

Bieritz, Loreto

**Working Paper**

## Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Energiewirtschaft: Welche Folgen hat die Erwärmung auf die Energieerzeugung und -verteilung?

GWS Discussion Paper, No. 2015/7

**Provided in Cooperation with:**

GWS - Institute of Economic Structures Research, Osnabrück

*Suggested Citation:* Bieritz, Loreto (2015) : Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Energiewirtschaft: Welche Folgen hat die Erwärmung auf die Energieerzeugung und -verteilung?, GWS Discussion Paper, No. 2015/7, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS), Osnabrück

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/121458>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*



SPECIALISTS IN  
EMPIRICAL ECONOMIC  
RESEARCH

DISCUSSION PAPER 15 / 07

ISSN 1867-7290

**Die Auswirkungen des Klimawandels auf die  
Energiewirtschaft:** Welche Folgen hat die Erwärmung  
auf die Energieerzeugung und –verteilung?

## Impressum

### AUTORIN

**Loreto Bieritz**

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS) mbH

Heinrichstr. 30, 49080 Osnabrück, [bieritz@gws-os.com](mailto:bieritz@gws-os.com)

### HERAUSGEBER

**Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH**

Heinrichstr. 30, D-49080 Osnabrück

Tel +49 (0) 541 40933-190, [www.gws-os.com](http://www.gws-os.com)

### TITEL

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Energiewirtschaft: Welche Folgen hat die Erwärmung auf die Energieerzeugung und –verteilung?

### VERÖFFENTLICHUNGSDATUM

Juni 2015

## Das Discussion Paper im Überblick

Die Energiewirtschaft, die zu einem Fünftel zu unserem BIP beiträgt, wird von den Klimaveränderungen auf unterschiedliche Weise beeinflusst. Dieses Discussion Paper konzentriert sich auf die Wirkungen, die von der globalen Erwärmung auf den Energiesektor in Deutschland und schließlich auf die Gesamtwirtschaft ausgehen. Dabei steht insbesondere die Drosselung der Kraftwerkskapazität infolge gesunkener Pegelstände und erhöhter Wassertemperaturen im Vordergrund. Eine Lokalisierung der entstehenden Umsatzausfälle bei den Stromabnehmerbranchen sowie die Ermittlung der Sekundäreffekte auf die Beschäftigung könnten mittels makroökonomischer Input-Output-Modelle erfolgen.

### INHALTSVERZEICHNIS

Impressum	1
Das Discussion Paper im Überblick	3
Inhaltsverzeichnis	3
Der Klimawandel und die Energiewirtschaft	4
Die Entwicklung des Energiesektors	4
Die Umsatzentwicklung des Stromsektors	5
Die Stromproduktion und ihre Verwendung	6
Auswirkungen des Klimawandels auf die Energiewirtschaft	7
Folgen für die Erzeugung von Strom	7
Folgen für die Elektrizitätsverteilung	11
Anforderung an die Energiewirtschaft	11
Zusammenfassung und Ausblick	12
Literatur	15

## Der Klimawandel und die Energiewirtschaft

Die Veränderungen des weltweiten Klimas manifestieren sich in Deutschland in einer allgemeinen Anhebung der mittleren Temperatur sowie in einer Verschiebung der Niederschlagsereignisse vom Sommer in den Winter. Hiermit verbunden sind zunehmende Extremwetterereignisse wie Starkregen im Winter und verstärkter Hitze und Dürre im Sommer (Schönwiese (2006), Bardt (2013)). Diese Veränderungen beeinträchtigen die Funktionsweise der Lebewesen aber auch wichtige Bereiche unserer Wirtschaft werden von den Naturereignissen getroffen.

In der hier betrachteten Energiewirtschaft gehen die Störungen insbesondere von fehlendem Kühlwasser aus: Geringe Flusststände oder erwärmtes Flusswasser lassen unter Einhaltung der gegebenen Umweltregularien die Wasserentnahme oder die –einleitung nicht zu, mit der Folge einer Drosselung oder einer kompletten Abschaltung der betroffenen Kraftwerke (Umweltbundesamt (2011)). Hierdurch entsteht nicht nur ein Umsatzverlust bzw. Schaden für den Energieerzeuger selber, sondern auch für die Unternehmen, die ihrerseits Energie in Form von Strom abnehmen und für ihre Produktion nutzen.

In Abhängigkeit des gewählten Klimaszenarios variiert die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens für die Kraftwerksbetreiber sowie für die abnehmenden Unternehmen. Für die Entwicklung von Umgehungsstrategien oder Anpassungsmaßnahmen ist jedoch zunächst die Kenntnis über die verschiedenen Ursachen der Schäden erforderlich. Die Wahl des Szenarios und seine Berechnung folgen erst in einem weiteren Schritt.

## Die Entwicklung des Energiesektors

Zu den Branchen der Energiewirtschaft zählen gemäß der Wirtschaftszweiggliederung von 2008 (WZ-08) die Unternehmen, die Energie erzeugen, diese verteilen oder mit ihr handeln. Darüber hinaus zählen Betreiber der Kälte- oder Wärmeversorgung zu dieser Branche. Mit einem Umsatzanteil von über 85% ist die Elektrizitätsversorgung (WZ-35.1) der bedeutendste Sektor der Branche, die Gasversorgung (WZ-35.2) erwirtschaftet etwa 11% der Energiewirtschaft und die Kälte- und Wärmeversorgung (WZ-35.3) generiert nur knapp 1,5% des Branchenumsatzes. Dabei betrug der gesamte Umsatz der Branche zuletzt gut 604 Mrd. € (2014).

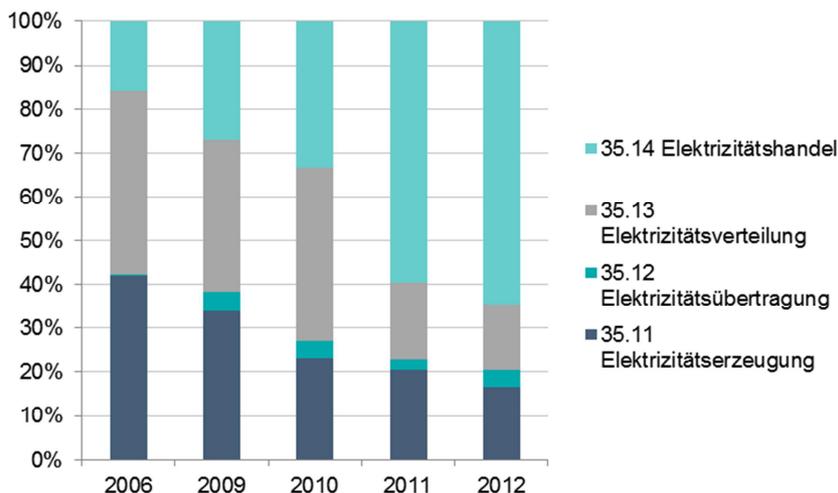
Die Umsatzentwicklung des Energiesektors unterliegt starken Schwankungen, die von politischen Entscheidungen, der konjunkturellen Situation sowie von den Preisentwicklungen auf den internationalen Rohstoffmärkten bestimmt wird. So führte die politische Entscheidung der Energiewende, als Reaktion auf Fukushima, zunächst zu einer Stagnation bei der Branche der Elektrizitätsversorgung und im darauffolgenden Jahr zu einem Umsatzrückgang. Die erforderliche Umstrukturierung der Energieversorgung wird auch in den kommenden Jahren voraussichtlich zu einer verhaltenen Umsatzentwicklung der Stromversorgung führen. Die

Entkoppelung des Gas- vom Erdölpreis auf der einen Seite sowie die zunehmende Schiefergasförderung in den USA und die in Europa geführte Diskussion um die Gasgewinnung mittels Fracking auf der anderen Seite, begleiten wiederum die Umsatzentwicklung des Segments der Gasversorgung seit einigen Jahren.

## DIE UMSATZENTWICKLUNG DES STROMSEKTORS

Die detaillierte Betrachtung der Umsatzentwicklung innerhalb der Elektrizitätsversorgung (WZ-35.1) zeigt, dass sich die Branchenstruktur innerhalb weniger Jahre stark verändert hat. Während Mitte der 2000er Jahre die Elektrizitätserzeugung (WZ-35.11) noch gut 40% des Branchenumsatzes ausmachte, ist diese bis zum Jahre 2012<sup>1</sup> auf weniger als die Hälfte zusammengeschrumpft. Der Umsatzanteil der Elektrizitätsverteilung (WZ-35.13), ist innerhalb eines Jahres – von 2010 auf 2011 - von knapp 40% auf unter die Hälfte gefallen. Diese Rückgänge gingen zugunsten des Stromhandels (WZ-35.14), der kontinuierlich an Bedeutung gewonnen hat: Während mit dem Handel im Jahre 2006 nur gut 31 Mrd. € umgesetzt wurden, erzielte dieses Branchensegment bereits sechs Jahre später einen Umsatz von über 325 Mrd. Euro und damit einen Umsatzanteil von 65% an der Branche 35.1, bzw. über die Hälfte des gesamten Umsatzes der Energiewirtschaft (WZ-35). Hieran wird zum einen ein Strukturwandel innerhalb der Branche sichtbar, zum anderen drückt sich hier aber auch die Umsatzgenerierung über den Weiterverkauf von Strom aus.

**Abbildung 1: Verteilung des Umsatzes der Elektrizitätsversorgung (WZ-35.1)**



Quelle: Unternehmensregister, eigene Darstellung.

<sup>1</sup> Daten auf dieser Branchenebene werden nur vom Unternehmensregister erhoben. Dieses liefert jedoch keine aktuelleren Daten.

## DIE STROMPRODUKTION UND IHRE VERWENDUNG

Die Verschiebung des Umsatzes zugunsten des Stromhandels geht somit nicht zugleich mit einer Abnahme der Stromproduktion einher. Diese ist mit wenigen Ausnahmen seit 1994 kontinuierlich auf mittlerweile über 630 TWh (2013) gestiegen. Damit erreicht die Stromproduktion zwar noch nicht wieder das Niveau, das sie noch vor der Wirtschaftskrise eingenommen hat (640 TWh, 2008), ist aber im Vergleich zur gesamtdeutschen Datenaufzeichnung seit 1991 um über ein Sechstel angestiegen. Der potentielle Ausfall der Stromerzeugung, der zusammen mit seiner Übertragung sowie der Verteilung des Stroms in erster Linie von Extremwetterereignissen betroffenen wäre, wiegt somit weiterhin schwer.

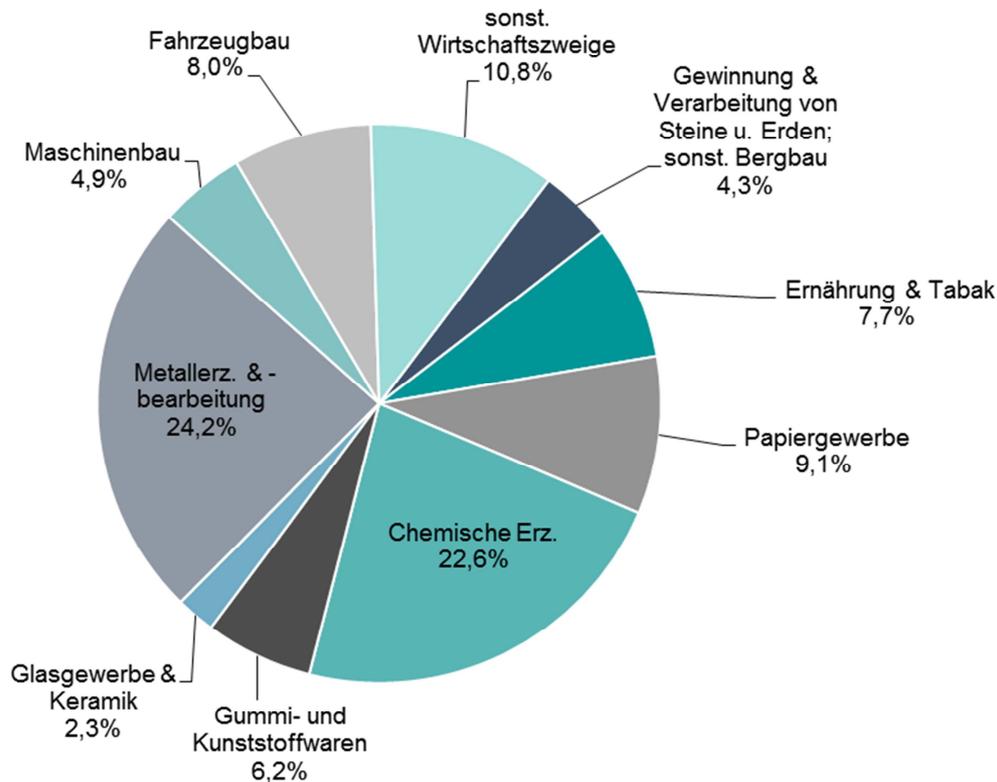
Der in Deutschland verwendete Strom wird zu drei Vierteln von Kraftwerken der allgemeinen Versorgung produziert. Hierzu zählt auch die Stromproduktion durch die Deutsche Bahn AG. Dabei werden 60% des Stroms in Wärmekraftwerken erzeugt. Dieser Anteil hat sich seit 1991 nur geringfügig zugunsten der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energieträgern verringert. Das Stromaufkommen aus EE ist seit der Jahrtausendwende von 2% auf nun immerhin fast 28% angestiegen (BMWi (2015)). Dieser Anstieg geht insbesondere zulasten der Kernenergie, die im gleichen Zeitraum von gut 27% auf 15% gefallen ist (BMWi (2015)).

Die Industrie zählt zu den größten Stromverbrauchern. Immerhin 47% der erzeugten Elektrizität wird von dieser verwendet, gefolgt von den privaten Haushalten mit einem Anteil von knapp 25% und dem Gewerbe, dem Handel und den Dienstleistungen (GHD), die wiederum etwas weniger als 15% des Stroms nachfragen. Die übrigen fast 15% werden in erster Linie von den öffentlichen Einrichtungen nachgefragt (9,5%) gefolgt vom Verkehr und der Landwirtschaft (BMWi (2015)).<sup>2</sup> Da die Industrie den Strom zur Wertschöpfung einsetzt hat ein Ausfall oder eine Verknappung des Stroms unmittelbare Auswirkungen auf die Produktion und damit auf die Gesamtwirtschaft. Der Fokus wird daher im Folgenden auf den Industriesektor gelegt.

Der Energieverbrauch der Industrie in Deutschland schwankt mit der Konjunktur, wobei die Industrie ihren Verbrauch von 1990 bis 2013 um immerhin fast 11% reduziert hat. Zeitgleich hat die industrielle Produktion zugenommen, was darauf schließen lässt, dass dieser Sektor Energie effizienter einsetzt und die Maschinen und Geräte mit einer effizienteren Energietechnik arbeiten (Bieritz (2013)).

---

<sup>2</sup> Tabelle 21.

**Abbildung 2: Stromverbrauch der Industrie nach Branche (2012)**

Quelle: AG Energiebilanzen (2013), Tabelle 17, eigene Darstellung.

Die metallverarbeitende und die chemische Industrie bestimmen mit einem Anteil von jeweils über 20% des industriellen Stromverbrauchs die Nachfrage dieses Sektors.<sup>3</sup> Mit deutlichem Abstand folgen mit einem Nachfrageanteil von jeweils rd. 7,5-9% das Papiergewerbe, der Fahrzeugbau sowie das Ernährungs- und Tabakgewerbe. Der Maschinenbau stellt 5% der industriellen Elektrizitätsnachfrage (siehe Abbildung 2).

## Auswirkungen des Klimawandels auf die Energiewirtschaft

Der Wirkungsgrad von Kraftwerken und Netzen wird durch Witterungseinflüsse wie Temperatur, Niederschlag, Windstärke und solare Strahlung beeinflusst (Steinhäuser, Rooffs (2011)). Die Auswirkungen von Temperatur- sowie Wasserstandsveränderungen infolge von Verdunstung bilden den Schwerpunkt dieser Synthese, so dass im Folgenden ausschließlich das Temperaturphänomen betrachtet wird.

## FOLGEN FÜR DIE ERZEUGUNG VON STROM

Unter den Kraftwerken kann zwischen Wärme-, Wasserkraft- und Windkraftanlagen unterschieden werden. Ferner gibt es Kraftwerke, in denen erneuerbare Energien in elektrische

<sup>3</sup> Aktuellere Daten zum sektoralen Stromverbrauch als 2012 liegen nicht vor.

Energie umgewandelt werden, wie beispielsweise Geo- oder Solarthermische Kraftwerke. Von einer Erwärmung der Luft- und Wassertemperatur sind insbesondere thermische Kraftwerke mit einer Durchlaufkühlung betroffen. Zu diesem Kraftwerkstyp gehören Braun- und Steinkohlekraftwerke sowie Kernkraft-, Biomasse- und Erdgaskraftwerke. Sie entnehmen Oberflächenwasser zur Kühlung im Kondensator und leiten das Wasser in vollem Umfang an das Gewässer wieder ab. Da der Wärmeeintrag für das Gewässer erheblich sein kann und das aquatische Ökosystem damit gefährden kann, unterliegen die Kraftwerke Umweltregularien, die die Temperatur des eingeleiteten Wassers definieren sowie die Entnahme bei Unterschreitung bestimmter Pegelstände einschränken oder untersagen. Die Regularien sind in sogenannten Wärmelastplänen festgelegt. Eine deutlich geringere Belastung für die Flusstemperatur stellen Kraftwerke mit einer Ablaufkühlung dar – hier wird das Kühlwasser vor dem Einleiten in das Gewässer in einem Kühlturm abgekühlt sowie Kraftwerke mit einer Kreislaufkühlung, bei denen das rückgekühlte Wasser erneut zur Kühlung verwendet wird (PIK (2013)). Kraftwerke mit Durchlaufkühlung befinden sich in Deutschland meist an der Küste sowie am Rhein.

### **Energieerzeugung mit fossilen Energieträgern**

Die gültigen Umweltregularien erfordern eine Drosselung der Kraftwerksaktivität bis hin zur Abschaltung bei einem Temperaturanstieg der Gewässer oder geringen Wasserpegelständen. Hierdurch verringert sich der Auslastungsgrad der Kraftwerke. Klimaszenarien des Potsdamer Klimafolgenforschungsinstituts (PIK), die einen Temperaturanstieg von 3,6 bis 4,1°Celsius bis 2100 annehmen, zeigen die stärkste Reduzierung des Auslastungsgrades thermischer Kraftwerke mit Durchlaufkühlung, bei Kraftwerken, die am Rhein-Main sowie an der Oberweser liegen. Kraftwerke am mittleren Neckar sind ebenfalls stark von Klimaveränderungen betroffen. Sie büßen zwischen 2% und 3% ihrer jährlichen Auslastung bis zum Jahre 2055 ein. Berücksichtigt man, dass sich der Ausfall auf wenige Tage im Jahr konzentriert, wird deutlich, dass der punktuelle Schaden erheblich sein kann (PIK (2013a und b)). Der sekundäre Schaden, den die reduzierte Stromproduktion auf die Volkswirtschaft infolge einer gedrosselten Industrieproduktion hat, kann bedeutend höher sein, zieht man in Betracht, dass in den betroffenen Regionen ein gewichtiger Teil der deutschen Bruttowertschöpfung stattfindet.

In Experteninterviews, die das Institut der deutschen Wirtschaft im Jahre 2011 durchgeführt hat, wurde die Vulnerabilität der Energiewirtschaft auf den Klimawandel insgesamt moderat eingestuft (Bardt et al. (2013)). Auf einer Skala von +5 (hohes Potenzial) bis -5 (großes Risiko) wurde der Energieverteilung über die Netzinfrastruktur mit -2 das höchste Risiko zugesprochen. Die gesamte Energieerzeugung folgte mit einer Wertung von -1,4. Das Risiko einer eingeschränkten Verfügbarkeit der Energiequellen sowie einer Einschränkung des

Transports der Energieträger zu den Kraftwerken infolge klimatischer Veränderungen wurde nur mit -0,3 bzw. -0,6 bewertet. Relevant für die Beurteilung des Risikos der Energieerzeugung war auch in dieser Studie der Kraftwerkstyp. Da in Deutschland immer mehr Kraftwerke mit einem Kühlturm betrieben werden und die verbleibenden Kraftwerke mit Durchlaufkühlung nicht lokal konzentriert seien, reduziert sich nach Meinung der befragten Experten die Gefahr, der Entstehung eines Risikoclusters.

In der von Bräuer durchgeführten Folgenabschätzung des Klimawandels auf die öffentlichen Finanzen wird der Schaden durch den im Szenario definierten mittleren Jahrestemperaturanstieg von rd. 2°C im Jahresmittel bis zum Jahre 2100 mit 4 Mrd. € beziffert (Bräuer et al. (2009)). Dieser basiert auf einer dauerhaften Kapazitätseinschränkung thermischer Kraftwerke von 10% aufgrund erhöhter Gewässertemperaturen sowie 60 Mio. € pro Hitzewelle. Dabei gehen die Autoren der Studie davon aus, dass in 80 Jahren alle zwei Jahre Hitzewellen stattfinden werden, die mit der in 2003 vergleichbar sind. Ausgangspunkt für die Berechnungen war die Leistungseinschränkung von Kernkraftwerken in Frankreich während der Hitzewelle des Jahres 2003. Die später ermittelten Gesamtkosten betragen 0,1 bis 0,2% des BIP. Da in Deutschland bis Ende 2022 alle Kernkraftwerke abgeschaltet sein werden, ist diese Berechnung jedoch nur eingeschränkt übertragbar.

### **Folgen auf die Energieerzeugung durch EE**

In der Energieerzeugung mit EE sehen die Experten des Instituts der deutschen Wirtschaft (IW) in Köln ebenfalls Risiken. Insbesondere die Produktion mittels Wasserkraft und Wind birgt Gefahrenpotenziale (jeweils mit -2 bewertet): Windkraftanlagen müssten aufgrund zunehmender Stürme abgeschaltet werden und Wasserkraftanlagen aufgrund zu geringer Pegelstände (Bardt et al. (2013)). Die zunehmende Sonneneinstrahlung erhöht hingegen die Auslastung der Photovoltaikanlagen, die auch bei bedecktem Himmel Energie produzieren können, im Gegensatz zu solarthermischen Anlagen, die von der direkten Sonneneinstrahlung abhängig sind.<sup>4</sup> Hierzu durchgeführte Studien in den USA erzielten sehr unterschiedliche Ergebnisse: Der Produktionsrückgang an Energie reicht von 20% bis zum Jahre 2040 infolge erhöhter Wolkenbildung bis hin zu einem Stromerzeugungsverlust von 6% aufgrund einer 2% geringeren Sonnenstrahlung (Neumann (2009), Scheele (2011)). Ungeachtet der Erzeugungsverluste sehen die vom IW befragten Experten die Chance, auf die klimabedingt geänderte Wärme- und Kälte-Nachfrage mittels der Nutzung von Sonnenenergie zu reagieren: Auf einen höheren Bedarf an Klimaanlage im Sommer sowie einem geringeren Heizbedarf im Winter. Eine Studie aus Großbritannien hat bei einem angenommenen Temperaturanstieg um 1°C einen jährlichen zusätzlichen Energieverbrauch von 17,5% bis zum Jahre 2020 be-

---

<sup>4</sup> An dieser Stelle ist anzumerken, dass in Deutschland keine solarthermischen Anlagen installiert sind.

rechnet (Hitchin et al (ohne Jahr), Bräuer (2009)). Untersuchungen in den USA, die die Folgen bei einer vergleichbaren Erwärmung berechnet haben zeigen, dass es zu einer 3-15%-Reduktion an Heizenergie im Winter bei einem 5-20%-Anstieg an Kühlenergie im Sommer kommt (Wilbanks (2008), Neumann (2009)). Die Risiken und Potenziale wiegen sich demnach nahezu auf. Aus Expertensicht besteht das Risiko für die Nutzung von Photovoltaik insbesondere in den Folgen extremer Ereignisse wie Sturm und Hagel auf die Anlagen.

Studien zu den Folgen des Klimawandels auf die Wasserkraft konzentrieren sich meist auf einzelne Flussabschnitte und ergeben z.T. sehr unterschiedliche Ergebnisse. Eine in 2005 publizierte Abschätzung zu den Auswirkungen der Klimaerwärmung auf Europa ergab, dass die Erzeugungskapazitäten in Nordeuropa bis zum Jahre 2070 um etwa 25% zunehmen werden, während Süd- und Südosteuropa mit einer Reduktion um 25% rechnen müssen (Lehner (2005)). Analysen zu den Auswirkungen auf Deutschland gehen von einer saisonalen und regionalen Neuverteilung einer nahezu konstanten Jahresniederschlagsmenge aus. Zum einen verschieben sich die Niederschlagsereignisse von den Sommer- hin zu den Herbst- und Wintermonaten. Zum anderen verliert der Alpenraum seine Bedeutung als Standort für die Wasserkraft, da hier ein besonders starker Rückgang der Sommerniederschläge erwartet wird. Die höheren Niederschläge im Winter können in den Talsperren aufgrund der ohnehin hohen Wasserstände zu dieser Jahreszeit nicht in vollem Umfang genutzt werden, sondern müssen seitlich an den Turbinen abgeleitet werden. Die Wahrscheinlichkeit der zeitlichen Entzerrung durch den Zwischenspeicher Schnee wird infolge des Temperaturanstiegs wiederum abnehmen (Bräuer (2009)).

Koch et. al. (2011) rechnet bei einem erwarteten globalen Temperaturanstieg von 2,8°C bis Ende des Jahrhunderts für die Obere Donau mit einem Rückgang der Produktionskapazität um 8-16% bis 2060. Eine Studie zum Elbeinzugsgebiet rechnet mit einer Abnahme um 13% bis zum Jahre 2050 (Grossmann und Koch (2011)).

Das PIK berechnet in seiner Klimafolgenstudie auf die Energiewirtschaft, dass Wasserkraftanlagen bis 2055 gut 12% ihrer jährlichen mittleren Auslastung einbüßen werden. Das entspricht einem Rückgang der Energieproduktion um über 2,5 TWh im Jahr (PIK (2013a und b)). Die negativen Klimafolgen könnten jedoch durch Modernisierungsmaßnahmen der Anlagen bspw. der Turbinen sowie durch einen Ausbau der Wasserkraftanlagen kompensiert werden. Windkraftanlagen hingegen können infolge der erwarteten Klimaveränderungen ihre Jahresproduktion sogar erhöhen – um etwa 4,5% könnte die Jahresproduktion bis Mitte des Jahrhunderts zunehmen. Dabei profitieren insbesondere Mittel- und Norddeutschland von einer höheren Auslastung.

## FOLGEN FÜR DIE ELEKTRIZITÄTSVERTEILUNG

Die Übertragungsgeschwindigkeit von elektrischer Energie wird durch hohe bzw. niedrige Temperaturen sowie Trockenheit reduziert. Ferner kann die Infrastruktur der Stromverteilung durch Extremwetterereignisse wie Sturm, Hagel oder Frost beschädigt werden und damit ebenfalls in ihrer Durchleitungsfähigkeit behindert werden. Letzteres betrifft insbesondere Hochspannungsleitungen, die in Deutschland überirdisch verlegt sind, während die Elektrizitätsverteilung im Mittel- und Niederspannungsbereich über Erdkabel erfolgt - diese decken über 70% des gesamten Stromnetzes in Deutschland ab.

Aufgrund der Bedeutung der Hochspannungsleitungen für die Gesamtverteilung des Stromes wird die Vulnerabilität der Elektrizitätsverteilung vergleichsweise hoch eingeschätzt. In der IW-Befragung werteten die Experten das Risiko insgesamt mit -2 ein. Damit erhält die Verteilung die höchste Vulnerabilitätsstufe innerhalb der Energiewirtschaft (Bardt et al. (2013)). Zum einen ist diese Einschätzung mit der Rolle Deutschlands als Transitland in einem integrierten europäischen Strommarkt verbunden, zum anderen mit der zunehmenden Stromproduktion über off-shore-Windkraftanlagen, die den Transport größerer Strommengen von der Nordsee bis zu den bedeutenden industriellen Endverbrauchern in Süddeutschland erfordern. Die Beschädigung der Infrastruktur aufgrund klimatischer Extremereignisse würde damit die Übertragung sehr großer Strommengen blockieren und nicht nur in Deutschland ökonomische Verluste hervorrufen. Bräuer schätzt den Schaden durch Sturmereignisse auf 340 Mio. € pro Extremereignis ein. Darin enthalten sind die Schäden an der Infrastruktur sowie die daraus entstehenden Folgekosten für die Endverbraucher (Bräuer (2009)). Die Kosten für die Verlegung dieser Infrastruktur unter die Erde werden wiederum von den vom IW befragten Experten höher eingeschätzt als der erwartete Schaden, so dass diese Maßnahme keine realistische Option darstellt.

## ANFORDERUNG AN DIE ENERGIEWIRTSCHAFT

Die Folgen des Klimawandels auf die Energiewirtschaft gehen in erster Linie auf die geringere Erzeugung und somit auf den geringeren Energieabsatz zurück. Indirekt sinken durch die geringere Energieerzeugung bzw. die geringere Übertragung auch die Produktion und der Absatz der abnehmenden Branchen mit zusätzlichen Folgen für die Beschäftigung und den Konsum. Eine Dämpfung der negativen Auswirkungen könnte über Investitionen bspw. in den Kraftwerkpark erzielt werden. So wäre der vermehrte Einsatz von Spitzenlastkraftwerken denkbar, die es den Kraftwerksbetreibern erlauben, flexibler auf Temperaturveränderungen einzugehen. Eine höhere Ausbeute könnte auch über die Investition in die Entwicklung von Kraftwerken, die eine effizientere Kühlwassernutzung betreiben, erlangt werden. Darunter fallen in erster Linie Kraftwerke mit einer Kreislaufkühlung, die in wesentlich geringerem Ausmaß von einer erhöhten Wassertemperatur in Hitzeperioden abhängig sind.

Der Umstieg auf Erneuerbare Energien-Anlagen könnte nach Einschätzung der bisher durchgeführten Studien künftige Umsatzausfälle infolge steigender Umgebungstemperaturen nur teilweise verhindern: Lediglich die Energieerzeugung durch Biomasse sowie durch Geothermie wird klimaunkritisch betrachtet. Ihr Anteil am gesamten Stromverbrauch beträgt zusammen knapp 6%<sup>5</sup>, wobei die Geothermie weit unter 0,01% liegt. Im Energiemix wird Biomasse künftig voraussichtlich eine wachsende Bedeutung einnehmen, den Energiemix aber nicht grundsätzlich verändern. Die negativen Auswirkungen auf Wasserkraftanlagen könnten durch ihren Ausbau sowie ihrer Modernisierung kompensiert werden. Durch den Ausbau sowie ihrer Weiterentwicklung könnten auch Windkraftanlagen in Zukunft ihre Energieproduktion sogar steigern.

Die Anfälligkeit gegenüber einem starken Temperaturanstieg könnte ferner durch die Anpassung des Standortes reduziert werden. Zum einen würde die Schadenswahrscheinlichkeit durch eine Dezentralisierung des Kraftwerksparks stärker verteilt werden zum anderen wären unterirdisch verlegte Stromnetze in geringerem Ausmaß in ihrer Durchleitungskapazität betroffen. Die Kosten für die zuletzt genannte Maßnahme übersteigen jedoch nach Aussage der hier betrachteten Studien die Risikokosten.

## Zusammenfassung und Ausblick

Der Temperaturanstieg infolge des Klimawandels wird die Energiewirtschaft in erster Linie in der Erzeugung sowie in der Verteilung der Elektrizität treffen. Der hohe Kühlwasserbedarf thermischer Kraftwerke mit Durchlaufkühlung macht diesen Kraftwerkstyp besonders vulnerabel, da die Einleittemperatur des Wassers in die Gewässer gesetzlich geregelt ist und bei Überschreitung zu einer Drosselung oder Abschaltung führt. Die Ergebnisse der Untersuchungen fallen entsprechend der verschiedenen Klimaannahmen unterschiedlich aus, gehen aber durchweg von einer Drosselung der Kraftwerkskapazität aus (Vgl. Tabelle 1).

Die Umsatzeinbußen aufgrund eingeschränkter Erzeugungskapazitäten betreffen nicht ausschließlich Anlagen, die mit fossilen Energieträgern Strom produzieren, sondern auch solche, die mit EE betrieben werden. Geringere Pegelstände reduzieren die Potenziale von Wasserkraftanlagen. Diese produzieren zwar nur etwas weniger als 5% des Bruttostroms, sind aber aufgrund ihrer Fähigkeit sowohl Grund- als auch Spitzenlast zu erzeugen, für den Energiemix von hoher Bedeutung. Die Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen, die mittlerweile über 4% des Bruttostroms in Deutschland erzeugen, wird durch verstärkte Wolkenbildung gemindert. Insgesamt wird jedoch das Risiko eines infrastrukturellen Schadens an PV-Anlagen, der durch Hagelschlag oder Sturm eintreten kann, höher eingestuft als das Risiko der verminderten Produktion aufgrund von Wolken.

---

<sup>5</sup> 2012; aktuellere Daten liegen nicht vor.

Die Studien zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Windkraftanlagen sind nicht eindeutig. Zunehmende Windgeschwindigkeiten könnten zu einer vermehrten Abschaltung als auch zu einer erhöhten Produktion führen, sofern die Weiterentwicklung der Windkraftanlagen im gleichen Tempo wie bisher verläuft. Kompensationsmöglichkeiten im Bereich der Wasserkraftanlagen werden durch den Ausbau dieser Anlagen sowie ihrer Modernisierung – bspw. über den Einbau effizienterer Turbinen - gesehen.

**Tabelle 1: Klimafolgen**

	Energieerzeugung mit fossilen Energieträger  (thermische Kraftwerke mit Durchlaufkühlung)	Energieerzeugung mit erneuerbaren Energieträger	Energieverteilung/ Netze  (überirdisch verlaufende Hoch- & Höchstspannungsleitungen)
<b>PIK</b>	Reduzierung des jährlichen Auslastungsgrades um 2-3% bis 2055; besonders betroffene Gewässer: Rhein-Main; Oberweser; mittlerer Neckar	Wasserkraft: Reduzierung des jährlichen Auslastungsgrades um 12% bis 2055 (ca. 2,5 TWh im Jahr)  Windkraft: Erhöhung der Jahresproduktion um 4,5%; begünstigte Regionen: Mittel- und Norddeutschland	
<b>IW</b>	Klimarisiko: -2  (Skala -5 (hohes Risiko) bis +5 (geringes Risiko))	Klimarisiko (Saldo): -0,8  darunter - Wind: -1 - Wasser: -2 - Sonne: -1	Klimarisiko: -2
<b>ecologic (Bräuer)</b>	dauerhafte Kapazitätseinschränkung thermischer Kraftwerke von 10%: 4 Mrd. €  einmalige Kosten pro Hitzewelle: 60 Mio. €		340 Mio. € pro Extremereignis (Sturm)
<b>Sonstige Studien</b>		Sonnenenergie: Produktionsrückgang von 6-20% infolge höherer Wolkenbildung durch thermische Erwärmung  Risiko: infrastruktureller Schaden durch Hagel und Sturm	

Quelle: eigene Darstellung

Ausgehend von der Berechnung des Potsdamer Klimafolgenforschungsinstituts zur betroffenen Kraftwerksleistung, sind 147.000 GWh (bzw. 147 TWh) installierte Leistung bei thermischen Kraftwerken mit Durchlaufkühlung von temperaturbedingten Abschaltungen betroffen (PIK 2013b). Das entspricht etwas weniger als einem Fünftel der insgesamt installierten Kraftwerkskapazität (Brutto) thermischer Kraftwerke in Deutschland. Zusammen mit den Ergebnissen einer vergleichbaren Ermittlung der betroffenen Leistung von Anlagen, die mit EE betrieben werden, könnte ein Zusammenhang zwischen der Kraftwerksleistung und den Umsatzausfällen hergestellt werden. Eine Differenzierung zwischen den Umsätzen der Elektrizitätserzeugung, ihrer Übertragung und Verteilung (WZ-35.11 - 35.13) sowie den Umsätzen aus dem Elektrizitätshandel (WZ-35.14) erscheint sinnvoll, da beim Stromhandel andere Mechanismen greifen. So enthält der Branchenumsatz auch den Umsatz aus dem Weiterverkauf von Strom.

Wie stark die ökonomischen Verluste schließlich ausfallen, hängt zum einen davon ab, wie die ausgefallene GWh monetär bewertet wird sowie zum anderen vom gewählten Klimaszenario. Unter Verwendung eines makroökonomischen Input-Output-Modells sind die Lokalisierung der entstehenden Umsatzausfälle bei den Abnehmerbranchen sowie die Ermittlung der Sekundäreffekte auf die Produktion und den Arbeitsmarkt möglich.

## Literatur

- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2015): Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2014 nach Energieträgern, Berlin, 7. Februar 2015.
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2013): Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2011 und 2012, Berlin, November 2013.
- Bardt, H., Biebeler, H., Haas, H.: Impact of Climate Change on the Power Supply in France, Germany, Norway and Poland: A Study Based on the IW Climate Risk Indicator, in: CE-Sifo Forum 4/2013 (December), S. 33-41, München 2013.
- Bieritz, L. (2013); Die Energiewirtschaft. Energieerzeugung und –verbrauch einer Branche im Umbruch, Update Winter 2013, Osnabrück, April 2013.
- Bräuer, I., Umpfenbach, U., Blobel, D., Grünig, M., Best, A., Peter, M und Lückge, M. (2009): Klimawandel: Welche Belastungen entstehen für die Tragfähigkeit der Öffentlichen Finanzen? Forschungsgutachten von Ecologic Institute und INFRAS im Auftrag des Bundesministerium für Finanzen, in: Monatsbericht des BMF, S. 36 – 47, Berlin Oktober 2009.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2015): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland unter Verwendung der Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), Stand: Februar 2015.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2015): Energiedaten, Stand: 16.03.2015.
- Cortekar, J.; Groth, M. (2013): Der deutsche Energiesektor und seine mögliche Betroffenheit durch den Klimawandel. Synthese der bisherigen Aktivitäten und Erkenntnisse, CSC Report 14, Climate Service Center, 2013.
- Eskeland, G. et al. (2008): The Future of European Electricity: Choices before 2020, in: Climate Change, CEPS Policy Briefs, Brussels 2008.
- Gößling-Reisemann, S., Wachsmuth, J., Stührmann S., Gleich, A. (2013): Climate Change and Structural Vulnerability of a Metropolitan Energy System. The Case of Bremen-Oldenburg in Northwest Germany, in: Journal of Industrial Ecology, Volume 17, Number 6, S. 846- 858, Yale University 2013.
- Grossmann, M.; Koch, H. (2011): Wasserkraftanlagen, in: F. Wechsung, H. Koch, P. Gräfe (Hrsg.), Elbe-Atlas des globalen Wandels, Berlin: Weißensee-Verlag, S. 70-71.
- Hitchin, E.; Pout, C. (ohne Jahr): Local Cooling: Global Warming? UK Carbon Emissions from Air-Conditioning in the Next Two Decades, CIBSE publication, Watford.
- Kemfert, C. (2008): Kosten des Klimawandels ungleich verteilt: Wirtschaftsschwache Bundesländer trifft es am härtesten. DIW Wochenbericht Nr. 12–13, Berlin 2008.

- Koch, F. et. al. (2011): Klimawandel und Energie. Einfluss der Schnee- und Gletscherschmelze auf die Wasserkraft im Einzugsgebiet der Oberen Donau, in: Korrespondenz Wasserwirtschaft, 6 (2011) 4, S. 319 – 328.
- Lehner, B., Czisch, G., Vassolo, S. (2005): The impact of global change on the hydropower potential of Europe: a model-based analysis, in: Energy Policy, Number 33, S. 839-855.
- Neumann, J. E.; Price, J. C. (2009): Adaptation to Climate Change: The Public Policy Response: Public Infrastructure, RFF Report, Resources for the Future, Washington, D.C., Juni 2009.
- Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung (Hrsg.): Klimafolgen für Deutschland (2013a), Potsdam, August 2013.
- Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung (2013b): Methode einer integrierten und erweiterten Vulnerabilitätsbewertung: Konzeptionell-methodische Grundlagen und exemplarische Umsetzung für Wasserhaushalt, Stromerzeugung und energetische Nutzung von Holz unter Klimawandel, in: Climate Change 13, Dessau -Roßlau, Juli 2013.
- Prasch, M.; Mauser, W. (2010): Globaler Wandel des Wasserkreislaufs am Beispiel der Oberen Donau, in: KLIWA-Berichte, Heft 15 , Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft, S. 293-302.
- Rothstein, B., Mimler, S., Müller, U., Ottenschläger, L. (2007): Climate Sensitivity of the Energy Sector, Weather Risks and Adaptation to Climate Change, in: 8. Forum DKKV/CEDIM: Disaster Reduction in Climate Change 15./16.10.2007, Universität Karlsruhe.
- Scheele, U.; Oberdörffer, J. (2011): Transformation der Energiewirtschaft – Zur Raumrelevanz von Klimaschutz und Klimaanpassung, [www.nordwest2050.de](http://www.nordwest2050.de), Stand: 08.03.2014.
- Schönwiese, Ch. (2007): Wird das Klima extremer? Eine statistische Perspektive, Frankfurt a. M. 2007, [http://www2.uni-frankfurt.de/45451153/Sw\\_Extrem\\_DGG\\_2007.pdf](http://www2.uni-frankfurt.de/45451153/Sw_Extrem_DGG_2007.pdf), (Stand: 06.03.2014)
- Schönwiese, Ch., Trömel, S. (2006): Mehr extreme Niederschläge in Deutschland? Eine innovative statistische Analyse der Eintrittswahrscheinlichkeiten, in: Naturwissenschaftliche Rundschau, 59 (2006) 4.
- Steinhäuser, M., Rooffs, Ch. (2011): Auswirkungen des Wetters auf Erzeugung, Übertragung und Nachfrage von Elektrizität, Universität Oldenburg, September 2011.
- Umweltbundesamt (2011): Themenblatt Anpassung an den Klimawandel – Energiewirtschaft, Dessau, August 2011.

Wachsmuth, J., Blohm, A., Gößling-Reisemann, S., Eickemeier, T., Gasper, R., Ruth, M., Stührmann, S. (2013). How will renewable power generation be affected by climate change?—The case of a metropolitan region in Northwest Germany, in: *Energy* 58(1): 192–201.

Wilbanks, T.J. (2008): Testimony of Thomas J. Wilbanks, Oak Ridge National Laboratory, before the U.S. Senate Committee on Energy and Natural Resources, Hearing to Examine the Impacts of Climate Change on the Reliability, Security, Economics and Design of Critical Energy Infrastructure in Coastal Regions, May 13.