

Vision für ein nachhaltiges Energiesystem 2050



Prof. Dr. Jürgen Schmid
Fraunhofer IWES

juergen.schmid@iwes.fraunhofer.de

Dr. Gerd Stadermann
FVEE

fvee@helmholtz-berlin.de

Dr. Kurt Rohrig
Fraunhofer IWES

krohrig@iset.uni-kassel.de

Dr. Michael Sterner
Fraunhofer IWES

michael.sterner@iwes.fraunhofer.de

Prof. Dr. Frithjof Staiß
ZSW

frithjof.staiss@zsw-bw.de

Maike Schmidt
ZSW

maike.schmidt@zsw-bw.de

Dr. Andreas Hauer
ZAE Bayern

hauer@muc.zae-bayern.de

Dr. Dietrich Schmidt
Fraunhofer IBP

dietrich.schmidt@ibp.fraunhofer.de

Gerhard Stryi-Hipp
Fraunhofer ISE

gerhard.stryi-hipp@ise.fraunhofer.de

Dr. Joachim Nitsch
DLR

jo.nitsch@t-online.de

Erneuerbare Energien können die Energieversorgung in Zukunft vollständig übernehmen. Sieben Institute des FVEE haben ein „Energiekonzept 2050“ erarbeitet, in dem die Technologien dargestellt werden, die es bis 2050 erlauben, die Energieversorgung durch erneuerbare Energien und Energieeffizienz zu gewährleisten. Für die Transformation des Energiesystems fallen zunächst erhöhte Investitionen an, die jedoch langfristig vor allem durch eingesparte Kosten bei Energieträgern deutlich überkompensiert werden. Bei der vernetzten Betrachtung von der Bereitstellung über den Transport und die Verteilung bis zur Energiedienstleistung lassen sich erhebliche Effizienzpotentiale erschließen. Die wichtigsten Beiträge werden aus der Direkterzeugung von Strom aus Wind, Sonne und Wasserkraft, aus der deutlich verstärkten Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung, von Wärmepumpen und der Einführung der Elektromobilität kommen.

Erneuerbare Energien haben das größte energetische und technische Potenzial aller bekannten Energiequellen. Sie sind umwelt- und klimafreundlich, global einsetzbar, in wenigen Jahren die kostengünstigsten Energiequellen und sie genießen eine außerordentlich hohe gesellschaftliche Akzeptanz. Die erneuerbaren Energien können die Nutzung von Kohle, Erdöl, Erdgas und nuklearen Energien im Strom- und Wärmemarkt schrittweise reduzieren und langfristig vollständig ersetzen. Sie reduzieren damit die Abhängigkeit von Energieimporten, erhöhen die Energiewertschöpfung im Land und schaffen Arbeitsplätze [1].

Das Energiekonzept 2050 „Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% erneuerbaren Energien“ zeigt, dass sich die Energietechnologien der Erneuerbaren in den letzten Jahren mit einem nicht vorhersehbaren Wachstum entwickelt haben, sodass sie das energetische Rückgrad bilden können für eine nachhaltige Energieversorgung. Doch es werden auch die so genannten Randbedingungen behandelt. In der Mathematik legen Randbedingungen die Definitionsbereiche fest, unter denen Lösungen eines Problems erst möglich werden. Für eine Vollversorgung mit erneuerbaren Energien zählen zu den wichtigsten dieser Randbedingungen:

1. Erhöhung der Energieeffizienz von Bereitstellungs- und Nutzungstechnologien
2. Entwicklung von Energiespeichertechnologien
3. Ausbau des Stromnetzes

4. Priorität für Forschung und Entwicklung erneuerbarer Energietechnologien
5. Erhalt der Vorrangregelung für Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien

1. Erhöhung der Energieeffizienz

Auf dem Feld der Energieeffizienztechnologien entscheidet sich, ob die energie- und klimapolitischen Ziele der Bundesrepublik erreicht werden können oder nicht [1]. Wenn die erneuerbaren Energien einfach bloß zusätzlich zu fossiler und nuklearer erzeugt würden, ergäben sich keine Entlastungseffekte. Auch der bloße Ersatz von fossilem oder atomarem Strom führt noch nicht zu einem nachhaltigen Energiesystem. Es muss eine deutliche Reduzierung des Energieverbrauchs erfolgen. Denn der heutige Energieeintrag in die Natur ist zu groß! Die Folge ist: Artensterben durch Abholzen der Wälder, durch Bodenerosion, durch Erwärmung von Flüssen und Seen, durch Lichtverschmutzung und nicht zuletzt durch die rasante Klimaerwärmung (CO₂- und Wärmeabstrahlung), die eine Anpassung der Flora und Fauna fast unmöglich macht.

Vom energetischen und technologischen Potenzial der erneuerbaren Energien aus gesehen, wäre die Senkung des Energieverbrauchs eigentlich nicht nötig, denn die Energiepotentiale der Erneuerbaren sind riesig. Dennoch gibt es neben den ökologischen auch wirtschaftliche Gründe,

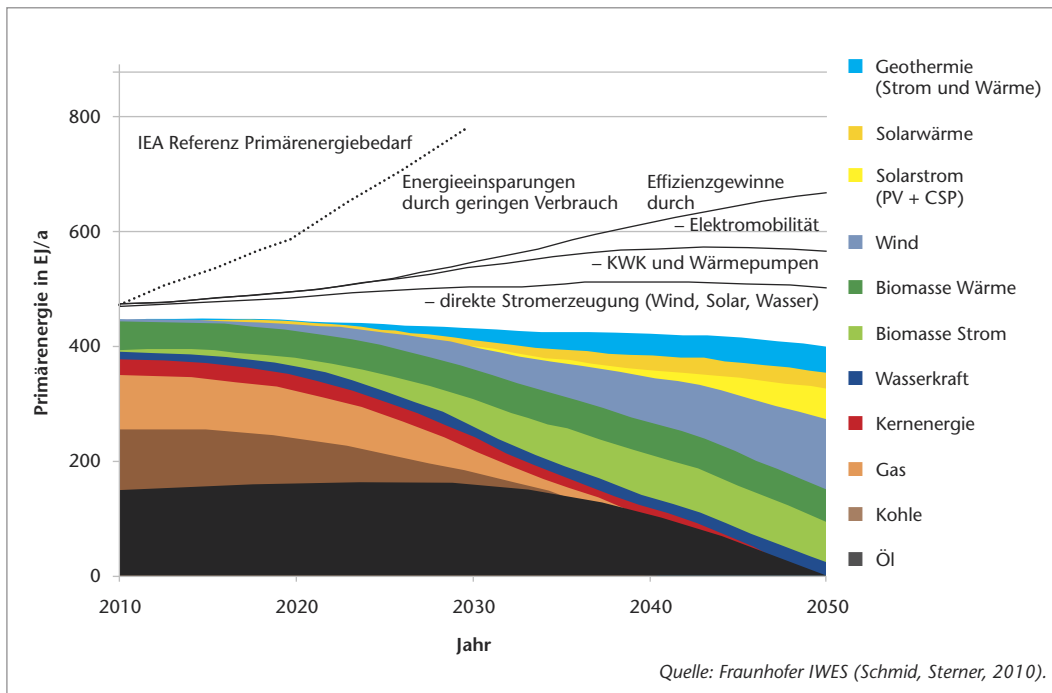


Abbildung 1
 Szenario 100 % erneuerbare Energien: Globaler Primärenergiebedarf bis 2050 nach der Wirkungsgradmethode. Energieeinsparungen ergeben sich vor allem im Gebäudebereich. (PV = Photovoltaik; CSP = concentrated solar power – solarthermische Stromerzeugung).

Quelle: Fraunhofer IWES (Schmid, Sterner, 2010).

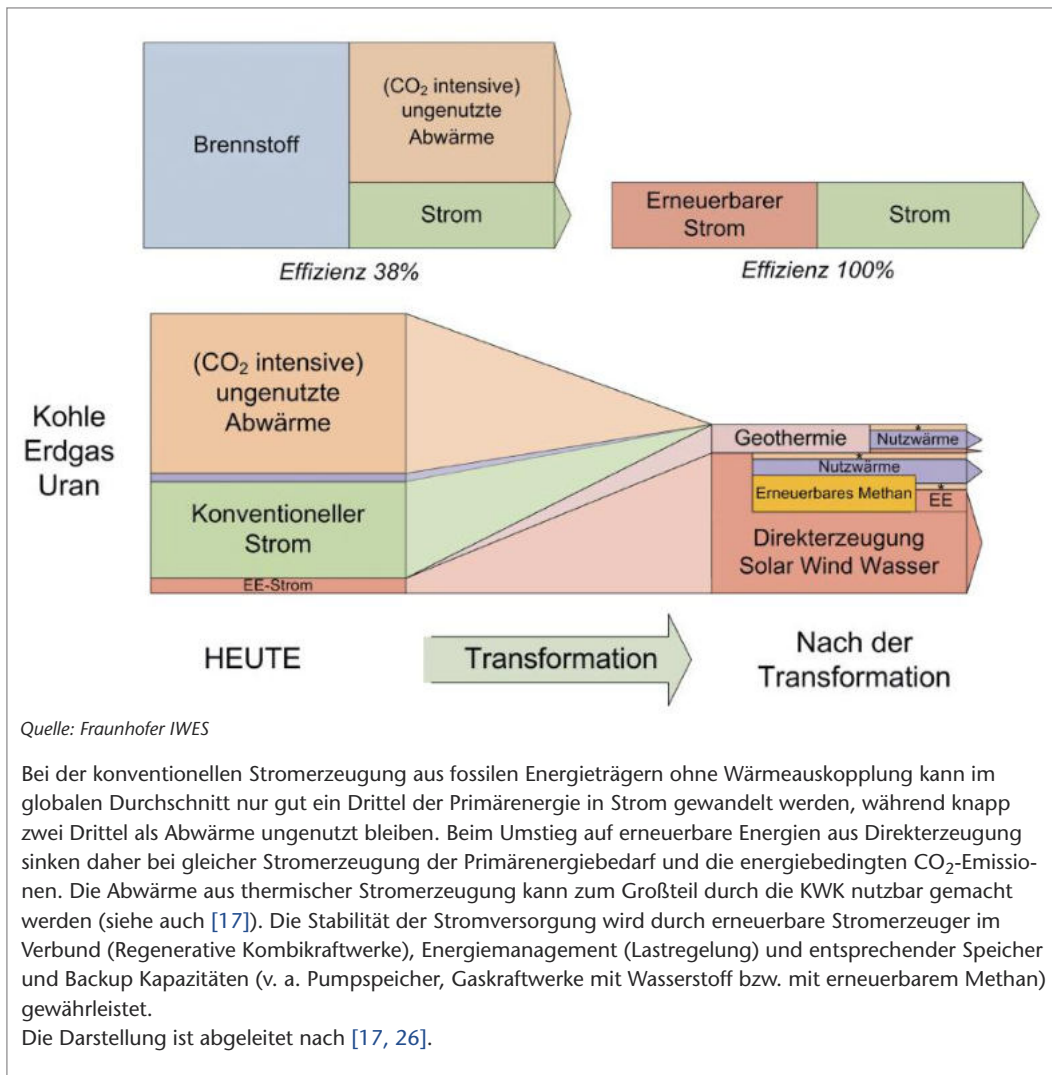


Abbildung 2
 Effizienzsprung im Stromsektor durch zunehmende direkte Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Quelle: Fraunhofer IWES (Schmid, Sterner, 2010)

Abbildung 3
Erzeugungsvielfalt im Wärmesektor durch regenerative Energien, Wärmepumpen und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Quelle: Fraunhofer IWES (Schmid, Sterner, 2010).

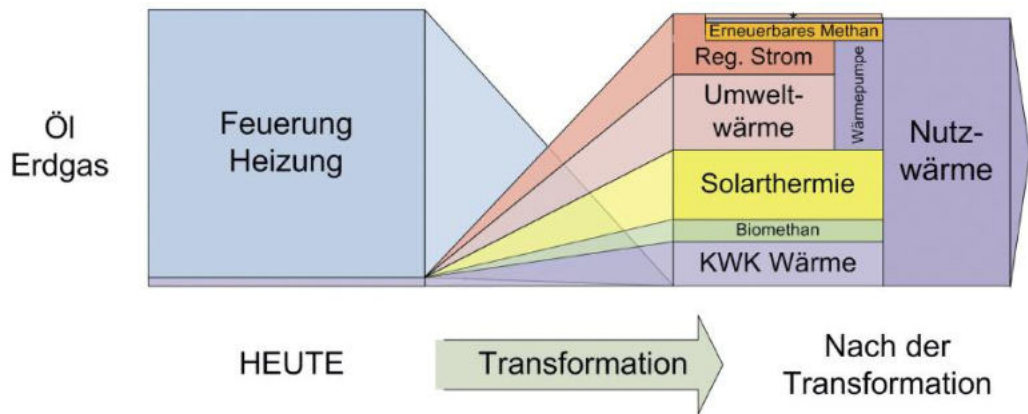
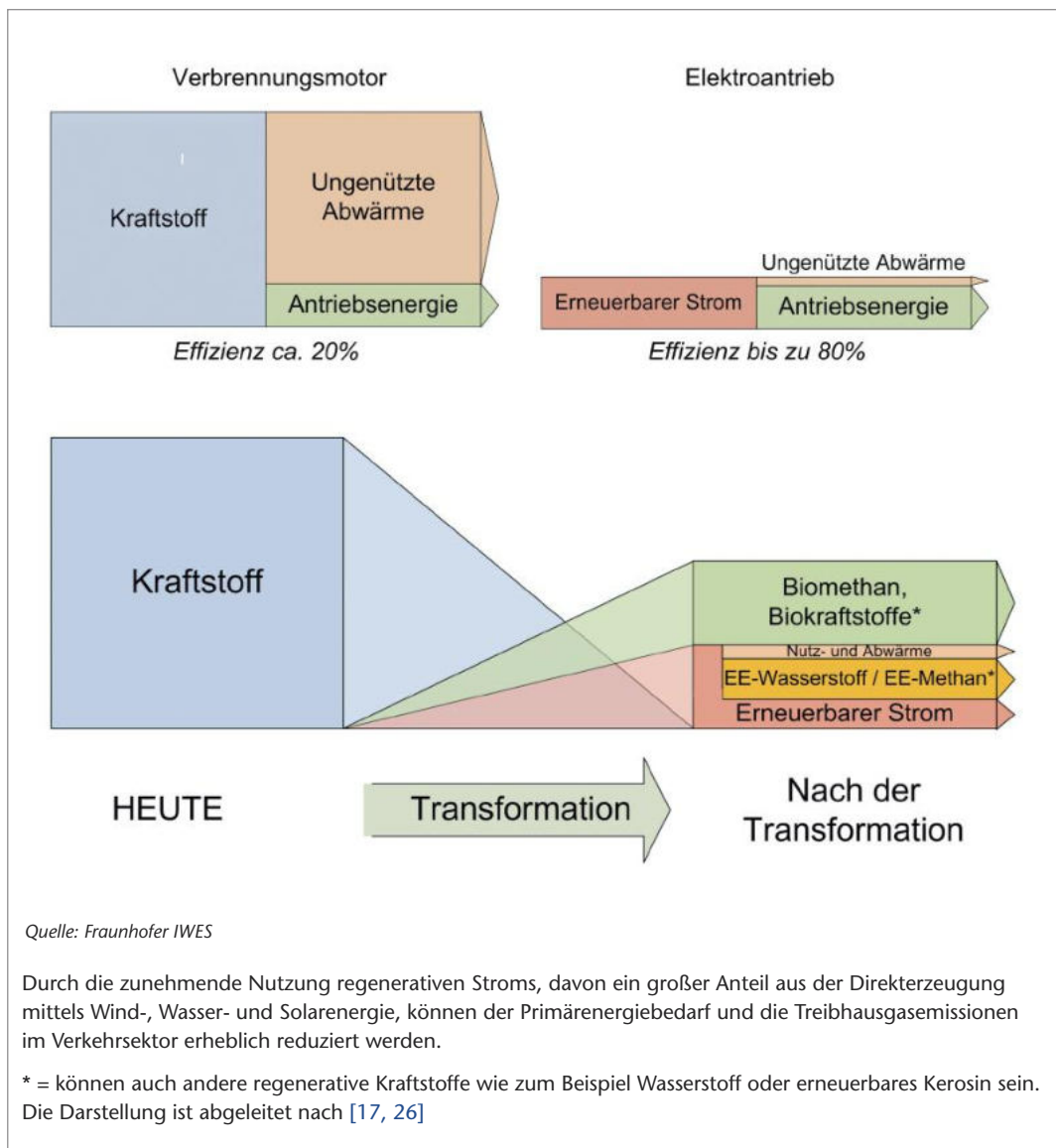


Abbildung 4
Effizienzsprung im Verkehrssektor durch Elektromobilität

Quelle: Fraunhofer IWES (Schmid, Sterner, 2010).



Quelle: Fraunhofer IWES

Durch die zunehmende Nutzung regenerativen Stroms, davon ein großer Anteil aus der Direkterzeugung mittels Wind-, Wasser- und Solarenergie, können der Primärenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor erheblich reduziert werden.

* = können auch andere regenerative Kraftstoffe wie zum Beispiel Wasserstoff oder erneuerbares Kerosin sein. Die Darstellung ist abgeleitet nach [17, 26]

mit erneuerbaren Energien sparsam umzugehen. Dabei werden zwei verschiedene Effizienzarten unterschieden – die Energieerzeugungseffizienz und die Energienutzungseffizienz.

Gründe für Energienutzungseffizienz

- Der Strombedarf wird wohl weltweit auf das Doppelte steigen.
- Wenn sich der Strombedarf verdoppelt, würde sich ohne erneuerbare Energien und Energieeffizienz auch der klimaschädliche CO₂-Ausstoß verdoppeln.
- Wenn in Deutschland durch Energieeffizienz der Strombedarf um 50 % sinken würde, würde sich der Anteil der erneuerbaren Energien im Netz um etwa den gleichen Prozentsatz erhöhen. Man braucht dann also nur halb so viele Windräder, PV-Anlagen, Wasserkraftanlagen, usw. um Kohle und Atomstrom zu ersetzen.

- Energiekosten sind immer auch Produktionskosten, wer in der Wirtschaft am wenigsten Energie benötigt, um ein Produkt zu erzeugen, hat einen Wettbewerbsvorteil.
- Wenn auch der Wärmebedarf sinkt, benötigen wir weniger Strom, Gas, Solarthermie, Wärmepumpen und Kraft-Wärme-Kopplung.
- Durch konsequente Nutzung von Energieeffizienztechnologien können sich Wohnhäuser und Industriegebäude selbst mit Energie versorgen, denn durch Energieeffizienztechnologien können erneuerbare Energien oft erst ihre volle Wirkung entfalten, weil ein geringerer Energiebedarf Vorteile für ihren Einsatz bringt.

In *Abbildung 1* ist dargestellt, wie trotz einer Verdopplung des weltweiten Strombedarfs bis 2050 der Gesamtbetrag der Primärenergie nicht zu steigen braucht, wenn fossile Energieträger

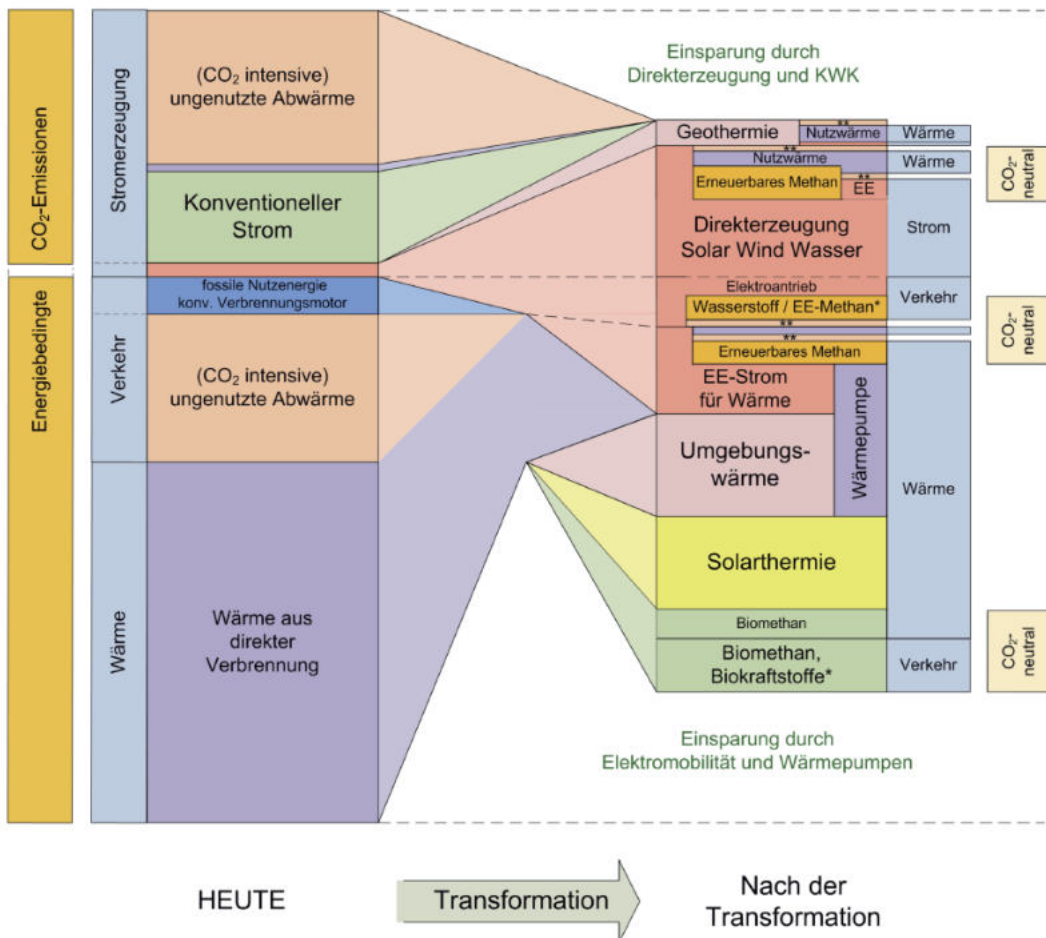


Abbildung 5
Gesamt Betrachtung der Effizienzgewinne durch die Transformation der Energiesysteme im Strom-, Wärme- und Verkehrssektor.

Quelle: Fraunhofer IWES (Schmid, Sterner, 2010).

Quelle: Fraunhofer IWES

schrittweise durch erneuerbare Energien ersetzt werden. Dabei spielen Energieeffizienztechnologien wie KWK, Elektromobilität, Wärmepumpen und Verbrauchsreduktionen die Hauptrolle. Die Prognose der IEA, die eine andere Entwicklung beschreibt, ist mit der linken Kurve angedeutet [1].

Erhöhung der Energieerzeugungseffizienz

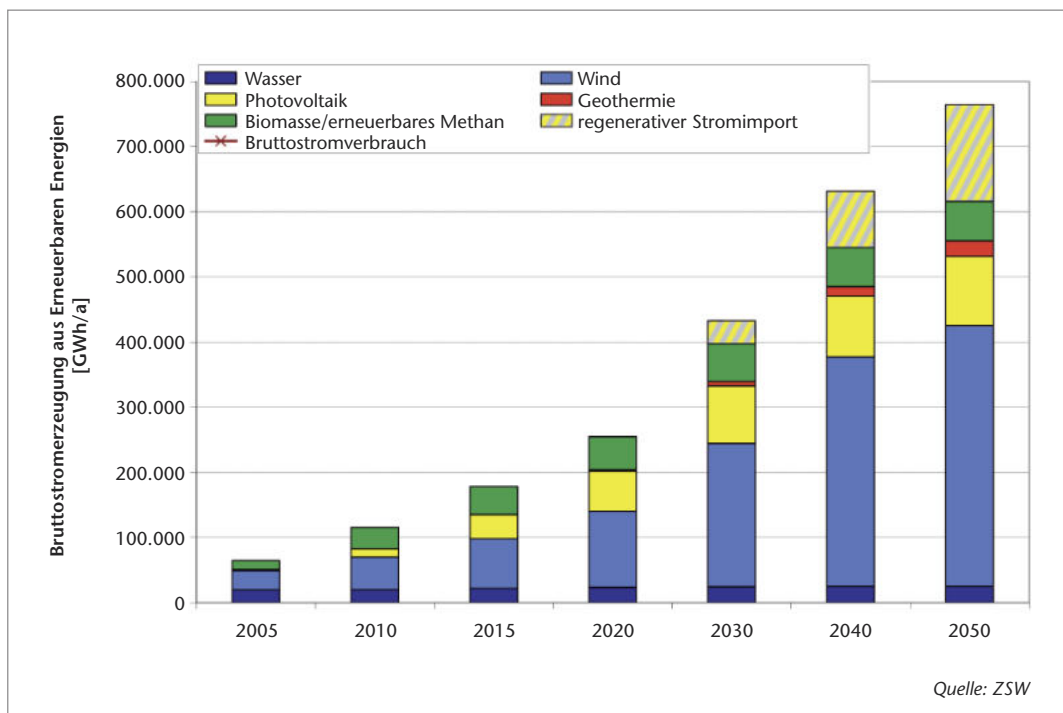
Die Energieerzeugungseffizienz von Kohle- oder Atomkraftwerken beträgt im Durchschnitt nur 35 %, weil die Abwärme nicht genutzt wird (Abb. 2). Der Einsatz von erneuerbaren Energien aus Wind, PV und Wasserkraft ist daher um 55 bis 65 % effizienter als aus Kohle- und Atomkraftwerken, weil bei ihrer Erzeugung keine Abwärme anfällt. Daher lohnt es sich, Strom aus Kohle- und Atomkraftwerken durch Strom aus erneuerbaren Energien wie Wind, Photovoltaik und Wasserkraft zu ersetzen. Die Energieerzeugungseffizienz erhöht sich dabei um ca. 2/3 gegenüber dem Primärenergieeinsatz in konventionellen Kraftwerken (siehe auch Abb. 1). Der Einsatz von erneuerbaren Energien, bei denen Wärme abfällt, sollte immer in Kraft-Wärme-Kopplung erfolgen. (Abb. 3)

2. Kosten und Nutzen des Umbaus der Energieversorgung

Das vorliegende Energiekonzept 2050 geht davon aus, dass bis zum Jahr 2050 die Transformation zu einem vollständig auf der Nutzung erneuerbarer Energiequellen basierten Energiesystem gelingt. Die Tragfähigkeit dieses Ansatzes wird vor dem Hintergrund der mit der Systemtransformation verbundenen Kosten häufig in Frage gestellt. Dabei wird in der Regel außer acht gelassen, dass durch die Rohstoffverknappung die fossilen Energieträger zunehmend teurer werden, während die erneuerbaren Energien sich noch in der technologischen Entwicklung befinden und durch erhebliche Lern- und Erfahrungseffekte deren Kosten kontinuierlich weiter absinken. Um aufzuzeigen, dass ein 100 %-Erneuerbare-Energien-Szenario für Deutschland in 2050 nicht nur potenziell möglich und technologisch machbar ist, sondern auch zu vertretbaren Kosten umgesetzt werden kann, wird im folgenden ein mögliches Mengengerüst skizziert (Abb. 6) und mithilfe einer Differenzkostenbetrachtung werden die erneuerbaren

Abbildung 6a
Entwicklung der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien und des Bruttostromverbrauchs in Deutschland bis 2050.

Quelle: ZSW



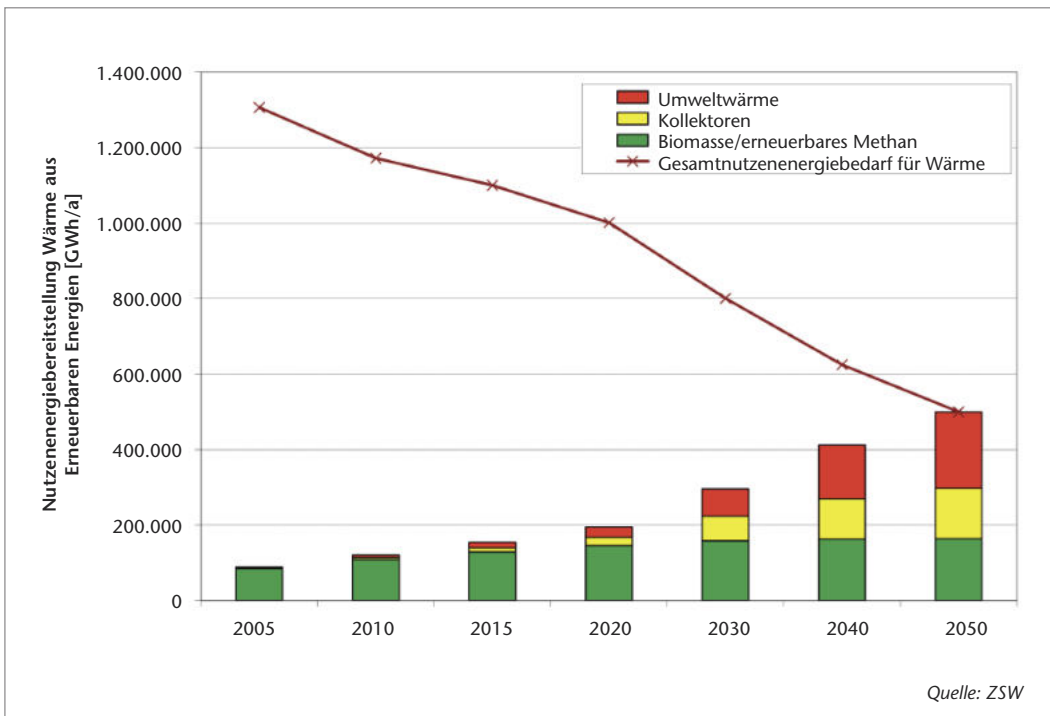


Abbildung 6b
Entwicklung der in Deutschland installierten Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2050.

Quelle: ZSW

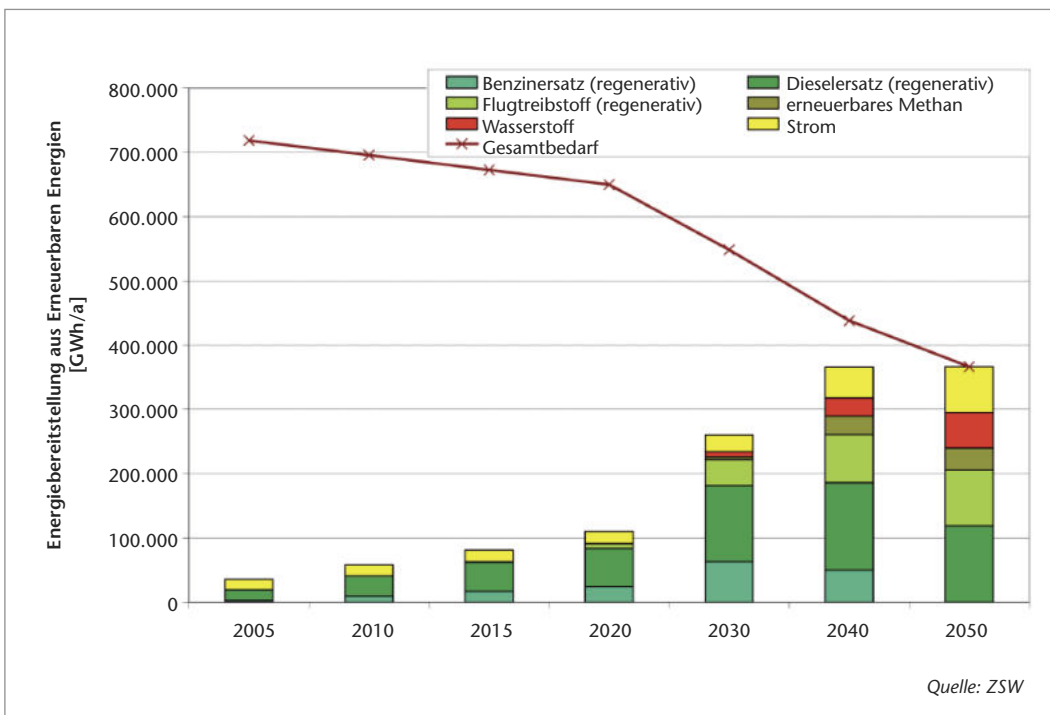


Abbildung 6c
Entwicklung der Nutzenenergiebereitstellung für Wärme aus erneuerbaren Energien und des Gesamtenergiebedarfs für Wärme in Deutschland bis 2050.

Quelle: ZSW

Energien mit den fossilen Energieträgern verglichen. Die Differenzkostenbetrachtung beschränkt sich auf Bereitstellungstechnologien für Strom, Gas und Wärme aus solar- und geothermischen Quellen. Nicht enthalten sind eventuell anfallende Mehrkosten für die verstärkte Einführung der KWK und von elektrischen Wärmepumpen. Auch Mehrkosten für den erforderlichen Netzaus-

bau sind in dieser Betrachtung, ebenso wie die durch den notwendigen Ausbau der Stromspeicherung entstehenden Mehrkosten nicht enthalten. Diese Mehrkosten liegen jedoch auf jeden Fall unterhalb der Summe für die Einsparungen, die sich aus der Bereitstellung erneuerbarer Energien im Vergleich zu konventionellen Alternativen bis zur Mitte des Jahrhunderts ergeben.

3. Systemtechnische Optimierung fördern

Energieerzeugungs- und -bereitstellungseffizienzen benötigen systemtechnische Lösungen – beispielsweise die Kraft-Wärme-Kopplung oder Wärmepumpen, die mit Strom aus erneuerbaren Energien energiewirtschaftlich mit höherer Effizienz betrieben werden können. Ein weiteres Beispiel ist das energieeffiziente und solare Bauen: Erst durch die Maßnahmen des energieoptimierten Bauens kann die Energieversorgung eines Gebäudes auf der Basis erneuerbarer Energien ihre volle Wirkung entfalten, weil ein geringerer Energiebedarf Vorteile für den Einsatz erneuerbarer Energieträger bringt [1].

Die Kombination von Effizienz- und Energietechnologien erlaubt vor allem auch dann Systemgrenzen zu überschreiten, wenn die zur Verfügung stehenden erneuerbaren Energiequellen je nach Bedarf in die nachgefragten Energieformen umgewandelt werden. So kann aus Strom auch Wärme und Kraftstoff entstehen, aus Wärme Strom und Kraftstoff und aus Kraftstoff Strom und Wärme. Welche der Konversionen jeweils zum Tragen kommt hängt von den entwickelten Systemlösungen und ökonomischen Rahmenbedingungen ab [1].

Insofern ist es wichtig, die einzelnen zu erfordernden Energietechnologien nicht unabhängig voneinander zu optimieren, sondern zu zeigen, wie sich die erneuerbaren Energien in ihren systemischen Eigenschaften ergänzen und zusammen mit Effizienz- und Energiespeichertechnologien zu einem zuverlässigen und robusten „Regenerativen Kombikraftwerk Deutschland“ entwickeln lassen.

4. Energiespeichertechnologien

Während fossile und nukleare Energien in gespeicherter Form vorliegen und somit im Rahmen der bereitgestellten Kapazitäten zeitlich flexibel zur Deckung des schwankenden Energiebedarfs zur Verfügung stehen, besteht bei Erneuerbaren im Stromsektor selbst bei idealem Ausgleich durch Stromübertragung in ganz Europa noch ein Restbedarf an Speichern [2].

Denn für eine 100% erneuerbare Energieversorgung liegt der Bedarf an Stromspeichern deutlich über der heute verfügbaren Speicherkapazität. In Deutschland kann es in den Wintermonaten zu Zeiten mit sehr geringem Angebot an erneuerbaren Energien kommen (wenig Solarenergie und Windflauten) [2].

Die einzigen vorhandenen Großspeicher in der notwendigen Größenordnung sind Erdgasspeicher mit einer bestehenden thermischen Kapazität von 217 TWh (Untertage-Gasspeicher) und einem geplanten Ausbau um 79 TWh in den nächsten Jahren. Diese Technik der Langzeitspeicherung ist sicher und bewährt und kann für chemische Energieträger aus erneuerbarem Strom auf zwei Arten verwendet werden: einerseits direkt durch die Speicherung von Erdgas-Substitut in Form von erneuerbarem Methan oder von Wasserstoff über eine Umstellung der Gasinfrastruktur in ein Wasserstoff-Verteilnetz [1].

Erneuerbares Methan als chemischer Energiespeicher

Zur Herstellung chemischer Energieträger aus Erneuerbaren wird mittels Elektrolyse aus Wasser Wasserstoff und Sauerstoff gewonnen. Der erzeugte Wasserstoff kann dann als sauberer Energieträger eingesetzt werden, zum Beispiel in Brennstoffzellen, Gasturbinen oder Verbrennungsmotoren.

Aus dem Wasserstoff kann aber auch durch eine chemische Reaktion mit Kohlendioxid Methan erzeugt werden: das ist synthetisches Erdgas. Dieses Erdgassubstitut lässt sich problemlos in das bereits bestehende Versorgungsnetz integrieren.

Die Methan-Herstellung aus erneuerbaren Energien und die Nutzungsoptionen in unterschiedlichen Verbrauchssektoren bieten die Chance für ein Zusammenwachsen der Energiesektoren Energiespeicher, Stromnetz, Gasnetz und Mobilität. Strom und erneuerbares Methangas sind bidirektional ineinander umwandelbar und verfügen schon heute über eine gut ausgebaute Infrastruktur mit saisonaler Gasspeicherkapazität.

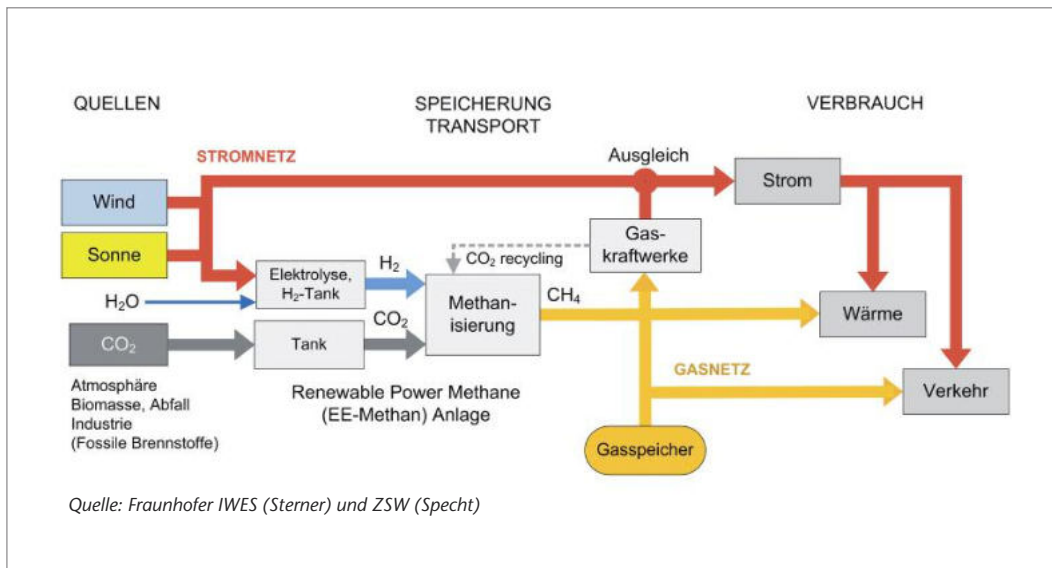


Abbildung 7
Speicherung von Strom aus Sonne und Wind durch die Herstellung von Methan und dessen anschließender Speicherung. Durch eine bidirektionale Kopplung von Gas- und Stromnetz mit Anbindung an den Verbrauchssektor Mobilität bildet Methan einen indirekten Stromspeicher.

Quelle: Fraunhofer IWES (Sterner) und ZSW (Specht)

[14; 26; 32]

Thermische Energiespeicher

Auch die thermische Energiespeicherung ist unverzichtbar. Die möglichen Einsatzbereiche thermischer Energiespeicher reichen von der saisonalen Speicherung in der Solarthermie bis zu Hochtemperaturspeichern bei der solarthermischen Elektrizitätserzeugung. Selbst erneuerbar erzeugte Elektrizität kann, wenn kurzzeitig nicht ins Netz einspeisbar, nach der Umwandlung in Wärme oder Kälte kostengünstig und effizient gespeichert werden.

Für die Speicherung thermischer Energie wird meist Wasser eingesetzt, da es eine hohe spezifische Wärmekapazität besitzt und sehr kostengünstig ist. Kleinere Speicher werden als Pufferspeicher in thermischen Solaranlagen (Warmwasserbereitung) für eine Speicherung über Tage oder Wochen eingesetzt. Große Wasserspeicher (bis zu mehreren tausend m³) werden zur saisonalen Speicherung solarer Wärme zum Heizen im Gebäudebereich meist in Verbindung mit einem Nahwärmenetz gebaut. Mit großen saisonalen Wärmespeichern kann in Deutschland etwa die Hälfte des Gesamtwärmebedarfs von größeren Gebäudeeinheiten solar gedeckt werden.

Die thermische Energiespeicherung ist insbesondere zur Steigerung der Energienutzungseffizienz von Kraft-Wärme-Kopplungs-Technologien notwendig. Denn Speicher für hohe Temperaturen und für kleine Kraft-Wärme-Kältekopplungsanla-

gen, ermöglichen einen stromgeführten Betrieb, wobei die anfallende Wärme einige Tage oder länger gespeichert werden kann. Dies ist für eine bessere Nutzung industrieller Prozesswärme interessant, um in Bereichen mit hohem Energieverbrauch große Wärmemengen wieder nutzbar zu machen für Gebäudeheizung und Warmwasserbereitung.

5. Ausbau des Stromnetzes

Mit zunehmendem Anteil fluktuierender Stromquellen muss für Europa ein neues, sehr leistungsfähiges Stromübertragungsnetz und angepasste Verteilnetze zur Verfügung stehen, das einen Ausgleich der durch die Erzeugung entstehenden Schwankungen großflächig möglich macht. Dafür müssen leistungsfähige, intelligente europäische Stromnetze aufgebaut werden. Denn es ist energetisch und wirtschaftlich vorteilhaft, verstärkt dezentrale Energieversorgungsstrukturen zu entwickeln, die über „Backbone“-Netze miteinander verbunden sind. Über diese Netze können mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologien Lastschwankungen oder Angebotsschwankungen auch über große Entfernungen ausgeglichen und zusätzliche Stromlieferanten eingebunden werden (z. B. Wasserkraft aus Skandinavien, Windenergie aus Portugal oder Solarstrom aus Nordafrika).

Abbildung 8
Das Regenerative
Kombikraftwerk
Quelle Fraunhofer IWES



Schon 2020 „trägt Strom aus dem sich etablierenden europäischen erneuerbaren Energie-Stromverbund mit knapp 5 TWh/a bereits substantiell zur erneuerbaren Energie-Stromerzeugung Deutschlands bei. [4].

Gelingt der Ausbau dieses transeuropäischen Supernetzes nicht rechtzeitig oder nicht vollständig, müssen im nationalen Rahmen einerseits Stromüberschüsse aus erneuerbaren Energien gespeichert und andererseits Stromlücken durch Residuallast-Kraftwerke aufgefangen werden. Im Gegensatz zu bisher eingesetzten Grund- bzw. Mittellastkraftwerken sind das schnell reagierende Gaskraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung und virtuell vernetzbare Kleinstsysteme wie Blockheizkraftwerke, Mikroturbinen und Brennstoffzellen. Elektrische Energiespeicher, wie sie oft

vorgeschlagen werden, könnten im Prinzip diesen Ausgleich ebenfalls leisten, sie sind jedoch auf absehbare Zeit gegenüber starken Netzen bzw. Residuallast-Kraftwerken vermutlich nicht konkurrenzfähig.

Das Regenerative Kombikraftwerk

Das Prinzip „Regeneratives Kombikraftwerk“ wird mit seinem systemtechnischen Zusammenspiel der erneuerbaren Energien und der Energiespeicherung auf ganz Deutschland ausgedehnt. Sie ermöglichen einen Ausgleich der fluktuierenden Stromerzeugung durch EE durch Zusammenschalten von Windkraftanlagen, PV-Anlagen, Biogasanlagen, Geothermieanlagen, Wasserkraftanlagen (inklusive Pumpspeicherkraftwerke).

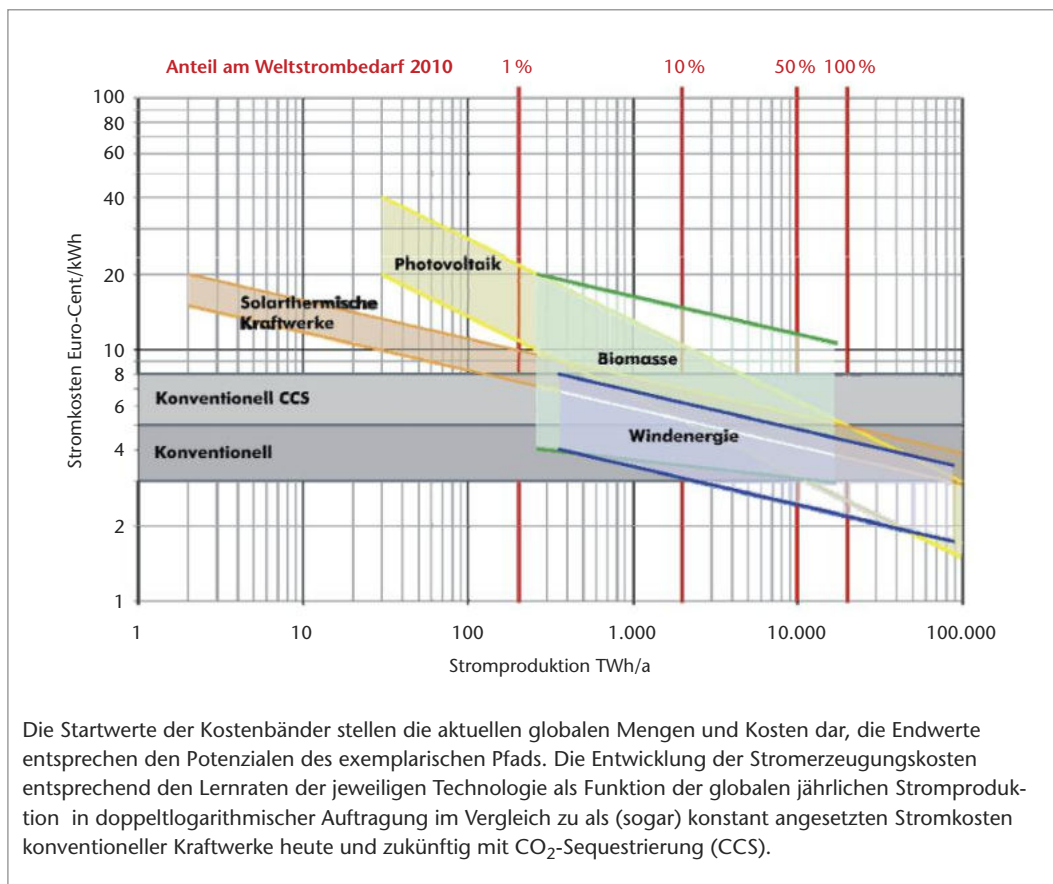


Abbildung 9

Die Entwicklungspotenziale der Stromerzeugungskosten aus erneuerbaren Energien weltweit (Quelle: J. Schmid, Fraunhofer IWES 2010) entsprechend den Lernraten der jeweiligen Technologie als Funktion der globalen jährlichen Stromproduktion in doppeltlogarithmischer Auftragung im Vergleich zu als (sogar) konstant angesetzten Stromkosten konventioneller Kraftwerke heute und zukünftig mit CO₂-Sequestrierung (CCS). Die Startwerte der Kostenbänder stellen die aktuellen globalen Mengen und Kosten dar, die Endwerte entsprechen den Potenzialen des exemplarischen Pfads des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen WBGU.

Erneuerbarer Strom wird somit zur Primärenergie, indem auch chemische Energieträger (Wasserstoff, Methan) aus ihm gewonnen werden.

6. Priorität für Forschung und Entwicklung

Die technologischen, ökonomischen und soziologischen Herausforderungen bei der Transformation zum Energiesystem 2050 sind nur mit Forschung und Entwicklung zu bewältigen.

Für den Übergang vom heutigen Zustand der Energiesysteme zu einem nachhaltigen, emissionsfreien, bzw. -neutralen System wird eine ständige Weiterentwicklung der erneuerbaren und energieeffizienten Technologien und der sozialen Begleitforschung benötigt.

Denn die heute verfügbaren Technologien erneuerbarer Energien sind noch nicht alle weit genug entwickelt, den Herausforderungen eines Mas-

senmarkts gewachsen zu sein. Neue Materialien für den Ersatz teurer oder seltener Elemente, Verfahrenstechniken, Systemtechniken, Kommunikationstechniken usw. müssen für hohe Stoffumsätze entwickelt werden.

Kostenreduzierung durch Lernkurveneffekte

Wesentlicher Vorteil der erneuerbaren Energien sind ihre sinkenden Kosten bei zunehmender Nutzung. In *Abbildung 2* sind Preis-Erfahrungskurven, bzw. sogenannte Lernkurven für verschiedene erneuerbare Energien zusammengestellt, wobei die Kosten über der erzeugten Energie betrachtet werden. Dabei wird deutlich, dass alle Erneuerbaren konkurrenzfähig zu den konventionellen fossilen Energieträgern werden, wenn ihr globaler Anteil etwa bei 10% oder darüber liegt. Das gilt für alle gleichermaßen, die Wirtschaftlichkeit ist also keine grundsätzliche, sondern nur eine zeitliche Frage.

7. Erhalt der Vorrangregelung für Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien

Eine stetige Stromerzeugung durch Grundlastkraftwerke wird dann nicht mehr benötigt, wenn der Anteil fluktuierenden erneuerbaren Stroms größer wird als der Anteil des stetigen Grundlaststroms im Netz gestattet. Dieser Prozess beginnt nach den Leitszenarien 2008 [3] und 2009 [4] bereits ab 2020, wenn der erneuerbare Energie-Strom einen Anteil von rund 40 % erreicht hat. Mit anderen Worten, wenn die Vorrangigkeit der Einspeisung erneuerbarer Energien erhalten bleibt, dann wird die Wirtschaftlichkeit von Grundlastkraftwerken darüber entscheiden, wann sie aus ökonomischen Gründen abgeschaltet werden.

Geeignete Kraftwerkstypen sind dann: Gaskraftwerke und Kraft-Wärmekopplungsanlagen (Motor-Generatoren, Mikroturbinen, Brennstoffzellen), die über entsprechende Kommunikationseinrichtungen gesteuert werden können. Aber auch Biomasseanlagen und geothermische Stromkraftwerke können dazu beitragen, eine gleichmäßige Stromversorgung zu gewährleisten, wie das Regenerative Kombikraftwerk derzeit schon zeigt. Spätestens ab 2030 trägt auch

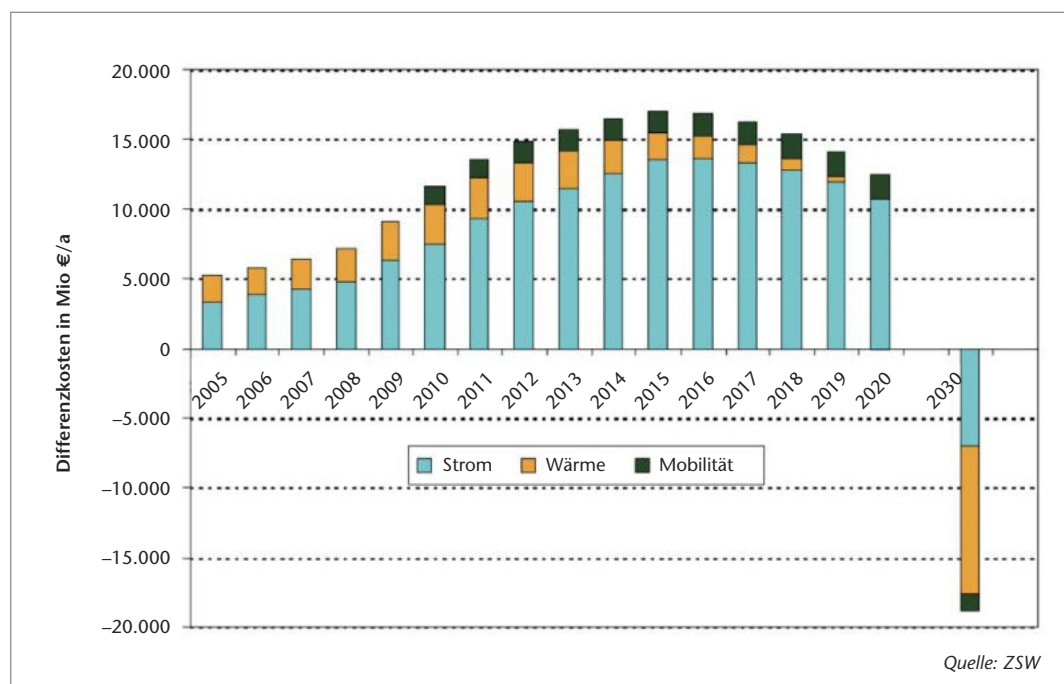
die erneuerbare Energie-Stromerzeugung in größerem Umfang zu den wachsenden Regelungs- und Ausgleichsaufgaben bei [1].

Die Konsequenzen, die sich aus der Forderung nach schnell reagierenden Kraftwerken ergeben, sind gravierend: Sie bedeuten, dass Großkraftwerke jeder Art für die zukünftigen Versorgungsstrukturen ungeeignet sind, wenn die fluktuierenden erneuerbaren Energien den Hauptanteil der Versorgung übernehmen sollen. Das bedeutet nicht nur, dass weder Kernkraftwerke, noch Fusionskraftwerke, noch Kohlekraftwerke eingesetzt werden können, sondern auch, dass die gegenwärtigen Ansätze der CO₂-Abscheidung und Speicherung bei der Kohleverstromung (CCS) nicht nur aus rein wirtschaftlichen sondern auch aus systemischen Gründen in eine verkehrte Richtung führen würden.

Der zeitliche Verlauf der Reduzierung der Anzahl von Grundlastkraftwerken bis 2020 und darüber hinaus regelt sich über die Wirtschaftlichkeit der Kohle- und Kernkraftwerke, sofern die Vorrangregelung zur Einspeisung erneuerbaren Stroms weiterhin Bestand hat. Ausgleichszahlungen für abgeregelten erneuerbaren Strom dürfen nur Übergangsregelungen bleiben und müssen zu einem beschleunigten Netz- bzw. Speicherausbau führen.

Abbildung 10
Entwicklung der gesamten Differenzkosten aus den Bereichen Strom, Wärme und Verkehr bis 2030.

Quelle: ZSW



8. Schlussfolgerungen

Aus der Verbindung der im Energiekonzept 2050 beschriebenen technologischen Komponenten mit ihren Lern- und Erfahrungseffekten, der Energieeffizienz und der Kosten- und Nutzenanalyse [1] ergibt sich:

1. Der Ausbau der erneuerbaren Energien verursacht zwar zunächst Mehrkosten sowohl in der Strom- und Wärmeerzeugung als auch im Verkehrssektor. Bei einer jahresspezifischen Betrachtung wird das Maximum der Mehrkosten aber bereits im Jahr 2015 mit einer Summe von rund 17 Mrd. Euro erreicht.
2. Bei der Betrachtung der Differenzkosten der erneuerbaren Energien aus allen drei Sektoren wird deutlich, dass die Transformation in ein vollständig auf erneuerbaren Energien basierendes Energiesystem bis zum Jahr 2050 auch aus ökonomischer Sicht vorteilhaft ist. Im Zeitraum 2010 bis 2050 können allein in den Sektoren Strom und Wärme Kosten von insgesamt 730 Mrd. Euro eingespart werden.

Entscheidend für eine weitere zügige Entwicklung hin zu einer Vollversorgung mit erneuerbaren Energien ist die Energiepolitik. Das Energiekonzept der Bundesregierung kann den Weg dahin öffnen, wenn die beschriebenen Bedingungen durch gesetzliche Maßnahmen flankiert werden und wenn durch verstärkte Forschung und Entwicklung, die gegenwärtige Innovationsdynamik aufrecht erhalten wird. Dann allerdings werden Politik und Gesellschaft belohnt durch ein Energiesystem, das 2050 vorsichtig gesprochen, zumindest nicht teurer als das gegenwärtige sein wird.

Literatur

- [1] Energiekonzept 2050 http://www.fvee.de/fileadmin/politik/10.06.vision_fuer_nachhaltiges_energiekonzept.pdf
- [2] Von Bremen, L.; Hofmann (2009): Storage and Transport Capacities in Europe for a full Renewable Power Supply System. Fraunhofer IWES Studie für Siemens AG. Präsentation auf der ewec 2009 (European Wind Energy Conference). Marseille.
- [3] Leitstudie 2008, Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas. Dr. Joachim Nitsch, Stuttgart, in Zusammenarbeit mit der Abteilung „Systemanalyse und Technikbewertung“ des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik
- [4] Nitsch, J., Wenzel, B., Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland – Leitszenario 2009; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Berlin; August 2009 und weiterführende Arbeiten.