de/> (29.04.09).
- DMG [Deutsche Meteorologische Gesellschaft] (2007): Stellungnahme der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft zur Klimaproblematik, 09.10.2007; <http://www.dmg-ev.de> (29.04.09).
- Dötsch, Christian (2008): Energiespeicher im Netz: Strom aus Erneuerbaren Energien wird planbar. <http://www.innovations-report.de> (29.04.09).
- E.On (2009): Wie funktioniert das Einspeisemanagement? <http://www.eon-netz.com> (29.04.09).
- E.ON Netz (2007): Warum Freileitungs-Monitoring? www.eon-netzausbau.de (10.06.09).
- Envia Netz GmbH (o.J.): Warum Netzsicherheitsmanagement? <http://www.envianetz.de> (29.04.09).
- Eskeland, Gunnar/ Jochem, Eberhard/ Neufeldt, Henry/ Traber, Thure/ Rive, Nathan/ Behrens, Arno (2008): The Future of European Electricity: Choices before 2020; [CEPS, The Center of European Policy Studies]; www.ceps.eu (29.04.09).
- GLOWA (2009): GLOWA - Globaler Wandel des Wasserkreislaufs. <http://www.glowa.org> (29.04.09).
- GPZ e.V. [Gesellschaft für Pflanzenzüchtung] (o.J.): <http://www.gpz-online.de> (29.04.09).

- Hulme, Mike/ Neufeldt, Henry/ Colyer, Helen (2009): Adaptation and Mitigation Strategies: Supporting European Climate Policy. The Final Report from the ADAM Project; [Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia]: Norwich, UK, www.adamproject.de (10.06.09).
- Jochem, Eberhard (2009): Adaptation of the Electricity Sector to Climate Change in European Countries; CEPS-Workshop: The Future of European Electricity: Choices before 2020, <http://adamproject.info> (29.04.09).
- Kemfert, Claudia [Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung] (2007): Klimawandel kostet die deutsche Volkswirtschaft Milliarden; [DIW [Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung]]: Wochenbericht Nr. 11, Berlin, <http://www.diw.de> (29.04.09).
- KomPass (2006): Zweiter nationaler Workshop: Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland - Regionale Szenarien und nationale Aufgaben; <http://www.anpassung.net> (01.04.09).
- Kuckshinrichs, W./ Fishedick, M./ Fichtner, W./ Rothstein, B. (2008): Thesenpapier für das DAS Symposium - Betrachtungsfeld: Energie; <https://www.ufz.de> (01.04.09).
- Mansanet-Bataller, Maria/ Hervé-Mignucci, Morgan/ Leseur, Alexia (2008): Energy Infrastructures in France: Climate Change Vulnerabilities and Adaptation Possibilities; Mission climate working Paper - N° 2008 - 1.
- Mimler, Solveig/ Müller, Ulrike/ Greis, Stefanie/ Rothstein, Benno (2009): Impacts of Climate Change on Electricity Generation and Consumption.
- Rothstein, B./ Mimler, S./ Müller, U./ Ottenschläger, L. (2006): Zweiter nationaler Workshop - Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland - Regionale Szenarien und nationale Aufgaben. Elektrizitätswirtschaft als Betroffene des Klimawandels; [European Institute for Energy Research].
- Rothstein, B./ Scholten, A./ Nilson, E./ R., Baumhauer (o.J.): Sensitivity of bulk-cargo dependent industries to climate change - first results of a case study from the River Rhine. In: Interdisciplinary Aspects of Climate Change, unveröffentlicht.
- Rothstein, Benno/ Müller, Ulrike/ Greis, Stefanie/ Schuls, Jeannette/ Scholten, Anja/ Nilson, Enno (2008): Elektrizitätsproduktion im Kontext des Klimawandels. Auswirkungen der sich ändernden Wassertemperaturen und des sich verändernden Abflussverhaltens. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft, Nr. 10, S. 555-561.
- Schaller, Michaela/ Weigel, Hans-Joachim (2007): Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. In: Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft, Nr. 316, S. 247.
- Siemens (2008): Erstes virtuelles Kraftwerk von Siemens und RWE Energy nimmt Betrieb auf. <http://www.powergeneration.siemens.de> (29.04.09).
- UBA [Umweltbundesamt] (2008): Klimaauswirkungen und Anpassungen in Deutschland - Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien. In: Climate Change, Nr. 11/08, S. 154.
- UBA (2009): Klimafolgen und Anpassung im Bereich Verkehr. www.anpassung.net (29.04.09).
- viEM [Virtual Institute of Energy Meteorology] (o.J.): <https://bi.offis.de/viem> (29.04.09).
- Wagner, Eberhard (2002): Abwärme: Kann man das Kühlwasser von Kraftwerken nutzen? www.energie-fakten.de (22.05.09).
- Wassenberg, Florian (2009): Stromnetzausbau in Deutschland: Erdkabel oder Freileitung? www.tube.de (10.06.09).
- Wörlen, Christine (2008): dena Netzstudie II - Ausbaupläne fluktuierender Windstrom und Bedarf an saisonaler Energiespeicherung; NOW-Workshop "Wasserstoff aus Windenergie", 08.10.2008, Berlin, <http://www.now-gmbh.de> (29.04.09).