

Die deutschen Energie- und Klimaziele in Gefahr – lassen sich die Vorgaben im Stromsektor erreichen?

Autoren

Dr. Rudolf Botzian
Dipl.-Ing. Wolfgang Glaunsinger
Dr.-Ing. Martin Kleimaier
Prof. Dr.-Ing. Werner Leonhard
Dipl.-Ing. Martin Pokojski
Dr.-Ing. Ireneusz Pyc
Dipl.-Ing. Thomas Raphael
Dr.-Ing. Jürgen Schwarz
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schröppel
Prof. Dr.-Ing. Dirk Westermann

Impressum

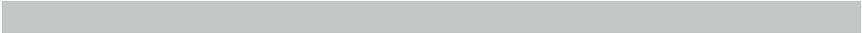
VDE VERBAND DER ELEKTROTECHNIK
ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK e.V.
Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG)
Stresemannallee 15 · 60596 Frankfurt am Main

Fon 069 6308-346 · Fax 069 6308-9822
www.vde.com/etg · E-Mail: etg@vde.com

Titelbild: Siemens

Gestaltung: Michael Kellermann · Graphik-Design · Schwielowsee-Caputh

Oktober 2009



Die deutschen Energie- und Klimaziele in Gefahr – lassen sich die Vorgaben im Stromsektor erreichen?

**ETG Task Force
Stromversorgung und Umwelt**

Inhalt

1	Einleitung	5
2	Klima- und Energiepolitik: Quantitative Ziele im internationalen Vergleich	6
3	Überblick: Integriertes Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung	10
4	CO ₂ -Einsparpotentiale im Bereich der elektrischen Energie – Technologien und Potentiale	12
	4.1 Erneuerbare Energien im Strombereich	12
	4.1.1 Stand der Entwicklung	12
	4.1.2 Ausbau der erneuerbaren Energien für die Stromversorgung	12
	4.1.3 Konsequenzen für die Versorgungsstrukturen	13
	4.2 Fossile Kraftwerkstechnologien	15
	4.2.1 Saubere und CO ₂ -arme Stromerzeugung, Perspektive 2020	15
	4.2.2 Aktueller Stand der Technik, voraussichtliche Entwicklung der Stromerzeugungstechnik bis 2020	16
	4.2.3 Die CO ₂ -freie Energieerzeugung	17
	4.3 Energieeffiziente Produkte in Industrie, Haushalt und Gewerbe	18
	4.3.1 Motoren	18
	4.3.2 Umrichter und Geregelte Antriebe	19
	4.3.3 Beleuchtung	20
	4.3.4 Stand-by	21
	4.4 Wärmeversorgung / Speicherheizungen	22
	4.5 Energiespeicherung im Verkehrssektor	25
	4.6 E-Energy – Intelligente Messung, Energiemanagementsysteme, Datennetze	28
	4.7 Energieforschung	29
5	Bewertung der IEKP-Ziele und -Maßnahmen	32
6	Handlungsbedarf zur Erreichung der IEKP-Ziele	41

1 Einleitung

Die derzeitige Bundesregierung hat auf ihrer Klausurtagung 2007 in Schloss Meseberg Eckpunkte für ein „Integriertes Energie- und Klimaprogramm IEKP“ beschlossen. Es ist das erste Mal, dass eine Bundesregierung einen einheitlichen Ansatz vorlegt, um die Herausforderungen in der Energie- und Klimapolitik ganzheitlich lösen zu können. In ihren Überlegungen orientiert sie sich an den Festlegungen, die die Regierungs- und Staatschefs der 27 EU-Länder am 7.3.2007 in Brüssel zur Energiepolitik vereinbart hatten.

Die Bundesregierung will diese anspruchsvollen EU-Ziele noch übertreffen. Um die von der EU angestrebte 30%-ige Reduktion bei den Treibhausgasen zu erreichen, hat die Bundesregierung einen Katalog von 29 Maßnahmen beschlossen, der geeignet sein soll, auf der Basis der bis 2006 schon erreichten Reduktionen das neue Ziel von minus 40% bis 2020 einzuhalten. Erste Konkretisierungen in Form von Entwürfen für die Änderung von Gesetzen und Verordnungen wurden vom Kabinett 2008 verabschiedet.

Die Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG) hat in der vorliegenden Studie untersucht, ob und wie diese anspruchsvollen Ziele bis 2020 erreicht werden können. Dabei setzt die Untersuchung den Schwerpunkt auf den Bereich der elektrischen Energie, dem Arbeitsgebiet des VDE. Entscheidend für die Erreichung der Klimaziele ist zum einen die Entwicklung des Energieverbrauchs und zum anderen die Anwendung neuer Technologien, die zur Erzeugung der Sekundärenergien (Strom, Wärme) eingesetzt werden können, um Treibhausgasemissionen zu vermindern und die Ressourcen zu schonen.

Beide Stellschrauben setzen eine konsistente, langfristig orientierte Energie- und Klimapolitik voraus, mit klaren Zielen und Vorgaben, aber auch mit Freiraum für neue Systemansätze und Lösungen. Das „Integrierte Energie- und Klimaprogramm“ geht in einem ersten Schritt diesen Weg, die konkrete Ausprägung und die praktische Umsetzung werden über seinen Erfolg entscheiden.

In Kapitel 2 der Studie werden zunächst in einem Blick über die deutschen Grenzen die Aktivitäten und Programme vergleichbarer Länder auf dem Gebiet der Energieversorgung und des Klimaschutzes aufgezeigt. Das Kapitel 3 fasst die Inhalte und die Reduktionsziele der 29 Maßnahmen des IEKP zusammen. Im Abschnitt 4 werden für die Maßnahmen, die den Stromsektor betreffen, Wege und Technologien beschrieben, wie die Ziele des IEKP verwirklicht werden können. Das Kapitel 5 stellt eine Reihe von Stromerzeugungs- und Verbrauchsszenarien vor und nimmt eine Bewertung anhand der Kriterien Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit vor. Schließlich beschreibt das Kapitel 6 den aus Sicht des VDE notwendigen Handlungsbedarf, um das IEKP zu einem Erfolg zu führen.

2 Klima- und Energiepolitik: Quantitative Ziele im internationalen Vergleich

Als Hauptakteure zeichnen die United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), der G8-Gipfel, die Kommission und der Rat der EU und die nationalen Regierungen verantwortlich für die zukunftsgerichtete integrierte Klima- und Energiepolitik. Die Umsetzung der gemeinsamen Zielstellungen ist bis zum Jahr 2050 vorgesehen. Bei der Bewertung der Emissionswerte wird von der Gesamtheit aller Treibhausgase ausgegangen.

Klimarahmenkonvention UNFCCC

Das Kyoto-Protokoll, entstanden unter dem Dach der UNFCCC 1997, trat 2005 in Kraft und definiert Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen mit dem Referenzjahr 1990. Eine Roadmap mit Aktionsplan wurde bei der 13. Vertragsstaaten-Konferenz der UNFCCC auf Bali im Dezember 2007 verabschiedet. Eckpunkte sind:

- ein langfristiges und globales Emissionsminderungsziel
- verifizierbare und vergleichbare Minderungsziele von Industriestaaten
- Minderungsmaßnahmen von Entwicklungsländern
- technische und finanzielle Unterstützung von Entwicklungsländern.

Die Vertragstexte sollen beim Klimagipfel Ende 2009 in Kopenhagen international verbindlich werden. Für die Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs gelten:

- auf niedrigerem Niveau (450 ppm CO₂-Äquivalente und 2 Grad C Anstieg) eine Reduktion um 25% bis 40% bis 2020 und um 80% bis 95% bis 2050
- auf mittlerem Niveau (550 ppm CO₂-Äquivalente und 3 Grad C Anstieg) eine Reduktion um 10% bis 30% bis 2020 und um 40% bis 90% bis 2050.

G8 sowie Erweiterungen G8+5 und G20

Die G8 unter Beteiligung von Frankreich, Deutschland, Italien, Japan, Kanada, Russland, USA und des Vereinigten Königreichs streben „ehrgeizige Ziele“ in der Reduktion von Treibhausgasen an, sie wollen einer Zunahme der Emissionen entgegenwirken. Sie erkennen die Notwendigkeit „tief einschneidender“ Emissionsreduktionen sowie die Bedeutung der wissenschaftlichen Erkenntnisse des IPCC an.

Die G8 strebt das Zustandekommen einer tragfähigen Post-Kyoto-Vereinbarung an. Als quantitative Aussage findet sich allerdings nur die Formulierung des Gipfels 2008. Sie sieht bis 2050 die Reduktion der Emissionen um wenigstens 50% vor. Für einzelne Sektoren könnte eine differenzierte Vorgehensweise nützlich sein.

Die erweiterte Gruppe G8+5, bestehend aus der G8 und Brasilien, China, Indien, Mexiko sowie Südkorea („Outreach-Staaten“), will sich dem Dialog zu Fragen von globaler Bedeutung stellen. Dazu zählt der Klimaschutz im Rahmen des Climate Change Dialogue. Der Abschlussbericht der G8+5 soll bei den UNFCCC-Verhandlungen für eine untereinander abgestimmte Position dienen.

Entgegen den Erwartungen hat sich die Gruppe G20 der wichtigsten Industrie- und Entwicklungsländer beim Gipfeltreffen am 2. April 2009 in London nur auf allgemeine Absichtserklärungen einigen können. Sie zielt auf die bestmögliche Nutzung von Konjunkturprogrammen für den Übergang zu innovativen und klimafreundlichen Technologien und Infrastrukturen.

Major Economies Forum on Energy and Climate

Das Major Economies Forum on Energy and Climate mit Mitgliedern der G8+5, erweitert um Australien, Indonesien und Südafrika sowie Dänemark, trat Ende April 2009 zusammen. Es strebt den offenen Informations- und Meinungs austausch in Fragen der Klima- und Energiepolitik an. Hierzu zählt auch die Sondierung von Kooperationsmöglichkeiten bei klimafreundlichen Energien.

Europäische Union

Die Europäische Kommission präsentierte im Januar 2007 Vorschläge für eine Energiestrategie. Hierzu zählen die Bekämpfung des Klimawandels, die Förderung von Beschäftigung und Wachstum sowie die Verringerung der Importabhängigkeit im Energiebereich. Auf dieser Basis definierte der Europäische Rat der Staats- und Regierungschefs im März 2007 für die EU folgende bis 2020 zu erreichende Zielmarken:

- Reduktion der Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 um 20%
- Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien an der Endenergieerzeugung auf 20% (Verdreifachung des heutigen Werts)
- Verbesserung der Energieeffizienz um 20%.

Vorrangiges Ziel der EU ist die Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf 2 Grad C. Dies entspricht einer CO₂-Minderung um 20% bis 2020. Brüssel will sein CO₂-Minderungsziel bis 2020 auf 30% und bis 2050 auf 60% bis 80% steigern, sofern sich die anderen Industrieländer zu vergleichbaren Maßnahmen verpflichten. Die Umsetzung erfolgt im Rahmen eines „Effort Sharing“ unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit der einzelnen Mitgliedsländer. Kernelement ist hierbei das seit 2005 geltende und nun novellierte EU-Emissionshandelsgesetz EU-Emissionshandelssystem (EHS).

Bis 2012 gilt das System der nationalen Zuteilungspläne, wobei jeder Mitgliedsstaat Verantwortung für die Einhaltung der ihm vorgegebenen Obergrenzen trägt. Ab 2013 gibt es für die EU als Gesamtes nur noch ein einheitliches Emissionsbudget in Verbindung mit einer sukzessiven

Versteigerung der Zertifikate. Mit den Versteigerungserlösen sollen die Investitionen in CO₂-Minderungsmaßnahmen gefördert werden.

Für die nicht vom EU-EHS erfassten Sektoren (Verkehr, Haushalte, Gewerbe, Dienstleistungen und Landwirtschaft) existieren rechtlich verbindliche Minderungsziele. Sie sollen eine Emissionsminderung um 10% gegenüber 2005 ermöglichen.

Das Legislativpaket zur Senkung der CO₂-Emissionen wurde am 17.12.2008 vom Europäischen Parlament verabschiedet und soll bis 2011 Rechtsgültigkeit erlangen. Es umfasst sechs Maßnahmen:

- Richtlinie über erneuerbare Energien
- Richtlinie über die dritte Phase des Emissionshandelssystems
- Entscheidung über die Anstrengungen der Mitgliedstaaten zur Reduktion ihrer Emissionen in den nicht vom EU-EHS erfassten Sektoren
- Richtlinie zur Abtrennung und Geologischen Speicherung von CO₂
- Richtlinie zur Qualität von Kraftstoffen
- Verordnung über CO₂-Emissionen von Kraftwagen

Für den Bereich „Energie und Klimawandel“ entschied die EU am 19./20.3.2009 über weitere Zielstellungen. Besondere Priorität erhält die Verbesserung der Energieversorgungssicherheit. Sie soll erreicht werden über:

- Steigerung der Energieeffizienz
- optimale Nutzung heimischer Ressourcen
- Diversifizierung der Energiequellen und -lieferanten
- Ausbau der Energieinfrastrukturen und -verbundnetze
- Einigung auf einen zügigen weiteren Ausbau des Energie-Binnenmarkts
- bessere Wahrnehmung der Energie-Interessen in den EU-Außenbeziehungen.

Die EU strebt in der internationalen Klimapolitik eine führende Rolle an. Schwerpunkte der EU-Politik sind hierbei:

- die Schaffung eines weltweiten Markts für CO₂-Emissionszertifikate
- die finanzielle Unterstützung der Entwicklungsländer bei der Vermeidung von Treibhausgas-Emissionen und
- eine faire Lastenteilung unter den Industrieländern bei der Finanzierung.

Deutschland

Basierend auf den Vorgaben der EU vom März 2007 und den Ergebnissen von Meseberg verabschiedete die Bundesregierung am 5.12.2007 ein Paket mit Gesetzen und Verordnungen. Die parlamentarische Behandlung soll noch in dieser Legislaturperiode erfolgen. Über ein Monitoring soll die zielgerichtete Umsetzung der Maßnahmen sichergestellt werden.

Berlin will bis 2020 die Treibhausgas-Emissionen um 40% unter den Wert von 1990 senken, sofern die EU ihr Reduktionsziel von 20% auf

30% erhöht. Die Einhaltung der Kabinettsbeschlüsse vom 5.12.2007 für das Integrierte Klima- und Energieprogramm mit einer Reduktion um 36% bis 2020 gelten hierbei als obligatorisch. Auf jeden Fall sollen, wie in Kyoto zugesagt, die Treibhausgase, ausgehend von 1990, bis 2012 um 21% reduziert werden. Ein weiteres Ziel ist die Verdoppelung des Einsatzes erneuerbarer Energien in der Strom- und Wärmeerzeugung bis 2010 (gegenüber heutigen Werten). Für die Stromversorgung gilt hierbei:

- Stromanteil aus Kraft-Wärme-Kopplung von 25% bis 2020 (derzeit 12%)
- Stromanteil erneuerbarer Energien von 25% bis 2020 (derzeit 12%)
- Bessere Integration von Strom aus erneuerbaren Energien in das Netz
- Bereitstellung von EUR 3,3 Mrd. für Klimapolitik im Haushaltsjahr 2008
- jährlich für Kraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung EUR 750 Mio.

Ausblick

Die langfristige Reduktion der Treibhausgase um 50% bis 2050 ist international unstrittig. Mittelfristig bis 2020 gelten jedoch nur in Europa verbindliche Regelungen.

In Bezug auf die Verpflichtung der EU-15, bis 2013 minus 8% zu erreichen, fehlen noch 3,0 Prozentpunkte. Die EU will ihr 20% Reduktionsziel auf 30% aufstocken, wenn eine tragfähige Post-Kyoto-Vereinbarung zustande kommt.

Eine beispielgebende Reduktionspolitik erfordert die Einbindung der USA und Japan. Diese Länder streben aber an, den Bezugszeitpunkt von 1990 auf heute zu verlegen. Unter den fortgeschrittenen Entwicklungsländern stehen China und Indien als größte Emittenten im Fokus. Bei den Schwellenländern dürfte die Festlegung eines neuen Basisjahrs überhaupt, und gar auf 1990, wenig Gegenliebe finden.

Die Reduktionsziele und zugehörigen Zeithorizonte der einzelnen Länder sind in der Langfassung dieser Studie im Detail beschrieben.

3 Überblick: Integriertes Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung

Die Bundesregierung hat auf der Klausurtagung am 23./24.8.2007 in Meseberg Ziele und Maßnahmen für ein ganzheitliches Energie- und Klimaprogramm beschlossen. Die übergeordneten Ziele bis 2020 sehen vor:

1. Steigerung der Energieeffizienz gegenüber dem Trend um 20%
2. Reduktion der CO₂-Emissionen um mind. 20%. Reduziert die EU ihre Emissionen um 30%, verpflichtet sich die Bundesregierung zu einer Senkung um 40%. Bis 2050 sollen die Emissionen in Deutschland um 80% sinken (Bezugsjahr 1990)
3. Anteil der Erneuerbaren Energien an den Primärenergien bei der Stromerzeugung von 25 – 30%, bei Wärme von 14% und bei Kraftstoffen von 17%
4. Steigerung des KWK-Anteils an der Stromproduktion auf 25%

Zur Erreichung der CO₂-Reduktionsziele hat die Bundesregierung 29 Einzelmaßnahmen definiert. Die Tabelle 1 beschreibt diese Maßnahmen im Einzelnen; sie informiert, welche Maßnahmen stromrelevant sind. Diese werden im Rahmen dieser Studie detaillierter betrachtet und umfassen das Arbeitsgebiet der Energietechnischen Gesellschaft im VDE.

Die CO₂-Emissionen betragen im Jahr 1990 rd. 1.004 Mio.t. Laut Umweltbundesamt ist bis 2004 eine Abnahme auf 850 Mio.t. zu verzeichnen, d.h. -15% gegenüber 1990, oder nach vorläufigen Zahlen für 2006 auf ca. 828 Mio.t., d.h. -18%. Für eine Reduktion um 40% sind weitere 25% bzw. 22% erforderlich.

Die Maßnahmen sind in Tabelle 2 nach Anwendungen und Technologien zusammengefasst. Sie beschreiben gleichzeitig die Zielvorstellung der Regierung, wie viel CO₂ sich durch die jeweiligen Maßnahmen einsparen lässt. Die Maßnahmen 24, 25, 27, 28 und 29 sind entweder langfristiger Natur (25, Forschung) und können jetzt noch nicht unmittelbar quantifiziert werden. Sie sind mehr demonstrativer Natur und in den anderen Maßnahmen indirekt enthalten.

Tabelle 1: Übersicht über IEKP
Maßnahmen

Maßnahme	Maßnahmen	In VDE Studie arbeitet	Abschitt
1	Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz	ja	4.1
2	Ausbau der Erneuerbaren Energien im Strombereich	ja	4.2
3	CO2-arme Kraftwerkstechnologien	ja	4.3
4	Intelligente Messverfahren für Stromverbrauch	ja	4.5
5	Saubere Kraftwerkstechnologien	ja	4.3
6	Einführung moderner Energiemanagementsysteme	ja	4.7
7	Förderprogramme für Klimaschutz und Energieeffizienz (außerhalb von G	---	---
8	Energieeffiziente Produkte	ja	4.4
9	Einspeiseregulierung für Biogas in Erdgasnetze	---	---
10	Energieeinsparverordnung / Speicherheizungen	ja	4.5
11	Betriebskosten bei Mietwohnungen	---	---
12	CO2-Gebäudesanierungsprogramm	---	---
13	Energetische Modernisierung der sozialen Infrastruktur	---	---
14	Erneuerbare-Energien Wärmegesetz (EEWärmeG)	ja	4.5
15	Programm zur energetischen Sanierung v. Bundesgebäuden	---	---
16	CO2- Strategie Pkw	---	---
17	Ausbau von Biokraftstoffen	---	---
18	Umstellung der Kfz-Steuer auf CO2-Basis	---	---
19	Verbrauchskennzeichnung für Pkw	---	---
20	Verbesserte Lenkungswirkung der Lkw-Maut	---	---
21	Flugverkehr	---	---
22	Schiffsverkehr	---	---
23	Reduktion der Emission fluorierter Treibhausgase	---	---
24	Beschaffung energieeffizienter Produkte und Dienstleistungen	---	---
25	Energieforschung und Innovation	ja	4.8
26	Elektromobilität	ja	4.6
27	Internationale Projekte für Klimaschutz und Energieeffizienz	---	---
28	Energie- und klimapolitische Berichterstattung der deutschen Botschaften	---	---
29	Transatlantische Klima- und Technologieinitiative	---	---

Tabelle 2: CO₂-Einsparziele der
Bundesregierung bis
2020

Maßnahmen Paket	Maßnahmen	in der Studie bearbeitet	Einspar.in Mio.t.CO2
1. Stromeinsparungen	4,7,8,10,24	ja	40,0
2. Erneuerung fossile Kraftwerke	3,5	ja	30,0
3. Erneuerbarer Energien Stromerzeugung	2	ja	55,0
4. Kraft-Wärme-Kopplung	1	ja	20,0
5. Gebäudesanierung und Heizungsanlagen	10,11,12,13,15	nein	41,0
6. Erneuerbarer Energien Wärmeversorgung	9,14	nein	14,0
7. Verkehr	16,17,18,19,20,21,22,26	nein	30,0
8. Sonstige Treibhausgase (Methan, N2O, F-Gase)		nein	40,0
Summe der Einsparungen aller Massnahmen			270,0
Summe der Einsparungen der stromrelevanten Massnahmen			145,0

4 CO₂-Einsparpotentiale im Bereich der elektrischen Energie – Technologien und Potentiale

4.1 Erneuerbare Energien im Strombereich

Erklärtes Ziel der Politik ist die Förderung des Einsatzes erneuerbarer Energieträger. Die deutsche Regierung strebt deshalb bis 2020 eine Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energieträger an der Stromerzeugung von derzeit 12% auf 25% an. Als langfristiges Ziel bis 2050 gilt 50%. Das Erreichen dieser Ziele erfordert die Ausschöpfung aller Potentiale und die zeitnahe Entwicklung entsprechender Technologien.

4.1.1 Stand der Entwicklung

Bis 1990 konzentrierten sich die Aktivitäten in Deutschland auf die Wasserkraft. Insgesamt betrug die installierte Leistung damals rd. 4.500 MW bei einer Erzeugung von 15.908 GWh. Bis 2007 ist die installierte Leistung auf 4.720 MW gewachsen. Mit Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) in den 90er Jahren kam es zu einer forcierten Nutzung der Erneuerbaren Energien. Insbesondere hat die Windenergie hiervon profitiert. Bei einer installierten Leistung von 22.250 MW betrug die Erzeugung Ende 2007 rd. 40.000 GWh. Der Anteil der übrigen erneuerbaren Energieträger zur Stromversorgung (ohne Müllaufkommen) ist Ende 2007 mit 7.050 MW zu veranschlagen. 3.811 MW entfallen hiervon auf die Photovoltaik, 3.238 MW auf die Biomasse. Insgesamt belief sich die Leistung aller Systeme auf rd. 34.000 MW bei einer Erzeugung von ca. 87.500 GWh.

4.1.2 Ausbau der erneuerbaren Energien für die Stromversorgung

Die politischen Vorgaben erfordern eine nachhaltige Ausweitung der Kapazitäten in Deutschland. Bei einem erwarteten jährlichen Strombedarf von 680 TWh in 2020 ist bei einem Anteil von ca. 25% von 170 TWh Strom aus erneuerbaren Energien auszugehen. Gegenüber 2007 entspricht dies einer Steigerung um 80 TWh. Dies ist nur durch die Ausschöpfung aller Potentiale erreichbar.

Tabelle 3 beschreibt ein Erzeugungsszenario für 2020. Das Erreichen der politischen Ziele setzt hiernach vorrangig die Erschließung des off-shore-Marktes voraus. Der Beitrag der anderen Energien ist beschränkt: Das Potential der Wasserkraft ist fast ausgeschöpft und die geringen Einstrahlungswerte beschränken die Wirkungen der Solartechnik. Die technischen Risiken sprechen weiterhin gegen größere Versorgungsbeiträge der Geothermie in dem Betrachtungszeitraum und die Biomasse-

senutzung kämpft gegen Bedenken eines begrenzten Biomasseaufkommens. Als einzige sichere Option mit großem Potential bleibt damit die Windenergienutzung im offshore-Bereich.

Tabelle 3: Stromerzeugungspotentiale mit erneuerbaren Energien

	installierte Leistung in GW		Auslastung in h	Erzeugung in TWh/a	
	2007	2020		2007	2020
Windenergie					
onshore	22,2	27,8	1800	39,5	50,0
offshore	0,0	9,2	3250	0,0	30,0
Biomasse	3,2	7,7	6500	19,5	49,9
Geothermie	0,0	0,3	7000	0,0	2,2
Wasserkraft	4,7	5,1	5500	27,5	28,2
Photovoltaik	3,8	12,9	800	3,0	10,4
Summe	33,9	63,1		89,5	170,7

4.1.3 Konsequenzen für die Versorgungsstrukturen

Die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien erfordert technologische Entwicklungen. Hierzu zählen im Offshore-Windbereich Gründungs-technologien sowie Lösungen zur elektrischen Anbindung auf See und an Land. Im Bereich der Photovoltaik liegt der Fokus bei der Gebäudeintegration sowie bei Maßnahmen zur Kostensenkung peripherer Systeme. Für die Geothermie sind Verfahren zu entwickeln, mit denen sich die Potentiale sicherer und kostengünstiger erschließen lassen. Benötigt werden auch Finanzierungskonzepte zur Absicherung der mit der Geothermie verbundenen Risiken. Für den Bereich der Biomasse gilt es Technologien zu entwickeln, mit denen sich die Potentiale ausweiten lassen. Insbesondere zählen hierzu Systeme zur Umwandlung von Biomasse in Biogas, um dieses in das Erdgasnetz einspeisen zu können.

Unabhängig hiervon erfordern die erneuerbaren Energien eine Anpassung der Versorgungsstrukturen. Hierzu zählen Konzepte, um den Strom zu den Verbrauchsschwerpunkten zu transportieren und dort zu verteilen. Im Rahmen europaweiter Lösungen ist hierbei die Anbindung der im Süden Europas geplanten solarthermischen Kraftwerke zu berücksichtigen. Zusätzlich erfordert der Umgang mit dem fluktuierenden Energieangebot den Aufbau neuer Speicherkapazitäten oder alternativ die Anbindung an die skandinavischen Wasser-Speicher-Kraftwerke. Im Einzelnen sind folgende Maßnahmen zu betrachten:

Reservestellung: Anlagen mit fluktuierender Erzeugung setzen die Vorhaltung von Reserve voraus. Dies betrifft die direkte Reservestellung als auch die Lieferung von Ausgleichsenergie. Kostengünstige Gasturbinenanlagen, ggf. gekoppelt mit Speichersystemen wären hierzu eine geeignete Antwort. Die Realität zeigt aber, dass in den Planungen große Grundlastblöcke bevorzugt werden. Diese Systeme konkurrieren mit den erneuerbaren Energien nicht nur um Marktanteile, sie stehen auch im Wettbewerb um die verfügbaren Übertragungskapazitäten. Aus

Sicht der Volkswirtschaft kann dies nicht optimal sein. Der zeitnahen Entwicklung eines von Partikularinteressen unabhängigen Energiekonzeptes fällt damit eine große Bedeutung zu.

Speicherung von Energie: Erneuerbare Energien fallen vorrangig dargebotsabhängig an. Zur Entkopplung von Angebot und Nachfrage finden bislang in Deutschland Pumpspeicherkraftwerke Verwendung. Deren Speicherkapazität ist jedoch beschränkt (ca. 40 GWh bei 7 GW); ein Ausbau ist aus topologischen Gründen, verbunden mit mangelnder Akzeptanz, nur begrenzt möglich. Alternative Druckluftspeicherkraftwerke haben mit 50% nur einen begrenzten Wirkungsgrad. Steigerungen auf 70% sind denkbar, setzt aber weitere Entwicklungen voraus. Hierfür werden geeignete Kavernen benötigt, die auch von anderen Anwendungen beansprucht werden (Erdgas- und CO₂-Speicherung). Gleichfalls ist das Speichervolumen insgesamt als begrenzt zu betrachten. Für die Speicherung großer Energiemengen zur Überbrückung längerer Flautezeiten kommen nur große Speicherseen (Saisonspeicher) in Frage. Alternativ könnte auch Wasserstoff interessant werden, gespeichert ebenfalls in Salzkavernen. Eine Steigerung der geringen Systemwirkungsgrade auf Werte über 40% ist aus heutiger Sicht jedoch nicht zu erwarten. Ergänzend ist der Einsatz von Elektro-Fahrzeugen voranzutreiben, die mit ihren mobilen Speichern für kurzfristige Regelaufgaben (maximal im Tagesrhythmus) genutzt werden können.

Netzausbau: Eine langfristig zuverlässige Energieübertragung setzt den Ausbau des Netzes voraus. Dadurch ergeben sich als weiterer Vorteil verringerte Anforderungen an die Energiespeicherung. Für die schnelle Realisierung von neuen Übertragungsleitungen ist die Genehmigungspraxis zu überdenken; zur Vermeidung von Verzögerungen sind in Einzelfällen auch Kabellösungen zu prüfen. Weitergehende Ansätze zum Ausbau des europäischen Übertragungsnetzes sollten auch eine Einbindung der im Süden Europas und Nordafrikas geplanten solarthermischen Stromerzeugungsanlagen berücksichtigen, vorzugsweise in Hochspannungs-Gleichstrom-Technik.

Den Verteilungsnetzen obliegt es, die Leistung dezentraler Systeme abzuführen. Systeme mit lokal hohem Gleichzeitigkeitsfaktor, wie z. B. bei Photovoltaikanlagen, stellen hierbei eine besondere Herausforderung dar. Ein intelligentes Lastmanagement könnte Entlastung schaffen, solange sich bei EEG-Anlagen ein Erzeugungsmanagement nicht realisieren lässt. Nach Auslaufen des EEG könnte auch eine lokale Energiespeicherung in Batteriesystemen von Interesse sein, insbesondere wenn damit Aufgaben im Bereich der Versorgungsqualität übernommen werden können. Ergänzend sollte für den Erzeugungsbereich eine Weiterentwicklung der derzeit fixen Einspeisetarife in Richtung marktorientierter Einspeisevergütungen in Betracht gezogen werden (s. VDE/ETG-Studie „Smart Distribution“).

Lastmanagement: Der Nachfrageoptimierung fällt künftig eine größere Bedeutung zu. Neue Technologien, wie z. B. Smart Meter-basierte Anwendungen, werden eine wichtige Rolle spielen. Dies setzt die Einführung variabler Tarife voraus. Als beispielhaft sind in diesem Zusammenhang Energiemanagementsysteme zu nennen, mit denen eine gezielte Gerätesteuerung privater und gewerblicher Verbraucher möglich wird. E-Fahrzeuge sind als Spezialfall zu werten. Ladevorgänge der Fahrzeugbatterien lassen sich damit gezielt beeinflussen, sodass eine Energiespeicherung in Abhängigkeit von der aktuellen Situation (Windaufkommen, Netzbelastung) möglich ist. Prinzipiell ist auch ein gezieltes Rückspeisen aus der Batterie ins Netz denkbar.

4.2 Fossile Kraftwerkstechnologien

4.2.1 Saubere und CO₂-arme Stromerzeugung, Perspektive 2020

Die Stromerzeugung in Deutschland beruht gegenwärtig zu ca. 60% auf fossil befeuerten Kraftwerken, 30% auf Kernkraftwerken und ca. 10% auf erneuerbaren Energien, wie Wasser, Wind, Biomasse und Solarenergie. Bei der Ausgestaltung der in Meseberg formulierten Ziele einer sauberen und CO₂-armen Stromversorgung Deutschlands spielt neben der Verfügbarkeit von Brennstoffen die Technologieentwicklung eine wichtige Rolle. Durch den Verzicht auf die Kernenergienutzung wird es bei dem erklärten Ziel einer signifikanten Senkung von CO₂-Emissionen entscheidend sein, jeweils modernste Technologien bei fossil befeuerten Kraftwerken einzusetzen und CO₂-Abtrennungs- und Endlagerungstechnologien (CCS) zu entwickeln. Trotz schneller Marktpenetration durch regenerative Energieträger werden in dem Zeithorizont bis 2020 die fossil befeuerten Kraftwerke weiterhin die tragende Säule der Stromerzeugung sowohl in Deutschland, wie auch weltweit bilden müssen. Deswegen sind bei diesen Kraftwerken besondere Anstrengungen notwendig, um die mit ihrer Nutzung verbundenen CO₂-Emissionen weiter zu senken.

Die Rolle der Kernenergienutzung als saubere und CO₂-freie Quelle der Stromerzeugung darf an dieser Stelle nicht verschwiegen werden. Der politisch bedingte Verzicht auf ihre Nutzung stößt angesichts der ehrgeizigen umweltpolitischen Ziele in Deutschland auf immer mehr internationales Unverständnis. Der Weiterbetrieb deutscher Kernkraftwerke kann neben ihrer Rolle als saubere Energiequelle einen positiven volkswirtschaftlichen Beitrag bei der Gestaltung zukünftiger Stromversorgung liefern und bedarf deswegen einer weiteren sorgfältigen Überlegung.

4.2.2 Aktueller Stand der Technik, voraussichtliche Entwicklung der Stromerzeugungstechnik bis 2020

Mit den technischen Fortschritten bei der Nutzung fossiler Brennstoffe wurde erreicht, dass Strom heute sehr viel effizienter erzeugt werden kann. Bei reiner Stromerzeugung ermöglicht der heutige Stand der Technik Wirkungsgrade von ca. 44% bei Braunkohle, 46% bei Steinkohle und 58% bei Erdgas mit GUD-Technik. Für eine weitere Verbesserung der Wirkungsgrade sind die thermodynamischen Prozessparameter Druck und Temperatur die zentralen Stellhebel. Die Höhe dieser beiden Parameter hängt vor allem vom Fortschritt bei der Entwicklung und Anwendung neuer Werkstoffe ab.

Neben der Erhöhung der Dampfparameter tragen Verbesserungen auf der Komponenten- und Prozess-Seite zur weiteren Steigerung der Wirkungsgrade bei. Mit den kombinierten Maßnahmen lassen sich bis zum Jahr 2020 voraussichtlich weitere 5%-Punkte gewinnen und damit Anlagenwirkungsgrade von mehr als 50% realisieren, Bild 1. Bereits heute lässt sich jedoch absehen, dass die Werkstofftechnik an ihre Grenzen stößt und die Weiterentwicklung der Wirkungsgrade ihr Maximum erreicht.

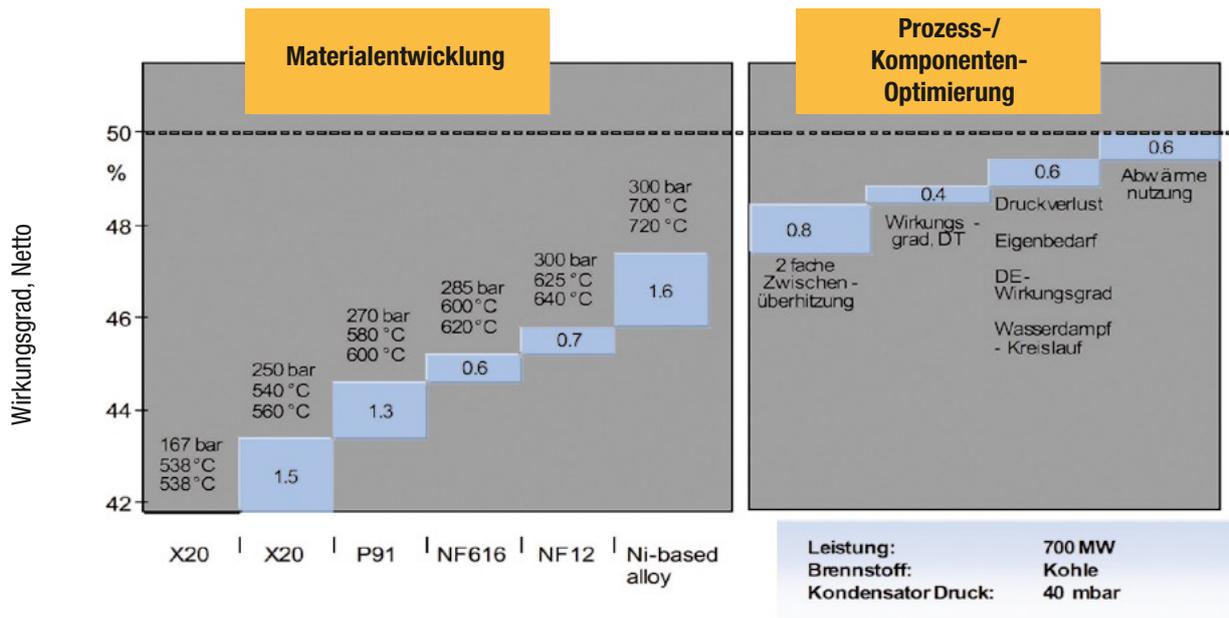


Bild 1: Entwicklungsschritte von Dampfkraftwerken

Die Kombination von Gas- und Dampfprozess in den gasbefeuerten GUD-Kraftwerken ermöglicht gegenwärtig einen Wirkungsgrad von über 58%. Ähnlich der Dampfturbine wird auch in der Gasturbine bevorzugt die weitere Steigerung der Prozesstemperatur verfolgt. Die großen Verbesserungen beim Wirkungsgrad in den letzten Jahren sind auf immer höhere Turbinen-Eintrittstemperaturen zurückzuführen. Neben der Erhöhung der Gasturbinentemperaturen wird gleichzeitig das Ziel verfolgt, die Prozessparameter im Wasser-Dampf-Kreislauf zu erhöhen, wodurch zukünftig Wirkungsgrade bis 62% erwartet werden.

4.2.3 Die CO₂-freie Energieerzeugung

Sofern die Wirkungsgraderhöhung und die Verwendung kohlenstoffärmerer Brennstoffe nicht für die Erreichung der CO₂-Emissionsziele ausreichen, sowie regenerative Energieträger und Kernenergie nicht die Rolle fossiler Energieträger übernehmen können, muss die CO₂-Abtrennung aus dem Kraftwerksprozess (CCS) in Betracht gezogen werden. Drei Varianten zeichnen sich gegenwärtig ab:

- Dekarbonisierung des Brennstoffs vor der Verbrennung („pre-combustion“) bei IGCC-Anlagen
- Verbrennung mit reinem Sauerstoff bei s.g. „Oxyfuel“- Verfahren in Dampfkraftwerken
- Abtrennung von CO₂ aus dem Rauchgas mithilfe chemischer CO₂-Wäsche („post-combustion“), insbesondere für die Nachrüstung existierender Anlagen.

Alle Verfahren mit aktiver CO₂-Abscheidung verbrauchen einen Teil des Primärenergie-Einsatzes, vermindern die Kraftwerksleistung und schlagen sich in einem bis zu 10% niedrigerem Wirkungsgrad der Kraftwerke nieder. Deshalb ist es erforderlich, beide Entwicklungspfade, den der Wirkungsgradsteigerung und aktiven CO₂-Abtrennung aus dem Kraftwerksprozess, konsequent gleichzeitig zu verfolgen.

Neben den Fragen der technischen Machbarkeit zeichnen sich jedoch eine Reihe von Risiken ab. Zusätzlich zu der noch unbekanntem Betriebszuverlässigkeit dieser neuen Kraftwerkstechnologien könnten Herausforderungen beim Transport des CO₂, z. B. in flüssiger Form, und seiner Endlagerung entstehen. Die vorhandenen Ansätze für Lagerorte müssen noch die Nachweise für einen sicheren und dauerhaften Abschluss zur Atmosphäre erbringen. Der finanzielle Aufwand für die zusätzlichen Anlagenkomponenten ist noch recht unsicher, es wird jedoch ein Aufschlag bei den spezifischen Kosten von bis zu 90% veranschlagt. Die Einbußen bei der Leistungsfähigkeit der Anlagen weisen auf eine andere Problematik der CO₂-Minderung hin, nämlich das schnellere Ausbeuten der verbliebenen fossilen Energiereserven. Angesichts der Dimension der oben angesprochenen Herausforderungen bei der Entwicklung von neuen, zum Teil sehr komplexen Technologien und des engen, politisch gesteckten Zeitrahmens müssen die Aktivitäten der Unternehmen über die nationalen Grenzen hinaus koordiniert und gezielt gefördert werden. Das gemeinsame Ziel der Industrie und staatlicher Programme muss es sein, Forschungsförderung zu stärken und eine effiziente Allokation der zur Verfügung stehenden Mittel zu harmonisieren.

Verbindliche Schritte für die Entwicklung und Optimierung von Gesamtanlagen-Konzepten, ihren Schlüsselkomponenten, von Werkstoffen, Fertigungsprozessen und nicht zuletzt von gesellschaftlich akzeptierten, gesicherten und dauerhaften CO₂-Lagerungskonzepten sollen festgelegt werden. Die Entwicklungs-, Finanzierungs- und Betriebsrisiken sollen über geeignete Modelle und auf faire Weise verteilt werden. Der

Plan zum Bau von 12 CCS-Demonstrationsprojekten in Europa bis zum Jahr 2015 soll verwirklicht werden. Erst dann kann das Ziel gelingen, im Jahr 2020 CO₂-emissionsarme Kraftwerke marktreif zu entwickeln, sowie die Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen und die Auswirkungen auf Umwelt über das Jahr 2020 hinaus weitgehend zu entkoppeln.

4.3 Energieeffiziente Produkte in Industrie, Haushalt und Gewerbe

Um den Stromverbrauch und damit die CO₂-Emissionen zu senken können zwei Ansätze verfolgt werden: die reine Einsparung durch Verzicht und die Verbesserung der Effizienz. Die erste Maßnahme ist zwar trivial und würde unmittelbar und ohne Kosten zu Ergebnissen führen; sie ist aber realistischerweise nur sehr schwer in der Praxis umsetzbar. Zur Verbesserung der Effizienz können schon heute verfügbare Technologien in Produkten, Systemen und Anlagen eingesetzt werden und zu einer wesentlichen Reduktion des Stromverbrauchs und somit der CO₂-Emissionen führen. Es sei an dieser Stelle allerdings darauf hingewiesen, dass diese Maßnahmen zwar spezifisch zu einer Senkung des Stromverbrauchs führen, dass allerdings der heute gegenläufige Trend zu immer mehr Geräten und Systemen wiederum eine Steigerung des Stromverbrauchs insgesamt zur Folge hat. Als Beispiel sei die Anzahl der Computer pro Haushalt genannt¹. Bei fast allen Untersuchungen wird dieser Trend nicht berücksichtigt. Gerade die Stromanwendungen werden auch in Zukunft weiter steigen und andere Technologien verdrängen. Hier sei stellvertretend auf Elektrofahrzeuge mit Batterieladung aus dem Netz verwiesen.

4.3.1 Motoren

Motoren verbrauchen etwa die Hälfte der insgesamt erzeugten elektrischen Energie. Ihnen kommt daher eine Schlüsselrolle bei der Einsparung elektrischer Energie zu. Der Verbrauchsschwerpunkt und damit das größte Potential zur Energieeinsparung liegt dabei bei Drehstrommotoren im Leistungsbereich von 1,1 bis 37 kW, da sie typischerweise auf beträchtliche Betriebszeiten pro Jahr kommen.

Drehstrommotoren werden ganz überwiegend als dreiphasige Asynchronmaschinen mit Käfigläufern gebaut. Aufgrund der hohen Verbreitung und der hohen Stückzahlen stehen Kostenaspekte stark im Vordergrund. Anwendungsbereiche sind Pumpen, Kompressoren, Lüfter und alle Arten der Fördertechnik (horizontal wie vertikal). Viele dieser Antriebe erreichen hohe Betriebsstundenzahlen bei hoher spezifischer Auslastung.

¹ VDE|ETG-Studie 2008: Effizienz- und Einsparpotentiale elektrischer Energie in Deutschland – Perspektiven bis 2025 und Handlungsbedarf

Je nach Leistungsbereich sind Wirkungsgrade von rund 70% bis zu rund 95% marktüblich. Der Wirkungsgrad wird international eingeteilt in die drei Klassen Standard (IE1), Hoch (IE2) und Premium (IE3), wobei die Premium-Klasse in Europa gerade erst in der Markteinführung ist. Über 90% der heute verkauften Antriebe entsprechen dem Wirkungsgrad der Standardklasse (IE1).

Die Herstellkosten steigen pro Wirkungsgradklasse um etwa 10 bis 20% an. Die Erfahrungen in Europa und in anderen Ländern (USA, Kanada, Australien) haben deutlich gezeigt, dass eine wesentliche Marktverschiebung in diesem Sinne nur durch politische Unterstützung (finanzielle Anreize oder gesetzliche Vorgaben) zu erreichen ist.

Für eine weitere Effizienzsteigerung – über die Premium-Klasse hinaus – sind andere, besser geeignete Technologien gut bekannt und in kleinen Stückzahlen bereits in den Markt eingeführt. Dies sind üblicherweise permanenterregte Maschinen mit Frequenzumrichter. Die Einführung einer Super-Premium-Motorenklasse für Antriebe im Leistungsbereich zwischen rund 0,1 und rund 10 kW wäre also ökonomisch und technisch durchaus sinnvoll und realisierbar. Eine wesentliche Marktverschiebung ist aber nur bei klarer politischer Unterstützung zu erwarten. Kleinantriebe (< 0,5 kW) werden oft mit kurzen Einschaltdauern betrieben, weshalb sie für den Energiebedarf in der Regel nur eine untergeordnete Rolle spielen. Der Wirkungsgradbereich von Kleinmotoren reicht von 5% bei Spaltpolmotoren für Warmwasserumwälzung über 40 bis 75% bei Einphasen-Induktions- und Universalmotoren bis hin zu 70 bis 85% bei permanenterregten Gleichstrommotoren oder EC-Motoren. Dabei werden für viele Anwendungen nach wie vor Motoren mit schlechtem Wirkungsgrad aufgrund ihrer geringeren Anschaffungskosten eingesetzt, obwohl hochwertigere Motoren sowohl verfügbar als auch – wie z. B. in der Heizungs- und Klimatechnik – wirtschaftlich sind. Großantriebe (typisch über 500 kW) werden nicht in Serie hergestellt, sondern individuell zwischen Kunden und Lieferanten verhandelt. Motoren dieser Leistungsklasse haben im Allgemeinen einen Wirkungsgrad zwischen 95% und 98,2%, was kaum Raum für weitere Verbesserungen lässt. Daher sind im Bereich der Großantriebe wesentliche zusätzliche Impulse zur Energieeinsparung in der Zukunft nicht zu erwarten.

4.3.2 Umrichter und Geregelte Antriebe

Der Übergang vom drehzahlfesten Antrieb ohne Umrichter zum drehzahlvariablen Antrieb mit Umrichter stellt in vielen Fällen einen entscheidenden Beitrag zur Energieeinsparung dar. Der Umrichter mit seiner Regelung wird dort zur Schlüsselkomponente und ermöglicht darüber hinaus neuartige, verlustarme Motorkonzepte.

Bisher wird bei der Anlagenplanung jedoch viel zu selten eine einheitliche energetische Analyse des Gesamtsystems bestehend aus

Antriebsmotor, Stellgliedern, Mechanikkomponenten (Getrieben) und Arbeitsmaschinen/Prozessen durchgeführt.

Durch den Einsatz von Umrichtern im Vergleich zum drehzahlfesten Antrieb lassen sich bis zu 40% der eingesetzten Energie einsparen. Laut ZVEI könnten 5,5 TWh durch Energiesparmotoren und 22 TWh durch Frequenzumrichter als Energiesparpotential realisiert werden, wobei heute nur etwa 12% der in Deutschland installierten Motorleistung drehzahl geregelt ausgeführt ist, dies aber für rund die Hälfte aus energetischer Sicht sinnvoll wäre.

Auch im Haushaltsbereich ließen sich durch den Einsatz von permanenterregten Motoren ca. 8,2 TWh/a einsparen.

Bei Netzteilen im Elektronikbereich kann durch den Einsatz von FET-Schalttransistoren der Wirkungsgrad noch um bis zu 15% verbessert werden.

4.3.3 Beleuchtung

Der Anteil der Beleuchtung am Gesamtstromverbrauch in Deutschland lag in 2005 bei 9,8%, d.h. bei nahezu 50 TWh. Davon entfielen auf den Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung über 50%, jeweils knapp 25% wurden in den Sektoren Industrie und Haushalt verbraucht.

Ansatzpunkte zur Steigerung der Effizienz sind u.a. auf folgenden Feldern zu erwarten:

- Wahl der Leuchtmittel
- Optimierung und Innovation bei den Vorschaltgeräten
- Bessere Nutzung des Tageslichtes
- Anpassung der Beleuchtungsstärke an den wirklichen Lichtbedarf

Die Auswahl des geeigneten Leuchtmittels stellt ein erhebliches Einsparpotential dar. Während eine Glühlampe eine spezifische Beleuchtungseffizienz von etwa 10 lm/W aufweist, kommt eine Kompaktleuchtstofflampe auf 50 lm/W, bei wesentlich verbesserter Lebensdauer.

Natrium-Hochdruck-Dampflampen erreichen bis zu 150 lm/W. Mit dem Einsatz von Leistungselektronik in den Vorschaltgeräten können Funktionseigenschaften und Effizienz gezielt verbessert werden.

Ein weiterer Technologiesprung in der Wahl der Leuchtmittel erfolgt durch den Einsatz von halbleiterbasierten Lampen, den sogenannten LED (light emitting diode – bis zu 100 lm/W) die in den OLED (organic light emitting diode) eine weitere Verbesserung in Lichtausbeute und Lebensdauer erfahren werden.

In Summe bestehen im Bereich der Beleuchtung noch sehr große Einsparpotentiale. Der ZVEI schätzt, dass 75% der heutigen Beleuchtungssysteme ineffizient sind. In einer Studie für die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages errechnet das ISI ein technisches Einsparpotential von 78% und ein wirtschaftliches Einsparpotential von 56%. Die Einsparpotentiale sollen beispielhaft anhand einer technologischen Roadmap der Firma Osram im Bild 2 aufgezeigt werden.

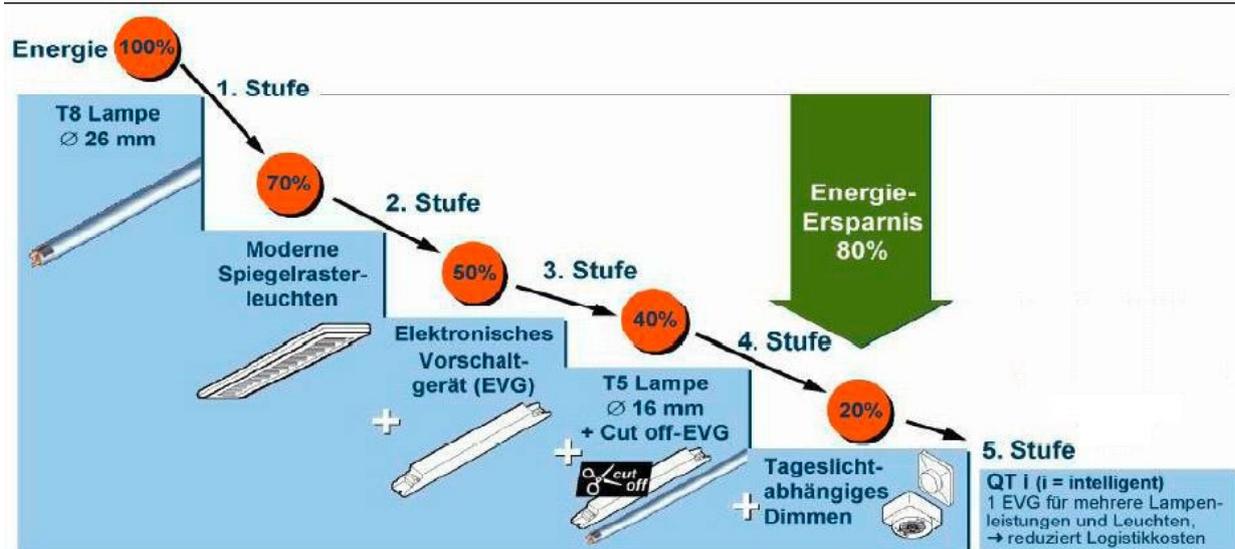


Bild 2: Energieeinsparpotentiale eines Beleuchtungssystems

4.3.4 Stand-by

Viele elektronische Geräte besitzen einen Bereitschaftsmodus, den sogenannten Stand-by-Betrieb, aus dem sie in kurzer Zeit in den produktiven Zustand wechseln können.

Im Stand-by-Betrieb wird zur Aufrechterhaltung der minimalen Funktionen elektrische Energie benötigt, üblicherweise verbunden mit Betriebszeiten von typisch ca. 20 Stunden pro Tag. Über die gesamte Laufzeit eines Gerätes gesehen ist der Stromverbrauch im Stand-by-Betrieb oft sogar höher als der im produktiven Betrieb.

Zur Energieeinsparung bieten sich folgende Maßnahmen an:

- Geräte vom Netz trennen, z. B. durch schaltbare Steckdosenleisten.
- Verringerung der Stromaufnahme im Stand-by-Modus.

Die erreichbaren Einsparungen sind insbesondere im ersten Fall vom Anwenderverhalten abhängig. Größere Erfolge ließen sich erreichen, wenn hier Erleichterungen bei der Handhabung vorgesehen würden. Heute muss mit einem Stand-by-Verbrauch von bis zu 100 Watt pro Haushalt gerechnet werden. Durch den Einsatz verbrauchsarmer Geräte und energiesparendem Verhalten könnte dieser bis auf unter 20 Watt gesenkt werden, sodass sich ein jährliches Einsparpotential von ca. 5 – 10 TWh ergeben würde, entsprechend 1 – 2% des gesamten Stromverbrauchs in Deutschland.

In Handel und Gewerbe ist die Situation ähnlich wie in den Haushalten. Die Betriebsdauer einzelner Geräte ist aber deutlich höher, was bei Geräten ohne Ausschalter zu verringerten Stand-by-Zeiten führt.

4.4 Wärmeversorgung / Speicherheizungen

Politische Zielstellungen: Die IEKP-Zielsetzungen sehen vor, den Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung an der Stromerzeugung auf ca. 25% bis 2020 zu steigern, den Anteil der erneuerbaren Energien am Wärmebedarf auf 14%. Die Umsetzung dieser Ziele erfordert Maßnahmen in allen Bereichen des Wärmemarktes. Neben technischen Verbesserungen werden in vielen Fällen im Bereich der Erzeugung neue Technologien benötigt, die einen flexiblen Einsatz unterschiedlichster Energieträger erlauben. Der effizienten und kostengünstigen Wärmeverteilung kommt dabei eine wesentliche Bedeutung zu.

Ist-Zustand: Obwohl die Wärmeversorgung durch einen kontinuierlichen Ausbau der Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplungssystemen (KWK) gekennzeichnet ist, ist die Netzeinspeisung von KWK-Wärme bis heute nicht nennenswert gewachsen (Tabelle 4, Zeile 3), da gleichzeitig die Bemühungen zur Energieeinsparung forciert wurden und der Rückbau der Versorgungssysteme als Folge des Stadtumbaus Ost zugenommen hat.

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007 ⁴⁾	2020 ⁴⁾	
1	Wärmeabsatz Deutschland inkl. Prozesswärme	GWh	1.462.205	1.536.447	1.487.897	1.523.391	1.510.000	1.505.759	1.448.466	1.366.636	1.200.812
2	KWK-Wärme-/Stromerzeugung										
3	KWK -Wärmenetzeinspeisung	GWh	121.079	122.252	120.790	123.696	120.317	121.862	128.295	114.977	237.575
4	KWK-Wärmeanteil am Wärmemarkt	%	8,3%	8,0%	8,1%	8,1%	8,0%	8,1%	8,9%	8,4%	19,8%
5	KWK Stromerzeugung	GWh	59.987	60.194	57.992	60.311	58.467	61.604	63.284	58.124	178.864
6	KWK Stromerzeugung an der Strombeschaffung	%	10,3%	10,3%	9,7%	10,0%	9,7%	10,1%	10,3%	9,3%	24,8%
7	Energieeinsparung durch KWK gegenüber getrennter Erzeugung	%	20,1%	20,4%	20,9%	20,8%	20,9%	20,2%	20,9%	20,9%	34,3%
	CO₂-Einsparung durch KWK										
8	CO ₂ -Einsparung durch KWK m. Kernenergie ²⁾	t CO ₂	8.747.128	8.977.614	9.938.155	9.823.451	9.601.662	10.427.336	11.232.174	11.456.292	67.108.821
9	CO ₂ -Einsparung (Stilllegung Kernenergie - Ersatz durch Steinkohle)	t CO ₂	24.954.984	25.241.399	24.090.645	25.067.532	24.379.658	24.387.451	25.572.995	22.601.447	99.690.760
10	CO ₂ -Minderung m. Kernenergie	%	13%	13%	15%	15%	15%	15%	16%	17%	40%
11	CO ₂ -Minderung o. Kernenergie (Ersatz d. Steinkohle)	%	30%	30%	30%	30%	30%	29%	30%	29%	50%
	Wärme aus erneuerbaren Energien										
12	Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien ¹⁾	GWh	57.026	58.385	58.028	70.076	73.990	81.311	84.011	90.198	168.114
13	Anteil REG Wärme am Wärmemarkt	%	3,9%	3,8%	3,9%	4,6%	4,9%	5,4%	5,8%	6,6%	14,0%
14	CO ₂ -Einsparung gegenüber Erdgas und Öl	t CO ₂	11.085.854	11.350.044	11.280.643	13.622.774	14.383.656	15.806.858	16.331.738	17.534.491	32.681.306
15	CO ₂ -Einsparung gegenüber Erdgas und Öl	%	74,8%	74,8%	74,8%	74,8%	74,8%	74,8%	74,8%	74,8%	74,8%
	Wärme KWK und erneuerbare Energien gesamt										
16	Summe Wärme KWK und Wärme REG	GWh	178.105	180.637	178.818	193.772	194.307	203.173	212.306	205.175	405.689
17	Anteil an der Wärmeversorgung gesamt	%	12,2%	11,8%	12,0%	12,7%	12,9%	13,5%	14,7%	15,0%	33,8%
18	Energieeinsparung	%	7,8%	7,5%	7,8%	8,6%	8,9%	9,4%	10,3%	11,1%	32,3%
19	CO ₂ -Einsparung m. Kernenergie ⁴⁾	%	5,0%	4,8%	5,2%	5,6%	5,8%	6,4%	7,0%	7,8%	30,4%
20	CO ₂ -Einsparung (Stilllegung Kernenergie - Ersatz durch Steinkohle) ⁴⁾	%	9,1%	8,8%	8,8%	9,4%	9,5%	9,9%	10,7%	10,9%	40,7%

Quelle:

1) Quelle BMU: Erneuerbare Energien in Zahlen Juni 2008

2) AGFW-Branchenreport 2007: KWK-Erzeugung: Anteil Erdgas 44 %, Anteil Kohle 34 %, Anteil Sonstige 22 %

3) Zahlen KWK für 2007 geschätzt

4) Bewertet mit Mix aus Erdgas und Heizöl

5) UBA, Climate Change, Juli 2007

6) Eigene Berechnungen

Tabelle 4: Wärmebereitstellung aus KWK und erneuerbaren Energien

Wie die Tabelle weiterhin zeigt, lag der Marktanteil der KWK-Wärme bezogen auf den gesamten Wärmeabsatz inklusive Prozesswärme im Jahre 2007 bei 8,4%, was bei der Strombeschaffung einem Marktanteil von etwas mehr als 9,3% entspricht.

Entwicklung von Bedarf, Erzeugung und Verteilung

Über Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebereich soll der Wärmebedarf sukzessive soweit reduziert werden, dass der energetische Zustand

einem Niedrigenergiehaus (spez. Wärmebedarf von ca. 50 kWh/m²/a) sehr nahe kommt. Effizienzsteigerungen sollen nach Möglichkeit nicht zu Mehrbelastungen für den Verbraucher führen. Der Energieausweis stellt ein wichtiges Mittel zur Umsetzung dieser Ziele dar.

Generell sollte für die Bereitstellung von Wärme gelten, dass diejenigen Systeme bevorzugt zum Einsatz kommen, mit denen sich erneuerbare Energien nutzen lassen oder die Energieausnutzung des Brennstoffes deutlich steigern lässt. Im Fokus steht hierbei auch der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung. Wie im Rahmen der ETG-Studie „Dezentrale Energieversorgung 2020“ gezeigt wurde, kann unter Effizienzgesichtspunkten eine dezentrale Wärmeversorgung gegenüber der leitungsgebundenen Versorgung (Nah- und Fernwärme) vorteilhaft sein. Generell ist hierbei festzustellen, dass eine Politik, die mögliche Effizienzverbesserungen auf der Nachfrageseite vernachlässigt, um die Wirtschaftlichkeit der KWK-Erzeugungssysteme zu sichern, einem zukunftsgerichteten Anspruch nicht gerecht wird. Ergänzend ist bei Niedrigenergiehäusern auch die Elektroheizung in Betracht zu ziehen.

Der große Vorteil einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung liegt in dem Umstand, dass Wärme aus unterschiedlichen Quellen genutzt werden kann, sofern das Temperaturniveau dies zulässt. Für Wärmeverteilungssysteme gilt heute, dass in der Regel nur noch Wassersysteme mit niedrigen Temperaturen, insbesondere geringen Rücklauftemperaturen zum Einsatz kommen. Dies bietet zudem den Vorteil, dass sich Potentiale solarer und geothermischer Vorkommen oder von Abwärme besser nutzen oder neuere erschließen lassen.

Für die technologische Ausführung sind aus wirtschaftlichen Gründen Zweileiternetze zu bevorzugen. Mehrleitersysteme, z. B. Vierleiternetze, sind nur dann zu empfehlen, wenn sie dem ergänzenden Aufbau einer Solarversorgung (Solarthermie) dienen. Die Zielstellung geringster Rohrlängen und damit niedrigste Rohrleitungsverluste lässt sich über den Aufbau von Strahlennetzen erreichen. Ringnetze weisen zwar eine höhere Verfügbarkeit auf, sind aber mit höheren Investitionen verbunden und führen wegen ihrer größeren Längen auch zu höheren energetischen Verlusten. Zur Vermeidung von Überkapazitäten empfiehlt sich ein modularer Aufbau, um ggf. einen bedarfsorientierten Aus- aber auch Rückbau zu ermöglichen.

Energieeinsparverordnung / Speicherheizungen

Annähernd 75% des Primärenergiebedarfs werden heute noch im Bereich Haushalt für Raumwärme und die Brauchwassererwärmung benötigt. Deshalb kommt der energetischen Gebäudesanierung und einer nachhaltigen Effizienzverbesserung oberste Priorität zu. Im Neubaubereich bieten sich heute insbesondere elektrisch betriebene Wärmepumpen an, wodurch sich der Energienutzungsgrad des eingesetzten Stroms in etwa um den Faktor 4 verbessern lässt. Solarthermische Systeme kommen neben der Brauchwassererwärmung immer

mehr auch für die Heizungsunterstützung in Frage und können damit elektrisch betriebene Wärmepumpenanlagen sinnvoll ergänzen. Im IEKP von 2007 wird die Forderung zur „stufenweisen Außerbetriebnahme von Nachtstromspeicherheizungen zur Erzeugung von Raumwärme“ erhoben und inzwischen durch Vorlagen zur Änderung des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG) und der Energieeinsparverordnung (EnEV) konkretisiert. Es ist zu vermuten, dass als Begründung ganz einseitig auf den in der Vergangenheit zugegebenermaßen niedrigen Wirkungsgrad in der Kette vom Einsatz der fossilen Primärenergieträger im Kraftwerk bis zur Wärmeerzeugung im Haushalt abgehoben wird. Bei der Stromerzeugung ist jedoch ein deutlicher Wandel – hin zu höheren Kraftwerkswirkungsgraden, insbesondere aber auch hin zu einem höheren Anteil erneuerbarer Energieträger – zu verzeichnen.

Außer bei der Wärmeerzeugung mit Strom gibt es keine Heizungsart, die am Ort ihrer Anwendung die benötigte Wärme frei von allen Umweltbelastungen bereitstellt und dies bei 100 prozentiger Umsetzung der eingesetzten Elektroenergie (mit Wärmepumpen ist sogar ein Vielfaches davon möglich). Alle anderen Heizungen, die mit Holz, Kohle, Öl oder Gas befeuert werden, setzen bei verschiedenen Wirkungsgraden lokal sehr unterschiedliche Mengen von CO₂, Feinstaub und anderen Verbrennungsprodukten frei. Dies dürfte künftig insbesondere in verdichteten Wohngebieten problematisch sein. Die in der Grundlast eingesetzten Kraftwerke auf Basis von Braun- oder Steinkohle – sowie der Kernenergie – befinden sich überwiegend abseits von Ballungsgebieten und unterliegen strengen Umweltauflagen bezüglich ihrer Emissionen. Weiterhin ist zu bedenken, dass manche Primärenergieträger wie z. B. Wasser und Wind nur durch elektrischen Strom zum Bedarfsort gebracht werden können.

Mit wachsendem Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung nimmt das ständig schwankende und immer größer werdende Ungleichgewicht zwischen Erzeugung und Last zu. Zum Ausgleich und zur Stabilisierung des Netzbetriebes werden schnelle Verfahren zum Erzeugungs- und Lastmanagement benötigt. In Verbindung mit intelligenten Steuerungen (smart metering, smart grid) können elektrische Speicherheizungen – aber auch Brauchwasserspeicher und Klimaanlage – in Schwachlastzeiten und/oder Starkwindzeiten mit Überschuss-Windenergie aufgeladen werden. Die derzeit in Deutschland vorhandenen rd. 2 Mio. Elektrospeicherheizungen stellen eine Last von etwa 30.000 MW dar; sie sollten nicht mit Fördermitteln „abgewrackt“ werden, sondern in Verbindung mit noch zu entwickelnden Tarifen als „Windspeicherheizung“ eine neue Verwendung finden.

4.5 Energiespeicherung im Verkehrssektor

Mittelfristig müssen Lösungen zur mobilen Energiespeicherung gefunden werden, die auch im Verkehrssektor die Nutzung erneuerbarer Energieträger ermöglichen. Neben den Biokraftstoffen, die nur eine begrenzte und umstrittene Verfügbarkeit haben und insbesondere in vielen anderen Anwendungen bereits eingeplant sind, bieten sich insbesondere Lösungen an, die auf Strom basieren – gewonnen aus den erneuerbaren Energien Wind und Sonne. Bezogen auf den Flächenbedarf ist hier eine gegenüber Biokraftstoffen um mehr als eine Größenordnung bessere Energieausbeute möglich, wobei ein hoch effizienter elektrischer Antrieb im Fahrzeug gegenüber einem Verbrennungsmotor einen zusätzlichen Beitrag leistet.

Reine Elektrofahrzeuge mit Batterien werden aufgrund der begrenzten Reichweite insbesondere als Zweitfahrzeug im Stadtverkehr in Frage kommen. Als universelle und schnell umsetzbare Lösungen bieten sich jedoch sogenannte Plug-in Hybridfahrzeuge – also mit Netzanschlussmöglichkeit – an. Einen Vergleich der verschiedenen Konzepte zeigt Bild 3.

Bild 3: Vergleich des Batteriebedarfs für verschiedene Konzepte²



Hybridfahrzeug (HEV)
Speicher ca. 1 kWh, Ladung nur während Fahrt, Treibstoffeinsparung max. 20%



Plug-in Hybrid (PHEV)
Speicher 5 – 10 kWh, Ladung aus dem Netz, 30 – 70 km Reichweite ohne Treibstoff, volle Reichweite, volle Leistungsfähigkeit



Elektrofahrzeug (EV)
Speicher 15 – 40 kWh, Ladung aus dem Netz, 100 – 300 km Reichweite ohne Treibstoff

Bei einem Plug-in-Hybrid kann trotz begrenzter Reichweite der Batterie innerstädtisch rein elektrisch gefahren werden. Auf längeren Strecken kann auf einen konventionellen Antrieb mit der flächendeckenden Versorgung von Benzin, Diesel, Erdgas oder aber auch Biokraftstoffe zurückgegriffen werden.

Um den Anforderungen im Stadtverkehr gerecht zu werden, geht man heute davon aus, dass die Reichweite mit einer Batterieladung nicht mehr als etwa 50 km betragen müsste. Hierfür ist ein Energieinhalt von etwa 7 bis 8 kWh ausreichend. Für eine Nachladung – verteilt über den Tag, z. B. während der Arbeitszeit oder in den Nachtstunden – besteht genügend Zeit, sodass eine Ladeleistung von 3 kW ausreichend wäre. Dies ist weniger als die Anschlussleistung eines Elektroherdes und gilt

² VDE | ETG-Studie: Energiespeicher in Stromversorgungssystemen mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger – Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf

deshalb auch bei relativ hoher Marktdurchdringung als netzverträglich, sofern dann eine hohe Gleichzeitigkeit durch intelligentes Lademanagement vermieden werden kann. Damit kann die Batterie in weniger als 3 Stunden an einem normalen Hausanschluss voll aufgeladen werden. Dadurch kann gewährleistet werden, dass bereits bei der Markteinführung eine flächendeckende Infrastruktur für die Ladung der Batterie vorhanden ist. Als Technologie hierfür wird derzeit die Lithium-Ionen-Batterie favorisiert, da sie aufgrund der hohen Energiedichte für den mobilen Einsatz prädestiniert ist.

Durch geschicktes Lastmanagement können die Freigabezeiten für die Batterieladung einerseits an das jeweilige Dargebot der erneuerbaren Energieträger angepasst werden; andererseits kann dadurch bei sehr hoher Marktdurchdringung eine lokale Netzüberlastung vermieden werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, diese Speicher auch für Netzregelaufgaben (Primär- oder Sekundärregelung) oder aber auch für die Bereitstellung von Minutenreserve einzusetzen. Durch eine größere Flotte derartiger Fahrzeuge, zusammengefasst zu „virtuellen Großspeichern“, könnte sich längerfristig der Bedarf für den zusätzlichen Ausbau zentraler Großspeicher auf Verbundnetzebene für den genannten Einsatzbereich (bis zu wenigen Stunden) zumindest teilweise erübrigen. Nicht zuletzt aus diesem Grund zeigen die Energieversorgungsunternehmen und Netzbetreiber ein großes Interesse an dieser Thematik. Es ist daher davon auszugehen, dass unter diesen Randbedingungen ein günstigerer Stromtarif angeboten werden wird. Bereits bei heutigen Stromtarifen sind die spezifischen Energiekosten für ein Elektrofahrzeug deutlich günstiger als bei einer Versorgung mit fossilen Kraftstoffen, selbst bei einer Betrachtung ohne Steuern und Abgaben. Es wird angestrebt, dass in Deutschland bis 2020 mindestens 1 Mio. PKW als Plug-in Hybrid oder vollelektrisch fahren.

Eine weitere Möglichkeit zur Nutzung erneuerbarer Energien im Verkehrssektor bzw. zur Entkopplung von Dargebot und Nachfrage im Stromsektor ist der Einsatz von Wasserstoff. Die Diskussionen um CO₂-Reduktion und Verfügbarkeit von fossilen Energien haben dazu geführt, dass die Automobilindustrie ihre Anstrengungen beschleunigt hat, Wasserstofffahrzeuge, insbesondere mit elektrischem Antrieb und Brennstoffzellen, zu entwickeln. Es wird erwartet, dass erste Fahrzeuge 2010 am Markt sind, gefolgt von einer breiten Markteinführung nach 2015.

Für die mobile Nutzung im Fahrzeug ist eine hohe Energiedichte erforderlich. Durch die hierfür notwendige Aufbereitung verringert sich jedoch die Gesamtenergieeffizienz (Elektrolyse – Speicherung und Transport – Wiederverstromung in Brennstoffzellen) auf Werte von etwa 30%. Heute werden insbesondere Konzepte mit Hochdruckspeicherung (ca. 70 MPa) verfolgt, die gegenüber einer Versorgung mit tiefkaltem Flüssigwasserstoff in dieser Hinsicht etwas besser abschneiden. Hinsichtlich der Nutzung des regenerativ erzeugten Stroms ist die

Speicherung in Batterien jedoch etwa um den Faktor 3 effizienter. Grundsätzlich besteht Einigkeit darüber, dass derzeit keine Batterietechnologie auf dem Markt oder in der Entwicklung mit absehbarer Kommerzialisierung ist, mit der sich eine elektrische Reichweite von mehr als 200 Kilometern mit einer Ladung wirtschaftlich realisieren lässt. Brennstoffzellen mit Wasserstoff sind daher eine Option, insbesondere für die Langstrecke, wobei auch in solchen Fahrzeugen eine größere Batterie im Sinne eines Plug-in-Hybrid mit 30 bis 50 km Reichweite Sinn macht, um in dem vorwiegenden Kurzstreckenverkehr (Stadtverkehr) den erheblich höheren Wirkungsgrad der direkten Stromnutzung über Batterien zu nutzen.

Langfristig werden also Brennstoffzellenfahrzeuge, vermutlich als Plug-in Hybridkonzept, die einzig verbleibende Alternative sein, um den hohen Gesamtansprüchen für eine universelle Mobilität aus Umweltverträglichkeit, Reichweite, Fahrleistung, Zuladung, niedrigen Kosten und schnellem Betanken gerecht werden zu können.

Diese Entwicklung stellt neben der Nutzung von reinen Batteriefahrzeugen für kurze Distanzen einen grundlegenden Technologiewechsel dar. Für die Stromversorger eröffnen sich dadurch neue Absatzmärkte. Die zur Einführung von Wasserstoff als Kraftstoff erforderliche Infrastruktur für eine flächendeckende Versorgung ist derzeit noch nicht vorhanden. Ein Übergang erfordert daher eine ausgewogene und breit abgestimmte Vorgehensweise von Energieversorgern, Kraftstoffversorgern, Automobilindustrie und Politik, in der eine flächendeckende Versorgung mit Wasserstoff – ausgehend von Flottenanwendungen in den Ballungszentren – strategisch geplant werden muss, um möglichst rasch hohe Absatzzahlen für die Fahrzeuge zu erreichen, die wiederum die Infrastruktur schneller in die Rentabilität führen.

Die Bereitstellung von Wasserstoff als Kraftstoff macht insbesondere dann Sinn, wenn Strom auf Basis von erneuerbaren Energien in so großen Mengen zur Verfügung steht, dass er ohne Zwischenspeicher auch im Verbundnetz nicht mehr direkt genutzt werden könnte und die Möglichkeiten des Lastmanagements weitgehend ausgeschöpft sind. Der Verkehrssektor steht mit der klassischen Stromversorgung also nicht im Wettbewerb, vielmehr können sich beide sinnvoll ergänzen. Die zusätzliche Nachfrage für den Straßenverkehr wird die Ausbauraten der erneuerbaren Energien sogar beschleunigen, da aufgrund der dadurch entstehenden Speicherkapazitäten eine höhere Durchdringung möglich ist. Somit verbessert die intelligente Integration dieses zusätzlichen Energiepfades die ökonomische Realisierung von Wasserstoffspeichern.

Die intelligente Nutzung der regenerativen Energieträger im Verkehrssektor wird dazu beitragen, dass deren Quote weiter ansteigen kann, da hierdurch neue Absatzmärkte – bei gleichzeitiger Entkopplung von Dargebot und Bedarf – erschlossen werden können.

4.6 E-Energy – Intelligente Messung, Energiemanagementsysteme, Datennetze

Mit dem flächendeckenden Einsatz von IuK-Technologien wird die Nutzung noch weitestgehend ungenutzter Potentiale der Systemführung und -optimierung für die Bereiche Erzeugung, Verteilung und Vertrieb erwartet.

Der BMWi Förderschwerpunkt „E-Energy“ hat zum Ziel, die technischen und geschäftlichen Prozesse der Energieversorgung unter Beachtung der liberalisierten Marktanforderungen effizient zu verknüpfen, die Netzeinbindung der dezentralen Energieerzeugung zu vereinfachen, die Durchlässigkeit der einzelnen energiewirtschaftlichen Prozesse zu erhöhen sowie passive Marktakteure zu aktiven Marktteilnehmern werden zu lassen. Neue Geschäftsprozesse müssen definiert, in IT-Systemen umgesetzt und auf aktuelle und künftige Anforderungen ausgerichtet werden.³

Im Bereich „Smart Metering“ liegen bereits sehr interessante Projekte vor. Mittlerweile sind preiswerte elektronische Lastgangzähler sowohl für Sondervertrags- als auch Tarifkunden verfügbar. Sie ermöglichen erstmalig eine transparente Messung und Abrechnung von Energie über alle Kundensegmente hinweg.

Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Vernetzung der IT-Systeme wie z. B. Netzleitstelle, Zählerfernabfrage, Energiedatenmanagement, Energiemanagement und Energieabrechnung. Ziel ist es, möglichst durchgängige und systemübergreifende Verarbeitungsprozesse zu gestalten. Zu diesem Zweck müssen die betreffenden Softwaresysteme über offene, standardisierte Schnittstellen verfügen, um sowohl zeitgesteuert als auch transaktionsorientiert den Datenaustausch zwischen den Systemen zu automatisieren und zugleich konsistente unternehmensweite Datenbestände zu gewährleisten. Die Verarbeitungsprozesse sollen damit hochwertig, fehlerfrei und kostengünstig werden.

Durch den Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien im Rahmen einer durchgängigen Applikationsarchitektur, verknüpft mit modernen schnell regelbaren Betriebsmittelkomponenten werden elektrische Energieversorgungssysteme „intelligent“. Diese Intelligenz umfasst alle Bereiche der elektrischen Energieversorgung:

- Elektronische Zähler mit Lastgangaufzeichnung können auch in Privathaushalten die Verbrauchshistorie und verursachte Kosten visualisieren. Flexible Stromtarife können umgesetzt werden und nehmen Einfluss auf das Verbrauchsverhalten zur Minimierung der Energiekosten bei möglichst gleichzeitiger Maximierung der Netzeffizienz.
- Dezentrale Kleinsterzeuger können durch die informationstechnische Anbindung zu virtuellen Kraftwerken zusammengefasst werden und damit einen ökonomisch und ökologisch optimalen Betrieb paral-

3 VDE|ETG-Studie 2008: Smart Distribution 2020 – Virtuelle Kraftwerke in Verteilungsnetzen – Technische, regulatorische und kommerzielle Rahmenbedingungen

lel zu konventionellen Erzeugungseinheiten mit großen installierten Leistungen ermöglichen.

- In elektrischen Übertragungs- und Verteilnetzen gestattet die informationstechnische Vernetzung eine koordinierte Betriebsführung von schnellen Netzreglern, um bestehende elektrische Anlagen optimal auszunutzen, Netzengpässe abzumildern und Energie aus fluktuierenden Quellen effizient zu übertragen und zu verteilen.
- Die intelligente Vernetzung aller Betriebsmittel erlaubt im Falle von Störungen eine automatische Netzrekonfiguration, um einerseits eine geringere Beeinflussung des Gesamtsystems zu erreichen und andererseits das Risiko von Großstörungen zu minimieren.

4.7 Energieforschung

Energiepolitik und Energieforschung sind eng miteinander verknüpft und sind wegen der aktuellen Klimadiskussion von überragender Bedeutung. Entscheidungen, die heute getroffen – oder unterlassen – werden, haben Reichweiten über mehrere Jahrzehnte. Kurzfristige Änderungen der Entscheidungen durch die Politik schaffen Unsicherheiten für die Forschung und die Investitionen in die Infrastruktur eines Landes.

Die UNO hat vor einiger Zeit einen aufsehenerregenden Bericht über die Beeinflussung des Klimas durch den Menschen vorgelegt. Entsprechend werden in der EU Ziele zur Reduktion des Ausstoßes sogenannter Umweltgase sowie zur Energieeinsparung und zur Erhöhung der Energieeffizienz definiert, die national umgesetzt werden sollen.

Um den Energiemix zur Erreichung dieser Ziele – unter Berücksichtigung der zeitlich möglichen Realisierbarkeit und der Leistungsfähigkeit der Volkswirtschaft – festlegen zu können, ist die Importabhängigkeit zu untersuchen und eine Grenze für Importquoten festzulegen. Damit ergibt sich eine Orientierung, wie stark wir auf heimische Energien zurückgreifen müssen. Zu bedenken ist, dass die Verwendung zulässiger und gewünschter Energieträger langfristig festzulegen ist, damit für Investitionen in Kraftwerke über mehrere Jahrzehnte politisch und wirtschaftlich stabile Rahmenbedingungen gegeben sind.

Neben der strategischen Ausrichtung von Forschungsschwerpunkten auf die elektrische Energieversorgung⁴ werden die zunehmende Vernetzung der unterschiedlichen Energieträger und deren Verwendung, insbesondere auch im Verkehrssektor, immer wichtiger. Mittelfristig gehören hierzu auch solche Energieträger, die mit einer hohen Energiedichte in mobilen Einrichtungen (z. B. PKW) eingesetzt werden können und im Rahmen der angestrebten Reduzierung der Importabhängigkeit zukünftig konventionelle Kraftstoffe ersetzen müssen. Als Beispiel hierfür sei die Wasserstofftechnologie genannt.

4 VDE | ETG-Studie 2007: Energieforschung 2020

Studien, Forschungsvorhaben und Programme zum Entwicklungspotential heutiger Techniken sowie zur Suche nach neuen technischen Lösungen und deren praktische Umsetzung müssen nicht nur die jeweiligen Komponenten optimieren, sondern sollten immer auch den jeweiligen Nutzen im Gesamtsystem bewerten. Der Blick und die Zusammenarbeit über Fach- und Kompetenzgrenzen hinaus sind damit unverzichtbar.

Die Zusammensetzung des Kraftwerksparks (zentral und dezentral) muss den sich ändernden Anforderungen Rechnung tragen, die sich aus dem gebotenen Klimaschutz einerseits und der Forderung nach einer Reduzierung der Importabhängigkeit andererseits ergeben. Daher müssen alle wirtschaftlich vertretbaren Möglichkeiten zur Stromerzeugung untersucht und die Potentiale zur Kostensenkung erschlossen werden. Bei der Beherrschung der Fluktuationen, die sich aus der Einspeisung auf Basis erneuerbarer Energien ergeben, werden wir auf die Verfügbarkeit von Energiespeichern angewiesen sein. Hierfür geeignete Technologien sind zu entwickeln, damit die erforderlichen Speicherkapazitäten rechtzeitig bereitgestellt werden können und der Ausbau der erneuerbaren Energien nicht in eine Sackgasse läuft. Insbesondere sind aber auch effiziente Kraftwerksprozesse und Möglichkeiten der CO₂-Abtrennung und -Speicherung zu untersuchen, da wir auf absehbare Zeit noch nicht auf fossile Energieträger verzichten können. Auch die Nutzung der Kernenergie in Fusions- und Fissions-Kraftwerken wird im Hinblick auf eine internationale Konkurrenzfähigkeit zu untersuchen sein.

Im Bereich Netze müssen wir uns vorrangig den neuen Herausforderungen stellen, die sich einerseits aus der Liberalisierung ergeben – mit zunehmenden Energietransiten – als auch der Übertragung und Verteilung der Energie aus erneuerbaren Quellen. Dabei sind sowohl die Einspeisungen in das Verbundnetz mit hohen Leistungen aus lastfernen Offshore-Windparks zu betrachten, als auch die dezentrale Erzeugung mit Einspeisungen kleiner Leistungen in die Verteilungsnetze – z. B. aus PV- oder KWK-Anlagen – wobei dem Zusammenwirken in einem Gesamtsystem große Bedeutung zukommt.

Die betrieblichen Reserven im Netz werden bereits heute vollständig in Anspruch genommen, zulasten der Sicherheit des Verbundsystems. Regelmäßig kommt es inzwischen in den stark belasteten Übertragungsnetzen in zentraler Lage Europas zu kritischen Betriebssituationen mit der Gefahr großräumiger Versorgungsunterbrechungen. Neben der Entwicklung der entsprechenden Technologien (z. B. HGÜ) sind auch die rechtlichen Rahmenbedingungen zu überdenken, damit die erforderlichen Netzausbaumaßnahmen zeitnah realisiert werden können.

Auf der Kundenseite sind die Möglichkeiten des Lastmanagements zu analysieren, die sich durch flexible Tarife und intelligente Stromzähler – unter Nutzung der zukünftigen Möglichkeiten der IK-Technologien

– ergeben werden. Hier sind insbesondere Anwendungen und Prozesse mit Wärme- bzw. Kältespeicherung von Interesse, die für eine zeitliche Lastverschiebung prädestiniert sind.

Handlungsbedarf

Während der letzten Jahrzehnte hatte in Deutschland die energietechnische Forschung einen starken Rückgang zu verzeichnen, wodurch Deutschland im internationalen Vergleich sehr schlecht abschneidet. Hochschulinstitute wurden aufgelöst oder anderen Fachbereichen zugeordnet, Professorenstellen wurden gestrichen oder heruntergestuft; entsprechend sind auch die Studentenzahlen in der elektrischen Energietechnik stark geschrumpft, sodass die Absolventen heute nur noch einen Bruchteil des Bedarfs decken. Das alles hat dazu geführt, dass energietechnische Forschung in Deutschland sich heute nur noch mit kurzfristigen Themen befasst und kein Gesamtkonzept mehr verfolgt. Bei der Bedeutung, die einer sicheren, wirtschaftlichen und nachhaltigen Energieversorgung für das Industrieland Deutschland zukommt, müssen im Bereich Forschung und Entwicklung auf allen relevanten Gebieten Energie, Umwelt und Klima große Anstrengungen unternommen werden. Deutschland benötigt deshalb die Entwicklung und Umsetzung eines strategisch ausgereiften und auf 2 bis 3 Jahrzehnte angelegten Konzeptes für die Energieversorgung und die Energieforschung. Neben der strategischen Ausrichtung ist ergänzend eine organisatorische Straffung der Kompetenzen für Energie und Klima in einem Ministerium oder Bundesamt dringend erforderlich.

Eine strategische Konzeption ist die Voraussetzung für eine konsistente und auf die Zukunft langfristig ausgerichtete sowie mit der EU abgestimmte Forschungspolitik. Die in der Regel über viele Jahre, in manchen Fällen auch über Jahrzehnte (z.B. Fusionsforschung) anzulegende Forschungsprogramme bedürfen einer Kontinuität in der Mittelausstattung. Dies betrifft auch das Forschungspersonal, da Forschungskapazität höchster Qualität nur kontinuierlich und langfristig aufgebaut werden kann. Eine kurzsichtig angelegte Strategie schafft Unsicherheiten und fördert die Abwanderung. Damit verbunden ist der Appell, die staatliche Forschungsförderung stark zu erhöhen; eine Verdoppelung erscheint angemessen.

Wir müssen jetzt handeln, wenn wir in 2 – 3 Jahrzehnten eine sichere Energieversorgung und ein stabiles Klima haben wollen. Wir sind das den nachfolgenden Generationen schuldig!

5 Bewertung der IEKP-Ziele und -Maßnahmen

Ziele der Bundesregierung

Die Bundesregierung hat im integrierten Energie- und Klimaprogramm IEKP klare, quantitative Ziele formuliert, die bis zum Jahr 2020 erreicht werden sollen. In Tabelle 5 sind die fünf übergeordneten Ziele zusammengefasst. Die Reduktion der CO₂-Emissionen um 40% ist daran gekoppelt, dass die EU ihrerseits die CO₂ Emissionen um 30% senkt. Alle fünf Ziele sind höchst ambitioniert. Das gilt insbesondere für die Reduktion des Stromverbrauchs.

Tabelle 5: Die Energie- und Klimazielvorstellungen der Bundesregierung

Ziele der Bundesregierung bis 2020	
Anteil der Erneuerbare Energien am Strom Mix	25% - 30%
Anteil der Erneuerbare Energien am Wärme Mix	14%
Reduktion des CO ₂ gegenüber Stand 1990	-40%
Anteil von KWK am Kraftwerks Mix	25%
Reduktion des Stromverbrauchs ggü. 2006	-20%

Neben den übergeordneten Zielen sind im IEKP-Detailziele formuliert worden, wie die Einsparungen an CO₂ erreicht werden sollen. In der Tabelle 2 sind die IEKP-Maßnahmen in Paketen zusammengefasst und deren CO₂-Einsparziele angegeben. Die Summe von 270 Mio. t. CO₂ muss zusätzlich zum bisher Erreichten (Stand 2005) erbracht werden, um insgesamt die 40%-Einsparungen gegenüber dem Stand von 1990 zu erfüllen.

Annahme von Szenarien für die Verbrauchs- und Erzeugungsentwicklung

Um die Maßnahmen und Ziele des IEKP beurteilen zu können, mussten zunächst Vorstellungen entwickelt werden, wie die wahrscheinliche Entwicklung des Stromverbrauchs bis 2020 verlaufen wird und mit welchen Erzeugungsszenarien dieser Strombedarf gedeckt werden kann. In dieser Studie wurden 3 Verbrauchsszenarien angenommen. Entwickelt sich der Verbrauch nach dem langjährigen Trend, dann ist mit einem Anstieg von 1,2%/a zu rechnen. Nimmt man die Entwicklung der letzten 3 Jahre zum Maßstab der zukünftigen Entwicklung, dann ist ein Zuwachs von 0,6%/a sehr wahrscheinlich. Das entspräche einem Zuwachs von 17 bzw. 8% bis 2020. Im Kontrast dazu steht das Ziel des IEKP, bis 2020 insgesamt 20% beim Stromverbrauch gegenüber 2005 einzusparen; das entspricht einer Reduktion beim Stromverbrauch von -1,7%/a bis 2020, eine Annahme, die höchst ambitioniert ist.

Auf der Erzeugungsseite wurden in dieser Studie 4 Grundszenarien betrachtet, wovon 3 in jeweils 2 Varianten untersucht wurden:

1. **„Regierung“**: Alle Regierungsbeschlüsse sind berücksichtigt, die die Erzeugungsseite betreffen (Ausstieg aus der Kernenergie; zügiger Ausbau der Erneuerbaren Energien auf 25 – 30%, Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung auf 25% vom Gesamtmix)
2. **„Kostenoptimal“**: Um ein Optimum auf der Kostenseite zu erzielen, wird der Ausbau der Erneuerbaren Energien wesentlich verlangsamt, die Kernenergie auf reduziertem Niveau (Laufzeitverlängerung der Konvoikraftwerke) weiter betrieben und im fossilen Bereich weiterhin in der Größenordnung von 40% Strom erzeugt.
3. **„Umweltoptimal“**: Zur massiven Reduktion der CO₂-Emissionen wird angenommen, dass der Ausstieg aus der Kernkraft zurückgenommen wird und die vorhandenen Kraftwerke befristet weiter betrieben werden. Gleichzeitig werden die Erneuerbaren Energien auf das von der Regierung angestrebte Niveau von 25 – 30% ausgebaut. Die fossilen Energieträger ergänzen den Mix auf 100%.
4. **„Wie 2 mit CCS“**: Dieses Szenario ist eine Variante von Szenario 2 „Kostenoptimal“. Es unterstellt, dass im nächsten Jahrzehnt Kohlekraftwerke schrittweise mit CCS-Technologie (Carbon Capture and Sequestration) ausgerüstet werden, sodass die CO₂-Emissionen in der Kohlekraftwerksflotte merklich reduziert werden können. Es wird ambitioniert angenommen, dass bis 2020 25% der Kohlekraftwerke mit dieser Technologie aus- bzw. nachgerüstet sind.
5. **„Wie 3 mit CCS“**: Analog zu Szenario 4, allerdings bezogen auf das Szenario 3.
6. **„ohne K&K“**: Diese Szenario unterstellt den kompletten Ausstieg aus der Kernkraft und der Kohle bis 2020. Der Strom wird ausschließlich aus Erneuerbaren Energien und Gas erzeugt.
7. **„Auslauf K&K“**: Da das Szenario 6 bis 2020 vermutlich praktisch nicht umgesetzt werden kann, wird in diesem Szenario zwar der Ausstieg aus der Kernenergie angenommen, der Kohleausstieg aber zunächst auf 50% des heutigen Niveaus angesetzt.

In allen Szenarien wird technisch sichergestellt, dass die Stromversorgung zuverlässig funktioniert, d.h., es werden die Volatilität und die zeitweise Nichtverfügbarkeit der Erneuerbaren Energien durch entsprechende Back-up-(Reserve-)Kraftwerke (fossil) ausgeglichen. Es wird weiterhin unterstellt, dass die Übertragungsnetze so ausgebaut werden,

dass der Strom aus Erneuerbaren Energien aus den Erzeugungsgebieten im Norden uneingeschränkt in die Verbrauchszentren im Westen und Süden transportiert werden kann.

In den Untersuchungen wurden die 7 Erzeugungsszenarien mit den 3 Verbrauchsszenarien kombiniert. Für das Zieljahr 2020 werden die CO₂-Emissionen errechnet, die Investitionskosten ermittelt, die für den Zubau und die Erneuerung des Kraftwerksparks erforderlich sind, und es wird der Erzeugungsmix angegeben, der sich unter den getroffenen Annahmen für das jeweilige Szenario ergibt. Hier sind nur die Ergebnisse für den vom VDE als am wahrscheinlichsten angesehenen Verbrauchszuwachs von +0,6%/a wiedergegeben (Tabelle 6).

Szenarien	0	1	2	3	4	5	6	7
	Stand	1:Regierung	2:Kosten-optimal	3:Umwelt-optimal	4:wie 2 mit CCS	5:wie 3 mit CCS	6:ohne K&K	7:Auslauf K&K
Verbrauch: +8% bis 2020 (=+0,6/a)	2007	2020						
Kosten in Mrd €		193	120	163	128	170	348	229
darin backup für Wind in Mrd €		100,0	62,4	84,9	66,6	180,8	118,9	
		11	2	8	2	8	17	12
CO ₂ in Mio.t/a 2020	320,1	310,4	305,7	231,1	243,5	186,3	134,8	233,1
		100,0	98,5	74,5	78,5	43,4	75,1	
Kohle in %	47,3	40,2	40,5	28,4	40,5	28,4	0,0	23,3
Gas in %	11,7	22,5	20,6	19,1	20,6	19,1	53,3	34,6
Öl in %	1,3	1,4	1,3	1,0	1,3	1,0	1,2	1,3
Müll in %	3,6	4,1	4,0	3,1	4,0	3,1	3,5	3,8
Kern in %	22,1	4,6	15,2	23,4	15,2	23,4	0,0	4,6
Erneuerbare in %	14,1	27,3	18,4	25,0	18,4	25,0	42,0	32,4
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

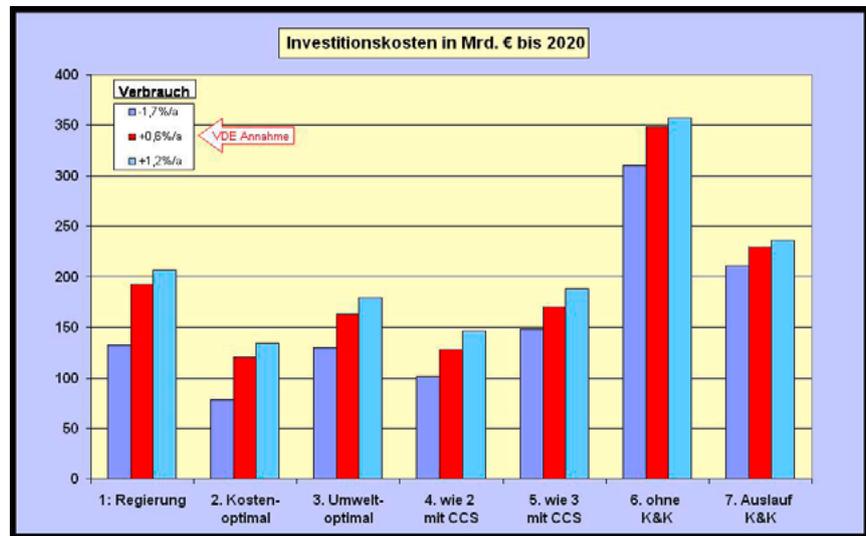
Tabelle 6: Erzeugungsszenarien bei einem Verbrauch von +0,6%/a bis 2020.

Investitionskosten für die untersuchten Szenarien

Die Investitionskosten für die Erneuerung und den Zubau für den Kraftwerkspark des jeweiligen Erzeugungsszenarios wurden auf der Preisbasis 2008 bei unterschiedlichen Verbrauchsentwicklungen errechnet (Bild 4). Für alle Verbrauchsszenarien sind die Erzeugungsszenarien 2 und 4 die kostengünstigsten. In beiden Fällen schlagen die immer noch hohen Investitionskosten für Anlagen mit erneuerbaren Energien bei diesen Szenarien wegen des geringeren Ausbaus nicht so stark zu Buche. Auch die weitere Nutzung der Kernkraftwerke reduziert die sonst erforderlichen Investitionskosten für deren Ersatz durch andere Kapazitäten. Dieses trifft auch für die Szenarien 3 und 5 (u.a. weitere Nutzung der Kernkraft) zu, sodass die als „Umweltoptimal“ bezeichneten Varianten geringere Investitionskosten aufweisen als das „Regierungs“-Szenario. Mit Abstand die kostenintensivsten Varianten sind die Szenarien „Ausstieg K&K“ bzw. „ohne K&K“, also der Ausstieg aus Kernkraft und der Kohle, wobei der komplette Ausstieg bis 2020 drei- bis viermal so teuer wäre wie die kostenoptimalen Varianten 2 und 4.

Für alle Szenarien gilt selbstverständlich, dass die Investitionskosten mit der Erhöhung des Verbrauchs entsprechend steigen.

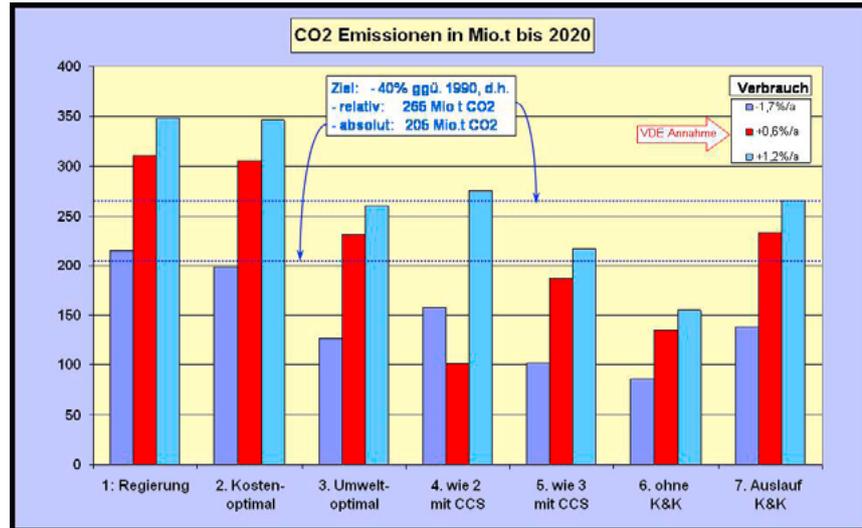
Bild 4: Investitionskosten für die verschiedenen Erzeugungsszenarien



CO₂-Emissionen für die untersuchten Szenarien

Ein anderes Bild ergibt der Vergleich bei den CO₂-Emissionen. Der komplette Ausstieg aus Kohle und Kernkraft würde die CO₂-Emissionen gegenüber heute massiv senken, auf die Hälfte im Verbrauchsszenario +1,2%/a bzw. auf nahezu ein Viertel im Falle des Verbrauchsszenario -1,7%/a (Bild 5 und Tabelle 6). Diese Konstellation erscheint aber aus heutiger Sicht eher unwahrscheinlich. Die beste der realistischen Varianten ist das Szenario 5 (weiterhin Kernkraft, starker Ausbau der erneuerbaren Energien und Einsatz einer CCS-Technologie bei den Kohlekraftwerken). Gegenüber 2007 würden so die Emissionen um 30% bis 70% gesenkt werden können, abhängig von der Entwicklung des Verbrauchs. Interessant ist, aber auch nicht überraschend, dass im Falle der Verbrauchsszenarien +1,2%/a bzw. +0,6%/a die CO₂-Emissionen in den Szenarien 1 („Regierung“) und 2 („kostenoptimal“) sogar steigen bzw. auf dem Niveau von 2007 stagnieren würden. Der Anstieg der Erzeugung erfordert in diesen Szenarien den erhöhten Einsatz von Kohlekraftwerken, was erhöhte CO₂-Emissionen zur Folge hat. Ein Erreichen der CO₂-Ziele der Bundesregierung ist daher nur möglich, wenn entweder der Verbrauch spürbar gesenkt würde oder CO₂-mindernde Technologien schnell auf breiter Front eingesetzt würden, d.h. Erneuerbare Energien, Kernkraft und CCS-Technologien.

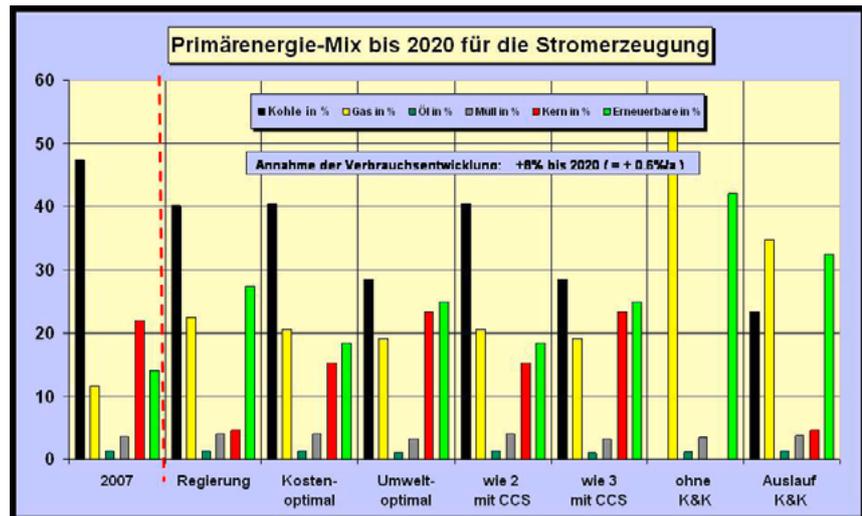
Bild 5: CO₂-Emissionen für die Erzeugungsszenarien



Energiemix für die untersuchten Szenarien

Einen Überblick über den Energie-Mix der verschiedenen Erzeugungsszenarien zeigt Bild 6 sowie die Tabelle. Im Primärenergie-Mix drückt sich die hinter dem jeweiligen Szenario stehende Strategie aus. Das „Regierungs“-Szenario setzt auf Kohle, Erneuerbare Energien und Gas, während die Szenarien 6 und 7 mit dem Kohle- und Kernkraftausstieg eine Konzentration der Erzeugung nur mit Gas und Erneuerbaren Energien zur Folge haben. Alle anderen Szenarien bauen weiterhin auf die vier Komponenten Kohle, Gas, Kernkraft und Erneuerbare Energien. Die Brennstoffe Öl und Müll haben – wie Bild 6 zeigt – eine untergeordnete Bedeutung.

Bild 6: Primärenergie-Mix der Erzeugungsszenarien

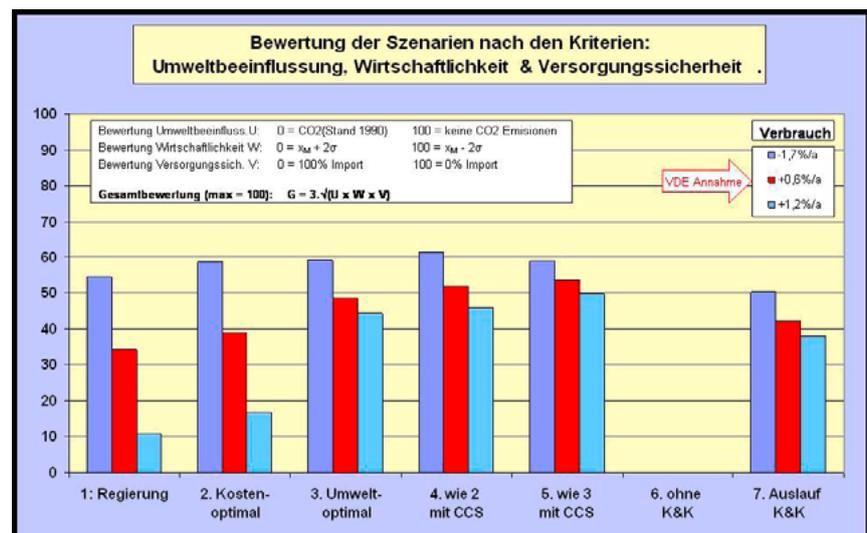


Bewertung der untersuchten Szenarien

Es ist Konsens unter allen Fachleuten, dass die Stromversorgung ausgewogen und ausbalanciert die zum Teil widerstrebenden Forderungen nach Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit erfüllen sollte. Es wurde daher versucht, eine Bewertung von Szenarien zu entwickeln, mit der diese qualitativen Anforderungen quantitativ dargestellt werden können.

Die nachfolgende Bewertung der Szenarien beruht daher auf einem neuen einheitlichen Ansatz, alle drei Kriterien quantitativ in eine Berechnungsvorschrift einzubeziehen. Für jedes der Kriterien Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit werden 0 bis 100 Punkte vergeben. Diese Werte werden miteinander multipliziert. Die dritte Wurzel daraus ergibt wieder einen Wert von 0 bis 100, der ein Maß für die Ausgewogenheit des Szenarios ist (Bild 7). Ein Kriterium erhält 100 Punkte, wenn es die Anforderungen zu 100% erfüllt, 0 Punkte im umgekehrten Fall. Diese Vorgehensweise bevorzugt die ausgewogenen Szenarien, während sie sehr einseitige Strategien stark ergebnismindernd bewertet, d.h. erfüllt ein Szenario ein Kriterium nicht (Wert=0), dann wird das komplette Szenario mit 0 bewertet.

Bild 7: Bewertung der Erzeugungsszenarien bei unterschiedlichen Verbrauchsentwicklungen



Für die Kriterien wurden folgende Definitionen gewählt:

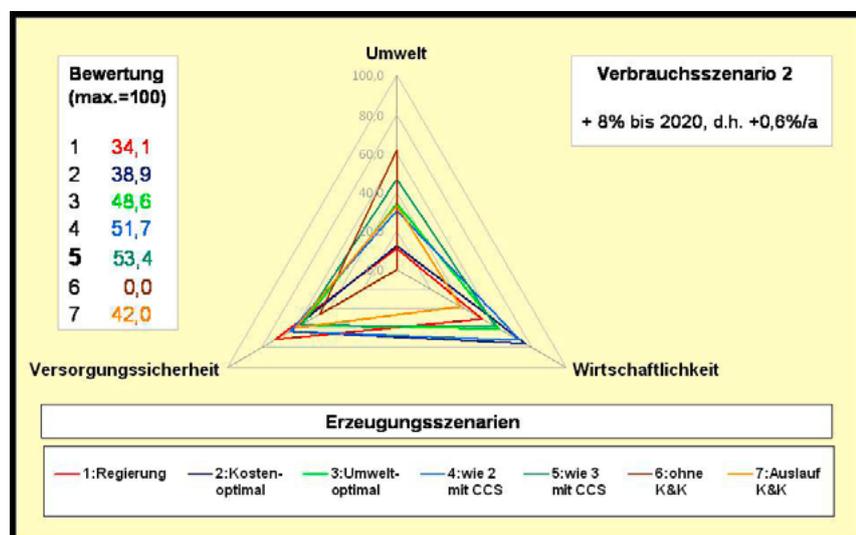
- 1. Umwelt:** 0 Punkte, wenn die CO₂-Emissionen größer sind als die von 1990; 100 Punkte, wenn die CO₂-Emissionen null sind.
- 2. Versorgungssicherheit:** 0 Punkte, wenn die Primärenergie zu 100% importiert werden muss; 100 Punkte, wenn alle Primärenergien im Inland vorhanden sind.
- 3. Wirtschaftlichkeit:** 0 Punkte, wenn die Kosten größer als $(x_M + 2\sigma)$ sind; 100 Punkte, wenn die Kosten kleiner als $(x_M - 2\sigma)$ sind, wobei

der Mittelwert x_M und die Standardabweichung σ der Kosten über alle Szenarien berechnet wird.

Die Bewertungen der Erzeugungsszenarien für die 3 Verbrauchsszenarien können grafisch in Netzdiagrammen dargestellt werden, hier beispielhaft nur für die Verbrauchsentwicklung +0,6%/a (Bild 8). Das Szenario „ohne K&K“ wird in allen Verbrauchsfällen mit 0 bewertet, da dessen Investitionskosten extrem von denen der anderen Szenarien abweichen und es das Wirtschaftlichkeitskriterium nicht erfüllt.

Die beste Bewertung erhält das Szenario 5 („umwelt optimal mit CCS-Technologie“), das in allen Verbrauchsvarianten am ausgewogensten bezüglich der 3 Kriterien Umwelt, Kosten und Versorgungssicherheit ist. Das zeigt sich in einem möglichst großen und nahezu gleichschenkligen Dreieck im Netzdiagramm. **Nimmt man das Verbrauchsszenario +0,6%/a als das Wahrscheinlichste auf der Verbrauchsseite an, dann sind die Erzeugungsszenarien mit CCS-Technologie in der Bewertung mit Abstand führend.** Der Grund liegt zum einen in der weiteren Nutzung der Kernkraft (Investitionen gering, da vorhanden; CO₂-Emissionen = 0) und in der Verwendung der CCS-Verfahren für die Kohlekraftwerke (Kohle im Inland vorhanden; CO₂-Emissionen sehr gering).

Bild 8: Grafische Darstellung der Bewertung der Erzeugungsszenarien bei einer Verbrauchsentwicklung von +0,6%/a



Ein Vergleich der drei Fälle zeigt deutlich, dass mit steigendem Stromverbrauch die Größe der Dreiecke schrumpft, ein Hinweis, dass die Kriterien immer weniger erfüllt werden. Die Investitionskosten steigen ebenso wie die CO₂-Emissionen; d.h., eine der wichtigsten Stellschrauben zur Erreichung der IEKP-Ziele ist der Verbrauch. Die Reduzierung des Stromverbrauchs bedeutet weniger Erzeugung, weniger CO₂-Emissionen, geringere Investitionskosten, geringere Importabhängigkeit.

Potentiale zur Reduktion der CO₂-Emissionen

Das Bundesumweltamt UBA hat in einer Studie die Einsparungen an CO₂-Emissionen zusammengestellt, die aus seiner Sicht mit den Maßnahmen des IEKP erzielt werden können. Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse im Vergleich zu den IEKP-Zielen für die einzelnen Maßnahmenpakete (s.a. Kapitel 3). Im Bereich der Stromeinsparung ist das IEKP-Ziel wesentlich ambitionierter als die Prognose des UBA, ebenso im Bereich der fossilen Kraftwerke. Hingegen stimmen Ziel und Prognose bei der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien und im Verkehr gut überein. Größere negative Abweichungen weisen die Bereiche Gebäudesanierung und Wärmeversorgung durch Erneuerbare Energien auf.

Maßnahme	Maßnahmentitel	vom VDE Bearbeitet	CO ₂ -Einsparungen bis 2020 in Mio. t ggü. 2005		
			Ziel Regierung	BMU (UBA)	VDE
Stromeinsparungen			40	25,5	50,0
4	Intelligente Messverfahren für Stromverbrauch	ja			
7	Förderprogramme für Klimaschutz und Energieeffizienz	ja			
8	Energieeffiziente Produkte	ja			
10	Ersatz von Nachtstromspeicherheizungen	ja			
24	Beschaffung energieeffizienter Produkte und Dienstleistungen	nein			
Erneuerung fossile Kraftwerke			30	15,0	71,1
3	CO ₂ -arme Kraftwerkstechnologien	ja			
5	Saubere Kraftwerkstechnologien	ja			
Erneuerbarer Energien Stromerzeugung			55	54,4	19,2
2	Ausbau der Erneuerbaren Energien im Strombereich	ja			
Kraft-Wärme-Kopplung			20	14,3	15,9
1	Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz	ja			
Gebäudesanierung und Heizungsanlagen			41	31,0	
10	Energieeinsparverordnung	nein			
11	Betriebskosten bei Mietwohnungen	nein			
12	CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm	nein			
13	Energetische Modernisierung der sozialen Infrastruktur	nein			
15	Programm zur energetischen Sanierung von Bundesgebäuden	nein			
Erneuerbarer Energien Wärmeversorgung			14	9,2	
9	Einspeiseregulierung für Biogas in Erdgasnetze	nein			
14	Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG)	nein			
Verkehr			30	33,6	
16	CO ₂ - Strategie Pkw	nein			
17	Ausbau von Biokraftstoffen	nein			
18	Umstellung der Kfz-Steuer auf CO ₂ -Basis	nein			
19	Verbrauchskennzeichnung für Pkw	nein			
20	Verbesserte Lenkungswirkung der Lkw-Maut	nein			
21	Flugverkehr	nein			
22	Schiffsverkehr	nein			
26	Elektromobilität	ja			4
Sonstige Treibhausgase (Methan, N ₂ O, F-Gase)		nein	40	36,4	
Summe der Einsparungen aller Massnahmen			270,0	219,4	
Summe der Einsparungen der Stromrelevanten Massnahmen			145,0	109,2	156,1

Tabelle 7: CO₂ Einsparungen durch IEKP Maßnahmen

Mit den Ergebnissen aus den oben entwickelten Szenarien wurden aus Sicht des VDE die potentiellen Einsparungen an CO₂ für die Bereiche Stromeinsparung, Erneuerung fossiler Kraftwerke, Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien und aus Kraft-Wärme-Kopplung errechnet. Als

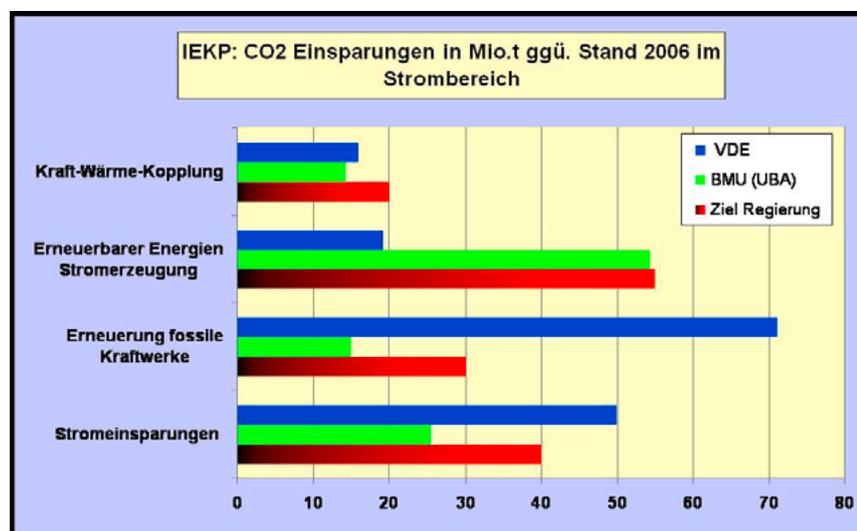
Referenz wurde das Szenario 5 „Umweltoptimal mit CCS“ gewählt, das als bestes bezüglich der Kriterien Umwelt, Kosten und Versorgungssicherheit bewertet wurde.

Basierend auf den Erkenntnissen der VDEIETG-Studie „Effizienz- und Einsparpotentiale elektrischer Energie in Deutschland – Perspektive bis 2025 und Handlungsbedarf“ (2008) und auf der Grundlage des Referenzszenarios errechnen sich Einsparungen von 50 Mio.t. CO₂ durch Einsparung in der Stromanwendung bei Produkten, Systemen und Anlagen.

Im Bereich der fossilen Kraftwerke können durch Verbesserungen der Wirkungsgrade der Kohle- und Gaskraftwerke und durch Einsatz von CCS-Technologien Reduktionen von CO₂-Emissionen in der Größenordnung von 70 Mio.t. CO₂ bis 2020 erzielt werden. Im Vergleich zu den Erkenntnissen des UBA sind das deutlich höhere Einsparungen.

Hingegen sind die Reduktionspotentiale bei der Stromerzeugung mit Erneuerbaren Energien mit 19 Mio.t. CO₂ wesentlich geringer als von UBA angegeben. Dabei wird bei der VDE-Untersuchung von der Einsparung im Zeitraum 2006 – 2020 und einem Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromproduktion in 2020 von 27% ausgegangen. Das Einsparpotential lt. UBA von 54 Mio.t. CO₂ ist nicht nachvollziehbar. Schließlich sind die Einsparungen im Feld der Kraft-Wärme-Kopplung mit ca. 15 Mio.t. CO₂ in beiden Studien vergleichbar groß (Bild 9).

Bild 9: Vergleich der CO₂-Einsparungen durch IEKP Maßnahmen



Insgesamt sieht der VDE durch die stromrelevanten IEKP-Maßnahmen ein Einsparpotential von 156 Mio.t. CO₂. Das sind ca. 10 Mio.t. mehr als die Summe der im IEKP formulierten Ziele für die stromrelevante Maßnahmen. Dabei ist allerdings festzustellen, dass die Schwerpunkte bei Regierung und UBA im Bereich Erneuerbare Energien liegen, während aus den VDE-Untersuchungen eindeutig hervorgeht, dass durch Innovationen bei den fossilen Kraftwerken ein

größeres Potential wesentlich preiswerter zu heben ist. Auch können durch Verbesserung der Stromeffizienz in der Anwendung weitaus größere Einsparungen erzielt werden.

6 Handlungsbedarf zur Erreichung der IEKP-Ziele

Aus der Analyse der Szenarien ergibt sich, dass die Ziele der Bundesregierung in der Energie- und Klimapolitik aus heutiger Sicht nur zu erreichen sind, wenn in den drei Schwerpunktbereichen – Erhöhung der Effizienz bei der Stromanwendung, Ausbau der erneuerbaren Energien und der Netze, Erhöhung der Kraftwerkswirkungsgrade und Einführung der CCS-Technologie – entsprechende Anreize für den beschleunigten Einsatz vorhandener Technologien und zur Entwicklung fortgeschrittener Technologien gegeben werden. Im Einzelnen sieht der VDE folgenden Handlungsbedarf:

Effizienz in der Stromanwendung massiv erhöhen: Einer der größten Hebel, um Energie und damit auch CO₂ einzusparen, liegt in der energetischen Optimierung der Produkte, Systeme und Anlage in den Bereichen Industrie, Haushalt und Gewerbe, Handel und Dienstleistung. Finanzielle Anreize zum Kauf bereits vorhandener Produkte und Maßnahmen zur Förderung von Forschung und Entwicklung sind nötig.

Kraftwerkswirkungsgrade erhöhen und CCS-Technologien mit Nachdruck entwickeln: Der zweite große Hebel zur Reduzierung von CO₂ liegt in der Verbesserung der Wirkungsgrade der fossilen Kraftwerke sowie in den CCS-Technologien zur Abscheidung von CO₂ aus dem Verbrennungsprozess der Kraftwerke und der Verbringung in Kavernen. Diese Technologien sind über Pilotkraftwerke mit Nachdruck zur Einsatzreife zu entwickeln. Dabei sind auch Verfahren zu verfolgen, die das CO₂ chemisch weiterverarbeiten und wieder in einen Stoffkreislauf rückführen können.

Reduzierung der Importabhängigkeit: Deutschland ist bei Erdgas zu über 90% vom Import abhängig, bei Öl nahezu zu 100%. Durch die Nutzung von Erneuerbaren Energien und einheimischer Kohle kann die Abhängigkeit reduziert werden. Neben der Abhängigkeit vom Weltmarkt wird dadurch auch die politische Abhängigkeit von Dritten bei der Energieversorgung wesentlich reduziert.

Kernkraft weiter nutzen: Kernkraftwerke produzieren rd. 30% des elektrischen Stroms in Deutschland – und das ohne CO₂ Emissionen. Wie die Szenarien 2 „Kostenoptimal“ und 3 „Umweltoptimal“ zeigen, sollte dieses Potential nicht aufgegeben, sondern durch Verlängerung der Laufzeiten der bestehenden Kraftwerke weiter genutzt werden. Die Aufgabe der Kernkraftwerke, sogar noch verbunden mit dem Ausstieg aus fossilen Kraftwerken auf Kohlebasis, würde lt. Szenario 7 zu einem unausbalancierten Strom-Mix führen, der Deutschland in der Energieversorgung in noch größere Abhängigkeit von Importen bringt und wirtschaftlich extrem teuer wäre.

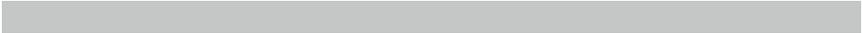
Erzeugung weiter diversifizieren: Die Stabilität der deutschen Energieversorgung beruht bisher in starkem Maße auf einem breiten Energie-Mix. Eine weitere Diversifizierung bei den verschiedenen erneuerbaren Energien (z. B. Geothermie, Solarthermie und maritime Energien) kann die Stabilität weiter erhöhen und die Abhängigkeit von Importen reduzieren helfen.

F&E massiv steigern: Alle oben genannten Punkte setzen eine intensive Forschungs- und Entwicklungstätigkeit voraus. Die Regierung muss ihre Versprechen einhalten, die Ausgaben für Forschung auf 3% des Bruttoinlandsproduktes zu steigern. Die Ausgaben auf den Energiesektor sind massiv zu erhöhen, um die langfristigen Ziele in der Energie- und Klimapolitik zu erreichen (siehe VDE | ETG-Studie „Energieforschung 2020“, 2007).

Gebäudeprogramme und KWK in Einklang bringen: Das IEKP-Ziel, den Anteil der KWK von derzeit 12% auf 25% der Kraftwerksleistung zu erhöhen, steht nicht im Einklang mit dem zeitlich sehr unterschiedlich erforderlichen Wärmebedarf. Ein Zielwert von 18% bis 20% scheint ein sinnvolles Optimum zu sein.

Wärme aus Wärmepumpensystemen holen: Die Erzeugung von Wärme aus der Umwelt (Luft, Wasser, Erde) ist auf längere Sicht preiswerter und wesentlich umweltfreundlicher als aus fossilen Energien. Hier sollte durch finanzielle Anreize die Einstiegsbarriere der relativ hohen Investitionskosten überbrückt werden.

Erneuerbare Energien für die Heizung, die Erwärmung von Brauchwasser und die Kühlung im Sommer einsetzen: Der temporäre Überschuss an Strom aus Erneuerbaren Energien kann vorteilhaft für die elektrische Speicherheizung im Winter (ggf. in Kombination mit Wärmepumpen), für Klimaanlage im Sommer und ganzjährig für die Erwärmung von Brauchwasser und die Elektromobilität genutzt werden. Mit Hilfe von entsprechenden Steuerungen und Tarifen (smart metering) kann dies auch zur Stabilisierung der Netze beitragen.



Netzausbau forcieren: Die Übertragungsnetze müssen schnellstens ausgebaut werden, wenn Erneuerbare Energieressourcen wie Wind weiter massiv ausgebaut werden sollen. Das gilt insbesondere für den Ausbau von Offshore-Windkraftwerken.

VDE

**VERBAND DER ELEKTROTECHNIK
ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK e.V.**

Stresemannallee 15
60596 Frankfurt am Main

Telefon 069 6308-0
Telefax 069 6312925
<http://www.vde.com>
E-Mail service@vde.com

