

# **Energiekonzept 2050**

**Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept  
auf Basis von Energieeffizienz und  
100 % erneuerbaren Energien**

## **Kurzfassung des Gesamtkonzepts**

**Beitrag der Institute:  
Fraunhofer IBP, Fraunhofer ISE, Fraunhofer IWES, ISFH, IZES,  
ZAE Bayern und ZSW, die im  
ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE)  
zusammengeschlossen sind,  
für das  
Energiekonzept der Bundesregierung**

**Juni 2010**

**Erstellt vom Fachausschuss  
„Nachhaltiges Energiesystem 2050“  
des ForschungsVerbunds Erneuerbare Energien**

## Vorwort

Der Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE) wurde vom Bundesumweltministerium Anfang 2010 ermutigt, ein Konzept für ein deutsches Energieversorgungssystem im Jahr 2050 zu formulieren, das auf 100% erneuerbaren Energien basiert. Das Energiekonzept 2050 versteht sich als ein Beitrag zum Energiekonzept der Bundesregierung, das im Oktober 2010 verabschiedet werden soll. Es schließt den künftigen Energiebedarf aller Nutzungsbereiche ein: Strom, Wärme und Kraftstoff.

Das vorliegende Energiekonzept ist auch Grundlage für ein anschließend zu erarbeitendes Papier des FVEE mit Empfehlungen zum 6. Energieforschungsprogramm, das Anfang 2011 von der Bundesregierung verabschiedet werden soll.

### Begriffsdefinitionen:

- **"Erneuerbar"**: Der FVEE definiert eine Energiequelle als "erneuerbar" oder "regenerativ", wenn sie sich entweder kurzfristig von selbst erneuert oder ihre Nutzung nicht zur Erschöpfung der Quelle beiträgt. Man spricht dann von nachhaltig zur Verfügung stehenden Energieressourcen. Diese Definition trifft auf alle direkten Solarenergien zu, auf die indirekten Solarenergien wie Wind, Wasserkraft und Biomasse und auch auf Erdwärme und die Meeresenergien. Kernfusion ist nach dieser Definition keine erneuerbare Energie.
- **"Nachhaltigkeit"**: Der Begriff Nachhaltigkeit wird als Dreiklang von Ökologie, Ökonomie und Sozialverträglichkeit bezeichnet. Er orientiert sich an der Definition der Enquetekommission des Bundestages, Endbericht 2002 „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“, wobei diese mehrheitlich der Ökologiedimension eine gewisse Vorrangstellung einräumte.

## Zusammenfassung

Der globale Klimawandel und die sich daraus abgeleitete Notwendigkeit einer drastischen Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erfordert einen raschen Umbau der gegenwärtigen Weltenergiesysteme. Bei dieser Transformation werden die erneuerbaren Energien unabhängig von den zurzeit diskutierten Szenarien eine wichtige Rolle spielen. Eine Betrachtung der technischen Potentiale der erneuerbaren Energien macht deutlich, dass diese eine vollständige Energieversorgung in Zukunft übernehmen können. Das vorliegende Papier zeigt, dass bei einer geeigneten Strategie eine Vollversorgung auf der Grundlage von erneuerbaren Energien möglich ist und dass die Kosten für das transformierte Energiesystem langfristig unter denen von herkömmlichen Alternativen liegen. Allerdings fallen in den kommenden zwei Dekaden zunächst erhöhte Investitions- und Entwicklungskosten an, die jedoch danach vor allem durch eingesparte Kosten bei Energieträgern deutlich überkompensiert werden. Bei der vernetzten Betrachtung aller wichtigen Elemente des Energiesystems von der Bereitstellung über den Transport und die Verteilung bis zur Energiedienstleistung lassen sich erhebliche Effizienzpotentiale erschließen. Dabei kommen die wichtigsten Beiträge aus der Direkterzeugung von Strom aus Wind, Sonne und Wasserkraft, die gegenüber herkömmlichen Kraftwerken ohne Abwärmeverluste auskommen, aus der deutlich verstärkten Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung, von Wärmepumpen und der Einführung der Elektromobilität in Bereichen mit überwiegend verbrennungsmotorischen, und damit abwärmeverlustbehafteten Antriebssystemen. Eine Vernetzung dieser Elemente über

# Energiekonzept 2050

intelligente Stromnetze (smart grids) führt auch dazu, dass trotz sehr hoher Anteile an fluktuierenden Stromquellen aus Wind und Sonne die Stabilität und die Versorgungssicherheit der elektrischen Energieversorgung gewährleistet werden kann.

Für das Energiesystem das zu 100% die Energieversorgung mit erneuerbaren Energieträgern bereit stellt setzen wir bevorzugt auf die Erzeugung und Nutzung von Strom aus Quellen wie Windkraft Solarenergie, Wasserkraft und Geothermie sowie die Bereitstellung eines chemischen Energieträgers z. B. in der Form von Methan oder Wasserstoff, gewonnen in zunehmendem Masse aus erneuerbarer Energie. Strom als Haupt-Energieträger wird zur Versorgung von Gebäuden, Transport und Verkehr, und für die Industrielle Produktion zur Verfügung gestellt und in einigen Bereichen wie z.B. dem Luftverkehr und für industrielle Fertigungsprozesse ergänzt durch einen chemischen Energieträger, wie Methan. Dieses Vision ist konform mit dem von der DLR entwickelten Modell REMIX (DLR 2010) in dem Deutschland im Stromverbund mit Dänemark und Norwegen analysiert wird. Dieses ermöglicht die Einbindung insbesondere der in Norwegen vorhandenen Wasserkraft-basierten Speicherkapazitäten. Die schon derzeit existierenden Speicherkapazitäten des Erdgasnetzes in Deutschland (120 TWh äquivalent) können als weitere Komponente des Speichersystems im Zusammenspiel mit Gasturbinen-Kraftwerken CO<sub>2</sub> neutral genutzt werden. Wir gehen von einem Gesamtstrombedarf von 700 TWh/a für Deutschland aus, dieses sollte erlauben, unter Einsatz von Effizienzsteigerungsmaßnahmen in der Nutzung, neben dem dann weitgehend elektrifizierten Individualverkehr auch den größten Anteil des verbleibenden Wärmedarfs der Gebäude und einen großen Anteil der industriellen Prozesswärme abzudecken (SRU 2010).

Die zielgerichtete Forschung und Weiterentwicklung auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien wird auch in Zukunft zu weiteren Reduktionen der Energie-Bereitstellungskosten führen, die in naher Zukunft eine volle Konkurrenzfähigkeit zu herkömmlichen Alternativen erlauben. Forschung und Weiterentwicklung auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien soll die demonstrierten technologischen Konzepte so skalierbar gestalten, dass Sie die Anforderungen des hier vorgestellten Gesamt-Systems genügen und die in dem Konzept eingeplanten Reduktionen der Energie-Bereitstellungskosten realisieren. Dieses erfordert zum einen, den Ersatz von teuren, in nur unzureichender Menge zur Verfügung stehenden Materialien, zum anderen eine Material-, Prozess- und Systemoptimierung, um die Effizienz der Energiebereitstellung zu erhöhen. Der Projektionen zeigen in dem vorliegenden Papier, wie sich diese Bereitstellungskosten in Abhängigkeit der global akkumulierten Kapazitäten entwickelt haben und in Zukunft entwickeln können, sofern die erforderlichen Forschungs- und Entwicklungserfolge realisiert werden.

Das Konzept zeigt außerdem, dass der Forschungsverbund auf allen für die Transformation entscheidenden Technologiegebieten wichtige Beiträge leistet und damit die nationale Forschungsbasis für eine auf erneuerbare Energien fußende Versorgungsstruktur darstellt.

## **Kernaussagen des Energiekonzepts 2050:**

- 1. Die Technologien zur Nutzung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz haben sich rascher entwickelt als erwartet:**
  - **Energieeffizientes Bauen:** Signifikante Minderung der Bedarfe für Heizen, Kühlen, Belüften und Belichten von Gebäuden mittels Effizienzsteigerung der Bau- und Anlagentechnik (Niedrigenergie-, 3-Liter- und Passivhaus).

## Energiekonzept 2050

- **Kraft-Wärme-Kopplung:** Erhöhung der Bereitstellungs- und Nutzungseffizienzen durch Kombinationsmöglichkeiten erneuerbarer Energietechniken mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) oder mit Wärmepumpen.
  - **Photovoltaik:** Stetige Kostenreduktion um durchschnittlich 7% pro Jahr in den vergangenen 10 Jahren durch Erhöhung der Wirkungsgrade, effizienteren Materialeinsatz und neue Produktionstechnologien /1/.
  - **Solarthermische Kraftwerke:** Entwicklung und Bau solarthermischer Kraftwerke mit großen Energiespeichern /2/.
  - **Elektromobilität:** Entwicklung der Elektromobilität und der damit verbundenen Chance, erneuerbare Energien auch im Verkehr effizient nutzen zu können.
  - **Biomasse:** Entwicklung von Polygenerationverfahren zur energetischen Nutzung von Biomasse, um Strom, Wärme, Kälte und Kraftstoff zu erzeugen.
  - **Wasserstoff:** Wasserstoffherzeugung durch Hochtemperaturelektrolyse mit Wirkungsgraden von bis zu 80% /3/.
  - **Brennstoffzellen:** Brennstoffzellen werden in großangelegten Feldtests für den Einsatz in der Gebäudeenergieversorgung, im Individualverkehr und im öffentlichem Nahverkehr erprobt.
  - **Erneuerbares Methan:** Neue Konversionstechnologie, um aus erneuerbarem Strom und CO<sub>2</sub> erneuerbares Methangas zu erzeugen. Damit kann das Erdgasnetz unmittelbar als großer Speicher für erneuerbare Energien genutzt werden. (siehe Abschnitt 1.2.3.3).
  - **Regeneratives Kombikraftwerk:** Die Entwicklung regenerativer Kombikraftwerke für das koordinierte Zusammenspiel verschiedener EE-Technologien
  - **Offshore Windkraftanlagen:** Die Entwicklung der Offshore-Windenergienutzung mit einer neuen Anlagengeneration und verbesserte Windleistungsprognosen auf der Basis energiemeteorologischer Methoden
  - **Netzintegration:** Entwicklung von Wechselrichtern, die zunehmend Systemdienstleistungen zur Netzstabilisierung übernehmen. Präzise Prognoseverfahren für die Leistungsvorhersage von Wind- und Solarkraftwerken.
  - **Smart Grids:** Entwicklung von smart grids in Verbindung mit smart metering: Intelligente Verteilnetze für Strom in Verbindung mit zeitvariablen Tarifen für das Lastmanagement /4/.
  - **Solare Wärme und Kälte:** Erhöhung der Effizienz der solarthermischen Kollektoren und Systeme für Raumheizungsunterstützung, Entwicklung von Prozesswärmeanwendungen und solarthermischer Kühlung.
  - **Das Solaraktivhaus:** Entwicklung des Solaraktivhauses, das zu 50 bis 100 % mit thermischen Solarkollektoren beheizt wird /5/)
2. Die bemerkenswerten Fortschritte zeigen, dass bei anhaltender Innovationsdynamik schon 2050 in Deutschland ein Energiesystem realisiert werden kann, das zu 100 % auf erneuerbaren Energien basiert.
  3. Optionenvielfalt als Garant für Versorgungszuverlässigkeit: Das Energiekonzept 2050 beschreibt eine zuverlässige, sichere, kostengünstige und robuste Energieversorgung auf Basis der vielfältigen erneuerbarer Energien. Diese Palette der erneuerbaren Energien, deren Potenziale sehr viel höher sind als der Gesamtenergiebedarf, gewährleistet auch bei geringerem Beitrag oder gar "Ausfall" einer Technologie die Bereitstellung von Alternativen, sodass in jedem Fall eine 100%-Versorgung auf Basis erneuerbarer Energien sichergestellt ist.
  4. Energieeffizienz prioritär: Die Erhöhung der Energieeffizienz wird als strategische Aufgabe höchster Priorität behandelt: Die Institute plädieren für einen

## Energiekonzept 2050

starken Ausbau der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), um die Energie-nutzungseffizienz der erneuerbaren Energiekonversionstechniken zu erhöhen- begleitet von der Notwendigkeit Anreizmaßnahmen für solche Systeme in Verbindung mit Nahwärmesystemen weiter zu entwickeln. Die energetische Sanierung des heutigen Gebäudebestands wird bis 2050 im Wesentlichen abgeschlossen sein.

5. **Strom als Hauptstandbein:** Die Stromgewinnung und -nutzung aus erneuerbaren Energien hat im Energiekonzept 2050 eine dominante Stellung.
6. **Europäischer Stromverbund:** Ein weiträumiger Ausgleich von erneuerbarer Energieerzeugung durch eine europäische Stromvernetzung verstetigt das Angebot an erneuerbarer Energie. Mit Energiespeichern wird außerdem das fluktuierende Angebot an Wind- und Solarenergie der jeweiligen Nachfrage angepasst. Erneuerbarer Strom wird somit zur Primärenergie, indem auch chemische Energieträger (Wasserstoff, Methan) aus ihm gewonnen werden.
7. **Chemische Energieträger:** Für die Überbrückung längerer Phasen mit zu geringem Angebot können in Überangebotszeiten diese chemischen Energieträger in Langzeitspeichern saisonal verfügbar gemacht werden, die unter anderem auch für den Verkehrssektor notwendig sind. Die Herstellung von "erneuerbarem (synthetischem) Methan" bedeutet einen Paradigmenwechsel für die Energiespeicherung.
8. **E-Mobilität:** Der Verkehr im Energiekonzept 2050 wird weitgehend direkt elektrisch gedeckt oder indirekt, indem Strom zu Wasserstoff oder Methan umgewandelt wird.
9. **Regeneratives Kombikraftwerk:** Das Prinzip „Regeneratives Kombikraftwerk“ wird mit seinem systemtechnischen Zusammenspiel der erneuerbaren Energien und der Energiespeicherung auf ganz Deutschland ausgedehnt.
10. **Europäischer Stromverbund:** Der verlustarme Stromtransport über weite Strecken und der Energieausgleich auf europäischer Ebene spielen für die Nutzung der fluktuierenden Energiequellen eine Schlüsselrolle.
11. **Die heutigen Großkraftwerke sind ungeeignet, fluktuierende Ströme aus erneuerbaren Energien auszugleichen, denn sie können die dafür erforderlichen großen Leistungsänderungen nicht abbilden. Wenn die Vorrangigkeit der Einspeisung erneuerbarer Energien erhalten bleibt, dann werden herkömmliche Grundlastkraftwerke zunehmend ungeeignet, die Residuallast aufzubringen. Das bedeutet nicht nur, dass dann weder Kernkraftwerke, noch Fusionskraftwerke, noch Kohlekraftwerke eingesetzt werden können, sondern auch, dass die gegenwärtigen Ansätze der CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung bei der Kohleverstromung (CCS) nicht nur aus rein wirtschaftlichen sondern auch aus systemischen Gründen in eine verkehrte Richtung führen.**
12. **Rolle der Biomasse:** Die energetische Nutzung der Biomasse wird als eine beschränkte Ressource behandelt, die die Entwicklung von stofflichen und energetischen Nutzungskaskadenerfordert. Energiepflanzen sollten mittel- bis langfristig vor allem zur Herstellung von Synthesekraftstoffen wie Kerosin für Flugzeuge und Schiffe sowie zur Produktion von Rohstoffen für die chemische Industrie verwendet werden. Die energetische Verwertung von Biomasse-Reststoffen ergänzt dieses Konzept.

## Energiekonzept 2050

- 13. Solare Wärme: Solarthermische Kollektoren liefern im Energiekonzept 2050 einen wichtigen Beitrag zur Trinkwassererwärmung, Raumheizung, Prozesswärme- und Kälteversorgung in einzelnen Gebäuden und für die Nah-/Fernwärme- und -kältesysteme.**
- 14. Das Energiesystem 2050 wird volkswirtschaftlich bei optimaler Auslegung zumindest nicht teurer als das gegenwärtige. Dies ergibt sich aus der Verbindung der im Energiekonzept 2050 beschriebenen technologischen Komponenten mit ihren Lern- und Erfahrungseffekten und der Kosten- und Nutzenanalyse:**
  - **Der Ausbau der erneuerbaren Energien verursacht 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. Dies entspricht lediglich ca. 8 % der Gesamtausgaben für Energie in Deutschland, die sich gemäß der monetären Bewertung des Endenergieverbrauchs auf 212 Mrd. €/a belaufen. Das Argument, wonach erneuerbare Energien erhebliche Kostensteigerungen des Energiesystems verursachen würden, ist mit diesem Vergleich zu entkräften.**
  - **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.**

### **Das Zusammenwirken der Elemente im vernetzten System und die Konsequenzen**

Ausgangspunkt ist die vernetzte Betrachtung aller Elemente im Energiesystem, von der Bereitstellung über Transport und Verteilung bis zur Energiedienstleistung. Auf diese Weise lassen sich erhebliche Einsparpotentiale und Effizienzgewinne identifizieren, die eine wichtige Voraussetzung für ein in wirtschaftlicher Hinsicht konkurrenzfähiges und auf 100 % erneuerbarer Energie basierendes Gesamtsystem darstellen.

Kernelement der Gesamtstrategie zur Umformung des Energieversorgungssystems ist die Steigerung der Effizienzgewinne – zum Beispiel über die weitestgehende Vermeidung aller mit Abwärmeverlusten verbundenen Verbrennungsvorgänge wie sie heute überwiegend in Kraftwerken zur Stromerzeugung oder in Kraftfahrzeugen für den mechanischen Antrieb Verwendung finden. So ersetzt beim aktuellen deutschen Kraftwerksmix jede ohne Verbrennung - z.B. mit Wind, Sonne oder Wasserkraft erzeugte - Kilowattstunde die 2,5-fache Menge an sonst benötigter Primärenergie überwiegend in Form von Kohle, dem am stärksten CO<sub>2</sub>-emittierenden Energieträger. Effizienzgewinne in der Mobilität lassen sich über die verstärkte Nutzung erneuerbar erzeugter elektrischer Energie in hohem Maße realisieren, wenn einerseits Verbrennungsmotoren mit ihren heutigen mittleren Wirkungsgraden von rund 20 % durch elektrische Antriebe ersetzt werden und andererseits eine Verlagerung aus verbrennungsmotorisch angetriebenen Transportsystemen (PKW, LKW, Busse, Dieselloks) auf elektrische Transportmittel wie Bahn, Straßenbahn, Oberleitungsbusse erfolgt. Allerdings lassen sich große Effizienzgewinne nur dann realisieren, wenn die Bereitstellung elektrischer Energie z.B. über Wind, Sonne und Wasserkraft erfolgt. Die gegenwärtig mit elektrischen

## Energiekonzept 2050

Transportsystemen verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die beim heutigen Kraftwerksmix kaum unter denen von verbrennungsmotorisch angetriebenen Systemen liegen, verbessern sich also in dem Maße, in dem sich die Emissionen bei der Stromerzeugung durch zunehmende Anteile aus erneuerbaren Energien reduzieren.

Auch die Bereitstellung von Heiz- und Prozesswärme durch die Verbrennung von überwiegend Öl und Gas kann über den Einsatz geeigneter niederexergetischer Systeme außerordentlich hohe Potenziale für Effizienzgewinne erzeugen und damit auch zur Reduktion des Primärenergiebedarfs beitragen.

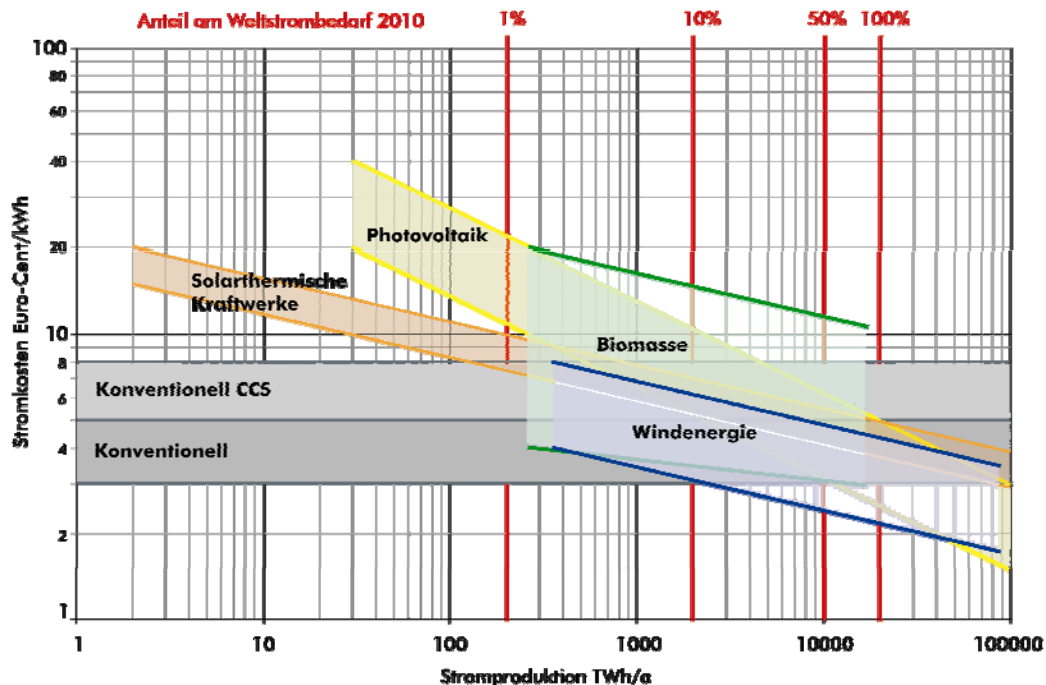
Für diesen Anwendungsbereich bieten sich in Zukunft eine Vielzahl von Alternativen an, die den Niedertemperatur-Wärmebedarf vollständig abdecken können: Neben der Solarenergienutzung und der geothermalen Wärmebereitstellung werden sowohl die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) als auch der Einsatz von Wärmepumpen eine zunehmend wichtiger werdende Rolle im Energiesystem spielen, denn beide Technologien können bedarfsgerecht Nutzenergie liefern. Bei geeigneter Auslegung lassen sie sich über Last- bzw. Erzeugungsmanagement-Verfahren ideal zur Stabilisierung von elektrischen Netzen mit hohen Anteilen an fluktuierender Stromerzeugung (Wind, Sonne) einsetzen.

Durch konsequente Umsetzung der geschilderten Maßnahmen kann der Primärenergiebedarf Deutschlands, bei konstant angenommener Energiedienstleistung auf weniger als die Hälfte gesenkt werden! Eine weitere Reduzierung lässt sich z.B. durch energieoptimierte Bauweise bzw. Sanierung von Gebäuden erreichen.

Bei der Bereitstellung elektrischer Energie kann der heute bereits bei rund 16% liegende Anteil der erneuerbaren Energien durch geeignete Rahmenbedingungen rasch erhöht werden. Optimale wirtschaftliche Bedingungen lassen sich für eine nationale Vollversorgung mit erneuerbaren Energien aus mehreren Gründen jedoch nur im europäischen Verbund erzielen.

So existieren für die Windenergienutzung hervorragende Standorte innerhalb Europas, die schon heute die Produktion von Windstrom zu konkurrenzfähigen Kosten erlauben. Neben der Windenergie wird langfristig auch die Photovoltaik einen bedeutsamen Anteil an der nationalen Stromversorgung übernehmen können. Eine großflächig verteilte Nutzung über wachsende Verbundnetze führt zu einem Ausgleich der an den einzelnen Standorten auftretenden Fluktuationen. Auch diese Form der Stromerzeugung wird ihre wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit gegenüber konventionellen Alternativen erreichen, sobald ihr Anteil an der globalen Stromversorgung in dem Bereich von etwa 10 % kommt. (Abb. 1)

# Energiekonzept 2050



**Abb.1:** Entwicklungspotenzial der Kosten für Strom aus erneuerbaren Energien – weltweit (Quelle: J. Schmid, Fraunhofer IWES 2010). Die Startwerte der Kostenbänder stellen die aktuellen globalen Mengen und Kosten dar, die Endwerte entsprechen den Potenzialen des exemplarischen Pfads. Die Entwicklung der Stromerzeugungskosten 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 CO<sub>2</sub>-Sequestrierung (CCS).

Auch bei der Photovoltaik wird eine kostenoptimierte Versorgungsstruktur im europäischen Rahmen Vorteile gegenüber einer nationalen Lösung erbringen. Die für den Transport von Solar- und Windstrom aus geeigneten Standorten erforderlichen Hochleistungstransportnetze schließen selbstverständlich bestehende Pump- oder Schwallwasserkraftwerke für die preiswerte Bereitstellung von Regel- und Ausgleichsenergie ein.

Zur Integration sehr großer Anteile an erneuerbaren Energien sind außer den beschriebenen Hochleistungstransportnetzen auch flexible und interaktive Verteilungs- und Niederspannungsnetze erforderlich. Diese sog. smart-grids erlauben erstmalig das Zusammenspiel zwischen Erzeugung und Verbrauch und eröffnen damit auch für Verbraucher die Möglichkeit, sich dem aktuellen Angebot, z.B. über variable Tarife anzupassen. Erste Projekte zur Demonstration der Leistungsfähigkeit von sog. smart-grids werden zurzeit im Rahmen des e-energy-Programms durchgeführt.

Die Einbindung solarthermischer Kraftwerke in die nationale Energieversorgung bietet sowohl in Bezug auf die konkurrenzfähige Bereitstellung als auch auf die Versorgungssicherheit deutliche Vorteile, wie sie z.B. in der Initiative „DESERTEC“ beschrieben sind. Einerseits benötigt der Betrieb solarthermischer Kraftwerke einen hohen Anteil von solarer



## Energiekonzept 2050

Direktstrahlung, wie er nur in Südeuropa oder in Nordafrika zu finden ist. Andererseits lassen sich diese Kraftwerkstypen durch Hinzunahme von Speichern oder durch den Betrieb von Zusatzbrennern dem jeweiligen Bedarf anpassen. In jeden Fall sind jedoch sehr leistungsfähige Ferntransportnetze (in HGÜ-Technik) dafür erforderlich.

Geothermale Stromerzeugung und Kraftwerke, die vornehmlich Abfall- Biomasse nutzen stehen, analog zu den dargestellten Speicherkraftwerken und sich weiterentwickelnden elektrischen Speichern, zur Deckung der Grundlast bzw. Nivellierung verbleibender Rest-Leistungsbedarfsspitzen zur Verfügung.

Im Bereich der Biomassenutzung gilt es insbesondere stofflich und energetisch optimierte Nutzungskaskaden weiter zu entwickeln.

In dem Maße, in dem die Einbindung der nationalen Stromversorgung mit erneuerbaren Energien in ein gesamteuropäisches Netz nicht gelingt, werden die Strombereitstellungskosten steigen – vor allem wegen des dann erforderlichen Mehrbedarfs an Stromspeichern.

### **Gasnetze und Gas-Infrastruktur für erneuerbare Energien**

Für die Bereitstellung von Regel- und Ausgleichsenergie in elektrischen Netzen werden in Zukunft sog. Residuallast-Kraftwerke benötigt, die den Differenzbedarf zwischen den fluktuierenden Stromquellen und der aktuellen Last abdecken. Im Gegensatz zu Grundlastkraftwerken sind ihre Laufzeiten kurz (z.B. 1000 Volllast-Betriebsstunden). Die Anforderungen an die zeitliche Dynamik der Leistungsbereitstellung sind jedoch sehr hoch. Dafür eignen sich z.B. Gasturbinen-Spitzenlastkraftwerke. Völlig neue Perspektiven ergeben sich jedoch über die koordinierte Erzeugung verteilter KWK-Anlagen als so genannte 'virtuelle Kraftwerke'. Dabei werden auf der Basis geeigneter Kommunikationseinrichtungen eine Vielzahl kleiner KWK-Anlagen dann aktiviert, wenn der entsprechende Leistungsbedarf im elektrischen Netz besteht. Die Entkopplung zum zeitlich unterschiedlichen Wärmebedarf lässt sich durch weiter auszubauende Nahwärmenetze in Verdichtungsgebieten in Verbindung mit thermischen Speichern realisieren, . In Sonderfällen kann so ein derartiges virtuelles Kraftwerk auch dann in Betrieb genommen werden, wenn kein Wärmebedarf existiert.

Die Transformation der Gasversorgung vom Erdgas-basierten Methan zu erneuerbaren Substituten ist auf mehrere Arten durchführbar: Neben der Aufbereitung von Biogas für die Einspeisung in Erdgasnetze kommen in Zukunft auch Vergasungsverfahren für feste Biomasse mit anschließender Konversion der Synthesegase zu Methan in Frage. Diese biogenen Erdgassubstitute können jedoch ergänzt werden durch Methan aus Überschüssen der Stromproduktion. Hierbei wird über Elektrolyse zunächst Wasserstoff erzeugt, der in einem zweiten Schritt über die Reaktion mit CO<sub>2</sub> im so genannten Sabatier-Prozess zum Methan führt.

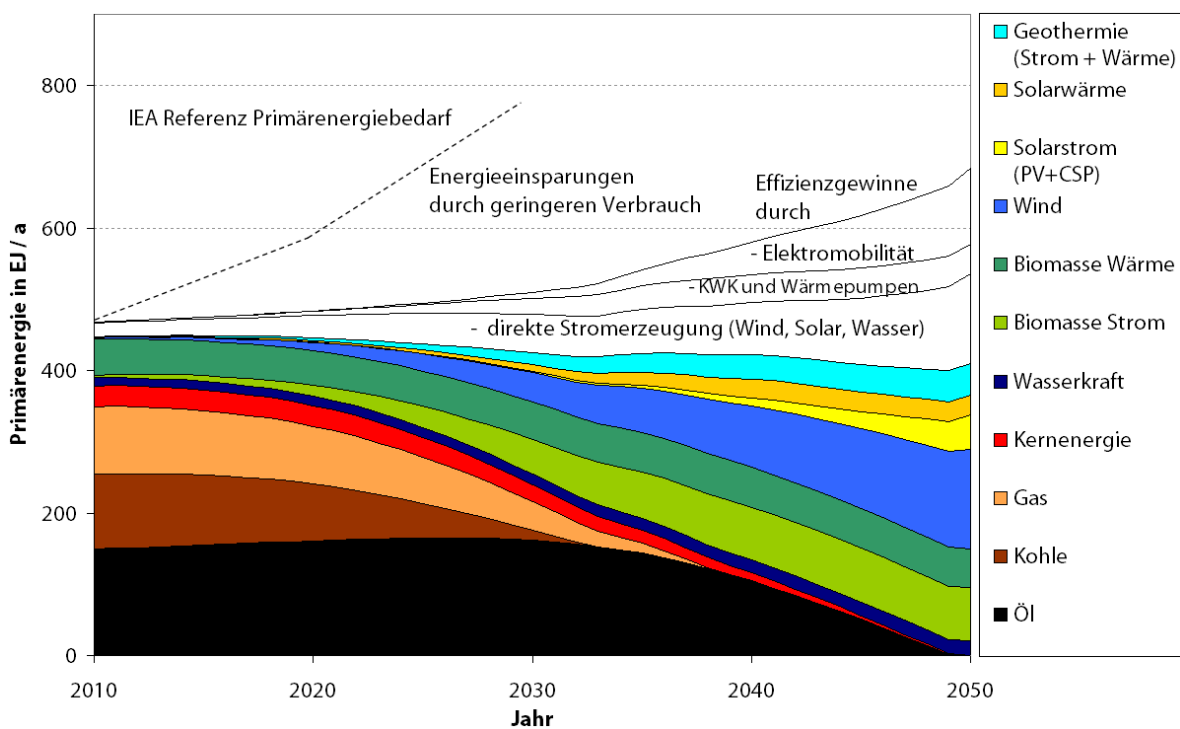
Damit lassen sich in Zukunft bei ausreichender Verfügbarkeit 'regenerativ' erzeugten Stroms auch dann alle Erdgas-Verbraucher mit erneuerbaren Methan versorgen, wenn nicht mehr genügend Erdgas, oder biogene Produkte (z.B. wegen Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion) zur Verfügung stehen.

Aus dieser Quelle können auch Flüssigtreibstoffe für Schiffe oder Flugzeuge hergestellt werden, die in Bezug auf CO<sub>2</sub>-Emissionen umweltneutral sind. Über diesen Pfad lassen sich auch entfernte Standorte mit großer Ergiebigkeit bzgl. Wind oder Sonne z.B. über Erdgasnetze oder Flüssiggas-Terminals in die nationale Versorgungsstruktur einbinden. Die chemische Speicherung von Überschüssen aus der Stromproduktion auf der Basis von

## Energiekonzept 2050

Wasserstoff verbessert die Umwandlungs-Wirkungsgrade gegenüber der Methan basierten Speicherung, allerdings erfordert diese Maßnahme den Aufbau einer Wasserstoff- Infrastruktur. In beiden Fällen kann eine Langzeit-Speicherung von elektrischer Energie über die Rückverstromung mit Wirkungsgraden erreicht werden, die in der Größenordnung bestehender Kohlekraftwerke liegen.

Die mit der vorgestellten Strategie erreichbaren Einsparungen an bisherigen Primärenergie-trägern (Abb. 2) zeigt, dass sich unter Beibehaltung der Wachstumsraten für erneuerbare Energien und der Schaffung vergleichbarer Wachstumsraten für die KWK, für Wärmepumpen und die Elektromobilität die zur Verhinderung eines gefährlichen Klimawandels erforderliche Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen erreichen lässt. Auch die mit der Transformation verbundenen Kosten sind langfristig eher geringer als diejenigen, die bei der Fortführung konventioneller Energiesysteme entstehen würden. Unter Berücksichtigung der dadurch entstehenden Klimaverbesserung, der Kosteneinsparungen, der Schaffung neuer Arbeitsplätze und der ausgezeichneten Perspektiven für den Export der bei der heimischen Nutzung demonstrierten neuen nachhaltigen Technologien, sprechen alle Argumente für eine entschlossene Umsetzung des vorgestellten Energiekonzepts.



**Abb. 2:** 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).

## Politische Handlungsempfehlungen

Das bis zum Jahr 2050 reichende Energiekonzept 2050 für Deutschland sieht einen vollständigen Wandel des heutigen fossil-nuklearen, klimaschädigenden, zentral ausgerichteten, und hauptsächlich auf Energieimporten aufbauenden Energieversorgungssystems hin zu einem nachhaltigen Energieversorgungssystem vor, das zu 100% erneuerbare Energien nutzt und dabei sicher, zuverlässig und kostengünstig ist.

Das Energiekonzept geht für das Jahr 2050 von folgenden Voraussetzungen aus:

- Der weltweite Bedarf an Energiedienstleistungen wird weiter angestiegen sein
- Fossile und nukleare Energien werden bei weitem nicht mehr ausreichen, den weltweiten Energiebedarf zu decken,
- Es wird noch kein kommerziell einsetzbares Kernfusionskraftwerk zur Verfügung stehen.,
- Strom, Wärme und Treibstoffe aus erneuerbaren Energien werden deutlich kostengünstiger sein als Strom aus fossilen und nuklearen Energiequellen.
- Neue Technologien werden zur Verfügung stehen, die ein Energieversorgungssystem, das auf 100% erneuerbare Energien aufbaut, versorgungssicher und kostengünstig realisierbar machen.

Das Energiekonzept benötigt zu seiner Realisierung ein Transformationskonzept, wie es in Kapitel 2 vorgestellt wurde. Hieraus lassen sich die folgenden Handlungsempfehlungen ableiten:

- Die **Stimulierung von Energieeffizienzmaßnahmen** hat sich bisher als besonders schwierig erwiesen. So liegt beispielsweise die Sanierungsrate beim Gebäudebestand mit unter 1% jährlich bislang weit hinter den politischen Zielen zurück. Die Stimulation von Effizienzmaßnahmen muss daher durch ein Bündel von verschiedenen Maßnahmen verstärkt werden.
- Die Umsetzung des Energiekonzeptes erfordert politische Unterstützung für die Verstetigung der **Markteinführung**, wo sie erfolgreich ist und Ergänzung und Verstärkung, wo die Transformationsgeschwindigkeit bislang unzureichend ist. Technologieführerschaft gelingt vor allem durch eine konsequente und frühzeitige Markteinführung, denn die meisten Innovationsideen entstehen bei der Produktion der Techniken und der Anwendung in der Praxis.
- Die Fortsetzung der **Markteinführung der EE-Stromerzeugung** erfordert die Beibehaltung und kontinuierliche Weiterentwicklung des EEG, Erhalt der Vorrangregelung zur Einspeisung erneuerbaren Energiestroms ins Stromnetz, Bonus für die bedarfsgerechte Energieversorgung (Regenerative Kombikraftwerke), Einführung eines saisonalen Energiespeicherbonus als Anreiz zur Entwicklung von Energiespeichertechnologien und –systemen. Aufgrund des großen Erfolgs des EEG plädiert der FVEE dafür, dass sich die deutsche Bundesregierung für eine europaweite Einführung von EEG-ähnlichen Instrumenten einsetzt.
- Obwohl mehr als 50% des Endenergieverbrauchs **im Bereich Wärme** anfällt und in vielen Wärmenutzungsbereichen Effizienz- und erneuerbare Energien-Technologien vorhanden und vorteilhaft sind, ist die Geschwindigkeit der Transformation in diesem Bereich bislang bei weitem nicht ausreichend. Mit dem Erneuerbare Energien-

## Energiekonzept 2050

Wärmegesetz (EEWärmeG) wurde ein erster Anfang gemacht, der nun konsequent fortgesetzt werden muss.

- Die Transformation des **Transportsektors** ist sehr aufwändig und langwierig, auch weil die erforderlichen Elektrofahrzeuge und Mobilitätssysteme heute noch nicht zur Verfügung stehen. Neben der verstärkten Forschung und Entwicklung im Bereich Biotreibstoffe und Elektromobilität sind weitere Maßnahmen zur Markteinführung unabdingbar.
- Eine Voraussetzung für die Realisierung des Energiekonzepts 2050 ist eine radikale Verbesserung der **Ressourcenproduktivität** von Elementen und Materialien, die in einem Massenmarkt erneuerbarer Energietechnologien eine Rolle spielen, wie zum Beispiel Elemente für Stahllegierungen, Kupfer, Platin und Lithium. Sowohl das sparsamere Nutzen von Materialien als auch die Recyclingprozesse zur Wiederverwendung der Stoffe ist mit Forschung und Entwicklung verbunden, die zu einem Querschnittsthema werden müssen, das zu einem integralen Bestandteil aller Vorhaben gehört.
- Voraussetzung für Effizienzsteigerung und Integration steigender Mengen an fluktuierenden erneuerbaren Energien ist **der Um- und Ausbau unserer Versorgungsnetze**.
- Hohe Anteile fluktuierender Energiequellen erfordern mittel- bis langfristig die Integration von **Kurz-, Mittel- und Langzeitspeichern** in die Strom-, Wärme-/Kälte- und Gasnetze. Auch wenn viele Speichertechnologien erst noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase sind, sollte mit der stufenweisen Integration von vorhandenen Speichertechnologien heute schon begonnen werden.
- Um in der Transformationsphase Kohle- und Kernkraftwerke zu ersetzen sollten **schnell regelbare Gaskraftwerke** bzw. GuD-Anlagen vorzugsweise mit Kraft-Wärme-Kopplung und dezentrale Kleinst-Blockheizkraftwerke (Motoren, Mikroturbinen, Brennstoffzellen) breit eingeführt werden.
- Eine wichtige Voraussetzung für ein tragfähiges Energiesystem 2050 ist die Kompatibilität der nationalen Strategie mit einem gesamteuropäischen Ansatz. Wichtiges Element einer **europäischen Vernetzung** ist ein neues, sehr intelligentes und sehr leistungsfähiges Stromübertragungsnetz, das die bei der lokalen Stromerzeugung entstehenden Schwankungen großflächig ausgleicht. 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).
- Eine erfolgreiche Transformation der Energieversorgung erfordert Fachkräfte, die diese technisch umsetzen. Diese stehen nur zur Verfügung, wenn die **Aus- und Weiterbildung der Fachkräfte** für ein erneuerbares Energieversorgungssystem zielgerichtet ausgebaut wird für alle Einsatzbereiche in Spitzenforschung, Produktentwicklung, Planung, Vertrieb, Installation und Energieberatung sowie den Behörden, die entsprechende Planungsaufgaben haben.

## Energiekonzept 2050

- Die vollständige Transformation des Energieversorgungssystems in wenigen Jahrzehnten erfordert die **Akzeptanz und aktive Teilnahme der Bevölkerung** sowohl als Investor als auch als Verbraucher, Betreiber und als politischer Souverän. Deshalb ist es unerlässlich, das Energiekonzept und das Transformationskonzept ausführlich zu kommunizieren und zu erläutern durch intensive und kontinuierliche Öffentlichkeitsarbeit für alle relevanten Zielgruppen.
- Der FVEE plädiert dafür, die Verteilung der Ausgaben für **Forschung und Entwicklung** auf die verschiedenen Technologien an ihrer langfristigen Bedeutung zu orientieren. Entsprechend der Zielsetzung der Regierungskoalition und dem vorgestellten Energiekonzept ist deshalb bei der Forschungsförderung die Priorität auf die erneuerbaren Energien und Energieeffizienz zu legen. Forschung und Entwicklung ist auch als Maßnahme der Industriepolitik zu begreifen. Denn nur dort, wo deutsche Produzenten im Bereich erneuerbare Energien und Energieeffizienz weltweit technologisch führend sind besteht die Chance, die Produktion von Komponenten des neuen Energieversorgungssystems in Deutschland zu halten.