

Langfristszenarien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland



DLR

Dr. Joachim Nitsch

jo.nitsch@t-online.de

Dr. Thomas Pregger

thomas.pregger@dlr.de

Ingenieurbüro für neue Energien

Dr. Bernd Wenzel

bwenzel@ifne.de

Seit Herbst 2010 besteht mit dem Energiekonzept der Bundesregierung ein politischer Konsens über das Ziel, langfristig ein weitaus effizienteres und von erneuerbaren Energien (EE) dominiertes Energiesystem in Deutschland zu erreichen. Mit dem im Juni 2011 beschlossenen Ausstieg aus der Kernenergie hat sich der Druck auf eine konsequente Umsetzung dieser Ziele erheblich verstärkt. Der Ausbau der EE muss hierzu mit einer beträchtlichen Dynamik in allen Bereichen des Energiesystems und einhergehend mit wachsenden Märkten erfolgen. Die im Auftrag des BMU in den letzten 10 Jahren entstandenen Leitstudien erstellten und analysierten konsistente Mengengerüste des EE-Ausbaus und der gesamten Energieversorgung in Deutschland. Die derzeit in der Fertigstellung befindliche „Leitstudie 2011“ beschreibt den notwendigen Transformationsprozess, um die Ausbauziele des Energiekonzepts in allen Bereichen des Energiesystems mit plausiblen Entwicklungen zu erreichen.

Um die Ziele des Energiekonzepts (*Tabelle 1*) zu erreichen, ist eine konsequente Umsetzung von Effizienzpotenzialen in allen Bereichen, eine sehr dynamische Entwicklung der erneuerbaren Strom- und Wärmeerzeugung sowie ein wirksamer Durchbruch neuer Fahrzeugkonzepte mit elektrischem Antrieb erforderlich.

Kennwerte der zukünftigen Stromversorgung

Abbildung 1 zeigt die langfristige Entwicklung der Struktur des Bruttostromverbrauchs und der Beiträge der erneuerbaren Energien. Der Endenergieverbrauch beim Strom sinkt aufgrund von Effizienzmaßnahmen bis 2050 um 25 % gegenüber 2008. Dennoch steigt die Bruttostromerzeugung langfristig wieder an, da EE-Strom zunehmend zur neuen „Primärenergiequelle“ wird und längerfristig direkt oder über Wasserstoff oder Methan auch im Wärmesektor und im Verkehr fossile Brenn- und Kraftstoffe substituiert.

Tabelle 1

Quantifizierte Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung

	2020	2030	2040	2050
Minderung der THG-Emissionen (bezogen auf 1990)	-40 %	-55 %	-70 %	-80 bis 95%
Anteil der EE am (Brutto-) Endenergieverbrauch	18 %	30 %	45 %	60 %
Anteil der EE am Bruttostromverbrauch	35 %	50 %	65 %	80 %
Minderung des Primärenergieverbrauchs *)	-20 %			-50 %
Minderung des Stromverbrauchs	-10 %			-25 %
Minderung des Endenergieverbrauchs Verkehr	-10 %			-40 %
Reduzierung des Wärmebedarfs (2020) bzw. des Primärenergiebedarfs (2050) von Gebäuden **)	-20 %			-80 %

Weiteres Ziel (Beschluss des Bundestages vom 30.6.2011): Vollständiger Ausstieg aus der Kernenergie bis 2022

*) Steigerung Energieproduktivität um im Mittel 2,1 % pro Jahr

**) Steigerung der energetischen Sanierungsrate von 1 % auf 2 % pro Jahr

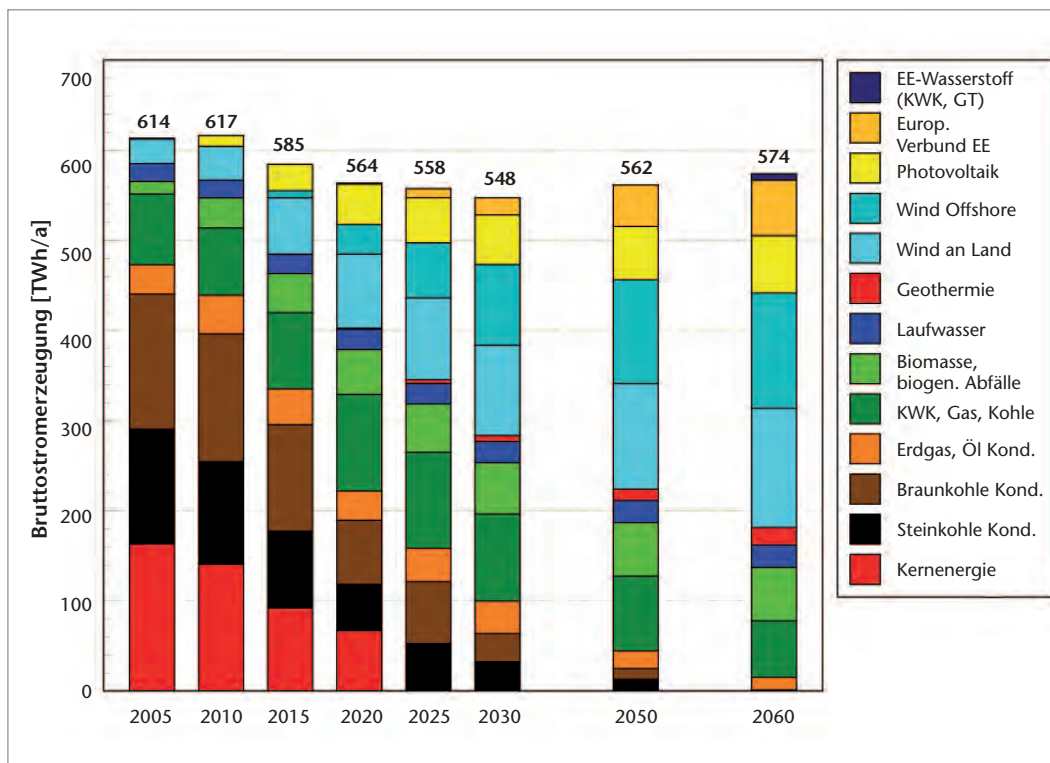


Abbildung 1
Entwicklung der
Bruttostromerzeugung
in Deutschland bis
2050 im Szenario
2011 A (Nitsch et al.;
Leitstudie 2011)

Die EE-Stromerzeugung erreicht im Jahr 2020 aufgrund der sich entwickelnden Marktdynamik einen Anteil von etwa 40%, im Jahr 2050 wird ein Anteil von über 85% erreicht. Die Wachstumsdynamik wird überwiegend von der Windenergie und der Solarstrahlung getragen, während das Potenzial der Biomasse zur Stromerzeugung um 2030 mit rund 60 TWh/a ausgeschöpft sein wird.

Für die Stromerzeugung wird nach 2020 auch der Import von EE-Strom im Rahmen eines europäischen Stromverbunds bedeutend. Im Jahr 2050 werden in diesem Szenario etwa 15% des Gesamtstromverbrauchs als EE-Strom importiert.

Abbildung 2 zeigt die installierten Leistungen zur Stromerzeugung. Durch den starken Zubau bei Photovoltaik und Windkraft erhöhen sich die insgesamt installierten und insbesondere die nichtregelbaren Leistungen stark. Die Erzeugungscharakteristiken erneuerbarer Technologien erfordern eine zunehmend fluktuierende Restlastdeckung durch regelbare Erzeugungskapazitäten. Um genügend Flexibilität in der Stromerzeugung für die Deckung dieser Residuallast zu haben und um gleichzeitig die CO₂-Minderungsziele einhal-

ten zu können, müssen Kohlekraftwerke in größerem Umfang stillgelegt und Gaskraftwerke ausgebaut werden. Insgesamt geht der Bedarf an fossilen Kraftwerken deutlich zurück. Im Szenario sinkt die Leistung fossiler Kraftwerke von derzeit 82 GW auf 24 GW im Jahr 2050.

Zusammen mit Biomasse-, Geothermie- und Wasserkraftwerken mit einer Leistung von 21 GW, einer ausgeweiteten Speicherkapazität (einschließlich wasserstoffgefeuerter Kraftwerke) von 19 GW und einem (geringen) Anteil der Leistungen fluktuierender EE-Erzeugung, sowie weiteren Lastmanagementmaßnahmen, ist jederzeit die erforderliche Leistung zur Deckung der Lastnachfrage vorhanden.

Mit dem beschriebenen Leitszenarien 2010 bzw. 2011 A wird im Jahr 2050 ein EE-Beitrag (gesamte Endenergie) von knapp 60% erreicht (Strom allein 85%). Der Endenergieverbrauch ist dabei definiert als gesamter Primärenergieeinsatz abzüglich aller Umwandlungs- und Verteilungsverluste und abzüglich des nichtenergetischen Verbrauchs. Zusammen mit der unterstellten Effizienzsteigerung können die Treibhausgasemissionen damit um rund 80% (gegenüber 1990)

Abbildung 2
Entwicklung der
Bruttoleistung der Kraft-
werke in Deutschland
bis 2050 im Szenario
2011A (Grafik und
Tabelle in GW)

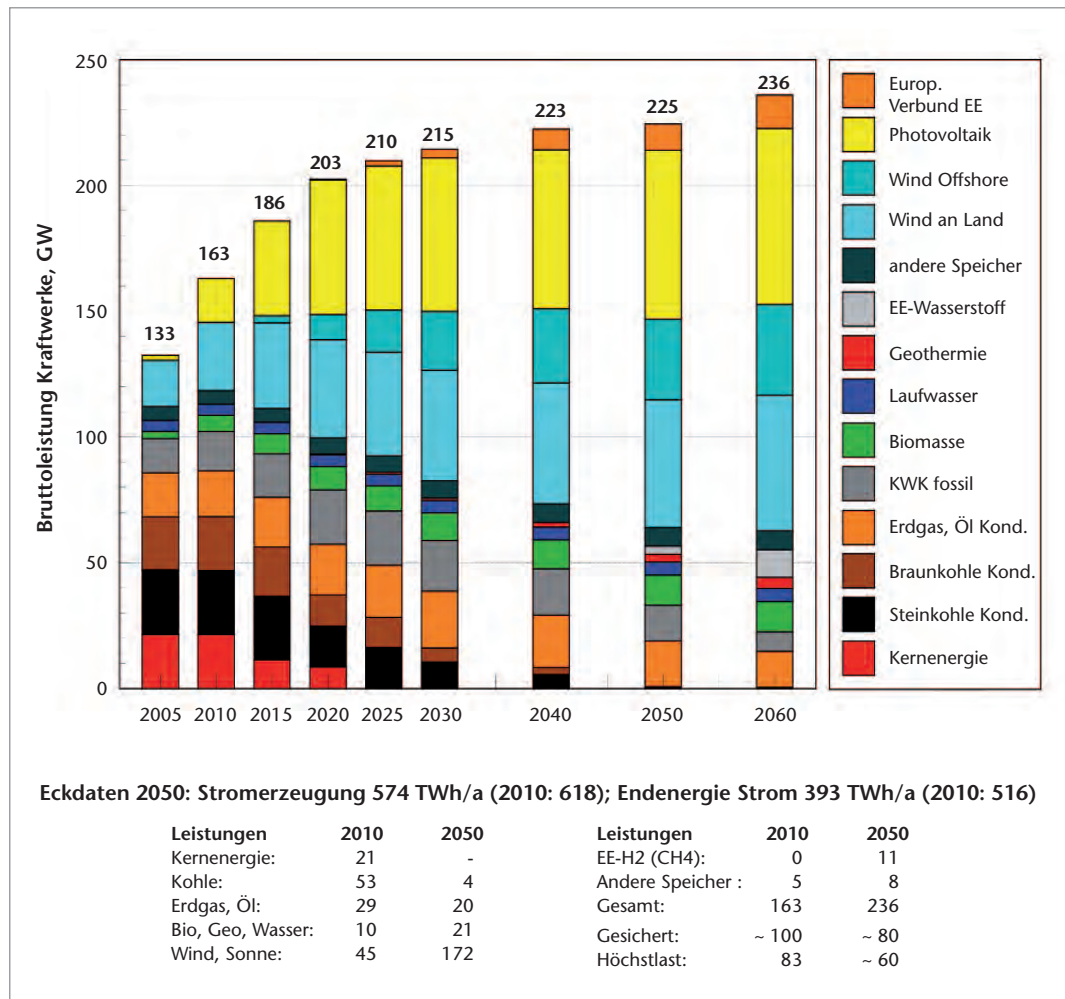
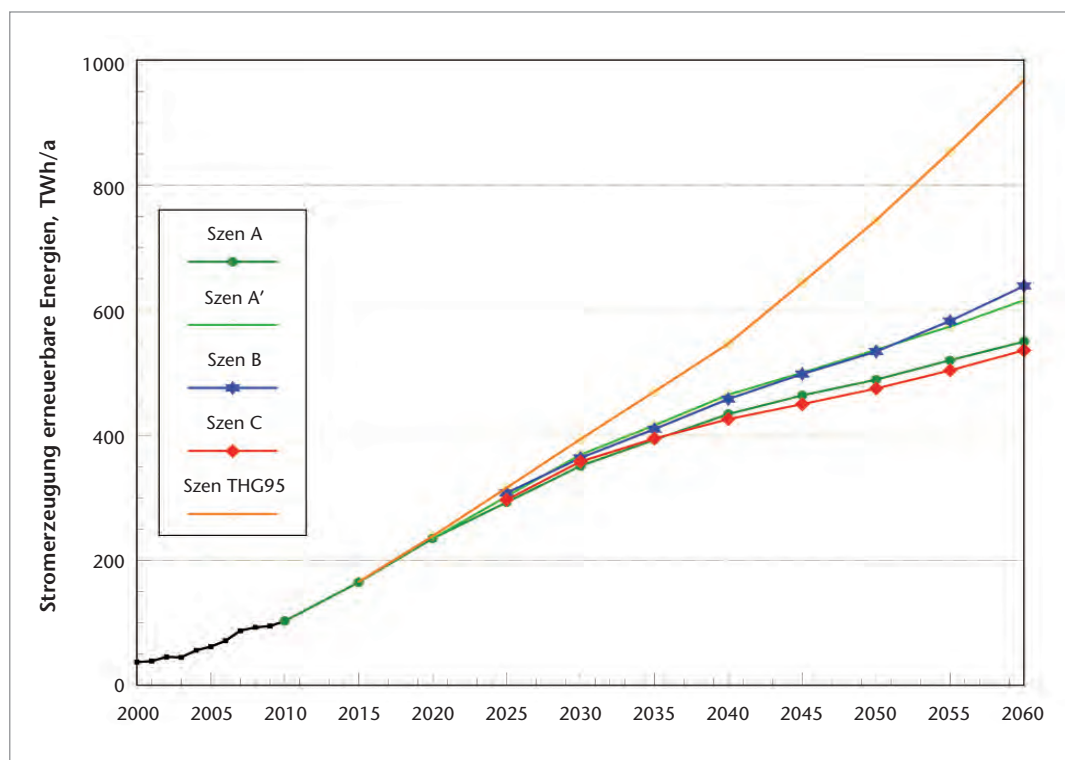


Abbildung 3
Korridor der zukünftigen
EE-Stromerzeugung
in den fünf Szenarien
2011.
(Szenarien A, B und C
mit weitgehender
Zielerfüllung des
Energiekonzepts, aber
unterschiedlichen
Strategien im Verkehrs-
sektor; Szenario A' mit
geringerer Effizienz-
steigerung beim Strom;
Szenario THG95 mit
Erreichung des oberen
THG-Minderungsziels
bis 2060)



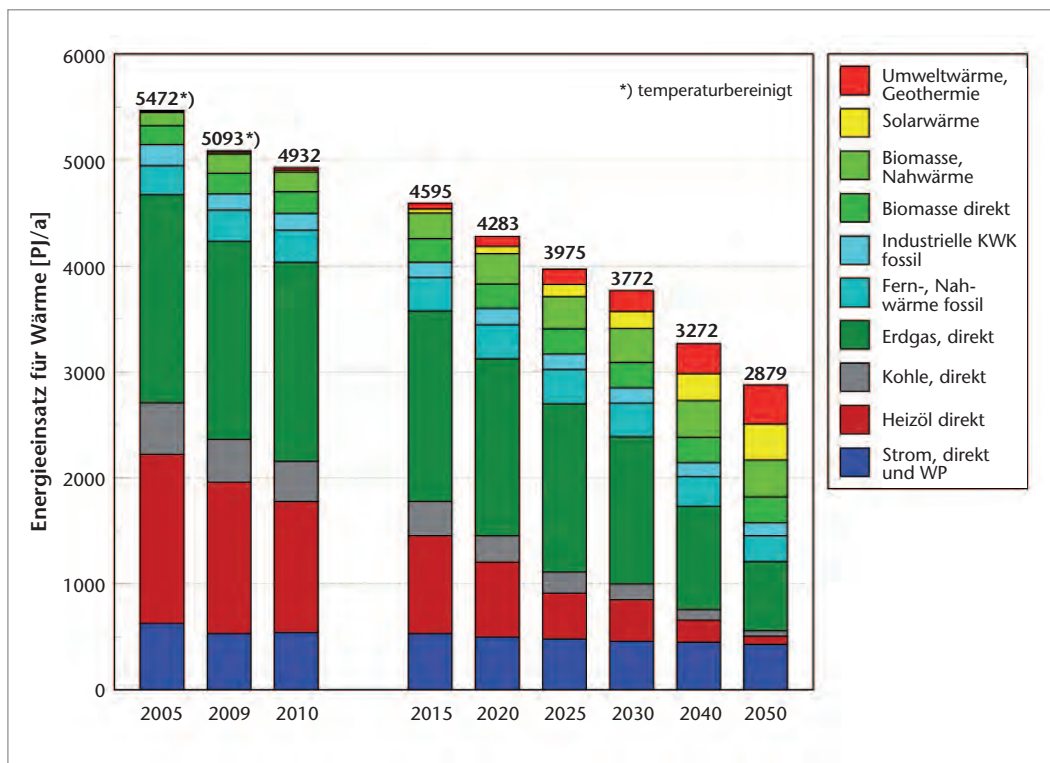


Abbildung 4
Entwicklung der
Endenergie für
Wärmeerzeugung in
Deutschland bis 2050
(Endenergie ist definiert
als Energiebedarf aller
Verbraucher)

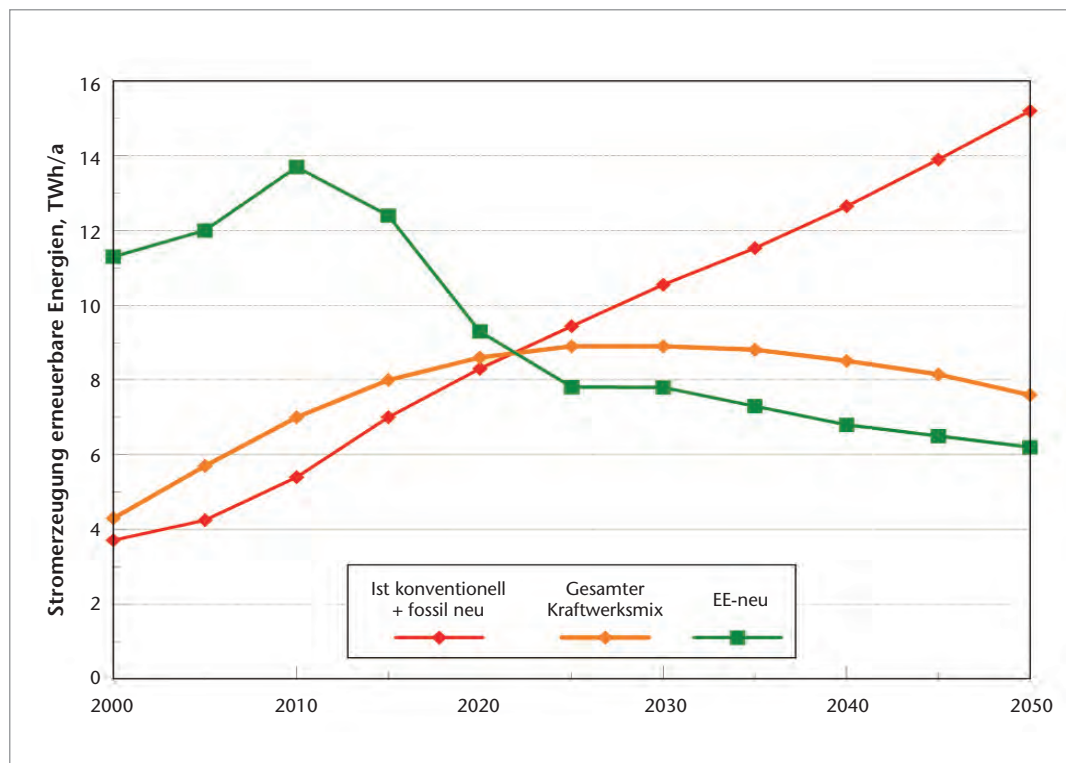
reduziert werden. EE-Strom trägt dazu mit rund 550 – 600 TWh/a bei (2010: 103 TWh/a). Damit das im Energiekonzept genannte obere Klimaschutzziel von 95 % erreicht werden kann, ist eine praktisch emissionsfreie Energieversorgung, also eine Vollversorgung mit EE erforderlich. *Abbildung 3* zeigt die dazu erforderliche Steigerung der „Primärenergie“ EE-Strom. Mit einem EE-Stromangebot von knapp 1000 TWh/a können bis zum Jahr 2060 fossile Energieträger aus allen Nutzungsbereichen verdrängt werden (orange-farbene Kurve für das THG95-Szenario). Große Anteile dieses EE-Stroms können direkt im Wärmesektor und im Verkehrssektor eingesetzt werden, ein beträchtlicher Anteil stellt jedoch momentan nicht nutzbaren „Überschussstrom“ dar und kann daher nur über den Weg einer chemischen Speicherung einer Nutzung zugeführt werden. Dafür werden in 2050 rund 180 TWh/a und im Jahr 2060 bereits 380 TWh/a eingesetzt. Als chemischer Energieträger stehen Wasserstoff und/oder Methan zur Verfügung.

Eckwerte im Wärmesektor

Im EE-Wärmemarkt muss die Wachstumsdynamik deutlich verstärkt werden. Im Jahr 2030 sind jährlich 11 GWth/a und in 2050 rund 16 GWth/a an thermischen EE-Anlagen zu installieren – das sind das Zwei- bzw. Dreifache des heutigen Wertes. Dazu muss vorwiegend in Solarkollektor- und Erdwärmeanlagen sowie in Wärmepumpen investiert und das gesamte Förderinstrumentarium umfangreicher und effektiver ausgestaltet werden. Der erneuerbare Anteil an der Wärmebereitstellung kann damit von derzeit 10% auf 52% im Jahr 2050 steigen, wenn gleichzeitig eine erfolgreiche Effizienzstrategie eine Verringerung der Wärmenachfrage auf etwa 54% des heutigen Verbrauchs bewirkt (*Abbildung 4*).

Stärker als die Gesamtmenge muss die Wärmeversorgung mit Nahwärmenetzen wachsen, um die im Szenario vorgeschlagene Ausweitung der EE-Wärmeversorgung mit Solarkollektoren und Erdwärme realisieren zu können. Eine systematische und flächendeckende Planung und Verwirklichung kommunaler Wärmekonzepte muss daher stärker als bisher im Mittelpunkt stehen.

Abbildung 5
Strompreisentwicklung bei zukünftig ausschließlich fossilen Kraftwerken, bei Neuanlagen der EE-Stromerzeugung und bei einer Kombination gemäß Leitszenario 2010 bei merklich steigenden fossilen Brennstoffpreisen und Preisen für CO₂-Zertifikate (Nitsch et al: Leitstudie 2010)



Eckwerte im Verkehrssektor

Im Verkehrssektor werden im Personenverkehr im Jahr 2050 mit rund 750 PJ/a noch 45 % der derzeitigen Endenergie benötigt. Wegen der erwarteten beträchtlichen Wachstumsraten des Güterverkehrs kann die Effizienzsteigerung hier nur den Verbrauchszuwachs dämpfen, der Endenergieverbrauch des Güterverkehrs liegt 2050 nur 12 % unter dem derzeitigen Verbrauch (2009: 900 PJ/a). Im Jahr 2050 wird im Verkehr mit 780 PJ/a nur noch ein Drittel des heutigen fossilen Kraftstoffbedarfs benötigt.

Der aus Nachhaltigkeitsgründen auf 300 PJ/a begrenzte Beitrag von Biokraftstoffen wird flankiert durch ähnlich hohe Beiträge von EE-Wasserstoff und den Einsatz von EE-Strom für Elektromobilität, was aus den prinzipiell attraktiven Potenzialen aller drei Optionen resultiert. Da in Energiesystemen mit hohen EE-Anteilen generell aus EE erzeugte chemische Energieträger (EE-Wasserstoff oder daraus erzeugtes EE-Methan) benötigt werden, legt dies auch ihre rechtzeitige Einführung im Verkehrssektor nahe.

Kosten und Nutzen des Ausbaus der erneuerbaren Energien

Die Leitstudien beleuchten auch die langfristigen Kosten- und Nutzeneffekte der abgebildeten Ausbaupfade. Das Investitionsvolumen in alle EE-Anlagen zur Strom- und Wärmeerzeugung pendelt sich nach der durch die Photovoltaik bestimmten Spitze der Jahre 2009 bis 2011 mit bis zu 27 Mrd. €/a relativ konstant bei 18–20 Mrd. €/a ein. Erst nach 2030 wächst es nochmals auf 22 Mrd. €/a. Bis 2010 wurden in EE-Anlagen zur Strom- und Wärmebereitstellung insgesamt rund 150 Mrd. € investiert. Zwischen 2011 und 2020 wird das kumulierte Investitionsvolumen mit weiteren 180 Mrd. € noch deutlich steigen. Auch in den darauf folgenden Jahrzehnten bleibt es auf diesem Niveau. Die in den Szenarien angenommene Wachstumsdynamik ist weiterhin erforderlich, um die Kostendegressionen der Einzeltechniken durch steigende Umsätze kompensieren zu können. Das ist auch eine wichtige Voraussetzung dafür, dass die Technolo-

gieführerschaft Deutschlands für die Mehrzahl der EE-Techniken auf dem Weltmarkt gehalten werden kann.

Durch diese massive Verlagerung von „Energieausgaben“ auf die investive Seite spart die deutsche Volkswirtschaft beträchtliche Ausgaben für den Einkauf teurer werdender fossiler Energien ein. Derzeit sind es rund 6 Mrd. €/a, bis 2030 steigt die Einsparung bereits auf 30–40 Mrd. €/a und bis 2050 sind es 60–70 Mrd. €/a. Dies ist nur ein Nutzenaspekt des EE-Ausbaus.

Für die EE-Techniken zur Stromerzeugung stellen sich aufgrund der erwarteten Lernraten längerfristig niedrige Gestehungskosten zwischen 5 und 9 Ct/kWh ein. Die durchschnittlichen Stromgestehungskosten aller installierten EE-Neuanlagen lagen im Jahr 2010 bei knapp 14 Ct₂₀₀₉/kWh. Es wird erwartet, dass der Mittelwert des Gesamtmixes bis 2020 auf ca. 9 Ct/kWh, und längerfristig auf rund 6 Ct/kWh sinken wird (*Abbildung 5*). Mit dieser Entwicklung kann der drohende stetige Anstieg der Energie- bzw. Stromkosten beim Verharren auf einer „fossilen“ Strategie gebremst und längerfristig kann durch EE sogar eine Kostensenkung erreicht werden.

Zusätzlich entsteht ein gewaltiger ökologischer Nutzen beim Übergang in eine klimaneutrale, ressourcenschonende, risikoarme und unbegrenzt verfügbare Energieversorgung auf EE-Basis. Diesen heute ökonomisch noch sehr unzulänglich berücksichtigten Wert mittels weiterer Instrumente und Maßnahmen rasch sichtbar zu machen und entsprechende Marktkorrekturen einzuleiten, muss die vorrangige Aufgabe der Energiepolitik in diesem Jahrzehnt sein.

Literatur

Nitsch, J.; Pregger, T.; Sterner, M.; Gerhardt, N.; Wenzel, B. u. a.: „Leitstudie 2010“. Projektbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Februar 2011

(www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2010_bf.pdf).

Dito „Leitstudie 2011“, in Vorbereitung.

Nitsch, J.; Pregger, T.; Naegler, T.; Heide, D.; de Tena, D. L.; Trieb, F.; Scholz, Y.; Nienhaus, K.; Gerhardt, N.; Sterner, M.; Trost, T.; von Oehsen, A.; Schwinn, R.; Pape, C.; Hahn, H.; Wickert, M.; Wenzel, B.: „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global“

Kurzbezeichnung: „BMU-Leitstudie 2011“

Berlin 29. März 2012

<http://www.fvee.de/publikationen/publikation/download/bmu-leitstudie-2011-2932012/>