

nordwest2050

Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse
in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten

12. WERKSTATTBERICHT

September 2011

Transformation der Energiewirtschaft: Zur Raumrelevanz von Klimaschutz und Klimaanpassung

Ulrich Scheele & Julia Oberdörffer

Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH (ARSU)

Impressum

Herausgeber des Werkstattberichts:

ARSU GmbH
Escherweg 1
26121 Oldenburg
www.arsu.de

Kontakt:

apl. Prof. Dr. Ulrich Scheele
Tel: (0441) 9717496, E-Mail: scheele@arsu.de

Julia Oberdörffer
Tel: (0441) 9717496, E-Mail: oberdoerffer@gmx.de

Die vorliegende Publikation wurde im Rahmen des Forschungsverbundes „nordwest2050 – Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten“ erstellt. Für den Inhalt sind die genannten Autorinnen und Autoren verantwortlich.

Diese Publikation ist im Internet als pdf-Datei abrufbar unter: www.nordwest2050.de.

Oldenburg, September 2011

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Klimaschutz und Klimaanpassung in der Energiewirtschaft: Eine Übersicht	4
3. Anpassung von Infrastruktur an den Klimawandel	9
3.1 Resiliente Infrastruktursektoren	9
3.2 Klimaanpassung im Energiesektor	11
3.3 Kosten der Klimaanpassung	14
3.4 Anpassungshemmnisse	15
3.5 Erste Schlussfolgerungen für die Gestaltung der Klimaanpassungsstrategien im Energiesektor	16
4. Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen: Einige Anmerkungen zu einem komplexen Verhältnis	17
5. Klimaanpassung und Energiewirtschaft als Akteure auf dem Flächenmarkt	20
5.1 Klimaschutz, Klimawandel und Klimaanpassung	23
5.2 Energiesektor und Flächennutzung	24
5.3 Klimaschutz und Energiesektor	31
5.4 Klimaschutz und Fläche	34
5.5 Klimaanpassung und Fläche	34
5.6 Klimaanpassung und Energiesektor	35
5.7 Klimawandel und Energiesektor	36
5.8 Klimawandel und Fläche	37
5.9 Sonstige Flächennutzungen	37
6. Auf dem Land wird's eng: Der Nordwesten der Metropolregion Bremen-Oldenburg als Energiedrehscheibe	39
7. Zusammenfassung und Ausblick	45
8. Anhang	55
9. Literaturverzeichnis	93

Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Komponenten resilienter Infrastruktur	10
Abb. 2: Lebensdauer von Infrastrukturen und Klimawandel	14
Abb. 3: Überlappung von Klimaschutz und Klimaanpassung	18
Abb. 4: Konzeptionelle Analyse der Rahmenbedingungen für Flächenkonkurrenzen	22
Abb. 5: Fläche und Energie im Spannungsfeld von Klimawandel, Klimaschutz und Klimaanpassung	22
Abb. 6: Überblick über ausgewählte Klimaschutzmaßnahmen	23
Abb. 7: Zeitliche Entwicklung der Energieproduktionsorte	25
Abb. 8: Energieverbrauch in den USA im Jahre 2030 und Flächeninanspruchnahme	27
Abb. 9: Potenzielle CO ₂ -Endlager in Deutschland in Salzwasser führendem Tiefengestein	30
Abb. 10: Kraftwerksparkentwicklung in Deutschland gemäß dena-Netzstudie II	32
Abb. 11: Karte über notwendige mittelfristige Investitionen in der Nordseeregion	33
Abb. 12: Klimaänderungen mit Wirkung auf den Energiesektor	37
Abb. 13: Übersicht über konventionelle Energieerzeugung, -verbrauch und -infrastruktur in der Metropolregion Bremen-Oldenburg	41
Abb. 14: Erneuerbare Energien in der Metropolregion Bremen-Oldenburg	42
Abb. 15: Genehmigungsverfahren in der Energiewirtschaft	54

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Klimaschutz und Klimaanpassung: unterschiedliche Ansätze	17
Tab. 2: Synergien zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung	18
Tab. 3: Anpassungsmaßnahmen in Konkurrenz zu Klimaschutzzielen	19
Tab. 4: Klimaschutzmaßnahmen in Konkurrenz zu Klimaanpassungszielen	19
Tab. 5: Flächenintensität nach Energieträgern	27
Tab. 6: Übersicht über die Auswirkungen des Ausbaus der konventionellen und Erneuerbaren Energien auf die Flächenverfügbarkeit	31
Tab. 7: Flächenbedarf in ha der benötigt wird, um den Energiebedarf der Metropolregion Bremen-Oldenburg zu decken	43
Tab. 8: Flächennutzung	45
Tab. 9: Überblick über ausgewählte Literatur zum Thema Flächenverbrauch von Energieproduktionstechniken	62
Tab. 10: Übersicht über aktuelle Energie-Studien	79
Tab. 11: Klimawandel, zu erwartende Klimafolgen sowie Klimaanpassungsmaßnahmen der Energiewirtschaft und die Auswirkungen auf die Fläche	82
Tab. 12: Übersicht über die Quellen thematischen Karten Abbildung 13 und Abbildung 14	86
Tab. 13: Übersicht über Genehmigungsverfahren im Energiesektor	92

1. Einleitung und Problemstellung

Die wissenschaftlichen Nachweise für einen anthropogen verursachten Klimawandel mehren sich, eine Veränderung der klimatischen Rahmenbedingungen, die sich mittel- bis langfristig in regional sehr unterschiedlicher Weise sowohl auf die wirtschaftlich- gesellschaftlichen als auch auf die ökologischen Systeme wirken wird. Auch die in den letzten Jahren zunehmende Zahl extremer Wetterereignisse kann als ein Indiz für den Klimawandel gewertet werden und scheint die zunehmende Zahl der Studien zu bestätigen, die hohe volkswirtschaftliche Kosten des Klimawandels prognostizieren (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC 2007; STERN 2007).

Die Staatengemeinschaft hat sich in der Zwischenzeit auf das klimapolitische Ziel verständigt, den globalen Temperaturanstieg auf 2 Grad zu beschränken; ein solcher Anstieg würde nach aller Wahrscheinlichkeit die zu erwartenden Klimafolgen auf ein Maß beschränken, mit dem die Weltgemeinschaft insgesamt noch umgehen könnte.

Mit Blick auf die klimatischen Veränderungen stehen zwei grundsätzliche Handlungsoptionen zur Verfügung:¹

- Reduzierung des Ausstoßes klimarelevanter Gase zur Verhinderung des Klimawandels (Mitigation), und
- die Erhöhung der Anpassungsfähigkeit der Volkswirtschaften an die Folgen des Klimawandels (Adaption)

Rund 80 % des Ausstoßes klimarelevanter Gase ist direkt oder indirekt auf den Energiesektor zurückzuführen. Er steht daher sowohl national als auch im internationalen Kontext im Mittelpunkt der Klimaschutzpolitik. Um die sehr ambitionierten energie- und klimapolitischen Ziele zu erreichen, ist eine grundlegende Transformation des Energiesektors erforderlich. Neben Maßnahmen zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz konzentriert sich die Klimaschutzpolitik im Wesentlichen auf den Ausbau Erneuerbarer Energien. Sowohl auf der europäischen als auch der bundesdeutschen Ebene gibt es diesbezüglich quantitative Zielvorgaben, zuletzt auf europäischer Ebene in der entsprechenden Richtlinie zu den Erneuerbaren Energien. In Deutschland gibt unter anderem das Energiekonzept den Rahmen vor, im Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) ist dabei die notwendige finanzielle Förderung geregelt.

In Deutschland sind die Fortschritte bei dem Ausbau der Erneuerbaren Energien offensichtlich, es gibt kaum einen Zweifel daran, dass die mittelfristigen Zielvorgaben erreicht werden können. Je höher der Anteil der Erneuerbaren Energien an der gesamten Energieerzeugung jedoch wird, umso größer werden jedoch auch die Herausforderungen bei der Integration dieser Energiemengen in das vorhandene Energiesystem. Insbesondere der für den Umbau des Energiesystems zwingend erforderliche Ausbau der Netzinfrastruktur stößt zunehmend auf Schwierigkeiten. Neben Fragen der Finanzierung und der Organisation des Netzausbaus sind es aktuell vor allem umwelt- und naturschutzfachliche Auflagen, die die Realisierung von Projekten verhindern oder zumindest zeitlich behindern können (BUJIS *et al.* 2011).

Der Umstieg auf ein CO₂-freies oder CO₂-armes Energiesystem hat aber auch Auswirkungen auf die Flächennutzung und auf den zukünftigen Flächenbedarf in den Regionen. Diese räumliche Dimension des Transformationsprozesses ist bislang jedoch zu kurz gekommen: *“In the past decade, the literature on transitions towards sustainable socio-technical systems has made a considerable contribution in understanding the complex and multi-dimensional shifts considered necessary to adapt societies and economies to sustainable modes of production and*

¹ (MOSER 2011) nennt drei Strategien: mitigation – adaptation – suffering!

consumption. However, transition analyses have often neglected where transitions take place, and the geographical configurations and dynamics of the networks within which transition evolve“(COENEN et al. 2011).

Die Debatte um die raumrelevanten Aspekte des Umbaus des Energiesystems konzentriert sich gegenwärtig jedoch vor allem auf die Folgen des Ausbaus der Bioenergie auf Umfang und Intensität der Flächennutzung (FARGIONE 2010; BERNDES 2011). Die Konsequenzen für die ökologischen Systeme, langfristig aber auch - vermittelt über die intensive Konkurrenz mit anderen Flächennutzungen - für die Sicherung der Nahrungsmittelproduktion (FORESIGHT 2011), haben vor allem mit dazu beigetragen, die bisherige Förderpolitik Erneuerbarer Energien im Rahmen der Klimaschutzpolitik kritisch zu hinterfragen.

Die räumlichen Implikationen der Klimaschutzpolitik und der Transformation des Energiesektors lassen sich jedoch nicht allein auf das Problem der Bioenergie reduzieren (STREMKE&KOH 2010). Der Umbau des Energiesystems führt auf allen Ebenen der Wertschöpfungskette zu notwendigen Anpassungen, die nicht selten auch mit zusätzlicher Flächeninanspruchnahme verbunden sind.

Trotz aller klimaschutzpolitischen Bemühungen bleibt auf jeden Fall zu konstatieren, dass der Klimawandel nicht mehr zu verhindern sein wird. Parallel zum Klimaschutz rückt daher vermehrt auch die Klimaanpassung in den Mittelpunkt der Debatten auf wissenschaftlicher und politischer Ebene. Im Gegensatz zum Klimaschutz weisen Maßnahmen der Klimaanpassung eine besondere lokale und regionale Orientierung auf: Art, Umfang und Zeitpunkt von Maßnahmen zur Erhöhung der Anpassungsfähigkeit der Systeme sind ganz wesentlich von den jeweiligen spezifischen Rahmenbedingungen vor Ort abhängig. Die Entwicklung und Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen basiert daher zunächst auf einer umfassenden Analyse der Vulnerabilität der entsprechenden Systeme.

Angesichts der zentralen Bedeutung einer funktions- und leistungsfähigen Energieversorgung für die Volkswirtschaften ist nicht nur die Frage von Relevanz, welchen Beitrag die Energiewirtschaft zum Klimaschutz leisten kann, sondern auch, wie dieser Sektor sich an den Klimawandel anpassen kann und insgesamt resilienter werden kann. Auch bei den Klimaanpassungsmaßnahmen sind räumliche Implikationen mit zu berücksichtigen, wobei dieser Aspekt erst in jüngster Zeit einige Beachtung gefunden hat.

Im Rahmen des Forschungsverbundes 'nordwest2050' befasst sich das Teilprojekt 8.7 mit den Auswirkungen der Klimaanpassung des Energiesektors auf die Flächennutzung in der Metropolregion. Eine positive wirtschaftliche Entwicklung der Region, die Lage im Küstenraum mit einem hohen Anteil ökologisch sensibler Gebiete und die nach wie vor besondere Rolle der Landwirtschaft, vor allem aber auch der Ausbau der Erneuerbaren Energien haben mit dazu beigetragen, dass der Flächendruck deutlich zugenommen hat. In bestimmten Teilregionen wird Fläche zu einer knappen Ressource und kann regionale Entwicklungen beeinträchtigen.

Das Teilprojekt geht davon aus, dass sich unter den Bedingungen des Klimawandels und von Klimaschutz und Klimaanpassung die Ansprüche an die Flächen innerhalb der Region verändern werden und dass langfristig neue Anpassungsstrategien und innovative Konzepte des Flächenmanagements erforderlich werden.

Das Projekt legt den Fokus auf den Energiesektor im Kontext von Klimaanpassung und Klimaschutz in der Region. In einem ersten Arbeitspaket wird eine Bestandsaufnahme zur Flächennutzung in der Metropolregion unter besonderer Berücksichtigung der Rolle des Energiesektors vorgenommen, um darauf aufbauend eine erste Abschätzung der zukünftigen Entwicklung der Landnutzung in dieser Region vornehmen zu können.

Im vorliegenden Bericht wird jedoch zunächst eine systematischere Darstellung und Aufbereitung der Zusammenhänge und Feedbacks zwischen der Landnutzung und den verschiedenen Driving forces vorgenommen. Die Aufbereitung eines solchen konzeptionellen Analyserahmens kann für die Bestandsaufnahme leitend sein und wird auch für weitere Arbeitsschritte strukturierend sein.

Bevor die potenziellen räumlichen Implikationen dargelegt werden, wird zunächst die Klimaanpassung in der Energiewirtschaft allgemeiner dargelegt. Dies kann an dieser Stelle nur im Sinne eines ersten Überblicks erfolgen. Für detaillierte Analysen kann auf die entsprechenden Arbeiten des nw2050 –Verbundes verwiesen werden.

Kapitel 2 gibt einen Überblick über die Rolle der Energiewirtschaft im Klimawandel, skizziert Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf diesen Sektor und beschreibt die wesentlichen Klimaschutz- und Klimaanpassungskonzepte. Im Kapitel 3 wird das Thema Klimaanpassung noch einmal aufgegriffen und nach strategischen Ansätzen und Instrumenten differenziert. Das relativ komplexe Verhältnis Klimaschutz und Klimaanpassung steht im Mittelpunkt des Kapitels 4, während sich das folgende Kapitel sich dann ausführlich mit den potenziellen Auswirkungen von Klimawandel, Klimaschutz und Klimaanpassung auf die Fläche befasst.

Beispielhaft wird die Flächenintensität der Energiewirtschaft im Kapitel 6 am Beispiel der Metropolregion Bremen-Oldenburg aufgezeigt, eine Region, die sich zunehmend als Energiedrehscheibe von nationaler und europäischer Bedeutung positioniert und in der sich zunehmend Nutzungskonflikte manifestieren.

Das Kapitel 7 fasst die Ergebnisse zusammen und gibt einen ersten Überblick über den weiteren Untersuchungsbedarf.

2. Klimaschutz und Klimaanpassung in der Energiewirtschaft: Eine Übersicht

Es gibt in der Zwischenzeit eine Fülle an Studien und Analysen unterschiedlicher Detaillierung, die sich mit potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf die Infrastrukturen befassen (WATKISS 2009). Neben Arbeiten, die allgemein Infrastruktur insgesamt thematisieren, überwiegt die Zahl der Studien, in denen jeweils spezifische Infrastruktursektoren im Vordergrund stehen. Die Wasserversorgung und der Transportsektor spielen dabei neben dem Energiesektor eine herausgehobene Rolle (HUGHES *et al.* 2010a; BECKER 2011; FORD *et al.* 2011).

Der Infrastruktur kommt in den Studien zum Klimawandel eine besondere Rolle zu und steht auch in den nationalen Klimaanpassungsstrategien an prominenter Stelle (DUMOLLARD & LESEUR 2011). Die Gründe sind vielfältig:

- Negative Folgen des Klimawandels für die Infrastruktursysteme betreffen unmittelbar die gesamte Volkswirtschaft.
- Infrastruktursysteme spielen als technisches Rückgrat der Volkswirtschaft eine wichtige Rolle für nationale Anpassungsstrategien.
- Von besonderer Relevanz sind jedoch die spezifischen ökonomisch-technischen Merkmale von Infrastrukturen, die einen Einfluss auf die Art und Weise von Anpassungsstrategien haben:
 - Infrastruktursysteme sind in der Regel gekennzeichnet durch eine hohe Kapitalintensität, sunk cost und eine sehr lange Lebensdauer der Anlagen. Man kann davon ausgehen, dass der Planungsprozess der meisten Infrastrukturen die historischen klimatischen Bedingungen zum Zeitpunkt des Baus der Einrichtungen widerspiegelt und von der Planung und vom Design her auf diese historischen Klimaanbindung hin optimiert sind. Dieses Design wird dann suboptimal, wenn sich die klimatischen Bedingungen verändern. Eine Anpassung der Infrastruktursysteme an den Klimawandel kann unter solchen Bedingungen dann entweder nur schrittweise erfolgen, wenn neue Investitionsentscheidungen anstehen oder aber durch inkrementelle Anpassungen im Rahmen der kontinuierlich stattfindenden Unterhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen.
 - Die von Infrastruktursystemen bereitgestellten Leistungen weisen teilweise Merkmale öffentlicher Güter auf, mit Blick auf Anpassungsstrategien kann dies zu suboptimalen Ergebnissen führen, wenn die Anpassungskosten bei den Betreibern von Infrastrukturanlagen anfallen, der Nutzen einer solchen Strategie jedoch der Allgemeinheit zu Gute kommt.
- Die Rolle des Staates innerhalb der Infrastruktursektoren ist nach wie vor hoch: die öffentliche Hand agiert nicht nur als Eigentümer wichtiger Infrastrukturunternehmen sondern vor allem als Regulierungsinstitution im weitesten Sinne. Anpassungsstrategien in diesen Sektoren sind damit immer das Ergebnis einer Zusammenspiels von öffentlichen Interessen und Planungslogiken und wirtschaftlichen Interessen privater Akteure (NEUMANN & PRICE 2009; WALTER & VON HIRSCHHAUSEN 2011).

Die oben genannten Einschätzungen für die Infrastruktur insgesamt gelten in besonderer Weise für den Energiesektor. So hat bspw. eine Unterbrechung der Energieversorgung durch extreme Wetterereignisse nicht nur Auswirkungen auf die Stromnachfrage, sondern wirkt sich massiv auf die Funktionsfähigkeit anderer Infrastruktursektoren (SHELDON *et al.* 2004; INTERNATIONAL RISK GOVERNANCE COUNCIL 2006; LEAVITT & KIEFER 2006; CHANG 2009; GEOSPATIAL INFORMATION &

TECHNOLOGY ASSOCIATION 2009; EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY 2010c; MCGEE2010; THE SCOTTISH GOVERNMENT 2011b). Neben diesen Kaskadeneffekten ergeben sich häufig besondere Risiken aus dem Umstand, dass alle Infrastrukturen auf eine bestimmten Produktionsfaktor angewiesen sind. Dieses Problem des *Single Point of Failure (SPF)* kann sich bspw. darin zeigen, dass zentrale Infrastrukturen sich räumlich konzentrieren und bei einem örtlich konzentrierten Schadensereignis dann die große Teile der gesamten Infrastrukturversorgung eines Landes oder einer Region in Mitleidenschaft gezogen sind (URS CORPORATION LTD 2010). Die britische Royal Academy of Engineering hebt in einer aktuellen Studie daher auch die Notwendigkeit hervor, sich stärker als bisher geschehen von einer sektorspezifischen Sichtweise zu lösen: nicht die Vulnerabilität eines einzelnen Infrastruktursektors ist für die Entwicklung von Anpassungsstrategien entscheidend, sondern die Erhöhung der Resilience des gesamten, vernetzten Infrastruktursystems (THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING ON BEHALF OF ENGINEERING THE FUTURE 2011). Das britische Department for Environment verweist in einer zusammenfassenden Auswertung mehrerer Studien zur Anpassungsfähigkeit von Infrastruktursystemen auch auf das Problem internationaler Abhängigkeiten; diese ist besonders ausgeprägt im Transport- aber auch im Energiebereich, wenn etwa klimatisch bedingte Ausfälle in einem Land auch die Infrastrukturversorgung in einem anderen Land beeinträchtigen kann (DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT 2011).

Stellt man nicht die einzelne Infrastrukturanlage oder die Assets in den Mittelpunkt der Betrachtung, sondern das Energieversorgungsunternehmen, dann wird deutlich, dass die Systematisierung der Auswirkungen des Klimawandels deutlich über die technische Perspektive hinaus erweitert werden muss (ACCLIMATISE 2009c):

- Der Klimawandel hat Implikationen für die Ausgestaltung der allgemeinen Unternehmensstrategien
- Es entstehen direkte unmittelbare Auswirkungen durch inkrementelle Veränderungen des Klimas und durch Extremwetterereignisse.
- Der Klimawandel wirkt sich auf Vorleistungsmärkte aus, tangiert Logistikketten und beeinflusst Absatzmärkte und hat somit mittelbar Auswirkungen auf die Geschäftsmodelle.
- Der Klimawandel hat Auswirkungen auf bestehende Kapitalanlagen, den zukünftigen Investitionsbedarf, die Lebensdauer der Anlagen und auf die Sanierungszyklen;
- Der Klimawandel beeinflusst Positionen und Ansprüche zentraler Stakeholder und kann sich auch in einem veränderten regulativen Umfeld zeigen.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Energieerzeugung und Energieverteilungsinfrastruktur hängen stark von den Energieträgern und den Regionen ab.² Auswirkungen auf das Energiesystem ergeben sich durch Veränderungen in Niederschlag, Temperatur, Verfügbarkeit von Wasserressourcen aber auch extremen Wetterereignissen wie Dürren, Hochwasser oder Stürme (KIRKINEN *et al.* 2005; METOFFICE 2006; U.S. CLIMATE CHANGE SCIENCE PROGRAM 2006; WILBANKS *et al.* 2007a; WILBANKS *et al.* 2007b; CLETO 2008; CONTRERAS-LISPERGUER&DE CUBA 2008; MAUNSELL AUSTRALIA PTY LTD. 2008; STEVENS 2008; UMWELTBUNDESAMT 2008; ACCLIMATISE 2009b; ACCLIMATISE 2009a; HAMMER&PARSHALL 2009; LANGE 2009; PROUSE *et al.* 2009; THE IRISH ACADEMY OF ENGINEERING 2009; KIRATU 2010; ZIMMERMAN&FARIS 2010)(ROTHSTEIN&HALBIG 2010; CHANDEL 2011; LINNERRUD *et al.* 2011; URBAN&MITCHELL 2011).

Mit Blick auf die Energieversorgung werden unterschiedliche Auswirkungen des Klimawandels benannt (CICERO&SECTOR 2009):

- Reduktion der thermischen Effizienz von Kraftwerken: ein Anstieg der durchschnittlichen Temperaturen reduziert die thermische Effizienz von Gas- aber auch von Kohlekraftwerken und damit unter bestimmten Bedingungen auch die

² Zur Funktion und Ausgestaltung entsprechender Indikatorensysteme siehe (MICHAELOWA *et al.* 2010)

verfügbare Erzeugungskapazität

- Ein Temperaturanstieg aber auch veränderte Niederschlagsmuster haben Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von Kühlwasser: die Energieerzeugung an bestimmten Standorten kann damit teuer werden (Umstieg auf andere Kühlverfahren) oder zumindest unterbrochen werden;³ mit Blick auf die Planung neuer Kraftwerke fallen bestimmte Regionen als Standorte aus, wenn die Kühlung nicht gewährleistet werden kann.
- Zeitliche Verschiebungen der Nachfragespitzen und damit die notwendige Anpassung der Erzeugungs- und Speicherkapazitäten.
- Die Energieversorgung kann unterbrochen werden, wenn durch extreme Wetterereignisse die Kraftwerksstandorte betroffen sind (Überschwemmungen, Sturmfluten) (Heberger 2009)⁴. Hier spielt natürlich auch eine Rolle, dass Großkraftwerke häufig an küstennahen Standorten oder an Flüssen zu finden sind, da hier nicht nur der Zugang zu Kühlwasser gewährleistet ist, sondern auch in der Regel die Rohstoffversorgung kostengünstiger abgewickelt werden kann.

In zahlreichen Studien wird die besondere Bedeutung des Klimawandels für die fossile Energieerzeugung hervorgehoben, da vor allem Kohlekraftwerke für die Energieversorgung der Industrieländer nach wie vor eine entscheidende Rolle spielen. Andererseits werden aber in dem Maße, in dem die Erneuerbaren Energien ausgebaut werden, auch die Implikationen des Klimawandels für diese Form der Energieerzeugung herausgestellt. Diese Auswirkungen liegen insofern auf der Hand, weil gerade Erneuerbare Energien in besonderer Weise von Klima- und Wettervariablen (Wind, Sonneneinstrahlung, Niederschlag) abhängig sind. Je nach Art der Energieerzeugung und der regionalen Bedingungen können die Auswirkungen des Klimawandels dabei sowohl negativ als auch positiv ausfallen (HELIO 2008; GUNNAR&TORBEN 2010; HARRISON 2010; EBINGER&VERGARA 2011; HARRISON&WALLACE o.J.): *“Most of the impacts are beneficial and none are catastrophic”* (FENGER 2007).

Wasserkraft: Der Klimawandel hat Auswirkungen auf Menge und Zeitpunkt der Wasserabflüsse und damit auf die Erzeugungskapazitäten.⁵

Windfarmen: Die Auswirkungen des Klimawandels auf bestehende oder neu zu errichtende Windparks sind offensichtlich; vor allem die Veränderung in den Windgeschwindigkeiten hat Auswirkungen auf das ausnutzbare Energiepotenzial; bei einer Zunahme der Windgeschwindigkeiten schalten sich Kraftwerke ab. Über das Ausmaß der Effekte besteht jedoch nach wie vor große Unsicherheit (REN 2010).⁶

Photovoltaik: Die vorliegenden Studien sind mit Blick auf die Auswirkungen veränderter Wetterbedingungen auf die Photovoltaik nicht eindeutig. Einige amerikanische Studien gehen von einer 20 % Reduzierung der Erzeugungskapazitäten bis 2040 aus, weil in einigen Regionen die Sonneneinstrahlung durch Wolkenbildung verringert wird. Eine andere Studie verweist auf eine 6 % Reduzierung des Outputs von Photovoltaikanlagen, sollte sich die globale Sonneneinstrahlung um 2 % verringern (NEUMANN 2009).

³ Mit expliziten Bezügen zur Wasserproblematik siehe (RÜBBELKE&VÖGELE 2010)(KOCH *et al.* 2011)

⁴ Allein in Kalifornien wären bei Zugrundelegung der mittleren IPCC- Szenarien und dem daraus folgenden Anstieg des Meeresspiegels 30 Kraftwerkstandorte mit einer Gesamtkapazität von über 10.000 MW betroffen; siehe auch (VINE 2008)

⁵ (NEUMANN 2009) verweist auf amerikanische Studien, wonach bei einer Veränderung der Niederschlagsmengen um 1% sich die Erzeugung aus Wasserkraftwerken ebenfalls um 1 % verändert, mit Verweisen auf Kalifornien siehe auch (MADANI&LUND 2009); vergleichbar sind die Ergebnisse für Kanada (HARFORD 2008); im kanadischen British Columbia wird über 90 % des Stroms in Wasserkraftwerken produziert; die Region ist daher besonders anfällig bei klimatisch bedingten Veränderungen in der Wasserführung und der Ablaufmengen.

⁶ Zu möglichen Auswirkungen großer Windfarmen auf die lokalen klimatischen Bedingungen siehe (WANG & PRINN 2010).

Bioenergie: Der Anbau von Biomasse für die Energieerzeugung ist in sehr vielfältiger Weise durch die klimatischen Bedingungen beeinflusst; die Auswirkungen sind regional sehr unterschiedlich und können auch positiv sein. Besondere Restriktionen für die Bioenergie können sich durch die veränderten wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen im Zuge des Klimawandels ergeben.

Die Zunahme von Extremwetterereignissen wird weitere Auswirkungen auf die Energieinfrastrukturen haben. Hingewiesen wird in diesem Zusammenhang u.a. auf:

- den Zusammenbruch bzw. Unterbrechung der Stromversorgung infolge von Netzstörungen,
- die Unterbrechung der Rohstoffversorgung durch Ausfall von Transport- und Umschlagskapazitäten,
- die Produktionsunterbrechung bei Raffinerien, insbesondere in tiefer gelegenen, küstennahen Standorten,
- Beschädigungen von Öl- und Gasplattformen und auf
- Beschädigungen von Unterwasserpipelines.

Im Hinblick auf die Kosten des Klimawandels für die Infrastruktur liegen in der Zwischenzeit zahlreiche Studien vor, deren Resultate jedoch aufgrund unterschiedlicher Methoden und sektoraler Abgrenzungen nur ansatzweise vergleichbar sind. Als die ersten umfassenden Arbeiten in diesem Zusammenhang gelten die Untersuchungen von Larsen et. al. zu den zusätzlichen klimabedingten Kosten der Sicherung der Infrastrukturversorgung in Alaska. Sie vergleichen den Gegenwartswert der Unterhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen der Infrastruktur in Alaska unter drei verschiedenen Szenarien:

- Kein Klimawandel
- Klimawandel ohne Klimaanpassung
- Klimawandel mit Anpassung

Die Unterschiede zwischen den ersten beiden Szenarien beschreiben die Auswirkungen des Klimawandels, die Unterschiede zwischen den beiden letzten Szenarien die Effekte der Klimaanpassung. Die Autoren ermitteln so zusätzliche Kosten durch die Auswirkungen des Klimawandels von bis zu 20% bis 2030 (LARSEN&GOLDSMITH 2007; LARSEN *et al.* 2007; LARSEN *et al.* 2008).

Betrachtet man etwa die Auswirkungen des Klimawandels auf die Netzinfrastrukturen in der Energieversorgung, ist die Höhe der ausgewiesenen Schadenskosten stark abhängig von der Abgrenzung des Systems: der unmittelbare Schaden durch die Zerstörung der Infrastrukturanlagen kann sehr hoch ausfallen; er ist jedoch gering im Vergleich zu den zusätzlichen Aufwendungen, die erforderlich sind, um die klimatisch bedingte Zunahme und/oder Änderung der regionalen Verteilung der Stromnachfrage abdecken zu können (PARSONS BRINKERHOFF 2009). Wichtige Anhaltspunkte für die Schadensbewertungen lassen sich aus den empirischen Analysen im Nachgang zu Extremwetterereignissen ableiten. Das Hochwasser von 2007 in England hat auch die Energieversorgung besonders getroffen. Die durch das Hochwasser verursachten Kosten werden für diesen Sektor auf rd. 139 Mill. Pfund veranschlagt, wobei jedoch allein 130 Mill. Pfund auf die volkswirtschaftlichen Schäden durch die Lieferunterbrechungen entfallen und nur 9 Mill. Pfund durch die unmittelbare Zerstörung von Kraftwerken oder sonstiger energierelevanter Infrastruktur zurückzuführen sind (HM TREASURY 2010; THE ENVIRONMENT AGENCY 2010).

Für Deutschland liegen bislang wenige Untersuchungen zu Schadenskosten von Versorgungsunterbrechungen vor. Frontier Economics veranschlagt auf der Basis der Auswertung international verfügbarer Studien die volkswirtschaftlichen Kosten eines einstündigen Stromausfalls an einem Winterwerktag in Deutschland auf rd. 0,6-1,3 Mrd. €. Sie verweisen darauf, dass eine sichere Versorgung einen gesamtwirtschaftlichen Wert hat, der den Marktpreis

der Energie etwa um den Faktor 10 bis 100 deutlich übersteigt. Die entsprechenden volkswirtschaftlichen Kosten für eine kWh Strom, die engpassbedingt nicht geliefert wird, betragen nach diesen Schätzungen rd. 8 – 16 € / kWh (DE NOOIJ *et al.* 2007; BOTHE&RIECHMANN 2008; FRONTIER ECONOMICS 2008).

Wenn der Klimawandel zusätzliche Kosten in der Energieversorgung verursacht, werden auch die Ausgaben der Konsumenten für Energie ansteigen. Mansur *et al.* ermitteln für die USA entsprechende Wohlfahrtsverluste unter der Annahme eines durch den Klimawandel bedingten Anstiegs der durchschnittlichen Temperaturen (MANSUR *et al.* 2007).

Neben den Auswirkungen auf die Angebotsseite sind auch die Implikationen des Klimawandels auf die **Energienachfrage** zu berücksichtigen. Die vorliegenden Studien kommen hier zu sehr unterschiedlichen Aussagen, da jeweils nicht nur die natürlichen Rahmenbedingungen, sondern auch die vorhandenen Energieverbrauchsstrukturen mit in Betracht zu ziehen sind (CRAIG 2011). Neumann verweist auf amerikanische Studien, wonach ein Anstieg der Temperatur um ein Prozent zu einer Reduzierung der Nachfrage an Heizenergie in den USA um 3-15% führt (NEUMANN 2009), gleichzeitig steigt dann auch die Stromnachfrage vor allem für Kühlzwecke um 5-20% (KARL *et al.* 2009). Die Nettoeffekte unterscheiden sich doch erheblich, je nach dem für welche Regionen eine derartige Untersuchung durchgeführt und von welchen methodischen Annahmen ausgegangen wird. Miller *et al.* kommen in einer Untersuchung zu den potenziellen Auswirkungen zunehmender Hitzeperioden auf die Stromnachfrage in Kalifornien zu ganz beträchtlichen Größenordnungen. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass etwa ein Drittel der Spitzennachfrage in Kalifornien auf die industrielle und private Nachfrage nach Kühlenergie entfällt und damit sich die klimatischen Veränderungen ganz unmittelbar in veränderten Verbräuchen niederschlagen (DE CIAN *et al.* 2007; MILLER *et al.* 2007). In einer Studie für den amerikanischen Nordwesten untersuchen Hamlet u.a. die Auswirkungen des Klimawandels auf die Produktion von Wasserkraftanlagen (HAMLET 2010). Sie verweisen anhand von Fallstudien bei insgesamt eher geringen jährlichen Nettoeffekten auf die ganz erheblichen saisonalen Verschiebungen: während in den Wintermonaten die Produktion um bis zu 5 % zunimmt, kann die Leistung im Sommer um bis zu 20 % abnehmen.

Oft ist zudem nicht immer hinreichend klar erkennbar, ob und in welcher Weise die Faktoren mit berücksichtigt werden, die ebenfalls die Energienachfrage beeinflussen (Klimaschutz, Klimaanpassung, verbesserte Energieeffizienz; höhere Energiepreise etc.) und ob feedbacks entsprechend mit in die Analyse eingehen. Eskeland & Midekska kommen in ihrer Untersuchung für insgesamt 31 europäische Länder zu dem Ergebnis, dass ein Temperaturanstieg auf die Stromnachfrage nachweisbar ist und die Nettoeffekte räumlich stark variieren, dass aber insgesamt der Auswirkungen klimatischer Veränderungen im Vergleich zu denen anderer Faktoren wie Demographie oder Technologie gering ausfallen (ESKELAND&MIDEKSA 2010).⁷

⁷ Zu den methodischen Problemen der Ermittlung hier am Beispiel der Hitzeperiode in Großbritannien: (METROECONOMICA LIMITED (UK) 2006)

3. Anpassung von Infrastruktur an den Klimawandel

Die entscheidende Frage – auf die nicht alle Studien eingehen – ist die, ob und in welchem Umfang die vorhandenen Anpassungskapazitäten innerhalb eines Infrastruktursektors die Klimafolgen kompensieren können (URS CORPORATION LTD 2010).

Die Definition von Anpassung ist in der Klimadebatte nicht einheitlich und kann sehr unterschiedliche Ausprägungen annehmen. Eine sehr breit gefasste und weit verbreitete Definition von Anpassung ist die des IPCC, die Anpassung beschreibt als: *the 'adjustment in natural or human systems in response to actual or expected climatic stimuli or their effects, which moderates harm or exploits beneficial opportunities'* (IPCC TAR 2001). Im Folgenden wird der Frage zunächst allgemein an Infrastruktursektoren und dann mit explizitem Bezug zur Energie nachgegangen, wie sich diese sehr allgemeine Definition operationalisieren lässt.

3.1 Resiliente Infrastruktursektoren

Anpassungsstrategien im Infrastrukturbereich umfassen auch aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge und der spezifischen Kennzeichen des Infrastrukturmodells eine Fülle sehr unterschiedlicher Optionen und sind nicht allein auf technische Lösungen beschränkt.⁸

Die Rede ist dabei von resilienten Infrastrukturen, die einen wichtigen Beitrag dazu leisten sollen, die Anfälligkeit von Wirtschafts- und Gesellschaftssystemen gegenüber Extremwetterereignissen und den langfristigen Folgen des Klimawandels zu reduzieren. Mit Resilienz wird die Fähigkeit von Anlagen, Netzwerken oder Systemen bezeichnet, massive Eingriffe von außen zu antizipieren, die Folgen zu absorbieren, sich an diese Veränderungen anzupassen oder sich von den negativen Konsequenzen schnell zu erholen.

Resilienz wird dabei auch in Anlehnung an die „climate proofing“ Ansätze (COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES 2007; BIRKMANN&FLEISCHHAUER 2009) durch eine Kombination von Aktivitäten oder strategischen Komponenten gesichert.

⁸ Zu den grundlegenden Konzepten der Anpassung (hazard – resilience – vulnerability – risk management), die dann wiederum den Rahmen für die einzelnen Instrumente vorgeben, siehe auch (FÜNFELD&MCEVOY 2011)

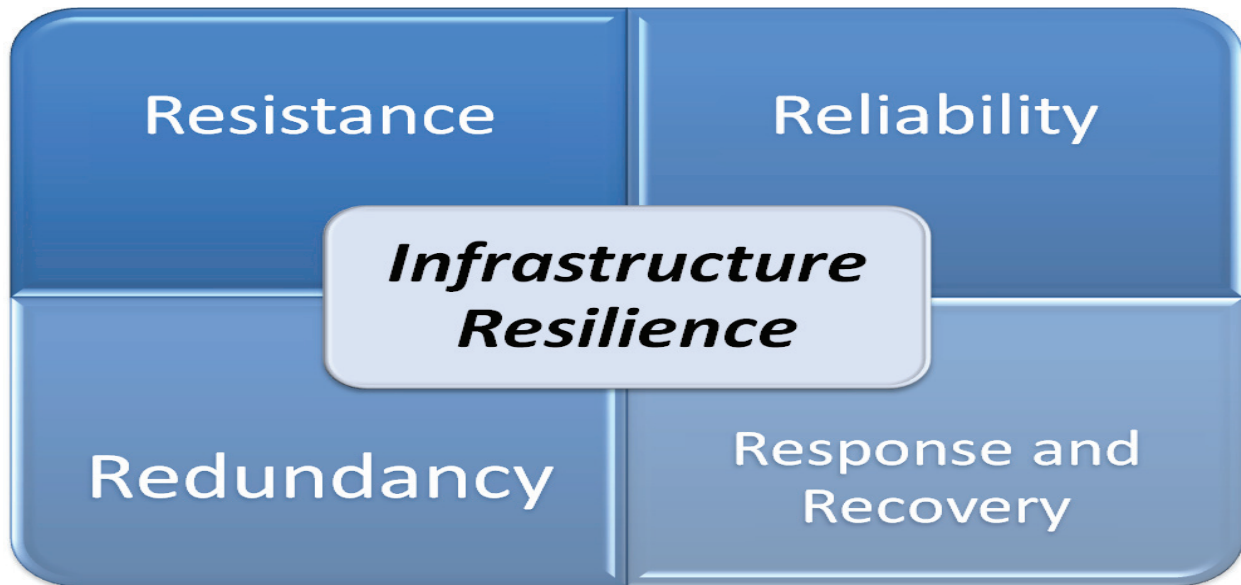


Abb. 1: Komponenten resilienter Infrastruktur (eigene Abbildung nach (Cabinet Office 2011))

Die Umsetzung dieser Komponenten und ihrer Kosteneffektivität hängen von den jeweiligen Bedingungen innerhalb der Infrastruktursektoren ab und kann somit in der Energiewirtschaft ganz anders ausgeprägt sein, als etwa in der Wasserwirtschaft. Infrastrukturanbieter werden daher jeweils unterschiedliche Kombinationen der Komponenten wählen, um auf die spezifischen Risiken angemessen reagieren zu können.

Resistance: Der Fokus liegt hier auf dem unmittelbaren Schutz von Anlagen; das Ziel ist die Vermeidung von Schäden und negativer Folgen der Unterbrechung der Infrastrukturversorgung. Die Wirkung eines solchen Ansatzes kann eingeschränkt sein, wenn Schutzmaßnahmen sich nur auf Ereignisse oder Störungen orientieren, mit denen bereits in der Vergangenheit Erfahrungen gemacht wurden. Ob Schutzmaßnahmen allein ausreichend sind, hängt jeweils davon ab, ob das gewählte Sicherheitsniveau angemessen ist. Die potenziellen Gefahren sind dann hoch, wenn Resistance die einzige Komponente einer resilienten Strategie darstellt.

Reliability: Diese Komponente befasst sich mit der Frage, wie Infrastruktursysteme so gestaltet werden können, dass sie unter ganz unterschiedlichen Umweltbedingungen funktionieren und somit auch Schäden möglicher Störungen vermieden werden können. Reliability Strategien konzentrieren sich häufig auf Ereignisse innerhalb einer gewissen Erfahrungsbandbreite; treten Störungen ein, die außerhalb dieses Korridors liegen, dann sind Infrastruktursysteme oft nur unzureichend auf mögliche Schadensereignisse vorbereitet. In der Regel können jedoch die durch Eingriffe verursachten Schäden unter einem bestimmten Level gehalten werden, so dass die Funktionsfähigkeit der Systeme nach einer gewissen Zeit wieder erreicht werden kann.

Redundancy: Diese bezieht sich auf die Auslegung und die Kapazitäten eines Netzwerks oder eines Systems. Die Verfügbarkeit von Backup Einrichtungen und Reservekapazitäten erlaubt im Fall von Eingriffen in das System die Verlagerung des Betriebs auf andere Systemkomponenten und damit die Weiterführung der Anlagen. In einigen Sektoren kann der Umstieg auf Reservekapazitäten schnell und ohne Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit des Systems erfolgen, in anderen Sektoren erfolgt der Umstellung zeitlich verzögert und beeinträchtigt die Leistungsfähigkeit des Systems.

Das **Response and Recovery** Element hat das Ziel einer schnellen und effektiven Reaktion auf Störungen um somit auch eine schnelle Erholung von den Schäden zu erreichen. Die Effektivität dieser Strategie hängt ab von der Unternehmenskultur, den unternehmerischen Kapazitäten und von der Gründlichkeit, mit der schon im Vorfeld von Schadensereignissen entsprechende Schritte geplant und erprobt werden. Betreiber von kritischen Infrastrukturen verfügen z.B. oft über

entsprechende Planungen, um im Fall von Systemstörungen schnell reagieren zu können (YUSTA 2011).

Die Resilienz eines Infrastruktursektors hängt also insgesamt ab von

- einer guten Auslegung des Systems und der Netze, dass die notwendige Resistance, Reliabilität und Redundanz gewährleistet
- und einer organisatorischen Struktur, die die Fähigkeiten und Kapazitäten zur Verfügung stellt, die schnelle Reaktionen auf Störfälle und die Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit der Systeme ermöglicht.

3.2 Klimaanpassung im Energiesektor

Die Bereitstellung von Dienstleistungen durch das Energiesystem erfolgt über das Zusammenwirken von öffentlichen als auch privaten Akteuren; beide Gruppen verfügen über eine Reihe von unterschiedlichen Anpassungsoptionen. Bestimmte Anpassungsmaßnahmen basieren etwa auf Entscheidungen der jeweiligen Regierungen und Regulierungsbehörden, bei anderen Maßnahmen sind es die Anreize, die sich aus dem ökonomischen Interesse der privaten Eigentümer am Schutz ihrer langfristigen Kapitalanlagen ergeben.⁹ Nicht alle Maßnahmen, die im Zusammenhang mit dem Klimawandel für den Energiesektor vorgeschlagen werden, sind jedoch allein und eindeutig auf Klimaanpassung ausgerichtet, dennoch sind sie geeignet, die Energiesysteme weniger anfällig für die Folgen des Klimawandels zu machen und ihre Anpassungsfähigkeit zu erhöhen (HELIO 2009; INDERBERG 2010). Klimaanpassungsmaßnahmen des Energiesektors sind daher in einem engen Kontext zu sehen

- mit staatlichen Maßnahmen zum Klimaschutz, sowie
- Anpassungsreaktionen der Energieverbraucher auf die zunehmende Veränderung der klimatischen Rahmenbedingungen.

Verringern sich durch den Klimawandel die verfügbaren Energieerzeugungskapazitäten, kann dies zumindest temporär zu veränderten Strukturen auf den Energiemärkten führen; induzierte Preissteigerungen oder auch die Einführung von Energiesteuern oder CO₂-Zertifikatsmodellen führen gleichzeitig zu einer Reduzierung der Energienachfrage, dieser Nachfrageeffekt kann dann durchaus in der Lage sein, die klimawandelbedingte Kapazitätsreduzierung ganz oder zumindest teilweise zu kompensieren.

Ein Teil der Kapazitätseffekte kann zudem durch entsprechende Reaktionen auf der Seite der Endnutzer ausgeglichen werden: kommt es bspw. zu einem erheblichen Anstieg der Temperaturen, dann haben private Haushalte und Unternehmen einen Anreiz möglichst kosteneffiziente Kühlverfahren einzusetzen und damit weniger Energie zu verbrauchen. Andere Anpassungsreaktionen auf der Nachfrageseite hängen von den jeweiligen regionalen Besonderheiten ab. Amerikanische Studien verweisen auf die potenziellen Effekte von veränderten Wanderungsbewegungen. Führt der Klimawandel dazu, dass die zunehmende Siedlungsentwicklung in den südlichen Regionen gestoppt werden kann, dann hat dies auch Auswirkungen auf die Energienachfrage.

In der Literatur zur Klimaanpassung finden sich sehr mehrere Klassifikationen von Anpassungsmaßnahmen, die auch auf den Energiebereich Anwendung finden können (FÜSSEL 2007). Je nach Untersuchungsfragestellung wird unterschieden nach:

- Antizipatorischer versus reaktiver Anpassung

⁹ Das bedeutet andererseits nicht, dass Energieversorgungsunternehmen diese Klimarisiken bereits heute konkret in ihre Planungen integrieren; siehe (YOUNG *et al.* 2009); siehe auch die Studie der (GHK 2010), die neue Geschäftsfelder im Zusammenhang mit Klimaanpassung im Energiesektor analysiert.

- Lokaler versus regionaler Anpassung
- Kurz- versus langfristiger Anpassung
- Autonomer versus geplanter Anpassung
- Privater versus öffentlicher Anpassung
- Etc.

Mit Blick auf die Operationalisierung und Handhabbarmachung für die Praxis kann auch eine Unterteilung in den Prozess der Anpassung (*building adaptive capacity*) und dem Ergebnis, nämlich realen Anpassungsmaßnahmen hilfreich sein (MCEVOY *et al.* 2008).

Die Europäische Umweltagentur (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY 2010A) trifft in ihrem aktuellen Report zur Lage der Umwelt eine Differenzierung nach den Instrumententypen:

- Technische Lösungen — grey measures;
- Ökosystem basierte Anpassungsoptionen - green measures;
- Verhaltens-, Managementansätze — soft measures

Auch diese Kategorisierung kann bei einer detaillierteren Betrachtung für den Energiesektor interessant und weiterführend sein. In den Studien zur Energiewirtschaft werden je nach Fragestellung unterschiedliche Kategorien verwandt. Lesuer *et al.* unterscheiden in einer Untersuchung zur französischen Energieversorgung etwa zwischen Maßnahmen, mit denen über den Ausbau von speziellen Schutzinfrastrukturen, vorhandene Energieinstallationen gegen die Folgen des Klimawandels geschützt werden können; und Anpassungsmaßnahmen, die unmittelbar an den Energieinfrastrukturen ansetzen und hier Modifikationen vornehmen (LESEUR *et al.* 2008).

Die erste Kategorie der sog. *hard adaptation measures* ist in der Regel sehr kostenintensiv und beinhaltet etwa den Bau zusätzlicher Infrastrukturen wie Deiche etc.. Die zweite Kategorie der *soft adaptation measures* versucht dagegen eine Anpassung ohne zusätzliche investive Maßnahmen und setzt u.a. auf neue Management- und Anreizsysteme sowie Verhaltenssteuerungen.

In den meisten Anpassungsstudien für den Energiesektor wird darauf verwiesen, dass insbesondere hier die Potenziale für *no regret – Maßnahmen* besonders hoch sind. Alle Aktivitäten zur Steigerung der Energieeffizienz erhöhen gleichermaßen die Anpassungsfähigkeit der Systeme.

Bei den Anpassungsstrategien im Energiesektor ist zudem eine Differenzierung der Maßnahmen sinnvoll in Aktivitäten, mit denen sich die Unternehmen einerseits im Produktionsprozess auf die veränderten klimatischen Bedingungen einstellen und Maßnahmen, mit denen sie auf die Zunahme von Extremereignissen reagieren können. Reduzieren sich klimatisch bedingt die Erzeugungskapazitäten, haben die Unternehmen die Möglichkeit entweder die Effizienz ihrer Anlagen zu steigern oder aber ihre Stromerzeugungskapazitäten auszubauen. Im Hinblick auf die Zunahme der Kühlwasserproblematik weichen die Energieversorgungsunternehmen auf technische Alternativen aus, die bis zu 95 % weniger Wasser benötigen als herkömmliche Kraftwerke mit Durchflussskühlung. Auch die Nutzung von recycelten Wasser für die Kühlung kann eine Option darstellen (FISHER&ACKERMAN 2011).

Eine Anpassungsstrategie kann letztlich auch in einer Verlagerung des Unternehmensstandorts bestehen. Diese Option kann in den Fällen wirtschaftlich sinnvoll sein, wenn es sich um Produktionsprozesse handelt, die im hohen Maße anfällig und von zentraler ökonomischer Bedeutung zumindest im regionalen Kontext sind. Gleichzeitig müssen alle Möglichkeiten einer Anpassung am alten Standort ausgeschöpft sein. Standortentscheidungen sind in aller Regel sehr komplexer Natur und von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst: die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels sind meistens nicht das alleinige Verlagerungsmotiv, können aber Entscheidungen mit beeinflussen. Eine Studie von Linnenluecke *et al.* kann daher auch nur

auf relativ wenige Beispiele aus der Praxis verweisen; bei dem dort erwähnten Beispiel aus der Energieversorgung handelt es sich um einen australischen Netzbetreiber, dessen Anlagen massiv von Buschfeuern betroffen sind; die Standortverlagerung betraf in diesem Fall im Wesentlichen die unterirdische Verlegung der Leitungen(LINNENLUECKE *et al.* 2011).

Die Auswirkungen des Klimawandels werden die Anreize für die privaten Energieversorgungsunternehmen erhöhen, ihre Anpassungskapazitäten zu stärken und sich auf den Klimawandel einzustellen. Dieser Infrastruktursektor zählt andererseits zu den Branchen, in denen nach wie vor die öffentliche Hand eine zentrale Rolle spielt, sei es als Eigentümer von Erzeugungskapazitäten, vor allem aber als Regulierer und über das Setzen entsprechender rechtlicher und institutioneller Rahmenbedingungen.¹⁰ Sie kann und muss daher mit Blick auf die Erhöhung der Anpassungskapazitäten des Sektors eine wichtige konstruktive Rolle übernehmen.¹¹Neumann verweist auf drei grundlegende Optionen des öffentlichen Sektors(NEUMANN 2009):

- Staatliche Infrastruktureinrichtungen werden zwar als zentrale Kapitalanlagen erfasst und auch kontinuierlich erneuert, die Anwendung eines formalen Anlagenmanagementsystems kann nicht nur unmittelbar kostensparend wirken, sondern würde auch die Chancen verbessern, jeweils aktuelle Klimaprojektionen in die Managementstrategie einfließen zu lassen und damit die Anpassungskapazität der Systeme zu erhöhen.
- Bei der Standortplanung zentraler Infrastruktureinrichtungen ist eine Abstimmung mit den Untersuchungen zur besonderen Vulnerabilität potenzieller Standortregionen vorzunehmen. Diese Informationen zur Vulnerabilität sollten zur Steuerung aktueller und zukünftiger Infrastrukturinvestitionen genutzt werden und vor allem auch eine Signalfunktion für die Entscheidung privater Investoren und Akteure haben.
- Es wird auch eine staatliche Aufgabe sein, die Standards für die Infrastruktursysteme so anzupassen, dass neu zu errichtende oder auch grundlegend erneuerte Infrastrukturanlagen resilienter gegenüber Klimaveränderungen und der Zunahme der Extremwetterereignisse sind.

Klimaanpassungen im Energiesektor stellen eine besondere Herausforderung dar, vor allem angesichts der sehr langen Lebensdauer der Anlagen. Würden heute nach dem aktuellen Standards Infrastrukturanlagen errichtet, dann würden sie noch während ihrer wirtschaftlichen und technischen Lebensdauer mit den langfristig prognostizierten Klimaveränderungen konfrontiert werden(BOYCE&ADAMS 2011; SECRETARY OF STATE FOR ENVIRONMENT 2011).(DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT 2011). Der Neubau gerade von größeren Energieanlagen findet zudem nicht selten an bereits existierenden Kraftwerksstandorten statt. Diese Standortfestlegung erfolgte dabei jedoch in aller Regel zu einem Zeitpunkt, an dem Klimawandel noch kein Thema war und man langfristig von stabilen Rahmenbedingungen ausgehen konnte (PASKAL 2009).

¹⁰ Zu einer umfassenden Beschreibung der Rolle des Staates im Zusammenhang mit Adaptation der Infrastruktur siehe auch (CIMATO&MULLAN 2010). Speziell zur Rolle privater institutioneller Investoren bei Anpassungsstrategien im Infrastrukturbereich siehe (HOLM 2010)

¹¹ Zu den verschiedenen Varianten des Marktversagens im Zusammenhang mit Klimaanpassung und der Rolle des Staates, siehe (CENTRE FOR EUROPEAN POLICY STUDIES (CEPS) 2008)

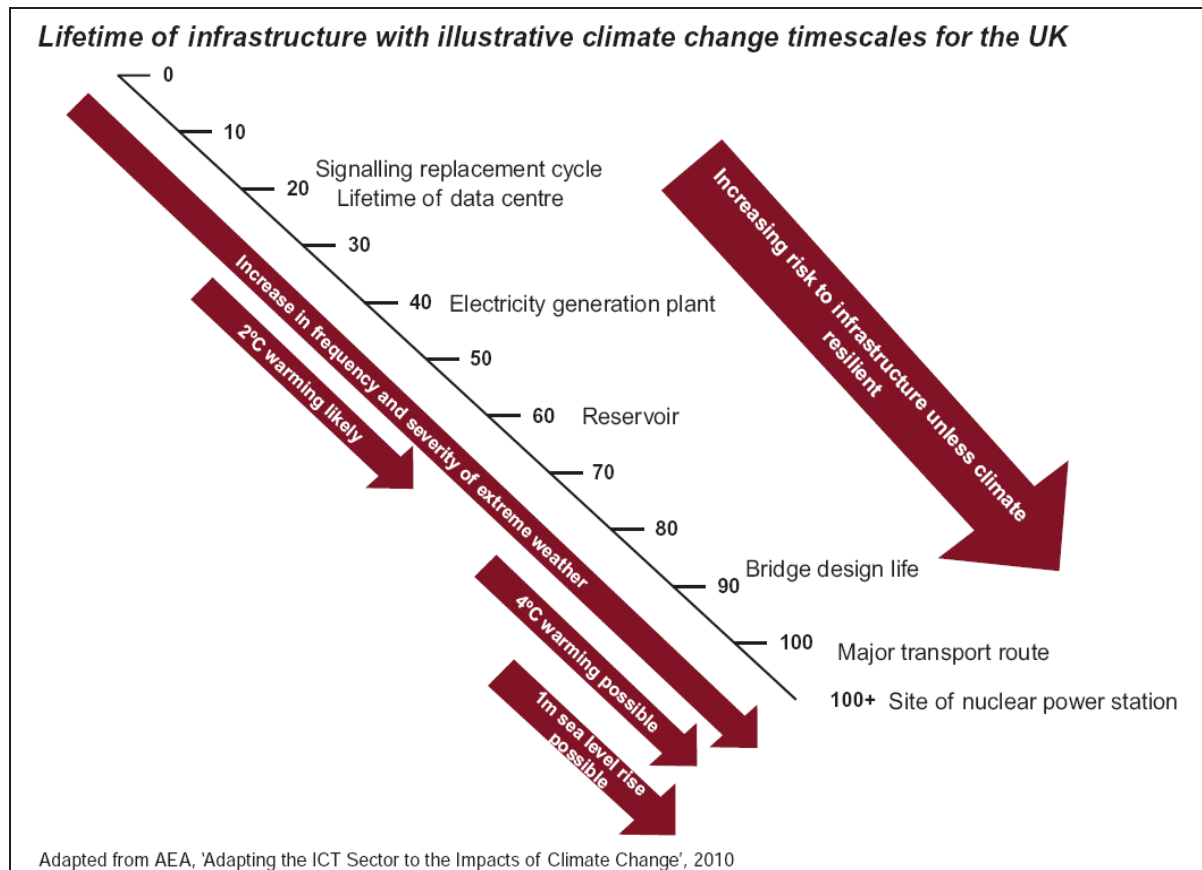


Abb. 2: Lebensdauer von Infrastrukturen und Klimawandel (AEA 2010)

Neben den Maßnahmen, mit denen sich Energieversorger an die sich langfristig verändernden Klimabedingungen anpassen, gibt es diejenigen, die vorrangig eine Reaktion auf die Zunahme extremer Wetterereignisse ist. Einige Anpassungsmaßnahmen sind dabei relativ einfach und schnell umzusetzen und werden auch kurzfristig Wirkung zeigen (PEREZ 2009; RIETVELD 2009); andere dagegen werden erst sehr langfristig in der Lage sein, die Anpassungsfähigkeit des Energieversorgungssystems gegen solche Ereignisse zu erhöhen. Beispiele sind:

- Verlagerung von Stromerzeugungskapazitäten oder Raffineriekapazitäten in weniger gefährdete Gebiete
- Maßnahmen im Bereich der Netzinfrastrukturen: neue Verlegetechnologien bei Stromleitungen; Erdkabel, Auswahl der Materialien
- Auflage an Versorgungsunternehmen, in bestimmten gefährdeten Regionen entsprechende Notfallpläne zu entwickeln
- Ausbau der strategischen Öl- und Gasreserven
- Diversifizierung der Rohstoffquellen
- Küstenschutzmaßnahmen zum Schutz kritischer Infrastrukturen

3.3 Kosten der Klimaanpassung

Eine wichtige Grundlage für die Entwicklung von Anpassungsstrategien sind traditioneller Weise Kosten – Nutzen – Analysen, die eine Priorisierung der Maßnahmen ermöglichen. Für detaillierte Bewertungen ganz konkreter Vorhaben fehlen jedoch oft aussage- und tragfähige Informationen zu deren Kosten und vor allem auch Nutzen (GRÜNIG 2010; KEATING&HANDMER 2011).

“Accept - Really Accept - That Climate Change Adaptation Will Often Be Painful”(CRAIG 2010). Es liegen in der Zwischenzeit jedoch zahlreiche Studien vor, die sich speziell mit den Kosten der Anpassung von Infrastrukturen an den Klimawandel auseinandersetzen. Die Bandbreite der Schätzungen ist zwangsläufig groß; für den Infrastruktursektor in den entwickelten Staaten bis 2030 werden Kosten zwischen 6- 88 Mrd. \$ ausgewiesen (SATTERTHWAITE&DODMAN 2009; SCOTT 2009). Hughes et.al. differenzieren in ihrer Worldbank Studie zu den Anpassungskosten zwischen den Preis/Kosten- Effekten einerseits und den Mengeneffekten andererseits. Die ersten Effekte bringen zum Ausdruck, wie sich etwa die Entwicklungs- und Betriebskosten von Infrastrukturen gemessen an einer Baseline durch den Klimawandel verändern, während die zweite Komponente die Auswirkungen auf die Nachfrage durch den Klimawandel misst. Dieser Effekt ist für zahlreiche Länder negativ, der Preis/Kosten- Effekt wird im Durchschnitt auf weniger als 1 % bezogen auf die Referenzentwicklung geschätzt(HUGHES et al. 2010b).

Für den Elektrizitätssektor in Europa liegen modellgestützte Schätzungen vor, die von zusätzlichen Investitionskosten von 2% bis 2050 ausgehen; die regionale Verteilung ist jedoch sehr ungleichmäßig, über 50 % des zusätzlichen Investitionsbedarfs entfällt danach auf die südlichen Mitgliedsstaaten (REITER&TURTON 2009). Eine Differenzierung des Investitionsbedarfs für die Klimaanpassung nach Energieträgern nehmen Rademaker et. al in einer Studie für die EU- Kommission vor (RADEMAEKERS 2011). Die Studie stützt im Wesentlichen die Ergebnisse anderer Arbeiten und ermittelt nur in bestimmten Szenarien nennenswerte Auswirkungen auf den Investitionsbedarf. Eine gute Übersicht über Anpassungskosten im Energiesektor finden sich zudem in der Arbeit von Shardul Agrawala and Samuel Fankhauser (AGRAWALA&FANKHAUSER 2008).

Die Kosten der Anpassung werden im Energiesektor primär von den privaten Akteuren getragen werden müssen, weniger von der öffentlichen Hand. Da der öffentliche Sektor auch als Energienachfrager auftritt, können unter bestimmten Bedingungen bei einem rückläufigen Energieverbrauch auch Kosteneinsparungen möglich sein (OSBERGHAUS&REIF 2010b, a).

3.4 Anpassungshemmnisse

Jenseits der ganz spezifischen, auf den Energiesektor bezogenen Restriktionen einiger Anpassungsstrategien gibt es manche Hemmnisse, die gleichermaßen für alle Infrastruktursektoren gelten (MOSER&EKSTROM 2010; FORD et al. 2011). Ein aktueller Report für das britische Department of Environment benennt die folgenden Punkte (URS CORPORATION Ltd 2010), die ihre Ursachen teilweise in fehlenden Informationen haben, häufig aber auf nicht vorhandene Erfahrungen und Kompetenzen der Entscheidungsträger zurückzuführen sind:

- Gegenwärtige Infrastrukturinvestitionen berücksichtigen nicht adäquat die langfristigen Auswirkungen des Klimawandels. Notwendig ist daher sicherzustellen, dass bei den Investitionsentscheidungen mit in Betracht gezogen wird, welchen Effekt der Klimawandel auf die Investitionen hat.
- Sanierungs- und Erweiterungsinvestitionen in bereits bestehenden Infrastrukturanlagen berücksichtigen in der Regel nur die aktuellen bzw. historischen Klimadaten. Es besteht die Notwendigkeit sicherzustellen, dass bei allen neuen oder bereits bestehenden Infrastrukturprojekten die klimatischen Bedingungen über die gesamte Lebensdauer des Projektes mit berücksichtigt werden, um so die Resilience dieser Systeme zu stärken.
- Die Berücksichtigung langfristiger klimatischer Veränderungen und die Notwendigkeit Anpassungsstrategien zu entwickeln und umzusetzen, ist typischerweise nicht Bestandteil des unternehmerischen Tagesgeschäfts. Sicherzustellen ist, dass diese Klimaaspekte zu einem integralen Bestandteil der Unternehmenspolitik in allen Funktionsbereichen werden und nicht lediglich als Aufgabe einer bestimmten Abteilung

zugewiesen werden.¹²

- Die Infrastruktursektoren sind im hohen Maße miteinander verbunden und weisen durch vielfältige Lieferverflechtungen ein hohes Maß an gegenseitiger Abhängigkeit auf. Diese gegenseitigen Abhängigkeiten finden jedoch bislang im Management der Systemenur unzureichend Niederschlag. Notwendig sind auf jeden Fall eine systematischere Erfassung und ein besseres Verständnis für diese Abhängigkeiten.

Selbst wenn im größeren Maßstab Anpassungen vorgenommen werden, bleiben die Fragen offen, ob das gegenwärtige Angebot und auch die Qualität der infrastrukturellen Versorgung zu annehmbaren Preisen gesichert werden können. Die zukünftigen Herausforderungen, die sich durch den Klimawandel für die Ver- und Entsorgung ergeben, sind intensiver gegenüber den Bürgern und Verbrauchern zu kommunizieren.

3.5 Erste Schlussfolgerungen für die Gestaltung der Klimaanpassungsstrategien im Energiesektor

Aus den bisherigen Überlegungen lassen sich einige grundlegende Schlussfolgerungen für die Entwicklung von Anpassungsstrategien ableiten (DE RAAD VOOR VERKEER EN WATERSTAAT 2009; DÖPP ET AL. 2009; HELIO 2009; THE ROYAL SOCIETY 2009; ADAPTATION AND RESILIENCE TO A CHANGING CLIMATE (ARCC) COORDINATION NETWORK (ACN) 2010):

- Systematische Analyse und Monitoring des Energiesystems, um sicherzustellen, dass eine kontinuierliche Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels stattfinden kann. Der Fokus ist dabei auf das climate proofing bestehender und zukünftiger Energiesysteme zu legen. Insbesondere die räumlich und zeitlich variablen Implikationen des Klimawandels sind mit in die Planungen einzubeziehen.
- Entwicklung und Umsetzung von neuen Bewertungsprozessen für neue Energieversorgungssysteme. Die Entscheidung über die Art neuer Energieproduktionen (erneuerbar, fossil) und auch über den Standort der Anlagen kann nicht länger anhand bestehender ökonomischer und ökologischer Bewertungstools vorgenommen werden, sondern müssen vor allem Klimaaspekte gleichberechtigt mit integrieren.
- Entwicklung einer mittel- bis langfristigen Strategie für einen Übergang zur einer sicheren, dezentralen und CO₂-freien Energieversorgung.
- Überprüfung aller politischen Maßnahmen und Konzepte hinsichtlich ihres zu erwartenden Effekts auf die Klimaanpassung.
- Entwicklung und Implementierung eines Energienachfragemanagements als Instrument der Klimaanpassung. Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz reduzieren die Notwendigkeit der Erschließung neuer Energiequellen und vermindern damit die Vulnerabilität der Systeme.
- Gewährleistung ausreichender Investitionen in die Sicherung von ecosystem services (Wasser, Biomasse etc.), die für die Aufrechterhaltung bestehender und geplanter Energieproduktionen von Bedeutung sind.

¹² Die Anforderungen an die Koordination der Maßnahmen innerhalb der Unternehmensorganisation werden auch dadurch bestimmt, dass Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung unterschiedlich verteilt sind. Klimaschutz hat häufig zu tun mit finanziellen und regulatorischen Instrumenten und Konzepten, während Klimaanpassung eher etwas mit dem unmittelbaren operativen Geschäft zu tun hat (vgl. (POLICY RESEARCH INITIATIVE 2009).

4. Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen: Einige Anmerkungen zu einem komplexen Verhältnis

Der Energiesektor ist einer der Sektoren, die im Mittelpunkt der Klimadebatte stehen: dieser trägt maßgeblich mit zum Klimawandel bei, er ist wichtigster Akteur in den Klimaschutzstrategien und hat aufgrund seiner zentralen gesamtwirtschaftlichen Bedeutung seine Anpassung an den Klimawandel voranzutreiben.

Dies wirft zunächst die nun etwas grundsätzlichere Frage nach dem Verhältnis von Klimaschutz und Klimaanpassung auf. Beide gelten in der Zwischenzeit zwar als gleichwertige Strategien der Klimapolitik, die Aussagen zum konkreten Verhältnis von Mitigation und Adaption bleiben jedoch häufig erstaunlich vage. So lassen sich zwar zahlreiche Beispiele benennen, in denen sich Klimaschutz und Klimaanpassung ergänzen und es Win-win-Situationen gibt. So werden unter Klimaschutzgesichtspunkten dezentrale Energieversorgungsstrukturen positiv bewertet, da die Kombination aus Erneuerbaren Energien und Maßnahmen der Energieeffizienzsteigerung im lokalen Maßstab entscheidende Beiträge zur Reduktion der Treibhausgase leisten (ALANNE & SAARI 2006; WOLFE 2008; URBED ET AL. 2010) und gleichzeitig unter Klimaanpassungsgesichtspunkten gewichtig das Risiko des Ausfalls von Systemen reduzieren.

	Klimaschutz	Klimaanpassung
Ansatz	Schwerpunkt auf Top-down-Ansätze, zentralisierte Entscheidungsstrukturen	Betonung von Bottom-up-Ansätzen; lokale Ebene spielt eine wichtige Rolle; dezentralisierte Entscheidungsstrukturen
Nutzenverteilung	Global	Standort der Investition
Zentrale Unsicherheiten	Rate des technischen Fortschritts; Ergebnisse der internationalen Klimaverhandlungen	Auswirkungen des Klimawandels und der entsprechende Zeithorizont; Ausmaß der autonomen Anpassung
Infrastruktursektoren	Energie, Transport, Gebäude, Industrie	Zentrale Infrastruktursysteme in allen Sektoren; auf Klimaanpassung ausgerichtete Infrastrukturen: Küstenschutz, Wasser, Landwirtschaft

Tab. 1: Klimaschutz und Klimaanpassung: unterschiedliche Ansätze (in Anlehnung an (RYAN-COLLINS et al. 2011))

Maßnahmen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung unterscheiden sich in mehrfacher Hinsicht (siehe Tabelle xx). Klimaschutzmaßnahmen sind eher langfristig ausgerichtet und der räumliche Fokus liegt dabei mehr auf der globalen Ebene. Im Gegensatz dazu sind Klimaanpassungsmaßnahmen eher kurzfristig orientiert und der Fokus liegt dabei dann vor allem auf der lokalen Ebene (WILBANKS 2007; WILBANKS & SATHAYE 2007). Bei dieser eher allgemeinen Perspektive gäbe es relativ wenig Konflikte zwischen diesen beiden Strategieansätzen.

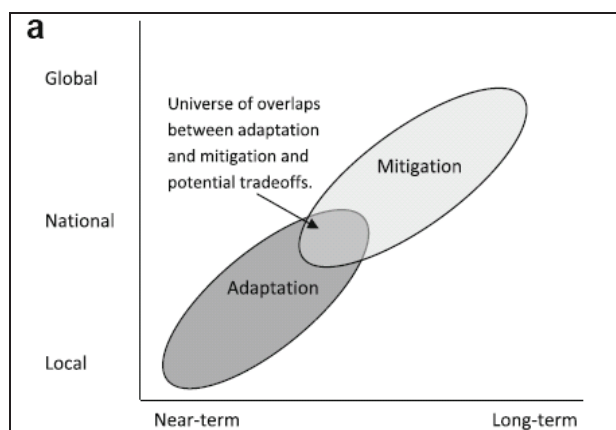


Abbildung 3: Überlappung von Klimaschutz und Klimaanpassung (MOSER 2011)

Moser hebt in ihrem Beitrag jedoch deutlich hervor, dass die Zusammenhänge in der Realität weitaus komplexer sind und damit auch der Umfang und die Intensität von trade offs zwischen Klimaanpassung und Klimaschutz. Dies gilt vor allem dann, wenn man aus der Systemansatz-Perspektive heraus auch die „second-order, long-term, non-local effects of local actions“ mit berücksichtigt (HOWARD 2009).

Einige Beispiele machen dies deutlich: Klimaschutzmaßnahmen können sich etwa erst in der Zukunft auf lokale Klimaanpassungsmaßnahmen niederschlagen, kurzfristig ausgerichtete, lokal wirksame Maßnahmen der Klimaanpassung können ihrerseits wieder eine Zunahme der Treibhausgase bewirken. Klimaschutz auf globaler Ebene manifestiert sich in konkreten (Investitions-)Projekten vor Ort und kann dort dann wieder durch Eingriffe in die Ökosysteme die langfristige Anpassungsfähigkeit einer Region verringern. Eine Klimaanpassung über eine Verlagerung von Infrastruktur aus überflutungsgefährdeten Gebieten kann mit einer Zunahme der Emissionen von Treibhausgasen verbunden sein, wenn nun längere Transportstrecken überwunden werden müssen. Die folgenden Tabellen zeigen Beispiele für Synergien und trade offs zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung.

Maßnahmen	Positive Auswirkungen auf den Klimaschutz	Positive Auswirkungen auf die Klimaanpassung
Renaturierung küstennaher Feuchtgebiete	Erhöhung der CO ₂ -Speicherung	Hochwasserspeicher, Schutz von Habitaten
Gebäudedämmung	Reduktion des Energieverbrauchs	Verbesserung des Wohnkomforts; Verbesserung des Hitzeschutzes
Energienachfragemanagement	Reduktion der Energienachfrage und der Emission von Treibhausgasen	Reduktion der Spitzenlast und damit Vermeidung von Blackouts
Bodenschutz, u. a. durch veränderte Bewirtschaftungsformen und Anbaumethoden	Potenzielle Zunahme der CO ₂ -Speicherung und der Stickstoffbindung	Verbesserung der Wasserspeicherung; Erhöhung der Biodiversität

Tab. 2: Synergien zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung (Moser 2011)

	Klimaschutz
Meerwasserentsalzung, Nutzung von wiederaufbereitetem Abwasser; großräumiger Wassertransfer	Zunahme des Energieverbrauchs für die Förderung, den Transport und die Speicherung von Wasser
Verlagerung von Infrastrukturen aus Überschwemmungsgebieten	Einmaliger Anstieg der Emission von Treibhausgasen aufgrund der Baumaßnahmen; potenzielle Zunahme der Zersiedelung und damit verbunden ein verkehrsbedingter Anstieg der Emissionen
Bau von Deichen und sonstigen Hochwasserschutzbauten	Anstieg der Emission von Treibhausgasen aufgrund von Baumaßnahmen

Tab. 3: Anpassungsmaßnahmen in Konkurrenz zu Klimaschutzzielen (Moser 2011)

Klimaschutzmaßnahmen	Potenziell negative Auswirkungen auf Klimaanpassung
Schneller Umstieg auf eine CO ₂ -freie oder CO ₂ -arme Energieversorgung	Höhere Energiepreise beeinträchtigen die wirtschaftliche Entwicklung und treffen vor allem niedrigere Einkommensgruppen und erhöhen ihre Anfälligkeit gegenüber dem Klimawandel
Wasserkraftnutzung und Speicherung von Wasser aus Regenperioden	Zunehmendes Risiko von Dammbürchen
Carbon capture und storage	Zunahme der Wassernutzung und der Konkurrenz um Wasserressourcen
Kompakte Stadtstrukturen	Negative Folgen für das städtische Klein-klima; zunehmende Siedlungs-entwicklung in potentiell hochwassergefährdeten Gebieten

Tab. 4: Klimaschutzmaßnahmen in Konkurrenz zu Klimaanpassungszielen (Moser 2011)

Die meisten Anpassungsstudien für den Energiesektor verweisen auf die besonderen Potenziale für sog. No-regret-Maßnahmen: Alle Aktivitäten zur Steigerung der Energieeffizienz erhöhen gleichermaßen die Anpassungsfähigkeit der Systeme. No-regret-Maßnahmen sind solche Konzepte, bei denen die Klimaanpassung mit anderen Nutzen kombiniert werden können, d. h. sie sind auch dann sinnvoll, wenn der Klimawandel nicht in der prognostizierten Form eintreten sollte.

5. Klimaanpassung und Energiewirtschaft als Akteure auf dem Flächenmarkt

Im Folgenden Kapitel wird versucht die komplexen Zusammenhänge zwischen Klimawandel, Klimaschutz und Klimaanpassung auf ihre Flächenrelevanz hin zu untersuchen und die Wirkungszusammenhänge auszdifferenzieren.

Klimaanpassung resultiert häufig in einer zusätzlichen Flächeninanspruchnahme und Veränderungen in der Flächennutzung. Angesichts der dargelegten komplexen Zusammenhänge zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung und den Folgen des Klimawandels sind auch die konkreten Auswirkungen auf den Flächenbedarf einer Region und die Implikationen für die Biodiversität und Landschaftsschutz nicht eindeutig (PARRY 2009).

Der Umbau des Energiesystems hin zu einem CO₂-freien bzw. CO₂-armen Energieproduktion und einer insgesamt nachhaltigeren Ressourcenbewirtschaftung erfordert nicht nur einen Umstieg auf andere Energieträger, sondern auch eine grundlegende Umorientierung und Neuausrichtung der vor- und nachgelagerten Infrastrukturen. Ein solcher Transformationsprozess, wie er im vorangegangenen Kapitel beschrieben wurde, wird - nicht ohne Auswirkungen auf die Art und die Intensität der Landnutzung bleiben.

Fragen im Zusammenhang mit Landnutzung und Klimawandel werden bereits seit längerem thematisiert,¹³ dabei spielen folgende Aspekte eine Rolle:

- Eine Veränderung der Landnutzung kann die Emissionen von Treibhausgasen beeinflussen (Bsp. Umbruch von Grünland, Trockenlegung von Mooren). Gleichzeitig können durch eine geeignete Flächenbewirtschaftung und durch entsprechende Managementmethoden diese Austräge reduziert werden bzw. sogar die Bindung von CO₂ verbessert werden (EADY *et al.* 2009; OSTLE 2009; OVANDO & CAPARRO 2009; ROUNSEVELL & REAY 2009; SETO & SHEPHERD 2009; BRANDÃO 2010; GANZVEELD 2010; GARNAUT 2011; LAL 2011; SCHAFFNIT-CHATTERJEE 2011; WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (WBGU) 2011). Ein wichtiger Debattenzweig fokussiert auf den Zusammenhang von Wachstum der Städte, Flächenverbrauch und Klimawandel (BART 2010)
- Der zweite Debattenstrang befasst sich mit der Frage der Auswirkungen von Klimaschutzstrategien auf Umfang und Intensität der Flächennutzung. Hierbei dominiert sowohl im nationalen als auch im internationalen Kontext das Thema Ausbau der Bioenergie die Debatte (VAN DER WERF & PETERSON 2007; TILMAN 2009; HARVEY & PILGRIM 2010; WORLD ENERGY COUNCIL 2010A). In den USA hat die Diskussion unter dem Stichwort des „energy sprawl“ einige Aufmerksamkeit erlangt; der Begriff knüpft an die Debatte des „urban sprawl“ an, mit dem die ungezügelte Ausbreitung der Städte in das jeweilige Umland bezeichnet wird (MCDONALD *et al.* 2009).
- Die unmittelbaren Auswirkungen des Klimawandels auf die Flächennutzung hängen stark von den jeweiligen regionalen Bedingungen ab und können sich etwa in Verlust an Fruchtbarkeit und Ertragskraft zeigen (LAND USE CONSULTANTS 2010; THE SCOTTISH GOVERNMENT 2011A). Dwyer geht jedoch davon aus, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf die Flächennutzung insgesamt eher marginal sein dürften (DWYER 2011).

¹³ Das Thema ist nicht neu; so befassten sich Pasqualetti/Miller bereits 1984 in einem Beitrag des Geographical Journal mit der Flächeninanspruchnahme durch verschiedene Energieerzeugungsformen (PASQUALETTI&MILLER 1984)

- Nicht zuletzt werden vermehrt auch Planungsansätze diskutiert, wie über gezielte Maßnahmen der Flächennutzung und des Flächenmanagements die Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel verbessert werden kann; das Konzept der urban green infrastructure steht hierfür als Beispiel (TOWN AND COUNTRY PLANNING ASSOCIATION (TCPA) 2009; CARTER & CULP 2010; FRANCIS 2011) (KOH 2005; LANDSCAPE INSTITUTE 2008; HIESS 2010; STREMKE & KOH 2010; WENDE *et al.* 2010; FOSTER *et al.* 2011).
- Eine in der Zwischenzeit sehr umfangreiche Literatur befasst sich zudem mit den Herausforderungen der konkreten Standortplanung von Anlagen Erneuerbaren Energien und deren räumliche Integration (OUTKA 2010B, A; ROSSI 2010; BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR 2011B; FORD *et al.* 2011).

Für die langfristige Entwicklung resilienter Regionen sind gleichermaßen Klimaschutz und Klimaanpassung von Bedeutung. Beide Strategien sind auch mit Auswirkungen auf Flächen und Landschaftsstrukturen verbunden, wurden aber lange Zeit als unabhängige, nebeneinander stehende Maßnahmen betrachtet. Erst in den letzten Jahren ist die Frage verstärkt auf die Tagesordnung gerückt, ob beide Strategien sich ergänzen oder ob es bei der Verfolgung von Zielen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung auch zu Konflikten kommen kann. Diese Zusammenhänge sind nicht immer ganz eindeutig und oft nur im jeweiligen lokalen Kontext zu beantworten.

Die Handlungsempfehlungen bleiben daher auch häufig vage und plädieren für Maßnahmen und planerische Konzepte, mit denen jeweils multiple Ziele verbunden sind.¹⁴

Eine wichtige Grundlage für langfristig tragfähige Flächenmanagementkonzepte ist eine detaillierte Bestandsaufnahme der gegenwärtigen Flächennutzung und der Entwicklungstrends. Derartige Analysen sind angesichts der Fülle der Faktoren, die auf den Flächenmarkt einwirken, sehr komplex und setzen detaillierte regionalspezifische Informationen voraus, die bei kleinräumiger Betrachtung oft nicht vorliegen.

¹⁴ Siehe auch (PARRY 2009), der angesichts der komplexen Zusammenhänge zu dem Ergebnis kommt, dass " .. *it is not at all clear what mix of different amounts of mitigation and adaptation would best meet given targets of impact avoidance. Indeed, many scientists would not accept that any such optimal mix exists* "

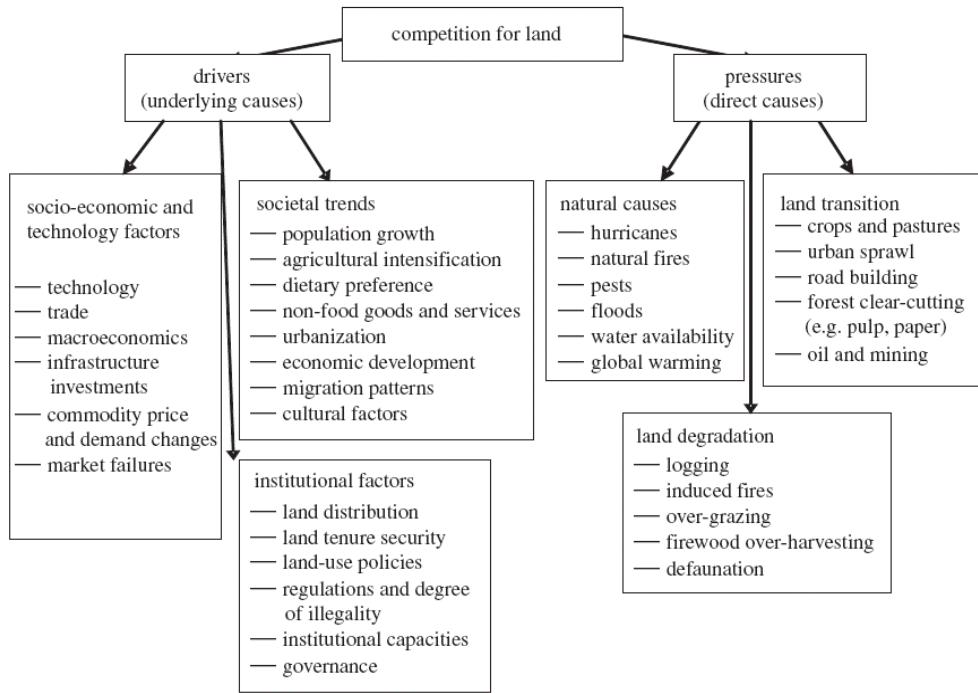


Abb. 4: Konzeptionelle Analyse der Rahmenbedingungen für Flächenkonkurrenzen (Smith 2010)

Im Mittelpunkt der folgenden Überlegungen steht der Energiesektor, dem sowohl im Rahmen des Klimaschutzes als auch der Klimaanpassung für die Flächennutzung eine entscheidende Rolle zukommt. Die Wirkungszusammenhänge zwischen diesen Akteursbereichen sind jedoch sehr komplexer Natur - Nutzungskonflikte, Synergien und Rückkopplungen bestimmen das Bild. Im Folgenden wird ein erster Überblick über diese Zusammenhänge gegeben, der auch die Strukturierung einer detaillierteren regionalen Bestandsaufnahme vorgibt.

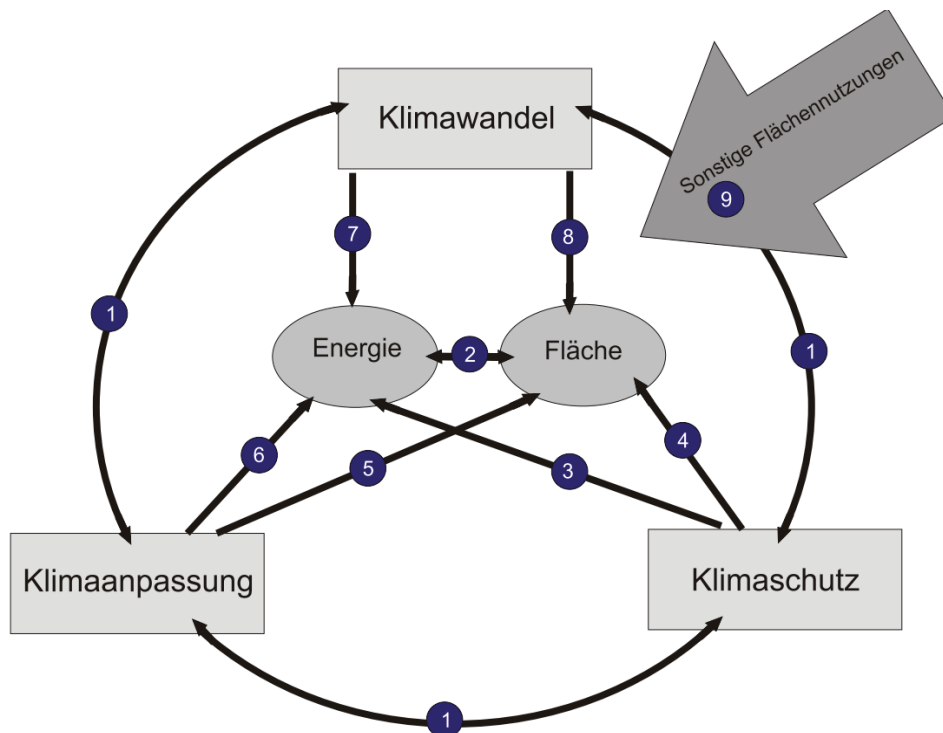


Abb. 5: Fläche und Energie im Spannungsfeld von Klimawandel, Klimaschutz und Klimaanpassung (eigene Darstellung)

5.1 Klimaschutz, Klimawandel und Klimaanpassung

Den Rahmen für die folgenden Überlegungen bilden die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Klimawandel, Klimaschutz und Klimaanpassung.

Insbesondere die Sachstandberichte des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) haben das Problem des anthropogen verursachten Klimawandels deutlich gemacht; diese Berichte und auch etwa der Stern Report haben gleichzeitig auch auf die Möglichkeiten verwiesen, den Klimawandel über eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen zumindest abzuschwächen sowie mit geeigneten Maßnahmen die Wirtschaftssysteme an den Klimawandel anzupassen (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC 2007).

Grundlage für die Klimaprognosen sind Berechnungen mit Klimamodellen für unterschiedliche Szenarien. Die Ergebnisse der globalen Klimamodelle können mittels verschiedener Regionalisierungsmodelle (WETTREG, REMO, CLM) auf kleinräumige Betrachtungsebenen herunterskaliert werden (SCHUCHARDT *et al.* 2010).

Der Klimawandel macht Klimaschutzmaßnahmen notwendig, um die mit dem Klimawandel verbundenen ökonomischen, ökologischen und sozialen Folgen soweit wie möglich zu beschränken. Auf allen politischen Ebenen gibt es in der Zwischenzeit Vereinbarungen, Programme und gesetzliche Regelungen, mit denen das Ziel verfolgt wird, vor allem den Ausstoß an Klimagasen zu reduzieren und damit auch die globale Erwärmung auf ein Niveau von durchschnittlich 2°C gegenüber vorindustriellem Niveau zu begrenzen. Damit – so hofft man – würden sich die Folgen für Menschen, Flora und Fauna noch in einem Rahmen bewegen, der noch einigermaßen zu handeln sein dürfte.

<p>Globaler Rahmen Völkerrechtliche Vereinbarungen z.B. Kyoto-Protokoll, Kopenhagen-Vereinbarung, Entscheidung von Cancún Zielvereinbarung: Erderwärmung soll auf 2°C gegenüber 1990 beschränkt bleiben</p>
<p>Europäische Union Emissionshandelssystem, Klima- und Energiepaket 2008, Energiestrategie 2020 Zielvereinbarung: Reduzierung der Treibhausgasemissionen bis 2020 um mindestens 20 % unter die Werte von 1990</p>
<p>Deutschland Roadmap Energiepolitik 2020, Erneuerbare-Energien-Gesetz Integriertes Energie- und Klimaprogramm Zielvereinbarung: Reduktion der Treibhausgasemissionen um 40 % bis 2020 gegenüber 1990</p>
<p>Länder und Regionen Strategiepapiere z.B. in Niedersachsen „Klimawandel – Herausforderung für Staat und Gesellschaft“; in Bremen „Klimaschutz- und Energieprogramm 2020“ Kommunale Klimaschutzprojekte und –programme</p>

Abb. 6: Überblick über ausgewählte Klimaschutzmaßnahmen (eigene Darstellung)

Nach allen vorliegenden Studien wird man jedoch davon ausgehen müssen, dass trotz aller Anstrengung zum Klimaschutz ein globaler Anstieg der Temperaturen nicht gänzlich zu verhindern sein wird und daher Maßnahmen zur Verbesserung der Anpassungsfähigkeit der ökologischen und ökonomischen Systeme an den Klimawandel ergriffen werden müssen. Die meisten Industrieländer haben in der Zwischenzeit entsprechende Anpassungsstrategien entwickelt, die als Grundlage für konkrete Maßnahmen und Investitionen dienen sollen. In Weiterentwicklung der Deutschen Anpassungsstrategie (BUNDESREGIERUNG 2008) hat die Bundesregierung Mitte 2011 in Deutschland einen mit den Bundesländern

abgestimmten Aktionsplan Anpassung vorgelegt (BUNDESREGIERUNG 2011). Parallel dazu haben viele Bundesländer eigene Anpassungskonzepte vorgelegt, die auf die jeweils spezifischen Verhältnisse eingehen.¹⁵

5.2 *Energiesektor und Flächennutzung*

Der „Flächenverbrauch“¹⁶ in der Bundesrepublik, d.h. in erster Linie die Umwandlung von landwirtschaftlich genutzter Fläche in Siedlungs- und Infrastrukturfläche ist zwar auch in Folge der globalen Wirtschaftskrise leicht zurückgegangen, von einer Trendwende kann jedoch keineswegs die Rede sein. Unter ökologischen Gesichtspunkten ist diese Entwicklung nicht nur deswegen problematisch, weil damit unmittelbare ökologisch wertvolle Flächen überbaut werden, sondern weil die auf diesen Flächen dann stattfindende wirtschaftliche Nutzung gleichzeitig weitere Umweltfolgen nach sich zieht. Der gegenwärtige Flächenverbrauch durch Industrie und Gewerbe, Siedlungs- und Infrastruktur liegt bei rd. 120 ha pro Tag. Im Rahmen ihrer Nachhaltigkeitsstrategie hat sich die Bundesregierung das Ziel gesetzt, zumindest mittelfristig eine Reduzierung der Umwandlungsrate auf 30 ha zu erreichen. Allgemeiner formuliert hat dieses Ziel auch Eingang gefunden in die Grundsätze der Raumordnung nach dem Bundesraumordnungsgesetz. In der Zwischenzeit viele neue Instrumente und Konzepte entwickelt worden; zahlreiche Forschungsverbünde¹⁷ befassen sich intensiv mit der Fragestellung. Dennoch dürfte dieses 30 ha Ziel nur schwer erreichbar sein.

Auch jede Form der Energieproduktion beansprucht Fläche. So brauchen konventionelle Kraftwerke Flächen für den Bau und Betrieb der Anlagen, für die Errichtung von Netzanbindung sowie für den Bau und die Unterhaltung einer vor – und nachgelagerten Versorgungsinfrastruktur (Bsp. Hafenanlagen für den Umschlag von Kohle oder Öl) (ODEH&COCKERILL 2008).¹⁸

Die Flächeninanspruchnahme der Energieerzeugung hat sich im historischen Rückblick stark verändert. In der Vergangenheit basierte die Energieerzeugung auf der Nutzung von oberirdisch gewinnbaren Ressourcen (Torf, Holz, etc.);¹⁹ bei dem dann folgenden Übergang auf das fossile Zeitalter verschob sich die Energiegewinnung auf Ressourcen, die unterirdisch abgebaut wurden. Aktuelle Energieszenarien setzen für die Zukunft dagegen fast ausnahmslos wieder verstärkt auf Energien, die an der Erdoberfläche gewonnen werden.

¹⁵ Siehe unter anderem: <http://www.klima-und-raum.org/anpassungsstrategien>

¹⁶ Der umgangssprachlich genutzte Begriff ist natürlich insofern irreführend, als Fläche nicht im physischen Sinne verbraucht, sondern lediglich einer anderen Nutzung zugeführt werden kann

¹⁷ z.B. Forschung für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und ein nachhaltiges Flächenmanagement (REFINA); zu Informationen zu diesem Projekt siehe www.refina-info.de

¹⁸ Ein zusätzlicher Ausbaubedarf der Häfen und der entsprechenden Suprastruktur könnte sich zukünftig auch ergeben, wenn der internationale Handel mit Bioenergie zunehmen sollte, siehe: (JUNGINGER 2011)

¹⁹ So lassen sich die norddeutschen Fehnlandschaften durchaus auch als eine Energielandschaft der ersten Generation ansehen (KLIP-MARTIN 2011)

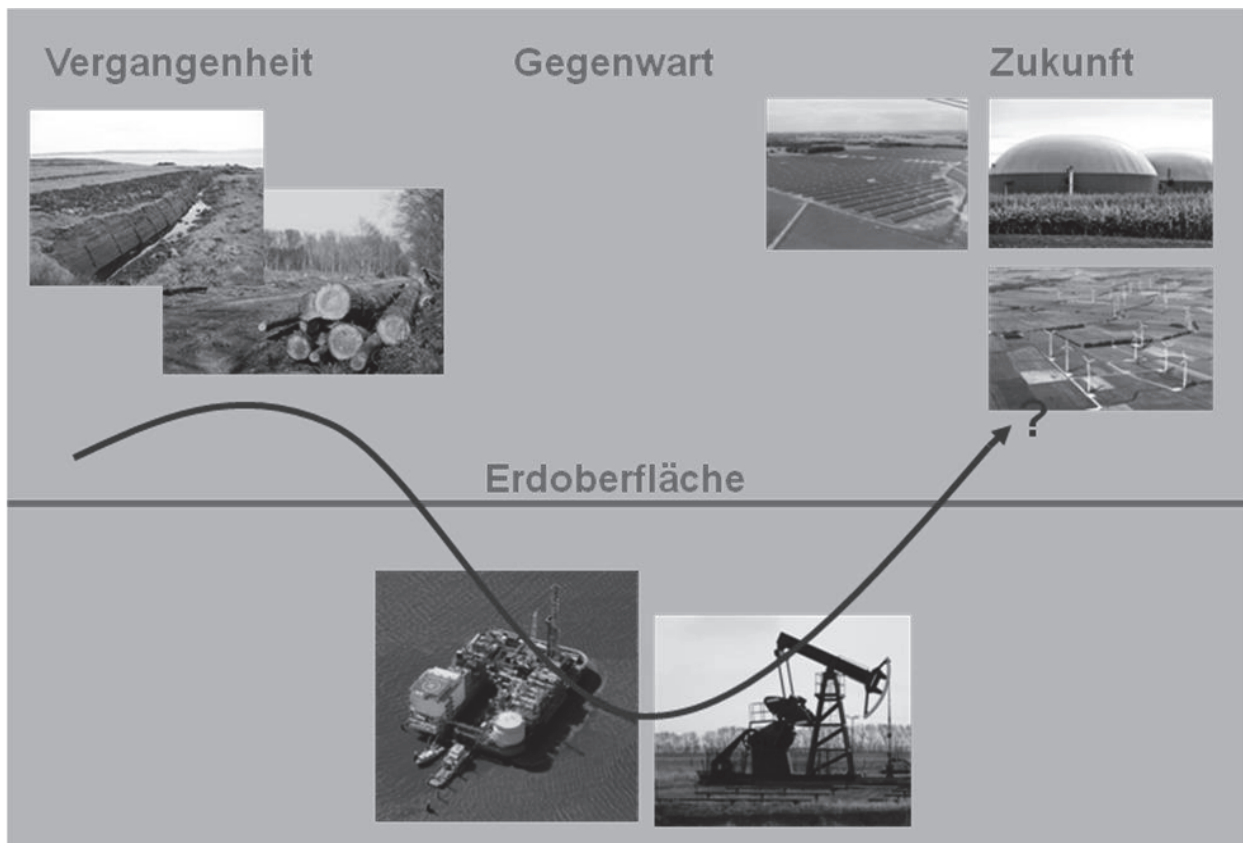


Abb. 7: Zeitliche Entwicklung der Energieproduktionsorte (eigene Darstellung in Anlehnung an (VAN DAMM&NOORMAN 2005))

Der Umbau des Energiesystems gilt insofern mit als die treibende Kraft bei der Veränderung von Landschaft und Flächennutzung: „*There can be very little doubt that energy will remain the number one driver for landscape transformation in the 21st century*“ und die räumlichen Auswirkungen der Erneuerbaren Energien „...*provide us with new visual reminders that our energy comes from somewhere, which contributes in raising consciousness about the impacts and consequences of our energy demand*“ (NADAÏ&VAN DER HORST 2010).

Die Transformation des Energiesystems beschränkt sich jedoch nicht allein auf den Umstieg auf neue Formen der Energieproduktion, sondern kann weitergefasst werden als der langfristige Übergang in eine CO₂-freie Wirtschaftsweise (Dekarbonisierung). Neben der Energieproduktion können auch der Energieverbrauch und besonders das Maß an „*embodied energy*“ sich prägend auf die Landschaft und das Landschaftsbild auswirken (SELMAN 2010; STREMKKE 2010; STREMKKE&KOH 2010; STREMKKE *et al.* 2011). Mit Blick auf den Energieverbrauch spielen hier etwa die räumlichen Implikationen des Transportsektors eine Rolle sowie die erforderlichen Netze, um die Energie erst zum Verbraucher zu bringen. Als graue – embodied- Energie wird jene bezeichnet, die in die Produktion von Gütern und Dienstleistungen enthalten ist. Viele Anlagen und Praktiken sind energieintensiv und prägen Landschaften wie massive Bauwerke, Schutzanlagen und graue Infrastrukturen. So benötigt etwa die Entwässerung bzw. auch die Bewässerung von Agrarflächen viel Energie; die ausreichende Verfügbarkeit von Energien hat daher erst die modernen Formen intensiver Landwirtschaft und Landbewirtschaftung möglich gemacht (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR 2011c).

Noch ist die Energieerzeugung in vielen Industrieländern primär durch Kernkraft und fossile Energieträger (Erdöl, Kohle, Erdgas) geprägt; in der Zwischenzeit gewinnen innerhalb des Energiemixes die Erneuerbaren Energien jedoch an Gewicht. In Deutschland stammt bereits rd. 17% der Stromproduktion aus Erneuerbaren Energieanlagen (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT 2011b, a).

Der in meisten Industrienationen durch entsprechende Förderprogramme (EEG, Quotenmodelle etc.) initiierte Wandel in der Energieerzeugung wirkt sich in sehr unterschiedlicher Weise und Intensität auch auf die Flächennutzung aus. Der Übergang zu einer ökologisch verträglichen Energieerzeugung führt u.a. zu einer Verlagerungen der Produktionsstandorte für Energie. In der Vergangenheit lagen die Kraftwerksstandorte schwerpunktmäßig in der Nähe der großen Verbraucherzentren, nun sind die Orte der Erzeugung zum einen die Regionen, die vor allem die günstigsten Bedingungen für Erneuerbare Energien aufweisen. Zum anderen sind es aber auch die Küstenregionen, die bisher zwar aufgrund ihrer Lage an seeschifftiefen Fahrwassern zur Rohstoffversorgung für Kraftwerksstandorte favorisiert wurden, nun zusätzlich als Standorte für Erneuerbare Energien interessant.

Der Umbau des Energieversorgungssystems ist nur langfristig und mit hohen Investitionen in die Sanierung und den Ausbau der Infrastruktur verbunden. In der aktuellen Debatte geht es vor allem auch um die Dauer des notwendigen Übergangsprozesses und darum, wie die erhöhte Menge an Erneuerbarer Energie in das bislang vorrangig auf fossile Energieträger ausgerichtete Versorgungssystem integriert werden kann. Aber auch die Frage der Umweltfolgen dieses Transformationsprozesses rücken zunehmend in den Mittelpunkt der Debatte, insbesondere auch, weil der Ausbau der entsprechenden Infrastruktur immer wieder auch auf Widerstand lokaler Bevölkerung stößt und ganz wesentlich mit den Folgen für Flächennutzung und Landschaftsgestaltung verbunden ist (KINTISCH 2010; LÖSCHEL 2011; MUSALL&KUIK 2011; SOINIA 2011).

Insbesondere in der englischsprachigen Literatur wird die Ressourcenintensität (LEWIS&NOCERA 2006; MORIARTY&HONNERY 2009; KLEIJN&VAN DER VOET 2010; MORIARTY&HONNERY 2011) Erneuerbarer Energien und auch der unmittelbare Flächenverbrauch durch die unterschiedlichen Formen der Energieerzeugung seit Jahren intensiv diskutiert (GHOSN 2010)(AUSUBEL 2007; ANDREWS. C.J. 2008; GUERRERIO 2009; MCDONALD *et al.* 2009; SEAGER *et al.* 2009; ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI) 2010; KENWORTHY 2010; KLEIJN&VAN DER VOET 2010; OUTKA 2010b; URBAN LAND INSTITUTE 2010; WACHTER *et al.* 2010; BRYCE 2011; MORIARTY&HONNERY 2011).(DIJKMANN 2009; WILSON 2009; WILSON&PIPER 2010; DE CASTRO 2011). Entsprechende Studien insbesondere aus den USA haben insofern besondere Beachtung gefunden, als ihre Ergebnisse auch als Argumente gegen einen massiven Ausbau der Erneuerbaren Energien instrumentalisiert werden.²⁰

Moriarty und Honnery greifen diese Aspekte auf und diskutieren die Frage nach dem optimalen Niveau der Produktion aus Erneuerbaren Energien (MORIARTY&HONNERY 2011). Eine spezielle Erzeugungsform ist langfristig nur dann auch wirtschaftlich umsetzbar, wenn die damit erzielte Outputmenge an Energie größer ist als die Energiemenge, die eingesetzt werden muss, um diese Energie zu erzeugen. Sie gehen davon aus, dass diese Energiekosten bei einer Ausweitung der Erneuerbaren Energien aus verschiedenen Gründen steigen werden.

- mit steigendem Energieoutput nimmt die Ressourcenqualität ab; so müssen etwa immer ungünstigere Standorte für Windkraftanlagen etc. gewählt werden;
- der Bedarf an Speicherkapazitäten steigt in dem Maße, wie der Anteil der Erneuerbaren Energien am Energiemix zunimmt; damit verbunden sind auch dann höhere Energieverluste;
- die Kosten für die sog. *ecosystem maintenance* steigen, seien es die unmittelbaren Schadenskosten oder die Aufwendungen für Vermeidungstechnologien etc.

Die Autoren verweisen auf die methodischen Probleme bei der Ermittlung eines solchen optimalen Levels, sind aber auch aufgrund der geringen Energiedichte insgesamt eher skeptisch,

²⁰ Nicht alle Studien teilen diese Skepsis; so verweist etwa Lewis darauf, dass die gesamte Energienachfrage der USA rein rechnerisch mittels Solarenergie auf einer Fläche erzeugt werden könnte, die nur 1,7% der gesamten Landfläche der USA ausmacht und damit der Fläche entspricht, die von den amerikanischen Highways belegt wird (LEWIS 2007). Siehe auch (MAKHIJANI 2008, 2009; DECANIO&FREMSTAD 2011)

wenn es um die Frage geht, ob Erneuerbare Energien die gesamte Energieversorgung übernehmen können (MACKAY 2008; KESSIDES&WADE 2011).

So wurden in verschiedenen Szenarien für die USA bis zum Jahre 2030 der Flächenverbrauch berechnet, der sich bei Zugrundelegung unterschiedlicher Energieproduktionstechniken und der damit verbundenen spezifischen Verbrauchswerte ergeben würde (MCDONALD *et al.* 2009).

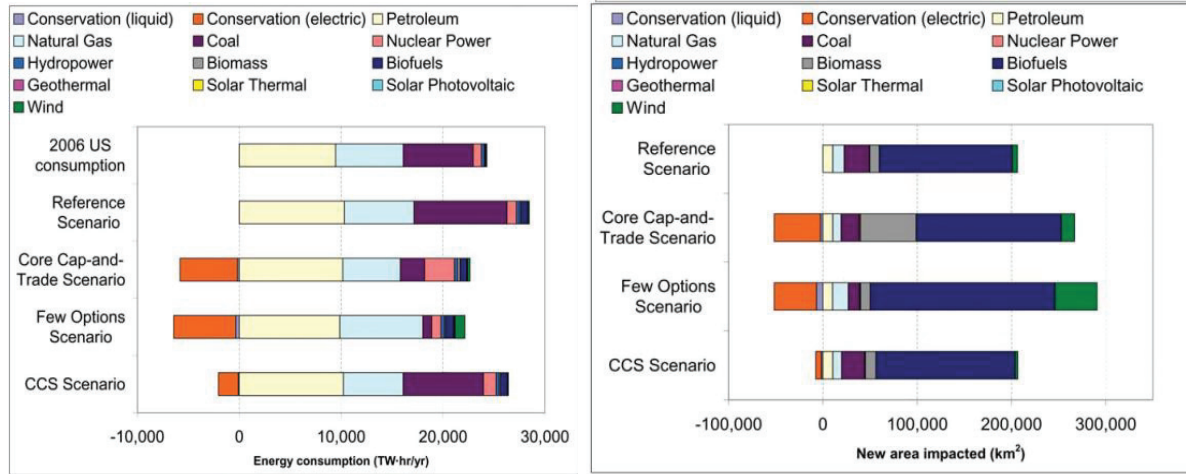


Abb. 8: Energieverbrauch in den USA im Jahre 2030 und Flächeninanspruchnahme ²¹ (MCDONALD *et al.* 2009)

Die Bandbreite der spezifischen Flächenverbrauchswerte (power intensity) ist groß und hängt stark von den jeweils gewählten Annahmen ab, dennoch lässt sich eine Rangfolge der Energieträger hinsichtlich ihrer Flächenrelevanz abbilden. Der Anhang dieses Arbeitsberichts enthält die Ergebnisse einer Auswertung der internationalen Literatur zum Flächenverbrauch der Energieproduktion. ²²

Atomkraft	1,9-2,8 km²/TWh/Jahr
Kohlekraftwerke	2,5-17,0 km²/TWh/Jahr
Geothermie	1,0-13,9 km²/TWh/Jahr
Biokraftstoffe z.B. Mais Ethanol	320-375 km²/TWh/Jahr
Biogasanlagen	433-654 km²/TWh/Jahr

Tab. 5: Flächenintensität nach Energieträgern (eigene Zusammenstellung nach (Denholm *et al.* 2009))

Zahlreiche Studien befassen sich im Detail mit der Flächenintensität konkreter Energieerzeugungstechnologien wie Wind- oder Solarenergie. Bei rd. 80% der von Denholm *et al.* untersuchten Windenergieprojekte ergab sich durch die Überbauung ein Landverbrauch

²¹ (A) Energieverbrauch der USA in 2006 nach vier EIA Szenarien; Energieeinsparung (Kraftstoffe und Elektrizität) werden negativ dargestellt, da sie den Verbrauch reduzieren; (B) Absoluter Flächenverbrauch aufgrund von Entwicklungen zwischen 2006-2030; der Flächenverbrauch ergibt sich aus Energieverbrauch und der einzelnen Flächenintensitäten der Energieproduktionstechniken

²² David MacKay von der Universität Cambridge und wissenschaftlicher Berater des britischen Department of Energy and Climate Change hat für alle Sektoren und Subsektoren der Energiewirtschaft Zahlen und Fakten zu Produktion, Verbrauch, Kapazitäten, Potenziale etc. zusammengestellt und räumt dabei mit vielen Mythen und oft nicht hinterfragten Annahmen und Aussagen in der aktuellen energiepolitischen Debatte auf (MACKAY 2008). Siehe in Anlehnung an MacKay auch (SELIGMAN 2010)

unter 0,4 ha/MW und ein temporärer Flächenverbrauch von 1,0 \pm 0,7 ha/MW (DENHOLM *et al.* 2009).²³

Bei den Angaben spezifischer Flächenverbrauchswerte für die Energieerzeugung ist zwischen unterschiedlichen Abgrenzungen zu unterscheiden; wobei diese Differenzierung innerhalb der Literatur nicht immer ganz eindeutig durchgehalten wird:

- Direkter Flächenverbrauch: der unmittelbare Flächenverbrauch der Produktionsanlage (Kraftwerk, Solaranlage)²⁴
- Indirekter Flächenverbrauch: die Flächeninanspruchnahme der mit der speziellen Energieerzeugung verbundenen Rohstoffversorgung;
- Lebenszyklusansatz: in diesem Fall wird der gesamte Flächenverbrauch der Energieerzeugung entlang des gesamten Lebenszyklus ermittelt

Bei einer regional differenzierten Betrachtung ergibt sich bei den beiden letzten Kategorien jeweils das Problem der räumlichen Zuordnung der Flächennutzung. Dies gilt mit Blick auf die indirekten Verbräuche vor allem für die fossilen Energieträger; so werden die in den Kohlekraftwerken eingesetzten Rohstoffe in aller Regel außerhalb der Standortregion gewonnen und werden damit auch an anderer Stellen flächenwirksam. Anders ist die Situation bei den meisten Formen der Erneuerbaren Energien, bei denen Energiegewinnung und Stromerzeugung zeitgleich an einem Standort stattfinden (Windenergie, Solarenergie) oder aber die Produktion der Einsatzstoffe zu einem wesentlichen Teil in unmittelbarer Nähe zur Produktionsanlage (Biomasse) stattfindet.

Neben dem unterschiedlich ausgeprägten spezifischen Flächenbedarf für einzelne Energieproduktionsstandorte ergibt sich eine zusätzliche Flächeninanspruchnahme durch die der unmittelbaren Produktion von vor – und nachgelagerten Infrastrukturen. Die Zuordnung dieses Flächenbedarfs zu einzelnen Energieträgern ist nicht in allen Fällen möglich, vor allem dort wo es um den Ausbau der Netzinfrastrukturen geht, über die nicht nur der Strom aus Erneuerbaren Energien zu den Verbrauchern transportiert wird (ENTSOE&EUROPACABLE 2010; EUROPEAN COMMISSION- DIRECTORATE-GENERAL ENERGY 2010). Durch die Zunahme des Anteils Erneuerbarer Energie an der gesamten Stromerzeugung wird zunehmend auch die Speicherung des produzierten Stroms zu einem Thema. Während herkömmliche Kraftwerke der Nachfrage angepasst Strom produzieren können, hängt die Leistung der Erneuerbaren Energien von Faktoren wie Windstärke, Sonnenscheindauer/tage oder Jahreswetterlage ab; die Produktionsleistung fluktuiert daher stark und ist nur in wenigen Fällen (Biogas) auch steuerbar. Eine Lösung besteht im Bau zusätzlicher Energiespeicher, auch dies kann zu einem zusätzlichen Flächenbedarf für die oberirdische Infrastruktur führen.

Aber auch für konventionelle Kraftwerke könnte sich durch den Bau von CO₂-Abscheidungs- und Speichertechnologien- und Einrichtungen (CCS-Technologien) ein weiterer Flächenbedarf ergeben. Das amerikanische Department of Environment geht für die CCS-Technologie eines 300 MW – Kohlekraftwerks von einem zusätzlichen direkten Flächenbedarf von rd. 30 ha

²³ Nicht die gesamte Nachfrage nach Flächen muss sich dabei auf landwirtschaftliche Nutzfläche beziehen. Es liegen zahlreiche Potenzialstudien vor, in denen die Eignung von industriellen Brachen oder nicht genutzten Konversionsflächen für die Errichtung von Erneuerbaren Energieanlagen untersucht wird. Andere Überlegungen richten sich etwa auf die Nutzung von Verkehrsflächen bzw. von Freiflächen entlang der Autobahnen für die Energienutzung (BOSCH & PARTNER 2009; SCHEER 2009). Siehe auch die niederländischen Arbeiten zu diesem Thema: (WEIJERS&DE GROOT 2007; LENSTRA 2009). Einen breiten Raum hat die Energiegewinnung bspw. auch in den Überlegungen zur Zukunft des Abschlussdeiches in Nordholland eingenommen: (VAN VOSSEN 2010; ADVIESCOMMISSIE TOEKOMST AFSLUITDIJK 2011)

²⁴ Nicht immer lässt sich aus den vorliegenden Studien entnehmen, ob und in welchem Umfang auch die Flächeninanspruchnahme durch Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen berücksichtigt worden sind. Zumindest bei Großkraftwerken kann dies den direkten Flächenverbrauch sogar verdoppeln.

aus(PICKETT 2010). Der Nordwesten Niedersachsens zählt mit seinen salinen Aquiferen zu den Gebieten in Deutschland, die in erster Linie für die CO₂-Speicherung in Frage kommen (vgl. Abb. 9). Dabei tritt die Speicherung des CO₂ in Konkurrenz mit Gas- und Druckluftkavernen. Bislang sind mit Blick auf die CCS-Technologien viele rechtliche, wirtschaftliche und auch ökologische Fragen nicht geklärt, so dass eine großmaßstäbliche Realisierung bislang noch offen bleibt (ECORYS 2010; HELSETH 2010; HEROLD *et al.* 2010; KRUPP 2010; ROCHLITZ 2010). Sollten moderne Kohlekraftwerke jedoch für eine Übergangsphase eine gewichtige Rolle im Energiemix spielen, wird dies vermutlich nur mit der CCS-Technologie machbar sein. Aus planerischer Sicht wird es dabei nicht allein um die Flächennutzung durch eine entsprechend notwendige Transport- und Umschlagsinfrastruktur sowie Pumpstationen u.ä. gehen²⁵, gerade der Ausbau der Speicherkapazitäten verdeutlicht dann auch die Notwendigkeit einer unterirdischen Raumordnung, die die verschiedenen konkurrierenden Nutzungsansprüche an den Untergrund koordinieren muss (EVANS *et al.* 2009; DÖNER 2010)²⁶.

Besondere Aufmerksamkeit richtet sich seit geraumer Zeit auch auf die sogenannten unkonventionellen Lagerstätten von Erdgas. Große Potenziale des Schiefergases befinden sich in den USA, Polen, Schweden und in der norddeutschen Tiefebene (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA) 2011). Mehrere amerikanische Energiekonzerne führen in Deutschland Probebohrungen durch, gegen die sich jedoch zunehmend Widerstand formiert, u.a. da eine Gefährdung der Grundwasserqualität nicht ausgeschlossen ist (BECKMAN 2011). Das Tyndall Center for Climate Research hat sich in einem aktuellen Report sehr ausführlich mit den Umwelteffekten der Schiefergasgewinnung befasst. Die Studie verweist auch auf den Flächenbedarf für die Bohrplätze und die entsprechenden Zufahrtswege in der Größenordnung von etwa 1,5-2 ha je Bohrung(WOOD 2011). Neue Bohrtechniken können den Flächenbedarf und die in der Regel nur temporären Eingriffe in das Landschaftsbild jedoch deutlich reduzieren (RIDLEY 2011).

²⁵ Das Wuppertal Institut (WUPPERTAL INSTITUT FÜR KLIMA 2010) geht in einer aktuellen Studie von einem höheren Flächenverbrauch durch CCS-Maßnahmen aus: Schätzungen gehen von 50 Prozent zusätzlicher Fläche bei Erdgas-GuD-Anlagen und bis zu 200 Prozent bei konventionellen Kohlekraftwerken aus. Zum Ausbau der erforderlichen Netzinfrastruktur siehe auch (SCHOOOTS 2010)

²⁶ Zu den zahlreichen noch nicht geklärten Rechtsfragen im Zusammenhang mit unterirdischen Speichern (Eigentumsrechte, Nutzungsrestriktionen auf den Flächen oberhalb der Speicher etc.) siehe (BONTE 2011; SCHULZ&REESE 2011). Zu ähnlichen Fragestellungen mit Blick auf den Luftraum über den für die Produktion Erneuerbarer Energie genutzten Flächen siehe (RULE 2011)

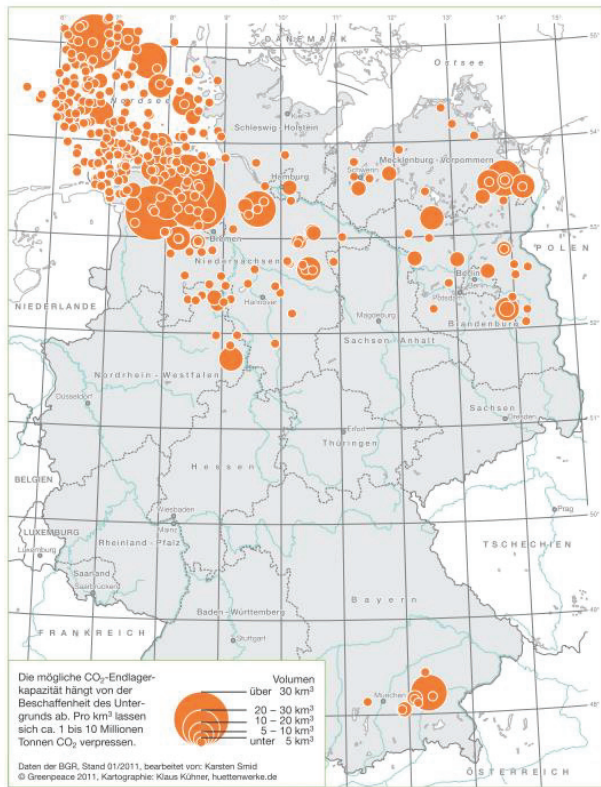


Abb. 9: Potenzielle CO₂-Endlager in Deutschland in Salzwasser führendem Tiefengestein²⁷

Die folgende Übersicht gibt eine erste vorläufige Einschätzung des Flächenbedarfs durch die Energieproduktion. Die Bewertung basieren dabei im Wesentlichen auf den aktuellen Trends und Planungen für die deutsche Energieversorgung.

Konventionelle Energieträger	Auswirkungen auf die Fläche
Kernkraft	Es werden keine weiteren Kraftwerke gebaut, Flächenbedarf für die End- und Zwischenlagerung von Atommüll
Stein- und Braunkohlekraftwerke	Flächenbedarf durch Bau und Betrieb des Kraftwerks: Flächenbedarf insbesondere durch Versorgungsinfrastruktur für die Anlieferung von Rohstoffen, CO ₂ -Speicheranlagen sowie für Kompensation
Erdgaskraftwerke	Flächenbedarf durch Bau und Betrieb des Kraftwerks sowie durch Versorgungsinfrastruktur (Pipelines), CO ₂ -Speicheranlagen sowie für Kompensationsmaßnahmen
Erneuerbare Energie	Auswirkungen auf die Fläche
Windenergie	<p>Onshore: zur Verfügung stehende Flächen sind weitestgehend ausgeschöpft; durch Repowering kann die Leistung jedoch noch ausgebaut werden (DEWI 2010); es bedarf intelligenter Konzepte zur Co-Nutzung der Flächen</p> <p>Offshore: hier sind die größten Ausbaupotenziale vorhanden; Netzwerkinfrastruktur mit Kabelleistungen, Stromanlandungsstationen, Speichereinrichtungen sowie Offshore-Basishäfen müssen gebaut werden; Flächenverbrauch sowie Problem der Kompensation des Eingriffs/ Ausgleichsflächen; Offshore-Flächen werden für Schifffahrt und Fischerei unbrauchbar</p>

²⁷ http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/klima/CO2-Lager-HuettenWerke.pdf abgerufen am 28.02.2011

Nachwachsende Rohstoffe	Durch den Anbau von Energiepflanzen werden Flächen genutzt, die sonst der Nahrungsmittelproduktion zur Verfügung stehen; Flächenkonkurrenz mit der Folge von partiellen Bodenpreissteigerungen
Solarenergie	Hoher Flächenverbrauch für Solarparks; kein zusätzlicher Flächenverbrauch bei Photovoltaikmodulen auf Dächern (DEWI 2010)→für Solarparks müssen intelligente Co-Nutzungskonzepte gefunden werden
Wasserkraft und Gezeiten	Die Potenziale der Wasserkraftnutzung sind weitestgehend erschöpft, Gezeitenkraftwerke scheitern in Deutschland am geringen Tidenhub; zusätzlicher Flächenbedarf eher unwahrscheinlich
Geothermie	Nur sehr eingeschränkt rentabel in Deutschland nutzbar; Flächenbedarf insgesamt eher marginal

Tab. 6: Übersicht über die Auswirkungen des Ausbaus der konventionellen und Erneuerbaren Energien auf die Flächenverfügbarkeit (eigene Darstellung)

5.3 Klimaschutz und Energiesektor

Folgt man den Erkenntnissen des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) dann wird eine Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs um 2° C nur dann mit hinreichender Sicherheit erreichbar sein, wenn weltweit die CO₂-Emissionen um 50 bis 85 % gegenüber dem Jahr 2000 reduziert werden können. Im Vergleich zum Jahre 1990 bedeutet dies für die Gruppe der Industrieländer eine Emissionsreduzierung von 80 bis 95 %, d.h. eine fast vollständige „Dekarbonisierung der Gesellschaft“. Der Energiesektor gilt als der größte Emittent von Treibhausgasen, im Rahmen der Klimaschutzpolitik wird ihm daher eine zentrale Rolle zugewiesen. Die Klimaschutzstrategien lassen sich als die „3 E’s“ zusammenfassen:

- Steigerung der Energieeffizienz
- Nutzung des Instruments des Emissionszertifikatehandels
- und Förderung der Erneuerbare Energien

Eine Umstellung der Energiewirtschaft wird langfristig nicht allein aus klimapolitischen Gründen erforderlich sein; auch die Verknappung der fossilen Energiequellen und damit verbunden der Anstieg der Energiepreise sowie eine Erhöhung der Versorgungssicherheit durch eine Reduzierung der Importquote sind weitere Zielsetzungen.

In der Bundesrepublik richtet sich das politische Augenmerk vor allem auf den Ausbau der Erneuerbaren Energien als den bedeutendsten Weg zum Umbau der Energiewirtschaft und zum Übergang auf eine CO₂-freie, zumindest aber CO₂-arme Energieproduktion. Das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) gilt als das Erfolgsmodell, das auch international Beachtung gefunden hat und Vorbildfunktionen für viele Staaten hatte.

Teilweise in enger Abstimmung mit der europäischen Ebene, in einigen Fällen aber auch darüber hinausgehend, hat Deutschland sehr ambitionierte energiepolitische Ziele formuliert: (UMWELTBUNDESAMT 2009; EUROPEAN COMMISSION 2011)

- die Treibhausgasemissionen sollen bis 2020 gegenüber 1990 um 40 % gesenkt werden.
- die Energieproduktivität soll um 3 % pro Jahr gesteigert werden, d.h. die Energie wird im Jahr 2020 doppelt so effizient genutzt wie im Jahr 1990.
- der Anteil der Erneuerbaren Energien soll kontinuierlich erhöht werden:
 - am Endenergieverbrauch von heute rund 10 % auf 18 % bis 2020;
 - am Bruttostromverbrauch von derzeit rund 15 % auf mindestens 30 % bis 2020, danach soll ein weiterer kontinuierlicher Ausbau erfolgen;
 - am Wärmeenergiebedarf von heute knapp 8 % auf 14 % bis 2020;

- der Anteil der Biokraftstoffe soll bis 2020 so weit erhöht werden, dass dadurch die Treibhausgasemissionen um 7 % gegenüber dem Einsatz fossiler Kraftstoffe reduziert werden; das entspricht etwa einem Anteil von 12 % energetisch;
- der Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) an der Stromerzeugung soll bis 2020 auf 25 % verdoppelt werden.

Alle vorgelegten Prognosen zur Entwicklung der Erneuerbarer Energien sind in den letzten Jahren in der Regel überholt worden. Aktuelle Szenarien skizzieren Entwicklungspfade, nach denen bereits bis zur Mitte des Jahrhunderts eine vollständige Energieversorgung aus Erneuerbaren Energien möglich ist. Technisch gesehen erscheinen solche Transformationsprozesse in der Tat realistisch, als entscheidend für die praktische Umsetzung dürften sich jedoch die Wirtschaftlichkeit dieser Konzepte, ihre organisatorisch-institutionelle Ausgestaltung und die instrumentelle Absicherung erweisen. Im Zusammenhang mit dem Aufbau eines auf Erneuerbaren Energien basierenden Versorgungssystems sind daher noch viele Fragen offen.

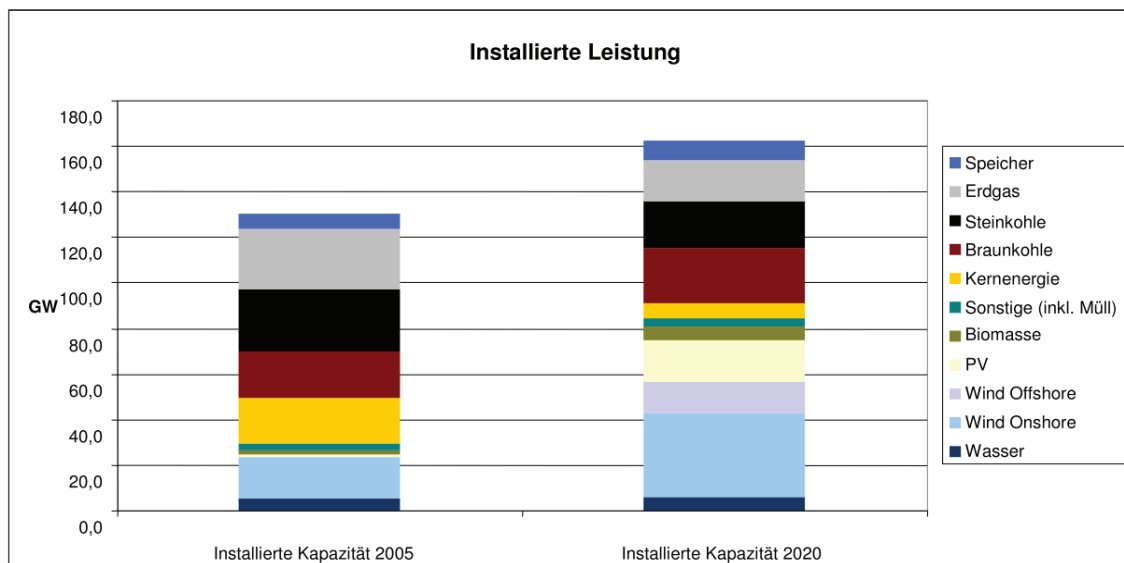


Abb. 10: Kraftwerksparkentwicklung in Deutschland gemäß dena-Netzstudie II (Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) 2010)

Der Anteil der Erneuerbaren Energien an der gesamten Energieerzeugung hängt auch davon ab, ob die in den meisten Szenarien unterstellten Energieeffizienzsteigerungen auch tatsächlich realisiert werden können (DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (DENA) 2010).

Alle Szenarien zur zukünftigen Energieversorgung sind sich darin einig, dass es eines massiven Ausbaus der Energieinfrastrukturen bedarf (WORLD ENERGY COUNCIL 2010b). So geht die Dena – Netzstudie allein für Deutschland von 850 km Neubau bis 2015 und von weiteren 3600 km bis zum Jahre 2020 aus (DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (DENA) 2010).²⁸

Im aktuellen Netzentwicklungsplan der „European Network of Transmission System Operators for Electricity“ wird vor allem der nordwesteuropäische Raum als einer der räumlichen Investitionsschwerpunkte genannt.

²⁸ Diese Netzstudien sind aufgrund ihrer Annahmen und der mangelnden Transparenz bei der Berechnung zum Teil auf heftige Kritik gestoßen. Mit dem neuen Netzausbaubeschleunigungsgesetz (NABEG) hat der Gesetzgeber jetzt einen neuen Weg beschritten; in einem Bundesbedarfsplan wird in einem transparenten Prozess unter der Beteiligung aller relevanten Stakeholder zunächst der Ausbaubedarf an Netzen bestimmt, der dann im Zuge einer Bundesfachplanung umgesetzt werden soll. Das Konsultationsverfahren zu den Grundlagen des Bundesbedarfsplans ist abgeschlossen, bislang (Stand: 21.9.2011) liegen noch keine Ergebnisse vor; siehe zu den Verfahren auch www.bundesnetzagentur.de

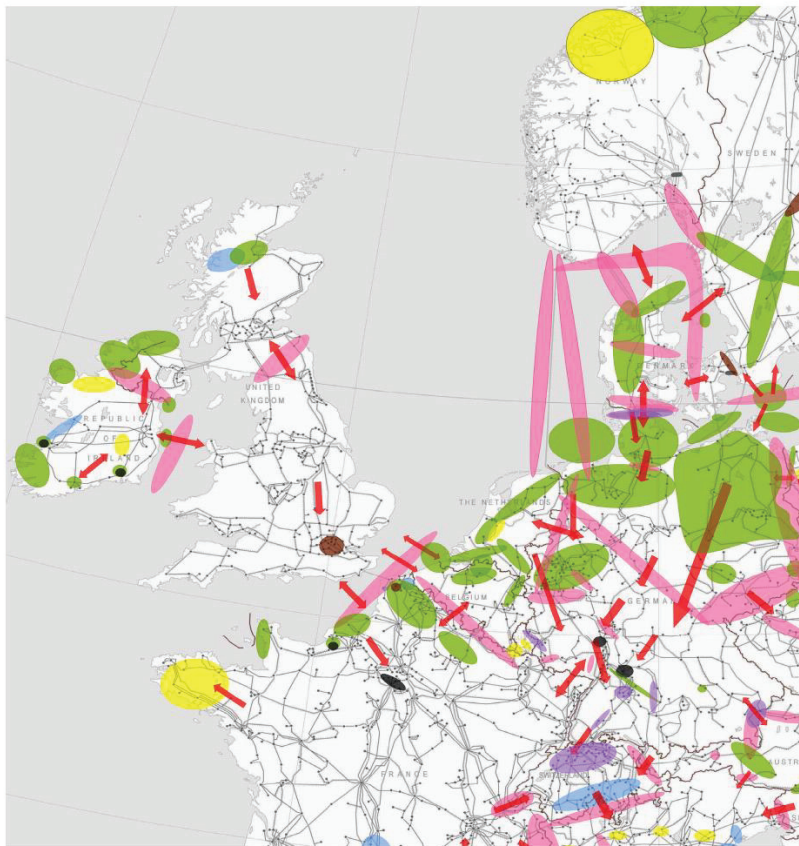


FIG. 40 MAP OF MID-TERM INVESTMENT NEEDS IN THE REGIONAL GROUP NORTH SEA

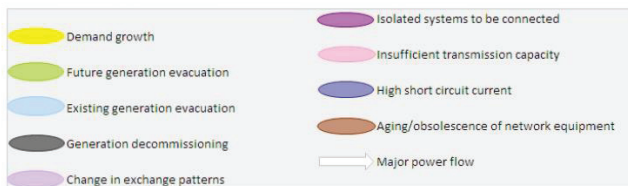


Abb. 11: Karte über notwendige mittelfristige Investitionen in der Nordseeregion (The European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E) 2010)

Neben noch ungeklärten Fragen der Finanzierung wird sich vor allem die planerische Umsetzung dieser Investitionen als die entscheidende Herausforderung darstellen (BRÜCKMANN 2010; ECORYS 2010; EUROPEAN COMMISSION 2010a, b; BUIJS *et al.* 2011). Der erforderliche Flächenbedarf hängt von der angewandten Technologie ab, ist aber selbst bei der Erdverkabelung nicht zwangsläufig zu vernachlässigen (BRAKELMANN&ERLICH 2010; ENTSOE&EUROPACABLE 2010). Bei einer Erdverkabelung kann man für große Übertragungsnetze von einem Korridor von bis zu 25 m Breite ausgehen. Auf dieser Fläche sind z.B. landwirtschaftliche Nutzungen möglich, ein Erdkabel stellt jedoch auf jeden Fall eine Restriktion für jede Form der Siedlungsentwicklung dar (ENTSOE & EUROPACABLE 2010). Bei den netzgebundenen Infrastrukturen ist jedoch nicht allein die Inanspruchnahme der Fläche entscheidend. Mit Blick auf Landschaft und Biodiversität sind vor allem auch die Zerschneidungswirkungen der Infrastruktur mit zu berücksichtigen (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY & FEDERAL OFFICE FOR THE ENVIRONMENT CH 2011).

Es ist insofern erstaunlich, dass nur wenige Energieszenarien auf deutscher oder europäischer Ebene, die bis 2050 oder 2080 einen grundlegenden Umbau des Energiesystems für möglich halten, sich explizit auch mit diesen konkreten Umsetzungen befassen und die räumlichen und raumplanerischen Implikationen thematisieren. Von den Studien, die ganz speziell auf das Problem der Raumrelevanz und der planerischen Umsetzung eingehen, ist vor allem der Bericht des Umweltbundesamtes zum Umbau des Energiesystems hervorzuheben (KLAUS 2010). Die

Studie thematisiert z.B. auch die Notwendigkeit einer unterirdischen Raumordnung. Der Anhang dieses Berichts enthält eine Zusammenstellung der wichtigsten Energieszenarien der jüngsten Zeit.

5.4 Klimaschutz und Fläche

Klimaschutzmaßnahmen setzen, wie beschrieben, in erster Linie am Energiesektor an und werden insbesondere über den Ausbau der Erneuerbaren Energien zu weiteren Ansprüchen an die Fläche führen. Ein wirkungsvoller Klimaschutz kann aber auch auf anderem Wege über die Fläche führen. So kann ein Teil der CO₂-Emissionen eines Landes etwa über den Schutz von Wäldern und Mooren bzw. über deren Renaturierung und naturnahe Bewirtschaftung gebunden werden. Wälder sind gigantische Kohlenstoffspeicher und große zusammenhängende Waldflächen funktionieren wie riesige Klimaanlagen, die Bäume setzen die auf ihre Kronen einstrahlende Sonnenenergie in Wasserdampf um, der einen kühlenden Effekt auf die Atmosphäre hat. Wälder bedecken 30 Prozent der Landoberfläche, sie speichern aber etwa die Hälfte des auf der Erde gebundenen Kohlenstoffs in ihrer Vegetation.

Moore bedecken zwar nur drei Prozent der Erdoberfläche, speichern jedoch fast ein Drittel des erdgebundenen Kohlenstoffs und werden bei Verlust zu einer Quelle von extremen CO₂-Ausstößen (WALENTOWSKI *et al.* 2008).

Ein besonderes Augenmerk wird in jüngster Zeit der Rolle der Landwirtschaft bzw. der Art und Intensität der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen im Klimaschutz gewidmet (EADY *et al.* 2009; U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY -OFFICE OF SOLID WASTE AND EMERGENCY RESPONSE 2009; WINTER 2009; SCHAFFNIT-CHATTERJEE 2011).

Die land- und forstwirtschaftlichen Flächen aber auch die Naturschutzgebiete und die auf ihnen erbrachten Leistungen spielen daher in der aktuellen Debatte über die *ecosystem services* eine ganz besondere Rolle (CROOKS 2011; LAL 2011; THE SCOTTISH GOVERNMENT 2011a). Flächenmanagement wird damit zu einem wichtigen Instrument des Klimaschutzes (HOUSES OF PARLIAMENT- PARLIAMENTARY OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY 2011a).

5.5 Klimaanpassung und Fläche

Der Klimawandel wird sich nach allen vorliegenden Projektionen mittel- bis langfristig auf alle ökologischen und wirtschaftlich-gesellschaftlichen Systeme auswirken und Anpassungsmaßnahmen erforderlich machen. Diese Anpassungsmaßnahmen auf den verschiedenen Ebenen können sich entweder mittelbar oder unmittelbar auf den Flächenbedarf und die Flächennutzung in einer Region niederschlagen.

Küsten- und Hochwasserschutzmaßnahmen werden immer umfangreicher werden. Durch den zu erwartenden Anstieg des Meeresspiegels bzw. Häufung von Sturmflutereignissen werden Ausbaumaßnahmen an den Deichen, Sperrwerken und Sielen erforderlich. Mit Retentionsflächen, zweiten Deichlinien oder Überflutungsereignissen angepasster Architektur (beispielsweise Hafencity in Hamburg; schwimmende Häuser) wird auf die veränderten Rahmenbedingungen reagiert werden müssen. Hier kann grundsätzlich von einem direkten Mehrbedarf an Fläche ausgegangen werden (CLEAN WATER AMERICA ALLIANCE 2011; DOSWALD&OSTI 2011). Auch der Rückzug aus potenziell gefährdeten Gebieten (Kosten-Nutzen-Verhältnis von Schutzmaßnahmen ist negativ) könnte eine mögliche Anpassungsmaßnahme darstellen: während der Küstenschutz Fläche gewinnt, werden diese Flächen für Siedlungszwecke gar nicht und für landwirtschaftliche Nutzungen nur noch eingeschränkt zur Verfügung stehen. Auch die Landwirtschaft wird sich an den Klimawandel mit neuen Anbauformen, Be- und Entwässerungskonzepten sowie veränderten Anbauperioden anpassen. Die Auswirkungen auf den Flächenverbrauch sind noch nicht absehbar (DÖLL&SCHULZE 2010).

Indirekte Auswirkungen auf die Flächennutzung können sich durch Klimaanpassungsmaßnahmen in anderen Sektoren ergeben. Der Trend zu dezentralen Infrastrukturkonzepten in städtischen Räumen wird auch die Anpassungsfähigkeit der städtischen Systeme stärken, dies in den meisten Fällen aber auch die Flächennachfrage erhöhen. So müssen beispielsweise Abwassersysteme an die veränderten Klimabedingungen angepasst werden. Neben einem Ausbau der Kanalisation werden vermehrt Sickerflächen vorgehalten werden, um bei Starkregenereignissen den Abtransport des Wassers sicherstellen zu können (GILL *et al.* 2009; BOWLER *et al.* 2010; SCHEELE 2010; TOWN AND COUNTRY PLANNING ASSOCIATION (TPCA) 2010). Aber auch Bau- und Wohnformen (klimagerechte Bauweise) sowie die Baustoffe selbst werden einer Anpassung bedürfen. So kommt es zu veränderten Flächennutzungskonzepten.

In der internationalen Anpassungsdebatte werden in diesem Zusammenhang vor allem die Perspektiven eines Ausbaus der sog. green infrastructures thematisiert (GILL *et al.* 2009; BOWLER *et al.* 2010; FOSTER *et al.* 2011). Ihre Sicherung kann nicht nur wichtige Ökosystemdienstleistungen stärken sondern auch wichtige Beiträge zur Verbesserung der Anpassungskapazitäten einer Region an den Klimawandel erhöhen. Eine vom britischen Defra mit begleitete Studie am Beispiel der Region East Midlands hat im Detail diese Zusammenhänge analysiert und für die lokalen und regionalen Entscheidungsträger entsprechende Tools entwickelt (AECOM&CLIMATE EAST MIDLANDS 2010).

Über das mögliche Ausmaß dieser Flächeninanspruchnahme durch die Klimaanpassung gibt es bislang keine hinreichend verlässlichen Aussagen. Grundsätzlich wird mit Blick auf die Gestaltung von Infrastruktur das Prinzip des „building with nature“ an Stelle des in der Vergangenheit dominierenden Konzepts des „building against nature“ gefordert. *“Not to try to minimize the negative environmental impacts, but instead to make better use of the forces, interactions and materials present in nature. This approach reflects a shift in paradigm from building against nature to ‘Building with Nature’”* (DELTARES 2009). Ein derartiger Paradigmenwechsel führt zwangsläufig damit auch zu höheren Ansprüchen an den Raum.

5.6 Klimaanpassung und Energiesektor

Die verschiedenen Anpassungsmaßnahmen des Energiesektors, die im Kapitel 2 bereits ausführlicher beschrieben wurden, werden in sehr unterschiedlicher Weise auch Auswirkungen auf die Flächennutzung in einer Region haben. Eine erste vorläufige Einschätzung findet sich in einer Übersicht im Anhang dieses Berichts.

Im Bereich der konventionellen Energieerzeugung werden die Zunahme der Jahresmitteltemperaturen sowie der Anstieg der Wassertemperaturen in den Sommermonaten zu einem Kühlungsproblem aufgrund von fehlendem Kühlwasser aus Flüssen führen und so den Bau von flächenintensiveren Lösungen (Kühltürme) notwendig machen (SCHEELE 2009).

Dezentrale Energieerzeugungsstrukturen, die sich durch Modularität und Flexibilität auszeichnen, wird vor allem unter dem Aspekt der Klimaanpassung eine besondere Rolle zugewiesen (VENEMA&ZUR REHMAN 2007; ROCKEFELLER FOUNDATION 2009; BIGGS *et al.* 2010a; BIGGS *et al.* 2010b; MEEUS 2010; AMERICAN PLANNING ASSOCIATION 2011; EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY 2011c, b; MÜLLER 2011; SIEMENS AG CORPORATE COMMUNICATIONS AND GOVERNMENT AFFAIRS (HRSG:)2011). *„The diversity and flexibility of decentralized renewable energy can make it easier to adapt solutions to local conditions (social, economic, environmental). Renewable energy technologies can be more resilient to damage from changing climate conditions and extreme events”*(MCEVOY *et al.* 2006; GORDON 2008). Dezentrale Systeme sollen diese Anpassungsleistungen erbringen, in dem (MCEVOY *et al.* 2006; MCDONALD 2008; EUROPÄISCHE KOMMISSION 2011):

- die Sicherheit und Adaptionfähigkeit der Systeme erhöht wird
- über eine Verbreiterung der Ressourcenbasis die Anfälligkeit gegenüber

Versorgungsrisiken gemindert wird

- eine Reduzierung des carbon footprint durch effiziente Nutzung und geringere Übertragungsverluste erreicht wird,
- und das Risiko für Investitionen durch den modularen Aufbau der Systeme verringert werden kann.

In der Regel wird davon ausgegangen, dass dezentrale Energieversorgungssysteme weniger flächenintensiv sind, insbesondere weil die Notwendigkeit eines großräumigen Energietransports nicht mehr gegeben ist (GENTRY 2009; DEMARCHIS 2010; GENTRY 2010; GENTRY *et al.* 2010). Auf der anderen Seite kann sich jedoch bei der Energieerzeugung in mehreren kleinen Einheiten und dem verminderten *economies of scale* im Endeffekt ein höherer Flächenbedarf ergeben als bei der Bündelung der Kapazitäten an einem Standort (ELWELL 2010). Berücksichtigt man gleichzeitig die mit dem Flächenverbrauch verbundenen Auswirkungen auf Biodiversität und Artenvielfalt, dann können dezentrale Anlagen ungünstiger abschneiden, wenn ihre Standorte näher an die Verbrauchsschwerpunkte rücken und damit die dort besonders knappen Flächenpotenziale weiter reduzieren. Dem entgegenstehen könnte jedoch der Umstand, dass dezentrale Energieerzeugungsanlagen im Gegensatz zu einer zentralen Energieversorgung vermehrt auf bereits erschlossenen Arealen errichtet werden können, d. h. der Verbrauch an Freiflächen damit verringert werden kann (BRONIN 2010; OUTKA 2011) .

Grundsätzlich stellt die Steigerung der Energieeffizienz und Erhöhung der Resilienz eine wichtige Anpassungsmaßnahme dar. Die Reduktion der Vulnerabilität gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels erfordert Anpassungsmaßnahmen wie Low Exergy Solutions (beispielsweise Nutzung von industrieller Abwärme zur Kühlung und Klimatisierung, Fernwärme im Sommer zur Kühlung von Lagerhäusern, Abwasserwärmenutzung), resiliente Energieinfrastrukturen (wie Smart grids, virtuelle Kraftwerke, Nutzung von E-Mobilen zur Speicherung) (GÖBLING-REISEMANN 2009). Auch hier sind jeweils unter Berücksichtigung der spezifischen Bedingungen vor Ort Auswirkungen auf den Flächenbedarf möglich.

5.7 Klimawandel und Energiesektor

Der Klimawandel hat vielfältige Auswirkungen auf den Energiesektor. Die in den verschiedenen Szenarien skizzierten Klimaänderungen (SCHUCHARDT *et al.* 2010) werden sowohl zu Veränderungen auf der Nachfrage- als auch der Angebotsseite des Energiesektors führen. Die damit verbundenen Implikationen für die Flächennutzung sind vermutlich eher als gering einzustufen. Die Zunahme der Jahresmitteltemperatur wird – regional sehr unterschiedlich- zu einem geringeren Heizbedarf im Winter und zu einem größeren Bedarf an Kühlungsleistung für Gebäude sowie Kühlwasser für Kraftwerke im Sommer führen. Ist der Nettoeffekt positiv, d.h. wird insgesamt mehr Energie benötigt, steigt auch rein rechnerisch der Flächenbedarf für die Bereitstellung der Energie. Ein ähnlicher Effekt kann auftreten, wenn durch veränderte Klimabedingungen die Energieausbeute etwa bei Solaranlagen oder bei der Biomasseproduktion zurückgehen würde und damit mehr Energieflächen benötigt werden.

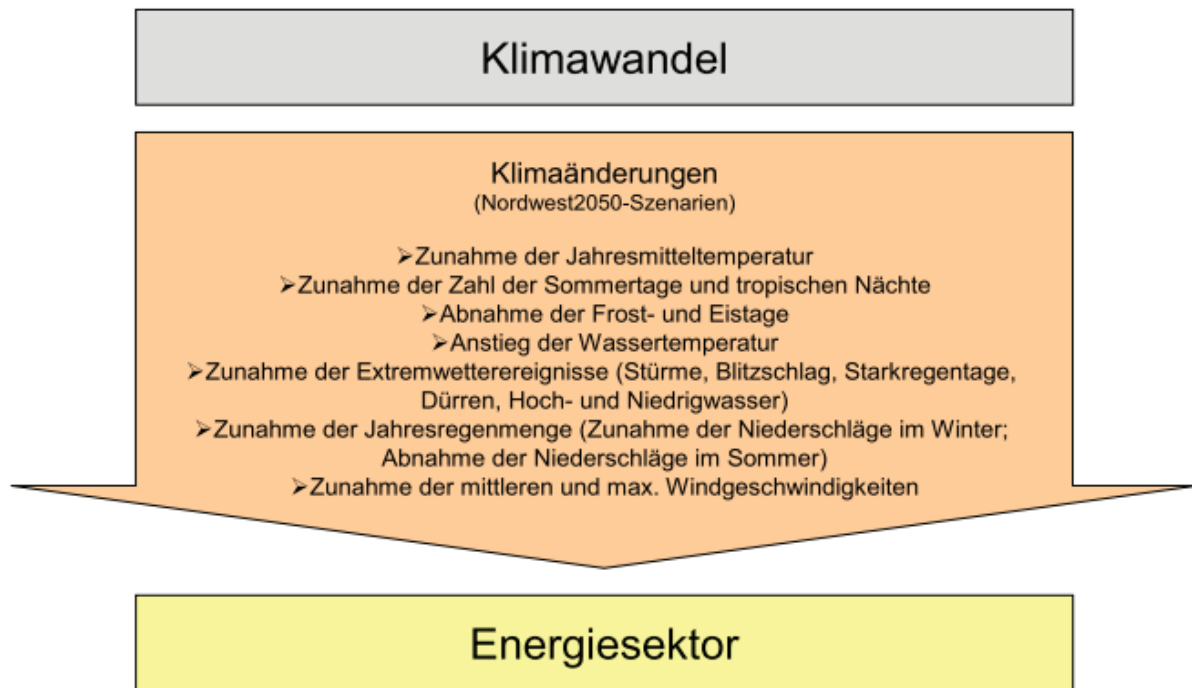


Abb. 12: Klimaänderungen mit Wirkung auf den Energiesektor (eigene Darstellung; 'nordwest2050'-Szenarien (SCHUCHARDT et al. 2010))

5.8 Klimawandel und Fläche

Der Klimawandel und die veränderten Klimaparameter wirken sich nicht nur auf den Energiesektor sondern auch allgemein auf Flächen und Flächennutzung aus. Eine sehr direkte und offensichtliche Folge ist der potenzielle Verlust von Gebieten, die aufgrund des steigenden Meeresspiegels sowie Zunahme von Extremwetterereignissen nicht mehr ausreichend geschützt sind.

Des Weiteren verändern sich die Lebensbedingungen auf der Fläche bzw. die Flächenbeschaffenheit. Veränderungen in den Temperatur- und Niederschlagsverhältnissen sowie in der Häufigkeit von Extremereignissen haben einen direkten Einfluss auf Jahresrhythmus, Verhalten, Fortpflanzung, Konkurrenzfähigkeit und Nahrungsbeziehungen von Arten. Hierdurch kann es zu starken Verschiebungen in deren Verbreitungsgebieten sowie in der Artenzusammensetzung und Struktur ganzer Ökosysteme kommen (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 2006).

Aber auch Bodenbildung, Wasserkreislauf und Wasserverfügbarkeit sind vom Klimawandel betroffen und verändern die Bedingungen auf der Fläche (BUNDESREGIERUNG 2008).

5.9 Sonstige Flächennutzungen

Klimawandel, Klimaschutz und Klimaanpassung haben mittel- oder unmittelbar Auswirkungen auf die Flächennutzung in einer Region. Ob diese zusätzliche Flächennachfrage dann auch zu konkreten Nutzungskonkurrenzen führt und sich die Frage nach Handlungsoptionen stellt, hängt ganz entscheidend mit davon, wie sich die Nachfrage nach Flächen insgesamt entwickelt und welche Triebkräfte hier wirksam werden (KEENLEYSIDEI *et al.* 2009; PRATT 2009; THE FUTURES COMPANY 2009; EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY 2010b; SMITH 2010). Die meisten Studien verweisen besonders auf die Implikationen der demographischen Entwicklung und des technischen Fortschritts für Umfang, Intensität und räumlichen Verteilungen von Nutzung. Vor

allem aber auch Globalisierung, die Entwicklung des industriellen Sektors, Veränderungen im Transportsektor (MCKINNON 2009) sowie Veränderungen im allgemeinen Mobilitäts- und Freizeitverhalten werden die Flächennutzung prägen und dabei die Effekte des Klimawandels verstärken oder auch abmildern (PRATT 2009).

Langfristige Szenarien zur Landnutzung sind bislang eher selten, so dass die Einschätzungen hier eher vorläufig und spekulativ sind und nicht alle Konkurrenz und Synergien so erfasst werden können (CREEDY *et al.* 2009; CURRY 2009; NATURAL ENGLAND 2009).

6. Auf dem Land wird's eng: Der Nordwesten der Metropolregion Bremen-Oldenburg als Energiedrehscheibe

Die Implikationen von Klimawandel, Klimaschutz und Klimaanpassung auf die Landschaften und Landschaftsstrukturen und der sich daraus ergebende Handlungsbedarf hängen jeweils von den konkreten regionalen Bedingungen ab. Im Rahmen des Forschungsprojekts 'nordwest2050' wird für die Metropolregion Bremen-Oldenburg eine Bestandsaufnahme durchgeführt, die bisher vorliegenden Ergebnisse erlauben erste Schlussfolgerungen.

Ganz offenkundig ist, dass das Gebiet der Metropolregion Bremen- Oldenburg zu den Regionen zählt, in denen es in der Zukunft- weitgehend auch jenseits der Klimadebatte - zu einem Druck auf die Flächen kommen wird.

In den Küstengebieten findet man nicht nur räumlich konzentriert lebenswichtige Verkehrs- und Handelsverbindungen, die Regionen sind auch wichtige Standorte für die Produktion von Agrarprodukten und Rohstoffen(BMVBS (HRSG.) 2010).Die Region ist Ferien- und Freizeitziel, Wohn- und Arbeitsplatz und nicht zuletzt Standort wertvoller Habitate. Zusammen mit den Entwicklungstendenzen im Energiesektor entsteht ein dichter Teppich an Flächennutzungen und konkurrierenden Nutzungsansprüchen(OBERDÖRFFER&SCHEELE 2009). Die Prognos AG ermittelt in ihrem Zukunftsatlas 2010 den Nordwesten Niedersachsen als eine der dynamischsten Wirtschaftsräume in der Bundesrepublik (PROGNOS AG 2010; KAISER&FREITAG 2011).

Der Nordwesten ist als weitgehend ländlicher Raum in seiner Gesamtheit nach wie vor stark durch die Landwirtschaft geprägt; dieser Sektor wird auch zukünftig die Landnutzung des Raumes bestimmen (OFFERMANN *et al.* 2010). Dies gilt in erster Linie für die Rolle der Landwirtschaft als Anbieter von Bioenergie, aber auch in seiner klassische Funktion als Produzent von Nahrungs- und Futtermitteln (SCHRÖDER-EHLERS *et al.* 2010). Die weltweit wachsende Nachfrage nach Nahrungsmitteln und der absehbare Strukturwandel auf dem Weltmarkt könnten auch zur Folge haben, dass in den Industrienationen die Sicherung hochwertiger landwirtschaftlicher Nutzflächen wieder einen hohen Stellenwert einnehmen wird.

Die Forstwirtschaft spielt in der Bundesrepublik regional eine sehr unterschiedliche Rolle; aufgrund der natürlichen Gegebenheiten in der Nordwestregion ist die forstwirtschaftliche Nutzung hier eher nachrangig. Sog. Kurzumtriebsplantagen sind grundsätzlich für die Bereitstellung von Biomasse ein Thema (DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT 2010; ENKELMANN *et al.* 2010; MANTAU 2010), die Wirtschaftlichkeit dieser Nutzungsoption ist auf absehbare Zeit jedoch eher begrenzt (BÄUMER 2009). Diese könnte sich ändern, wenn Kurzumtriebsplantagen auch als Kompensationsmaßnahmen angerechnet werden könnten(WAGENER *et al.* 2008).

Der Flächenumwandlung in der Bundesrepublik durch die Ausweisung neuer Wohn- und Gewerbegebiete ist nach wie vor relativ hoch. Auch der Nordwesten in Niedersachsen zählte neben den südostniedersächsischen Ballungsgebieten zu den Regionen mit den höchsten Zuwachsraten bei den Siedlungs- und Verkehrsflächen(BASEDOW *et al.* 2009; LIERSCH 2010; NIEDERSÄCHSISCHES INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG NIW 2010b, a; BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR 2011a), die Nachfrage dürfte vor dem Hintergrund der wirtschaftlichen Entwicklungstrends zumindest auf einem vergleichbaren Niveau bleiben (BASEDOW *et al.* 2009; NIEDERSÄCHSISCHES INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG NIW 2010b, a). Reduzierungen des Flächenverbrauchs etwa über Strategien der Innenverdichtung etc. werden aller Wahrscheinlichkeit nach nur mittelfristig eine geringe Entlastung für den Bodenmarkt bringen (GAWRON 2010; HENGER *et al.* 2010).

Große Infrastrukturvorhaben sind in aller Regel mit zusätzlichen Flächenansprüchen verbunden. Neben den Anlagen zur Energieproduktion und der vor- und nachgelagerten Infrastrukturen, spielt hier vor allem der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur eine wichtige Rolle. Der Bau von einem km Autobahn verursacht im Durchschnitt einen Flächenverbrauch von 50 ha, hinzu kommt dann noch einmal die Kompensation mit weiteren Ansprüchen. Im Nordwesten ergeben sich Flächenansprüche vor allem durch den Ausbau der Häfen und der Straßeninfrastruktur (DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (DENA) 2009; UNICONSULT UNIVERSAL TRANSPORT CONSULTING GMBH 2010).

Jeder Eingriff in Natur und Landschaft durch die Siedlungsentwicklung und den Infrastrukturausbau (BHDTF 2010; EFTEC 2010) ist nach dem geltenden nationalen Naturschutzrecht zu kompensieren. Für entsprechende Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen sind innerhalb der Region Flächen zur Verfügung zu stellen. Zwar ermöglicht das Naturschutzrecht eine gewisse räumliche Flexibilität bei der Umsetzung von A-E-Maßnahmen; dies gilt jedoch nur eingeschränkt für kohärenzsichernde Maßnahmen. Bei der Kohärenzsicherung ist die räumliche Flexibilität relativ hoch, der beschränkende Faktor ist hier jedoch der erforderliche Funktionsbezug. Bei Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen sind die Ansprüche an die räumliche Verortung der Maßnahmen strenger, im Hinblick auf den funktionalen Zusammenhang gibt es bei den Maßnahmen größere Spielräume.

Die mit der Novellierung des Bundesnaturschutzgesetzes verbesserten Möglichkeiten zur Erhebung von Ersatzgeldern mindern den Flächendruck nur bedingt, da auch die Verwendung der Ersatzgelder für Naturschutzmaßnahmen zu einem nicht unwesentlichen Teil über den Erwerb von ökologisch aufwertungsfähigen Flächen abgewickelt wird.

Große Bereiche insbesondere in der unmittelbaren Küstenregion sind Gebiete mit besonderen ökologischen Qualitäten. Ein hoher Prozentsatz der Flächen der Nordwestregion ist daher in unterschiedlicher Weise und Intensität mit naturschutzfachlich begründeten Nutzungsaufgaben versehen. Dies reicht von der Ausweisung als Nationalpark, Biosphärenreservat und Weltnaturerbe auf der einen Seite bis hin zu einfachen Landschaftsschutzgebieten. Die durch den klassischen Naturschutz belegten Flächen werden zwar in der Zukunft nur noch marginal zunehmen, diese Gebiete mit einem besonderen rechtlichen Schutzstatus werden jedoch andererseits langfristig nicht oder nur sehr bedingt für andere Nutzungen zur Verfügung stehen.

Es gibt eine Reihe von Bestandsaufnahmen zur Rolle der Energiewirtschaft in der Region, sie sind in der Regel aber nicht hinreichend räumlich konkret und beschränken sich nicht selten nur auf bestimmte Segmente des Sektors (SCHEELE 2009; NORD/LB 2010, KRÖCHER 2011).

Die folgenden Abbildungen sind die ersten Ergebnisse einer umfassenderen räumlich differenzierten Bestandsaufnahme des Energiesektors in der Metropolregion Oldenburg-Bremen. Deutlich wird dabei, dass eine Beschränkung der Debatte über die raumstrukturellen Implikationen der Energiewende auf Erneuerbare Energien bzw. speziell auf die Bioenergie nicht zielführend ist. Zwar ist in den letzten Jahren mit dem Ausbau der Erneuerbaren Energien zu starken Flächennutzungsveränderungen in der Region gekommen, es sind aber auch ganz wesentlich immer noch die konventionellen Energien, die das Bild der Region mitbestimmen.

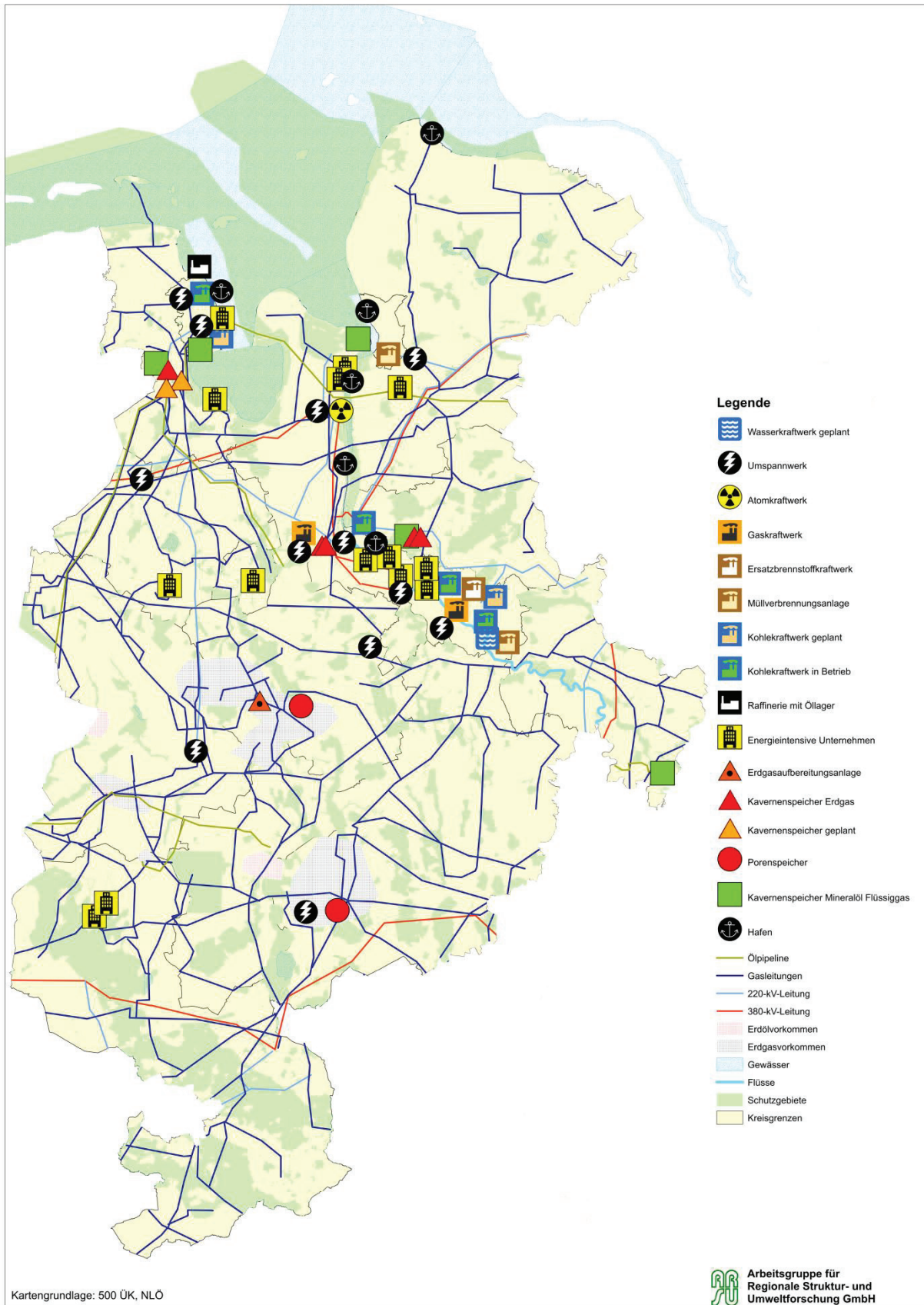


Abb. 13: Übersicht über konventionelle Energieerzeugung, -verbrauch und -infrastruktur in der Metropolregion Bremen-Oldenburg (eigene Darstellung); Quellen: siehe Anhang

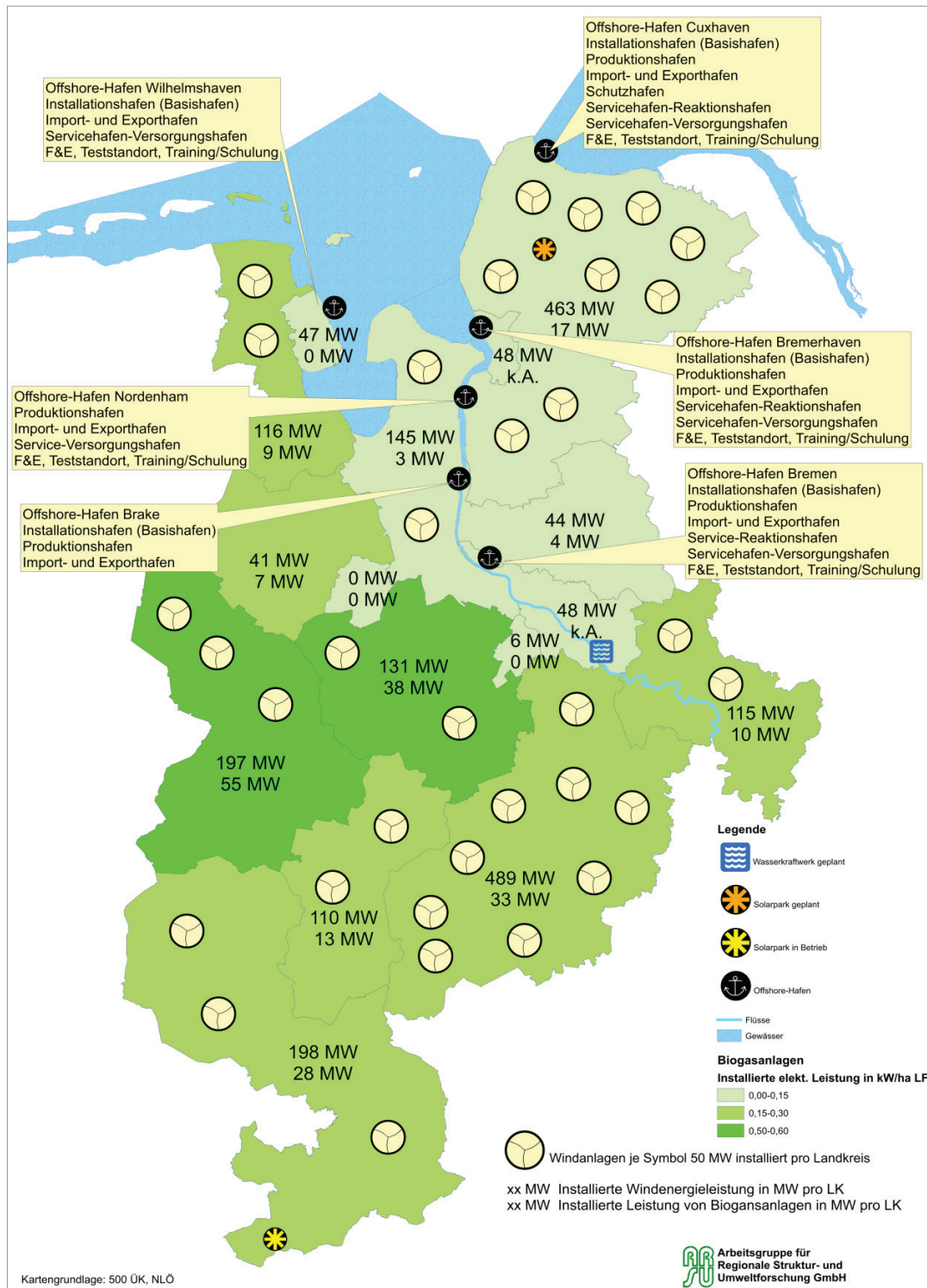


Abb. 14: Erneuerbare Energien in der Metropolregion Bremen-Oldenburg (eigene Darstellung); Quellen: siehe Anhang

Die Flächenrelevanz der Energieinfrastruktur ist beträchtlich; sie ist jedoch aus den amtlichen Statistiken zur Flächennutzung nicht oder nur unzureichend ableitbar. Möglich sind jedoch für den unmittelbaren Bereich der Erzeugung von Energie überschlägige Berechnungen auf der Basis spezifischer Flächenintensitäten. Eine Auswertung auch der internationalen Literatur verweist zwar auf eine hohe Bandbreite der Kennziffern (MCDONALD *et al.* 2009; GLENNON&REEVES 2010; JACOBSON&DELUCCHI 2010; SCHOLZ 2010), für bestimmte Energieproduktionen wie etwa für die Biomasse erlauben die vorliegenden Informationen jedoch einigermaßen verlässliche Aussagen.

Die in der folgenden Tabelle enthaltenen Flächenverbrauchswerte basieren auf der Annahme, dass der gesamte Stromverbrauch der Region jeweils nur über einen bestimmten Energieträger bereitgestellt würde.

Grundlagen Energiebedarf Metropolregion		
Bruttoenergieverbrauch in Deutschland pro Kopf(6622 kWh) mal die Anzahl der Einwohner der Metropolregion (2.723.445) = 18.034.652.790 kWh Bodenfläche der Metropolregion 1.374.904 ha (davon Landwirtschaftliche Nutzfläche 804.318 ha)		
Flächenverbrauch bei Deckung des Energiebedarfs der MP OL-HB durch einem Energieträger		
Energieerzeugungsart	Beispiele und Rechengrundlagen	Flächenverbrauch MP OL-HB
Kernenergie	AKW Unterweser in 2009: 10.028,912 GWh Flächenverbrauch 50 ha	ca. 89 ha
Kohlekraftwerke	- Eon Kraftwerk WHV Jahresleistung 6.459.264 MWh bei Flächenverbrauch von ca. 68 ha - Kraftwerk Brunsbüttel (noch nicht realisiert) Jahresleistung 7.091.520 MWh bei Flächenverbrauch von ca. 22 ha	ca. 119 ha
Windenergie	- pro ha Abstandsfläche werden 240.000 kWh pro Jahr erzeugt (davon 10 % versiegelte Fläche) - 7 ha Fläche werden für 1 GWh el/ Jahr benötigt	zwischen 75.140 ha und 126.238 ha
Bioenergie	- 876 Biogasanlagen in NI (2009) 458 MWel. installiert in NI (2008)(pro Anlage etwa 522 kWh installiert) erzeugte Energie in NI 3,4 Mio MWh (in 2009) auf 280.000 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche mittlerer Flächenbedarf von 0,36-0,4 ha pro kWh - 98 ha Fläche werden für 1 GWh el/ Jahr benötigt	zwischen 1.442.700 ha und 1.767.332 ha
Photovoltaik	- Solarpark Schwege bei Osnabrück Flächenverbrauch 20 ha Installierte Leistung 8 MW 36000 installierte Solarmodule es wird mit 7.400.000 kWh erzeugter Energie pro Jahr gerechnet - 6 ha je GWh el/ Jahr	zwischen 4874 ha und 108.204 ha

Tab. 7: Flächenbedarf in ha der benötigt wird, um den Energiebedarf der Metropolregion Bremen-Oldenburg zu decken (eigene Darstellung; Grundlagen für Rechenzahlen siehe Tabellen im Anhang)

Für andere energierelevante Nutzungen ist die Flächeninanspruchnahme nicht ganz eindeutig. Deutlich werden dabei räumliche Schwerpunkte der energiewirtschaftlichen Infrastruktur. Eine Ballung von Kraftwerks-, Umschlags- und Netzkapazitäten ist vor allen in den Küstenstandorten und an den Flussläufen festzustellen. Die besondere Herausforderung ergibt sich dabei daraus, dass dies oft auch die Teilräume sind, in denen gleichzeitig andere Flächennutzungen als Konkurrenten oder Restriktionen auftreten (Naturschutz, Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen) und die aufgrund ihrer exponierten Lage auch vom Klimawandel tangiert sein werden. Es sind des Weiteren auch die Räume, in denen vermehrt Maßnahmen und Projekte der

Klimaanpassung realisiert werden müssen. Grundsätzlich festzuhalten bleibt demnach, dass es weniger die Auswirkungen des Klimawandels selbst sein werden, die in der Zukunft des Landschaftsbild prägen werden, sondern vielmehr die an die klimatisch bedingten Veränderungen ansetzten Klimaschutz- und Klimaanpassungsstrategien.

Die Lösungen dieser Nutzungskonflikte geschieht bislang mehrheitlich über den Markt, wenn z.B. die Betreiber von Biogasanlagen in der Lage sind, höhere Pachtpreise zu zahlen und damit andere landwirtschaftliche Nutzungen verdrängen. Der Ausbau von Offshore – Basishäfen, die gleichzeitig auch als Produktionsstandort für Offshore-Anlagen dienen, findet häufig auf ökologisch wertvollen Arealen statt (Bsp. Salzwiesen). Diese Gebiete wurden zwar auch zuvor kaum landwirtschaftlich genutzt; die Zerstörung dieser ökologisch wichtigen Funktion ist jedoch planerisch nur umsetzbar, wenn gleichzeitig andere Flächen in der Region als Ausgleichs- und Kompensationsflächen ausgewiesen werden.

Die lokale und regionale Planungsebene ist zunehmend mit Entscheidungen über Flächennutzungen konfrontiert, die mittel- oder unmittelbar mit den Folgen des Klimawandels und von Klimaschutz und Klimaanpassung zu tun haben. Dabei geht es nicht selten um Planungsentscheidungen, die auch ganz maßgeblich die zukünftige Entwicklung der Gebietskörperschaften mitbestimmen. Zu derartigen Planungsentscheidungen zählen vor allem die Ausweisung von Hochwasserschutzgebieten, um somit angemessen auf die Folgen des Klimawandels reagieren zu können. Diese Areale stehen nicht mehr oder nur noch eingeschränkt für eine wirtschaftliche Nutzung zur Verfügung.

In einem aktuellen Fall ist ein Nutzungskonflikt ganz spektakulär politisch entschieden worden: die Stadt Bremerhaven hat die Aufgabe des Flugplatzes Luneort beschlossen, da ein ordnungsgemäßer Flugbetrieb durch die Errichtung eines neuen Offshore – Basishafens nicht mehr möglich wäre (STADT BREMERHAVEN 2011). Auch die Stadt Oldenburg hat eine nicht unstrittige Entscheidung getroffen, in dem sie für eine stadtnahe gelegene große militärische Konversionsfläche die Voraussetzungen für die Errichtung eines Solarparks schuf. Diese Entscheidung wird politisch auch mit dem lokalen Klimaschutzengagement begründet, sie führt jedoch dazu, dass auf lange Sicht ein für die städtische Entwicklung interessantes Areal für andere Optionen nicht mehr zur Verfügung steht.

Die Frage, ob und in welchem Maße die Auswirkungen zukünftiger Flächenansprüche von Klimaschutz und auch Klimaanpassung in den Investitionsentscheidungen von privaten und öffentlichen Akteuren der Region berücksichtigt werden, ist nicht eindeutig zu beantworten. Für langfristig ausgerichtete Planungen wären jedoch auch systematischere Projektionen von Entwicklungstrends erforderlich.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Die konkreten Implikationen von Nutzungsentscheidungen sind jeweils im lokalen und regionalen Kontext zu untersuchen, die Komplexität der Zusammenhänge zwischen Klimawandel und den jeweiligen Handlungsstrategien verweist jedoch auf die Notwendigkeit, sich noch einmal intensiver mit der Frage zu befassen, wie Flächennutzungskonflikte eigentlich definiert werden.

Evans verweist etwa darauf, dass es durchaus bedeutsam ist, wie viele Flächen durch bestimmte energetische Nutzungen belegt sind, die spezifischen Flächenverbrauchswerte in der Regel jedoch keine Aussagen darüber erlauben, wie die Flächen genutzt werden, wie lange sie genutzt werden und welche ökologischen Schäden mit der jeweiligen energetischen Nutzung verbunden sind (EVANS 2010). Einige Autoren kritisieren daher auch die zu eng gefasste Abgrenzungen des Begriffs der „land intensity“ und fordern zumindest die Einbeziehung der Auswirkungen auf den der eigentlichen Produktion vorgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette. Walker schlägt z.B. für die Kernenergie vor, auch die Flächen miteinzubeziehen, die bei einem Störfall betroffen wären (WALKER 2011).

Auch wenn man die Analyse nicht soweit ausdehnen müsste, ist die Forderung zuzustimmen „...[to]...expanding spatial analysis to include temporal land use analysis that takes the longevity and flexibility of infrastructure into consideration.“ (INGRAM&HONG 2011)

Die folgende Übersicht ist der beispielhafte Versuch einer vorläufigen Kategorisierung von energiewirtschaftlichen Vorhaben:

Vorhaben	Dauer der Eingriffe	Intensität der Eingriffe	Art der Eingriffe	Räumliche Ausdehnung
Kraftwerksbau	langfristig	hoch, andere Nutzungen ausgeschlossen	Unmittelbare Eingriffe in Natur und Landschaft; potenzielle Auswirkungen auf angrenzende Areale	punktuell; in der Regel im unmittelbaren Einflussbereich von Flüssen; eher ländlicher Raum
Erdverkabelung	langfristig	gering; Einschränkungen für bestimmte Nutzungen	Veränderung der Bodenbeschaffenheit; Eingriff in Natur und Landschaft; Zerschneidungswirkung	linear; Bandbreite etwa 50 m; schwerpunktmäßig im Umland von verdichteten Gebieten
Exploration Schiefergasvorkommen	kurzfristig	während der Explorationsphase hoch; in der Betriebsphase gering; multifunktionale Nutzung möglich	Eingriffe in Natur und Landschaft; Bodenverdichtung	punktuell; ländlicher Raum
Biomasseanbau	kurzfristig	mittel	Auswirkungen auf Biodiversität, Landschaftsbild, Grundwasser	Großflächig; ländlicher Raum

Tab. 8: Flächennutzung (eigene Zusammenstellung)

Bestimmte Nutzungen belegen eine Fläche auf lange Sicht und schließen damit langfristig auch andere Nutzungen aus. Zu unterscheiden ist hier zwischen

- **technischer Inflexibilität:** in einem solchen Fall ist die Rücknahme einer Flächennutzung gar nicht möglich, sehr zeitaufwändig oder nur mit prohibitiv hohen Kosten möglich; dies dürfte vor allem dort der Fall sein, wo bauliche Maßnahmen oder etwa tief greifende wasserbauliche Maßnahmen realisiert worden sind
- **wirtschaftlicher Inflexibilität:** in solchen Fällen wäre eine Aufgabe der vorrangigen Nutzung zwar technisch auch innerhalb eines angemessenen Zeitrahmens möglich, die Restriktionen ergeben sich hier jedoch aus wirtschaftlichen Gründen, bspw. weil Anlagen das Ende ihre wirtschaftliche Lebensdauer noch nicht erreicht haben.
- **rechtlicher Inflexibilität:** Es kann Flächennutzungen geben, die rechtlich über einen langen Zeitraum festgelegt sind und die nicht revidierbar sind (Hochwasserschutzgebiete; Naturschutzgebiete etc.)

Ein extremes Beispiel für Inflexibilität einer Flächennutzung ist sicherlich der Standort eines Atomkraftwerkes, der zumindest in wesentlichen Teilen für andere Nutzungen nicht zur Verfügung steht. Die Nutzung einer Fläche als Produktionsstandort für Erneuerbare Energien kann einerseits auch kurzfristig aufgegeben werden, gleichzeitig schließen diese Funktionen andere Nutzungen nicht unbedingt und vollständig aus. In anderen Fällen sind Eingriffe weitestgehend auf die Bau- und Errichtungsphase beschränkt. Diese Differenzierung der Nutzungskonkurrenz sowie die Flexibilität der Flächennutzungen wird auch Auswirkungen haben auf den planerischen Umgang mit den Anforderungen durch Klimawandel und Klimaanpassung.

Die Analyse hat einen ersten Überblick über potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiesektor und auf die unterschiedlichen Anpassungsstrategien gegeben. Die Sicherung der langfristigen Energieversorgung, der Übergang zu einer CO₂-freien bzw. CO₂-armen Energieproduktion und die Schaffung resilienter Produktionsstrukturen erfordern einen grundlegenden Umbau des gesamten Energiesystems. Um dieses Ziel zu erreichen, sind enorme Investitionen und auch Veränderungen in den Organisationsstrukturen notwendig.

Gleichzeitig wird dieser Umbauprozess jedoch auch Landschaften nachhaltig verändern; in den vorangegangenen Kapiteln sind die verschiedenen Wirkungszusammenhänge und Implikationen der Energiewirtschaft beschrieben worden. Eine systematische Auseinandersetzung mit dem Verhältnis von Klimaschutz und Klimaanpassung hat dabei vor allem die Funktion der regionalen Ebene deutlich gemacht: Konflikte und Synergien zwischen Schutz und Anpassung werden sich jeweils auf regionaler bzw. lokaler Ebene manifestieren; Probleme und Herausforderungen werden auch in diesem lokalen oder regionalen Kontext geklärt werden müssen.

Damit rückt dann gleichzeitig die Funktion der räumlichen Planung als das verbindende Element zwischen Klimaschutz, Klimaanpassung und nachhaltigen Entwicklungszielen in den Vordergrund (BIESBROEK 2009; SHEATE 2011). Wenn die Raumordnung eine derartige Funktion übernehmen soll, stellt sich zwangsläufig die Frage, ob sie mit ihren tradierten Konzepten und Instrumenten auch die Antworten auf die neuen Herausforderungen geben und den ihr etwa im Raumordnungsgesetz auferlegten Zielen nachkommen kann.

Insbesondere durch die vorhandenen Bandbreiten in den Klimaszenarien und somit verbundenen Unsicherheiten über die Auswirkungen des Klimawandels und somit auch über die Klimaanpassung, sind flexiblere Maßnahmen und Nutzungskonzepte zu favorisieren. So wird bspw. bereits heute zunehmend die Frage diskutiert, ob eine Naturschutzpolitik, die eindeutige räumliche Funktionszuweisungen vornimmt, unter den Bedingungen des Klimawandels überhaupt noch aufrechterhalten werden kann oder ob nicht räumlich-zeitlich flexible Schutzkonzepte eine Antwort sein müssten (HENDLER *et al.* 2010; ARAUJO 2011; GLICK *et al.* 2011):

Gentry *et al.* verweisen auf die Notwendigkeit eines stärkeren Aufeinanderzugehens von Energieplanung und Landschaftsplanung, um Synergien etwa bei der Standortplanung von

Erneuerbaren Energien ausnutzen zu können; sie verweisen aber auch darauf, dass Landschaftsplanung unter den Bedingungen des Klimawandels sich auf Wandel einstellen und auch die Frage nach dem Sinn und Zweck des „permanenten“ Naturschutzes gestellt werden muss. Ihrer Ansicht nach sind neue flexible Konzepte und Instrumente erforderlich (Bsp. floating conservation zones) (GENTRY 2009; GENTRY ET AL. 2010).

Langfristige Planungen

Als eine wichtige Voraussetzung für die Ableitung auch langfristig tragfähiger Handlungsoptionen unter Berücksichtigung der Anforderungen des Klimawandels werden integrierte nationale Landnutzungsmodelle gesehen, in denen die Komplexität der Nutzungsansprüche abgebildet werden kann (ADAPTATION AND RESILIENCE TO A CHANGING CLIMATE (ARCC) COORDINATION NETWORK (ACN) 2011; THE ADAPTATION SUB-COMMITTEE 2011). Die Erstellung derartiger Modelle ist eine nicht einfache Aufgabe: *„Die Erklärung von Entwicklungen der Flächennutzung und Kulturlandschaft ist eine äußerst komplexe Aufgabe, da fast alle gesellschaftlichen Bedürfnis- und Handlungsfelder unmittelbar oder mittelbar auf die Flächennutzung einwirken bzw. sich in Veränderungen von Raum- und Flächennutzungen manifestieren.“* (SIEDENTOP et al. 2011)

Es überwiegen bislang Studien zur Landnutzung, in denen sektorale Trends analysiert werden, d. h. es wird untersucht, welche Anforderungen an die Landnutzung von bestimmten Sektoren ausgehen. Offen bleibt dann jedoch das Zusammenwirken der verschiedenen Nutzungsansprüche im Raum. Wo und in welchem Umfang schließen sich Flächenansprüche aus, wo werden räumlich Hotspots entstehen und wo lassen sich unterschiedliche Nutzungsansprüche kombinieren?

In der Zwischenzeit sind jedoch auch einige Studien vorgelegt worden, die sich in einem integrierten Ansatz mit der Frage befassen, welche Triebkräfte die zukünftige Flächennutzung bestimmen und wie Landnutzungsmuster aussehen könnten. Für Deutschland haben Distelkamp et al. (2008) ein umweltökonomisches Modell verwandt, um die Flächeninanspruchnahme bis 2020 nachfrageorientiert zu ermitteln (DISTELKAMP et al. 2008). Diese Analysen verweisen auf zentrale Trends, sind aber wenig geeignet, um konkrete Handlungsempfehlungen ableiten zu können. Aktuell sind von Siedentop et al. (2011) Szenarienentwürfe für die räumliche Entwicklung unter Berücksichtigung sowohl angebots- als auch nachfrageorientierter Faktoren (demografische und ökonomische Entwicklungen; Bauleit- und Raumplanung, Mobilitätsverhalten, Wertewandel) erarbeitet worden, wobei explizit auch der Klimawandel und die Klimapolitik berücksichtigt werden (SIEDENTOP et al. 2011).

Ähnlich – wenn auch langfristiger ausgerichtet – geht das britische *Foresight Land Use Futures Project* vor, das die treibenden Kräfte in den Mittelpunkt stellt, die Auswirkungen auf die Flächennutzung bis 2050/60 haben werden und eine erste Abschätzung darüber ermöglicht, wo staatliche Interventionen notwendig sind (CREEDY et al. 2009; NATURAL ENGLAND 2009; THE FUTURES COMPANY 2009) (DWYER 2011; SHEATE 2011). Die Art und Weise und die Intensität der Flächennutzung hängt danach von verschiedenen Faktoren ab:

- der Verfügbarkeit von Ressourcen wie Energie oder Wasser,
- den wissenschaftlichen und technischen Kapazitäten, wie beispielsweise der Umsetzung von Innovationen im Bereich Low-carbon-Energie, industrielle Nahrungsmittelproduktion oder Informationstechnologien,
- den sozialen Präferenzen im Zusammenhang mit trade offs, beispielsweise zwischen Erneuerbarer Energieproduktion und Naturschutz,
- dem räumlichen Bezug der Entscheidungen (global versus lokal), deren zeitlichen Dimension (kurzfristig versus langfristig) und der Natur der Entscheidungen (direkte Vorgaben versus freiwillige Lösungen).

Das *Foresight Land Futures Project* analysiert den zukünftigen Flächenbedarf in insgesamt neun als bedeutend identifizierten Sektoren, zeigt aber auch die komplexen Wechselbeziehungen

zwischen diesen einzelnen Bereichen auf.

Ein strategischer Ansatz mit den sehr komplexen Anforderungen an die zukünftige Landnutzung umzugehen, der bislang in Europa als einzigartig gilt (HOUSES OF PARLIAMENT- PARLIAMENTARY OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY 2011c), ist die *Land Use Strategy* der schottischen Regierung. Ausgehend von einer umfassenden Bestandsaufnahme werden Prinzipien einer nachhaltigen Landnutzung entwickelt und Handlungsempfehlungen vor allem für die staatlichen Akteure formuliert (THE SCOTTISH GOVERNMENT 2010). Auch die Frage der Auswirkungen des Klimawandels auf die Flächennutzung und die Klimaanpassung werden dabei ganz explizit thematisiert (THE SCOTTISH GOVERNMENT 2011a, b). Die schottische Regierung misst bei der Entwicklung einer solchen Strategie vor allem dem *Ecosystem-services-Ansatz* als Leitprinzip eine besonders herausgehobene Rolle zu. *“We wish to integrate the principles of an ecosystems approach to promote improved decision-making. Our ecosystems provide many services, such as food production, water and flood regulation, carbon capture and recreation. With measures to sustain these services and recognition of their value to our economy and to our health, the Land Use Strategy can help ensure long-term prosperity for Scotland and other communities across the country.”* (THE SCOTTISH GOVERNMENT 2011a)

Besonderes Augenmerk wird in allen Studien und Strategien auf zwei Sektoren gerichtet, die zukünftig eine besondere Rolle als Flächennachfrager spielen und die ganz maßgeblich die Landnutzung bestimmen werden, nämlich auf den Energiesektor und auf die Klimapolitik (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY 2010a; DWYER 2011). Das bedeutet dann auch, dass sich die räumliche Planung in enger Abstimmung mit den Infrastrukturfachplanungen auf diese Bereiche fokussieren muss (MARSHALL 2010a, b).

Klimaanpassung in Fach-und Raumplanung

Die Möglichkeiten der Berücksichtigung der Anforderungen einer Klimaanpassung in der Energiewirtschaft sind vor dem Hintergrund der Ausgestaltung der aktuellen Fachplanung in diesem Sektor hinzuzuziehen. Die Energiewirtschaft zählt mit zu den Infrastruktursektoren, die aufgrund ihrer gesamtwirtschaftlichen Bedeutung, aber auch ihrer potenziellen Risiken und Auswirkungen auf die Umwelt durch Bau und Betrieb, die am stärksten reguliert werden. Die Errichtung und auch der Betrieb von Energieanlagen erfolgt auf der Grundlage sehr detaillierter Planungs- und Genehmigungsverfahren auf allen Ebenen der Wertschöpfungskette. Die folgende Abbildung gibt eine Übersicht über die rechtlichen Grundlagen der Planungs- und Genehmigungsverfahren. Eine detaillierte Zusammenfassung findet sich im Anhang dieses Berichts.

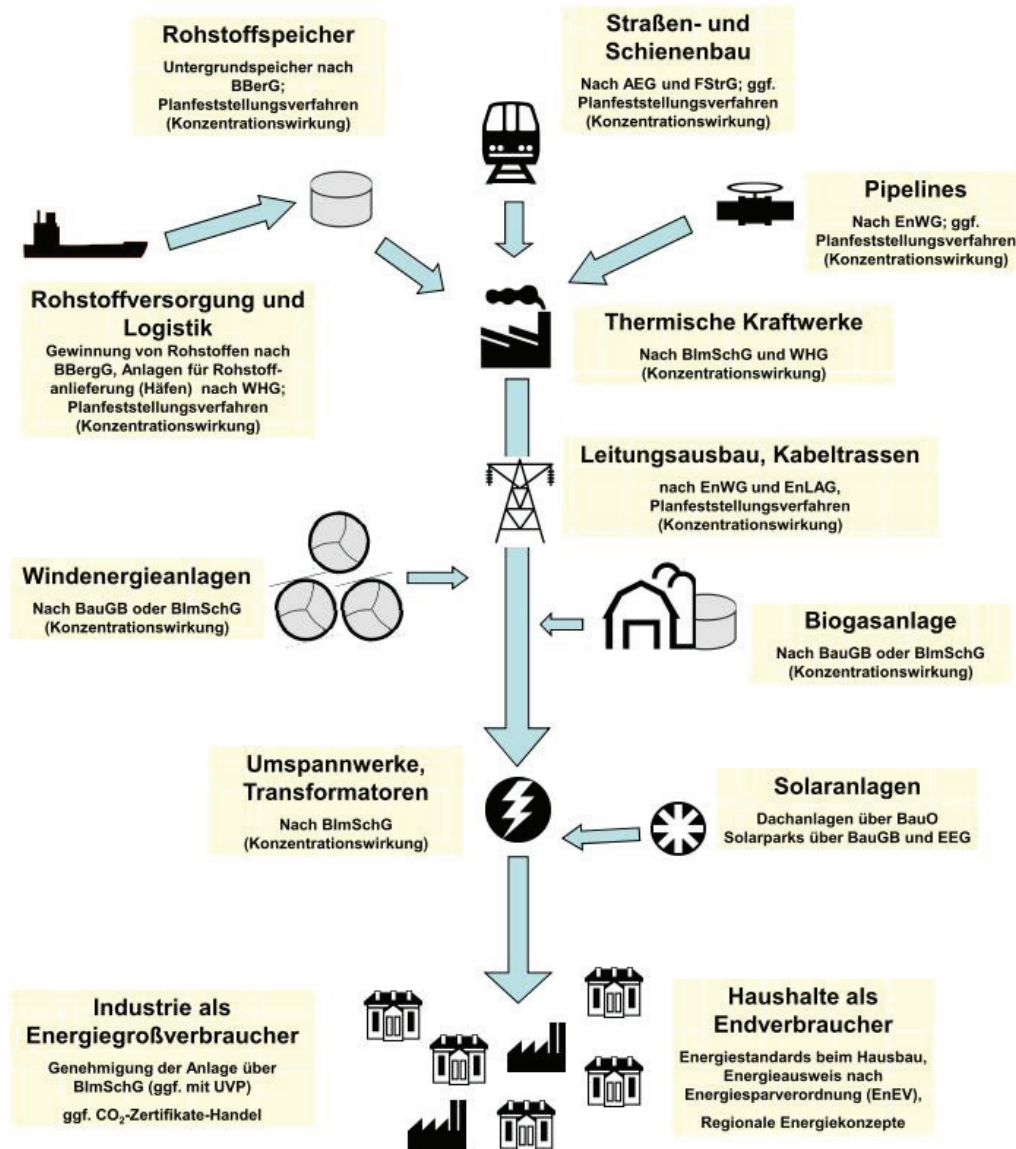
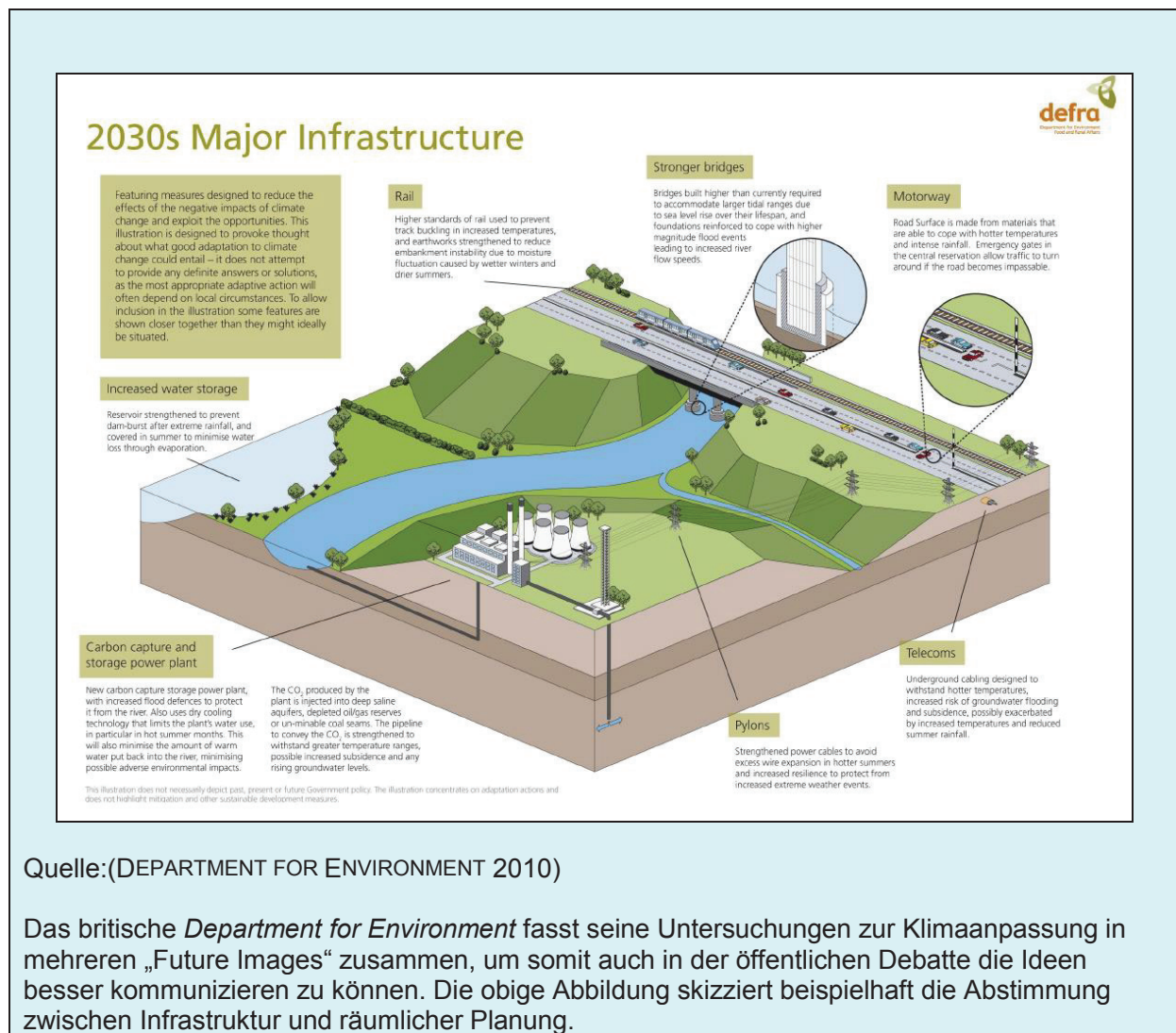


Abb. 15: Genehmigungsverfahren in der Energiewirtschaft (Eigene Darstellung)

Auf jeder Stufe der Wertschöpfungskette und im Rahmen jedes Genehmigungsverfahrens ist zu untersuchen, inwieweit Anforderungen der Klimaanpassung überhaupt eine Rolle spielen und berücksichtigt werden können. Nach den bisherigen eigenen Erfahrungen mit Planungs- und Genehmigungsverfahren für große Infrastrukturprojekte spielen diese Überlegungen keine wichtige Rolle bzw. Klimaanpassung wird zumindest nicht explizit thematisiert. Allenfalls bei der Kühlwasserproblematik in den Genehmigungsverfahren für konventionelle Kraftwerke kann der klimatisch bedingte Anstieg der Wassertemperaturen in den Vorflutern eine Rolle spielen.



Es ist ganz offenkundig, dass der Klimawandel den Druck auf Flächen verstärken wird; angesichts der verbleibenden Ungewissheit über Ausmaß, Intensität und regionalen Implikationen des Klimawandels wird auch räumliche Planung als Instrument des Ausgleichs konkurrierender Nutzungsansprüche immer nur unter Unsicherheit umgesetzt werden können: Planung wird derartige Unsicherheiten als systemimmanent mit in Betracht ziehen müssen (AKADEMIE FÜR RAUMFORSCHUNG UND LANDESPLANUNG (HRSG.) 2011).

Die Anforderungen an den Raum und die Raumnutzung durch den Klimawandel sowie die Klimaanpassung und die effiziente Ressourcennutzung spielen auch in der Diskussion über die Ergänzung und Weiterentwicklung von Leitbildern und Handlungsstrategien für die Raumentwicklung in Deutschland eine wichtige Rolle (ISSAOUI & SINZ 2010). Leitbilder sollen in den fortzuschreibenden oder sich in der Neuaufstellungsphase befindlichen Landesentwicklungsplänen und -programmen sowie den Regionalplänen berücksichtigt und konkretisiert werden. Von besonderer Relevanz ist in diesem Zusammenhang auch die Flächensicherung für den Ausbau der Erneuerbaren Energien.

Diese Neuorientierung der Planung wird nicht nur Auswirkungen auf die instrumentelle Ausgestaltung haben, sondern auch auf die Planungsphilosophien (FÜRST 2010). Der bisherige Planungsansatz über die Zuordnung und die verbindliche Sicherung von Nutzungszuweisungen wird zunehmend ersetzt werden durch ein Denken in Leitplanken, kurzfristigeren

Zielformulierungen und eine Orientierung der Planung an typischen Problemlagen. Konkret bedeutet dies u. a. (QUAY 2010):

- **Nutzung von Szenario-Methoden:** Aufzeigen einer Bandbreite möglicher Entwicklungen unter verschiedenen Rahmenbedingungen; Berücksichtigung der langfristigen Wirkungen von Maßnahmen im Rahmen von Systemansätzen (WILSON 2009; WILSON&PIPER 2010; BIGGS *et al.* 2011; MOSER 2011; WISEMAN 2011).
- **Inkrementeller Ansatz bei Anpassungsmaßnahmen** zur Vermeidung unnötiger Ausgaben; komplexere Herausforderungen an die Planung von physischer Infrastruktur, da ihre Funktionsfähigkeit aufrecht erhalten werden muss, auch wenn sie erst über die Zeit modular aufgebaut wird; die Herausforderungen werden sich nicht nur auf die Planungsebene beziehen, sondern bspw. auch die Finanzierungsebene mit umfassen (*life cycle cost analysis*).
- Notwendig ist bei einem antizipatorischen Ansatz der Aufbau eines **Monitoring-Systems**, um Veränderungen rechtzeitig erkennen und angemessene Maßnahmen ergreifen zu können; ein solches Monitoring-System müsste in der Lage sein, die Klimafaktoren zu identifizieren, die einen Bezug zu potenziellen lokalen Implikationen haben und mindestens Zeiträume von bis zu 10 Jahren abdecken. Derartige Modelle sind aber erst im Aufbau; erforderlich wäre dabei eine intensivere Kooperation zwischen nationaler Klimaforschung auf der einen und Akteuren der lokalen Anpassungsszene auf der anderen Seite.
- Neue Ansätze der **Risikobewertung:** u. a. Einsatz von Kosten-Nutzen-Analysen zur Ermittlung der notwendigen Investitionen, mit denen unterschiedlichen Risiken begegnet werden kann (KMENT 2011).²⁹

Diese neuen Herausforderungen an die Planung müssen eingebunden werden in ein **institutionalisiertes Entscheidungssystem**, das es erlaubt, langfristige Entscheidungen in das eher auf Kurzfristigkeit ausgerichtete politische System zu integrieren. Voraussetzung für eine Kombination von Klimaschutz und Klimaanpassung insbesondere in dicht besiedelten Gebieten mit hohem Flächendruck und hoher Regulierungsdichte sind Ansätze einer multi-funktionalen Landnutzung mit geteilten Zuständigkeiten der Stakeholder und der Integration von Funktionen (LENSTRA 2009). Die Koordination von räumlicher Planung und regionalisierten Fachplanungen unter grundlegend veränderten Rahmenbedingungen wird auch grundsätzlich neue Formen der Kooperation notwendig machen.

²⁹

In diesem Zusammenhang ist auf die Debatte zur sustainable adaptation zu verweisen; es kann sinnvoll sein, keine Anpassung vorzunehmen, wenn die Gefahr besteht, dass Anpassung selbst wiederum zur einer Verschärfung ökologischer und sozialer Probleme beitragen kann (ERIKSEN 2011; ERIKSEN&BROWN 2011) „*Yet little attention has been paid to the consequences of adaptation policies and practices for sustainability. Recognition that not every adaptation to climate change is a good one has drawn attention to the need for sustainable adaptation strategies and measures that contribute to social justice and environmental integrity.... The road to sustainable adaptation starts with the understanding that adaptation is a 'process' rather than a list of actions and measures that address specific climate change impacts. Sustainable adaptation requires going beyond one-time climate proofing measures, and questioning the assumption that every adaptation to climate change will be beneficial. The consequences of actions and measures must be considered within the much broader social and environmental context; trade-offs and the potential for negative outcomes over space and time must be recognized.* (ERIKSEN 2011)

Exkurs: Resilience of UK Infrastructure

Großbritannien hat sich in jüngster Zeit besonders intensiv mit den Risiken des Klimawandels für Infrastrukturen befasst und weit reichende Konzepte und Ansätze zur Verbesserung der Resilience der Infrastruktursektoren entwickelt. Im Mittelpunkt stehen dabei die sog. critical infrastructures, zu den wichtigsten Sektoren zählen dabei neben der Telekommunikation, dem Transportsektor, der Wasserwirtschaft vor allem der Energiesektor (THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS (ICE) 2009; HOUSES OF PARLIAMENT- PARLIAMENTARY OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY 2010; MET OFFICE HADLEY CENTRE UK 2010; THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS (ICE) 2010; THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING ON BEHALF OF ENGINEERING THE FUTURE 2011): Die britischen Initiativen zur Klimaanpassung sind vor dem Hintergrund einiger aktueller Entwicklungen und Trends zu sehen: Im Sommer 2007 waren große Teile Englands von einem schweren Hochwasser betroffen, das vor allem die Funktionsfähigkeit der zentralen Infrastrukturen nachhaltig beeinträchtigte. Die durch das Hochwasser verursachten volkswirtschaftlichen Schäden wurden auf insgesamt 3,2 Mrd. Pfund geschätzt (ENVIRONMENT AGENCY 2010). Eine Unterbrechung der Übertragungsnetze führte in Gloucestershire dazu, dass rd. 40.000 Kunden über 24 Stunden von der Versorgung abgetrennt waren. In Yorkshire und Humberside waren über 9.000 Kunden mehrere Tage lang immer wieder vom Netz getrennt (rolling blackouts). Die Gefahr weiterer Überflutungen mit noch höheren Schäden für die Infrastruktur konnte knapp vermieden werden. Allein die Überflutung einer Schaltstation in Walham/Gloucestershire hätte über eine halbe Millionen Stromkunden betroffen; der drohende Bruch eines Speichersees hätte ein wichtiges Elektrizitätswerk und die Gasversorgung in der Region Sheffield betroffen. In dem sog. Pitt Review sind die Folgen dieser Hochwasserkatastrophe aufgearbeitet und erste Handlungsempfehlungen vorbereitet worden (CABINET OFFICE 2008).

Vorrangiges politisches Ziel ist dabei die Entwicklung sehr kurzfristig umsetzbarer Maßnahmen, mit denen die Anfälligkeit der Infrastrukturen gegenüber extremen Wetterereignissen reduziert werden kann (CABINET OFFICE 2011). In Umsetzung des Pitt Reviews ist dies die Aufgabe eines eigens gegründeten Nature Hazard Teams, das in enger Abstimmung mit den verschiedenen Betreibern der Infrastrukturanlagen best practices erarbeiten soll. Diese Überlegungen fließen ein in sog. Sector Resilience Plans (SRP). Die ersten Entwürfe dieser sektoralen Pläne befassen sich mit dem aktuellen Schutzstatus zentraler Infrastruktursysteme im Hinblick auf Überflutungen. Die einzelnen SRP sind dabei wichtige Grundlagen für einen Konsultationsprozess, der dann zu einem National Resilience Plan for Critical Infrastructure führen wird.

Mit Blick auf die langfristigen Folgen des Klimawandels für die Infrastruktursysteme ist das Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) aktiv geworden und hat ein sektor- und ministerienübergreifendes Projekt ins Leben gerufen. Das federführend von der Defra organisierte Programm *Adapting to Climate Change (ACC)* hat vor allem die Anpassung der Infrastruktursysteme mit hoher Priorität versehen. Dies kommt dann auch in dem im April 2008 begonnenen Projekt des „*Adapting Infrastructure to Climate Change*“ zum Ausdruck. Die Ergebnisse fließen ein in die Empfehlungen für die im Laufe des Jahres 2011 zu veröffentlichen langfristige Klimaanpassungsstrategie (PRICEWATERHOUSECOOPERS 2010).

Der Climate Change Act 2008 hat dem Secretary State auch mit der speziellen Befugnis ausgestattet, von den zentralen Akteuren des Infrastruktursektors eine Berichterstattung einzufordern. Entsprechend dieser Adaptation Reporting Power (DEFRA 2011) haben die Akteure dabei:

- eine Bewertung der gegenwärtigen und zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf die Funktionsfähigkeit ihrer Infrastrukturangebote vorzunehmen, sowie
- die umgesetzten oder geplanten Maßnahmen zur Anpassung des Unternehmen an den Klimawandel vorzulegen.

Die Erwartungen an den Nutzen derartiger Berichte sind relativ hoch; sie sollen:

- eine grundlegende Einschätzung auf politischer Ebene erlauben, inwieweit die zentralen Infrastruktursektoren auf den Klimawandel vorbereitet sind
- eine zusammenfassende sektorübergreifende Erfassung und Darstellung aller Risiken für den Infrastrukturbereich erlauben, sowie

- mit dazu beitragen, dass das Thema Klimaanpassung auf die Agenda der Boards in den einzelnen Unternehmen gerät.

Insgesamt sind in der ersten Runde 91 Unternehmen und Organisationen aufgefordert worden, entsprechende Berichte abzugeben.³⁰ Bislang sind 28 Organisationen ihrer Verpflichtung nachgekommen; National Grid plc hat dabei gesonderte Berichte für das Strom- und für das Gasnetz abgegeben. (NATIONAL GRID ELECTRICITY TRANSMISSION PLC 2010; NATIONAL GRID GAS TRANSMISSION AND DISTRIBUTION UK 2010). Die ersten Berichte werden gesondert ausgewertet und sollen auch als Hilfestellung für die Berichterstattung anderer Unternehmen dienen (DREW *et al.* 2010).

Parallel zu den Anforderungen an die Infrastruktursysteme, die sich aus dem Klimawandel ergeben, tritt die wachsende Nachfrage nach Infrastrukturleistungen aufgrund des hohen - wenn auch regional sehr unterschiedlich ausgeprägten - Bevölkerungswachstums auf. Auf der einen Seite bedeutet dies, dass die Reservekapazitäten der Systeme weitgehend aufgebraucht werden und damit dann auch die Anpassungspotenziale verringert werden, auf der anderen Seite eröffnen die erforderlichen Investitionsprogramme auch neue Perspektiven für die Umsetzung klimaangepasster Strategien. In diesem Zusammenhang kommt auch der zukünftigen Flächennutzung eine nicht unwichtige Rolle zu. Die Implikationen der verschiedenen Ausbauszenarien für die Infrastruktur und der darauf mit aufbauenden Anpassungskonzepten für die zukünftige Flächennutzung stehen im Mittelpunkt eines langfristigen ausgerichteten Forschungsvorhaben Land use Futures (FORESIGHT LAND USE FUTURES PROJECT 2010).

Klimaanpassung der Energiewirtschaft: die instrumentelle Ausstattung

Es gibt in der Zwischenzeit zahlreiche Vorschläge zur Integration von Maßnahmen der Klimaanpassung und des Klimaschutzes; nicht alle Konzepte sind allein und unmittelbar auf die Anforderungen des Klimawandels zurückzuführen; die Rahmenbedingungen für die Planung insgesamt haben sich verändert und erfordern eine neue Funktionsbestimmung und instrumentelle Absicherung der Planung, aber „*Climate change adds new layers of complexity*“ (BEDSWORTH & HANAK 2010, 479). An dieser Stelle kann lediglich eine erste Übersicht über potenzielle Ansätze gegeben werden, eine detailliertere Analyse erfolgt im weiteren Verlaufe der Arbeiten des 'nordwest2050' Verbundes:

Konzepte mit Blick auf eine effizientere Flächennutzung:

Hier geht es primär um Maßnahmen, mit denen die für Klimaschutz und Klimaanpassung gesicherten Flächen auch für andere Nutzungen offen gehalten werden können:

- Mehrfachnutzung von Flächen, d. h. eine Loslösung von Landnutzungskonzepten im Sinne einer „*one-function-only*“ (LENSTRA 2009); beispielsweise Hochwasser-Retentionsbecken werden gleichzeitig für den Anbau von Biomasse genutzt (DE VRIES & WOLSINK 2009; CLIMATE FOCUS 2011)
- Erhöhung der Flächenproduktivität (Bioenergie, Repowering)
- *urban green spaces*: Entwicklung und Umsetzung neuer Konzepte der städtischen Infrastrukturversorgung; *green infrastructure* als Instrument der Klimaanpassung (GILL *et al.* 2007; GILL *et al.* 2009; BOWLER *et al.* 2010; TOWN AND COUNTRY PLANNING ASSOCIATION (TPCA) 2010; FOSTER *et al.* 2011)
- Neuausrichtung der Politik der Biodiversitätssicherung und des Naturschutzes (NETHERLANDS ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AGENCY (PBL) 2010) (SUTHERLAND 2010; VAN VEEN *et al.* 2010; GLICK *et al.* 2011)

³⁰

Siehe für weitere Informationen: <http://ww2.defra.gov.uk/environment/climate/sectors/reporting-authorities/>

Reduktion der Flächeninanspruchnahme:

Maßnahmen mit denen bei Aufrechterhaltung des Schutzniveaus der Umfang der insgesamt in Anspruch genommenen Fläche reduziert werden kann

- kompakte Bauweisen unter Berücksichtigung der Anforderungen von Klimaschutz und Klimaanpassung (PIZARRO 2009; WENDE *et al.* 2010; WILLIAMS 2010)
- Nutzung vorhandener Infrastruktursysteme für Klimaanpassungsmaßnahmen (z. B. Nutzung von Autobahnen, Deichen etc. für die Produktion Erneuerbarer Energien (WEIJERS&DE GROOT 2007; BOSCH & PARTNER 2009; LENSTRA 2009; VAN VOSSEN 2010; GREVERS&ZWANEVELD 2011)
- neue innovative Technologien: z. B. multifunktional einsetzbare Infrastrukturanlagen (Beispiel SMART-Tunnel: Bestandteil des städtischen Verkehrssystems, bei Extremwetterereignissen Nutzung für die Ableitung von Niederschlagswasser) (DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT 2011). Zu den vielfältigen technischen Optionen am Beispiels des Abschlussdeichs in den Niederlanden siehe (VAN VOSSEN 2010; GREVERS&ZWANEVELD 2011)

Räumliche Abstimmung von Energieverbrauch und räumlicher Planung; Anwendung von low exergy Konzepten (STREMKE 2010; STREMKE&KOH 2010; STREMKE *et al.* 2011; VAN DEN DOBBELSTEEN *et al.* 2011).

Neue Instrumente:

Einsatz vor allem ökonomischer Instrumente im Flächenmanagement

- flexible Planungs- und Steuerungsinstrumente; Einsatz umweltökonomischer Bewertungsansätze (AKADEMIE FÜR RAUMFORSCHUNG UND LANDESPLANUNG (HRSG.) 2011; KMENT 2011)(CRAIG 2010)
- temporärer Naturschutz; Neukonzeptionierung der naturschutzfachlichen Ausgleichsregelungen (REKER&BRAAKHEKKE 2007; CLIQUET *et al.* 2009; HENDLER *et al.* 2010; SCHOUKENS 2010; PREVOT-JULLIARD 2011)
- *Eco-system-Ansatz* als Ausgleich zwischen ökonomischen, ökologischen und sozialen Herausforderungen (BATEMAN *et al.* 2010; CRAIG 2011; DOSWALD&OSTI 2011; HOUSES OF PARLIAMENT- PARLIAMENTARY OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY 2011b; SCARLETT&BOYD 2011; THE SCOTTISH GOVERNMENT 2011b)

„*New kids on the block ...*“so umschreibt eine englische Studie den Umstand, dass neben den traditionellen Akteuren mit dem Energiesektor und der Klimaanpassungspolitik neue Nachfrager auf dem Flächenmarkt auftreten (HARVEY&PILGRIM 2010). Ein erster Überblick hat deutlich gemacht, dass es diese beiden Sektoren sind, die auch das Bild der Nordwestregion in der Zukunft nachhaltig prägen werden und neue Herausforderungen an Raum- und Fachplanungen stellen.

8. Anhang

Quelle	Flächenverbrauch/Flächenbedarfswerte																																																		
(DEWI 2010)	<p>Windenergie: 3 ha/MW bis 20 ha WVS-Größe 5 ha/MW bei WVS-Größen von 20-60 ha 7 ha/MW bei WVS-Größen über 60 ha Mit der Differenzierung wird berücksichtigt, dass der unbebaute Teil (wegen einzuhaltender WEA-Mindestabstände) bei großen WVS-Gebieten größer ausfällt als bei kleinen WVS-Flächen.</p> <p>Abschätzung der Biogasnutzung: bis 2015 wird eine gegenüber 2008 unverändert verfügbare Ackerfläche unterstellt. Anteil der Ackerfläche für Energiepflanzenanbau ist etwa 15% (davon Biogasnutzung 80%); durch Steigerung der Anlageneffizienz sinkt der Flächenbedarf für Biogasanlagen, die Energiepflanzen nutzen, auf ca. 0,3 ha/kW</p>																																																		
(SCHMIDT 2010)	<p>Windenergie: Abstandsfläche 2008: 240.000 kWh pro ha (im Jahr 2020 sind es 415.000 kWh) Abstand Windkraftanlagen ist abhängig von vorherrschender Windrichtung und Anlagengröße; rechnerischer Wert für Abstandsfläche im Jahr 2008 beträgt 7 ha pro MW (im Jahr 2020 kann von 6 ha pro MW ausgegangen werden aufgrund von Repoweringmaßnahmen) Fundamentfläche 1% der Abstandsfläche Jährlicher Ertrag pro ha Fundamentfläche wird von 24 Mio. kWh in 2008 auf 41,1 Mio. kWh in 2020 steigen → Flächenertrag aus Windenergie schon heute höher als der von Braunkohle (3,1 Mio. kWh/ha pro Jahr)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Anteil an der Stromversorgung</th> <th colspan="2">Flächenbedarf</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>Inkl. Abstandsflächen</th> <th>Nur Fundamentsflächen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2008¹</td> <td>40,4 Mrd. kWh/a</td> <td>170.000 ha</td> <td>1.700 ha</td> </tr> <tr> <td>2020²</td> <td>112,1 Mrd. kWh/a</td> <td>270.000 ha</td> <td>2.700 ha</td> </tr> </tbody> </table> <p>Solarenergie: jährliche Sonneneinstrahlung pro Quadratmeter zwischen 900 und 1.200 kWh Flächenpotenzial: 234.400 Hektar Gebäudeflächen sind für die solare Nutzung in Deutschland geeignet. Genutzt werden hiervon erst 2 Prozent für PV bzw. 0,5 Prozent für Solarthermie; 10 m² Solarkollektoren erzeugen ca. 4.500 kWh Wärme pro Jahr Solarenergie Freiflächenanlagen: Pro ha pro Jahr werden 300.000 kWh erzeugt Deutschlandweit werden bis 2020 ca. 10.500 Hektar Ackerland, Konversionsflächen und versiegelten Flächen mit FFA belegt. Zum Vergleich: 2008 wurden ca. 4,5 Mio. Hektar landwirtschaftliche Fläche für Nahrungsmittel genutzt.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Anteil an der Energieversorgung</th> <th colspan="2">Flächenbedarf</th> </tr> <tr> <th>Strom</th> <th>Wärme</th> <th>Freiflächen für PV</th> <th>Gebäudeflächen für PV und Solarthermie</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2008¹</td> <td>4,0 Mrd. kWh/a</td> <td>4,1 Mrd. kWh/a</td> <td>1.700 ha</td> <td>5.800 ha</td> </tr> <tr> <td>2020²</td> <td>39,5 Mrd. kWh/a</td> <td>30,1 Mrd. kWh/a</td> <td>10.500 ha</td> <td>37.000 ha</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>BMU, Branchenprognose</small></p> <p>Geothermie:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Anteil an der Energieversorgung</th> <th>Flächenbedarf</th> </tr> <tr> <th>Strom</th> <th>Wärme</th> <th>unterirdisch</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2008¹</td> <td>0,02 Mrd. kWh/a</td> <td>2,5 Mrd. kWh/a</td> <td>129.200 ha</td> </tr> <tr> <td>2020²</td> <td>3,8 Mrd. kWh/a</td> <td>42,1 Mrd. kWh/a</td> <td>960.000 ha</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>BMU, Branchenprognose</small></p> <p>Vorteile: nahezu kein oberirdischer Flächenverbrauch bei unendlicher Energiequelle Nachteile: Genehmigung ist schwierig (nach Wasser- und Bergbaurecht); Investitionskosten sehr hoch (Bohrkosten); Folgen der Nutzung sind schwer zu kalkulieren Bioenergie:</p>	Anteil an der Stromversorgung		Flächenbedarf				Inkl. Abstandsflächen	Nur Fundamentsflächen	2008 ¹	40,4 Mrd. kWh/a	170.000 ha	1.700 ha	2020 ²	112,1 Mrd. kWh/a	270.000 ha	2.700 ha		Anteil an der Energieversorgung		Flächenbedarf		Strom	Wärme	Freiflächen für PV	Gebäudeflächen für PV und Solarthermie	2008 ¹	4,0 Mrd. kWh/a	4,1 Mrd. kWh/a	1.700 ha	5.800 ha	2020 ²	39,5 Mrd. kWh/a	30,1 Mrd. kWh/a	10.500 ha	37.000 ha		Anteil an der Energieversorgung		Flächenbedarf	Strom	Wärme	unterirdisch	2008 ¹	0,02 Mrd. kWh/a	2,5 Mrd. kWh/a	129.200 ha	2020 ²	3,8 Mrd. kWh/a	42,1 Mrd. kWh/a	960.000 ha
Anteil an der Stromversorgung		Flächenbedarf																																																	
		Inkl. Abstandsflächen	Nur Fundamentsflächen																																																
2008 ¹	40,4 Mrd. kWh/a	170.000 ha	1.700 ha																																																
2020 ²	112,1 Mrd. kWh/a	270.000 ha	2.700 ha																																																
	Anteil an der Energieversorgung		Flächenbedarf																																																
	Strom	Wärme	Freiflächen für PV	Gebäudeflächen für PV und Solarthermie																																															
2008 ¹	4,0 Mrd. kWh/a	4,1 Mrd. kWh/a	1.700 ha	5.800 ha																																															
2020 ²	39,5 Mrd. kWh/a	30,1 Mrd. kWh/a	10.500 ha	37.000 ha																																															
	Anteil an der Energieversorgung		Flächenbedarf																																																
	Strom	Wärme	unterirdisch																																																
2008 ¹	0,02 Mrd. kWh/a	2,5 Mrd. kWh/a	129.200 ha																																																
2020 ²	3,8 Mrd. kWh/a	42,1 Mrd. kWh/a	960.000 ha																																																

	Anteil an der Energieversorgung			Flächenbedarf
	Strom	Wärme	Kraftstoff	insgesamt
2008 ¹	27,1 Mrd. kWh/a	97,1 Mrd. kWh/a	36,7 Mrd. kWh/a	1,6 Mio. ha
2020 ²	54,3 Mrd. kWh/a	150,3 Mrd. kWh/a	111,3 Mrd. kWh/a	3,7 Mio. ha

Konkurrenz zwischen Nahrungsmittelproduktion und Bioenergie stellt sich nicht; vielmehr gibt es Konkurrenz zwischen Futtermittelherstellung (in 2008 wurde in die Hälfte der landwirtschaftlich genutzten Flächen genutzt mit 16,9 Mio. ha) und Bioenergie (2008 wurden 1,6 Mio. ha genutzt)

(JACOBSON&DELUCCHI 2010) Mit Wind, Wasser und Sonne als Energieträger wird ein globaler Mehrverbrauch von 0,41% „footprint area“ und 0,59% „spacing area“ notwendig

Table 4
Number of WWS power plants or devices needed to power the world and U.S. total energy demand in 2030 (11.5 and 1.8 TW, respectively, from Table 2), assuming a given partitioning of the demand among plants or devices. Also shown are the footprint and spacing areas required to power the world, as a percentage of the global land area, $1.446 \times 10^8 \text{ km}^2$. Derived from appendix A of Jacobson (2009).

Energy technology	Rated power of one plant or device (MW)	Percent of 2030 power demand met by plant/device	Number of plants or devices needed World	Footprint area (% of global land area)	Spacing area (% of global land area)	Number of plants or devices needed U.S.
Wind turbine	5	50	3.8 million	0.000033	1.17	590,000
Wave device	0.75	1	720,000	0.00026	0.013	110,000
Geothermal plant	100	4	5350	0.0013	0	830
Hydroelectric plant	1300	4	900 ^a	0.407 ^a	0	140 ^a
Tidal turbine	1	1	490,000	0.000098	0.0013	7600
Roof PV system	0.003	6	1.7 billion	0.042 ^b	0	265 million
Solar PV plant	300	14	40,000	0.097	0	6200
CSP plant	300	20	49,000	0.192	0	7600
Total		100		0.74	1.18	
Total new land				0.41 ^c	0.59 ^c	

^a About 70% of the hydroelectric plants are already in place. See Jacobson (2009) for a discussion of apportioning the hydroelectric footprint area by use of the reservoir.
^b The footprint area for rooftop solar PV does not represent an increase in land since the rooftops already exist and are not used for other purposes.
^c Assumes 50% of the wind is over water, wave and tidal are in water, 70% of hydroelectric is already in place, and rooftop solar does not require new land.

(DENHOLM&MARGOLIS 2008) Annahme: Der globale Energiebedarf wird nur mit Solarenergie gedeckt
 Allgemeiner Flächenverbrauch von Solaranlagen liegt bei 181m² pro Person (Szenariospanne 50-450 m² pro Person)
 Wesentlicher Faktor für den Energieverbrauch/bedarf: Standorte der energieintensiven Industrie (Standort nahe der Energieproduktion vs. Standorte bei den Verbraucherzentren zum Warenabsatz) sowie Beitrag von PV-Anlagen auf Dächern

(OVANDO&CAPARRO 2009) Flächenbezogene Energieproduktion kann 13-52% zum Ziel der EU betragen, bis 2020 die CO2 Reduktion zu erreichen. Die Umsetzung würde 8-30% des Agrarlandes der EU-25 zu bewaldeten Flächen oder Flächen für Energiepflanzen machen

(PANAMA *et al.* 2007) Zusammenspiel von Mobilität, Lebensstandard, Wohnkonzepten und Altersstrukturen in Kalifornien haben Einfluss auf CO2-Produktion/Ausstoß; „blueprint planning“, um Flächenverbrauch und Verkehr zu reduzieren

(BEZDEK&WENDLING 2006)

	Land Use Impacts	Air Impacts	Water Impacts	Solid and Hazardous Wastes	Habitat and Species	Other Environmental Considerations
Nuclear	M	N	L	L	L	L
Coal	M	H	H	H	M	H
Oil	L	H	L	L	M	M
Natural Gas	L	H	L	L	M	M
Natural Gas Meeting Stringent Environmental Standards	L	M	L	L	L	M
Wind	H	N	N	L	M	L
Biomass	H	H	H	M	H	H
Solar Thermal	H	N	N	M	M	M
Solar Photovoltaic	H	N	N	L	M	M
Hydro	H	N	M	L	H	L

H: High Impact
 M: Medium Impact
 L: Low Impact
 N: Negligible Impact

Table 1. Summary of the on-site operational impacts of the equivalent annual output of a generic 1,000 MW electric power generation plant

30 MW einer Biogasanlage mit geschlossenem Kreislauf („closed loop biomass plant“) benötigen 35 000 Acre an Baumplantagen (1000 MW entsprechen 1820 sqaremiles); bei einer biomass capacity von 70% muss eher von 2600 sqaremiles ausgegangen werden

Windkraft: um 1000 MW/8800 GWh zu erzeugen werden 250 square miles benötigt
 PV: 1000 MW werden zwischen 40 000 und 70 000 acres benötigt

(DENHOLM *et al.* 2009)

Analyse von Windkraftpark-Projekten:
 80% der untersuchten Projekte haben einen direkten Landverbrauch unter 0,4 ha/MW
 Der Durchschnitt für einen temporären Flächenverbrauch liegt bei 0,7 +/- 0,6 ha/MW (total direct surface area disruption of 1,0 +/- 0,7 ha/MW)

Table 3. Distribution of Direct Impact Area

Permanent Impact Category	% of Area	Temporary Impact Category	% of Area
Turbine Area	10%	Staging Area	30%
Roads	79%	Temp Roads	62%
Substation	6%	Sub/Trans construction	6%
Transmission	2%	Other	3%
Other	2%		

80% der untersuchten Projekte hatten eine capacity density range von 2-10 MW/km²

(HOWARD *et al.* 2009)

Windenergie:
 20 Turbinen mit 25 m Rotorendurchmesser brauchen 1 km²
 Energie für Britannien nur aus Windkraft: 320 Windparks (66-100 m Rotorendurchmesser; 5 Rotorendurchmesser Abstand zur nächsten Windmühle) brauchen 900-2000 km² (0,4-0,8 % der total vorhandenen Fläche)
 aber: weniger als 200 m² der Fläche wären überbaut → Rest ist für Landwirtschaft noch nutzbar

(MCDONALD *et al.* 2009)

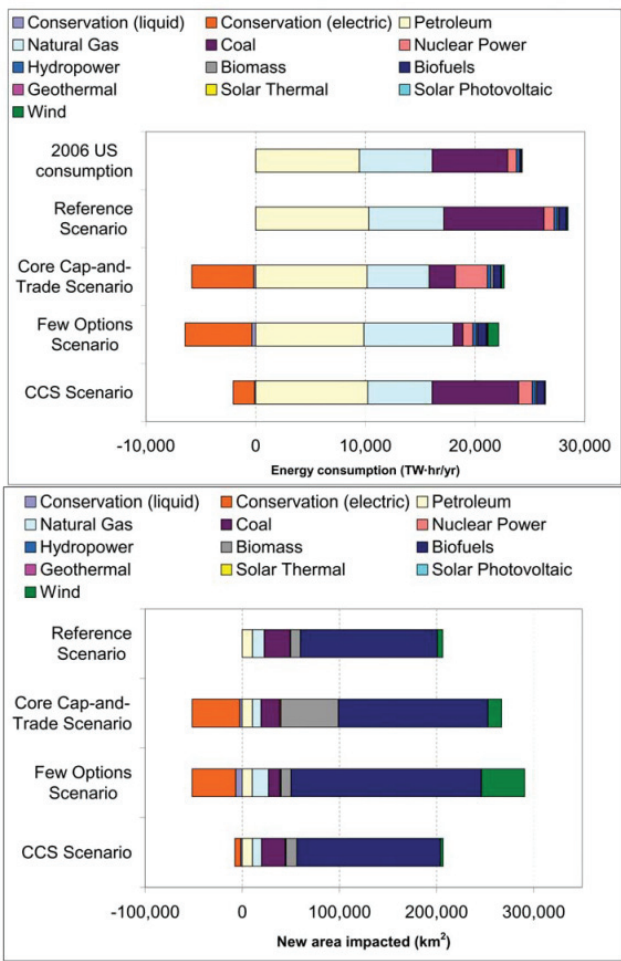


Figure 1. U.S. energy consumption and total new area impacted. (A) U.S. energy consumption in 2006 and under four EIA scenarios. Energy conservation of liquid fuels and electricity, calculated relative to the Reference scenario, are shown as negative since they reduce consumption. (B) The total new area impacted because of development between 2006 and 2030. The new area impacted, or energy sprawl, is a product of consumption and the land-use intensity values in Figure 3. Energy conservation is calculated based on a scenario-specific weighted-average of the energy mix.
 doi:10.1371/journal.pone.0006802.g001

Landnutzung unterschiedlicher Technologien bis 2030:
 Atomkraft 1,9-2,8 km²/TWh/Jahr
 Kohlekraftwerke 2,5-17,0 km²/TWh/Jahr
 Geothermie 1,0-13,9 km²/TWh/Jahr
 Biokraftstoffe z.B. Mais Ethanol 320-375 km²/TWh/Jahr
 Biogasanlagen 433-654 km²/TWh/Jahr
 Flächengewinnung/-einsparung durch Energieeinsparung:
 Jede TWh Energie, die jährlich gespart wird, verhindert nach dem Szenario
 etwas 7,6-28,7 km² benötigte Fläche (bei Biokraftstoffen sogar 27,5-99,3 km²)

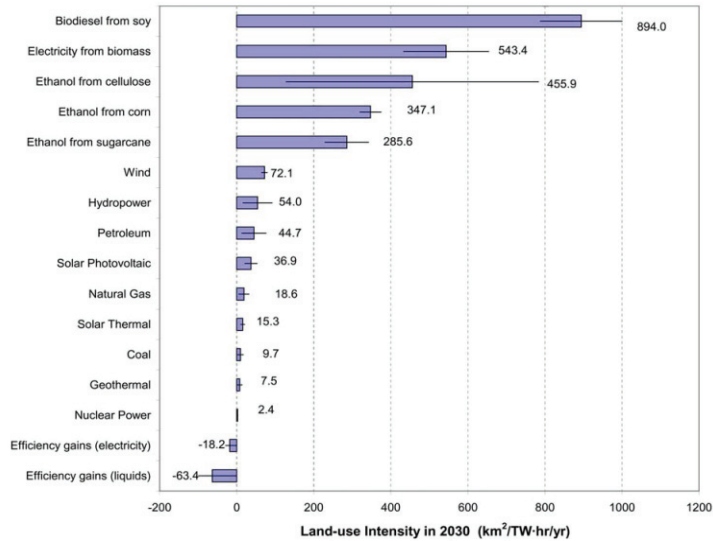


Figure 3. Land-use intensity for energy production/conservation techniques. Value shown is for 2030, as measured in km² of impacted area in 2030 per terawatt-hour produced/conserved in that year. Error bars show the most-compact and least-compact estimates of plausible current and future levels of land-use intensity. Numbers provided are the midpoint between the high and low estimates for different techniques. For liquid fuels, energy loss from internal combustion engines is not included in this calculation. doi:10.1371/journal.pone.0006802.g003

Produktionstechniken (Geothermie, Erdgas) beeinträchtigen nur 5% der Flächen durch Überbauung; 95% der Beeinträchtigung der Fläche besteht in Fragmentierung für Biodiversität
 Windenergie: 3-5 % Beeinträchtigung durch Überbauung; 95-97% Beeinträchtigung durch Fragmentierung

(BRAKELMANN&ERLICH 2010)

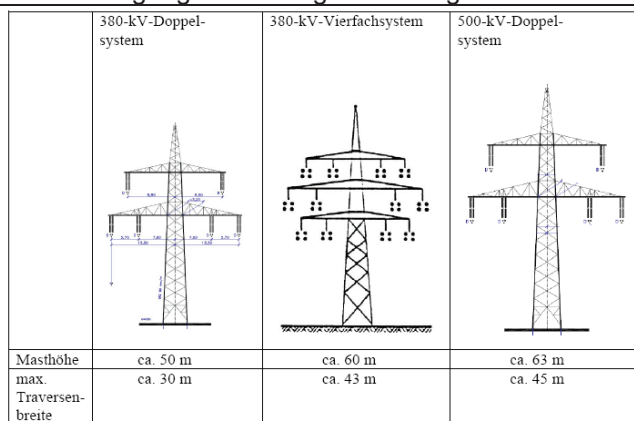


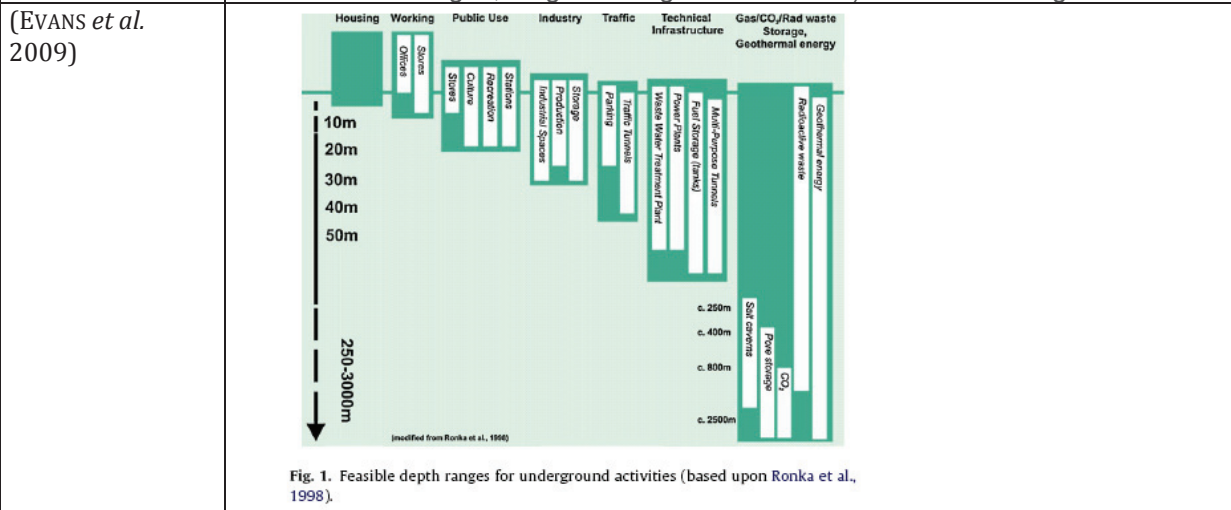
Abb. 7: Abmessungen von HVAC-Freileitungssystemen

Mastbild		Donaumast/Doppelsystem	Donaumast/Doppelsystem
Spannung	kV	380	500
Masthöhe ca.	m	51	63
Traversenbreite ca.	m	40	45
Schutzstreifenbreite ca.	m	70	75
Anz. Teilleiter		4	4
Bündel-Abstand ca.	m	6,5	8,0
Teilleiterquerschnitt	mm ²	4*264/34	4*680/85
Bündel-Durchmesser	mm	360	410
therm. Grenzleistung	MVA (A)	2*1790 (2*2720)	2*3028 (2*4601)
Grenzleistung bei 1 A/mm ²	MVA (A)	2*698 (2*1061)	2*1790 (2*2720)
Widerst. belag R _{35°C}	mΩ/km	2*28,2	2*11,0
Reaktanzbelag X ₁	Ω/km	2*0,260	2*0,25
Verlustbelag bei Höchstlast	W/m	2*625,9	2*698,6
Verlustbelag bei 1 A/mm ²	W/m	2*95,2	2*244,1

Tabelle 2: Kenngrößen von HVAC-Freileitungssystemen

(FTHENAKISA& KIMB 2009)

Analyse des Flächenverbrauchs von Energieträgern in Form einer Ökobilanz
 Biomasse 380,000 m² year/GWh
 Atomkraft/mit Lagerung Atom Müll 300,000 m² year/GWh (=30m²GWh x 10,000 years)
 Kohlekraft 1290 m² year/GWh (43 m²/GWh x 30 Jahre) bis 25,200 m²/GWh (840 m²/GWh x 30 Jahre)
 Fazit: PV braucht am wenigsten Fläche von den Erneuerbaren Energien und Biomasse am meisten; bei den konventionellen Energieerzeugungsformen verbraucht die Atomkraft die meiste Fläche; generell sollten bei den konventionellen Energieträgern indirekter Flächenverbrauch (Zerstörung von Ökosystemen, Bodenverschmutzungen, mögliche Folgen bei Unfällen) mit berücksichtigt werden



(ONAT&BAYAR 2010)

Betrachtung der verschiedenen Energieträger unter Nachhaltigkeitsaspekten
 Sustainability analysis of electrical energy production systems.

Technology	Unit energy cost	CO ₂ emissions	Availability	Efficiency	Fresh water consumption	Land use	Social influences		Total	Sustainability order
							External costs	External benefits		
Coal	2	8	5	5	7	3	8	7	45	8
Natural gas	3	7	6	2	6	2	6	6	38	6
Nuclear	1	1	8	3	8	1	1	8	31	2
Hydrogen (fuel cell)	7	6	7	4	4	4	5	5	42	7
Photovoltaic	8	3	1	8	2	5	4	2	33	4
Wind	6	2	2	6	1	8	3	1	29	1
Geothermal	5	5	4	7	5	6	2	4	38	5
Hydroelectric	4	4	3	1	3	7	7	3	32	3

(BBSR 2010)

Tabelle 3
Flächenbedarf zur Erzeugung einer Gigawattstunde Strom bzw. Wärme pro Jahr (in ha)

Erneuerbare Energie-Optionen	Flächenbedarf	
	Stromerzeugung (ha je GWh _{el} /a)	Wärmebereitstellung (ha je GWh _{th} /a)
Biomasse – Anbau	98	49
Biomasse – Reststoffe	148	74
Geothermie	18	2
Windenergie	7	–
Photovoltaik	6	–
Wasserkraft	n.b.*	–
Solarthermie	–	3
Umgebungswärme	–	3
Erdwärmesonden	–	11
Abwasserwärme	–	53

*) Wert nicht bekannt, da abhängig von lokalen Druck- und Durchflussvorgaben

Quelle: Eigene Darstellung nach BMVBS/BBSR (2009), S. 35

Tabelle 2
Anteil der installierten elektrischen Leistung nach siedlungsstruktureller Prägung

Siedlungsstrukturelle Prägung	Windenergie in %	Bioenergie in %	Konventionelle Kraftwerke ab 20 Megawatt in %
ländlich	70,31	60,67	14,40
teilweise städtisch	17,17	20,59	14,10
überwiegend städtisch	12,52	18,74	71,50
	100,00	100,00	100,00
Gesamte installierte elektrische Leistung	25 292 MW	2 189 MW	100 187 MW

Quelle: eigene Darstellung nach Betreiberdatenbasis, DBFZ und Umweltbundesamt (auf der Grundlage dieser regionalen Daten wurde auch die gesamte installierte Leistung berechnet und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

(SCHOLZ 2010)

Tabelle 3-1: REMix Input Übersicht

	Ressourcendaten	Flächenanalyse	Grundfläche / Verteilparameter	Nutzungsgrad der Grundfläche	Anmerkungen
Solarenergie: PV in Siedlungsgebieten	Global-Horizontal-Einstrahlung, Direkt-Normal-Einstrahlung [3]		Siedlungsfläche [4], [5]	Dächer: 0,775 % Fassaden: 0,48 % andere: 1,17 % [2]	Ausrichtungsvorteil in Anlehnung an [2]
Solarenergie: PV auf Freiflächen	Global-Horizontal-Einstrahlung, Direkt-Normal-Einstrahlung [3]	Schutzgebiete [6], Steigung > 2,1 %	Landwirtschaftliche Flächen [4], [5] Grünland [4], [5] Brach- und spär. bewachsene Fl. [4], [5]	0,03 % [2] 0,03 % [2] 33 % (NA) / 0,03 % (Eur)	Ausrichtung nach Süden, keine Nachführung
Solarenergie: CSP	Direkt-Normal-Einstrahlung [3]	Schutzgebiete [6], Steigung > 2,1 %	Brach- und spär. bewachsene Fl. [4], [5]	33 %	Ausrichtung in Nord-Süd-Richtung, Nachführung in Ost-West-Richtung, DNI > 1800 kWh/(m ² a)
Wind Onshore	Windgeschwindigkeit in 116 m Höhe [7]	Schutzgebiete [6]	Brach- und spär. bewachsene Fl. [4], [5]	33 %	
			Grünland [4], [5]	3 %	
			Strauchland [4], [5]	3 %	
			Mosaik (Gras/ Sträucher/ Bäume) [4], [5]	3 %	
			Landwirtschaftliche Flächen [4], [5]	3 %	
Wind Offshore	Windgeschwindigkeit in 116 m Höhe [7]	Schutzgebiete [6]	Wald [4], [5] Ges. ausschließl. Wirtschaftszone, 5 km Abstand von der Küste, Tiefe < 300m	0 % 16 %	
Geothermie	Temperaturen in 2, 3, 4, 5 km Tiefe [8], [9]	Schutzgebiete [6]	Alle Flächen	100 %; Potenzial abzüglich Geo.-KWK Potenzial	
Geothermie KWK	Temperaturen in 2, 3, 4, 5 km Tiefe [8], [9]	Schutzgebiete [6]	Wärmebedarfsdichte >= 4GWh/km ²	durch abs. Wärmebedarf begrenzt	Wärmebedarfskarte Europa, eigene Entwicklung
Laufwasserkraftwerke	Installierte Leistung [10], jährliches Stromerzeugungspotenzial, Volllaststunden [11]		Installierte Leistungen [10], theoretisches Wasserkraftpotenzial [12]	100 %	Top-down-Ansatz
Speicherwasserkraftwerke	Installierte Leistung [10], jährliches Stromerzeugungspotenzial, Volllaststunden [11]		Installierte Leistungen [10]	100 %	Top-down-Ansatz
Biomasse	Nationale Biomassepotenziale [13], [14], [15]	Schutzgebiete [6], Steigung > 60 %	Wald, landwirtschaftl. Flächen, Grünland, Siedlungsflächen [4], [5], Bevölkerungsdichte [16]		Top-down-Ansatz

Ländliche Räume übernehmen Energieversorgungsfunktion für urbane Räume;

	70% der installierten Windenergieleistung und 60% der installierten elektrischen Leistungen im Bereich Biomasse befanden sich 2009 im ländlichen Raum bei einem Anteil der EE von 10,4 % am Endenergieverbrauch in Deutschland; wenn 2020 ein Anteil von 19,6% geplant ist entsteht weiterer Koordinierungsbedarf; Stadt-, Regional- und Raumplanung müssen fachliche Aspekte der Energiebedarfs- und versorgungsplanung aktiv integrieren
--	--

Tab. 9: Überblick über ausgewählte Literatur zum Thema Flächenverbrauch von Energieproduktionstechniken (eigene Darstellung)

Exkurs: Transformation des Energiesektors- Eine zusammenfassende Auswertung aktueller Studien

Sowohl auf europäischer als auch nationaler Ebene sind schon vor geraumer Zeit sehr ambitionierte energie- und klimapolitische Ziele formuliert worden; diese Zielsetzungen sind aktuell noch einmal im Energiekonzept der Bundesregierung (Lit) und in der Energy Strategy 2020 der Europäischen Kommission bestätigt worden. All diese Konzepte und Strategiepapiere basieren auf dem grundlegenden Ansatz eines Übergangs zu einem CO₂-freien bzw. CO₂-armen Energie- und Wirtschaftssystem.

Es liegen in der Zwischenzeit zahlreiche Studien und Szenarien vor, in denen der Frage nachgegangen wird, ob, in welchem Zeitrahmen und unter welchen Bedingungen derartige Transformationsprozesse auch technisch machbar sind und wie die politisch-institutionellen und auch rechtlichen Rahmenbedingungen gestaltet sein müssten.

Die Studien unterscheiden sich nach dem räumlichen Geltungsbereich (national, Europa), den einbezogenen Sektoren (Volkswirtschaft insgesamt, Energiewirtschaft) oder auch unter methodischen Gesichtspunkten (Gleichgewichtsmodelle, Szenarien).

Die Studien sind sich im Wesentlichen darin einig,

- dass die klimapolitischen Vorgaben und CO₂-Reduktionsziele grundsätzlich erreichbar sind
- dass es eines langfristig ausgerichteten Konzepts bedarf, welches die strategischen Leitlinien formuliert
- es einen erheblichen Investitionsbedarf in neue Infrastrukturen gibt, die diesen Transformationsprozess stützen
- dass das Ziel nur erreicht werden kann, wenn alle Sektoren gleichermaßen in die Strategie miteinbezogen werden.

Zu unterschiedlichen Aussagen kommen die Studien mit Blick auf:

- den Zeitraum, in dem sich dieser Umbauprozess umsetzen lässt
- die Anpassungskosten dieses Transformationsprozesses, und
- auf die Rolle, die die fossilen Energieträger und auch die Kernenergie zumindest in der Übergangphase noch einnehmen werden.

Der Ausbau der Erneuerbaren Energien und deren Integration in das Energieversorgungssystem erfordern enorme Investitionen in die Netzinfrastrukturen und die Speicherkapazitäten. Bei der Umsetzung dieser Infrastrukturausbaupläne stellen sich nicht nur Fragen der Finanzierung, der Aufgabenverteilung zwischen privaten Unternehmen und dem Staat, sondern in ganz besonderer Weise nach der planerischen Umsetzung. Fehlende Flächenverfügbarkeit, lange Genehmigungsverfahren und Prüfschritte vor allem als Folge der mit den Vorhaben verbundenen Eingriffe in Natur und Landschaft und Verzögerungen durch massive Einwendungen von Seiten betroffener Bürger sind nur einige Ursachen. Der Monitoringbericht der EU-Kommission zur Umsetzung der bisherigen Energieinfrastrukturkonzepte hat ganz explizit auch diese Problematik herausgestellt.

In den meisten aktuellen Studien werden diese Probleme, wenn überhaupt, nur am Rande thematisiert. Von wenigen Ausnahmen abgesehen bleiben die meisten Arbeiten in ihren Empfehlungen eher vage und unverbindlich; in der Regel wird eine frühzeitige Einbindung der Bevölkerung und die Initiierung eines breit angelegten gesellschaftlichen Diskurses eingefordert, um so die Akzeptanz der Bevölkerung zu erhöhen.

In einigen Arbeiten wird das Thema der Raumrelevanz vor allem im Zusammenhang mit dem

Ausbau der Bioenergie thematisiert; dieser Energieform wird in allen Energieszenarien zwar eine bedeutende Rolle beigemessen, aufgrund der mit der Bioenergie verbundenen potentiellen negativen Implikationen werden hier aber eindeutig Potenzialobergrenzen vorgeschlagen.

Die EU Roadmap 2050 schlägt als eine Lösung die Schaffung sog. *pre-approved planning areas* vor, d.h. Gebiete, die etwa als Infrastrukturkorridore oder als Gebiete mit einem hohen Potenzial an Erneuerbaren Energien von zentraler Bedeutung sind, und in denen Projekte somit nicht mehr den aufwändigen projektspezifischen Genehmigungs- und Zulassungsverfahren unterworfen wären. Die EU Kommission hat in ihrem aktuellen Energy Infrastructure Package eine ähnliche Idee aufgegriffen und möchte für Projekte die als im europäischen Interesse deklariert worden sind, vereinfachte Genehmigungsverfahren zulassen. Ob dieser Ansatz erfolgversprechend ist, bleibt abzuwarten; es ist nicht davon auszugehen, dass gleichzeitig auch die inhaltlichen Vorgaben innerhalb dieser Verfahren reduziert werden können.

In der folgenden Übersicht sind einige der aktuellsten Studien dargestellt; sie wurden daraufhin ausgewertet, in welcher Form sie direkt oder indirekt raumrelevante Aspekte thematisieren.

Studie	Inhalt	Raumrelevanz
(FÜRSCH 2010)	Die Studie untersucht vor dem Hintergrund der energie- und klimapolitischen Zielsetzungen die Effizienzpotenziale, die sich bei einer Harmonisierung der nationalen Fördersysteme zum Ausbau der Erneuerbaren Energien ergeben würden. Im Bereich der Erneuerbaren Energien wird nicht an den Standorten investiert, wo die Stromgestehungskosten am geringsten sind, sondern dort, wo die staatliche Förderung am höchsten ist. Die sich daraus ergebende Diskrepanz zwischen vorteilhaften Standorten und installierten Kapazitäten führt zu einem Anstieg der Gesamtkosten für die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien. Die Studie untersucht die Auswirkungen auf das konventionelle Energieversorgungssystem und die Möglichkeiten einer Flexibilisierung des Energieversorgungssystems.	Eine Harmonisierung der Fördersysteme würde u.a. zu einer Konzentration der Erzeugungskapazitäten an bestimmten bevorzugten Standorten führen, in denen die Stromentstehungskosten am niedrigsten sind. Dies bedeutet vor allem einen Ausbau der Windenergie sowohl onshore als auch offshore im Bereich der Nordsee. Die Rückwirkungen einer solchen hohen, regional konzentrierten und wenig flexiblen Einspeisung von Strom aus Erneuerbaren Energien in das Elektrizitätssystem werden massiv sein. Notwendig wird ein massiver Ausbau der Netze, aber auch der Speicherkapazitäten. Die Studie verweist darauf, dass ein Netzausbau rechtzeitig erfolgen muss, um eine ausreichende Netzstabilität zu gewährleisten; die Voraussetzungen für diesen Infrastrukturausbau und auch die Kosten werden nicht weiter thematisiert.
(VDMA POWER SYSTEMS 2010)	Dieser Ausblick macht deutlich, dass zur Deckung des Strombedarfs sowie zur Erreichung der Klimaschutzziele in Europa auch weiterhin alle verfügbaren Energieträger und Energietechnologien benötigt werden, d.h. bis zum Jahre 2030 wird immer noch über die Hälfte der Stromproduktion von fossilen Kraftwerken bzw. von Kernkraftwerken bereitgestellt werden. Die Studie geht jedoch insgesamt von massiven Veränderungen im Strommix in Richtung Erneuerbare Energien aus; verweist aber darauf, dass für die Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele die entsprechenden politisch- rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen.	Die Studie verweist auf den enormen Investitionsbedarf im Bereich der Netz- und Speicherinfrastruktur: Planung und Neubau von Kraftwerkskapazitäten werden vor allem von wirtschaftlichen Faktoren, wie z.B. günstigen Anlandungsmöglichkeiten für Kraftwerkssteinkohle, günstiger Anbindung an Gaspipelines oder dem Ausbau der Offshore-Windenergie bestimmt, weniger dagegen von der regionalen Verteilung der Last- und Verbrauchszentren. Dies wird auch zur Folge haben, dass mit einer Erhöhung der durchschnittlichen Entfernung zwischen Erzeugungs- und Last- bzw. Verbrauchszentren zu rechnen ist. Die Studie hebt als besondere Herausforderung für den Umbau des Energiesystems explizit die wachsenden Probleme bei der planerischen Umsetzung der Infrastrukturvorhaben hervor und fordert ein verstärktes Werben für die Veränderungsnotwendigkeiten
(EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL (EREC)&CLIMATE)	Die Studie befasst sich explizit mit den infrastrukturellen Anforderungen eines Umbaus des Energiesystems; sie	Bei der Planung neuer Netzverbindungen soll soweit wie möglich auf vorhandene Infrastrukturen zurückgegriffen

<p>&ENERGY UNIT GREENPEACE INTERNATIONAL 2009)</p>	<p>verweist darauf, dass eine sichere und leistungsfähige Energieversorgung auf der Basis von Erneuerbaren Energien möglich ist, aber das bestehende Energienetz in den meisten Industrieländern in der Zwischenzeit über 40 Jahre alt ist und den veränderten Anforderungen nicht gerecht wird.</p> <p>Zur Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele und zur Integration der Erneuerbaren Energien plädiert die Studie für den Ausbau eines länderübergreifenden Hochspannungsnetzes (super highway) und parallel dazu für ein flächendeckendes smart grid System. Der Netzausbau soll dabei abgeleitet werden aus einer Energiestrategie, die auf Erneuerbare Energien und Nachhaltigkeit setzt; der Ausbau und die Nutzung der Netze soll somit eng mit den energiepolitischen Zielen verknüpft werden, um zu verhindern, dass über die Erweiterung der Netzkapazitäten in erster Linie die Einsatzbedingungen für die konventionelle Energieerzeugung gestärkt werden.</p>	<p>werden.</p> <p>Wo dies nicht möglich ist, sollte bei einem Neubau vor allem der Umweltaspekt zentral sein, wobei ein umfassender Analyseansatz angewandt werden muss, um Umfang und Intensität der Eingriffe in Natur und Landschaft zu minimieren. Es ist sicherzustellen, dass alle Anforderungen im Rahmen umfassender Umweltverträglichkeitsprüfungen abgedeckt werden. Die Erdkabel-Option sollte ebenso wie alle anderen Alternativen geprüft werden. Ökologische Kriterien sollten gegenüber wirtschaftlichen Interessen Vorrang haben. Grundsätzlich sollte einer Erdverkabelung gegenüber Freilandleitungen der Vorzug gegeben werden.</p>
<p>(GREENPEACE INTERNATIONAL&EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL (EREC) 2010)</p>	<p>Die Studie analysiert Möglichkeiten und Grenzen eines Umbaus der weltweiten Energieversorgung anhand von Szenarien; sie zeigt technische Entwicklungspfade auf, wonach bis 2050 rd. 80% der Primärenergienachfrage durch Erneuerbare Energien gedeckt werden kann. Die Studie diskutiert die Voraussetzungen, die gegeben sein müssen, um diese technischen Visionen auch umsetzen zu können; sie entwickelt ein Modell, mit denen die enormen Kosten dieses Systemwechsels im globalen Kontext gerecht verteilt werden können, wobei in die Berechnung der Finanzierungsanteile sowohl der Beitrag der Länder zum Klimawandel als auch ihre Zahlungsfähigkeit Eingang finden.</p>	<p>Die Studie geht nicht explizit auf die räumlichen und planerischen Implikationen ein. Verwiesen wird auf den hohen Investitionsbedarf im Bereich der Netzinfrastrukturen (smart grids und Hochspannungsnetze); besonderer Schwerpunkt liegt auf dem Aufbau dezentraler Strukturen; damit werden nicht nur Energieverluste reduziert sondern auch die Notwendigkeit, große Entfernungen zu überbrücken.</p>
<p>(VDI 2010)</p>	<p>Der VDI sieht im Übergang zu einem neuen Energiesystem eine große Chance für die deutsche Wirtschaft und für weiteres Wirtschaftswachstum. Der VDI empfiehlt, ambitionierte Ziele für die</p>	<p>Politik muss Akzeptanz bei der Bevölkerung schaffen und die Bevölkerung davon überzeugen, dass in der Übergangsphase auf ein neues System der Bau neuer Anlagen sowohl im fossilen als auch im erneuerbaren</p>

	<p>Klimagasreduktion und die Senkung des Energieverbrauchs vorzugeben, aber keinen bestimmten Technologiemit festzuschreiben. Die Erreichung der Ziele muss technikoffen sein, denn niemand kann die technischen, wirtschaftlichen und sozialen Entwicklungen über Jahrzehnte verlässlich vorhersagen. Das Energiesystem muss so flexibel gestaltet werden, dass es sich an unerwartete neue Bedingungen anpassen kann...</p> <p>Der VDI hält unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen und technischen Aspekten bis Anfang der Zwanziger Jahre einen Anteil aller Erneuerbaren Energien von bis zu 30 % an der Stromerzeugung für realisierbar. Das Ziel, den Strombedarf in Deutschland ganz oder überwiegend durch Erneuerbare Energien decken zu können, lässt sich nach Ansicht des VDI nicht innerhalb weniger Dekaden realisieren...</p> <p>Im Energiemix werden mittelfristig auch die Kernenergie und die fossilen Energieträger eine wichtige Rolle spielen. Wie lange sie zur Sicherung der Energieversorgung in welcher Höhe erforderlich sind, ist heute nicht seriös vorauszusagen. Ziel muss es deshalb sein, die Wirkungsgrade der Kohle- und Gaskraftwerke weiter zu steigern, um ihren Einsatz klimaverträglich verantworten zu können. Parallel dazu spricht sich der VDI für die Entwicklung von Verfahren zur Abscheidung und Speicherung von CO₂ (CCS-Technologien) aus.</p> <p>Der VDI sieht die zahlreichen Energiestudien der jüngsten Zeit nicht unkritisch; er wendet sich dagegen, detaillierte, technikscharfe Energieversorgungsstrukturen für Jahrzehnte in der Zukunft liegende Zeitpunkte vorzugeben.</p>	<p>Bereich notwendig ist.</p> <p>Viele aktuelle Planungen werden eher als unrealistisch im vorgegebenen Zeitrahmen angesehen: dies gilt auch für den Bau neuer Hochspannungsleitungen bei unterstellten europaweitem Austausch der Energiemengen.</p> <p>Bei dem Bau von Prototypenanlagen muss sichergestellt werden, dass damit nicht gleichzeitig der Weg in ein bestimmtes Modell der Energieversorgung vorgegeben wird und alle Alternativen ausgeschlossen werden.</p>
<p>(SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (SRU) 2010)</p>	<p>Die im Auftrag des SRU erstellten Energieszenarien zeigen, dass eine vollständig regenerative Stromversorgung in Deutschland in unterschiedlichen Varianten möglich ist; nach Einschätzung des SRU ist</p>	<p>Der Ausbau der Netze, sowohl innerhalb Deutschlands als auch grenzüberschreitend, stellt nach Einschätzung des SRU die größte Herausforderung für den Übergang zur regenerativen Stromversorgung dar und muss mit großer</p>

	<p>eine vollständig regenerative Stromversorgung für Deutschland im Jahr 2050 auch ökonomisch vorteilhaft, dies gilt vor allem bei einer Abkehr von einer rein nationalen Lösung hin zu einer zumindest regionalen Verbundlösung (vor allem Integration in das nordische Verbundsystem).</p> <p>Nach den Analysen des SRU sind daher weder Laufzeitverlängerungen bei Atomkraftwerken noch der Bau neuer Kohlekraftwerke mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung als Brückentechnologien notwendig.</p> <p>Der vom SRU vorgeschlagene Umbau des Energiesystems erfordert klare politische Strategien, aus denen sich die Prioritäten für die Politik der nächsten Jahre ableiten lassen. Die Formulierung einer solchen Strategie für den Übergang soll nicht nur für mehr Transparenz sorgen sondern für die Unternehmen auch hinreichende Planungssicherheit für ihre Investitionen bieten.</p>	<p>Dringlichkeit vorangetrieben werden. Angesichts langer Vorlaufzeiten von Netzausbauprojekten sollte umgehend mit den Planungen für den Übertragungsnetzausbau für strategisch besonders bedeutsame Trassen begonnen werden.</p> <p>Der rechtzeitige Ausbau der notwendigen Übertragungs- und Speicherkapazitäten ist eine zentrale Erfolgsbedingung für die Umstellung der Stromversorgung auf Erneuerbare Energien.</p> <p>Als zentrale Voraussetzung dafür sieht der SRU in der Initiierung eines gesellschaftlichen Diskurses, um damit eine breite gesellschaftliche Unterstützung für die notwendigen investiven Maßnahmen zu erlangen.</p>
<p>(EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL (EREC)&GREENPEACE 2010)</p>	<p>Bis 2050 kann über 90% des Energiebedarfs in Europa aus Erneuerbaren Energien stammen. Die Studie zeigt aufbauend auf mehreren Szenarien unterschiedliche Entwicklungspfade auf und benennt die ökonomischen, technischen und regulativen Rahmenbedingungen für einen derartigen Transformationsprozess. Ausführlicher geht die Studie auf die verschiedenen politischen Maßnahmen auf nationaler und europäischer Ebene ein, mit denen der Umbau des Systems gefördert bzw. vorhandene Barrieren abgebaut werden.</p>	<p>Die räumlichen Implikationen werden nur am Rande thematisiert. Mit Blick auf den Ausbau der Netzinfrastruktur wird die Beseitigung komplexer Genehmigungsverfahren und bürokratischer Hürden eingefordert. Gleichzeitig wird eine Verbesserung der Informationslage und der Beratung u.a. von lokalen und regionalen Genehmigungs- und Zulassungsbehörden und von Raumplanern eingefordert.</p>
<p>(PROGNOS AG&ÖKO-INSTITUT 2009)</p>	<p>Sehr detaillierte Analysen der wirtschaftlichen und technischen Rahmenbedingungen eines Umstiegs auf ein weitestgehend CO₂-freies Wirtschaftssystem bis zum Jahre 2050. Untersucht werden nicht nur die Anpassungsprozesse in der Energiewirtschaft sondern auch die Energieeffizienz- und Umbaupotenziale in den Sektoren Verkehr, Industrie und Gebäudebestand. Die Studie zeigt anhand von drei Szenarien, dass dieser</p>	<p>Die Studie befasst sich zum Teil sehr differenziert und detailliert mit den Anpassungsprozessen in den verschiedenen Sektoren und geht daher auch an einigen Stellen auf räumliche Implikationen ein.</p> <p>Im Hinblick auf den notwendigen Ausbau der Infrastrukturen für die Umgestaltung des Energiesystems betont die Studie die langen Vorlaufzeiten und hebt als besonderes Problem die erheblichen Unsicherheiten</p>

Übergang technisch machbar ist. Wichtig ist vor allem der Hinweis, dass ohne einen massiven Ausbau der Erneuerbaren Energien das angestrebte Ziel nicht erreichbar ist. Sie beschreibt dabei im Detail die erforderlichen Veränderungen in der Energie- und Klimapolitik sowie die notwendigen infrastrukturellen Voraussetzungen für diesen Transformationsprozess. Die Vorschläge für eine konsistente Klimaschutzpolitik in lang- und mittelfristiger Perspektive werden ausführlicher für die verschiedenen Sektoren beschrieben. Insbesondere bei Investitionen in langlebige Infrastrukturanlagen gilt die Vermeidung von lock – in Effekten und Pfadabhängigkeiten als wichtige Anforderung

hervor, unter denen diese Infrastrukturen geplant und vorangetrieben werden müssen. Die Studie leitet daraus die Notwendigkeit einer erhöhten staatlichen Verantwortung und Zuständigkeit ab.

In diesem Zusammenhang verweist die Studie auch auf die notwendige unterstützende Akzeptanz des erforderlichen Umstrukturierungsprozesses innerhalb der Bevölkerung und die Notwendigkeit einen breiten gesellschaftlichen Diskussionsprozess zu initiieren und zu begleiten.

In der Biomasse wird ein wichtiger Baustein einer neuen Energie- und Klimapolitik gesehen, gleichzeitig wird aber auch auf die besondere ökologische Problematik verwiesen, so dass in den Ausbauszenarien für Erneuerbare Energien an dieser Stelle eine Potenzialbeschränkung vorgegeben wird.

Neben einem sog. CCS-Entwicklungsplan für Deutschland sollen die wichtigsten Grundlagen für den erforderlichen Netzausbau in einem „Deutschen Energieinfrastruktur-Umbau-Programm“ dargelegt werden, das unter Berücksichtigung zusätzlicher Anforderungen (Biomethan Einspeisung, Speicherkapazitäten) als eine Art Roadmap dienen soll; das Programm soll auch Hinweise auf die Infrastruktursegmente geben, die öffentlichen Gutscharakter haben und für die dann der Staat eine wichtige Funktion übernehmen soll; die Studie spricht sich in diesem Zusammenhang auch für erweiterte Kompetenzen der Regulierungsbehörden aus, ohne dies dann jedoch zu konkretisieren.

Mit Blick auf die Rolle der Landwirtschaft, die Landnutzung und deren Implikationen für den Klimawandel greift die Studie bereits aus anderen Diskursen bekannte Forderungen auf: Für die Futtergetreideproduktion nicht mehr benötigte landwirtschaftliche Nutzflächen sollen so eingesetzt werden, dass sie unter Klimaschutz Gesichtspunkten zu keiner zusätzlichen Belastung führen, sondern im günstigsten Fall auch Treibhausgasemissionen binden können (ökologischer

(FORSCHUNGSVERBUNDS
ERNEUERBARE ENERGIEN 2010)

Die Studie formuliert ein Konzept für ein deutsches Energieversorgungssystem im Jahr 2050, das auf 100% Erneuerbaren Energien basiert. Das Energiekonzept 2050 versteht sich als ein Beitrag zum Energiekonzept der Bundesregierung. Es schließt den künftigen Energiebedarf aller Nutzungsbereiche ein: Strom, Wärme und Kraftstoff.

Das Energiekonzept 2050 zeigt, mit welchen technologischen Komponenten eine Versorgung mit 100% Erneuerbaren Energien nachhaltig, kostengünstig und versorgungssicher möglich ist. Es beschreibt zudem ausführlich, welche technologischen Transformationsprozesse zur Realisierung des Konzepts notwendig sind und wie solche Prozesse angestoßen werden können.

Die Studie kommt u.a. zu dem Ergebnis, dass ein solches Energiesystem bei optimaler Auslegung volkswirtschaftlich nicht teurer ausfällt als das gegenwärtige.

Die Realisierung des Energiekonzeptes 2050 erfordert die Transformation des Energiesystems von einer zentralen, lastoptimierten hin zu einer dezentralen, intelligenten, last- und angebotsorientierten Energieversorgungsstruktur. Ergänzt wird die dezentrale Erzeugung durch den Aufbau eines Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsnetzes

Landbau, Agrarumweltpolitik, Retentionsflächen etc.)- Insbesondere die Senkenfunktion der Fortwirtschaft ist durch geeignete Maßnahmen zu fördern. Der Flächenschutz ist als Voraussetzung für die Gewährleistung von Zahlungen aus den Agrarfonds festzusetzen.

Der Anteil des ökologischen Landbaus soll auf 25 % bis 2030 ausgedehnt werden. Gleichzeitig ist der Flächenverbrauch entsprechend der Vorschläge der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie bis 2030 auf 30 ha pro Tag zu reduzieren.

Die Studie fordert eine stärkere Einbindung der Öffentlichkeit in den Planungen; raumrelevante Implikationen der Umsetzung des Konzepts werden nicht thematisiert.

<p>(EUROPEAN CLIMATE FOUNDATION 2010)</p>	<p>(HGÜ) in Europa und Nordafrika.</p> <p>Eine der wichtigsten Studien in Vorbereitung der von der EU geplanten langfristigen Energiestrategie. Diese Studie untersucht verschiedene „Dekarbonisierungs“ Szenarien aufbauend auf einer back – casting Methode. Die Studie unterstellt eine „zero carbon“ Energiewirtschaft für das Jahr 2050 und zeigt dann die Wege auf, die ausgehend von dem jetzigen Zustand dieses Endziel erreichen können. Analysiert werden dabei vor allem auch die Kosten dieses Umstiegs auf CO₂-freie Energietechnologien und energieeffiziente Entwicklungspfade.</p> <p>Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass bei jeder der untersuchten CO₂-freien/armen Pfade, in denen Anteile von 40%, 60%, 80% oder 100 % Erneuerbarer Energien unterstellt werden, die zukünftigen Kosten der Elektrizitätsproduktion vergleichbar mit denen sind, die sich unter einer Fortsetzung der bisherigen fossilen Energieerzeugungsstruktur ergeben würden. Die erforderlichen Investitionen und den Einsatz verfügbarer Effizienz-Technologien unterstellt wird auch in allen Szenarien, dass ein gleiches Maß an Versorgungssicherheit erreicht wird.</p> <p>Abgesehen von den bestehenden Wasserkraftwerken wird fast die gesamte Energieerzeugungskapazität, die erforderlich ist, um im Jahre 2050 Europa mit Energie versorgen zu können, in den nächsten 40 Jahren neu errichtet werden müssen. Dies ist die zentrale Herausforderung und zwar unabhängig vom unterstellten Energieträgermix. Zusammenfassend kommt die Untersuchung zu dem Ergebnis, das die Investitionsanforderungen in allen zero-bzw. low-carbon Szenarien aber auch bei der Fortsetzung der bisherigen Energiestrategie weitgehend gleich sein werden und damit auch die Kosten, die auf die Bürger und die Wirtschaft Europas zukommen.</p> <p>Die wesentlichen Änderungen zeigen sich in dem</p>	<p>Die Studie arbeitet detailliert den Bedarf an neuer Netzinfrastruktur und neuen Speicherkapazitäten heraus; sie verweist darauf, das neben einer weitgehend noch ungeklärten Finanzierung vor allem die Genehmigungsverfahren die entscheidende Hürde für die Realisierung der Roadmap darstellt. Die Genehmigungsverfahren variieren zwischen den Regionen und Staaten der Europäischen Union beträchtlich; in der Regel sind erhebliche Verzögerungen und hohe Kostenbelastungen damit verbunden. Die Ursachen sind oft darin zu sehen, dass mehrere Institutionen auf unterschiedlichen Ebenen zuständig sind, die Anforderungen nicht immer klar definiert sind und es keine zeitlichen Vorgaben gibt.</p> <p>Die Studie führt als Idee sog. pre-approved planning areas ein, d.h. Gebiete für low carbon assets; dabei kann es sich sowohl um Gebiete handeln, die unter dem Gesichtspunkt der Ressourcenpotenziale bedeutsam sind als auch für kritische Infrastrukturen. Ein solcher Ansatz könnte die Zivilgesellschaft mit einbinden und auch die extrem zeitaufwändigen fallbezogenen Planungen umgehen.</p> <p>Die Mitgliedsstaaten sollten aber gleichzeitig dafür Sorge tragen, dass die jeweiligen lokalen und regionalen Planungsprozesse den neuen Herausforderungen angepasst sind, um Planungsprozesse zu beschleunigen, ohne dabei die Möglichkeit einer Partizipation lokaler und regionaler Stakeholder zu beeinträchtigen.</p>
---	--	---

(KLAUS 2010)

erforderlichen Investitionslevel in den frühen Phasen des Zyklus. Die Investitionen in die Energieinfrastruktur werden in den nächsten 15 Jahren um 50-100% ansteigen müssen, soll ein CO₂-freier Energiesektor bis 2050 erreicht werden. Neben der Frage nach den erforderlichen technischen Lösungen und der Analyse der ökonomischen Implikationen befasst sich die Studie auch mit den notwendigen politisch-institutionellen Änderungen.

Um bis 2050 die Treibhausgasemissionen um 80 bis 95% zu verringern, muss vor allem die Stromversorgung umgestaltet werden. Der Energiesektor ist derzeit für mehr als 80% der Emissionen in Deutschland verantwortlich.

Die Studie zeigt, dass eine vollständig auf Erneuerbaren Energien beruhende Stromerzeugung im Jahr 2050 in Deutschland als hoch entwickeltem Industrieland mit heutigem Lebensstil, Konsum- und Verhaltensmuster technisch möglich ist.

Eine vollständig auf regenerativen Energien basierende Stromversorgung im Jahr 2050 ist nach den Berechnungen auch ökonomisch vorteilhaft.

Auch die Versorgungssicherheit ist auf dem hohen gegenwärtigen Niveau zu gewährleisten.

Wichtige Voraussetzung für eine solche Stromversorgung ist, dass zugleich die vorhandenen Einsparpotentiale beim Stromverbrauch weitgehend erschlossen werden, und dass es zu einem entsprechenden Ausbau der Netzinfrastrukturen kommt.

Die Studie skizziert sehr detailliert den erforderlichen Handlungsbedarf in den verschiedenen Sektoren.

Die Studie basiert auf einem globalen Energieszenario von ECOFYRS bis zum Jahre 2050. Darin wird aufgezeigt, dass unter bestimmten Annahmen (u.a. massive Steigerung der Energieeffizienz) eine

Die Studie geht ganz explizit auf die planerischen Umsetzungsbedingungen eines solchen Transformationsprozesses ein und plädiert für eine Anpassung der Raumordnung, um diesen Übergang auf ein anderes Energiesystem zu fördern.

Konkret fordert die Studie u.a. die Integration der neuen Herausforderungen in lokale und regionale Energieentwicklungskonzepte; die Schaffung und Sicherung von Windvorranggebieten; die Nutzung von bislang unbesiedelten Bereichen wie Wälder, Infrastrukturtrassen und Konversionsflächen für den Ausbau der Erneuerbaren Energien; einen Ausbau der Erneuerbaren Energien unter Berücksichtigung der ökologischen Anforderungen und die Schaffung von mehr Transparenz und einem öffentlichen Diskurs, um damit eine breite Unterstützung der Bevölkerung für einen Umbau zu erlangen.

Neu ist daneben der Vorschlag, eine unterirdische Raumordnung zu entwickeln, um somit die im Zuge des Umbaus entstehenden diversen Nutzungsansprüche an den Untergrund besser koordinieren zu können (Geothermie, Endlagerung, Gas- und CO₂-Speicherung, Erdverkabelung etc.)

Der Bericht geht explizit auf das Thema der Landnutzung ein und sieht vor allem in der Standortfestlegung der Energieinfrastrukturen ein besonderes Problem: „Right technologies in the right place“

	vollständige Deckung des weltweiten Energiebedarfs bis zum Jahre 2050 aus Erneuerbaren Energien technisch möglich ist. Der auf diesen Szenarien aufbauende Bericht geht dann ausführlich auf die hohen ökonomischen, politischen, institutionellen und ökologischen Herausforderungen ein, die mit einem solchen Transformationsprozess verbunden sind.	Von besonderer Bedeutung ist das Thema. Bioenergie und Landnutzung; diese Problematik und mögliche Lösungsansätze nehmen in der Darstellung den größten Raum ein.
--	---	---

Tab. 10: Übersicht über aktuelle Energie-Studien (eigene Darstellung)

Klimawandel mit Auswirkungen auf die Energiewirtschaft	Klimafolgen mit Auswirkungen für die Energiewirtschaft		Mögliche Klimaanpassungsmaßnahmen der Energiewirtschaft
	Folgen für den Energieverbrauch	Folgen für die Produktion	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Zunahme der Jahresmitteltemperatur, ➤ Zahl der Sommertage und tropischen Nächte; ➤ Abnahme der Frost- und Eistage; ➤ Anstieg der Wassertemperatur 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Senkung des Bedarfs an Heizenergie ➤ Anstieg des Bedarfs an Kühlenergie ➤ Erhöhung des Energieverlusts in den Leitungen 	<p>Konventionelle Produktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Einschränkung der Energieproduktion aufgrund von Wärme ➤ Kühlwasser steht in warmen Monaten nicht ausreichend zur Verfügung <p>Erneuerbare Energien:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Solar- und Windkraftanlagen: Einschränkung der Energieproduktion aufgrund von Wärme ➤ Nachwachsende Rohstoffe: Fehlendes Wasser für den Anbau von Energiepflanzen in den Sommermonaten → verkürzte Anbauphase 	<p>Konventionelle Produktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Neue Isolierungskonzepte für Kraftwerksbauten ➤ Es müssen Kühltürme gebaut werden → erhöhter Flächenbedarf ➤ Leistung von flusswassergekühlten Kraftwerken muss reduziert werden
<p>Zunahme der Jahresregenmenge mit Zunahme Niederschläge im Winter und Abnahme der Niederschläge im Sommer</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Erhöhter Energiebedarf im Winter zur Entwässerung 	<p>Erneuerbare Energien:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Fehlendes Wasser für den Anbau von Energiepflanzen in den Sommermonaten → verkürzte Anbauphase ➤ Erhöhter Niederschlag in den Wintermonaten → trotz milderer Winter kann die Anbauphase von Energiepflanzen nicht verlängert werden, da die Böden zu feucht sind ➤ Bei zu niedrigem Wasserstand in heißen Sommermonaten können Wasserkraftwerke nicht bzw. nicht mit voller Auslastung betrieben werden 	<p>Konventionelle Produktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Verstärkung des Abwassernetzes für verstärkte Niederschläge → erhöhter Flächenbedarf ➤ Notwasseranschlüsse bei Trockenheit für Kraftwerke

Zunahme der mittleren und maximalen Windgeschwindigkeiten		Erneuerbare Energien: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Verbesserte Produktionsbedingungen für Windkraftanlagen auch an küstenfernen Standorten ➤ Energiepflanzen: erhöhte Bodenerosion führt zu Einschränkungen in der Produktion → erhöhter Flächenbedarf 	Erneuerbare Energien: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ausbau von Windkraftanlagen → erhöhter Flächenbedarf
Abnahme der Schneemenge, der Schneebedeckung und der Schneetage	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Geringerer Energieverbrauch im Winter 	Erneuerbare Energien: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Verbesserte Produktionsbedingungen für Photovoltaikanlagen (mehr Produktionstage) 	
Abnahme der Sonnenscheindauer bei nahezu unveränderter prozentualer Bedeckung		Erneuerbare Energien: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Verringerung der Energieproduktion für Solaranlagen 	
Meeresspiegelanstieg	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Erhöhter Energieverbrauch für den Betrieb von Entwässerungsanlagen, Pumpen, Sielen 	Erneuerbare und konventionelle Energieproduktion: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Energieproduktionsanlagen müssen vor dem steigenden Wasserspiegel geschützt werden 	Erneuerbare und konventionelle Energieproduktion: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Verstärkung der Küstenschutzmaßnahmen → erhöhter Flächenbedarf und Verlust von Fläche ; Aufgabe von Standorten
Extremwetterereignisse	Folgen für die Produktion		Anpassungsmaßnahmen

<p>Stürme, Blitzschlagzunahme, Starkregentage</p>	<p>Konventionelle und Erneuerbare Energieproduktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Stürme und Blitzeinschläge können Leitungsnetze beschädigen und die Elektrizitätsübertragung und –verteilung gefährden ➤ Einrichtungen zur Umwandlung von Energie sowie zum Energietransport und Energieversorgung werden beeinträchtigt → Angebotsverknappungen, Energiepreissteigerungen, Versorgungsstörungen <p>Erneuerbare Energien:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ On- und Offshore-Windkraftanlagen sowie Solarkraftanlagen sind als Bauten gefährdet ➤ Hagel und Starkregen können die Energiepflanzen zerstören 	<p>Konventionelle und Erneuerbare Energieproduktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Hoher Anteil von Kabelstrecken zum Schutz gegen Starkwind → erhöhter Flächenbedarf <p>Erneuerbare Energien:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Anpassung und Sicherung der Bauten vor Extremwetterereignissen → erhöhter Flächenbedarf
<p>Dürren</p>	<p>Erneuerbare Energien:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ernteeinbußen bei Energiepflanzen 	<p>Erneuerbare Energien:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Umstellung des Anbaus auf unempfindliche Pflanzen; Einführung neuer Arten; Umstellung auf Gülle ➤ Ausbau des Imports von Energiepflanzen für die Ausfallmonate
<p>Hoch- und Niedrigwasser</p>	<p>Konventionelle Produktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Rohstoffversorgung über Häfen kann durch Hoch- oder Niedrigwasser erschwert werden 	<p>Konventionelle Produktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ausbau der Hafen- und Küstenschutzanlagen zur Sicherung der Rohstoffversorgung → erhöhter Flächenbedarf

Tab. 11: Klimawandel, zu erwartende Klimafolgen sowie Klimaanpassungsmaßnahmen der Energiewirtschaft und die Auswirkungen auf die Fläche (Quelle: eigene Darstellung; Textquelle teilweise (BUNDESREGIERUNG 2008))

Übersicht über Konventionelle Energieerzeugung, -verbrauch und -infrastruktur

Information	Quellen und Anmerkungen
Umspannwerke	http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Schaltanlagen_im_H%C3%B6chstspannungsnetz_in_Deutschland (zuletzt abgerufen am 23.06.2011) (VDE 2010) (EWE NETZ 2010b)
Hafenstandorte	http://www.nports.de/ (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
Erdgasaufbereitungsanlagen	(EXXON MOBIL 2009a)
Energieintensive Unternehmen	(EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY 2011a); hiervon ein Auszug aller aufgelisteten energieintensiven Unternehmen der MP HB-OL
Raffinerien mit Öllager	http://www.conocophillips.de/EN/Pages/default.aspx (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
Ersatzbrennstoffkraftwerke/ Müllverbrennungsanlagen	(NABU 2009)
Kavernenspeicher, Porenspeicher	(LANDESAMT FÜR BERGBAU ENERGIE UND GEOLOGIE 2010) (WIRTSCHAFTSVERBAND ERÖL- UND ERDGASGEWINNUNG E.V. 2011) (EWE NETZ 2009) (SEDLACEK 2009)
Atomkraftwerke	(EON 2008)
Kohlekraftwerke	http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Kraftwerken (zuletzt abgerufen am 23.06.2011) (BUND 2010)
Gaskraftwerke	http://www.eon-kraftwerke.com/pages/ekw_de/E.ON_Kraftwerke/Standorte/index.htm (zuletzt abgerufen am 23.06.2011) http://www.swb-gruppe.de/popups/gas-dampfturbinen-kraftwerk.php (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
Ölpipelines	Raumordnungsprogramme der Landkreise (METROPOLE NORDWEST 2011)
Gasleitungen	Raumordnungsprogramme der Landkreise (METROPOLE NORDWEST 2011)
220-kV-Leitungen	(DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (DENA) 2006) (VDE 2010) E.ON Ruhrgas AG Übersichtsplan Erdgasleitungen in Deutschland http://www.eon-ruhrgas.com/cps/rde/xchg/SID-18772DA7-AAB9F46F/er-corporate/hs.xsl/678.htm (zuletzt abgerufen am 23.06.2011) Raumordnungsprogramme der Landkreise (METROPOLE NORDWEST 2011)

380-kV-Leitungen	(DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (DENA) 2006) (VDE 2010) E.ON Ruhrgas AG Übersichtsplan Erdgasleitungen in Deutschland http://www.eon-ruhrgas.com/cps/rde/xchg/SID-18772DA7-AAB9F46F/er-corporate/hs.xsl/678.htm (zuletzt abgerufen am 23.06.2011) Raumordnungsprogramme der Landkreise(METROPOLE NORDWEST 2011)
Wasserkraftwerk	(WESERKRAFTWERK BREMEN GMBH 2008)
Erdöl- und Erdgasvorkommen	(U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION 2011) (WIRTSCHAFTSVERBAND ERÖL- UND ERDGASGEWINNUNG E.V. 2011) (EXXON MOBIL 2009b) (LANDESAMT FÜR BERGBAU ENERGIE UND GEOLOGIE 2010)
Schutzgebiete	Shape-Dateien http://www.mu.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=2296&psmand=10 (zuletzt abgerufen am 27.06.2011)
Bildungseinrichtungen, Netzwerke und Netzbetreiber in der MP HB-OL	
Information	Anmerkungen
Bioenergie Südoldenburg	(AGRAR+ERNÄHRUNGSFORUM OLDENBURGER MÜNSTERLAND 2008)
OLEC	Oldenburg Energiecluster http://www.energiecluster.de/ (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
Windenergie Agentur	Windenergieagentur Bremerhaven/Bremen e.V. http://www.windenergie-agentur.de/deutsch/die_wab/profil.html?navId=9 zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
Hansa Energy Corridor	Netzwerk aus OLEC, Ems-Achse und Energy Valley (Niederlande) http://www.nwzonline.de/Aktuelles/Wirtschaft/Nachrichten/NWZ/Artikel/2531192/OLEC-im-Hansa-Energy-Corridor.html (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
DEWI/ DEWI-OCC Cuxhaven	http://www.dewi.de/dewi/index.php?id=1&L=1 bzw. http://www.dewi-occ.de/ (beide zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
EWE-Forschungszentrum Next Energy	EWE-Forschungszentrum für Energietechnologie http://www.next-energy.de/ (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
ForWind	ForWind-Zentrum für Windenergieforschung der Universitäten Oldenburg, Hannover und Bremen http://www.forwind.de/forwind/index.php (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
Fraunhofer-Institut (IFAM)	Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM http://www.ifam.fraunhofer.de/ (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
Fraunhofer-Institut (IWES)	Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik http://www.iwes.fraunhofer.de/ (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
ICBM	Institut für Chemie und Biologie des Meeres Oldenburg (ICBM) http://www.icbm.de/ (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
OFFIS	Oldenburger Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Informatik - Forschungsbereich Energie

	http://www.offis.de/f_e_bereiche/energie.html (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
Bremer Energie Institut	http://www.bremer-energie-institut.de/ (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
E-Mobilität	Modellregion Elektromobilität Bremen/Oldenburg http://www.personal-mobility-center.de/ (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
Netzbetreiber EWE	(EWE NETZ 2010a) (EWE NETZ 2009)
Netzbetreiber SWB	https://www.swb-netze.de/netzanschluss/bremen.php (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
Netzbetreiber Stadtwerke DEL	http://www.swd-del.de/html/swd/Netznutzung/Netzstrukturdaten.html (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
Netzbetreiber Stadtwerke WHV	http://www.gew-wilhelmshaven.de/index.php?page=unternehmen.versorgungsgebiet (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
Erneuerbare Energien in der Metropolregion HB-OL	
Information	Quellen
Solarpark	Solarpark Schwenge/Glandorf: http://www.glandorf.de/aktuelles/0000009def08cd401.htm ; zuletzt abgerufen am 23.06.2011) Solarpark LK Cuxhaven: http://www.ife-eriksen.de/presse/items/eriksen-gruppe-errichtet-solarpark-bei-cuxhaven.html?page=2 (zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
Offshore-Hafen	(ZENTRALVERBAND DER DEUTSCHEN SEEHAFENBETRIEBE 2011) (http://www.zds-seehafen.de/offshore_hafenatlas.html zuletzt abgerufen am 23.06.2011)
Biogasanlagen	(NORD/LB 2010) (3N KOMPETENZZENTRUM 2010) (NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT VERBRAUCHERSCHUTZ UND LANDESENTWICKLUNG 2010)
Windenergie	(SENATOR FÜR UMWELT BAU VERKEHR UND EUROPA 2011) http://www.umwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/Karte_Windenergienutzung_11_03_21.pdf (zuletzt abgerufen am 23.06.2011); http://www.umwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/Windenergieanlagen%20in%20Bremen%20%28Liste_o_%20Einzelertrag%29.pdf (zuletzt abgerufen am 23.06.2011); http://www.umwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/Windenergieanlagen%20in%20Bremerhaven%20%28Liste%29.pdf (zuletzt abgerufen am 23.06.2011); (DEWI 2010) (BOSCH&PEYKE 2011a) (BOSCH&PEYKE 2011b) (NORD/LB 2010)

Geothermie (nicht dargestellt)	(LANDESAMT FÜR BERGBAU ENERGIE UND GEOLOGIE 2007) Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Kartenserver NIBIS http://nibis.lbeg.de/cardomap3/?TH=545.314 (zuletzt abgerufen am 23.06.2011) (NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM 2006)
Untertagespeicher (nicht dargestellt)	(GREENPEACE 2011)
Kartengrundlagen	
Gewässer	http://www.umwelt.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=2298&psmand=10 (zuletzt abgerufen am 28.06.2011)
Grundkarte	500 ÜK, NLÖ

Tab. 12: Übersicht über die Quellen thematischen Karten Abbildung 13 und Abbildung 14 (eigene Darstellung)

Wertschöpfungskette Energiecluster	Gesetzliche Grundlagen für Genehmigung	Steuerungsmöglichkeiten der Raumordnung	Klimawandel und Klimaanpassung	Flächenrelevanz
Roh- und Brennstoffversorgung				
Fossile Rohstoffe (Öl, Gas, Kohle)	Betriebsplanverfahren nach BBergG; ggf. UVP-V Bergbau, ggf. bergrechtliche Planfeststellungsverfahren	<ul style="list-style-type: none"> - Festlegung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für die Gewinnung von Bodenschätzen in LROP oder RROP - Raumordnungsverfahren in der Regel nicht erforderlich 	<p>a) Klimarelevanz</p> <ul style="list-style-type: none"> - keine wesentliche Klimarelevanz <p>b) Betroffenheit durch Klimawandel</p> <ul style="list-style-type: none"> - Keine wesentliche Betroffenheit <p>c) Klimaanpassungsbedarf</p> <ul style="list-style-type: none"> - kein wesentlicher Klimaanpassungsbedarf 	<p>a) Flächenbedarf</p> <ul style="list-style-type: none"> - für die Abbaugebiete werden Flächen in Anspruch genommen, die andere Nutzungen ausschließen; - die Flächen stehen nach Beendigung des Abbaus für andere Nutzungen zur Verfügung; - Einschränkungen für Folgenutzungen gibt es beim Kohleabbau <p>b) Potenzielle Nutzungskonkurrenzen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Landwirtschaft, Naturschutz, Tourismus
Biomasseerzeugung	für Pflanzenanbau keine Genehmigung erforderlich; im Rahmen von Cross-Compliance gibt es verbindliche Verbote für den Umbruch von Grünland	<ul style="list-style-type: none"> - Eine Ausweisung von Vorranggebieten für Energiepflanzenanbau oder Mengenziele für eine energetische Verwertung von Biomasse in LROP oder RROP kann nicht erfolgen 	<p>a) Klimarelevanz</p> <ul style="list-style-type: none"> - durch den Anbau des klimaneutralen Rohstoffs Biomasse wird klimafreundliche Energie erzeugt <p>b) Betroffenheit durch Klimawandel</p> <ul style="list-style-type: none"> - Klimawandelbedingte Extremwetterereignisse können zu schlechten Ernten führen (Zerstörung); - Wärmere Sommer in Verbindung mit fehlendem Wasser können zu Ernteeinbußen und verkürzten Anbauphasen führen <p>c) Klimaanpassungsbedarf</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wassermanagement für Bewässerung in Warmphasen - Anpassung der angebauten Energiepflanzensorten an neue Klimabedingungen - Schaffung von Importmöglichkeiten für 	<p>a) Flächenbedarf</p> <ul style="list-style-type: none"> - durch den Anbau von Energiepflanzen wird Fläche beansprucht (Stromerzeugung 98 ha Anbaufläche je GWh_{el}/a ; Wärmebereitstellung 49 ha Anbaufläche je GWh_{el}/a) <p>b) Potenzielle Nutzungskonkurrenzen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Flächenkonkurrenzen mit Nahrungsmittelproduktion, Naturschutz/Biodiversität, Kulturlandschaft

				Energiepflanzen in Ausfallmonaten
Logistik und Transport				
Hafenanlagen für Rohstoffanlieferung	ggf. Planfeststellungsverfahren nach VwVfG notwendig (unter Berücksichtigung von u.a. WHG, BImSchG, TA-Luft, TA-Lärm, BauGB, KrW-/AbfG, BodSchG, BNatSchG, StrWG, ggf. UVP-Pflicht)	- Festlegung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für Hafennutzungen sowie hafengebundener Industrie in LROP oder RROP	a) Klimarelevanz - keine wesentliche Klimarelevanz b) Betroffenheit durch Klimawandel - Extreme Wetterereignisse können zu Schäden an Anlagen, Flächen, Transportmitteln, Standorten und Werten führen - Ausfall von Transportketten c) Klimaanpassungsbedarf - Küsten- und Hochwasserschutzmaßnahmen	a) Flächenbedarf - Flächenbedarf für Küsten- und Hochwasserschutzmaßnahmen b) Potenzielle Nutzungskonkurrenzen - Naturschutz, Küsten- und Hochwasserschutz, Tourismus, Siedlungsentwicklung
Bahnverkehr, Straße	erfolgt im Rahmen von Planfeststellungsverfahren nach VwVfG (unter Berücksichtigung von u.a. FStrG, AEG, TA-Luft, TA-Lärm, BauGB, KrW-/AbfG, BodSchG, BNatSchG, StrWG, ggf. UVP-Pflicht)	- Sicherung von raumverträglichen Tassenkorridoren in LROP oder RROP - Durchführung eines ROV (mit integrierter UVP); diese Ergebnisse können als Ziele der RO eine Beachtungspflicht in nachfolgenden Planungsverfahren erreichen	a) Klimarelevanz - Bahn: CO ₂ -freundliches Transportmittel - Straße: CO ₂ -intensiver Transport von Rohstoffen b) Betroffenheit durch Klimawandel - keine wesentliche Betroffenheit c) Klimaanpassungsbedarf - kein wesentlicher Klimaanpassungsbedarf	a) Flächenbedarf - Infrastrukturbänder wie Schienen und Straßen zerschneiden für die Biodiversität wichtige Lebensräume und Landschaften b) Potenzielle Nutzungskonkurrenzen - Naturschutz, Siedlungsentwicklung, Tourismus
Pipelines	Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (EnWG) ggf. Planfeststellungsverfahren (unter Berücksichtigung von u.a. TA-Luft, TA-Lärm, BauGB, KrW-/AbfG, BodSchG, BNatSchG, WHG, StrWG, ggf. UVP-Pflicht)	- Sicherung von raumverträglichen Tassenkorridoren in LROP oder RROP - Durchführung eines ROV (oft mit integrierter UVP); diese Ergebnisse können als Ziele der RO eine Beachtungspflicht in nachfolgenden Planungsverfahren erreichen	a) Klimarelevanz - keine wesentliche Klimarelevanz b) Betroffenheit durch Klimawandel - keine wesentliche Betroffenheit c) Klimaanpassungsbedarf - kein wesentlicher Klimaanpassungsbedarf	a) Flächenbedarf - Pipelinetrasse ist an der Oberfläche nur eingeschränkt nutzbar b) Potenzielle Nutzungskonkurrenzen - keine wesentlichen Nutzungskonkurrenzen
Energieerzeugung und Speicherung				

<p>Thermische Kraftwerke (Kohle, Gas)</p>	<p>genehmigungspflichtige Anlagen nach BImSchG (unter Berücksichtigung von u.a. WHG, TA-Luft, TA-Lärm, BauGB, KrW-/AbfG, BodSchG, BNatSchG, UVPG, StrWG)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Kraftwerk- und Kraftwerkerweiterungsstandorte können in den LROP oder RROP festgelegt werden 	<p>a) Klimarelevanz</p> <ul style="list-style-type: none"> - durch Verbrennung von fossilen Rohstoffen werden klimaschädliche Gase freigesetzt <p>b) Betroffenheit durch Klimawandel</p> <ul style="list-style-type: none"> - Flusswassergekühlte Kraftwerke: Einschränkung der Energieproduktion in Sommermonaten; Betroffenheit bei Hochwasserereignissen <p>c) Klimaanpassungsbedarf</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bau von Kühltürmen - Hochwasserschutz 	<p>a) Flächenbedarf</p> <ul style="list-style-type: none"> - für den Bau von Kühltürmen sowie Ausgleichsflächen für den Eingriff werden Flächen benötigt - für den Bau von CO₂-Speichern sowie Ausgleichsflächen für den Eingriff werden Flächen benötigt - Flächenbedarf durch verstärkte Hochwasserschutzmaßnahmen <p>b) Potenzielle Nutzungskonkurrenzen</p>
<p>Energiespeicher/ CO₂-Speicher</p>	<p>Nach BBerG sowie mit UVP-V Bergbau; bergrechtliche Planfeststellungsverfahren</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Länderklausel nach KSpG zur CO₂-Speicherung ergänzt faktisch die raumordnerischen Befugnisse mit Ausschlusszonen (gilt nur für den Festlandbereich und das Küstenmeer) - in der AWZ stellt der Bund die Raumordnungspläne auf im „Benehmen“ und nicht „Einvernehmen“ der Bundesländer 	<p>a) Klimarelevanz</p> <ul style="list-style-type: none"> - keine wesentliche Klimarelevanz <p>b) Betroffenheit durch Klimawandel</p> <ul style="list-style-type: none"> - keine wesentliche Betroffenheit <p>c) Klimaanpassungsbedarf</p> <ul style="list-style-type: none"> - kein wesentlicher Klimaanpassungsbedarf 	<p>a) Flächenbedarf</p> <ul style="list-style-type: none"> - für den Bau von Speichern werden im Untergrund Kavernen ausgespült; an der Oberfläche werden nur geringe Flächen benötigt <p>b) Potenzielle Nutzungskonkurrenzen</p> <ul style="list-style-type: none"> - grundsätzliche Gefahr, dass die Kavernen undicht sind und das Grundwasser gefährdet wird → Nutzungskonkurrenz mit allen Bereichen
<p>Windenergieanlagen (WEA)</p>	<p>genehmigungspflichtige Anlage nach BauGB oder BImSchG (unter Berücksichtigung von u.a. WHG, TA-Lärm, TA-Luft, KrW-/AbfG, BodSchG, BNatSchG, StrWG, ggf. UVP-Pflicht)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - in Regionalen Raumordnungsprogrammen werden Vorrang- und Eignungsgebiete benannt, in denen die Privilegierung uneingeschränkt wirkt - Ausschlussgebiete für WEA können festgelegt werden 	<p>a) Klimarelevanz</p> <ul style="list-style-type: none"> - durch die Nutzung des Windes als Energiequelle wird klimafreundliche Energie erzeugt <p>b) Betroffenheit durch Klimawandel</p> <ul style="list-style-type: none"> - technische Probleme sowie Zerstörungen oder starker Beanspruchung aufgrund von Extremwetterereignissen - durch Zunahme von 	<p>a) Flächenbedarf</p> <p>Onshore:</p> <ul style="list-style-type: none"> - durch den Bau von Windenergieanlagen wird Fläche beansprucht (Stromerzeugung 7 ha Fläche je GWh_{el}/a) - an Land wird kein wesentlich neuer

			<p>Windgeschwindigkeiten können bessere Produktionsbedingungen entstehen</p> <p>c) Klimaanpassungsbedarf</p> <ul style="list-style-type: none"> - kein wesentlicher Klimaanpassungsbedarf 	<p>Flächenbedarf für Windenergieanlagen entstehen, da die Flächenpotenziale bereits weitestgehend ausgereizt sind;</p> <ul style="list-style-type: none"> - durch Repowering (mehr Leistung bei weniger Anlagen) könnten vielmehr Flächen für andere Nutzungen frei werden <p>Offshore:</p> <ul style="list-style-type: none"> - durch den Bau von Offshore-WEA werden wasserseitige Flächen beansprucht - durch den Ausbau der Offshore-Energiegewinnung bedarf es des Netzausbaus <p>generell:</p> <ul style="list-style-type: none"> - da die aus Wind gewonnene Energie nicht nach Bedarf produziert werden kann, müssen Zwischenspeicher durch Deckung der Spitzenlast gebaut werden z.B. Pumpspeicherkraftwerke <p>b) Potenzielle Nutzungskonkurrenzen</p> <p>Offshore:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Naturschutz, Fischerei, Tourismus, Schifffahrt <p>Onshore:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Naturschutz, Landwirtschaft, Tourismus, Siedlungsentwicklung
Solaranlagen	<ul style="list-style-type: none"> - Solarparks: BauGB, EEG, BNatSchG - Genehmigung PV-Dachanlage: NBauO, BremBO 	<p>Festlegung von Eignungsgebieten für PV-Freiflächenanlagen; Vorhabensbezogene Stellungnahmen der RO für Freiflächenanlagen</p>	<p>a) Klimarelevanz</p> <ul style="list-style-type: none"> - durch die Nutzung der Sonne als Energiequelle wird klimafreundliche Energie erzeugt <p>b) Betroffenheit durch Klimawandel</p> <ul style="list-style-type: none"> - technische Probleme sowie Zerstörungen oder starker Beanspruchung aufgrund von Extremwetterereignissen 	<p>a) Flächenbedarf</p> <ul style="list-style-type: none"> - für die Installierung von Solaranlagen wird Fläche beansprucht (Stromerzeugung 6 ha überbaute Fläche je GWh_{el}/a) <p>b) Potenzielle Nutzungskonkurrenzen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solarparks: Landwirtschaft, Naturschutz

			c) Klimaanpassungsbedarf - kein wesentlicher Klimaanpassungsbedarf	
Geothermieanlagen	oberflächennahe geothermische Anlagen nach BBergG; ggf. WHG; Baugenehmigung nach BauO der Länder bei hydrogeothermischen, hydrothermalen und petrophysikalischen Systemen nach BBergG sowie UVP-V Bergbau im Rahmen eines Planfeststellungsverfahrens	für bergbauliche Vorhaben ist eine ROV durchzuführen, sowie es im bergrechtlichen Genehmigungsverfahren eins Planfeststellungsverfahrens bedarf	a) Klimarelevanz - durch die Nutzung der Erdwärme als Energiequelle wird klimafreundliche Energie erzeugt b) Betroffenheit durch Klimawandel - keine wesentliche Betroffenheit durch Klimawandel c) Klimaanpassungsbedarf - kein wesentlicher Klimaanpassungsbedarf	a) Flächenbedarf - für die Anlage wird Fläche in Anspruch genommen b) Potenzielle Nutzungskonkurrenzen - grundsätzliche Angst vor Erdbeben aufgrund der Bohrungen, daher Nutzungskonkurrenz mit allen Bereichen
Biogasanlagen	je nach Anlagentyp Genehmigung nach BauGB oder nach BImSchG (unter Berücksichtigung von u.a. WHG, TA-Lärm, TA-Luft, KrW-/AbfG, BodSchG, BNatSchG, StrWG, ggf. UVP-Pflicht)	für die räumliche Kombination von Biomasseerzeugung, Biogaserzeugung und Einleitung könnten Vorbehalts- bzw. Vorranggebiete ausgewiesen werden	a) Klimarelevanz - durch den Einsatz von Energiepflanzen als Energiequelle wird klimafreundliche Energie und Wärme gewonnen b) Betroffenheit durch Klimawandel - keine wesentliche Betroffenheit durch Klimawandel c) Klimaanpassungsbedarf - kein wesentlicher Klimaanpassungsbedarf	a) Flächenbedarf - keine wesentliche Flächenrelevanz b) Potenzielle Nutzungskonkurrenzen - Nahrungsmittelproduktion, Naturschutz/Biodiversität
Energieverteilung				
Leitungsnetze, Kabeltrassen	erfolgt im Rahmen eines Planfeststellungsverfahrens nach EnWG (aufgrund der Konzentrationswirkung werden in diesem Verfahren auch das EnLAG, ROG, BauGB, BImSchG, BNatSchG und WHG berücksichtigt; ggf. UVP-Pflicht)	- Sicherung von raumverträglichen Tassenkorridoren für den Netzausbau; vorhandenen raumverträgliche Trassenkorridore für den Netzausbau können gesichert werden; eine Bündelung weiter Leitungen oder Bandinfrastrukturen kann vorgesehen	a) Klimarelevanz - keine wesentliche Klimarelevanz b) Betroffenheit durch Klimawandel - Extremwetterereignisse können Leitungsnetze beschädigen bzw. beeinträchtigen c) Klimaanpassungsbedarf - Anpassung und Sicherung der Netze vor Extremereignissen z.B. Erdverkabelung	a) Flächenbedarf - grundsätzlicher Flächenbedarf für den notwendigen Netzausbau im Zuge der Umstrukturierungen im Energiesektor (s. auch Windenergie); Schaffung von guten Bedingungen für den Energietransport von Nord nach Süd b) Potenzielle Nutzungskonkurrenzen - Siedlungsentwicklung, Naturschutz

		<ul style="list-style-type: none"> - werden Durchführung eines ROV (mit integrierter UVP); diese Ergebnisse können als Ziele der RO eine Beachtungspflicht in nachfolgenden Planungsverfahren erreichen 		
Umspannwerke, Transformatoren	genehmigungspflichtige Anlagen nach BImSchG (unter Berücksichtigung von u.a. WHG, TA-Luft, TA-Lärm, BauGB, KrW-/AbfG, BodSchG, BNatSchG, UVP, StrWG)	<ul style="list-style-type: none"> - es können Vorranggebiete für Umspannwerke festgelegt werden 	<p>a) Klimarelevanz</p> <ul style="list-style-type: none"> - keine wesentliche Klimarelevanz <p>b) Betroffenheit durch Klimawandel</p> <ul style="list-style-type: none"> - keine wesentliche Betroffenheit durch den Klimawandel <p>c) Klimaanpassungsbedarf</p> <ul style="list-style-type: none"> - kein wesentlicher Klimaanpassungsbedarf 	<p>a) Flächenbedarf</p> <ul style="list-style-type: none"> - erhöhter Neubaubedarf und somit steigender Flächenbedarf <p>b) Potenzielle Nutzungskonkurrenzen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Naturschutz, Siedlungsentwicklung

Tab. 13: Übersicht über Genehmigungsverfahren im Energiesektor (eigene Darstellung)

9. Literaturverzeichnis

- 3N KOMPETENZZENTRUM (2010): Biogasanlagen und installierte elektrische Leistung in den niedersächsischen Landkreisen 2011.
- ACCLIMATISE (2009a): 'Building Business Resilience to Inevitable Climate Change'. Carbon Disclosure Project Report. Global Electric Utilities. Oxford.
- ACCLIMATISE (2009b): Building Business Resilience to Inevitable Climate Change. Carbon Disclosure Project Report 2008. Global oil and gas. Oxford.
- ACCLIMATISE (2009c): Understanding the investment implications of adapting to climate change - UK energy generation. Oxford.
- ADAPTATION AND RESILIENCE TO A CHANGING CLIMATE (ARCC) COORDINATION NETWORK (ACN) (2010): Adaptation and Resilience to a Changing Climate Recommendations for future research priorities in the UK Energy Sector and its Infrastructure July.
- ADAPTATION AND RESILIENCE TO A CHANGING CLIMATE (ARCC) COORDINATION NETWORK (ACN) (2011): Future Research Gaps and Priorities. London, May.
- ADVIESCOMMISSIE TOEKOMST AFSLUITDIJK (2011): Eindadvies. Den Haag.
- AECOM&CLIMATE EAST MIDLANDS (2010): Adapting through natural interventions A scoping report considering how decision-making can realise the benefits of the use of natural interventions to aid climate change adaptation in the East Midlands. London, May.
- AGRAR+ERNÄHRUNGSFORUM OLDENBURGER MÜNSTERLAND (2008): Bioenergie-Region Südoldenburg "Eine Region eredelt Energie". Vechta.
- AGRAWALA, S.&S. FANKHAUSER (2008): Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Costs, benefits and policy instruments. OECD, Paris.
- AKADEMIE FÜR RAUMFORSCHUNG UND LANDESPLANUNG (HRSG.), (Editor), (2011): Strategische Regionalplanung. Positionspapier, Hannover.
- ALANNE, K.&A. SAARI (2006): Distributed energy generation and sustainable development. Renewable & Sustainable Energy Reviews 10 (6): 539-558.
- AMERICAN PLANNING ASSOCIATION (2011): Policy Guide on Planning and Climate Change. Washington D.C., Update April 2011.
- ANDREWS, C.J. (2008): Energy Conversion Goes Local. Journal of the American Planning Association 74 (No2): 231-254.
- ARAUJO, M. B. (2011): Climate change threatens European conservation areas. Ecology Letters 14: 484-492.
- AUSUBEL, J. H. (2007): Renewable and nuclear heresies. International Journal of Nuclear Governance, Economy and Ecology 1 (No.3): 229- 243.
- BART, I. L. (2010): Urban sprawl and climate change: A statistical exploration of cause and effect, with policy options for the EU. Land Use Policy 27: 283-292.
- BASEDOW, H.-W., I. BOLZE, M. GUNREBEN, P. JACOB, J. SBRESNY, T. SCHRAGE, A. STEININGER&J. WEICHELBAUM (2009): Flächenverbrauch und Bodenversiegelung in Niedersachsen. GeoBerichte 14.
- BATEMAN, I. J., G. M. MACE, C. FEZZI, A. G.&K. TURNER (2010): Economic Analysis for Ecosystem Service Assessments. Environmental & Resource Economics DOI 10.1007/s10640-010-9418-x.
- BÄUMER, M. B.-S., KARIN; DENEKE-JÖHRENS, HANS-JOACHIM; DEPPMEYER, OTTO; KLOPP, INGRID; KÖRTNER, URSULA; LANGSPECHT, KARL-HEINRICH; GROÙE MACKE, CLEMENS, MEYER ZU STROHEN, ANETTE; MIESNER, AXEL; OESTERHELWEG, FRANK (2009): Können Kurzumtriebsplantagen eine Alternative bei der Reduzierung des Flächen-verbrauchs sein, und wie kann eine Anerkennung als Ausgleichsmaßnahme erfolgen? , Niedersächsischer Landtag - 16. Wahlperiode Drucksache 16/1751, Hannover.
- BBSR (2010): Genügend Raum für den Ausbau Erneuerbarer Energien? BBSR-Berichte KOMPAKT 13.
- BECKER, A., ET.AL., (2011): Climate change impacts on international seaports: knowledge, perceptions, and planning efforts among port administrators. Climatic Change DOI 10.1007/s10584-011-0043-7.

- BECKMAN, K. (2011): The geo-economic blessings of shale gas. *European Energy Review* (26. May).
- BERNDES, G. E. A. (2011): Bioenergy, Land Use Change and Climate Change Mitigation. IEA Bioenergy, Whakarewarewa Rotorua NZ. www.ieabioenergy.com.
- BEZDEK, R. H.&R. M. WENDLING (2006): Establishing benchmarks for environmental comparisons. *Modern Power Systems* December.
- BHDTF (2010): Position paper of the Birds and Habitats Directives Task Force on Biodiversity Offsets in the European Union Adopted by the BHDTF. Brüssel.
- BIGGS, C., T. EDWARDS, L. RICKARDS&J. WISEMAN (2011): Scenario planning for climate adaptation. *Climate Adaptation for Decision-Makers*, Victorian Centre for Climate Change Adaptation Research (VCCCAR). Melbourne.
- BIGGS, C., C. RYAN&J. WISEMAN (2010a): Distributed Systems: A design model for sustainable and resilient infrastructure Business Intelligence and Policy Instruments. Victorian Eco-Innovation Lab (VEIL) Distributed Systems Briefing Paper No. 3. Melbourne.
- BIGGS, C., C. RYAN&J. WISEMAN (2010b): Localised Solutions: Building capacity and resilience with distributed production systems Business Intelligence and Policy Instruments; Victorian Eco-Innovation Lab (VEIL) Distributed Systems Briefing Paper No. 4. Melbourne.
- BIRKMANN, J.&M. FLEISCHHAUER (2009): Anpassungsstrategien der Raumentwicklung an den Klimawandel: "Climate Proofing" - Konturen eines neuen Instruments. *Raumforschung und Raumordnung* 2009 (2): 114-125.
- BMVBS (HRSG.) (2010): Globale und regionale Verteilung von Biomassepotenzialen. Status-quo und Möglichkeiten der Präzisierung. BMVBS-Online-Publikation, Bonn.
- BONTE, M. E. A. (2011): Underground thermal energy storage: environmental risks and policy developments in the Netherlands and European Union. *Ecology and Society* 16 (1): online.
- BOSCH & PARTNER, E. A. (2009): Estimation of the potential for expanding use of wind energy along infrastructure corridors, and development of pertinent reliability criteria. Final report, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, March.
- BOSCH, S.&G. PEYKE (2011a): Erneuerbare Energie und Offshore-Standorte. Rückzug oder Zukunftsperspektive? *Geographische Rundschau* 04 (2011): S.51 - 59.
- BOSCH, S.&G. PEYKE (2011b): Gegenwind für die Erneuerbaren - Räumliche Neuorientierung der Wind-, Solar- und Bioenergie vor dem Hintergrund einer verringerten Akzeptanz sowie zunehmender Flächennutzungskonflikte im ländlichen Raum. *Raumforschung und Raumordnung* Volume 69 (Nr. 2): 105-118.
- BOTHE, D.&C. RIECHMANN (2008): Hohe Versorgungszuverlässigkeit bei Strom wertvoller Standortfaktor für Deutschland. *Tagesfragen* 58 (10): 31-36.
- BOWLER, D. E., L. BUYUNG-ALI, T. M. KNIGHT&A. S. PULLIN (2010): Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning* doi:10.1016/j.landurbanplan.2010.05.006.
- BOYCE, G.&C. ADAMS (2011): Incorporating climate change impacts and adaptation into capital investment decision-making. Victorian Centre for Climate Change Adaptation Research, Melbourne, April.
- BRAKELMANN, H.&I. ERLICH (2010): Technische Möglichkeiten und Kosten transeuropäischer Elektrizitätsnetze als Basis einer 100% Erneuerbaren Stromversorgung in Deutschland mit dem Zeithorizont 2050: Optionen der elektrischen Energieübertragung und des Netzausbaus. Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen Materialien zur Umweltforschung 41. Rheinberg/Mülheim.
- BRANDÃO, M., ET.AL. (2010): A Life-Cycle Approach to Characterising Environmental and Economic Impacts of Multifunctional Land-Use Systems: An Integrated Assessment in the UK. *Sustainability* , 2: 3747-3776.
- BRONIN, S. C. (2010): Curbing Energy Sprawl with Microgrids. *Connecticut Law Review* 43 (NUMBER 2).
- BRÜCKMANN, R. E. A. (2010): Non-cost barriers to renewables – AEON study Germany. ECORYS Nederland BV, Berlin,, July.
- BRYCE, R. (2011): The Gas is Greener. *The New York Times* (June 7).
- BUIJS, P., D. BEKAERT, S. COLE, D. VAN HERTEM&R. BELMANS (2011): Transmission investment problems in Europe: Going beyond standard solutions. *Energy Policy* doi:10.1016/j.enpol.2011.01.012.
- BUND (2010): Geplante und im Bau befindliche Kohlekraftwerke. Berlin.

- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2006): Biologische Vielfalt und Klimawandel. - Gefahren, Chancen, Handlungsoptionen -. BfN-Skripte 148.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, N. U. R., (BMU) (2011a): Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2010. Grafiken und Tabellen. Berlin, Stand: März 2011. www.bmu.de.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, N. U. R., (BMU) (2011b): Erfahrungsbericht 2011 zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG-Erfahrungsbericht). Berlin. <http://www.bmu.de>.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, B. U. S. B. (2011a): 30-ha-Ziel realisiert Konsequenzen des Szenarios Flächenverbrauchsreduktion auf 30 ha im Jahr 2020 für die Siedlungsentwicklung. Forschungen, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, B. U. S. B. (2011b): Erneuerbare Energien: Zukunftsaufgabe der Regionalplanung. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, B. U. S. B. (2011c): Infrastruktur in der Landschaft. Eine baukulturelle Herausforderung. BMVBS-Online-Publikation, Bonn.
- BUNDESREGIERUNG (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen. Berlin.
- BUNDESREGIERUNG (2011): "Aktionsplan Anpassung" zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin, August. <http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/47641.php>.
- CABINET OFFICE (2008): The Pitt Review: Learning Lessons from the 2007 Floods. London.
- CABINET OFFICE (2011): Keeping the Country Running: Natural Hazards and Infrastructure. For Consultation: A Guide to improving the resilience of critical infrastructure and essential services., London, March.
- CARTER, R.&S. CULP (2010): Planning for Climate Change in the West Policy. Focus Report Series, Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge/Mass.
- CENTRE FOR EUROPEAN POLICY STUDIES (CEPS) (2008): Adaptation to Climate Change: Why is it needed and how can it be implemented? CEPS Policy Brief No 161.
- CHANDEL, M. K., ET AL., (2011): The potential impacts of climate-change policy on freshwater use in thermo electric power generation. Energy Policy doi:10.1016/j.enpol.2011.07.022.
- CHANG, S. E. (2009): Infrastructure Resilience to Disasters. The Bridge 39 (no. 4 Winter 2009): . 36-41.
- CICERO&P. A. F. T. E. SECTOR (2009): Impacts, mitigation, adaptation, and long term investments for technological change. Project title: Adaptation and Mitigation Strategies: Supporting European Climate Policy.
- CIMATO, F.&M. MULLAN (2010): Adapting to Climate Change: Analysing the Role of Government. Defra Evidence and Analysis Series Paper 1.
- CLEAN WATER AMERICA ALLIANCE (2011): Barriers and Gateways to Green Infrastructure. Washington D.C.
- CLETO, J. (2008): Climate Change Impacts on Portuguese Energy System in 2050. An assessment with TIMES model. UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA, Lisboa.
- CLIMATE FOCUS (2011): Blue Carbon: Policy Options Assessment. The Linden Trust for Conservation, Washington D.C., June.
- CLIQUET, A., C. BACKES, J. HARRIS&P. HOWSAM (2009): Adaptation to climate change: Legal challenges for protected areas. Utrecht Law Review Volume 5, (Issue 1 (June)): 158-175.
- COENEN, L., P. BENNEWORTH&B. TRUFFER (2011): Towards a spatial perspective on sustainability transitions. Paper presented at the DIME Final Conference, Maastricht, Centre for Innovation, Research and Competence in the Learning Economy(CIRCLE), Lund University, P.O., Lund u.a., 6-8 April.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (2007): Adapting to climate change in Europe - options for EU action {SEC(2007) 849}. Green Paper from the Commission to the Council, The European Parliament, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, 29.Juni.
- CONTRERAS-LISPERGUER, R.&K. DE CUBA (2008): The Potential Impact of Climate Change on the Energy Sector in the Caribbean Region. An effort to understand how climate change may impact the productivity of existing and future energy production systems in the Caribbean., Organization of American States. Sustainable Energy and Climate Change Division Department of Sustainable Development, September.

- CRAIG, R. K. (2010): "Stationary is dead" - Long live transformation: Five principles for climate change adaptation law. *Harvard Environmental Law Review* 34 (9): 1-72.
- CRAIG, R. K. (2011): Energy System Impacts. *Law of Adaptation to Climate Change* (June): 1-40.
- CREEDY, J., H. DORAN, S. DUFFIELD, N. GEORGE&G. KASS (2009): England's natural environment in 2060 - issues, implications and scenarios. Report, Natural England Research, Sheffield, November.
- CROOKS, S., ET.AL. (2011): Mitigating Climate Change through Restoration and Management of Coastal Wetlands and Near-shore Marine Ecosystems: Challenges and Opportunities. Environment Department Paper, World Bank, Washington, DC.
www.worldbank.org/environment.
- CURRY, A. E. A. (2009): Horizon Scan of emerging issues for the Foresight project on the Future of Land Use. The Futures Company.
- DE CASTRO, C., ET.AL., (2011): Global wind power potential: Physical and technological limits. *Energy Policy* doi:10.1016/j.enpol.2011.06.027.
- DE CIAN, E., E. LANZI&R. ROSON (2007): The Impact of Temperature Change on Energy Demand: A Dynamic Panel Analysis. *NOTA DI LAVORO*, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milano.
- DE NOOIJ, M., C. KOOPMANS&C. BIJVOET (2007): The value of supply security: The costs of power interruptions: Economic input for damage reduction and investment in networks. *Energy Economics* 29 (2): 277-295.
- DE RAAD VOOR VERKEER EN WATERSTAAT (2009): Witte zwanen, zwarte zwanen: Advies over proactieve adaptatie aan klimaatverandering. Amsterdam.
- DE VRIES, J.&M. WOLSINK (2009): Making Space for Water: Spatial Planning and Water Management in the Netherlands. In: S. DAVOUDI, J. CRAWFORD&A. MEHMOOD: *Planning for Climate Change. Strategies for Mitigation and Adaptation to Spatial Planners*, earthscan, London- Sterling, VA, 191- 204.
- DECANIO, S. J.&A. FREMSTAD (2011): Economic feasibility of the path to zero net carbon emissions. *Energy Policy* 39: 1144–1153.
- DEFRA (2011): Adapting to Climate Change: helping key sectors to adapt to climate change Findings from the Benchmark Reports for the Adaptation Reporting Power. London, January.
www.defra.gov.uk.
- DELTARES (2009): Towards sustainable development of deltas, estuaries and coastal zones Trends and responses. Delft, January.
- DEMARCHIS, L. (2010): Siting Renewable Energy Facilities. In: B. GENTRY, C. PICKETT&L. DEMARCHIS: *Land Conservation and Energy Infrastructure: Threats and Opportunities*, Yale School of Forestry & Environmental Studies, New Haven, 31-57.
- DENHOLM, P., M. HAND, M. JACKSON&S. ONG (2009): Land-use Requirements of Modern Wind Power Plants in the United States. National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/TP-6A2-45834.
- DENHOLM, P.&R. M. MARGOLIS (2008): Land-use requirements and the per-capita solar footprint for photovoltaic generation in the United States. *Energy Policy* 36.
- DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, F. A. R. A. D. (2010): Future Worlds images. London.
www.defra.gov.uk/adaptation.
- DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, F. A. R. A. D. (2011): Climate Resilient Infrastructure: Preparing for a Changing Climate. Synthesis of the independent studies commissioned by the Government's Infrastructure & Adaptation Project. London. www.defra.gov.uk.
- DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT, D. (2010): Kurzumtriebsplantagen Handlungsempfehlungen zur naturverträglichen Produktion von Energieholz in der Landwirtschaft. Ergebnisse aus dem Projekt Novalis. Osnabrück.
- DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (DENA) (2006): Ausbau des Stromtransportnetzes: Technische Varianten im Vergleich.
- DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (DENA) (2009): Häfen - Infrastruktur für Offshore-Windparks. dena factsheet, Berlin.
- DEUTSCHE ENERGIE-AGENTUR GMBH (DENA) (2010): dena-Netzstudie II. Integration Erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015-2020 mit Ausblick 2025., Berlin.
- DEWI (2010): Potenzialabschätzung der EEG-Einspeisung im Bundesland Niedersachsen. Wilhelmshaven.

- DIJKMANN, T. (2009): Effective Land Use for Renewable Energy Sources. Thesis, University of Groningen. IVEM, Centre for Energy and Environmental Studies, Groningen.
<http://www.rug.nl/ees/>.
- DISTELKAMP, M., C. LUTZ, P. ULRICH&I. W. WOLTER (2008): Entwicklung der Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr bis 2020: Ergebnisse des regionalisierten Modells PANTA RHEI REGIO. gws Discussion Paper, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH, Osnabrück. www.gws-os.de.
- DÖLL, S.&S. SCHULZE (2010): Klimawandel und Perspektiven der Landwirtschaft in der Metropolregion Hamburg. HWWI Research Paper, Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut (HWWI) |, Hamburg.
- DÖNER, F. E. A. (2010): 4D cadastres: First analysis of legal, organizational, and technical impact. With a case study on utility networks. Land Use Policy 27: 1068–1081.
- DÖPP, S., P. BOSCH&K. VAN DEELEN (2009): Climate Change in the Netherlands: Challenges for safe and attractive urban environment. TNO Built Environment and Geosciences Fifth Urban Research Symposium.
- DOSWALD, N.&M. OSTI, . (2011): Ecosystem-based Adaptation and Mitigation: good practice examples and lessons learnt in Europe. BfN Skripten x (Draft), Bonn.
- DREW, G. H., S. J. T. POLLARD, S. A. ROCKS&S. R. JUDE (2010): Evaluating the risk assessments of Reporting Authorities under the Climate Change Act, 2008, The Collaborative Centre of Excellence for Understanding and Managing Natural and Environmental Risks (Risk Centre), Cranfield University, UK, Cranfield.
- DUMOLLARD, G.&A. LESEUR (2011): Drawing up a national adaptation policy: feedback on five European case studies. Climate Report, CDC Climat, Paris.
<http://www.cdcclimat.com/publications>.
- DWYER, J. (2011): UK Land Use Futures: Policy influence and challenges for the coming decades. Land Use Policy doi:10.1016/j.landusepol..12.002.
- EADY, S., M. GRUNDY, M. BATTAGLIA&B. KEATING (2009): An Analysis of Greenhouse Gas Mitigation and Carbon Sequestration Opportunities from Rural Land Use. FLAGSHIPS, CSIRO: National Research Sustainable Agriculture, Armidale, August. www.csiro.au.
- EBINGER, J.&W. VERGARA (2011): Climate Impacts on Energy Systems. Key Issues for Energy Sector Adaptation. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington D.C.
- ECORYS (2010): Assessment of non-cost barriers to renewable energy growth in EU Member States - AEON. Final report, DG TREN.
- EFTEC, I. E. A. (2010): The use of market-based instruments for biodiversity protection - The case of habitat banking - Summary Report. London.
- ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI) (2010): Choosing Electricity Generation Technologies: Generation Technology Reference Card. Palo Alto. <http://my.epri.com>.
- ELWELL, C. (2010): Energyscapes: spatial modelling of renewable energy and land use. Centre for Environmental Policy Imperial College London, London.
- ENKELMANN, D., E. BULLING-SCHRÖTER, R. HEIN&W. A. U. D. F. D. LINKE (2010): Zukunft der stofflichen Nutzung von Biomasse in Bioraffinerien. Drucksache 17/2375 -Zukunft der stofflichen Nutzung von Biomasse in Bioraffinerien. Deutscher Bundestag Drucksache 17/26752, 9. 07. 2010, Berlin.
- ENTSOE&EUROPACABLE (2010): Joint paper:: Feasibility and technical aspects of partial undergrounding of extra high voltage power transmission lines. Brussels,.
- ENVIRONMENT AGENCY (2010): The costs of the summer 2007 floods in England., Bristol, January.
- EON (2008): Unterweser. Informationen zum Kraftwerk., Hannover.
- ERIKSEN, S.&K. BROWN (2011): Sustainable adaptation to climate change. Climate and Development 3: 3–6.
- ERIKSEN, S., ET.AL., (2011): When not every response to climate change is a good one: Identifying principles for sustainable adaptation. Climate and Development 3: 7–20.
- ESKELAND, G. S.&T. K. MIDEKSA (2010): Electricity demand in a changing climate. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 15: 877-897.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2011): Intelligente Stromnetze: von der Innovation zur Realisierung. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Brüssel, 12. April.

- EUROPEAN CLIMATE FOUNDATION (2010): ROADMAP 2050. A practical guide to a prosperous, low-carbon Europe. Brussels. (<http://www.Roadmap2050.eu>).
- EUROPEAN COMMISSION (2010a): Energy 2020 A strategy for competitive, sustainable and secure energy {SEC(2010) 1346}. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, 10.11.2010.
- EUROPEAN COMMISSION (2010b): State of play in the EU energy policy. Accompanying document to the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Energy 2020 A strategy for competitive, sustainable and secure energy {COM(2010) 639}. Commission Staff Working Document, Brussels, 10.11.2010.
- EUROPEAN COMMISSION (2011): Overview of the secondary EU legislation (directives and regulations) that falls under the legislative competence of DG ENER and that is currently in force (split by policy areas) Last updated on 16 March 2011. Brussels.
- EUROPEAN COMMISSION- DIRECTORATE-GENERAL ENERGY (2010): Feasibility Study for Europe CO2 Infrastructures: Issue Rev.01. Brussels, October.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2010a): The European environment - state and outlook 2010 (SOER 2010) Adapting to climate change. Copenhagen.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2010b): The European Environment: : State and Outlook 2010: Land Use. Copenhagen.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2010c): Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe. An overview of the last decade. EEA Technical report, Copenhagen.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2011a): The European Pollutant Release and Transfer Register.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2011b): Knowledge base for Forward-Looking Information and Services (FLIS) A platform to support long-term decision-making. Copenhagen.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2011c): Knowledge base for Forward-Looking Information and Services Catalogue of scenario studies. EEA Technical report, Copenhagen.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY&F. FEDERAL OFFICE FOR THE ENVIRONMENT CH (2011): Landscape fragmentation in Europe. Joint EEA-FOEN report. EEA Report, Copenhagen.
- EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL (EREC)&CLIMATE & ENERGY UNIT GREENPEACE INTERNATIONAL (2009): [r]enewables 24/7: Infrastructure needed to save the climate. November. <http://www.erec.org>.
- EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL (EREC)&GREENPEACE (2010): energy [r]evolution': Towards a fully renewable energy supply in the EU. 27 June.
- EVANS, D., S. MIKE&R. SHAW (2009): The present and future use of 'land' below ground. Land Use Policy (2009) S302-S316.
- EWE NETZ (2009): Erdgasnetzgebiet der EWE NETZ GmbH: Ems-Weser-Elbe mit HD-Leitungen. Oldenburg.
- EWE NETZ (2010a): Stromnetzgebiet der EWE Netz GmbH: 20-kV Leitungstrassen. Oldenburg.
- EWE NETZ (2010b): Stromnetzgebiet der EWE Netz GmbH: Umspannwerke und Schaltanlagen. Oldenburg.
- EXXON MOBIL (2009a): Die Aufbereitung von Erdgas. Energie, die sich gewaschen hat., Hannover.
- EXXON MOBIL (2009b): Die Produktion von Erdgas. Für eine sichere und umweltfreundliche Energieversorgung. Hannover.
- FARGIONE, J. (2010): Is bioenergy for the birds? An evaluation of alternative future bioenergy landscapes. PNAS 107 (44): 18745–18746.
- FISHER, J.&F. ACKERMAN (2011): The Water-Energy Nexus in the Western States: Projections to 2100. Stockholm Environment Institute, Somerville, MA, February 2011. www.sei-international.org.
- FORD, J. D., L. BERRANG-FORD&J. PATERSON (2011): A systematic review of observed climate change adaptation in developed nations A letter. Climatic Change DOI 10.1007/s10584-011-0045-5.
- FORESIGHT (2011): The Future of Food and Farming: Challenges and choices for global sustainability. Final Project Report., The Government Office for Science,, London. <http://www.bis.gov.uk/Foresight>.
- FORESIGHT LAND USE FUTURES PROJECT (2010): Executive Summary., The Government Office for Science, London.

- FORSCHUNGSVERBUNDS ERNEUERBARE ENERGIEN (2010): Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% Erneuerbaren Energien. Fachausschuss "Nachhaltiges Energiesystem 2050", Juni. <http://www.fvee.de/>.
- FOSTER, J., A. LOWE&S. WINKELMAN (2011): The values of green infrastructure for urban climate adaptation. The Center for Clean Air Policy, Washington D.C., February. www.ccap.org.
- FRANCIS, R. A., ET.AL., (2011): Probabilistic life cycle analysis model for evaluating electric power infrastructure risk mitigation investments. *Climatic Change* 106: 31–55.
- FRONTIER ECONOMICS (2008): Kosten von Stromversorgungsunterbrechungen. Studie im Auftrag der RWE AG. London, 04. Juli 2008.
- FTHENAKISA, V.&H. C. KIMB (2009): Land use and electricity generation: A life-cycle analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (6-7): 1465-1474.
- FÜNFELD, H.&D. MCEVOY (2011): Framing Climate Change Adaptation in Policy and Practice. Working Paper, RMIT University - VCCCAR Project: Framing Adaptation in the Victorian Context, Melbourne.
- FÜRSCH, M., ET. AL. : (2010): European RES - Policy Analysis. Eine modellbasierte Studie über die Entwicklung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energiequellen in Europa und die Auswirkungen auf den konventionellen Strommarkt. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln, Köln, April. www.ewi.uni-koeln.de.
- FÜRST, D. (2010): Modernisierung der Raumplanung. In: D. SCHOLLICH, P. MÜLLER: Planungen für den Raum zwischen Integration und Fragmentierung. Stadt und Region als Handlungsfeld, Kompetenzzentrum für Raumforschung und Regionalentwicklung in der Region Hannover, Frankfurt/M., Bd. 9, 69- 93.
- FÜSSEL, H.-M. (2007): Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons. *Sustainability Science* 2 (2): 265-275.
- GANZVELD, L., L. BOUWMAN, E. STEHFEST ET. AL., (2010): Impact of future land use and land cover changes on atmospheric chemistry-climate interactions. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 115.
- GARNAUT, R. (2011): Garnaut Climate Change Review – Update 2011: Transforming rural land use. Update Paper 4, Canberra. www.garnautreview.org.au.
- GAWRON, T. E. A. (2010): Instrumentendiskussion: Die Eignung raumwirksamer Instrumente und kooperativer Ansätze zur Verfolgung flächenpolitischer Strategien. Schriftenreihe des Forschungsverbundes Koremi, Leipzig.
- GENTRY, B. (2009): Stormy Seas: Land trusts navigate the uncertainties surrounding climate change. *Saving land (Summer)*: 15-17.
- GENTRY, B. (2010): Linking Energy Policy and Land Conservation in the U.S. In: L. E. A. PARKER: From Silos to Systems: Issues in Clean Energy and Climate Change A report on the work of the REIL Network, 2008-2010, 26, 207-212.
- GENTRY, B., C. PICKETT&L. DEMARCHIS, (Editors), (2010): Land Conservation and Energy Infrastructure: Threats and Opportunities. New Haven.
- GEOSPATIAL INFORMATION & TECHNOLOGY ASSOCIATION (2009): The Geospatial Dimensions of Critical Infrastructure and Emergency Response. White Paper Series: Electric Sector Infrastructure Interdependencies. GITA Research Publication Aurora 7/7/2009.
- GHK (2010): Opportunities for UK Business from Climate Change Adaptation.
- GHOSN, R., (Editor), (2010): Landscapes of Energy. *New Geographies*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- GILL, S. E., J. HANDLEY, A. R. ENNOS&P. NOLAN (2009): Planning for Green Infrastructure: Adapting to Climate Change. In: S. DAVOUDI, J. CRAWFORD&A. MEHMOOD: Planning for Climate Change. Strategies for Mitigation and Adaptation to Spatial Planners, earthscan, London- Sterling, VA, 249-261.
- GILL, S. E., J. F. HANDLEY, A. R. ENNOS&S. PAULEIT (2007): Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built Environment* 33 (No 1,): 115-133.
- GLICK, P., H. CHMURA&B. A. STEIN (2011): Moving the conservation goalposts: A review of climate change adaptation literature. Climate Change Safeguards Program, National Wildlife Federation, Washington DC.
- GORDON, I. (2008): Density and the built environment. *Energy Policy* 2008 (36): 4652-4656.
- GÖBLING-REISEMANN, S. (2009): Innovationen zur Klimaanpassung: Beispiele aus dem Cluster Energie. Tagungsband der Fachtagung, Bremen.

- GREENPEACE (2011): Potentielle CO₂-Endlager in Deutschland im Salzwasser führendem Tiefengestein. Hamburg.
http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/klima/CO2-Lager-HuettenWerke.pdf.
- GREENPEACE INTERNATIONAL&EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL (EREC) (2010): energy [r]evolution. A Sustainable World Energy Outlook, 3rd edition 2010 world energy scenario. june. http://www.energyblueprint.info/-filead-min/media/documents/energy_revolution.pdf.
- GREVERS, W.&P. ZWANEVELD (2011): Een kosteneffectiviteitsanalyse naar de toekomstige inrichting van de Afsluitdijk. Centraal Planbureau, GM 's-Gravenhage, June. www.cpb.nl.
- GRÜNIG, M. (2010): Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Energiesektor. Entwicklung einer Methodik. Tagungsband der Fachtagung: "Stakeholder-Workshop zur Anpassung an den Klimawandel im Sektor Energie", 22 September, Berlin, Ecologic Institute.
- GUERRERIO, J. (2009): Figuring land area use into the energy equation. Examinee.
- GUNNAR, S. E.&M. K. TORBEN (2010): Electricity demand in a changing climate. Mitig Adapt Strat Glob Change 15: 877-879.
- HAMLET, A. F., ET.AL., (2010): Effects of projected climate change on energy supply and demand in the Pacific Northwest and Washington State. Climatic Change 102: 103–128.
- HAMMER, S. A.&L. PARSHALL (2009): Climate Change and New York City's Energy Sector: Vulnerabilities, Impacts and Adaptation Strategies. Center for Energy, Marine Transportation and Public Policy (CEMTPP), Columbia University, New York, DRAFT WORKING PAPER V1.0 13JAN09.
- HARFORD, D. (2008): Climate Change Adaptation: Planning for BC. University of Victoria, Victoria.
- HARRISON, G. P. (2010): Sensitivity of thermal power generation to climate change. School of Engineering, University of Edinburgh, Edinburgh.
- HARRISON, G. P.&R. A. WALLACE (o.J.): Climate change impacts on renewable energy - is it all hot air? , School of Engineering & Electronics, University of Edinburgh, Edinburgh.
- HARVEY, M.&S. PILGRIM (2010): The new competition for land: Food, energy, and climate change. Food Policy doi:10.1016/j.foodpol.2010.11.009.
- HEBERGER, M. (2009): The impact of sea level rise on the California Coast. California Climate Change Center, May.
- HELIO (2008): International Vulnerability - Adaptation - Energy Resilience (VAR). Indicators and methodology to identify adaptation projects that reinforce energy systems resilience. HELIO MANUAL: Country Report Preparation - 2009. Paris.
- HELIO (2009): Vulnerability - Adaption - Resilience (VAR): Climate-proofing Energy Systems. Paris.
- HELSETH, J. (2010): Die Kohle für CCS: Politische und finanzielle Rahmenbedingungen. politische ökologie 28 (123): 27-29.
- HENDLER, R., D. RÖDDER&M. VEITH (2010): Flexibilisierung des Schutzgebietsnetzes Natura 2000 vor dem Hintergrund des Klimawandels. Natur und Recht 32: 685-692.
- HENGER, R., C. SCHRÖTER-SCHLAACK, P. ULRICH&M. DISTELKAMP (2010): Flächeninanspruchnahme 2020 und das 30-ha-Ziel: Regionale Verteilungsschlüssel und Anpassungserfordernisse., Raumforschung und Raumordnung 68: 297-309.
- HEROLD, J., S. RÜSTER&C. VON HIRSCHHAUSEN (2010): Carbon Capture, Transport and Storage in Europe: A Problematic Energy Bridge to Nowhere? Nota di Lavoro, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milano.
- HIESS, H. (2010): Spatial planning in climate change. A CIPRA Background Report. CIPRA International, Schaan/FL. www.cipra.org/de/cc.alps/ergebnisse/compacts.
- HM TREASURY (2010): Strategy for national infrastructure.
- HOLM, A. (2010): Infrastructures and climate change: What implications for long-term investors? Climate Report, CDC Climat, Paris.
- HOUSES OF PARLIAMENT- PARLIAMENTARY OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (2010): Living with Environmental Limits. PostNote, London, January.
- HOUSES OF PARLIAMENT- PARLIAMENTARY OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (2011a): The Ecosystem Approach. POSTNOTE, London, May. www.parliament.uk/post.
- HOUSES OF PARLIAMENT- PARLIAMENTARY OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (2011b): Ecosystem Service Valuation. Postnote, London. www.parliament.uk/post.

- HOUSES OF PARLIAMENT- PARLIAMENTARY OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (2011c): Landscapes of the Future. Postnote, London, June. www.parliament.uk/post.
- HOWARD, D. C., R. A. WADSWORTH, J. W. WHITAKER, N. HUGHES&R. G. H. BUNCE (2009): The impact of sustainable energy production on land use in Britain through to 2050. *Land Use Policy* 26S (2009) S284-S292.
- HOWARD, J. (2009): Climate Change Mitigation and Adaptation in Developed Nations: A Critical Perspective on the Adaptation Turn in Urban Climate Planning. In: S. DAVOUDI, J. CRAWFORD&A. MEHMOOD: *Planning for Climate Change. Strategies for Mitigation and Adaptation for Spatial Planners*, earthscan, London- Sterling, VA, 19-32.
- HUGHES, G., P. CHINOWSKY&K. STRZEPEK (2010a): The costs of adaptation to climate change for water infrastructure in OECD countries. *Utilities Policy* 18: 142e153.
- HUGHES, G., P. CHINOWSKY&K. STRZEPEK (2010b): The Costs of Adapting to Climate Change for Infrastructure. The International Bank for Reconstruction and Development / THE WORLD BANK, Washington DC. www.worldbank.org/climatechange.
- INDERBERG, T. H. (2010): The Norwegian Power Sector and its Adaptive Capacity to Climate Change: Two perspectives. The Fridtjof Nansen Institute.
- INGRAM, G. K.&Y.-H. HONG (2011): Land Policies in the Face of Climate Change. In: Y.-H. HONG: *Climate Change and Land Policies.*, Lincoln Institute of Land Polity, Cambridge/Mass, 3-24.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC (2007): *Klimaänderung2007. Synthesebericht.* Genf.
- INTERNATIONAL RISK GOVERNANCE COUNCIL (2006): *Managing and Reducing Social Vulnerabilities from Coupled Critical Infrastructures white paper no. 3.* Geneva.
- IPCC TAR (2001): *Climate Change : Impacts, Adaptation and Vulnerability.* IPCC Third Assessment Report,. Cambridge University Press, Genf.
- ISSAOUI, M.&M. SINZ (2010): *Leitbilder und Handlungsstrategien für die Raumentwicklung in Deutschland. Entwicklungs-, Umsetzungs- und Fortschreibungsprozess der Bund-Länder-Strategie für Städte und Regionen.*, STANDORT 34: 80-87.
- JACOBSON, M. Z.&M. A. DELUCCHI (2010): Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. *Energy Policy* (2010) doi:10.1016/j.enpol.2010.11.040.
- JUNGINGER, M., ET.AL. (2011): Opportunities and barriers for international bioenergy trade. *Energy Policy* 39: 2028–2042.
- KAISER, P.&K. FREITAG (2011): *Länderranking Zukunftsatlas 2010: dynamischer Norden, starker Süden.* Prognos trendletter 1 / 2011: 14-15.
- KARL, T. R., J. M. MELILLO&T. C. PETERSON, (Editors), (2009): *Global Climate Change Impacts in the United States.* Cambridge University Press, Cambridge/Mass.
- KEATING, A.&J. HANDMER (2011): Options for assessing the cost of climate change for adaptation policy in Victoria. Working Paper, VCCCAR Project: Framing Adaptation in the Victorian Context, Melbourne, April.
- KEENLEYSIDEI, C., D. BALDOCK, P. HJERP&S. P. (2009): International perspectives on future land use. *Land Use Policy* 26S: S14–S29.
- KENWORTHY, T. (2010): Big Land, Big Opportunity. Smart Land use in the fight against climate change. Center for American Progress, Washington D.C., October.
- KESSIDES, I. N.&D. C. WADE (2011): *Toward a Sustainable Global Energy Supply Infrastructure. Net Energy Balance and Density Considerations.* Policy Research Working Paper, The World Bank Development Research Group Environment and Energy Team, Washington D.C.
- KINTISCH, E. (2010): Out of site. *SCIENCE* Vol 329 (13 August): 788-789.
- KIRATU, S. (2010): South Africa's Energy Security in the Context of Climate Change Mitigation. International Institute for Sustainable Development. Series on Trade and Energy Security - Policy Report #4. Winnipeg, Manitoba.
- KIRKINEN, J., A. MARTIKAINEN, H. HOLTINEN, I. SAVOLAINEN, O. AUVINEN&S. SYRI (2005): Impacts on the energy sector and adaptation of the electricity network business under a changing climate in Finland.FINADAPT Working Paper 10. Finnish Environment Institute Mimeographs 340, Helsinki.
- KLAUS, T., ET.AL., (2010): *Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen.* Umweltbundesamt,, Dessau-Roßlau, Juli. <http://www.umweltbundesamt.de>.

- KLEIJN, R.&E. VAN DER VOET (2010): Resource constraints in a hydrogen economy based on renewable energy sources: An exploration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 4 (9): 784-795.
- KLIP-MARTIN, T., ET.AL., (2011): Nieuw tijdperk op komst: derde generatie energielandschappen. *Dagblad van het Noorden* (16 maart).
- KMENT, M. (2011): Raumplanung unter Ungewissheit. *Zeitschrift für Umweltrecht (ZUR)* 22 (3): 127-132.
- KOCH, H., S. VÖGELE, M. KALTOFEN&U. GRÜNEWALD (2011): Trends in water demand and water availability for power plants—scenario analyses for the German capital Berlin. *Climatic Change* DOI 10.1007/s10584-011-0110-0.
- KOH, J. (2005): The Energetic Strategy of Ecosystem Development and Urban/Regional Spatial Restructuring and Regeneration. In: F. VAN DAMM&K. J. NORMANN: *Grounds for Change: Bridging Energy Planning and Spatial Design Strategies*, Energy Valley Netherlands, Groningen, 29-37.
- KRÖCHER, U. (2011): Beschäftigungsboom im Nordwesten – vor und während der Krise. *Regio- Report*, Regio GmbH - Institut für Regionalentwicklung und Informationssysteme, Oldenburg, Juni.
- KRUPP, R. E. (2010): Vom Kamin in die Erde: Die CCS-Technologie. *politische ökologie* 28 (123): 16-19.
- LAL, R. (2011): Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. *Food Policy* doi:10.1016/j.foodpol.2010.12.001.
- LAND USE CONSULTANTS (2010): An assessment of the impacts of climate change on Scottish landscapes and their contribution to quality of life: Phase 1 - Interim report. *Commissioned Report*, Scottish Natural Heritage, Edinburgh.
- LANDESAMT FÜR BERGBAU ENERGIE UND GEOLOGIE (2007): *GeoBerichte 5 - Erstellung von Planungsgrundlagen für die Nutzung von Erdwärmekollektoren*. Hannover.
- LANDESAMT FÜR BERGBAU ENERGIE UND GEOLOGIE (2010): *Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland 2009*. Hannover.
- LANDSCAPE INSTITUTE (2008): *Landscape architecture and the challenge of climate change. Position statement*, London. www.landscapeinstitute.org.
- LANGE, M. A. (2009): *Climate Change and its Impact on the Energy Sector in the Eastern Mediterranean*. *Geophysical Research Abstracts*, EGU General Assembly 2009 11 (EGU2009-2570).
- LARSEN, P.&S. GOLDSMITH (2007): *Estimating Future Costs for Alaska Public Infrastructure At Risk from Climate Change*. *Institute of Social and Economic Research University of Alaska, Anchorage*.
- LARSEN, P., S. GOLDSMITH, O. SMITH, M. L. WILSON, K. STRZEPEK, P. CHINOWSKY&B. SAYLOR (2007): *Estimating Future Costs for Alaska Public Infrastructure At Risk from Climate Change*. *UA Research Summary 23007* (8).
- LARSEN, P., S. GOLDSMITH, O. SMITH, M. L. WILSON, K. STRZEPEK, P. CHINOWSKY&B. SAYLOR (2008): *Estimating future costs for Alaska public infrastructure at risk from climate change*. *Global Environmental Change* 18 (3): 442-457.
- LEAVITT, W. M.&J. J. KIEFER (2006): *Infrastructure Interdependency and the Creation of a Normal Disaster: The Case of Hurricane Katrina and the City of New Orleans*. *Public Works Management Policy* 2006 (10): 306.
- LENSTRA, W. J., ET.AL., (2009): *State of the art of mitigation & relation mitigation/adaptation*. *KfC report*, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM). Utrecht. www.knowledgeforclimate.org.
- LESEUR, A., M. MANSANET-BATALLER&M. HERVÉ-MIGNUCCI (2008): *Energy Infrastructures in France: Climate Change Vulnerabilities and Adaptation Possibilities*. *Mission Climat de la Caisse des Dépôts*, Paris.
- LEWIS, N. S. (2007): *Powering the Planet*. *MRS BULLETIN* 32 (October): 808-820.
- LEWIS, N. S.&D. G. NOCERA (2006): *Powering the planet: Chemical challenges in solar energy utilization*. *PNAS* 103 (no. 43): 15729–15735.
- LIERSCH, O. (2010): *Die Offshore-Industrie als Motor für die Wirtschaftsachse Küste*. *Vortrag Rahmen der Veranstaltung "Energieland Niedersachsen - erste Erfahrungen bei der Offshore-Windenergie"*. Hannover, Mai.

- LINNENLUECKE, M. K., A. STATHAKIS&A. GRIFFITHS (2011): Firm relocation as adaptive response to climate change and weather extremes. *Global Environmental Change* 21: 123–133.
- LINNERUD, K., T. K. MIDEKSA&G. ESKELAND (2011): The Impact of Climate Change on Nuclear Power Supply. *The Energy Journal* 32 (No. 1): 149-168.
- LÖSCHEL, A. (2011): Vollversorgung mit Strom aus Erneuerbaren Energien ökonomisch nicht sinnvoll. *ZEWnews*: 6-7.
- MACKAY, D. J. C. (2008): Sustainable Energy – without the hot air. UIT Cambridge, Cambridge UK.
- MADANI, K.&J. R. LUND (2009): Estimated impacts of climate warming on California's high-elevation hydropower. *Climatic Change*: DOI 10.1007/s10584-10009-19750-10588.
- MAKHIJANI, A. (2008): Carbon-free and nuclear free:a roadmap for US energy policy (2ndprinting). IEER - Institute for Energy and Environmental Research, Takoma Park,MD,and Muskegon,MI. <http://www.ieer.org/carbonfree/CarbonFreeNuclearFree.pdf>.
- MAKHIJANI, A. (2009): TheTechnical and Economic Feasibility of a Carbon-Free and Nuclear-Free Energy System in the United States., Institute for Energy and Environmental Research. http://www.ieer.org/reports/Renewable_electric_system-Makhijani2009.pdf.
- MANSUR, E. T., R. MENDELSON&W. MORRISON (2007): Climate Change Adaptation: A Study of Fuel Choice, and Consumption in the U.S. Energy Sector. Yale School of Management and NBER.
- MANTAU, U. E. A. (2010): EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report, Hamburg, June.
- MARSHALL, T. (2010a): Infrastructure and Spatial Planning: Germany. Working Paper, Department of Planning Oxford Brookes University, Oxford, November.
- MARSHALL, T. (2010b): Planning at the national level in Europe in relation to major infrastructure. Department of Planning. Oxford Brookes University, Oxford.
- MAUNSELL AUSTRALIA PTY LTD. (2008): Impact of Climate Change on Infrastructure in Australia and CGE model inputs. The Garnaut Climate Change Review.
- MCDONALD, J. (2008): Adaptive intelligent power systems: Active distribution networks. *Energy Policy* 2008 (26): 4346-4351.
- MCDONALD, R. I., J. FARGIONE, J. KIESECKER, W. M. MILLER&J. POWELL (2009): Energy Sprawl or Energy Efficiency: Climate Policy Impacts on Natural Habitat for the United States of America. *PLoS ONE* 4(8): e6802. doi:10.1371/journal.pone.0006802.
- MCEVOY, D., K. LONSDALE&P. MATCZAK (2008): Adaptation and Mainstreaming of EU Climate Change Policy: An Actor-Based Perspective. Policy Brief, Centre for European Policy Studies (CEPS), Brussels.
- MCEVOY, D., S. S. LINDLEYAND&J. HANDLEY (2006): Adaptation and mitigation in urban areas: synergies and conflicts. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Municipal Engineer* 159 (ME4): 185-191.
- MCGEE, A. (2010): International Dimensions of Climate Change. Report 6.2: Impacts of Climate Change on Overseas Infrastructure (excluding sea-level rise). UK Government's Foresight Project on the International Dimensions of Climate Change, London.
- MCKINNON, A. (2009): The present and future land requirements of logistical activities. *Land Use Policy* 26S: S293–S301.
- MEEUS, L. E. A. (2010): Smart Cities Initiative: how to foster a quick transition towards local sustainable energy systems. EUI Working Papers, ROBERT SCHUMAN CENTRE FOR ADVANCED STUDIES. Florence School of Regulation, Florence. www.eui.eu/RSCAS/Publications/.
- MET OFFICE HADLEY CENTRE UK (2010): Climate Change Risk Assessment. Energy Sector. Phase 1 Report (Draft). London, March.
- METOFFICE (2006): A scoping study on the impacts of climate change on the UK energy industry Final report Prepared for: National Grid, EDF Energy and E.ON UK.
- METROECONOMICA LIMITED (UK) (2006): Task 2: Report on the costs of the hot summer of 2003 - Climate Change Impacts and Adaptation: Cross-Regional Research Programme. Project E - Quantify the cost of impacts and adaptation., Final Report Prepared for DEFRA, London.
- METROPOLE NORDWEST (2011): Metropolplaner. Delmenhorst. http://www.metropolplaner.de/039_metropolplaner/index_tabs.php zuletzt abgerufen am 20.06.2011.

- MICHAELOWA, A., H. CONNOR&L. E. WILLIAMSON (2010): Use of indicators to improve communication on energy systems vulnerability, resiliences and adaptation to climate change. In: A. TROCCOLI: Management of Weather and Climate Risk in the Energy Industry, Amsterdam, 69-87.
- MILLER, N. L., J. JIN, K. HAYHOE&M. AUFFHAMMER (2007): Climate Change, Extreme Heat, and Energy Demand in California. California Energy Commission, PIER Energy-Related Environmental Research Program. CEC-500-2007-023.
- MORIARTY, P.&D. HONNERY (2009): What energy levels can the Earth sustain? Energy Policy 37: 2469–2474.
- MORIARTY, P.&D. HONNERY (2011): Is there an optimum level for renewable energy? Energy Policy doi:10.1016/j.enpol.2011.02.044.
- MOSER, S. C. (2011): Adaptation, mitigation, and their disharmonious discontents An editorial comment. Climatic Change DOI 10.1007/s10584-011-0106-9.
- MOSER, S. C.&J. A. EKSTROM (2010): A framework to diagnose barriers to climate change adaptation. PNAS vol. 107 | (no. 51): 22026–22031.
- MÜLLER, M. O., ET.AL., (2011): Energy autarky:Aconceptual framework for sustainable regional development. Energy Policy doi:10.1016/j.enpol.2011.04.019.
- MUSALL, F. D.&O. KUIK (2011): Local acceptance of renewable energy—A case study from southeast Germany. Energy Policy 39: doi:10.1016/j.enpol.2011.1003.1017.
- NABU (2009): Müllverbrennung in Deutschland wächst unkontrolliert - Recycling ist gefährdet, Müllimport wird attraktiver. Ergebnisse aus der durch die prognos AG durchgeführten Untersuchung: "Der Abfallmarkt in Deutschland und Perspektiven bis 2020". Berlin.
- NADAĀ, A.&D. VAN DER HORST (2010): Introduction: Landscapes of Energies, ,. Landscape Research 35: (2): 143 — 155.
- NATIONAL GRID ELECTRICITY TRANSMISSION PLC (2010): Climate Change Adaptation Report. London, September.
- NATIONAL GRID GAS GAS TRANSMISSION AND DISTRIBUTION UK (2010): Climate Change Adaptation Report. London, September.
- NATURAL ENGLAND (2009): Global drivers of change to 2060. Natural England Commissioned Report, Sheffield. www.naturalengland.org.uk.
- NETHERLANDS ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AGENCY (PBL) (2010): Rethinking Global Biodiversity Strategies: Exploring structural changes in production and consumption to reduce biodiversity loss,. The Hague/Bilthoven,.
- NEUMANN, J. (2009): Adaptation to Climate Change: Revisiting Infrastructure Norms. Resources for the Future. December 2009 Issue Brief 09-15.
- NEUMANN, J. E.&J. C. PRICE (2009): Adaptation to Climate Change: The Public Policy Response: Public Infrastructure., RFF Report. Resources for the Future.
- NIEDERSÄCHSISCHES INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG NIW (2010a): Regionalbericht Norddeutschland 2010. Aktuelle wirtschaftliche Entwicklungen in den Regionen von Schleswig-Holstein, Niedersachsen und den angrenzenden Hansestädten sowie in den 16 Bundesländern. Hannover.
- NIEDERSÄCHSISCHES INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG NIW (2010b): Regionalmonitoring Niedersachsen Regionalreport 2009. Positionierung und Entwicklungstrends ländlicher und städtischer Räume., Hanover.
- NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT VERBRAUCHERSCHUTZ UND LANDESENTWICKLUNG (2010): Biogasnutzung in Niedersachsen. Stand und Perspektiven. Hannover.
- NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (2006): Leitfaden Erdwärmennutzung in Niedersachsen. Genehmigungsvoraussetzungen, insbesondere für Erdwärmesonden mit einer Heizleistung bis 30 kW. Hannover.
- NORD/LB (2010): Energieland Niedersachsen. Struktur, Entwicklung und Innovation in der niedersächsischen Energiewirtschaft. Hannover.
- OBERDÖRFFER, J.&U. SCHEELE (2009): Die Küstenregion zwischen wirtschaftlicher Dynamik und Naturbewahrung: eine Bestandsaufnahme. ARSU Positionen "Die Küste boomt". Ökonomische Perspektiven und ökologische Herausforderungen Heft 12: 6-23.
- ODEH, N. A.&T. T. COCKERILL (2008): Life cycle analysis of UK coal fired power plants. Energy Conversion and Management, 49 (Issue 2): 212-220.

- OFFERMANN, F., H. GÖMANN, W. KLEINHANß, P. KREINS, O. V. LEDEBUR, B. OSTERBURG, J. PELIKAN, P. SALAMON&J. SANDERS (2010): vTI-Baseline 2009 - 2019: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Landbauforschung vTI agriculture and forestry research Sonderheft 333.
- ONAT, N.&H. BAYAR (2010): The sustainability indicators of power production systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (9): Pages 3108-3115.
- OSBERGHAUS, D.&C. REIF (2010a): Anpassungskosten an den Klimawandel. *ZEWnews* September 2010: 5-6.
- OSBERGHAUS, D.&C. REIF (2010b): Total Costs and Budgetary Effects of Adaptation to Climate Change: An Assessment for the European Union, *ZEW Discussion Paper No. 10-046*.
- OSTLE, N. J., ET.AL. (2009): UK land use and soil carbon sequestration. *Land Use Policy* 26S: S274–S283.
- OUTKA, U. (2010a): Facility Siting for Renewable Energy: Florida's Land Use Context. Florida State University College of Law, Tallahassee.
- OUTKA, U. (2010b): Siting Renewable Energy: Land Use and Regulatory Context. *Ecology Law Quarterly* 37: 1041-1106.
- OUTKA, U. (2011): The renewable energy footprint. *Stanford Environmental Law Journal* (January).
- OVANDO, P.&A. CAPARRO (2009): Land use and carbon mitigation in Europe: A survey of the potentials of different alternatives. *Energy Policy* 37.
- PANAMA, B., G. BEMIS, G. BARKALOW, N. MCKEEVER, S. PHINNEY, J. SILVAS&J. VINTON (2007): The Role of Land Use in Meeting California's Energy and Climate Change Goals., California Energy Commission.
- PARRY, M. (2009): Closing the loop between mitigation, impacts and adaptation An editorial essay. *Climatic Change* 96: : 23–27.
- PARSONS BRINKERHOFF (2009): Energy network infrastructure and the climate change challenge., The Energy Networks Association (ENA).
- PASKAL, C. (2009): The Vulnerability of Energy Infrastructure to Environmental Change. briefing paper. A joint publication of Chatham House and Global EASE, London.
- PASQUALETTI, M. J.&B. A. MILLER (1984): Land requirements for the solar and coal options. *The Geographical Journal* 150 (No.2): 192-212.
- PEREZ, P. (2009): The Potential Impacts of Climate Change on California's Energy Infrastructure and Identification of Adaptation Measures. California Energy Commission.
- PICKETT, C. (2010): The Future of Coal/Carbon Dioxide Capture and Storage. In: B. GENTRY, C. PICKETT&L. DEMARCHIS: *Land Conservation and Energy Infrastructure: Threats and Opportunities*, Yale School of Forestry & Environmental Studies, New Haven, 99-121.
- PIZARRO, R. (2009): Urban Form and Climate Change: Towards Appropriate Development Patterns to Mitigate and Adapt to Global Warming. In: S. DAVOUDI, J. CRAWFORD&A. MEHMOOD: *Planning for Climate Change. Strategies for Mitigation and Adaptation to Spatial Planners*, earthscan, London. - Sterling, VA, 33-45.
- POLICY RESEARCH INITIATIVE (2009): Climate Change Adaptation in the Canadian Energy Sector Workshop Report Ottawa. PRI Project Sustainable Development.
- PRATT, A. C. (2009): Social and economic drivers of land use change in the British space economy. *Land Use Policy* 26S: S109–S114.
- PREVOT-JULLIARD, A.-C., ET.AL., (2011): The Need for Flexibility in Conservation Practices: Exotic Species as an Example. *Environmental Management* 47: 315–321.
- PRICEWATERHOUSECOOPERS (2010): Adapting to climate change in the infrastructure sectors. Maintaining robust and resilient infrastructure systems in the energy, transport, water and ICT sectors Summary report. A report for Adapting to Climate Change Programme., Department for Environment, Food and Rural Affairs, London, November.
- PROGNOS AG (2010): Auf einen Blick: Prognos Zukunftsatlas 2010 – Deutschlands Regionen im Zukunftswettbewerb. Berlin/Bremen/Düsseldorf, 15. November.
www.prognos.com/zukunftsatlas.
- PROGNOS AG&ÖKO-INSTITUT (2009): Modell Deutschland Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken, Gutachten im Auftrag des WWF Deutschland. Basel / Berlin. <http://www.wwf.de/themen/klima-energie/modell-deutschland-klimaschutz-2050/>.
- PROWSE, T. D., C. FURGAL, R. CHOUINARD, H. MELLING, D. MILBURN&S. L. SMITH (2009): Implications of Climate Change for Economic Development in Northern Canada: Energy, Resource, and Transportation Sectors. *Ambio* Vol. 38 (5): 272-281.

- QUAY, R. (2010): Anticipatory Governance A Tool for Climate Change Adaptation. Journal of the American Planning Association Vol. 76 (No. 4): 496-511.
- RADEMAEKERS, K., ET.AL. (2011): Investment needs for future adaptation measures in EU nuclear power plants and other electricity generation technologies due to effects of climate change. Final Report to Directorate-General for Energy, Brussels, March.
- REITER, U.&H. TURTON (2009): Climate change adaptation scenario for the European electricity sector. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 6 (2009) 522004.
- REKER, J.&W. BRAAKHEKKE (2007): Tijdelijke natuur. Concept voor een beleidslijn. Definitieve versie., Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag, Augustus.
- REN, D. (2010): Effects of global warming on wind energy availability. JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY 02 (052301_2010_).
- RIDLEY, M. (2011): The Shale Gas Shock. GWPF Report, The Global Warming Policy Foundation, London.
- RIETVELD, P. (2009): Klimaatadaptatie en economie. Vrije Universiteit Amsterdam., Amsterdam.
- ROCHLITZ, J. (2010): Gefährliches technisches Neuland. politische ökologie 28 (123): 23-26.
- ROCKEFELLER FOUNDATION (2009): White Paper, Building Climate Change Resilience. Posted: August 4, 2009.
- ROSSI, J. (2010): The Limits of a National Renewable Portfolio Standard. Connecticut Law Review 42 (Number 5): 1425-1450.
- ROTHSTEIN, B.&G. HALBIG (2010): Weather sensitivity of electricity supply and data services of the German Met Office. In: A. TROCCOLI: Management of Weather and Climate Risk in the Energy Industry, Amsterdam, 253-265.
- ROUNSEVELL, M. D. A.&D. S. REAY (2009): Land use and climate change in the UK. Land Use Policy 26S: S160–S169.
- RÜBBELKE, D.&S. VÖGELE (2010): Impacts of Climate Change on European Critical Infrastructures: The Case of the Power Sector. BC3 WORKING PAPER SERIES, The Basque Centre for Climate Change, Barcelona, July. www.bc3research.org.
- RULE, T. A. (2011): Airspace in a Green Economy. Legal Studies Research Paper Series Research Paper, University of Missouri School of Law.
- RYAN-COLLINS, L., K. ELLIS&A. LEMMA (2011): Climate Compatible Development in the Infrastructure Sector. An overview of the opportunities and challenges at the nexus of climate change, infrastructure and development. Engineers Against Poverty (EAP)&The Overseas Development Institute (ODI), London, June. www.odi.org.uk.
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (SRU) (2010): 100% erneuerbare Stromversorgung bis 2050: klimaverträglich, sicher, bezahlbar. Stellungnahme, Berlin, Mai. (<http://www.umweltrat.de>).
- SATTERTHWAITE, D.&D. DODMAN (2009): The costs of adapting infrastructure to climate change. In: M. PARRY, N. ARNELL, P. BERRY, D. DODMAN, S. FANKHAUSER *et al.*: Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates, International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change, London.
- SCARLETT, L.&J. BOYD (2011): Ecosystem Services: Quantification, Policy Applications, and Current Federal Capabilities. Discussion Paper, Resources for the Future, Washington D.C., March.
- SCHAFFNIT-CHATTERJEE, C. (2011): Mitigating climate change through agriculture: An untapped potential. Trend Research- Current Issues, Deutsche Bank Research, Frankfurt am Main, September 19. www.dbresearch.com.
- SCHEELE, U. (2009): Der Nordwesten als "energy coast"? Die Bedeutung des Energiesektors für die regionale Entwicklung. ARSU Positionen. "Die Küste boomt". Ökonomische Perspektiven und ökologische Herausforderungen. Heft 12.
- SCHEELE, U. (2010): Nachhaltige Infrastrukturkonzepte im urbanen Raum: die Rolle der "urban green infrastructure". Tagungsband der Fachtagung: "Biodiversität und Klima - Vernetzung der Akteure in Deutschland VII - Ergebnisse und Dokumentationen des 7. Workshops", Insel Vilm.
- SCHEER, A. (2009): Erneuerbare Energien in großen Maßstäben nutzen – die Energieallee A 7. Eurosolar.
- SCHMIDT, J. (2010): Erneuerbare Energien in der Fläche. Potenziale 2020 - Wie viel Flächen brauchen die Erneuerbaren Energien? , Agentur für Erneuerbare Energien, Berlin.

- SCHOLZ, Y. (2010): Möglichkeiten und Grenzen der Integration verschiedener regenerativer Energiequellen zu einer 100% regenerativen Stromversorgung der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2050` SRU Materialien zur Umweltforschung 42, Berlin.
- SCHOOTS, K., ET.AL. (2010): The Cost of Pipelining Climate Change Mitigation: An Overview of the Economics of CH₄, CO₂ and H₂ Transportation. Working Paper, Energy Research Centre of the Netherlands (ECN) - Policy Studies Department, February.
- SCHOUKENS, H. E. A. T. (2010): Tijdelijke Natuur: Overtreft de dynamiek van de natuur die van het natuurbehoudsrecht? , LDR Advocaten, Gent. www.ldr.nl.
- SCHRÖDER-EHLERS, A., R. SCHMINKE, W. SIEBELS, R. GEUTER, K.-H. HAUSMANN&R. MEYER (2010): Ökosektor in Deutschland legt zu" - Wie ist das in Niedersachsen? , Niedersächsischer Landtag, 16. Wahlperiode, Stenographischer Bericht 79. Plenarsitzung am 19. August 2010, Anlage 15, S. 9972- 9974, Hannover.
- SCHUCHARDT, B., S. WITTIG&J. SPIEKERMANN (2010): Klimaszenarien für "nordwest2050". Teil 2: Randbedingungen und Beschreibung. Bremen.
- SCHULZ, T.&C. REESE (2011): Wem gehört das Nichts? Unterirdische Speicher und Grundeigentum. Recht der Energiewirtschaft (H.1): 8-15.
- SCOTT, M. (2009): Climate change: The investment opportunities to come in adaptation. bew energy finance Research Note Adaptation opportunities.
- SEAGER, T. P., S. MILLER&A. J. KOHN (2009): Land use and geospatial aspects in life cycle assessment of renewable energy. issst, IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology, : 1-6,.
- SECRETARY OF STATE FOR ENVIRONMENT, F. A. R. A. (2011): Climate Resilient Infrastructure: Preparing for a Changing Climate. Her Majesty's Stationery Office, London, May. www.defra.gov.uk/environment/climate/sectors/infrastructure-companies/.
- SEDLACEK, R. (2009): Untertage-Gasspeicherung in Deutschland. Erdöl Erdgas Kohle 125 Jg., Heft 11: 412-426.
- SELIGMAN, P. (2010): Australian Sustainable Energy – by the numbers, Melbourne.
- SELMAN, P. (2010): Learning to Love the Landscapes of Carbon-Neutrality. Landscape Research 35 (Issue 2): 157 - 171.
- SENATOR FÜR UMWELT BAU VERKEHR UND EUROPA (2011): Frische Brise: Ausbau der Windkraft. Bremen.
- SETO, K. C.&J. M. SHEPHERD (2009): Global urban land-use trends and climate impacts. Current Opinion in Environmental Sustainability : 1: 89–95.
- SHEATE, W., ET.AL. (2011): A Natural Planning Framework: Putting the Natural Environment at the Heart of the National Planning Framework for England. Final Report for the RSPB, Collingwood Environmental Planning Ltd, London, January.
- SHELDON, F., T. POTOK, A. KRINGS&P. OMAN (2004): Critical Energy Infrastructure: Survivability, Inherent Limitations, Obstacles, and Mitigation Strategies. International Journal of Power and Energy Systems 2004: 1-7.
- SIEDENTOP, S., M. GORNIG&WEIS. M. (2011): Integrierte Szenarien der Raumentwicklung in Deutschland: Ergebnisse eines Ressortforschungsprojektes im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Politikberatung Kompakt, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin.
- SIEMENS AG CORPORATE COMMUNICATIONS AND GOVERNMENT AFFAIRS (HRSG:) (2011): Sustainable Urban Infrastructure: Intelligente Energieversorgung für Berlin 2037. Eine Studie der Technischen Universität Berlin mit Unterstützung der Siemens AG und der Vattenfall Europe AG, Berlin. www.siemens.de/nachhaltige-stadtentwicklung.
- SMITH, P., ET.AL., (2010): Competition for land. Phil. Trans. R. Soc. B (365): 2941-2957.
- SOINIA, K., ET.AL. (2011): Local residents' perceptions of energy landscape: the case of transmission lines. Land Use Policy 28: 294–305.
- STADT BREMERHAVEN (2011): Arbeitsplätze und Zukunft haben Vorrang: Flughafen Luneort soll verlagert werden. Pressemitteilung, Bremerhaven, 21.00.2011. <http://www.bremerhaven.de/meer-erleben/stadt-haus/pressemittelungen/2011/09/21/>.
- STERN, N. (2007): The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- STEVENS, L. (2008): Assessment of Impacts of Climate Change on Australia's Physical Infrastructure. The Australian Academy of Technological Sciences and Engineering (ATSE) Parkville, Victoria.
- STREMKE, S. (2010): Designing Sustainable Energy Landscapes: Concepts, Principles and Procedures. PhD thesis. Wageningen University, Wageningen.
- STREMKE, S.&J. KOH (2010): Ecological concepts and strategies with relevance to energy-conscious spatial planning and design. *Environment and Planning B: Planning and Design* 37 (3): 518-532.
- STREMKE, S., A. VAN DEN DOBBELSTEEN&J. KOH (2011): Exergy landscapes: Exploration of second-law thinking towards sustainable landscape design. *International Journal of Exergy* Vol. 8 (No.2): 148 - 174.
- SUTHERLAND, W. J. E. A. (2010): REVIEW: The identification of priority policy options for UK nature conservation. *Journal of Applied Ecology* 47: 955-965.
- THE ADAPTATION SUB-COMMITTEE (2011): Adapting to climate change in the UK. Measuring progress. Progress Report 2011, London.
- THE ENVIRONMENT AGENCY (2010): The costs of the summer 2007 floods in England. Project: SC070039/R1. Bristol.
- THE EUROPEAN NETWORK OF TRANSMISSION SYSTEM OPERATORS FOR ELECTRICITY (ENTSO-E) (2010): Ten -Year Network Development Plan 2010-2020. Brussels, June.
- THE FUTURES COMPANY (2009): Horizon Scan of emerging issues for the Foresight project on the Future of Land Use. London.
- THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS (ICE) (2009): The State of the Nation: Defending Critical Infrastructure. London, June.
- THE INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS (ICE) (2010): The State of the Nation: Infrastructure 2010. London, June.
- THE IRISH ACADEMY OF ENGINEERING (2009): Ireland at Risk. Adaptation for Climate Change: Critical Infrastructure. Dublin, October.
- THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING ON BEHALF OF ENGINEERING THE FUTURE (2011): Infrastructure, Engineering and Climate Change Adaptation - ensuring services in an uncertain future. The Royal Academy of Engineering, London.
- THE ROYAL SOCIETY (2009): Engineering, Infrastructure and Climate Change Adaptation Conference. Engineering to ensure long-term climate resilient infrastructure Report of Proceedings. London, 1st December 2009.
- THE SCOTTISH GOVERNMENT (2010): Getting the best from our land:A draft land use strategy for Scotland: Environmental Report. Edinburgh.
- THE SCOTTISH GOVERNMENT (2011a): Applying an ecosystems approach to land use. Information note, Edinburgh. www.scotland.gov.uk.
- THE SCOTTISH GOVERNMENT (2011b): Scotland's Climate Change Adaptation Framework: Energy Sector Action Plan. Edinburgh.
<http://www.scotland.gov.uk/Topics/Environment/climatechange/scotlands-action/adaptation/AdaptationFramework/SAP>.
- THE SCOTTISH GOVERNMENT (2011a): Scotland's Climate Change Adaptation Framework: Spatial Planning and Land Use Sector Action Plan. Edinburgh.
<http://www.scotland.gov.uk/Topics/Environment/climatechange/scotlands-action/adaptation/AdaptationFramework/SAP>.
- THE SCOTTISH GOVERNMENT (2011b): Scotland's Climate Change Adaptation Framework: Biodiversity and Ecosystem Resilience Sector Action Plan. Edinburgh.
<http://www.scotland.gov.uk/Topics/Environment/climatechange/scotlands-action/adaptation/AdaptationFramework/SAP>.
- TILMAN, D., ET.AL. (2009): Beneficial Biofuels—The Food, Energy, and Environment Trilemma. *Science* Vol. 325 (no. 5938): 270-271.
- TOWN AND COUNTRY PLANNING ASSOCIATION (TCPA) (2009): Helping to Deliver Climate Change Adaptation through the UK Planning System.Final Report. The Royal Commission on Environmental Pollution., London, August.
- TOWN AND COUNTRY PLANNING ASSOCIATION (TCPA) (2010): GRaBS Briefing delivering green infrastructure benefits to communities and places through planning. GRaBS Briefing Paper, London. www.tcpa.org.uk.

- U.S. CLIMATE CHANGE SCIENCE PROGRAM (2006): Effect of Climate Change on Energy Production and Use in the United States: Synthesis and Assessment Product 4.5, Comment Draft, November 30, 2006 ("USCCSP Energy").
- U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (2011): World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States. Washington, DC.
- U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA) (2011): World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States. Washington D.C., April. www.eia.gov.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY -OFFICE OF SOLID WASTE AND EMERGENCY RESPONSE (2009): Opportunities to Reduce Greenhouse Gas Emissions through Materials and Land Management Practices. Washington D.C, September. www.epa.gov/oswer/.
- UMWELTBUNDESAMT (2008): Finanz- und Energiewirtschaft. Klimawandel & Klimafolgen in Deutschland. THEMENBLATT: Anpassung an Klimaänderung in Deutschland. Berlin.
- UMWELTBUNDESAMT (2009): Klimaschutzprogramme und -maßnahmen in Deutschland,. Berlin, Juni.
- UNICONSULT UNIVERSAL TRANSPORT CONSULTING GMBH (2010): Strategieentwicklung Marktpotenziale und Entwicklungsmöglichkeiten für den Standort Brunsbüttel im Windenergieanlagencluster. Hamburg, Juni. <http://www.uniconsult-hamburg.de>.
- URBAN, F.&T. MITCHELL (2011): Climate change, disasters and electricity generation. Strengthening Climate Resilience Discussion Paper, Institute of Development Studies, Brighton/Uk. h.. [p://community.eldis.org/scr](http://community.eldis.org/scr).
- URBAN LAND INSTITUTE (2010): New Tools. New Rules.: Climate Change, Land Use, and Energy 2010., Washington, D.C.
- URBED, AECOM&QUANTUM STRATEGY & TECHNOLOGY (2010): Decentralised and zero carbon energy planning. AGMA: Association of Greater Manchester Authorities, Manchester, January.
- URS CORPORATION LTD (2010): Adapting Energy, Transport and Water Infrastructure to the Long-term Impacts of Climate Change Full Report. London.
- VAN DAMM, F.&K. J. NOORMAN, (Editors), (2005): Grounds for Change: Bridging Energy Planning and Spatial Design Strategies. Energy Valley The Netherlands, Groningen.
- VAN DEN DOBBELSTEEN, A., S. JANSEN&A. VAN TIMMEREN (2007): Naar een energiegeestuurde Omgevingsplan Groningen. Definitief Eindrapport, TU Delft, faculteit Bouwkunde, sectie Climate Design, Delft, maart.
- VAN DER WERF, E.&S. PETERSON (2007): Modeling Linkages Between Climate Policy and Land Use: An Overview. NOTA DI LAVORO, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milano, MAY.
- VAN VEEN, M. P., M. E. SANDERS&A. TEKELENBURG, ET .AL., (2010): Breaking boundaries for biodiversity Expanding the policy agenda to halt biodiversity loss,. Netherlands Environmental Assessment Agency PBL, Den Haag/Bilthoven,.
- VAN VOSSEN, B. E. A. (2010): Toekomst Afsluitdijk: antwoorden op vijf onderzoeksvragen. Deltares, Delft.
- VDE (2010): Deutsches Höchstspannungsnetz. Berlin.
- VDI (2010): Ziele und Handlungsbedarf für eine CO2-arme Energieversorgung und -nutzung in Deutschland. Düsseldorf, März. (<http://www.vdi.de>).
- VDMA POWER SYSTEMS (2010): Strommix in der EU27. Entwicklung der Stromerzeugung in Europa von 2007 bis 2030.Ein Expertenausblick des VDMA Power Systems. Frankfurt/M., März. <http://www.vdma.org/powersystems/>).
- VENEMA, H. D.&I. H. ZUR REHMAN (2007): Decentralized renewable energy and the climate change mitigation-adaptation nexus. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 2007 (12): 875-900.
- VINE, E. (2008): Adaptation of California's Electricity Sector to Climate Change. The Public Policy Institute of California.
- WACHTER, P., M. ORNETZEDER&A. SCHREUER (2010): Critical Issues in the Spatial Organisation in the Transition to a Sustainable Energy System. Advances in Energy Studies 2010, 19th-22nd of October, Barcelona, 1Institute of Technology Assessment of the Austrian Academy of Sciences, Vienna, Austria, Wien.
- WAGENER, F., P. HECK, J. BÖHMER, R. CORNELIUS, R. M. GEBHARD, R. SCHERWAß, R. KRECHEL&H.-P. MICHLER (2008): Endbericht: Vorbereitende Studie (Phase I) - Analyse der Möglichkeiten zur Etablierung einer extensiven Landnutzungsstrategie auf der Grundlage einer Flexibilisierung des Kompensationsinstrumentariums der Eingriffsregelung - kurz ELKE,. Birkenfeld.

- WALENTOWSKI, H., H. LOTSCH&R. MEIER-UHLHERR (2008): Moore und Klimawandel. LWF aktuell 67.
- WALKER, G. (2011): Commentary zu: Andrews, C. et.al. ,Alternative Energy Sources and Land Use. In: Y.-H. HONG: Climate Change and Land Policies, Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge/Mass, 117-121.
- WALTER, M.&C. VON HIRSCHHAUSEN (2011): Introduction: Towards sustainable infrastructure and network regulation. Utilities Policy 19: 1–2.
- WANG, C.&R. G. PRINN (2010): Potential climatic impacts and reliability of very large-scale wind farms. Atmos. Chem. Phys. 10: 2053–2061.
- WATKISS, P. (2009): Scoping Study for a National Climate Change Risk Assessment and Cost-Benefit Analysis: Literature Review. Metroeconomica, AEA group, Paul Watkiss Associates, London.
- WEIJERS, E. P.&G. J. DE GROOT (2007): Energiewinning uit weginfrastructuur. Innovatieprogramme Rijkswaterstaat, Utrecht.
- WENDE, W., W. HUELSMANN, M. MARTY, G. PENN-BRESSEL&N. BOBYLEV (2010): Climate protection and compact urban structures in spatial planning and local construction plans in Germany. Land Use Policy 27: 864-868.
- WESERKRAFTWERK BREMEN GMBH (2008): Ein neues Wasserkraftwerk für Bremen. Hamburg.
- WILBANKS, T. J., V. BHATT, D. E. BILELLO, S. R. BULL, J. EKMANN, W. C. HORAK, Y. J. HUANG, M. D. LEVINE, M. J. SALE, D. K. SCHMALZER&M. J. SCOTT (2007a): Effects of Climate Change on Energy Production and Use in the United States. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the subcommittee on Global Change Research. Department of Energy, Office of Biological & Environmental Research, Washington, DC., USA.
- WILBANKS, T. J., ET.AL. (2007): Toward an integrated analysis of mitigation and adaptation: some preliminary findings. Mitig Adapt Strat Glob Change 12: 713–725.
- WILBANKS, T. J., P. R. LANKAO, M. BAO, F. BERKHOUT, S. CAIRNCROSS, J.-P. CERON, M. KAPSHE, R. MUIR-WOOD&R. ZAPATA-MARTI (2007b): Industry, settlement and society. In: M. L. PARRY, CANZIANI, O.F., PALUTIKOF, J.P., VAN DER LINDEN, P.J., HANSON, C.E.: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 357-390.
- WILBANKS, T. J.&J. SATHAYE (2007): Integrating mitigation and adaptation as responses to climate change: a synthesis. Mitig Adapt Strat Glob Change 12: : 957–962.
- WILLIAMS, K., ET.AL. , (2010): Adapting to Climate Change in the Compact City: The Suburban Challenge. Built Environment 36 (NO 1): 105-115.
- WILSON, E. (2009): Use of Scenarios for Climate Change Adaptation in Spatial Planning. In: S. DAVOUDI, J. CRAWFORD&A. MEHMOOD: Planning for Climate Change. Strategies for Mitigation and Adaptation to Spatial Planners, earthscan, London- Sterling, VA, 223-235.
- WILSON, E.&J. PIPER (2010): Spatial Planning and Climate Change. Routledge, Abingdon- New York.
- WINTER, M. (2009): Agricultural land use in the era of climate change: The challenge of finding 'Fit for Purpose' data. Land Use Policy 26S: S217–S221.
- WIRTSCHAFTSVERBAND ERÖL- UND ERDGASGEWINNUNG E.V. (2011): Jahresbericht Zahlen und Fakten 2010. Hannover.
- WISEMAN, J., ET.AL. (2011): Scenarios for Climate Adaptation Report:Executive Summary. Victorian Centre for Climate Change Adaptation Research, Carlton, Victoria, June. www.vcccar.org.au.
- WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (WBGU) (2011): Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation: Welt im Wandel. Zusammenfassung für Entscheidungsträger. Berlin, März. <http://www.wbgu.de>.
- WOLFE, P. (2008): The implications of an increasingly decentralised energy system. Energy Policy 36: 4509–4513.
- WOOD, R. E. A. (2011): Shale gas: a provisional assessment of climate change and environmental impacts. Research Report, The Tyndall Centre -University of Manchester, Manchester/Norwich, January.
- WORLD ENERGY COUNCIL (2010a): Biofuels: Policies, Standards and Technologies. London. www.worldenergy.org.
- WORLD ENERGY COUNCIL (2010b): Logistics Bottlenecks. London.
- WUPPERTAL INSTITUT FÜR KLIMA, U., ENERGIE GMBH (WI), (2010): RECCS plus Regenerative Energien (RE) im Vergleich mit CO2-Abtrennung und -Ablagerung (CCS) Update und Erweiterung der RECCS-Studie. Wuppertal, April.

- WWF, ECOFYS&OMA (2011): The Energy Report: 100% Renewable Energy by 2050. Gland u.a.
- YOUNG, B., C. SUAREZ&K. GLADMAN (2009): Climate Risk Disclosure in SEC Filings An Analysis of 10-K Reporting by Oil and Gas, Insurance, Coal, Transportation and Electric Power Companies., Ceres and Environmental Defense Fund, Boston/New York.
- YUSTA, J. M., ET AL., (2011): Methodologies and applications for critical infrastructure protection:State-of-the-art. Energy Policy doi:10.1016/j.enpol.2011.07.010.
- ZENTRALVERBAND DER DEUTSCHEN SEEHAFENBETRIEBE (2011): Offshore-Hafenatlas. Hamburg.
- ZIMMERMAN, R.&C. FARIS (2010): Chapter 4: Infrastructure impacts and adaptation challenges. Ann. N.Y. Acad. Sci. 196 (2010) (New York City Panel on Climate Change 2010 Report): 63-85.