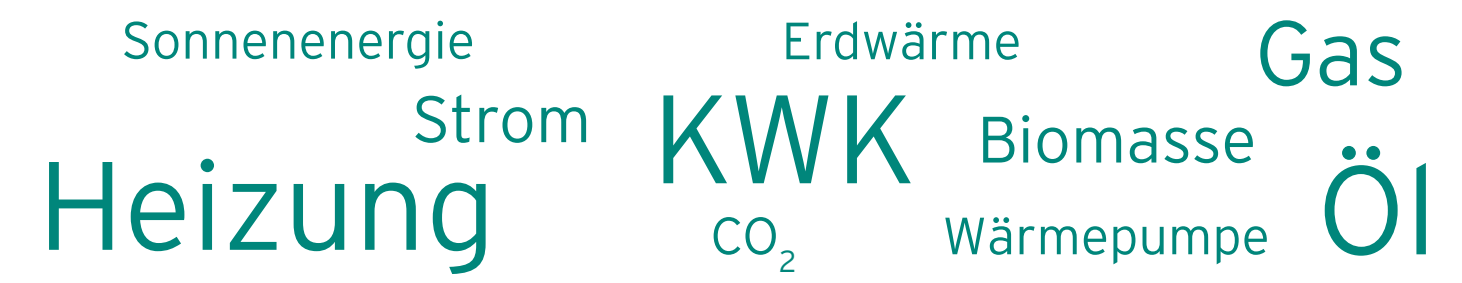
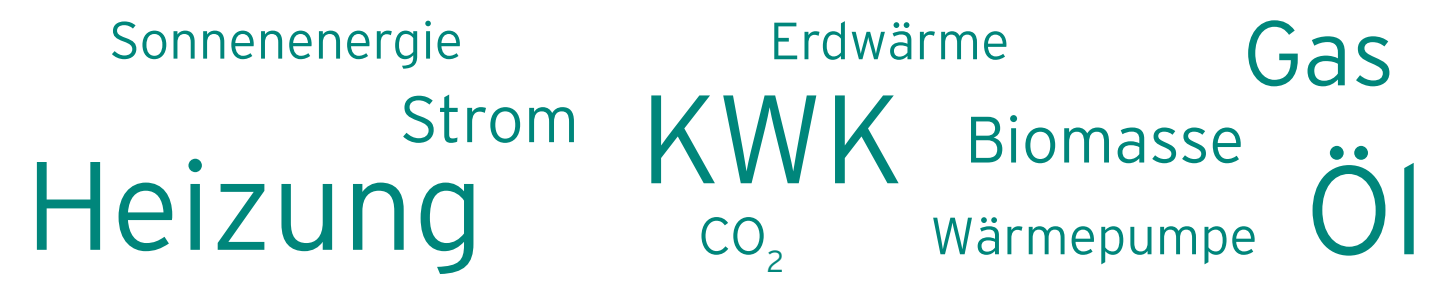


Energie kompakt 03

Daten und Fakten





EDITORIAL

Im September 2010 hat die Bundesregierung ein energiepolitisches Konzept beschlossen, das den Weg ins Zeitalter der erneuerbaren Energien beschreibt. Nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima wurde dieses Konzept erweitert und im Juni 2011 der Ausstieg aus der Kernenergie bis Ende des Jahres 2022 beschlossen. Zeitgleich wurde ein umfangreiches Gesetzespaket zur Förderung regenerativer Energien und mehr Energieeffizienz auf den Weg gebracht.

Deutschland steht mit der Energiewende vor einem Jahrhundertprojekt: Schwerpunkte sind der Ausstieg aus der Kernenergie und der Umstieg ins Zeitalter der erneuerbaren Energien. Bis 2050 soll der Bedarf an Primärenergie in Deutschland um 50 Prozent sinken. Dies wird aber nur dann möglich sein, wenn in allen Lebensbereichen Energie eingespart wird. Allein für das Wohnen werden in Deutschland 40 Prozent der Energie verbraucht. Davon dienen rund 90 Prozent der Deckung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden und der Trinkwassererwärmung. Der Wärmebedarf des Gebäudebestandes soll bis 2020 um 20 Prozent sinken. Bis 2050 sollen Häuser nahezu klimaneutral sein.

Als führender Anbieter energieeffizienter Heiztechnologie und Spezialist für erneuerbare Energien sehen wir uns deshalb in der Verantwortung, die Energiewende im Haushalt maßgeblich mitzugestalten. Wir bieten unseren Kunden schon heute zukunftsweisende Systeme an – Systeme, die Energie besonders effizient nutzen und verstärkt regenerative Energiequellen einbinden. Dazu zählen Wärmepumpen, Solarthermieranlagen, aber auch dezentrale Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und hocheffiziente Brennwerttechnik.

Der rasanten Entwicklung tragen wir auch mit der dritten, vollständig überarbeiteten Auflage des vorliegenden Nachschlagewerkes Rechnung. Es fasst wie gewohnt neutral und klar aktuelle Zahlen und Fakten rund um das Thema Energie zusammen – von Energiekonzept und Ausbauzielen über Netz- und Speichertechnologien bis hin zu Energiequellen der Zukunft.

Begleiten Sie uns auf dem Weg in ein neues Energiezeitalter!



Dr. Carsten Voigtländer

Vorsitzender der Geschäftsführung | Vaillant Group

ENERGIE KOMPAKT 03

EDITORIAL

01 ENERGIEWENDE IN DEUTSCHLAND	6	03 ENERGIEQUELLEN UND -GEWINNUNG	26
Energiekonzept und Energiepaket	8	Brennstoffe und Energieträger	28
Ausbauziele bis 2050	9	Kohle	30
Energie- und Klimafonds	10	Erdöl	31
Monitoring	10	Erdgas	32
Die Energiewende im europäischen Kontext	11	Methanhydrat	32
Globale Bedeutung der erneuerbaren Energien	12	Nukleare Brennstoffe	34
		Sonnenenergie	35
		Photovoltaik	36
02 ENERGIEMARKT UND -PREISE	14	Solarthermie	38
Umbau der Energiemärkte	16	Solarthermische Kraftwerke	38
Energiekosten und Importabhängigkeit	16	Geothermie	40
Zusammensetzung der Energiepreise	18	Biomasse	41
Preisbildung bei den privaten Haushalten	18	Windkraft	42
Energieversorger und Regulierungsbehörde	20	Wasserkraft	44
Stromnetzgeldverordnung (StromNEV)	21		
Der EU-Emissionsrecht Handel	22		
Staatliche Energieförderprogramme	23		

04 NETZ- UND SPEICHERTECHNOLOGIEN	46	06 ENERGIEWENDE IM HAUSHALT	68
Netzausbau	48	Erneuerbare Energien, effiziente Haustechnik	70
Intelligente Zähler - Smart Meter	49	Wärmepumpen	71
Intelligente Netze - Smart Grids	52	Sole-Wasser-Wärmepumpe	73
Ausgereifte Speichersysteme	52	Wasser-Wasser-Wärmepumpe	73
Speicherung von Wärme	56	Luft-Wasser-Wärmepumpe	74
Speicherung von Wasserstoff	57	Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Splittechnologie	74
Elektroautos als Stromspeicher	58	Wärmepumpen-Gas-Hybridsystem	75
Staatliche Förderprogramme	58	Zeolith-Gas-Wärmepumpe	76
Energieforschung	59	Power-to-heat-Prinzip	78
		Solarthermie	78
05 ENERGIENUTZUNG UND -VERBRAUCH	60	Photovoltaik	80
Der Energieverbrauch in Deutschland	62	Brennwerttechnik	80
Deutschlands Energiemix	63	Pellet-Heizkessel	81
Energieverbrauch der Haushalte	66	Mini-Blockheizkraftwerke für größere Gebäude	82
Szenario 2050	66	Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerke für	83
		Ein- und Zweifamilienhäuser	
		Energieeffizientes Wohnen	85
		Dämmen und Modernisieren	86
		Energieeffizienz bei Elektrogeräten	87

INHALT

07 ENERGIE DER ZUKUNFT	88	08 HINTERGRÜNDE	114
Sonnenenergie	90	Akteure im Energiemarkt	116
Solarthermische Kraftwerke	90	Links und Inhalte	120
DESERTEC	92	Stichwortverzeichnis	128
Dünnschichtmodule	93	Tabellen und Grafiken	132
Solarzellen der Zukunft	94		
Umwandlung von Sonnenlicht in Biomasse	95	Umrechnungstabelle Energieeinheiten	
Potenzial der Windenergie	95	Impressum	
Onshore - Windenergie an Land	95		
Repowering	96		
Offshore - Windparks auf dem Meer	96		
Synthetisches Erdgas	97		
Erdgas als Brückentechnologie	99		
Geothermie	102		
Meeresenergie	102		
Biomasse	105		
Hybridkraftwerk	106		
Kohlekraftwerk mit CO ₂ -Abscheidung	107		
Virtuelle Kraftwerke	108		
Strom und Wärme aus der Brennstoffzelle	109		
Das Internet der Energie	110		

Mit den Beschlüssen vom 6. Juni 2011 hat die Bundesregierung die Grundlagen geschaffen, um die bereits auf den Weg gebrachte Energiewende zu beschleunigen. Hintergrund war die Reaktorkatastrophe von Fukushima und die Entscheidung, bis 2022 auf die Nutzung von Kernkraft zu verzichten.

// Foto: gettyimages



ENERGIEWENDE IN DEUTSCHLAND

01

Mit dem Energiekonzept und den Gesetzen zur Energiewende hat sich die Bundesrepublik ambitionierte Energie- und Klimaziele gesetzt. Im Mittelpunkt steht der Ausbau der erneuerbaren Energien.

// Foto: gettyimages



ANZAHL DER KERNKRAFTWERKE
BIS 2022

0

STROMERZEUGUNG AUS
ERNEUERBAREN ENERGIEN BIS 2050

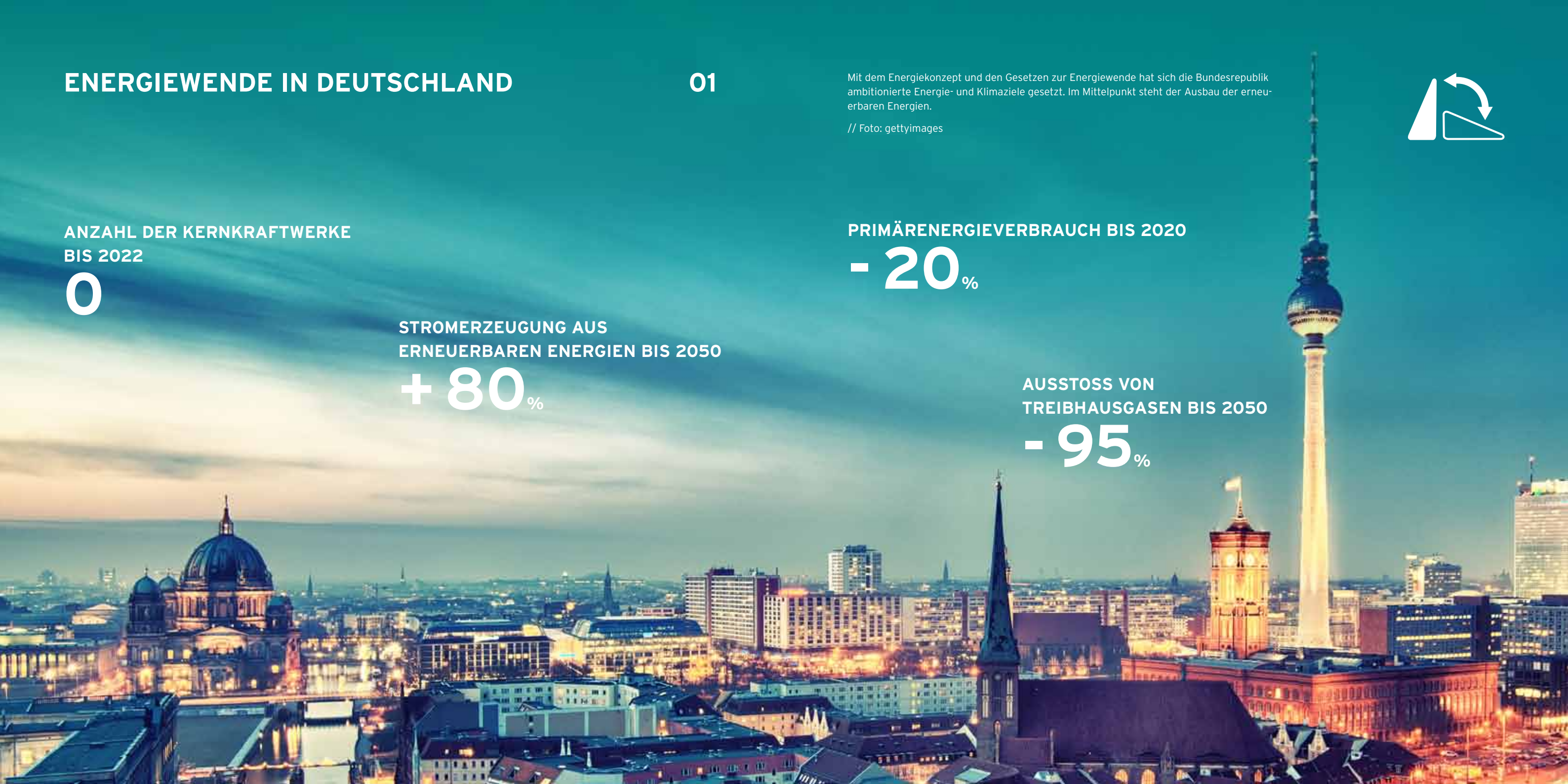
+ 80%

PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH BIS 2020

- 20%

AUSSTOSS VON
TREIBHAUSGASEN BIS 2050

- 95%



Kapitel 01

Energiekonzept 2010. Das Energiekonzept 2010 enthält 120 Einzelmaßnahmen, deren Ziel es ist, bis zum Jahr 2050 Treibhausgasemissionen zu senken, den Anteil der erneuerbaren Energien zu erhöhen und die Energieeffizienz zu steigern.

Energiepaket 2011. Das Energiepaket 2011 umfasst sechs Gesetze und eine Verordnung, die neben dem schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie bis zum Jahr 2022 vor allem die Beschleunigung des Netzausbaus sowie den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien betreffen.

Lastmanagement. Mit dem intelligenten Lastmanagement sollen Energieerzeugung und Energieverbrauch besser aneinander angepasst werden. In Phasen geringen Verbrauchs kann überschüssiger Strom beispielsweise in Batterien oder Pumpspeicherkraftwerken zwischengespeichert werden und wird dann bei wieder steigendem Bedarf ins Netz zurückgespeist.

Quellen: BMU, „Erneuerbare Energien“, 2011
BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012
BMW i, „Die Energiewende in Deutschland“, 2012

ENERGIEKONZEPT UND ENERGIEPAKET

Nach einem Beschluss des Bundestags im Jahr 2010 sollen in Deutschland erneuerbare Energien bis Mitte des Jahrhunderts den Hauptanteil der Energieversorgung stellen. Gleichzeitig soll die Bundesrepublik als wettbewerbsfähiger Industriestandort mit stabilen Energiepreisen erhalten bleiben.

Die Entscheidungen erfordern einen grundlegenden Umbau des Energiesystems. Die Voraussetzungen für diesen Umbau wurden mit dem **Energiekonzept 2010** und dem darauf basierenden **Energiepaket 2011** geschaffen.

Die Maßnahmen geben den Fahrplan vor, nach dem erneuerbare Energien Schritt für Schritt die konventionellen Energieträger ersetzen. Dabei wurde die Rolle der Kernenergie nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima im Jahr 2011 neu bewertet und entschieden, zeitnah aus der Kernenergienutzung auszusteigen. Im Rahmen einer Änderung des Atomgesetzes wurde der Ausstieg rechtsverbindlich festgelegt. Demnach soll bis spätestens Ende 2022 das letzte Kernkraftwerk vom Netz gehen (siehe Tabelle „Beschleunigter Atomausstieg“, Seite 9).

Die **integrierte Gesamtstrategie der Energiewende** sieht vor, die Stromnetze zügig auszubauen und zu modernisieren. Auch die Energieeffizienz soll mithilfe moderner Technologien gesteigert werden. Diese können dabei helfen, den Energiebedarf in Deutschland insgesamt zu senken. Dazu gehören ein intelligentes **Lastmanagement**, die Modernisierung der Kohle-, Öl- und Gaskraftwerke, verbrauchsreduzierte Produktionsprozesse in der Industrie, bessere Dämmungen von Gebäuden sowie der Einsatz innovativer Anlagentechnik im Wärmebereich (weitere Informationen siehe Kapitel 06 „Energiewende im Haushalt“).

AUSBAUZIELE BIS 2050

Mit dem Energiekonzept und den Gesetzen zur Energiewende (Energiepaket 2011, siehe Seite 8) hat sich die Bundesregierung ambitionierte **Klima- und Energieziele** gesetzt:

Demnach sollen im Bereich **erneuerbare Energien** bis 2020 Wind, Wasserkraft, Sonne, Erdwärme und Biomasse ein Drittel und bis 2030 die Hälfte der Stromerzeugung des deutschen Bruttostromverbrauchs liefern. Im Jahr 2050 sollen es mindestens 80 Prozent sein. Dabei ist geplant, den Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch folgendermaßen zu steigern: bis 2020 auf 18 Prozent, bis 2030 auf 30 Prozent, bis 2040 auf 45 Prozent und bis zum Jahr 2050 auf 60 Prozent.

Durch die **effizientere Nutzung von Energie** soll der Primärenergieverbrauch bis 2020 um 20 Prozent und bis 2050 um 50 Prozent gegenüber 2008 verringert werden.

Klimaschädliche Treibhausgase sollen bis 2020 um 40 Prozent und bis 2030 um 55 Prozent unter das Niveau von 1990 sinken. Bis 2050 soll Deutschland weitgehend frei von klimaschädlichen Gasen sein. Das erklärte Ziel liegt hier bei minus 80 bis 95 Prozent im Vergleich zu 1990.

ERNEUERBARE ENERGIEN: ZIELE DER BUNDESREGIERUNG

ZEITRAUM	ANTEIL AM STROMVERBRAUCH	ANTEIL AM BRUTTO- ENDENERGIEVERBRAUCH
bis spätestens*	Prozent	Prozent
2020	mind. 35	18
2030	mind. 50	30
2040	mind. 65	45
2050	mind. 80	60

BESCHLEUNIGTER ATOMAUSSTIEG	
Zeitpunkt	Kernkraftwerk
Bereits abgeschaltet	Biblis A, Biblis B, Neckarwestheim 1, Brunsbüttel, Isar 1, Unterweser, Philippsburg 1 und Krümmel
2015	Grafenrheinfeld
2017	Gundremmingen B
2019	Philippsburg 2
2021	Grohnde, Brokdorf und Gundremmingen C
2022	Isar 2, Neckarwestheim 2 und Emsland

Quelle: BMU, „Die Energiewende. Zukunft made in Germany“, 2012

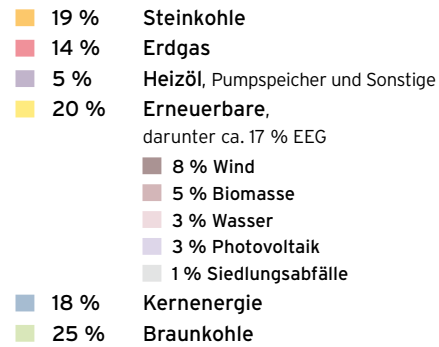
Bruttoendenergieverbrauch. Der Bruttoendenergieverbrauch beinhaltet die Energiemengen für den Eigenverbrauch der Energieumwandlung sowie Übertragungs- und Verteilungsverluste und fällt daher im Vergleich zum Endenergieverbrauch höher aus.

Primärenergie ist der rechnerisch nutzbare Energiegehalt all jener Energieträger, die in der Natur vorkommen und noch keiner Umwandlung unterworfen sind. Hierzu gehören fossile Energieträger (Stein- und Braunkohle, Erdöl und Erdgas), erneuerbare Energien und Uran.

*„bis spätestens“ bezieht sich nur auf die Spalte „Anteil am Stromverbrauch“

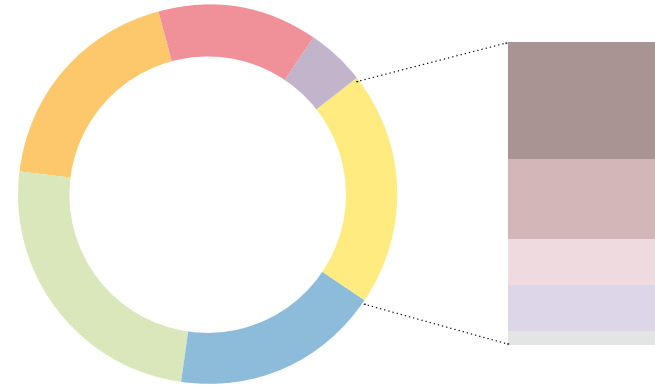
Quellen: BMU, „Erneuerbare Energien“, 2011
BMU, „Klimaschutz und Wachstum“, 2011
BMW i, „Die Energiewende in Deutschland“, 2012

BRUTTO-STROMERZEUGUNG NACH ENERGIETRÄGERN 2011



Rundungsbedingte Abweichungen

BRUTTO-STROMERZEUGUNG 2011 in Deutschland: 6,12 Mrd. Kilowattstunden*



Quellen: BDEW, AG Energiebilanzen, Stand Dezember 2011

*vorläufig

ENERGIE- UND KLIMAFONDS

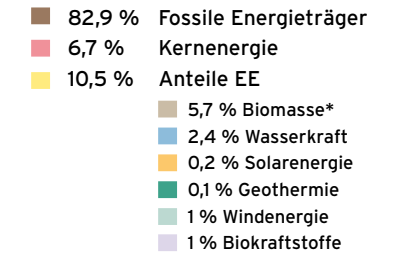
Zur Finanzierung der Energiewende wurde ein Sondervermögen in Form eines „Energie- und Klimafonds“ eingerichtet. Aus diesem Fonds wird beispielsweise das Geld für die CO₂-Gebäudesanierung, für Forschung und Entwicklung im Bereich erneuerbarer Energien und für Speichertechnologien bereitgestellt. Der Fonds wird unter anderem mit Einnahmen aus der Versteigerung von Emissionszertifikaten (siehe Seite 22 f) gespeist.

MONITORING

Im Oktober 2011 wurde der Monitoringprozess „Energie der Zukunft“ beschlossen. Mit ihm wird regelmäßig überprüft, ob die beschlossenen Maßnahmen des Energiekonzepts und des Energiepakets tatsächlich umgesetzt werden. Im Rahmen dieses Prozesses wird die Bundesregierung jedes Jahr einen Monitoringbericht und alle drei Jahre einen Fortschrittsbericht vorlegen.

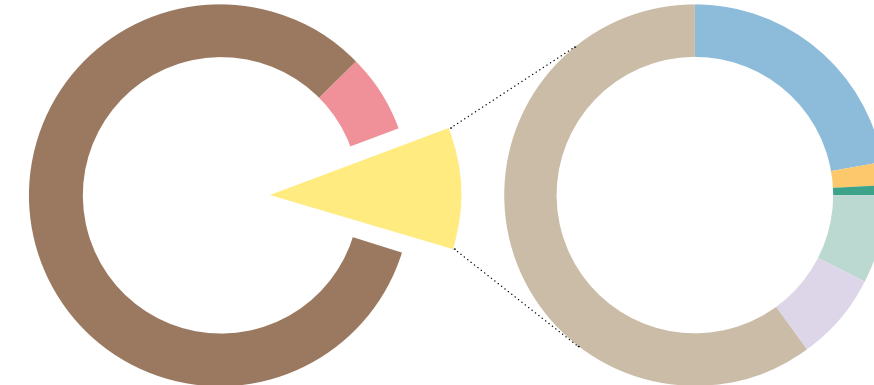
Quelle: BMWi, „Erneuerbare Energien in Deutschland“, 2012

STRUKTUR DES ENDENERGIE- VERBRAUCHS NACH ENERGIE- TRÄGERN IN DER EU, 2009



*inklusive biogenem Anteil des kommunalen Abfalls

Rundungsbedingte Abweichungen



Quelle: BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012 (nach ZSW)

DIE ENERGIEWENDE IM EUROPÄISCHEN KONTEXT

Auch in der Europäischen Union (EU) ist der Anteil der erneuerbaren Energien in den vergangenen Jahren kontinuierlich gestiegen. Um ihren Ausbau europaweit voranzutreiben, ist im Juni 2009 eine umfassende **EU-Richtlinie zur Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien** (Richtlinie 2009/28/EG) in Kraft getreten. Sie schreibt vor, dass in der EU bis zum Jahr 2020 der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch 20 Prozent betragen soll. Darüber hinaus enthält die Richtlinie für alle EU-Mitgliedsstaaten verbindliche nationale Ziele. So muss Deutschland bis zum Jahr 2020 seinen Anteil an erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch auf 18 Prozent steigern. 2010 wurden bereits elf Prozent erreicht. Für den Mobilitätsbereich gilt für alle Mitgliedsstaaten das Ziel, dass die erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2020 einen Anteil von zehn Prozent am Endenergieverbrauch beisteuern.

Um die Kooperation zwischen den Mitgliedsstaaten beim Ausbau erneuerbarer Energien weiter zu fördern, wurden mit der Richtlinie auch sog-

EUROPÄISCHE ZIELVORGABEN BIS 2020

- > Senkung der Treibhausgasemissionen um mindestens 20 Prozent gegenüber 1990
- > Energieeffizienzsteigerung auf 20 Prozent
- > Erreichen eines Anteils von 20 Prozent erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch

ENERGIE-ROADMAP 2050 KLIMASCHUTZZIELE BIS 2050	
Zeitraum	Emissionsminderung
bis 2020	25 Prozent
bis 2030	40 Prozent
bis 2040	60 Prozent
bis 2050	80 Prozent

Quelle: DGVN, „EU-Programme für mehr Klimaschutz und Energieeffizienz“, 2011

Quellen: BMU, „Erneuerbare Energien“, 2011
 BMWi, „Die Energiewende in Deutschland“, 2012

nannte **Kooperationsmechanismen** eingeführt. Sie erleichtern die EU-weite Zusammenarbeit, um nationale Ziele im Bereich erneuerbare Energien kosteneffizient umzusetzen – beispielsweise die Errichtung gemeinsamer Offshore-Windparks.

Darüber hinaus stellt ein langfristiger Entwicklungsfahrplan die europäische Energiepolitik auf eine verlässliche Grundlage. Dazu hat die EU-Kommission die sogenannte **Energie-Roadmap 2050** erarbeitet, die – wie das Energiekonzept der Bundesregierung – einen Ausblick bis 2050 vornimmt und den EU-Mitgliedstaaten Orientierung bei der Wahl ihres Energiemixes geben soll.

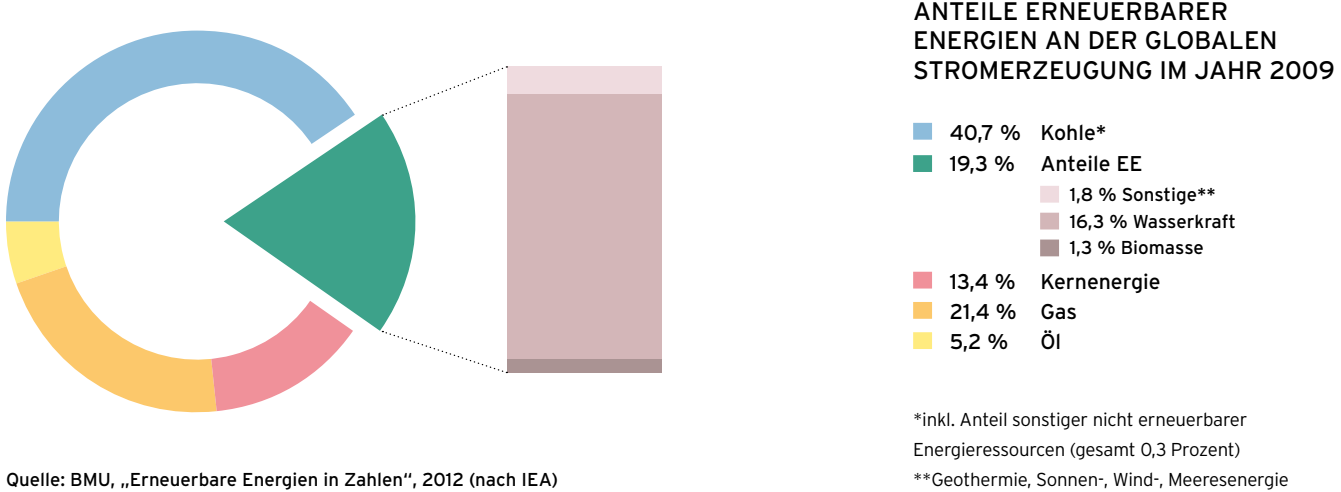
Globale Bedeutung der erneuerbaren Energien

Die Bedeutung erneuerbarer Energien wächst auch auf globaler Ebene. Überall auf der Welt soll ihr Anteil deutlich erhöht werden, um dem Klimawandel wirksam entgegenzusteuern. Dabei ist es das Ziel, die weltweiten Emissionen von Treibhausgasen um 50 Prozent bis zum Jahr 2050 (im Vergleich zu 1990) zu reduzieren.

Um die nachhaltige Energieversorgung global entwickeln zu können, hat Deutschland gemeinsam mit 50 anderen Ländern die Initiative zur Gründung der **Internationalen Agentur für Erneuerbare Energien (IRENA)** ergriffen. Diese internationale Regierungsorganisation wurde 2009 in Bonn gegründet. Ihr Statut wurde mittlerweile von über 80 Staaten ratifiziert.

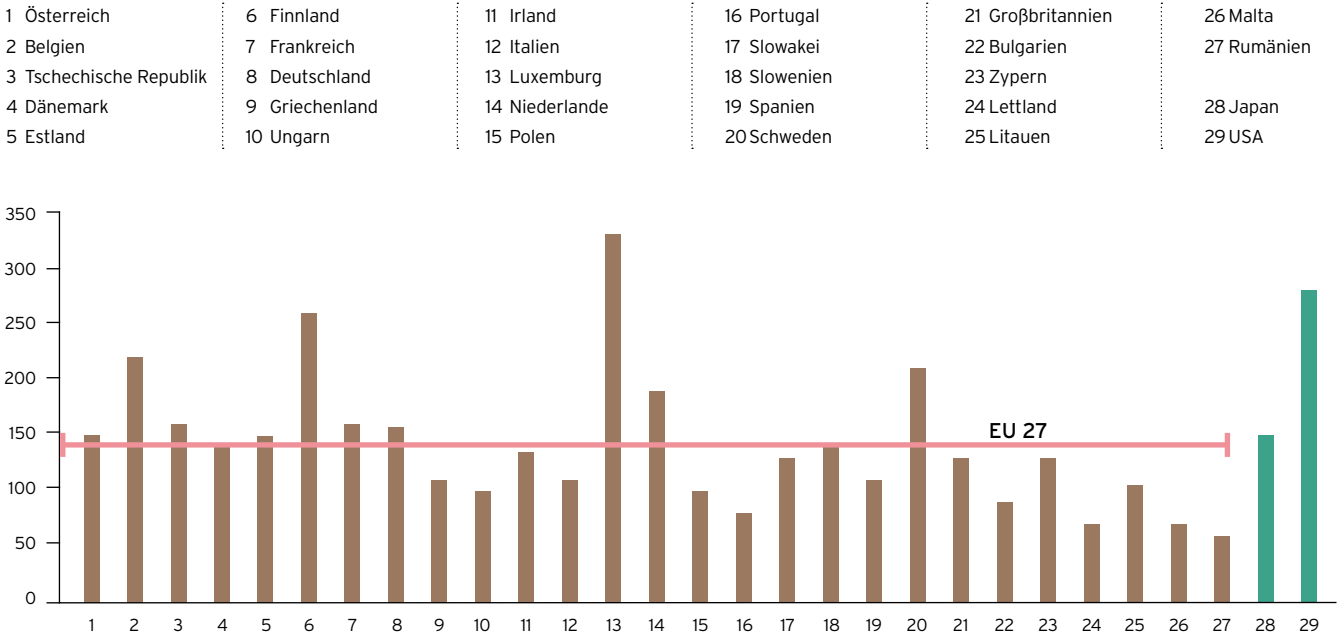
Hauptziel der IRENA ist es, Industrie- und Entwicklungsländer beim Ausbau der erneuerbaren Energien zusammenzubringen und auf gemeinsame Ziele zu verständigen. Damit ist IRENA die erste Organisation, die sich international auf den Beitrag der erneuerbaren Energien zur Lösung globaler Herausforderungen wie Energiesicherheit, Klima- und Umweltschutz sowie Armutsbekämpfung konzentriert.

Quelle: BMU, „Erneuerbare Energien“, 2011



Quelle: BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012 (nach IEA)

Primärenergieverbrauch 2009 je Einwohner im internationalen Vergleich (in GigaJoule)



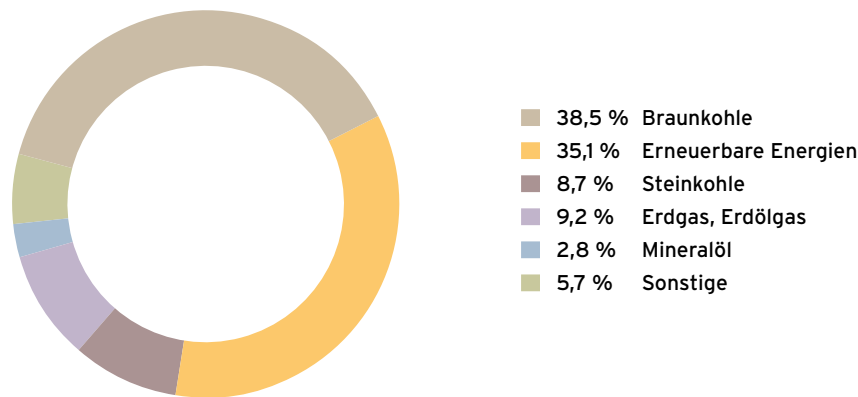
Quelle: BMWi, „Die Energiewende in Deutschland“, 2012 (nach IEA)

Für die privaten Verbraucher ist die Energiekostenbelastung in den letzten Jahren deutlich angestiegen. Ihre Belastung hat sich seit 2000 von rund 2.295 Euro auf über 3.900 Euro pro Jahr erhöht. Bezogen auf das Nettoeinkommen ist der Anteil der Energiekosten in diesem Zeitraum von über fünf auf sieben Prozent gestiegen.

// Foto: gettyimages



ANTEILE DER ENERGIETRÄGER AN DER PRIMÄRENERGIE-GEWINNUNG IN DEUTSCHLAND 2011



Quelle: AGE, „Energieverbrauch 2011“, 2012

Kapitel 02

UMBAU DER ENERGIEMÄRKTE

Die erneuerbaren Energien werden bis zum Jahr 2050 zu einer tragenden Säule der Energieversorgung in Deutschland ausgebaut. Damit der Umbau klappt und Deutschland ein weltweit wettbewerbsfähiger Wirtschaftsstandort bleibt, muss die Energiewende auch ökonomisch effizient umgesetzt werden. Die Energieversorgung in Deutschland muss zuverlässig und bezahlbar bleiben. Deshalb werden auch die Energiemärkte einen grundlegenden Wandel erleben.

Quelle: BMWi, „Die Energiewende in Deutschland“, 2012

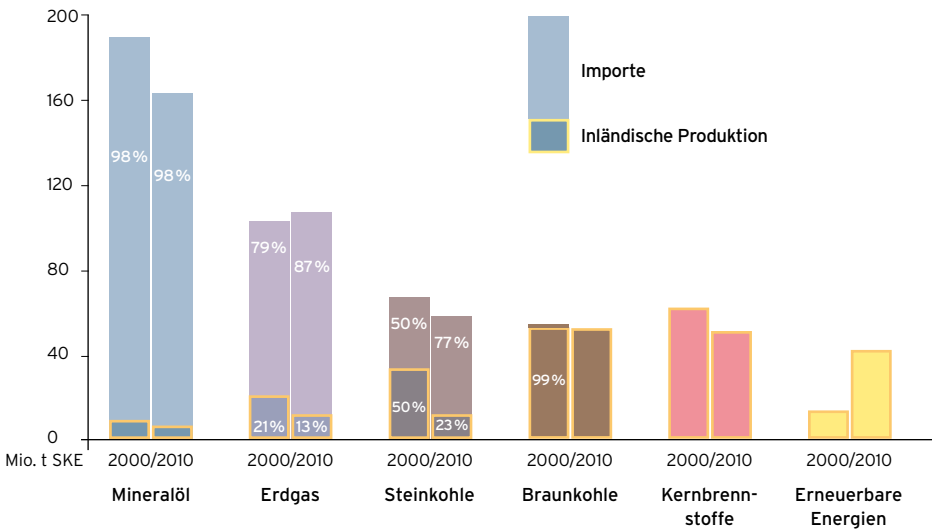
ENERGIEKOSTEN UND IMPORTABHÄNGIGKEIT

Die Energiekosten lagen in Deutschland 2011 ersten Schätzungen zufolge bei 124 Milliarden Euro und damit um etwa 20 Prozent höher als im Vorjahr (zum Beispiel Rohölimportpreise gut 30 Prozent, Importpreise für Erdgas gut 25 Prozent, Strompreise für Haushalte um 6,5 Prozent höher als 2010). Damit wurde auch der bisherige Höchstwert von 2008 übertroffen. Insgesamt haben

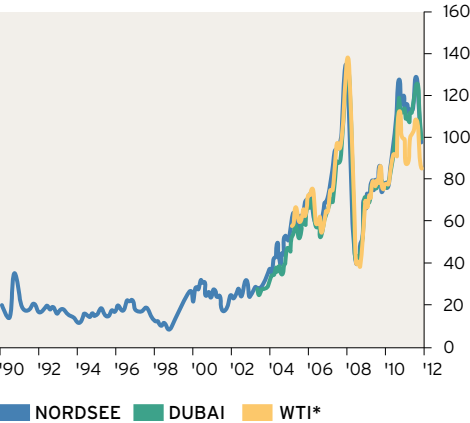
Quellen: BMWi, „Energiedaten“, 2012
BMWi, „Die Energiewende in Deutschland“, 2012

sich die Energieausgaben in den vergangenen zwölf Jahren nahezu verdoppelt. Im Jahr 2000 lagen diese lediglich bei 59 Milliarden Euro. Wesentliche Treiber für den Energiepreisanstieg der vergangenen Jahre waren die stark gestiegenen Preise für Primärenergieträger – insbesondere für Erdöl (siehe Abbildung „Rohölpreis in US-Dollar pro Barrel“) und Erdölprodukte, Steinkohle und Erdgas. Deutschland ist angesichts begrenzter eigener Energiereserven zu einem sehr großen Teil auf Energieimporte aus anderen Staaten angewiesen und hat aus diesem Grund nur bedingt Einfluss auf die Entwicklung der internationalen Preise für Energierohstoffe. 2010 stammten drei Viertel der Energieträger aus dem Ausland. Deutschland importierte 98 Prozent seines Erdölbedarfs, 87 Prozent des Erdgases und 77 Prozent der Steinkohle. Diese Abhängigkeit wird sich durch den Rückgang heimischer Energiereserven (Ausstieg aus der Steinkohleförderung bis 2018, zurückgehende Erdgas- und Ölförderung) vermutlich in Zukunft noch erhöhen.

IMPORTABHÄNGIGKEIT VERSCHIEDENER ENERGIETRÄGER



ROHÖLPREIS IN US-DOLLAR PRO BARREL



Quelle: IEA, „Key World Energy Statistics 2012“, 2012

***West Texas Intermediate (WTI)** ist ein Rohöl aus den USA. Durch seinen geringen Schwefelgehalt eignet es sich besonders für die Mineralölraffinierung und die Herstellung von Benzin. Der Preis pro Barrel (159 Liter) entspricht in der Regel dem der leichteren Nordseesorte Brent Crude.

Vergleich des Einsatzes der Primärenergieträger und des Verhältnisses der Eigenversorgung und des Importanteils 2000 und 2010 für Deutschland (nach AGEB 2011, LBEG 2011)

DERA > Deutsche Rohstoffagentur
www.deutsche-rohstoffagentur.de

Quelle: DERA, „Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2011“, 2011 (nach AGEB 2011, LBEG 2011)

DIE ÖLPREISBINDUNG

Seit den 1960er Jahren folgen die Erdgasimportpreise in Deutschland den Preisentwicklungen des Rohöls – zeitlich verzögert um etwa ein halbes Jahr. Hintergrund ist eine internationale Branchenvereinbarung zwischen ausländischen Produzenten, deutschen Importeuren und Gasversorgungsunternehmen. Ursprünglich sollte auf diese Weise die Förderung des „neuen“ Energieträgers Erdgas unterstützt werden: Die Produzenten, meist zugleich Ölförderer, sicherten so ihre hohen Investitionen ab und schlossen aus, sich mit dem neuen Produkt selbst Konkurrenz zu machen. Das Bundeskartellamt und Verbraucherschutzorganisationen kritisieren die Ölpreisbindung seit Langem als überholt, zumal sie für eine Reihe anderer Staaten nicht gegeben ist. Dabei soll allein die Ölpreisbindung Grund für den starken Preisanstieg beim Gas gewesen sein. Große Gasexporteure wie zum Beispiel Gazprom in Russland bestehen weiterhin auf der Ölpreisbindung. Sie argumentieren, dass sie den Verbrauchern Versorgungssicherheit gewährleisten und zudem Preissenkungen garantieren, falls der Ölpreis wieder fällt.

ZUSAMMENSETZUNG DER ENERGIEPREISE

Der Rohstoffhandel ist nur einer von vielen Faktoren, welche die Preise auf dem Energiemarkt beeinflussen. In die Preise für **Endenergie** fließen neben Beschaffungs- und Transportkosten auch Steuern, Netznutzungsgebühren und staatlich verordnete Sonderbelastungen ein.

Endenergie bezeichnet die Energiemenge, die – zum Beispiel in Form von Strom – tatsächlich beim Verbraucher ankommt.

PREISBILDUNG BEI DEN PRIVATEN HAUSHALTEN

Die Energiekosten für private Verbraucher setzen sich je nach Energieträger und Verbrauchergruppe unterschiedlich zusammen. So tragen die privaten Haushalte beim **Erdgas** einen deutlich höheren Netznutzungs- und Personalkostenanteil als die Industrie. Insgesamt lagen die Erdgaspreise bei den Verbrauchern im Jahr 2011 um 4,5 Prozent höher als im Jahr zuvor. Die Abhängigkeit von Weltmarktpreisen ist bei Erdgas im Vergleich zu anderen Energieträgern gering.

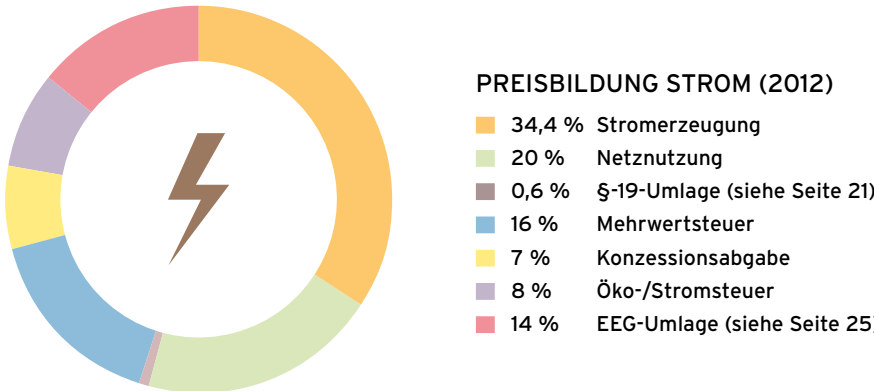
Vergleichszahlen aus den vergangenen Jahren finden Sie in den Vaillant Veröffentlichungen „Energie kompakt 01“ und „Energie kompakt 02“.

Die Preise für **Ölprodukte** in Deutschland folgten 2011 weitgehend den höheren Rohölkosten und der internationalen Verteuerung für Fertigprodukte. Für Kraftstoffe und Heizöle mussten die Verbraucher im Jahr 2011 die höchsten Preise seit Gründung der Bundesrepublik bezahlen. Wegen des unterschiedlichen Steueranteils war der Anstieg nicht einheitlich: Der Preis für Super-Benzin nahm im Jahresdurchschnitt um 9,8 Prozent zu, während die Preise für Diesel um 15,9 Prozent, für leichtes Heizöl um 24,8 Prozent sowie für schweres Heizöl um 29,6 Prozent anzogen.

Die **Strompreise** stiegen 2011 um 6,5 Prozent. Hier wirkte sich insbesondere die von 2,05 Cent auf 3,53 Cent/kWh gestiegene EEG-Umlage (siehe Seite 25) preisstigernd aus. Der Steueranteil erreichte damit den Höchststand von 45 Prozent (2010 waren es 41 Prozent). Gegenüber 1998 haben sich die Steuern und Abgaben am Strompreis nahezu verdreifacht. Der Strompreis ohne die staatlich verursachten Lasten sank 2011 um 0,6 Prozent und lag damit nur um sieben Prozent über dem Wert von 1998.

Quelle: AGEB, „Energieverbrauch 2011“, 2012

ENERGIEPREISBILDUNG FÜR PRIVATE HAUSHALTE

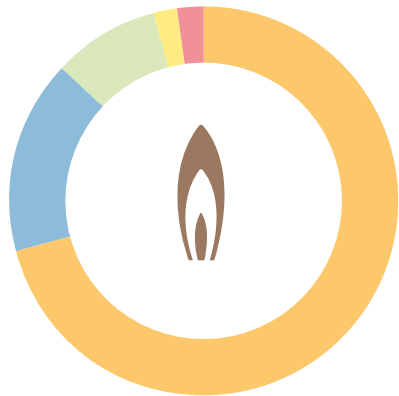


Quelle: BDEW, 2012

BDEW > Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
www.bdew.de

MWV > Mineralölwirtschaftsverband e.V.
www.mwv.de

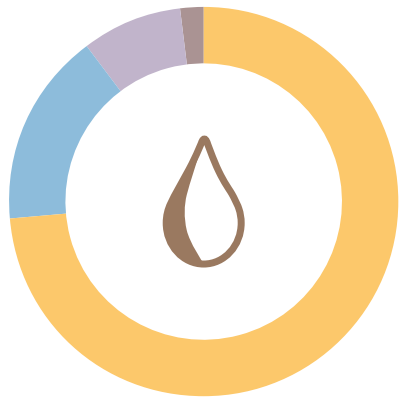
Quelle: BDEW, 2012



PREISBILDUNG ERDGAS (2011)

- 71 % Import/Produktion, Transport, Speicherung, Verteilung
- 16 % Mehrwertsteuer
- 9 % Erdgassteuer
- 2 % Konzessionsabgabe
- 2 % Anteilige Förderabgabe

*Terminus der Mineralölindustrie für Preisgebung des Rohöls in Rotterdam



PREISBILDUNG LEICHTES HEIZÖL (2012)

- 73,8 % Produktpreis*
- 16 % Mehrwertsteuer
- 8,4 % Mineralölsteuer
- 1,8 % Deckungsbeitrag

Quelle: MWV, 2012

BNetzA > Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen
www.bundesnetzagentur.de

dena > Deutsche Energie-Agentur GmbH
www.dena.de

Quellen:
dena, „Endbericht. Integration EE“, 2012
Energie Informationsdienst, www.eid-aktuell.de

ENERGIEVERSORGER UND REGULIERUNGSBEHÖRDE

Im deutschen Energiesektor sind regionale Versorger und Stadtwerke sowie die vier großen Verbundunternehmen E.ON, RWE, Vattenfall und EnBW tätig. Diese vier Großkonzerne produzieren über 70 Prozent des in Deutschland erzeugten Stroms. Dennoch sank ihr Anteil an den installierten Kraftwerkskapazitäten zwischen 2006 und 2010 von 65 auf 54 Prozent. Von den insgesamt in Deutschland installierten Kraftwerkskapazitäten in Höhe von 166.509 Megawatt erzeugten sie 89.655 Megawatt. Verantwortlich für

GRÖSSTE ENERGIEVERSORGER WELTWEIT 2012 NACH MARKTWERT

UNTERNEHMEN	LAND	UMSATZ IN MIO. US-\$
GDF Suez	Frankreich	58,30
E.ON	Deutschland	49,10
EDF	Frankreich	45,70
Southern Co	USA	38,40
Iberdrola	Spanien	36,00
ENEL	Italien	35,40
Exelon	USA	33,10
RWE Group	Deutschland	29,90
Dominion Resources	USA	28,70
NTPC	Indien	28,40

Quelle: statista, 2012, www.statista.com

die überregionale Versorgung sind in Deutschland vier Übertragungsnetzbetreiber. Das gesamte Übertragungsnetzsystem erstreckt sich auf einer Länge von 1,6 Millionen Kilometern.

Seit 2006 beaufsichtigt und reguliert die Bundesnetzagentur (**BNetzA**) den deutschen Strom- und Gasmarkt. Sie ergänzt die Landesregulierungsstellen, die für regionale Versorger mit bis zu 100.000 Kunden zuständig sind. Die Bundesbehörde kontrolliert und genehmigt die Netznutzungsentgelte für die Durchleitung von Strom und Gas. Darüber hinaus stellt sie den freien Zugang der Lieferanten und Verbraucher zu den Energieversorgungsnetzen sicher.

UMLAGE FÜR STROMKUNDEN NACH § 19 DER STROMNETZGELDVERORDNUNG (STROMNEV)

Energieintensive Industrieunternehmen, die jährlich mindestens 7.000 Benutzungsstunden aufweisen und mehr als zehn Gigawattstunden Strom verbrauchen, sind seit 2012 von den Netzentgelten befreit. Dies soll ihre

FAKTOREN DER ENERGIEPREISBILDUNG

Die Endenergiepreise setzen sich aus den folgenden Kostenbestandteilen zusammen:

STROM

- Stromerzeugung/-beschaffung
- Netznutzungsentgelte
- Konzessionsabgabe
- Stromsteuer
- EEG*-Einspeisevergütung
- KWK**-Umlage
- Mehrwertsteuer
- §-19-Umlage

ERDGAS

- Gasbeschaffung/-gewinnung
- Marge, Transport- und Verteilerkosten
- Mineralöl-/Ökosteuern
- Netznutzungsentgelte
- Personalkosten etc.

KRAFTSTOFF (TANKSTELLE)

- Produkt-/Warenpreis
- Mineralölsteuer
- Mehrwertsteuer
- Erdölbevorratungsabgabe
- Marge und Verarbeitungskosten, Transport, Logistik

*EEG: Erneuerbare-Energien-Gesetz

**KWK: Kraft-Wärme-Kopplung

www.netzentwicklungsplan.de

Wettbewerbsfähigkeit trotz steigender Energiekosten sichern. Alle anderen Stromverbraucher zahlen seit dem 1. Januar 2012 gemäß § 19 StromNEV eine zusätzliche Abgabe, mit der sie die Befreiung der Großunternehmen finanzieren. Die §-19-Umlage wird allen Stromversorgungsunternehmen von den Netzbetreibern neben den Netznutzungsentgelten in Rechnung gestellt. Diese reichen die Kosten an kleine Unternehmen und Endverbraucher weiter. Abgerechnet wird in Cent je verbrauchter Kilowattstunde.

DER EU-EMISSIONSRECHTEHANDEL

Um die Klimaschutzziele des Kyoto-Protokolls zu erreichen, führte die EU 2005 den europäischen Emissionsrechtehandel ein: Zu Beginn jeder Handelsperiode legen die EU-Staaten fest, welche Gesamtmenge an Treibhausgasen emissionshandelspflichtige Anlagen in einem bestimmten Zeitraum ausstoßen dürfen. Dabei lassen sie die Frage offen, wer wo wieviel mindert, um einen Anreiz zu schaffen, den CO₂-Ausstoß möglichst kostengünstig zu reduzieren.

In jeder Handelsperiode wird die erlaubte Emissionsmenge reduziert. Die erste Periode umfasste die Jahre 2005 bis 2007, die zweite die Jahre 2008 bis 2012. Mit Beginn der dritten Handelsperiode 2013 wird der Emissionshandel europaweit harmonisiert, um gleiche Wettbewerbsbedingungen zu schaffen. Dabei wird der überwiegende Teil der Emissionszertifikate nicht mehr kostenlos vergeben, sondern versteigert. Erreicht ein Unternehmen die Reduktionsziele, kann es nicht benötigte Zertifikate am Markt verkaufen. Alternativ können Zertifikate am Markt zugekauft werden, wenn eigene Minderungsmaßnahmen zu teuer würden.

Über diesen Mechanismus sollen die Emissionen von Treibhausgasen bis 2020 schrittweise um 21 Prozent gegenüber 2005 gesenkt werden. Dabei

nimmt die Menge der Emissionsberechtigungen jährlich um 1,74 Prozent ab. Diese Verknappung senkt den Ausstoß klimaschädlicher Treibhausgase kontinuierlich. Gleichzeitig steigt der Anreiz für Unternehmen, in klimaschonende Technologien und verbesserte Prozesse zu investieren.

STAATLICHE ENERGIEFÖRDERPROGRAMME

In Deutschland werden erneuerbar erzeugter Strom und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) staatlich gefördert. Dabei zielt das im Jahr 2000 eingeführte **Erneuerbare-Energien-Gesetz** (EEG) darauf ab, Strom aus erneuerbaren Energien (EE) nicht für den Eigenbedarf lokal zu verbrauchen, sondern vorrangig in das Stromnetz einzuspeisen und diese Einspeisung über einen Zeitraum von 20 Jahren zu vergüten. Dadurch ist der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung stark gestiegen. Lag er 2001 noch bei 6,7 Prozent, stieg er bis 2011 auf ca. 20 Prozent.

Mit der **EEG-Novelle** (als Teil des Energiepakets 2012 in Kraft getreten) soll der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2020 auf 35 Prozent und bis 2050 auf 80 Prozent gesteigert werden. Die Einspeisevergütung wird über die sogenannte **EEG-Umlage** finanziert. Sie betrug 2012 3,59 ct/kWh und wird im Jahr 2013 auf 5,3 ct/kWh steigen (siehe Abbildung Seite 25).

Mit steigendem Anteil der erneuerbaren Energien wird es notwendig, dass die EE-Anlagen ihren Strom bedarfsgerechter zur Verfügung stellen. Entsprechende Anreize schaffen die Marktprämie und die **Flexibilitätsprämie** der EEG-Novelle. Die Marktprämie kann von den Betreibern monatsweise genutzt werden, um ihren Strom auf dem Markt gewinnbringender anzubieten. Sie umfasst einen finanziellen Ausgleich für die Differenz zwischen dem Marktwert des Stroms und der festen Einspeisevergütung sowie eine Management-

Marktanreizprogramm. Mit dem Marktanreizprogramm fördert der Bund erneuerbare Energien, die Wärme erzeugen, wie etwa die Solarthermie. Die dafür vergebenen Mittel stammen aus Steuereinnahmen und aus der Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, die aus der Versteigerung von Emissionszertifikaten (siehe Seite 22 f) finanziert wird.

prämie. Mit der Flexibilitätsprämie wird die bedarfsgerechte Einspeisung von Strom aus Biogasanlagen unterstützt. Auch das **Grünstromprivileg** wurde durch die EEG-Novelle marktnäher gestaltet. Auf den Sektor Wärme- und Kälteerzeugung entfällt mehr als die Hälfte der in Deutschland verbrauchten Endenergie. Damit kommt dem Ausbau der erneuerbaren Energien im Wärme- und Kältemarkt eine zentrale Rolle zu. Maßgebliches Instrument zur Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien im Wärmemarkt ist das **Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)** im Zusammenspiel mit dem **Marktanreizprogramm (MAP)**. Das Wärmegesetz ist am 1. Januar 2009 in Kraft getreten und wurde 2011 zur Umsetzung europarechtlicher Vorgaben novelliert.

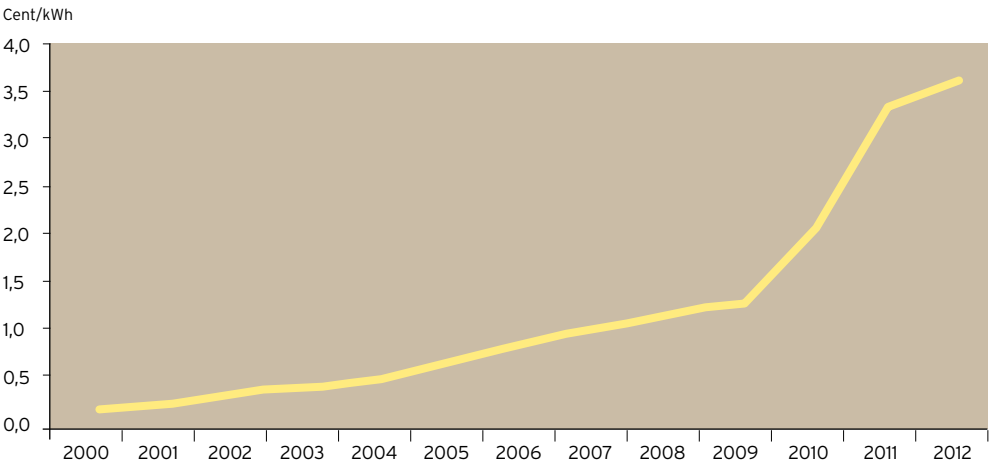
Das **KWK-Gesetz** (Kraft-Wärme-Kopplung) zielt darauf ab, den Anteil der KWK-Anlagen an der Stromerzeugung auf 25 Prozent zu erhöhen. Das Gesetz fördert die Modernisierung sowie den Ausbau der KWK-Stromerzeugung durch eine Abnahmeverpflichtung der Netzbetreiber sowie durch Zuschläge zu dem als üblich anerkannten Marktpreis. Diese Zuschläge werden nach Effizienz der Anlagen differenziert, zeitlich befristet, degressiv ausgestaltet und ausschließlich auf die zertifizierte KWK-Strommenge gewährt. Ähnlich wie beim EEG werden die Zuschläge über eine Umlage auf alle Stromverbraucher finanziert. Dabei sehen sowohl EEG als auch KWK-Gesetz eine Sonderregelung vor, welche die Belastungen stromintensiver Unternehmen begrenzt.

Quellen:
BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012
BMW, „Die Energiewende in Deutschland“, 2012

GRÜNSTROMPRIVILEG

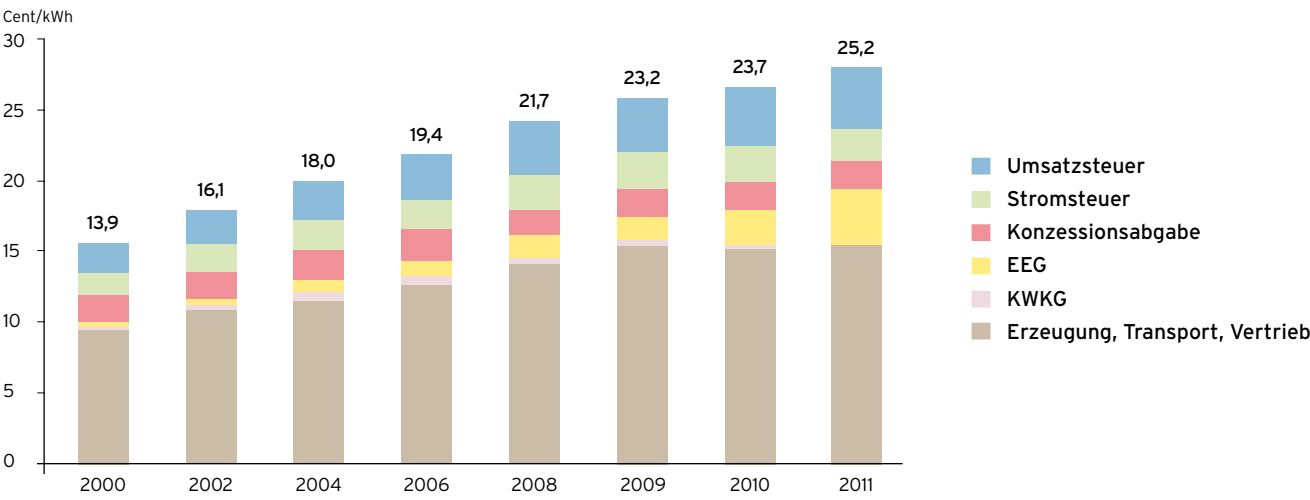
Stromlieferanten werden von der Pflicht zur Zahlung der EEG-Umlage befreit, wenn mehr als 50 Prozent des Stroms, den sie an Endverbraucher absetzen, durch EEG-vergütungsfähige Anlagen erzeugt werden.

ENTWICKLUNG DER EEG-UMLAGE 2000-2012



Quelle: BMWi, „Die Energiewende in Deutschland“, 2012

KOSTENANTEILE FÜR EINE KILOWATTSTUNDE STROM FÜR HAUSHALTSKUNDEN



Quelle: BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012

Rundungsbedingte Abweichungen

Sonnenenergie ist eine nahezu unerschöpfliche Energiequelle, die noch geschätzte vier Milliarden Jahre zur Verfügung steht. Damit übersteigt das Angebot den Bedarf der Menschen bei Weitem.

// Foto: gettyimages



SONNENENERGIE, DIE TÄGLICH
AUF DIE ERDOBERFLÄCHE TRIFFT:

960 BILLIONEN
KILOWATTSTUNDEN

POTENZIAL ZUR DECKUNG
DES WELTENERGIEBEDARFS:

180 JAHRE*

*durch nur einen Sonnentag

Kapitel 03

BRENNSTOFFE UND ENERGIETRÄGER

Die Energiewirtschaft unterscheidet drei Primärenergiequellen: fossile Brennstoffe, regenerative Energie und Nuklearbrennstoffe.

Die **fossilen Energielieferanten** Erdöl, Erdgas und Kohle decken derzeit mit einem Anteil von 78,7 Prozent den größten Teil des Primärenergiebedarfs in Deutschland ab. Zur Stromproduktion sind sie technisch gut nutzbar, da sie sich in den Kraftwerken einfach regeln und rasch an den Bedarf anpassen lassen. Die Verbrennung fossiler Energieträger gilt wegen der hohen CO₂-Emissionen als Hauptverursacher des durch Menschen bedingten Klimawandels. Hohe Preise und weltweite Verknappung zwingen darüber hinaus langfristig zur Nutzung anderer Energiequellen sowie zu einer effizienteren Umwandlung von Primärenergie in Wärme oder Strom. Im Zuge der Energiewende werden deshalb konventionelle Energieträger Schritt für Schritt durch regenerative Energieträger ersetzt.

Regenerative Energien sind Quellen, die auf der Erde nahezu unbegrenzt zur Verfügung stehen, weil natürliche Kreisläufe sie ständig erneuern. Zu ihnen zählen Sonnenstrahlung, Wind, Wasser und Erdwärme. Holz und weitere Biomasse gehören ebenfalls zu den sogenannten erneuerbaren Energien. Heute werden bereits 10,9 Prozent des Primärenergieverbrauchs und 20,3 Prozent des Bruttostromverbrauchs durch klimaneutrale Energiequellen abgedeckt. Die EEG-Novelle sieht vor, dass sich der Anteil regenerativer Energien am deutschen Bruttostromverbrauch bis 2020 auf mindestens 35 Prozent und bis 2050 auf mindestens 80 Prozent erhöhen soll. Zudem werden erneuerbare Energien durch das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz sowie das Marktanzreizprogramm finanziell unterstützt (siehe auch Seite 24).

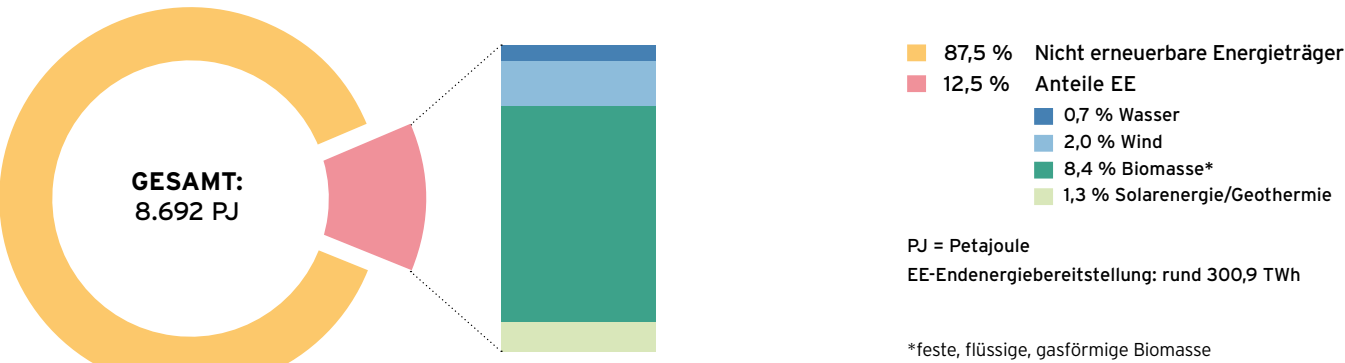
AGEB > Arbeitsgemeinschaft
Energiebilanzen e.V.
www.ag-energiebilanzen.de

Quellen: AGEb, „Energieverbrauch 2011“, 2012
BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012
BMWi, „Die Energiewende in Deutschland“, 2012
BMWi, „Energiedaten“, 2012

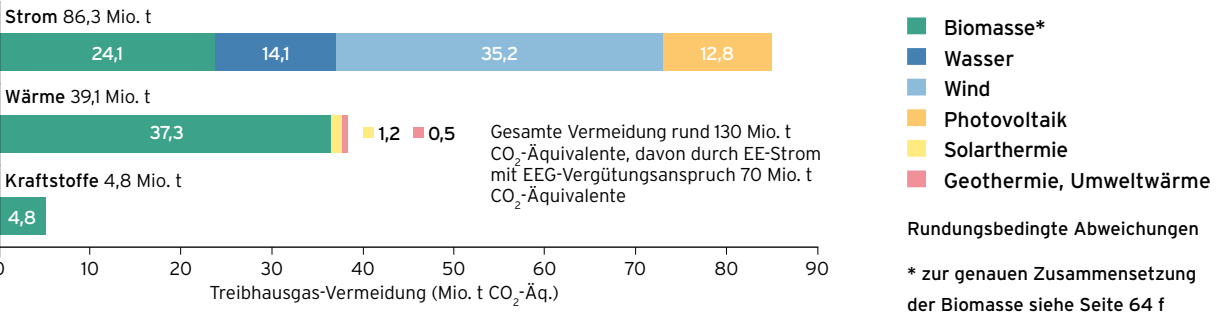
Nukleare Energie wird aus den spaltbaren Metallen Uran und Plutonium gespeist, welche für Brennstäbe in Kernkraftwerken genutzt werden. Sie deckt derzeit 8,8 Prozent des deutschen Primärenergiebedarfs. Nach der Katastrophe von Fukushima hat sich Deutschland entschieden, bis 2022 aus der Kernenergie auszusteigen. Die sieben ältesten Kernkraftwerke sowie das Kernkraftwerk Krümmel sind seit dem Frühjahr 2011 bereits dauerhaft vom Netz genommen worden. Die neun verbleibenden Kernkraftwerke werden bis 2022 schrittweise abgeschaltet (siehe auch Seite 9).

Quelle: BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012

ANTEIL DER ERNEUERBAREN ENERGIEN AM GESAMTEN ENDENERGIEVERBRAUCH IN DEUTSCHLAND 2011



VERMIEDENE TREIBHAUSGAS-EMISSIONEN DURCH ERNEUERBARE ENERGIEN IN DEUTSCHLAND 2011





VORTEILE

- > weltweite Kohleressourcen reichen über 1.000 Jahre
- > technisch gut nutzbar
- > Kohlestrom benötigt keine Schattenkraftwerke (siehe Seite 36)

NACHTEILE

- > hohe CO₂-Emissionen
- > hohe Umweltschäden durch Tagebau (Braunkohle)
- > Abbau verbraucht ca. 10 Prozent der erzeugten Energie

Umweltbundesamt >

www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de

Quelle zu Kohle: BMWi, „Energiedaten“, 2012

DERA > Deutsche Rohstoffagentur

www.deutsche-rohstoffagentur.de

Quelle zu Erdöl: BMWi, „Energiedaten“, 2012
DERA, „Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2011“, 2011

KOHLE

Kohle (Braun- und Steinkohle) ist eine der wichtigsten Energiequellen der Welt. In Deutschland deckten im Jahr 2011 Kohlekraftwerke 24,3 Prozent des Energiebedarfs. Ausgehend vom weltweiten Energiebedarf des Jahres 2006 reichen die Braunkohlereserven der Erde noch mindestens 320 Jahre (Steinkohle etwa 150 Jahre). Nimmt man die noch nicht erschlossenen Kohleressourcen hinzu, so schätzt man die Reserven auf mehr als 1.000 Jahre. Die energiereichere Steinkohle wird unter Tage in bis zu 1.500 Meter tiefen Stollen oder Schächten abgebaut. Braunkohle liegt dichter an der Erdoberfläche und wird mithilfe von Braunkohlebaggern im Tagebau bis zu einer Tiefe von 450 Metern großflächig abgetragen.

Kohlekraftwerke erhitzen durch die Verbrennung von Kohle Wasser und erzeugen Dampf, der Turbinen antreibt. Diese wiederum treiben Generatoren an, die elektrischen Strom erzeugen. Moderne Kohlekraftwerke erreichen einen Wirkungsgrad von 43 Prozent (Braunkohle) bis 46 Prozent (Steinkohle) und sind wegen ihrer gut steuerbaren Stromproduktion für die Sicherung von Grund- und Mittellast im Stromnetz bislang unverzichtbar. Die Effizienz von Kohlekraftwerken könnte über Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) weiter steigen. Wegen der meist abgelegenen Standorte der Kraftwerke ist die Nutzung der entstehenden Abwärme problematisch. Lange Transportwege verursachen hohe Wärmeverluste.

Im Hinblick auf den Klimawandel steht der Kohlestrom wegen der hohen CO₂-Emissionen in der Kritik. Mit neuen Technologien soll das CO₂ flüssig oder als „Trockeneis“ unter der Erde eingelagert werden und auf diese Weise nicht mehr in die Atmosphäre gelangen. Der Aufwand für diese Speicherung von CO₂ ist heute noch immens und kostenintensiv.

ERDÖL

Erdöl ist ein Gemisch unterschiedlicher Kohlenwasserstoffe und wird über Pumpen aus bis zu 2.500 Metern Tiefe gefördert. Das Rohöl wird in Raffinerien hauptsächlich zu Kraftstoffen und Schmiermitteln verarbeitet und dient als Ausgangsstoff für viele Kunststoffe und Medikamente. Erdöl deckt sowohl in Deutschland als auch weltweit 34 Prozent des Primärenergiebedarfs. Wegen der einfachen Handhabung wird Erdöl überwiegend als Treibstoff in Verbrennungsmotoren für Transport und Mobilität verbraucht. Außerdem erzeugen Haushalte mit Heizöl Raum- und Wasserwärme. Öl verbrennt zwar sauberer als Kohle, ist aber trotzdem sehr CO₂- und ohne Abgasnachbehandlung auch schadstoffintensiv. Die Ölreserven reichen laut BP-Weltenergiebericht 2012 noch maximal 54 Jahre.

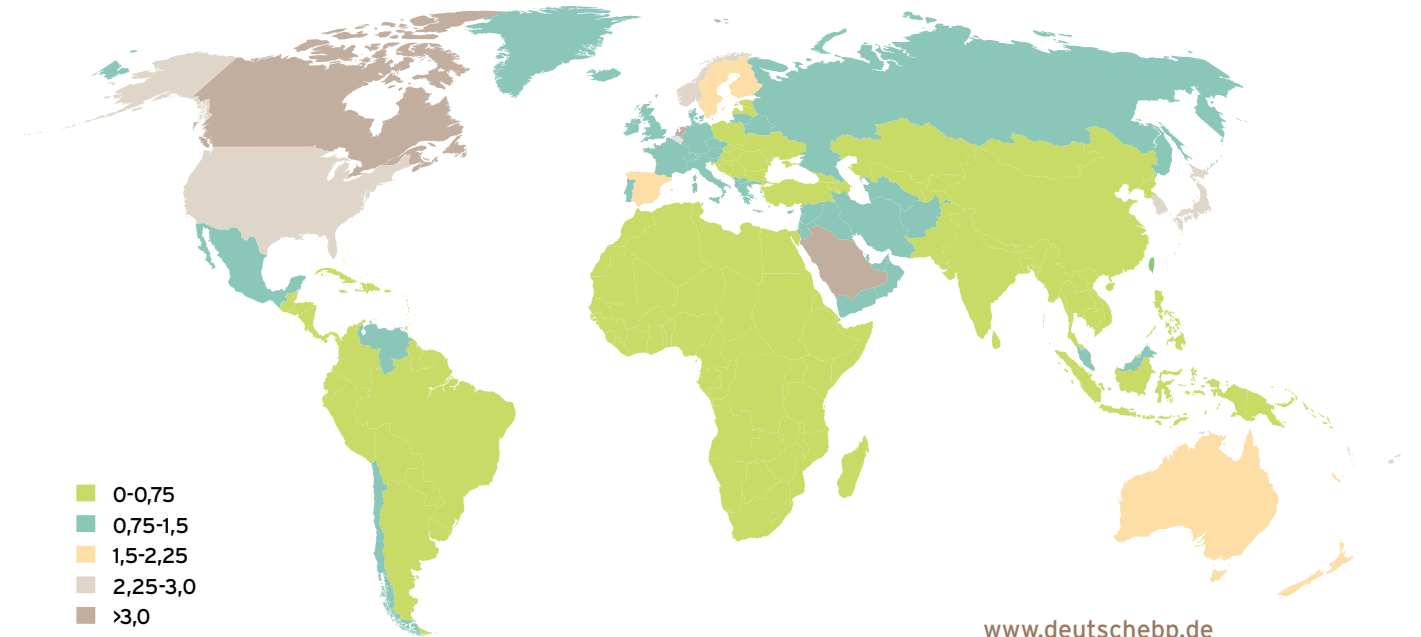
VORTEILE

- > sehr energiereich
- > liefert zahlreiche Kraftstoffe
- > leicht zu lagern und flexibel einsetzbar

NACHTEILE

- > sehr hohe CO₂-Emissionen
- > Förderung wird schwieriger
- > Abhängigkeit von Ölpreis und Ölimporten
- > Reserven reichen noch maximal 54 Jahre
- > Unfälle und Havarien schädigen die Umwelt

WELTWEITER ÖLVERBRAUCH PRO KOPF 2011 IN TONNEN



www.deutschebp.de



VORTEILE

- > wenig Verunreinigungen
- > saubere Verbrennung
- > keine Schattenkraftwerke nötig
- > auch als Kraftstoff verwendbar
- > lässt sich leicht lagern und sehr flexibel einsetzen

NACHTEILE

- > CO₂-Emissionen
- > unverbranntes Erdgas (Methan) ist schädliches Klimagas
- > Abhängigkeit vieler Staaten von Gasimporten

Quellen: AGEB, „Energieverbrauch in Deutschland 2011“, 2012
BP, „Statistical Review of World Energy 2012“, 2012, www.deutscheBP.de



ERDGAS

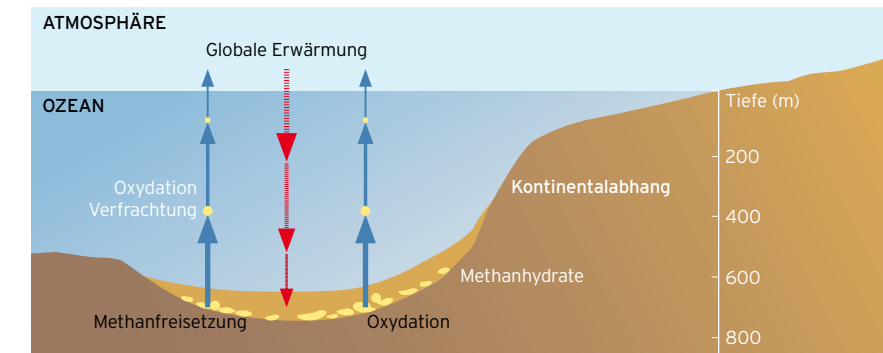
Erdgas besteht hauptsächlich aus Methan, das in riesigen Blasen 1.000 bis 3.500 Meter tief im Erdreich eingeschlossen liegt. Über Pipelinenetze mit einer Gesamtlänge von mehreren 100.000 Kilometern wird Gas vom Förderort zu den Abnehmern gepumpt oder als Flüssiggas in Tankern verschifft. Das energiereiche Gas ist wenig verunreinigt und wird zur Stromerzeugung in Gasturbinenkraftwerken und zum Heizen in Haushalten genutzt. Auch als günstiger und sauberer Kraftstoff für Verbrennungsmotoren setzt sich Erdgas weiter durch. Deutschland deckt 20,4 Prozent des Primärenergiebedarfs mit Erdgas.

Erdgas produziert wegen des hohen Wasserstoffanteils bei der Verbrennung wesentlich weniger CO₂ als Erdöl. Erdgas lässt sich unter hohen Drücken (bis 150 bar) stark komprimieren und bei niedrigen Temperaturen verflüssigen (ca. -161,5 Grad Celsius), was die Lagerung und den Transport vereinfacht. Gasturbinenkraftwerke sind mit einem Wirkungsgrad von 55 bis 60 Prozent sehr effizient und können zudem ihre Leistung kurzfristig hochfahren oder reduzieren. Die konventionell geförderten Gasreserven reichen nach derzeitigen Prognosen noch etwa 63 Jahre.

METHANHYDRAT

Methanhydrat ist Methangas, das unter hohem Druck und bei niedrigen Temperaturen im Eis eingefroren ist. Methanhydrat kommt in riesigen Mengen in der Tiefsee und an den Hängen der Kontinentalschelfe vor, an denen der Druck hoch und die Temperatur niedrig genug ist. In dieser bisher ungenutzten Ressource ist mehr Energie gespeichert als in allen Gas-, Öl- und Kohlevorräten der Erde zusammen. Das natürliche Vorkommen wird auf zwölf Billionen Tonnen Methanhydrat geschätzt. Jedoch ist der

KONTINENTALSCHELF



Abbau technisch extrem schwierig, da sich die instabile Verbindung des eingefrorenen Gases bei abnehmendem Druck löst und so beim Heben zu Wasser und Methan zerfällt.

Kontinentales Methanhydrat findet sich in den Permafrostböden der arktischen Polarregionen Kanadas, Alaskas und Sibiriens. Sollte die Förderung gelingen, so könnte das gewonnene Methan genau wie Erdgas verbrannt werden. Als weitere CO₂-Quelle würde Methanhydrat allerdings bei der Verbrennung das Klima zusätzlich belasten. Außerdem sind die ökologisch-tektonischen Folgen eines kommerziellen Abbaus derzeit nicht kalkulierbar.

Seit 2008 werden im Rahmen des Forschungsprojekts **SUGAR** (Submarine Gashydrat-Lagerstätten) ozeanische Methanhydratvorkommen erkundet und Techniken für Abbau und Transport entwickelt. Bis 2014 sollen wirtschaftliche Verfahren für die Gewinnung von Methan aus Gashydraten vorliegen. Ziel des von den Bundesministerien für Wirtschaft sowie für Bildung und Wissenschaft geförderten Projekts ist, dass deutsche Technologien bei der Gewinnung des Rohstoffs zum Einsatz kommen.

Der Kontinentalschelf bezeichnet den flachen, küstennahen Meeresboden, der bis zu 200 Meter unter dem Meeresspiegel liegt. Die Hänge bilden den Übergang zur Tiefsee.

VORTEILE

- > kann wie Erdgas eingesetzt werden
- > hat die gleichen Vorteile wie Erdgas
- > könnte Energie für mehrere Hundert Jahre liefern

NACHTEILE

- > zusätzliche CO₂-Emissionen
- > unverbranntes Methan ist ein schädliches Klimagas
- > extrem schwer zu fördern
- > Abbau an den Hängen der Kontinentalschelfe könnte Naturkatastrophen auslösen

IPP > Max-Planck-Institut für Plasmaphysik
www.ipp.mpg.de



NUKLEARE BRENNSTOFFE

In Kernkraftwerken dienen spaltbare Isotope der Elemente Uran, Plutonium oder Thorium als Brennstoff. Bei der Kernspaltung wird ein Atomkern in zwei oder mehr Bestandteile zerlegt. Dabei werden gewaltige Energiemengen freigesetzt. Diese Energie wird in Kernreaktoren mithilfe von Wasserdampf- oder Gasturbinen (bei Hochtemperaturreaktoren) in elektrischen Strom umgewandelt. 2010 waren weltweit 443 Kernkraftwerke in 30 Ländern in Betrieb, die zusammen circa 13 Prozent des weltweit verbrauchten Stroms erzeugten.

Die Herstellung von Atomstrom ist zwar frei von klimaschädlichen Abgasen, birgt jedoch enorme Risiken, wie die Katastrophe von Fukushima beweist. Zudem ist die Lagerung der hochgiftigen radioaktiven Abfälle ein ungelöstes Problem: Hochradioaktiver Müll muss mindestens **250.000 Jahre*** sicher aufbewahrt werden, ehe die Strahlung auf ein für Mensch und Tier ungefährliches Maß abgebaut ist. Hierzu werden die verbrauchten Brennstäbe in Glas eingegossen und in 300 bis 2.000 Meter tiefen Salzstöcken gelagert.

Die weltweite Uranproduktion deckte 2010 rund 85 Prozent des Bedarfs der Kernkraftwerke. Die übrigen 15 Prozent des Brennstoffs wurden durch Wiederaufarbeitung und abgerüstete Kernwaffen gewonnen. Laut NEA (Nuclear Energy Agency, Kernenergieagentur der OECD) reichen die weltweit identifizierten Uranvorkommen (Stand Januar 2011) beim derzeitigen Verbrauch für über 100 Jahre. Der Einsatz neuer fortgeschrittener Reaktorsysteme und Brennstoffkreislauf-Technologien könnte den Uranverbrauch deutlich reduzieren und dadurch die Uranverfügbarkeit auf Tausende von Jahren verlängern.

VORTEILE

- > Atomstrom ist hochverfügbar
- > verbraucht geringe Brennstoffmengen
- > Uranreserven reichen noch über 100 Jahre

NACHTEILE

- > radioaktiver Müll ist hochgiftig und schwer zu lagern
- > Störfälle können Katastrophen wie Reaktorbrände verursachen
- > Reaktoren und Urangewinnung sind aufwändig und teuer

*Die Halbwertszeit von hoch radioaktivem Plutonium ²³⁹PU beträgt 24.110 Jahre. Nach mindestens zehn Zerfallszyklen (rund **250.000 Jahre**) gilt die Strahlung laut Bundesamt für Strahlenschutz als unbedenklich. www.bfs.de

BGR > Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
www.bgr.bund.de

DAtF > Deutsches Atomforum
www.kernenergie.de

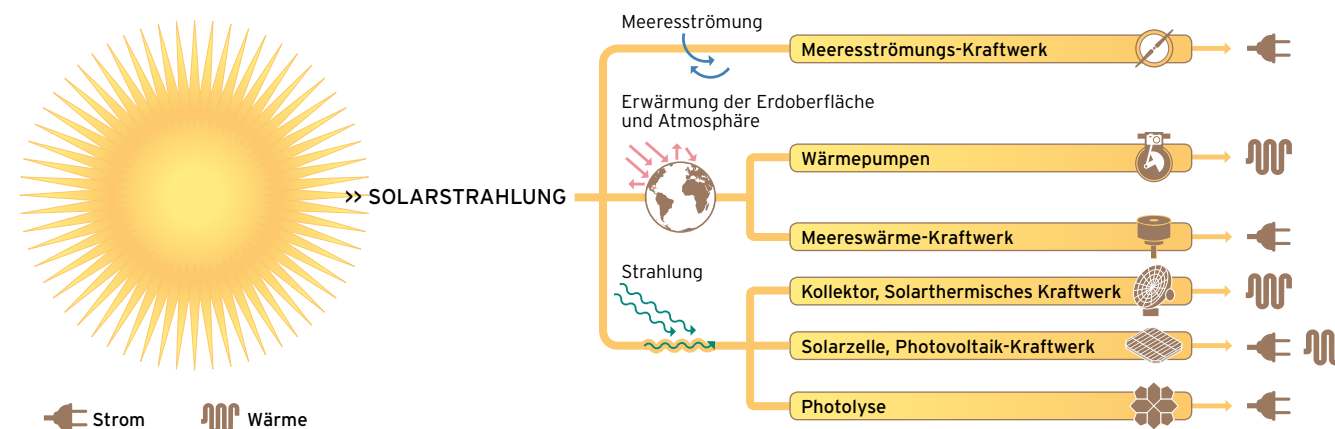
Nuklearforum Schweiz >
www.nuklearforum.ch



SONNENENERGIE

Die Sonne sendet täglich 960 Billionen Kilowattstunden Energie auf die Erdoberfläche. Diese Energiemenge könnte den Weltenergiebedarf theoretisch 180 Jahre lang decken. Sonnenenergie ist eine nahezu unerschöpfliche Quelle, die noch geschätzte vier Milliarden Jahre zur Verfügung steht. Ihr Angebot übersteigt den Bedarf der Menschen bei Weitem. Denn auf jedem Quadratmeter Erdoberfläche kommen im Durchschnitt rund 1.000 Kilowattstunden jährlich an. Dies entspricht in etwa dem Energiegehalt von 100 Litern Heizöl. **Photovoltaik** wird zur direkten Stromerzeugung aus Sonnenlicht eingesetzt. 2011 produzierten die Photovoltaik-Anlagen in Deutschland 19,3 Terawattstunden Strom. Der Anteil von Photovoltaikstrom stieg damit auf 3,2 Prozent. **Solarthermie** kommt zur Unterstützung von Raumheizung und zur Warmwasserbereitung in Gebäuden zum Einsatz. Mit Sonnenkollektoren wird darüber hinaus direkt Heizenergie gewonnen. 2011 waren dies 5,6 Terawattstunden. Zudem wird Solarthermie zur Erzeugung von Strom und Prozesswärme in solarthermischen Kraftwerken genutzt: Die Sonnenwärme erhitzt Flüssigkeiten, die dabei verdampfen. Der Dampf treibt Turbinen an, die Prozesswärme liefern und über Generatoren gleichzeitig Strom erzeugen.

Quelle:
BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012





PHOTOVOLTAIK

Solarzellen bestehen aus mehreren Schichten Silizium, die Sonnenlicht ohne Umwege in elektrischen Strom umwandeln können. Diese Photovoltaikmodule produzieren auch bei bewölktem Himmel Strom und sind deshalb auch für Regionen mit geringer Sonneneinstrahlung geeignet. Der Wirkungsgrad kristalliner Siliziumsolarzellen hat mit 24 Prozent sein Maximum erreicht und ist mit herkömmlicher Technik kaum mehr zu steigern. Polykristalline Zellen erzielen einen Wirkungsgrad um 17 Prozent, monokristalline Solarzellen etwa 19 Prozent. Der Wirkungsgrad von **Dünnschichtmodulen** bewegt sich zwischen sechs und zehn Prozent.

Jüngste Entwicklung sind organische Solarzellen. Sie bestehen aus Kunststoffen und lassen neue, günstigere Produktionsverfahren und Installationstechnologien zu. Die organischen Zellen unterscheiden sich in erster Linie durch ihre Flexibilität und Semitransparenz von klassischen Modulen. Sie könnten deshalb in Zukunft in Gebäudefassaden integriert werden. Aufgrund ihres geringen Wirkungsgrades von nur rund acht Prozent und ihrer begrenzten Lebensdauer sind die Einsatzgebiete der organischen Photovoltaik auf Nischenmärkte beschränkt.

Der Solarpark Finsterwalde ist das größte Photovoltaik-Kraftwerk Deutschlands und zugleich eines der größten der Welt. Es steht in Brandenburg und deckt mit 80,7 Megawatt Leistung den Energiebedarf von rund 10.500 Haushalten. Deutschland bietet aktuell – gemessen an der Kollektorfläche – hinter Italien den zweitgrößten Photovoltaik-Markt der Welt. Der Anteil der Solarenergie am deutschen Bruttostromverbrauch lag 2011 bei 3,2 Prozent – dreimal so hoch wie 2009.

VORTEILE

- › keine CO₂-Emissionen
- › wartungsfrei
- › Lebensdauer mehr als 20 Jahre
- › zentrale Energiequelle

NACHTEILE

- › hohe Einstiegsinvestitionen
- › benötigt **Schattenkraftwerke***
- › Gleichstrom muss zur Einspeisung in Wechselstrom gewandelt werden

***Schattenkraftwerk:** Kraftwerk, das Leistungsschwankungen von Wind- und Sonnenenergie ausgleicht und so die Grundlast im Stromnetz sichert.

BMBF › Bundesministerium für Bildung und Forschung
www.bmbf.de

Dyesol › www.dyesol.com

Fraunhofer ISE › Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
www.ise.fraunhofer.de

SolarServer › www.solarserver.de

ÜBERSICHT DES PHOTOVOLTAIK-MARKTES 2011*



JÄHRLICHE SOLARSTROMERZEUGUNG IN DEN 10 KAPAZITÄTSSTÄRKSTEN IEA-PVPS-LÄNDERN 2005-2011*

LAND	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Deutschland	2.056	2.899	4.170	6.120	9.914	17.320	24.820
Italien	37,5	50,0	120,2	458,3	1.181,3	3.502,3	12.802,9
USA	479,0	624,0	830,5	1.616	1.616	2.534	8.966
Japan	1.421,9	1.708,5	1.918,9	2.144,2	2.627,2	3.618,1	4.913,9
Spanien	49	148	705	3.463	3.523	3.915	4.260
China	70	80	100	140	300	800	3.300
Frankreich	33,0	43,9	75,2	179,7	380,2	1.197,3	2.831,4
Belgien	-	-	-	-	-	-	2.000
Australien	60,6	70,3	82,5	104,5	187,6	570,9	1.407,9
Korea	13,5	35,9	81,2	357,6	524,2	655,6	812,3

Quelle: nach IEA-PVPS, „Trends in photovoltaic applications“, 2012

* nach installierter Leistung

IEA-PVPS › International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme
www.iea-pvps.org



VORTEILE

- > keine CO₂-Emissionen
- > rasche energetische Amortisation
- > zentrale Energiequelle

NACHTEIL

- > in Mitteleuropa ist im Winter eine zusätzliche Energiequelle notwendig

Quelle: BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012



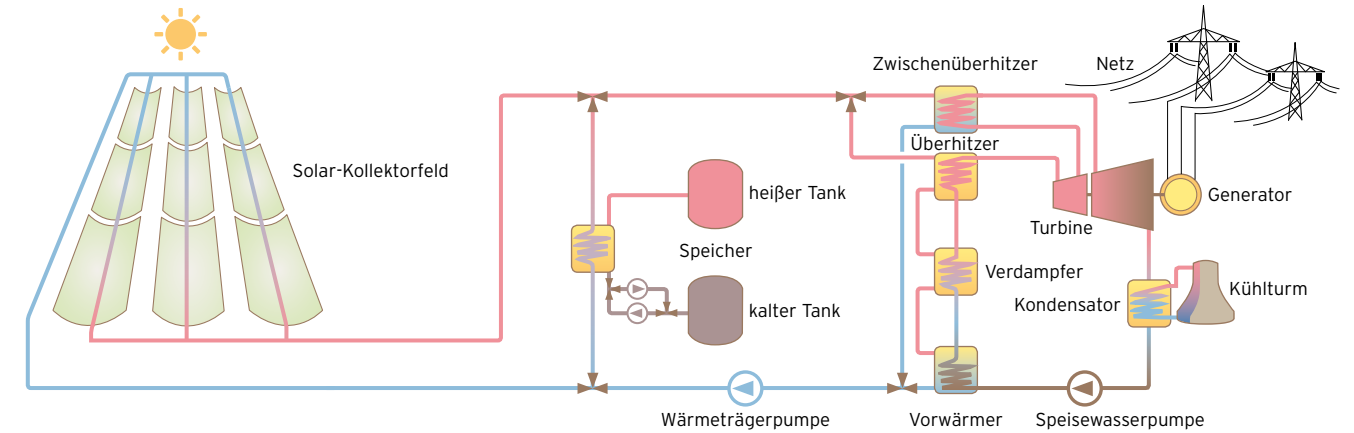
SOLARTHERMIE

Solarkollektoren setzen Sonnenstrahlung in Wärme um. In Röhrenkollektoren oder Flachkollektoren auf Hausdächern zirkuliert eine thermische Trägerflüssigkeit, die sich durch Sonneneinstrahlung auf bis zu 200 Grad Celsius erhitzt. 95 Prozent der Sonnenenergie können in einem marktüblichen Kollektor in Wärme umgewandelt werden. In Röhrenkollektoren ist zusätzlich ein Spiegel integriert, der das Sonnenlicht auf einen Absorber konzentriert. Dadurch erreicht der Röhrenkollektor einen noch höheren Wirkungsgrad – auch bei diffusen Lichtverhältnissen.

Bei beiden Kollektortypen wird die Wärme über die thermische Trägerflüssigkeit in Rohrleitungen aus dem Kollektor zu einem Warmwasserspeicher geführt. Ein Wärmetauscher überträgt die Energie der Trägerflüssigkeit auf das Brauchwasser oder speist Wärme in das Heizungssystem ein. In Deutschland steigt die Anzahl der Solaranlagen seit über 20 Jahren kontinuierlich. Im Jahr 2010 waren bereits Anlagen mit einer Gesamt-Kollektorfläche von rund 14 Millionen Quadratmetern, im Jahr 2011 von rund 15 Millionen Quadratmetern und mit einer Leistung von über 10.000 Megawatt installiert.

SOLARTHERMISCHE KRAFTWERKE

In solarthermischen Kraftwerken wird das Sonnenlicht über parabolische Spiegel gebündelt und mit der über 100-fachen Konzentration auf ein Trägermedium wie Thermo-Öl (Parabolrinnenkraftwerk), Salzschnmelze (Solkurmkraftwerk) oder Edelgas (Parabolidkraftwerk) übertragen. Dabei werden Temperaturen von 400 bis 2.500 Grad Celsius erreicht. Bei der Erhitzung des Trägermediums wird Dampf erzeugt, der mithilfe von Dampfturbinen in elektrischen Strom und Prozessdampf umgewandelt wird. Mit Fertigstellung des dritten solarthermischen Kraftwerkskomplexes von **Andasol** (Andasol 3)



Anfang 2012 ist im südspanischen Andalusien der größte Solarenergiestandort in Europa entstanden. Jedes der drei dazugehörigen Kraftwerke verfügt über eine elektrische Leistung von 50 Megawatt. Gemeinsam verfügen die Kraftwerke über eine Kollektorfläche von über 1,5 Millionen Quadratmetern (entspricht etwa einer Fläche von 110 Fußballfeldern). Die zu erwartende Bruttostromerzeugung pro Kraftwerk liegt bei rund 170 Gigawattstunden im Jahr. Damit könnten die Kraftwerke gemeinsam etwa eine halbe Million Menschen jährlich mit Strom versorgen und bis zu 450.000 Tonnen Kohlendioxid vermeiden.

Die Andasol-Anlagen verfügen über gigantische Speicher, in denen flüssiges Nitratsalz auf bis zu 400 Grad aufgeheizt wird. Um die gespeicherte Wärme nachts in Strom umzuwandeln, wird eine Flüssigkeit durch das Salz geleitet. Diese erhitzt sich und erzeugt Dampf, der den Turbogenerator antreibt (siehe auch Seite 56). **Aufwindkraftwerke** zählen ebenfalls zu den Solarthermieanlagen, da sie mittels Sonnenlicht Luft unter einem Glasdach erwärmen. Die bis zu 70 Grad Celsius warme Luft entweicht über einen Turm und treibt dabei Turbinen an, die elektrischen Strom erzeugen. Der Wirkungsgrad ist mit höchstens einem Prozent jedoch gering und der Flächenbedarf groß.

VORTEILE

- > keine CO₂-Emissionen
- > liefern bis zu 800-mal mehr Strom als vergleichbare Photovoltaikanlagen
- > liefern auch nachts Strom

NACHTEILE

- > extrem hohe Investitionen nötig
- > ohne Subventionen noch nicht konkurrenzfähig
- > dezentrale Lage
- > nur für Gegenden mit sehr hoher Sonneneinstrahlung geeignet

RWE > www.rwe.com

Quelle: BMWi, „Die Energiewende in Deutschland“, 2012



GEOTHERMIE ALS WÄRMEQUELLE

VORTEILE

- > keine CO₂-Emissionen
- > unerschöpfliche Energiequelle
- > zum Heizen auch in geringen Tiefen ausreichend Wärme vorhanden
- > keine Schwankungen wie bei Solarthermie
- > auch in dicht besiedelten Gebieten einsetzbar

NACHTEILE

- > Erdbohrung oder Erdkollektor notwendig
- > geologische Voraussetzungen nicht überall gegeben
- > Wärmepumpen benötigen Strom

GEOTHERMISCHE KRAFTWERKE

VORTEILE

- > keine CO₂-Emissionen
- > Kraftwerke liefern auch nachts Strom

NACHTEILE

- > hoher Investitionsbedarf
- > Zur Stromerzeugung sind sehr tiefe Bohrungen nötig
- > Stromerzeugung trotz Subventionen nicht konkurrenzfähig
- > geologisch-tektonische Probleme erschweren Anlagenbau

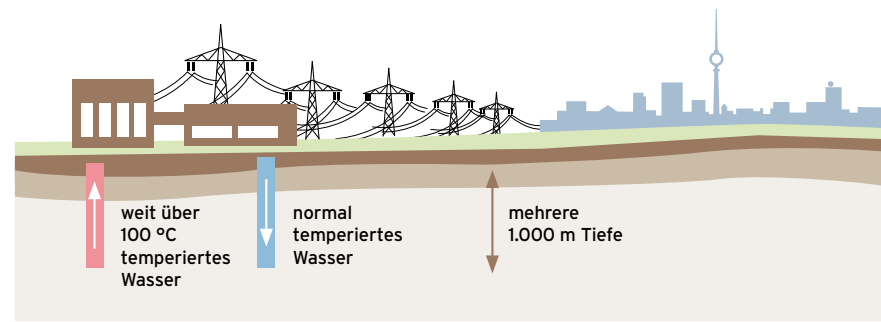
dena > Deutsche Energie-Agentur GmbH
www.dena.de

GEOTHERMIE

Die Erde ist ein gigantischer Energiespeicher. Wenige Meter unter der Oberfläche speichert sie die Sonnenwärme. Von innen strahlt der 6.500 Grad heiße Erdkern Wärme in die äußeren Erdschichten ab. Wenn man von der Erdoberfläche in die Tiefe vordringt, findet man auf den ersten 100 Metern Tiefe eine nahezu konstante Temperatur von zehn Grad Celsius vor. Danach steigt die Temperatur mit jeden weiteren 100 Metern Tiefe im Mittel um drei Grad Celsius an. Die Erdwärme (Geothermie) wird auf verschiedene Weise genutzt:

- > oberflächliche Geothermie (bis 400 Meter Tiefe)
- > geothermische Systeme, die warmes, im Untergrund vorhandenes Wasser nutzen (bis ca. 4.500 Meter Tiefe)
- > Systeme, die Wärme aus dem tiefen Gestein für die Stromerzeugung nutzen und gegenwärtig bis in 5.000 Meter Tiefe vordringen

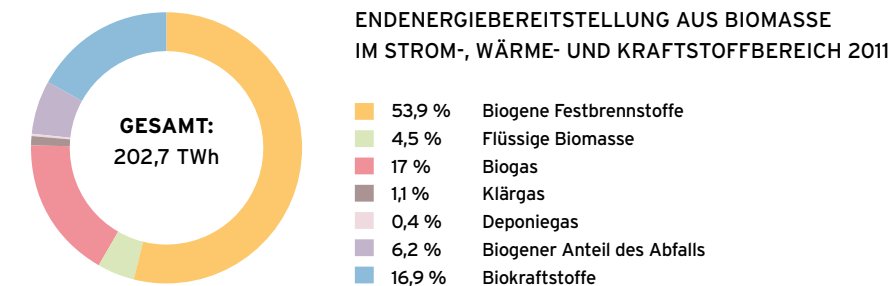
Erdwärme der **oberflächennahen Geothermie** wird meist mithilfe von Wärmepumpen genutzt. Diese Nutzung ist auch für kleine Gebäude wie Einfamilienhäuser möglich. Mit einer Wärmepumpenanlage kann ein Gebäude im Winter geheizt, im Sommer gekühlt und ganzjährig mit Warmwasser versorgt werden. Effiziente Wärmepumpen werden durch ein Marktanreizprogramm gefördert. In **Geothermiekraftwerken** werden Heißwasser führende Schichten in 2.000 bis 3.000 Metern Tiefe angezapft (hydrothermale Geothermie).



Der aufsteigende Wasserdampf treibt Turbinen an, die Strom erzeugen. Das abgekühlte Wasser wird wieder in die Tiefe zurückgepumpt. In Deutschland werden 24 größere hydrothermale Anlagen mit thermischen Leistungen zwischen 100 Kilowatt und 20 Megawatt betrieben. Insgesamt sind etwa 128 Megawatt thermische Leistung installiert. Zudem sind in Deutschland drei Anlagen zur Stromerzeugung aus tiefer Geothermie in Betrieb. In diesen Kraftwerken ist eine elektrische Leistung von zusammen etwa 7,5 Megawatt installiert (Stand 2012).

BIOMASSE

Biomasse ist die vielseitigste erneuerbare Energiequelle: Sie liefert Wärme, Strom und Kraftstoffe. Zur Biomasse zählen Pflanzenreste und -abfälle aller Art, Holz, Energiepflanzen wie Raps und Zuckerrohr sowie Gülle, Kuh- oder Hühnermist. Aus diesen organischen Stoffen wird über gesteuerte Zersetzungsprozesse Biogas gewonnen, in chemischen Prozessen Kraftstoff hergestellt oder durch Trocknung und Verpressen Festbrennstoff produziert. Der nachwachsende Rohstoff gilt als klimaneutral, weil bei der Verbrennung nur so viel CO₂ freigesetzt wird, wie zuvor durch das Pflanzenwachstum gebunden wurde. Bioenergie deckte in Deutschland 2011 mit 202,7 Terawattstunden rund 8,4 Prozent des Endenergieverbrauchs von 2.415 Terawattstunden ab.



VORTEILE

- > CO₂-neutral
- > liefert Strom, Wärme und Treibstoffe
- > hohe Verfügbarkeit
- > nachwachsend
- > Chance für die Landwirtschaft

NACHTEILE

- > Anbau von Energiepflanzen kann weltweite Nahrungsmittelknappheit und -teuerung verstärken
- > Gefahr von Überdüngung
- > versteckte CO₂-Emissionen durch Biomasetransport

Quelle: BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012



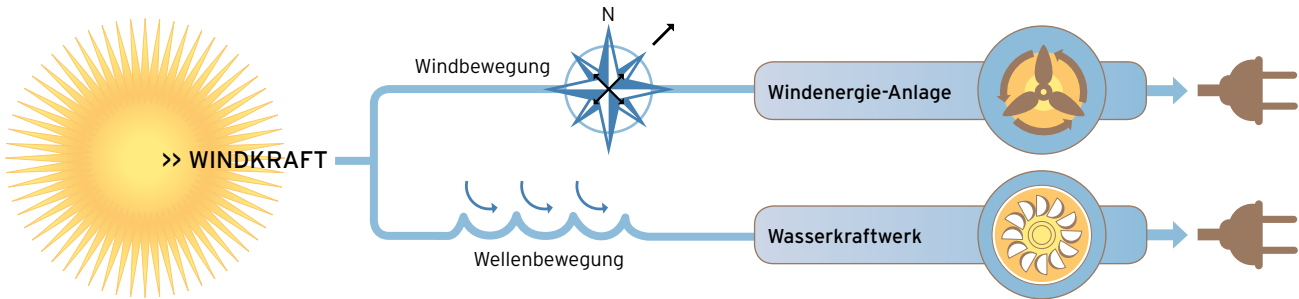


WINDKRAFT

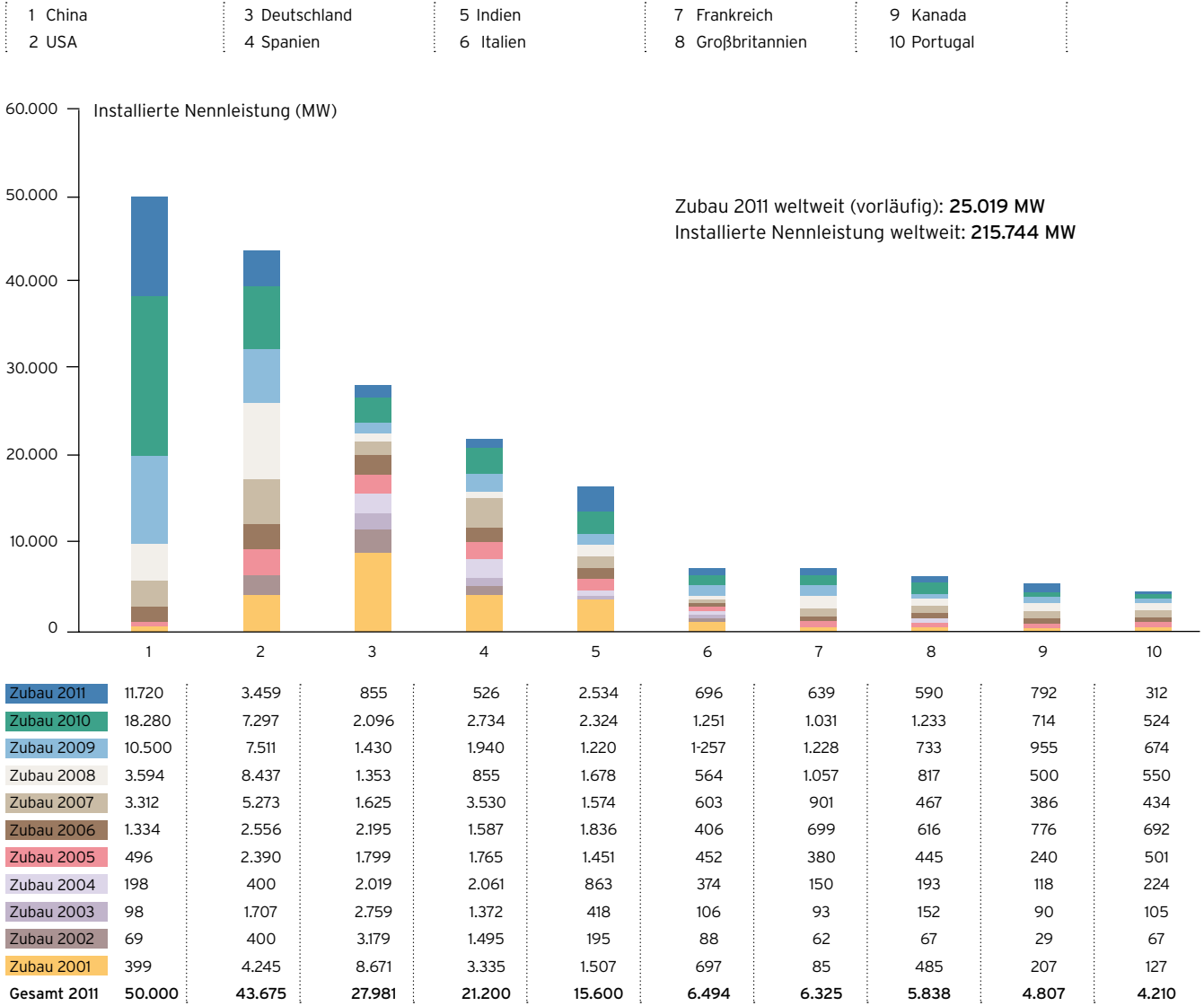
Windkraftanlagen nutzen die natürliche Luftbewegung zum Antrieb eines Rotors. Dessen Drehbewegung wird über ein Getriebe auf einen Generator übertragen, der elektrischen Strom produziert. Moderne Windenergieanlagen erreichen heute schon einen Wirkungsgrad von 50 Prozent. „Onshore-Anlagen“ gewinnen die Windenergie auf dem Festland, „Offshore-Kraftwerke“ stehen im Meer und nutzen den konstanten Wind der Küstengebiete. Mit bis zu 65 Meter langen Rotorblättern erreichen die bis zu 500 Tonnen schweren Windräder eine Spitzenleistung von bis zu sechs Megawatt.

Auf dem Weg ins Zeitalter der erneuerbaren Energien wird der Windkraft eine Schlüsselrolle zugesprochen. Sie soll im Jahr 2050 einen Anteil von 50 Prozent zur Stromversorgung beitragen. Die installierte Windleistung an Land und auf See soll bis 2020 auf 45.000 Megawatt und bis 2050 auf 85.000 Megawatt anwachsen. Mit einem Ertrag von insgesamt 47 Terawattstunden konnte die Windenergie im Jahr 2011 knapp acht Prozent des deutschen Strombedarfs decken. Im Verlauf des Jahres 2011 wurden in Deutschland Windenergieanlagen mit einer Nennleistung von insgesamt 2.051 Megawatt neu errichtet. Damit waren Ende 2011 insgesamt rund 22.200 Windenergieanlagen mit 28.818 Megawatt Leistung installiert. Weltweit belegt Deutschland damit hinter China und den USA den dritten Rang.

Quelle: Fraunhofer IWES, „Windenergie Report Deutschland 2011“, 2012



WELTWEIT ERFOLGREICHSTE LÄNDER IN DER NUTZUNG DER WINDENERGIE 2011



Quelle: Fraunhofer IWES, „Windenergie Report Deutschland 2011“, 2012



VORTEILE

- > keine Emissionen
- > Laufwasserkraftwerke sind hochverfügbar

NACHTEILE

- > in Deutschland weitestgehend ausgereizt
- > sehr große Eingriffe in Landschaft und Natur
- > sehr hohe Investitionen
- > unregelmäßige Leistung von Gezeiten-, Strömungs- und Wellenkraftwerken

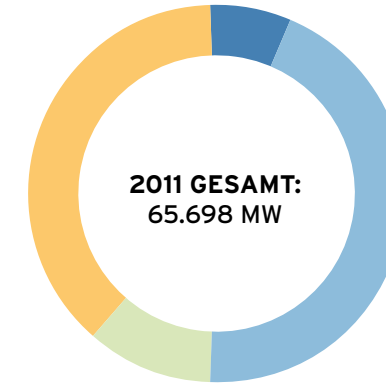
BMU > Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit
www.bmu.de

WASSERKRAFT

Wasserkraftwerke setzen die Strömungsenergie von Wasser über Turbinen in elektrischen Strom um. In **Laufwasserkraftwerken** wird Flusswasser gestaut und auf die Turbinen geleitet. **Pumpspeicherkraftwerke** können zusätzlich bei Überkapazitäten Wasser in ein hoch gelegenes Becken pumpen - um das Wasser bei erhöhtem Strombedarf durch Schwerkraft wieder als Energiequelle nutzen zu können.

In Deutschland lag die Bruttostromerzeugung der Wasserkraftwerke 2010 bei 27,4 Terawattstunden - deutlich weniger als die Stromproduktion der Windkraftwerke. Das Potenzial der Laufwasserkraftwerke ist in Deutschland weitgehend ausgeschöpft, da keine weiteren Flussläufe nutzbar gemacht werden können. Steigerungen sind nur über Modernisierungen bestehender Anlagen möglich.

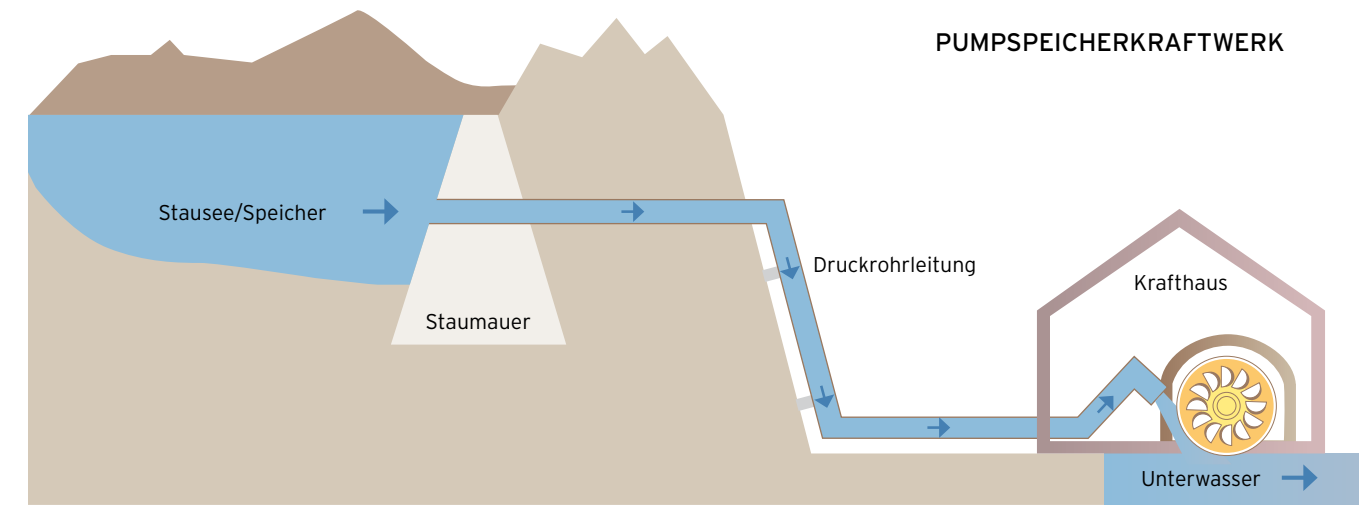
Weltweit hat Wasserkraft einen Anteil von etwa 16 Prozent an der gesamten Stromerzeugung. Theoretisch könnte der weltweite Strombedarf über Wasserkraft gedeckt werden. Doch die Nutzung von Wasserkraft ist immer an erhebliche Eingriffe in die Landschaft und gewachsene Bevölkerungsstrukturen gebunden. Stauseen verschlingen ganze Städte und Täler: Für die Realisierung des umstrittenen Drei-Schluchten-Staudamms in China wurden eine Million Menschen umgesiedelt. Die größten Wasserkraftreserven gibt es in Russland, China, Indien, Indonesien und im Kongo. Mit neuen Technologien versuchen die Europäer, bisher ungenutzte Formen der Wasserkraft zu erschließen. In Wellenkraftwerken drückt die Brandung in einer Art Kamin Luft in die Höhe und zieht sie mit dem Wellental wieder heraus. Eine spezielle Turbine wandelt die erzeugte Luftbewegung in elektrische Energie um. Gezeitenkraftwerke nutzen den natürlichen Tidenhub, ähnlich wie ein Pumpspeicherkraftwerk, indem der Zufluss einer Meeresbucht bei Ebbe und Flut jeweils über Turbinen geleitet wird. Strömungskraftwerke funktionieren



6,7 %	Wasserkraft
44,3 %	Windenergie
10,9 %	Biomasse inklusive biogener Anteil des Abfalls
38,1 %	Photovoltaik

ANTEILE AN DER INSTALLIERTEN LEISTUNG ZUR STROMERZEUGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN IN DEUTSCHLAND 2011

Quelle:
BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012



PUMPSPEICHERKRAFTWERK

im Prinzip wie eine Windkraftanlage unter Wasser: Die Meeresströmung wird über Rotoren in elektrische Energie umgewandelt. Die Stromerzeugung aus Wasserkraftwerken sank 2011 in Deutschland um 6,9 Prozent auf 19,5 Milliarden Kilowattstunden. Damit lag der Anteil der Laufwasser- und Speicherkraftwerke am deutschen Strommix bei 3,2 Prozent. Aus Pumpspeicherkraftwerken wurden im Jahr 2011 mit 5,6 Milliarden Kilowattstunden 12,5 Prozent weniger Strom bereitgestellt.

Quelle: BMWi, „Energiedaten“, 2012

In der Zukunftsvision des intelligenten Wohnens werden elektrische Geräte und Heizungen vernetzt und über Tablets oder Smartphones automatisiert gesteuert. Zudem werden Elektrofahrzeuge zu mobilen Speichern. Diese kommen immer dann zum Einsatz, wenn das Haus – beispielsweise über eine Photovoltaikanlage – mehr Energie erzeugt, als es zu diesem Zeitpunkt benötigt.

// Foto: Werner Sobek, Berlin

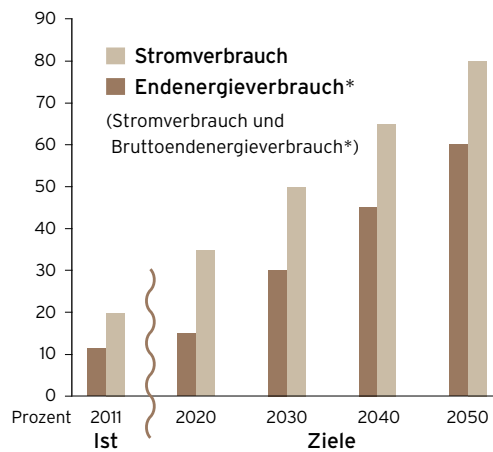


Kapitel 04

Novelle des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG-Novelle). Das Gesetz gewährleistet die transparente und koordinierte jährliche Netzausbauplanung für das deutsche Höchstspannungsnetz. Kernbestandteil ist der zehnjährige Netzentwicklungsplan, der erstmals 2012 erstellt wurde und jährlich aktualisiert werden soll.

Netzausbaubeschleunigungsgesetz (NABEG). Ziel des Gesetzes ist es, die Dauer der Verfahren zur Planung und Genehmigung neuer Höchstspannungstrassen von über zehn Jahren auf etwa vier Jahre zu reduzieren.

ANTEILE ERNEUERBARER ENERGIEN AM STROM- UND ENDENERGIEVERBRAUCH



NETZAUSBAU

Damit erneuerbare Energien zukünftig den Großteil der Stromerzeugung übernehmen können, müssen die Stromnetze deutlich ausgebaut und umfassend modernisiert werden. Zahlreiche neue Wind- und Solaranlagen müssen ans Netz angeschlossen werden, um den Strom zu den Verbrauchern zu leiten. Dabei sind oft große Distanzen zu überwinden, da die Stromerzeugung meist weit entfernt von den großen Ballungsgebieten stattfindet – etwa in Windparks auf hoher See. Gleichzeitig müssen die bestehenden Stromnetze modernisiert werden, um auch mit der schwankenden Stromerzeugung aus Wind- und Sonnenenergie den sicheren Betrieb der Netze zu gewährleisten.

Zwei Stromnetzstudien (dena I- und dena II-Netzstudie) der Deutschen Energie-Agentur kommen zu dem Schluss, dass bis zum Jahr 2020 etwa 4.500 Kilometer zusätzliche Höchstspannungsleitungen benötigt werden. Hauptursache ist der Ausbau der Windenergie: Die Studien gehen davon aus, dass sich die Erzeugungskapazitäten bis 2020 von derzeit 27 auf bis zu 51 Gigawatt erhöhen.

2011 haben Bundestag und Bundesrat eine grundlegende Reform der Planungs- und Genehmigungsverfahren beim Bau von Stromnetzen beschlossen. Die daraus entstandene Novelle des Energiewirtschaftsgesetzes (**EnWG-Novelle**) und das neue Netzausbaubeschleunigungsgesetz (**NABEG**) haben die Grundlagen für den schnelleren Netzausbau geschaffen. Durch den Übergang von der Landes- zur Bundesplanung wird die Zersplitterung der Zuständigkeiten verhindert und eine Straffung der Verfahren ermöglicht.

INTELLIGENTE ZÄHLER – SMART METER

Mit dem neuen Energiewirtschaftsgesetz (EnWG-Novelle) ist auch ein entscheidender Schritt zur Einführung von intelligenten Energiezählern (Smart Meter) vollzogen, die bereits seit 2010 in Neubauten Pflicht sind. Diese intelligenten Zähler für Strom und Gas zeigen den Verbrauchern wichtige Details ihres Energiekonsums an.

Smart Meter ermöglichen es nicht nur, gezielt Energie zu sparen, sondern auch zwischen verschiedenen Tarifen zu wählen und Stromverbraucher wie Waschmaschine oder Wärmepumpe nur dann einzuschalten, wenn viel Strom zu niedrigem Preis im Netz vorhanden ist. Im Endausbau soll Smart Metering das Sammeln, Speichern und Übertragen aller relevanten Daten aus Strom-, Gas-, Wasser- und Wärmenutzung in einem System ermöglichen.

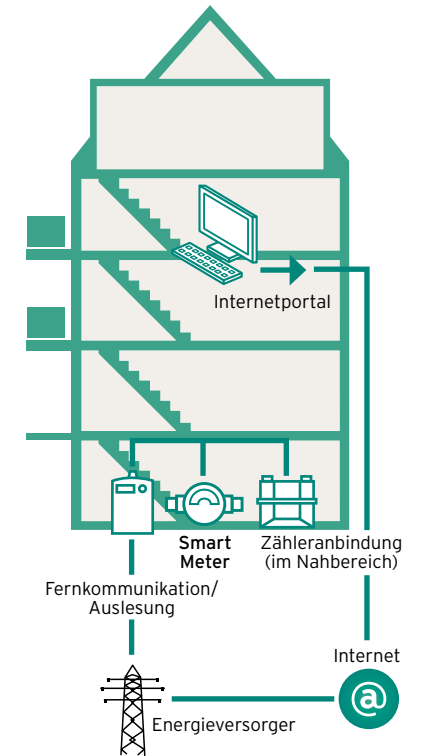
Dabei sind Smart Meter nur ein Baustein der Energiewende. Intelligente Netze (**Smart Grids**, siehe Seite 52) müssen hinzukommen. Sie verbinden Produzenten, Verbraucher und Zwischenspeicher, um den Strom auch bei schwankender Erzeugung bestmöglich zu verteilen.

Die Zukunftsvision des intelligenten Wohnens reicht noch weiter: Hier werden Wärme, Licht und Strom per Tablet oder Smartphone automatisiert gesteuert und Elektrofahrzeuge zu mobilen Speichern. Unklar ist allerdings noch, welche Datenstandards, Schnittstellen und Zugriffe auf Verbrauchsdaten, etwa bei Durchleitungen, zum Einsatz kommen werden.

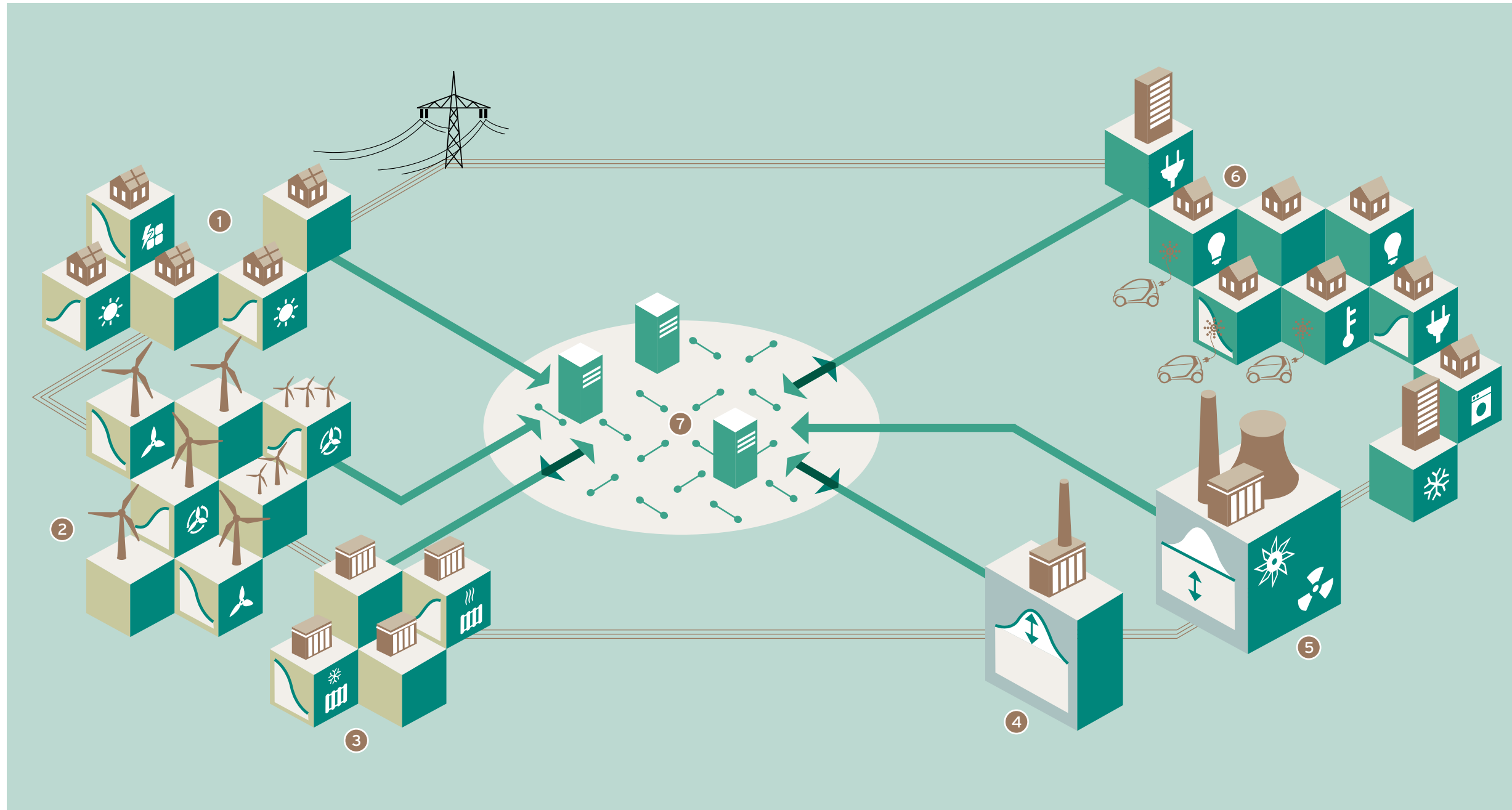
Bis 2020 sollen EU-weit 80 Prozent aller Haushalte mit intelligenten Stromzählern ausgestattet sein. Ob sich dieses Ziel tatsächlich realisieren lässt, ist nicht zuletzt eine Frage der Gerätestandardisierung, hinter der Politik, Zählerhersteller, Energieversorger, Kommunikations- und Messdienstleister sowie Gerätehersteller stehen müssen.

SMART METER

- > sorgen für Transparenz
- > senken den Energieverbrauch
- > sparen Stromkosten



Quellen:
 BMU, „Die Energiewende in Deutschland“, 2012
 BMU, „Die Energiewende. Zukunft made in Germany“, 2012
 BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2010/2012
 Hans-Gerd Servatius, Uwe Schneidewind, Dirk Rohlfing (Hrsg.), „Smart Energy“, 2012



INTELLIGENTES NETZWERK

Das intelligente Stromnetz steuert sich informationstechnikgestützt selbst. Es schaltet Verbraucher und dezentrale Kraftwerke nach Bedarf und Wetterlage ein und aus. Das Ziel: ein Gleichgewicht zwischen Stromangebot und Verbrauch.

1 Photovoltaik: Überschüssiger Strom wird ins Netz abgegeben.

2 Windkraft: Je nach Wetterlage speisen Windkraftanlagen viel oder wenig Energie ins Stromnetz. Sie sind daher eine schwer kalkulierbare Energiequelle.

3 Blockheizkraftwerke: Die Anlagen erzeugen dezentral Wärme und Strom. Sie können helfen, Stromengpässe zu überbrücken.

4 Spitzenlastkraftwerke: Gasturbinen, Pumpspeicher- und Druckluftspeicherkraftwerke federn schon jetzt Verbrauchsspitzen ab. Sie können automatisch zu- und abgeschaltet werden.

5 Großkraftwerke: Atom- und Kohlekraftwerke können nicht einfach aus- oder angeschaltet werden. Sie laufen immer und decken den Grundbedarf.

6 Verbraucher: Unternehmen und Haushalte werden ihren Verbrauch künftig möglichst am Angebot orientieren. Intelligente Stromzähler sollen das erlauben. Sie schalten etwa Kühlschränke und Wärmepumpen automatisch ein und aus.

7 IT-Netzwerk: Software koordiniert Stromerzeugung und Stromverbrauch je nach Netzauslastung. Das Netz informiert die intelligenten Stromzähler in Haushalten und Unternehmen über den aktuellen Stromverbrauch und Preise.

.....

TRADITIONELLE NETZE

- › zentrale Stromerzeugung
- › Stromerzeugung richtet sich nach Stromverbrauch
- › erzeugter Strom wird zu den angeschlossenen Verbrauchern geleitet
- › Betriebsplanung mit historischen Daten

SMART GRIDS

- › zentrale und dezentrale Erzeugung
 - › dezentral erzeugter Strom kann ins Netz eingespeist werden
 - › Stromverbrauch richtet sich nach aktuellem Stromangebot
 - › minimierte CO₂-Emissionen
-

Quelle:
BMWi, „Die Energiewende in Deutschland“, 2012

INTELLIGENTE NETZE – SMART GRIDS

Für den Ausbau und die Integration erneuerbarer Energien haben lokale Verteilnetze in Zukunft weit mehr zu leisten als den Stromtransport. Intelligente Netze beziehen in ihre Steuerung die Verbraucher sowie dezentrale kleine Energielieferanten und –speicherorte mit ein. Auf diese Weise können fluktuierend zur Verfügung stehende regenerative Energien mit dem Verbrauch harmonisiert werden.

Die Grundidee: Jedes Gerät, das an das Stromnetz angeschlossen ist, soll Steuerungssignale über das Stromnetz senden und empfangen können. Auf diese Weise entsteht ein umfassendes Datenbild der aktuellen Netzbelastung. Der Informationsaustausch ermöglicht darüber hinaus umfangreiche Anreize zum Stromsparen und neue Dienstleistungen, zum Beispiel im Bereich Gebäudemanagement.

Smart Grids schalten Anlagen bei Bedarf zu, koordinieren die Verteilung, informieren die Verbraucher und helfen, den Strom intelligent zu verteilen. Auf diese Weise wird es möglich, Gefrierschränke, Wärmepumpen, Klimaanlage, Wasch- und Geschirrspülmaschinen genau dann anzuschalten, wenn Strom im Überfluss zur Verfügung steht – beispielsweise nachts.

AUSGEREIFTE SPEICHERSYSTEME

Während heute konventionelle Kraftwerke Strom kontinuierlich rund um die Uhr zur Verfügung stellen, wird die Stromproduktion künftig stärker von unberechenbaren Faktoren wie dem Wetter (Wind, Sonnenscheindauer) sowie der Tageszeit (nachts scheint die Sonne bekanntlich nicht) abhängen. Um trotzdem jederzeit den Strombedarf decken zu können, wird die Entwicklung effizienter Speichertechnologien immer wichtiger. Im großen Maßstab wirtschaftlich einsetzbar sind bisher nur **Pumpspeicher**. Sie pumpen bei

geringer Stromnachfrage mit dem überflüssigen Strom Wasser in ein hoch gelegenes Reservoir. Wird während Lastspitzen wieder mehr Strom gebraucht, fließt das gespeicherte Wasser durch Turbinen, die Strom erzeugen. Pumpspeicherkraftwerke sind deshalb typische Spitzenlastkraftwerke. Ihr Funktionsprinzip hat sich bewährt. Heute werden in Deutschland 31 Pumpspeicherkraftwerke betrieben. Allerdings liefert jedes von ihnen nur für wenige Stunden Strom. Zudem gibt es kaum noch geeignete Standorte, um neue Pumpspeicherkraftwerke zu errichten.

Aus deutschen Pumpspeicherwerken wurden im Jahr 2011 mit 5,6 Milliarden Kilowattstunden 12,5 Prozent weniger Strom bereitgestellt als 2010. Bis zum Jahr 2020 kann die Kapazität bestehender Pumpspeicher in Deutschland (Stand 2012 ca. 44 Gigawattstunden) durch die Umsetzung geplanter Projekte auf ca. 90 Gigawattstunden verdoppelt werden. Längerfristig sei nach Untersuchungen der Bergischen Universität Wuppertal ein Potenzial von etwa zwei Terawattstunden vorhanden.

Eine technisch ebenfalls ausgereifte Alternative sind **Druckluftspeicherkraftwerke (CAES – Compressed Air Energy Storage)**: Bei Stromüberangebot wird Luft komprimiert und unter hohem Druck in unterirdische Kavernen

Fraunhofer ISE › Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
www.ise.fraunhofer.de

ZSW › Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg
www.zsw-bw.de

Bergische Universität Wuppertal ›
www.uni-wuppertal.de

GEPLANTE PUMPSPEICHERKRAFTWERKE IN DEUTSCHLAND		
Pumpspeicherkraftwerk	Leistung	Geplante Fertigstellung
Tambach-Dietharz, Thüringen	über 1.000 Megawatt	k. A.
Rursee, Nordrhein-Westfalen	640 Megawatt	2019
Heimbach, Hessen	400 – 600 Megawatt	2019
Nethe, Nordrhein-Westfalen	390 Megawatt	2019/20
Riedl, Bayern	300 Megawatt	2018
Sauerland, Nordrhein-Westfalen	200 – 400 Megawatt	2018
Schweich, Rheinland-Pfalz	300 Megawatt	2019/20

Die Bundesregierung > Presse- und Informationsamt der Bundesregierung
www.bundesregierung.de

Kraftwerkforschung >
www.kraftwerksforschung.info

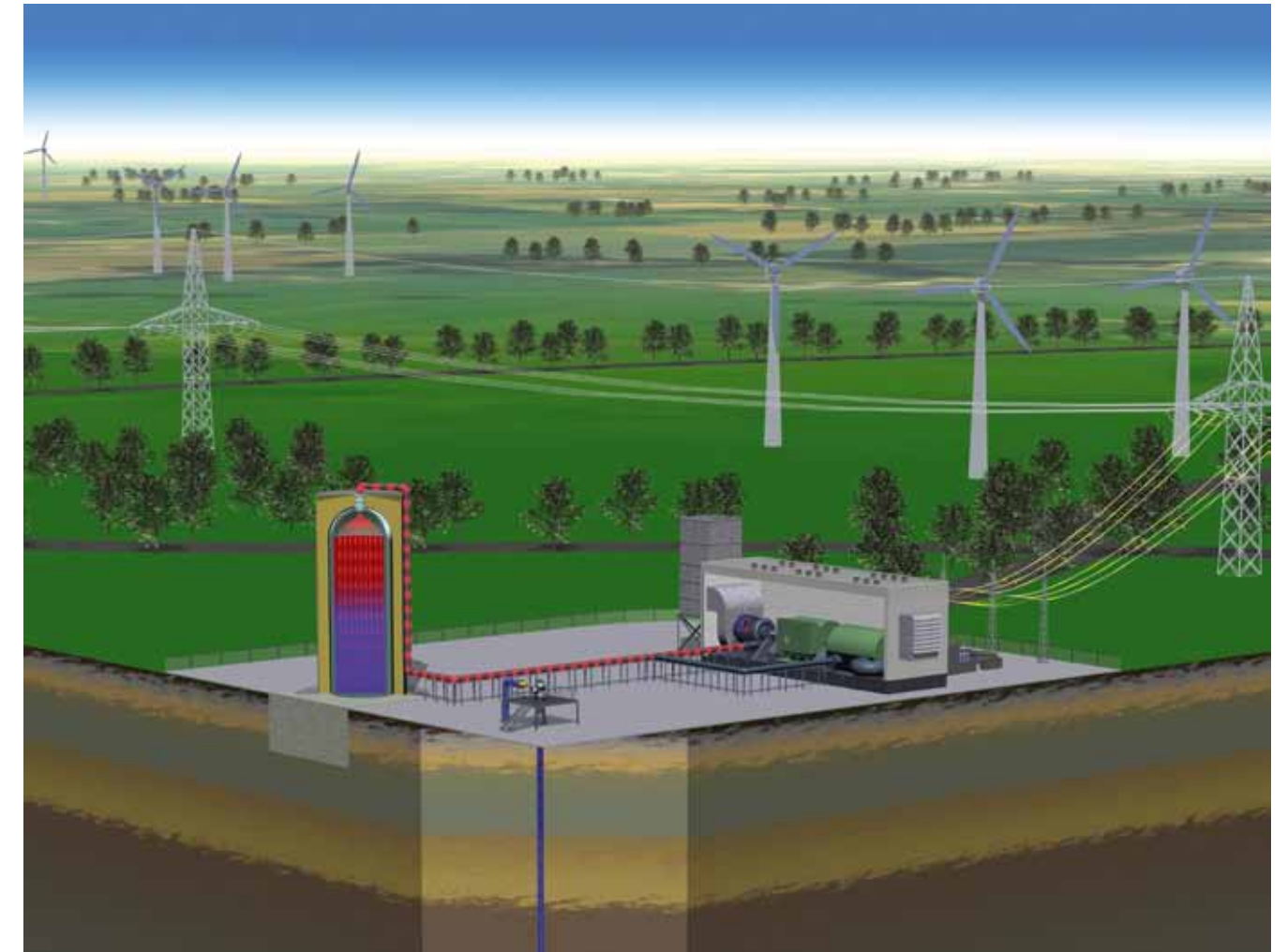
RWE > www.rwe.com

eingeschlossen. Steigt die Nachfrage nach Strom, wird die Druckluft zur Energieerzeugung in eine Turbine geleitet. Dieses System bietet sich in Deutschland vor allem in den windreichen nördlichen Bundesländern an, in denen die Topografie den Bau von Pumpspeichieranlagen verhindert. Die Energie aus den küstennahen Windparks und geplanten Offshore-Windkraftanlagen lässt sich hier erzeugernah speichern, ohne das Leitungsnetz zu überlasten. In Deutschland ist aktuell ein Druckluftspeicherwerk in Huntorf/Oldenburg mit 320 Megawatt Leistung in Betrieb. Es ist eins von weltweit nur zwei Speicherkraftwerken dieses Typs. Das zweite Druckluftspeicherkraftwerk ist das Kraftwerk McIntosh in den USA. Es weist im Vergleich zu Huntorf das 1,8-fache Speichervolumen auf. Der Wirkungsgrad der beiden Anlagen liegt jeweils bei knapp 55 Prozent.

Eine Weiterentwicklung ist der sogenannte adiabate Druckluftspeicher (AA-CAES – Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage), der im Rahmen der Demonstrationsanlage ADELE 2013 in Staßfurt im Salzlandkreis in Sachsen-Anhalt errichtet werden und 2016 seinen Betrieb aufnehmen soll. Der Unterschied zu konventionellen Druckluftspeichern ist der, dass hier die Wärme der verdichteten Luft nicht verloren geht. Sie wird ebenfalls gespeichert und später zur Stromerzeugung verwendet. So erhöht sich der Wirkungsgrad auf etwa 70 Prozent. Zudem erfolgt die Wärmespeicherung nicht mehr durch den Einsatz von Erdgas. Damit erlauben adiabate Druckluftspeicher die CO₂-neutrale Bereitstellung von Spitzenlaststrom aus erneuerbaren Energien.

Eine weitere Speichermöglichkeit wird zukünftig das „**Power-to-Gas**“-Verfahren bieten, das Strom zu synthetischem Erdgas umwandelt. So können größere Anteile erneuerbaren Stroms im Energiesystem aufgenommen werden. Zudem speichert erneuerbares Erdgas den Strom langfristig und ist jederzeit abrufbar. Die bestehende Erdgasinfrastruktur kann mit ihrem

ADELE - DER ADIABATE DRUCKLUFTSPEICHER FÜR DIE ELEKTRIZITÄTSVERSORGUNG



// Bild: RWE

Speicherreservoir von über 200 Terawattstunden Energie für Monate vorrätig halten. Damit ließen sich zukünftig bis zu 85 Prozent des Stromverbrauchs mit erneuerbaren Energien decken (weitere Informationen siehe Seite 97 ff, Kapitel 07, Abschnitt „Synthetisches Erdgas“).

Quellen: AGEB, „Energieverbrauch 2011“, 2012
BMW i, „Energiewende! Energiepolitische Informationen“, 02/2012
Zentrum für Energieforschung Stuttgart (ZfES), „Stromspeicherpotenziale für Deutschland“, 2012

SPEICHERUNG VON WÄRME

Wärmespeicher ermöglichen es, das Wärmeangebot dem Bedarf anzupassen. So lassen sich Sonnenenergie oder industrielle Abwärme effizient nutzen. Auch in puncto Versorgungssicherheit und Wärmetransport spielen Wärmespeicher eine bedeutende Rolle.

Eine Lösung zum Speichern von Solarenergie sind **Salzspeicher**. Dabei heizt die Sonnenwärme ein spezielles Trägeröl auf knapp 400 Grad Celsius auf. Das Öl erzeugt zunächst Dampf, der Turbinen antreibt. Die überschüssige Wärme wird in Speichern mit einer Kalium-Natriumnitrat-Schmelze zwischengelagert. Nach Sonnenuntergang kann die im Salz gespeicherte Hitze abgerufen und wieder der Dampfturbine zugeführt werden. Diese Technologie wird bereits im solarthermischen Kraftwerkkomplex Andasol in Südspanien erfolgreich eingesetzt (weitere Informationen siehe Seite 38, Kapitel 03, Abschnitt „Solarthermische Kraftwerke“).

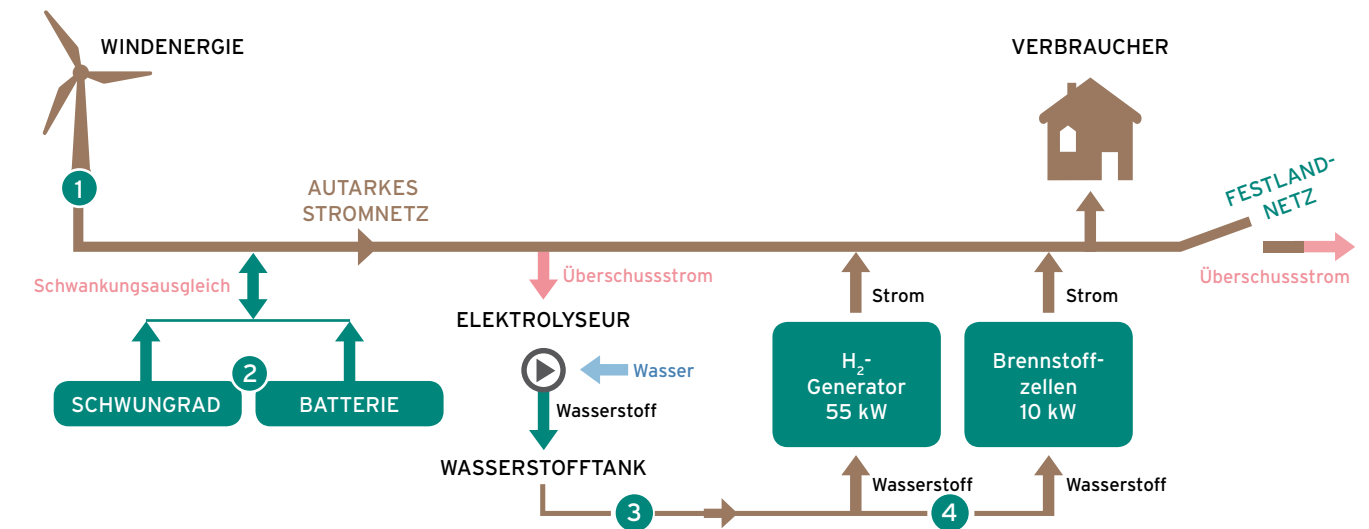
Eine vielversprechende Innovation sind **Latentwärmespeicher**, die in Baustoffen, Wänden, Decken, Fußböden und Fassadenelementen verkapselt sind. Sie speichern überschüssige Wärme und geben sie bei sinkenden Temperaturen wieder ab. Das verringert den Wärme- und Kühlbedarf und senkt gleichzeitig den Energieverbrauch.

Die Kraft-Wärme-Kopplung birgt ebenfalls großes Potenzial. Etwa die Hälfte der im Brennstoff enthaltenen Energie wird als Wärme freigesetzt. Sie lässt sich zukünftig in **Zeolith** speichern, einem Mineral mit Aluminium- und Silizium-Bestandteilen. Dieser Speicher kann drei- bis viermal so viel Wärme wie Wasser speichern und sie außerdem über längere Zeiträume einlagern. Die Zeolith-Speicherbehälter müssen demnach auch nur rund ein Viertel so groß sein wie Wasserspeicher.

BINE > BINE Informationsdienst
www.bine.info

Quellen: BINE, „Wärmespeicher“, 2012
BINE, „Wärme und Strom speichern“, 2012

FUNKTIONSWEISE DER WASSERSTOFFSPEICHERUNG



SPEICHERUNG VON WASSERSTOFF

Die Technologie der Wasserstoffspeicher befindet sich aktuell noch im Versuchsstadium. Ihr Prinzip: Überschüssiger Windstrom wird genutzt, um Wasser per Elektrolyse in Sauerstoff und Wasserstoff aufzuspalten. Ähnlich wie es bereits mit Erdgas geschieht, ließe sich der so erzeugte Wasserstoff in großen Salzkavernen zwischenspeichern und dann entweder in Blockheizkraftwerken oder fest installierten, dezentralen Brennstoffzellen wieder verstromen.

Alternativ könnte der Wasserstoff Erdgas beigemischt und ins Gasnetz geleitet oder als Kraftstoff für mobile Brennstoffzellen in Elektrofahrzeugen genutzt werden. Ab 2015 sollen wasserstoffbetriebene Brennstoffzellenfahrzeuge auf den Markt kommen.

- 1 Ein 600-kW-Windrad erzeugt Strom für zehn Haushalte.
- 2 Kurzzeitige Stromschwankungen werden mit einem Schwungrad bis zu wenigen Minuten und mit Batterien bis zu einer halben Stunde ausgeglichen.
- 3 Durch Wind gewonnener Strom spaltet durch Elektrolyse Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff. Ein Tank speichert genug Wasserstoff, um zehn Haushalte drei Tage lang mit Strom zu versorgen.
- 4 Ein Generator und Brennstoffzellen erzeugen Strom aus Wasserstoff, wenn das Windrad nicht läuft.

Quellen: BMWi, „Auftragsstudie 08/28“, 2009
Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, „Deutschland verändert sich“, 2012

ELEKTROAUTOS UND ELEKTROMOBILITÄT

VORTEILE

- › in Kombination mit erneuerbaren Energien nahezu emissionsfrei
- › als mobile Stromspeicher ins intelligente Stromnetz integrierbar
- › günstige Betriebskosten
- › hoher Wirkungsgrad (über 90 Prozent)
- › Wartung ist günstiger
- › verschleiß- und geräuscharm
- › volles Drehmoment vom Start an
- › Verringerung der Abhängigkeit vom Erdöl

NACHTEILE

- › hoher Anschaffungspreis für Fahrzeuge
- › hohe Investitionskosten für notwendigen Ausbau der Tankstellen-Infrastruktur
- › Fahrzeuge sind vergleichsweise langsam
- › geringe Reichweite
- › keine nennenswerte Verringerung des CO₂-Ausstoßes bei Verwendung von Kohlestrom

BMF › Bundesministerium für Bildung und Forschung www.bmbf.de

Quelle: BMU, „Die Energiewende. Zukunft made in Germany“, 2012

BMVBS › Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung www.bmvbs.de

www.bmvbs.de /Stichwort „Schaufenster Elektromobilität“

www.bmwi.de /Stichwort „Elektromobilität“

ELEKTROAUTOS ALS STROMSPEICHER

Um das volle Potenzial intelligenter Stromnetze (siehe Seite 52) zu nutzen, können die Batterien von Elektroautos eine zentrale Rolle als mobile Stromspeicher übernehmen. Hintergrund: Die Erzeugung von Wind- und Solarstrom ist starken wetterbedingten und jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Liefern beispielsweise die Windkraftanlagen mehr Strom, als das Netz verkraften kann, sollen künftig Batterien der E-Mobile den überschüssigen Strom aufnehmen. Umgekehrt können die Fahrzeugnutzer Strom aus den Auto-Akkus ins Netz verkaufen, wenn der Strom knapp wird oder besonders starke Nachfrage herrscht und der Fahrzeughalter sein Auto nicht benötigt. Die Autobesitzer können dabei selbst bestimmen, wie viel Energie sie zurückspeisen wollen, sodass ihre Mobilität jederzeit gewährleistet bleibt. Voraussetzung für die Realisierung dieses Konzepts sind die flächendeckende Verbreitung batterieelektrisch betriebener Fahrzeuge, die Weiterentwicklung der Batterietechnologie und der Aufbau einer engmaschigen Infrastruktur mit „Stromtankstellen“, die Strom abgeben, aber auch aufnehmen können. Fahrzeug und Ladestelle müssen zudem miteinander kommunizieren, um beispielsweise die Art des Ladevorgangs (Schnellladung, Standardladung) zu bestimmen oder den zuvor festgelegten Umfang der Einspeisung ins Netz zu kontrollieren. Dies könnte mit der Integration intelligenter Ladetechnik in Elektrofahrzeuge umgesetzt werden.

STAATLICHE FÖRDERPROGRAMME

Auch der Straßenverkehr soll effizienter und klimaschonender werden. Dabei setzt die Bundesrepublik Deutschland auch auf Elektromobilität mit Strom aus erneuerbaren Energien. Gelder aus dem **Energie- und Klimafonds** dienen daher auch dazu, Forschungs- und Entwicklungsausgaben im Rahmen des Regierungsprogramms „Elektromobilität“ zu fördern. Bis 2020 sollen mindestens eine Million Elektroautos, bis 2030 sogar sechs Millionen Elektroautos auf

Deutschlands Straßen fahren. Um diese Ziele zu erreichen, stellt die Bundesregierung bis zum Jahr 2013 für Forschung und Entwicklung – zusätzlich zu den bisher eingesetzten 500 Millionen Euro aus dem Konjunkturprogramm – eine Milliarde Euro bereit. Darüber hinaus sollen Anreize geschaffen werden, welche die Markteinführung der Elektrofahrzeuge forcieren sollen. Dazu gehören spezielle Parkplätze für Elektromobile und steuerliche Vergünstigungen. Bundesregierung und Industrie wollen Deutschland zu einem internationalen Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität machen. Dazu hat die Bundesregierung das Programm „**Schaufenster Elektromobilität**“ ins Leben gerufen, das mit 180 Millionen Euro gefördert wird. Im Rahmen dieses Programms sollen ab 2013 in vier Regionen alle Komponenten des Gesamtsystems Elektromobilität erprobt werden – vom Car-Sharing mit Elektroautos über elektrisch betriebene Firmenflotten bis hin zu elektrischem Lieferverkehr.

ENERGIEFORSCHUNG

Die Energiewende verlangt nach neuen Konzepten, wie sich Energie zuverlässig, bezahlbar und umweltschonend gewinnen, speichern und transportieren lässt. Um diese Konzepte entwickeln zu können, hat die Bundesregierung das **6. Energieforschungsprogramm** beschlossen. Danach stehen für den Zeitraum von 2011 bis 2014 rund 3,5 Milliarden Euro für die Energieforschung zur Verfügung. Davon fließen bis zu 200 Millionen in neue Speichertechnologien (siehe Seite 46 ff, Kapitel „Netz- und Speichertechnologien“). Darüber hinaus verbessert die Bundesregierung die internationalen Kooperationen in der Energieforschung. So gehört Deutschland zu den wenigen Ländern, in denen die Umsetzung des europäischen Energietechnologieplans (**SET-Plan**) Bestandteil des nationalen Energieforschungsprogramms ist. Zudem verstärkt Deutschland sein Engagement im Rahmen des Energietechnologienetzwerks der IEA.

Energie- und Klimafonds. Mit diesem 2010 eingerichteten Sondervermögen wird die Beschleunigung der Energiewende in den unterschiedlichsten Bereichen finanziert. Ursprünglich sollten die Betreiber der deutschen Kernkraftwerke in den Fonds einzahlen. Durch den Ausstieg aus der Kernenergie entfallen diese Beiträge. Deshalb fließen seit 2012 alle Einnahmen, die aus der Versteigerung von Emissionszertifikaten erzielt werden (siehe Seite 22) in diesen Fonds.

Quellen: BMU, „Die Energiewende. Zukunft made in Germany“, 2012
Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, „Deutschland verändert sich“, 2012

SET-Plan. Priorität haben Projekte mit einer eindeutig europäischen Dimension in den Bereichen Stromnetze, erneuerbare Energien, Speichertechnologien, Energieeffizienz sowie Abtrennung und Speicherung von CO₂ (Carbon Capture and Storage, kurz „CCS“).

Die Bundesregierung › Presse- und Informationsamt der Bundesregierung www.bundesregierung.de

Quellen: BMWi, „Die Energiewende in Deutschland“, 2012
Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, „Deutschland verändert sich“, 2012

ENERGIENUTZUNG UND -VERBRAUCH

05

+ 11 % AM ENDENERGIEVERBRAUCH
FÜR WÄRME

+ 12,5 % AM GESAMTEN ENDENERGIE-
VERBRAUCH - STROM, WÄRME
UND KRAFTSTOFFE

Erneuerbare Energien sollen zur tragenden Säule der zukünftigen Energieversorgung in Deutschland werden. Was Sie in den vergangenen zwei Jahrzehnten (Stand 2011) erreicht haben ...

// Foto: gettyimages

+ 20,3 % AM BRUTTOSTROMVERBRAUCH



Kapitel 05

Quellen: AGEB, „Energieverbrauch 2011“, 2012
BMW, „Energiedaten“, 2012

PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH AUSGEWÄHLTER EU-LÄNDER 2011 (in Exajoule, EJ)		
	Deutschland	12,9
	Frankreich	10,5
	Großbritannien	7,9
	Italien	6,9
	Spanien	5,3
	Niederlande	3,2

DER ENERGIEVERBRAUCH IN DEUTSCHLAND

In Deutschland geht der **Primärenergieverbrauch (PEV)** seit Jahren langsam zurück: Wurden 1990 noch 14.905 Petajoule benötigt, sank der Bedarf bis 2011 um knapp zehn Prozent auf 13.521 Petajoule. Damit erreichte der Primärenergieverbrauch im vereinigten Deutschland den bisher niedrigsten Wert seit 1989. Dieser liegt sogar unter dem krisenbedingt niedrigen Verbrauchsniveau aus dem Jahr 2009.

Zu diesem Rückgang hat vor allem die milde Witterung im Jahr 2011 beigetragen. Sie sorgte für einen deutlich niedrigeren Wärmebedarf. Eine weitere Ursache für den Rückgang des Primärenergieverbrauchs waren sicher auch die Reaktionen auf die erheblich gestiegenen Energiepreise und -kosten (siehe dazu auch Kapitel 02 „Energemarkt und -preise“). Nach wie vor nimmt die Bundesrepublik Deutschland allerdings beim Gesamtverbrauch den Spitzenplatz innerhalb der EU ein.

ENERGIE IST NICHT GLEICH ENERGIE

Der Energieverbrauch ging laut BMWi in Deutschland von 14.217 im Jahr 2010 auf 13.521 Petajoule im Jahr 2011 zurück. 696 Petajoule weniger – aber wovon genau? Die **Primärenergie** umfasst alle natürlichen Energiequellen wie Kohle, Erdöl und Erdgas. Nach ihrer Umwandlung zum Beispiel in Strom oder Heizöl werden diese zur **Sekundärenergie**.

Die **Endenergie** ist schließlich die Energiemenge, die den Verbraucher in Form von Heizöl, Benzin oder Strom erreicht.

Um eine Kilowattstunde Strom zu erzeugen, werden ca. drei Kilowattstunden Primärenergie benötigt. Basis für die Berechnungen des BMWi ist der Primärenergieverbrauch, kurz **PEV**.

DEUTSCHLANDS ENERGIEMIX

Die erneuerbaren Energien sollen zur tragenden Säule der zukünftigen Energieversorgung werden. Bis spätestens 2020 soll ihr Anteil an der Stromversorgung mindestens 35 Prozent betragen, an der gesamten Wärmebereitstellung 14 Prozent. Aktuell stellen die fossilen Brennstoffe noch den Hauptanteil: Öl, Gas, Kohle und Kernenergie decken 89 Prozent der deutschen Primärenergie ab. Wasser- und Windkraft erreichen 1,8 Prozent, andere erneuerbare Energien 9,2 Prozent.

Insgesamt ist jedoch eine deutliche Entwicklung hin zu den erneuerbaren Energien erkennbar. Lag ihr Anteil am Stromverbrauch 1990 noch bei

Quelle: BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012

PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IN DEUTSCHLAND 2011			
ENERGIETRÄGER	VERBRAUCH IN PETAJOULE	ANTEIL GESAMT- VERBRAUCH IN %	VERÄNDERUNG GEGENÜBER 2010 IN %
MINERALÖLE	4.537	33,6	+0,7
ERDGAS	2.808	20,8	-1,5
STEINKOHLE	1.734	12,8	+0,7
BRAUNKOHLE	1.563	11,6	+1
KERNENERGIE	1.178	8,7	-2,1
WASSER- UND WINDKRAFT	311	2,3	+0,5
ANDERE ERNEUERBARE	1.175	8,7	+0,5
AUSSENHANDELSBALANZ STROM	-23	-0,2	+0,2
SONSTIGE	237	1,8	+0
GESAMT	13.521	100,0	
DAVON ERNEUERBARE ENERGIEN	1.486	11	+0

Quelle: BMWi, „Energiedaten“, 2012

ANGABEN ZUR TABELLE AUF SEITE 65

¹ Abweichend zu den Vorjahren ab 2003.
Angaben nach §§ 3, 5 (Heizkraft- und Heizwerke)
und § 8 (Industrie) des Energiestatistikgesetzes
von 2003 sowie Direktnutzung von Klärgas.
² Anteil des biogenen Abfalls in Abfallver-
brennungsanlagen zu 50 Prozent angesetzt.
³ Nutzungsenergie. Rückbau von Altanlagen
berücksichtigt.
⁴ einschließlich Wärme aus Tiefengeothermie
und erneuerbare Wärme durch Wärmepumpen.

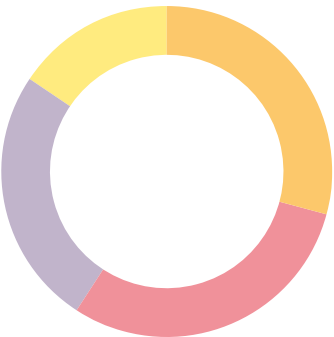
Quelle: BMU, auf Basis der Arbeitsgruppe
Erneuerbare-Energien-Statistik (AGEE-Stat)

3,1 Prozent, so waren es 2011 bereits rund 20 Prozent. Auch im Wärmebe-
reich gab es Fortschritte. Hier war es besonders die Biomasse, die mit ihrem
Beitrag zum Ausbau der erneuerbaren Energien beitrug. Ausgehend von
2,1 Prozent im Jahr 1990 steigerte sich ihr Anteil auf elf Prozent im Jahr
2011. Biokraftstoffe, die erst seit dem Jahr 2000 nennenswert zum Einsatz
kommen, trugen im Jahr 2011 mit einem Anteil von 5,5 Prozent zur Mobi-
lität bei. Insgesamt konnten durch die Nutzung erneuerbarer Energien im
Jahr 2011 im Vergleich zu 2010 rund 1.628 Petajoule an fossilen Energie-
trägern in den Bereichen Strom, Wärme und Verkehr eingespart werden.

ENDENERGIEVERBRAUCH IN DEUTSCHLAND 2011

ENERGIETRÄGER	PJ	ENERGIETRÄGER	PJ
MINERALÖLPRODUKTE		STROM	
Haushalte	476	Haushalte	503
Industrie	94	Industrie	792
Verkehr	2.361	Verkehr	60
Handel, Gewerbe	282	Handel, Gewerbe	533
Gesamtverbrauch	3.213	Gesamtverbrauch	1.888
KOHLE		ÜBRIGE (FERNWÄRME, SONSTIGE ENERGIETRÄGER)	
Haushalte	53	Haushalte	148
Industrie	381	Industrie	281
Verkehr	0	Verkehr	0
Handel, Gewerbe	17	Handel, Gewerbe	86
Gesamtverbrauch	451	Gesamtverbrauch	515
GAS			
Haushalte	773		
Industrie	924		
Verkehr	31		
Handel, Gewerbe	396		
Gesamtverbrauch	2.124		

ANTEIL AM ENDENERGIE-
VERBRAUCH 2011



29,4 % Verkehr
30 % Industrie
25,1 % Haushalte
15,5 % Handel/Gewerbe

Quellen: BMWi, „Energiedaten“, 2012
BMWi, „Energiewende! Energiepolitische
Informationen“, 02/2012

ENTWICKLUNG DER WÄRMEBEREITSTELLUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN
IN DEUTSCHLAND 1990-2011

Jahr	Biomasse ¹ (GWh)	Biogener Anteil des Abfalls ² (GWh)	Solar- thermie ³ (GWh)	Geothermie, Umwelt- wärme ⁴ (GWh)	Summe Wärme- erzeugung (GWh)	Anteil am Wärme- verbrauch (%)
1990	28.265	2.308	131	1.515	32.219	2,1
1991	28.360	2.308	169	1.517	32.354	2,1
1992	28.362	2.308	221	1.522	32.413	2,1
1993	28.368	2.308	280	1.530	32.486	2,1
1994	28.375	2.308	355	1.537	32.575	2,2
1995	28.387	2.308	440	1.540	32.675	2,1
1996	28.277	2.538	549	1.551	32.915	2,0
1997	45.591	2.290	690	1.569	50.140	3,2
1998	49.740	3.405	848	1.604	55.597	3,6
1999	50.858	3.674	1.026	1.645	57.203	3,8
2000	51.419	3.548	1.261	1.694	57.922	3,9
2001	58.220	3.421	1.587	1.765	64.993	4,2
2002	57.242	3.295	1.884	1.855	64.276	4,3
2003	69.182	3.169	2.144	1.956	76.451	5,0
2004	75.376	3.690	2.443	2.086	83.595	5,5
2005	79.746	4.692	2.778	2.294	89.510	6,0
2006	83.023	4.911	3.218	2.762	93.914	6,2
2007	86.670	4.783	3.638	3.415	98.506	7,4
2008	93.133	5.020	4.134	4.168	106.455	7,6
2009	102.403	6.832	4.733	4.931	118.899	8,9
2010	132.843	7.566	5.200	5.585	151.194	10,7
2011	123.970	7.600	5.600	6.297	143.467	11,0

ENERGIEEFFIZIENZ

Mehr Energieeffizienz bedeutet: weniger Energieverbrauch, weniger Treibhausgasemissionen und weniger Kapitalabfluss für den Import von Kohle, Öl und Gas. Deutschland ist hier bereits sehr erfolgreich und konnte das alte ökonomische Prinzip „Mehr Wachstum = mehr Energieverbrauch“ umkehren. So wuchs die deutsche Wirtschaft von 1990 bis 2010 um rund 30 Prozent, während der Energieverbrauch im selben Zeitraum um ca. sechs Prozent gesunken ist. Dabei ist die Energieproduktivität – das Maß für die Energieeffizienz einer Volkswirtschaft – im gleichen Zeitraum um 40 Prozent gestiegen. Im Energiekonzept sieht die Bundesregierung vor, den Primärenergieverbrauch in Deutschland bis 2020 um 20 Prozent und bis 2050 um 50 Prozent gegenüber dem Niveau von 2008 zu senken.

Quelle: BMU, „Klimaschutz und Wachstum“, 2011

Quellen: BMWi, „Energiedaten“, 2012
BMWi, „Energiewende! Energiepolitische Informationen“, 02/2012

ENERGIEVERBRAUCH DER HAUSHALTE

Heizöl und Strom zählen zur sogenannten Endenergie, deren bundesdeutscher Verbrauch im Jahr 2011 insgesamt bei 8.780 Petajoule lag. Davon entfielen 25,1 Prozent auf die Haushalte (1.980 Petajoule). Industrie- und Verkehrssektor lagen mit 30,0 bzw. 29,4 Prozent auf vergleichbarem Niveau.

SZENARIO 2050: 100 PROZENT ERNEUERBARE ENERGIEN FÜR STROM UND WÄRME

Laut einer Studie des Fraunhofer ISE (Stand November 2012) kann im Jahr 2050 die Energie für Strom und Wärme in Deutschland zu 100 Prozent über erneuerbare Energien bereitgestellt werden. Dabei ist die Energieversorgung ausschließlich mit deutschen Ressourcen möglich – ohne jegliche Importe von Energie. Zudem sind die Gesamtkosten für den Bau, den Erhalt und die Finanzierung einer auf erneuerbaren Energien basierenden Strom- und Wärmeversorgung nicht höher als die Kosten, die heute aufgewendet werden. Voraussetzungen für eine vollständige Deckung von Strom und Wärme mit erneuerbaren Energien sind nach diesem Szenario:

- › Der Heizwärmebedarf für Gebäude sinkt auf rund 50 Prozent des Wertes von 2010 (2.813 Petajoule). Dafür sind erhöhte Anstrengungen in der energetischen Gebäudesanierung erforderlich.
- › Die Potenziale für die Nutzung von Windenergie werden weitgehend ausgeschöpft (onshore 200 Gigawatt, offshore 85 Gigawatt).
- › Synthetisches Gas und Methan werden als Langzeitspeicher eingesetzt (siehe dazu auch die Seiten 32 f und 97 ff).
- › Solaranlagen werden massiv ausgebaut, damit mehr Solarenergie in Form von Photovoltaik und Niedertemperatur-Solarthermie genutzt werden kann (installierbare Leistung von solarthermischen Anlagen in Höhe von 2.000 Gigawatt oder installierbare elektrische Leistung von Photovoltaikanlagen in Höhe von 400 Gigawatt).

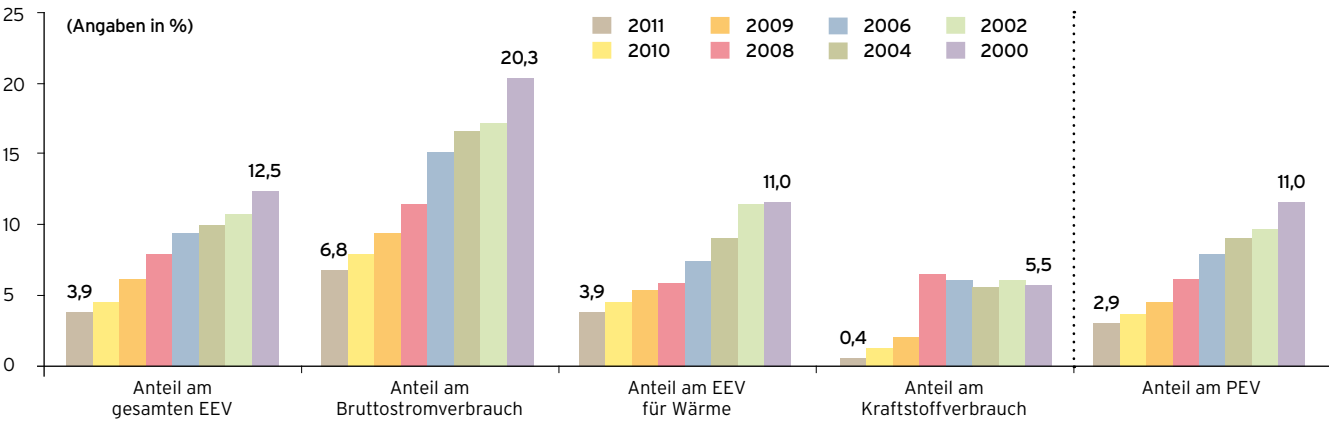
Fraunhofer ISE › Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
www.ise.fraunhofer.de

Fraunhofer IWES › Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik
www.iwes.fraunhofer.de

Quellen: BMWi, „Energiedaten“, 2012
Fraunhofer ISE, „100 % erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland“, 2012
Fraunhofer IWES, „Windenergiereport Deutschland 2011“, 2012

Für die Wärmeversorgung kommen im Szenario 2050 elektrische Wärmepumpen, Wärmenetze, Gas-Wärmepumpen und Blockheizkraftwerke in Betracht.

ANTEILE ERNEUERBARER ENERGIEN AN DER ENERGIEBEREITSTELLUNG IN DEUTSCHLAND 2000-2011



Quelle: BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012

ENERGIEWENDE IM HAUSHALT

06

Das sogenannte „Effizienzhaus-Plus“ zeigt: Schon heute kann ein Haus mehr Energie erzeugen, als es selbst benötigt. Der über Photovoltaik erzeugte Strom wird unter anderem dazu genutzt, die Elektromobile vor der Haustür zu betanken. Strom, der nicht für den Eigenverbrauch benötigt wird, wird in Hochspannungsbatterien gespeichert oder ins öffentliche Stromnetz geleitet.

// Foto: Werner Sobek, Berlin



Kapitel 06

Marktanreizprogramm (MAP) >
www.erneuerbare-energien.de
Förderung > Marktanreizprogramm

BEE > Bundesverband Erneuerbare
Energie e.V.
www.bee-ev.de

BMVBS > Bundesministerium für
Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
www.bmvbs.de

Quellen:
BDH, BWP, EHPA, VdZ, ZVSHK, „Positionspapier
Smart Grid und Smart Market“, 2012
BEE, „Branchenprognose Wärmeversorgung
2020“, 2012
BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012
BMW i, „Die Energiewende in Deutschland“, 2012

ERNEUERBARE ENERGIEN, EFFIZIENTE HAUSTECHNIK

Mehr als die Hälfte der in Deutschland verbrauchten Endenergie entfällt auf den Wärmesektor. Damit kommt dem Ausbau der erneuerbaren Energien und der Steigerung der Effizienz im Wärmemarkt eine zentrale Rolle zu, um die Gesamtziele des Energiekonzepts 2010 zu erreichen (siehe dazu auch Kapitel 01 „Energiewende“). Das wichtigste Instrument ist hierbei das **Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz** (EEWärmeG). Das EEWärmeG setzt ein verbindliches Ziel für den Anteil der Wärme aus erneuerbaren Energien. So sollen im Jahr 2020 mindestens 14 Prozent der Wärme in Deutschland aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden (2011 lag ihr Anteil bei elf Prozent). Hierdurch werden CO₂-Emissionen reduziert und Ressourcen geschont. Zudem wird eine zuverlässige sowie nachhaltige Energieversorgung sichergestellt. Aufgrund des EEWärmeG müssen die Eigentümer von Gebäuden, die ab dem 1. Januar 2009 neu errichtet wurden, zu einem bestimmten Mindestanteil erneuerbare Energieträger für ihre Wärmeversorgung nutzen. Zur Auswahl stehen alle Formen erneuerbarer Energien. Auch die Kombination unterschiedlicher regenerativer Energieträger sowie weiterer klimaschonender Maßnahmen ist möglich. Hierzu gehört die Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung, Abwärme, Fernwärme oder eine Wärmedämmung. Die zweite Säule des EEWärmeG ist die finanzielle Förderung durch das **Marktanreizprogramm** (MAP). Es fördert Anlagen für Heizung und Warmwasserbereitung sowie Anlagen zur Bereitstellung von Kälte oder Prozesswärme, die erneuerbare Energien nutzen. Im Sommer 2012 wurden die Investitionszuschüsse für thermische Solaranlagen, Wärmepumpen und Biomassekessel deutlich erhöht. Im Rahmen des Energiekonzepts müssen bis zum Jahr 2050 fast 90 Prozent der Wohnfläche in Deutschland energetisch saniert werden. Dann darf auch der spezifische Heizenergiebedarf nur

ENTWICKLUNG DER ERNEUERBAREN ENERGIEN IN DEUTSCHLAND 2011-2012

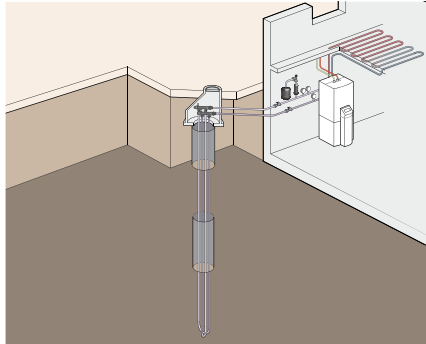
	ENDENERGIE 2011 in MRD. KWH	ENDENERGIE 2012 in MRD. KWH	VERÄNDERUNG GEGENÜBER 2011 IN %
STROMERZEUGUNG			
WASSERKRAFT	17,7	20,5	+16,0
WINDENERGIE	48,9	45,0	-7,9
PHOTOVOLTAIK	19,3	28,5	+47,4
BIOMASSE	37,6	41,0	+9,1
WÄRMEERZEUGUNG			
BIOMASSE	123,1	32,7	+7,8
SOLARTHERMIE	5,6	6,0	+8,0
GEOTHERMIE	6,3	7,0	+11,9

noch rund 20 Kilowattstunden pro Quadratmeter betragen. Die dafür erforderlichen Zusatzinvestitionen belaufen sich allein bei Gebäuden der privaten Haushalte für den Zeitraum 2008 bis 2050 auf über 300 Milliarden Euro.

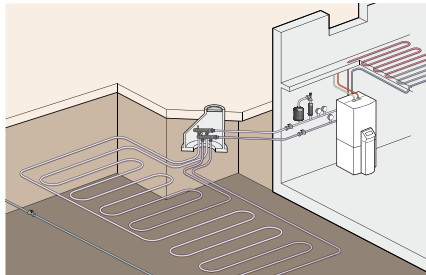
Quelle: AGEB, „Energieverbrauch in Deutschland 2012“, 2013

WÄRMEPUMPEN

Wärmepumpen nutzen die natürliche Umweltwärme aus dem Erdreich, dem Grundwasser oder der Umgebungsluft zum Erwärmen von Wasser und Wohnräumen. Diese Technologie funktioniert nach dem umgekehrten Prinzip eines Kühlschranks: Die Umweltwärme wird von einem thermischen Arbeitsmittel verdichtet und dadurch auf ein nutzbares Temperaturniveau gehoben, um anschließend zum Heizen eingesetzt zu werden. Wärmepumpen arbeiten äußerst effizient: Sie beziehen rund 75 Prozent der benötigten Energie kostenfrei aus der Umwelt. Der Rest ist Strom, der für den Betrieb der Wärmepumpe oder des Kompressors verbraucht wird. Wärmepumpen sind besonders für Heizungen mit niedrigen Vorlauftemperaturen von 35



100 Meter tief reichende Erdsonde



Erdkollektor

WÄRME AUS DEM ERDREICH

VORTEILE

- > keine fossilen Brennstoffe für die Wärmeerzeugung
- > kann auch zum Kühlen dienen
- > kein direkter CO₂-Ausstoß
- > niedrige Betriebskosten
- > sehr effizient

NACHTEILE

- > hoher Erstinstallationsaufwand
- > abhängig von geologischen Gegebenheiten
- > Stromkosten für den Betrieb

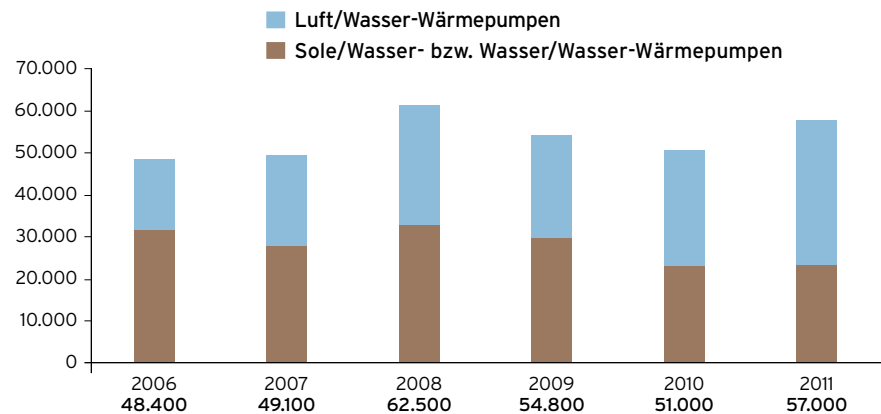
bwp > Bundesverband Wärmepumpe e.V.
www.waermepumpe.de

bis 40 Grad Celsius geeignet, etwa für Fußbodenheizungen oder in das Mauerwerk integrierte Flächenheizsysteme.

Laut einer aktuellen Studie der TU München sparen Wärmepumpen im Vergleich zu fossilen Heizsystemen bis zu 50 Prozent fossile Primärenergie. Zudem werden Wärmepumpen durch den wachsenden Anteil regenerativer Energien im Strommix im Laufe ihrer Nutzungsdauer ohne erneute Investitionen immer „grüner“. Auf diese Weise wird eine heute installierte Anlage in 20 Jahren weniger Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen verursachen als beispielsweise eine Öl-Brennwertheizung mit solarer Warmwasserbereitung.

Im Jahr 2011 wurden in Deutschland rund 57.000 Wärmepumpen installiert. Das sind gut 6.700 mehr als im Jahr zuvor. Insgesamt sind etwa 500.000 Wärmepumpen in Betrieb (Stand November 2012). Der Einbau von Wärmepumpen wird durch das Marktanreizprogramm der Bundesregierung gefördert (siehe dazu auch Seite 24).

ABSATZZAHLEN VON HEIZUNGSWÄRMEPUMPEN IN DEUTSCHLAND 2006-2011



2011 legte der Wärmepumpen-Absatz um 11,8 % auf 57.000 verkaufte Wärmepumpen zu.

SOLE-WASSER-WÄRMEPUMPE

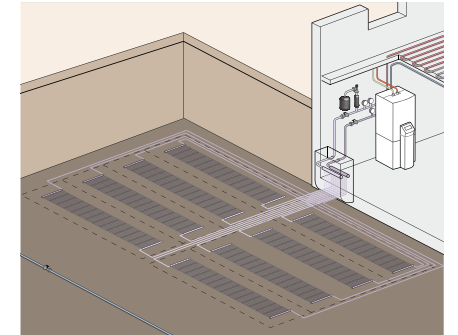
Sole-Wasser-Systeme beziehen ihre Energie aus dem Erdreich – je nach örtlichen Möglichkeiten über eine tief reichende Erdsonde oder einen Flächenkollektor, der rund anderthalb Meter unter der Erdoberfläche im Garten verlegt wird.

Die Vorteile der Wärmegewinnung über eine Erdsonde sind hohe Effizienz und geringer Platzbedarf. Flächenkollektoren eignen sich nur für größere Grundstücke: Für jeden Quadratmeter beheizter Wohnfläche sind etwa zwei Quadratmeter Kollektorfläche erforderlich. Zudem ist ein Kompaktkollektor für den Einsatz am Boden erhältlich, der deutlich weniger Platz beansprucht und dadurch auch für kleinere Grundstücke geeignet ist.

Die Besonderheit von Sole-Wasser-Wärmepumpen ist, dass sie im Sommer auch zur Kühlung benutzt werden können. Dazu wird im Sommer der Kältekreislauf in umgekehrter Richtung betrieben: Anstatt – wie beim Heizbetrieb – Wärme aus dem Erdreich aufzunehmen, wird die Wärme dem Wohnraum entzogen und über den Erdkollektor ins Erdreich abgeleitet. Für die Nutzung des Heizungssystems zur Kühlung sind beispielsweise Fußbodenheizflächen geeignet.

WASSER-WASSER-WÄRMEPUMPE

Wasser-Wasser-Wärmepumpen nutzen über einen Saug- und Schluckbrunnen die Wärme des Grundwassers. Eine Brunnenpumpe pumpt hierzu Grundwasser zu einer Wärmepumpe. Die Wärme des Grundwassers wird zur Beheizung des Gebäudes und der Warmwasserbereitung verwendet. Das abgekühlte Grundwasser gelangt aus einem Brunnen zurück in den natürlichen Kreislauf. Durch die hohe Durchschnittstemperatur des Grundwassers (etwa 10 Grad Celsius) sind Wasser-Wasser-Systeme sehr effizient.



Kompaktkollektor

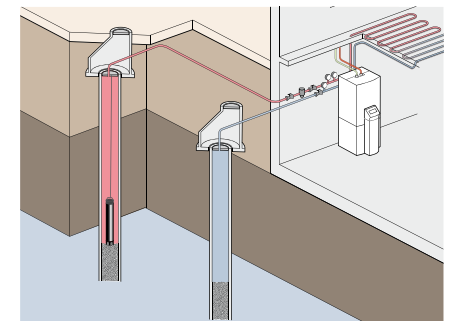
WÄRME AUS DEM GRUNDWASSER

VORTEILE

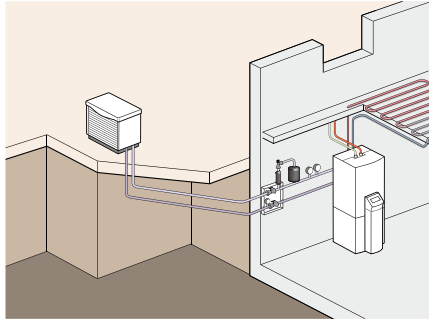
- > keine fossilen Brennstoffe für die Wärmeerzeugung
- > sehr effizient
- > kein direkter CO₂-Ausstoß
- > niedrige Betriebskosten

NACHTEILE

- > hoher Erstinstallationsaufwand
- > Wärmepumpe wird mit Strom betrieben
- > abhängig von Grundwasser und Grundwasserqualität



Wasser-Wasser-Wärmepumpe



Luft-Wasser-Wärmepumpe

LUFT-WASSER-WÄRMEPUMPE

Eine Luft-Wasser-Wärmepumpe benötigt weder eine Erdsonde noch einen Brunnen oder Platz für Flächenkollektoren. Sie ist deshalb ideal für die Modernisierung von bestehenden Heizanlagen geeignet und bietet sich zudem für Immobilien mit schwer zugänglichen Grundstücken an. Diese Heizsysteme ziehen die Wärme für den Heizkreislauf ausschließlich aus der Umgebungsluft. Luft-Wasser-Wärmepumpen sind in der Anschaffung die günstigste Variante, da aufwändige Erdbohrungen entfallen. Allerdings ist die Leistungsausbeute geringer als bei anderen Systemen.

Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Splittechnologie vereinen die Vorteile von Luft- und Sole-Wärmepumpen in einem Konzept. Das System besteht aus einer frei aufstellbaren Außeneinheit und einer Sole-Wasser-Wärmepumpe. Das Außengerät – das beispielsweise im Garten aufgestellt werden kann – besteht aus einem modulierenden Ventilator sowie einem Wärmetauscher. Der Ventilator saugt die Umgebungsluft an und führt sie über einen Wärmetauscher. Hier wird die Wärme der Umgebungsluft auf den Sole-Kreislauf übertragen.

Die Sole transportiert die Wärme durch Rohrleitungen zur Inneneinheit. In der Inneneinheit wird die von der Sole aus der Außeneinheit übertragene Umgebungswärme auf ein zum Heizen nutzbares Temperaturniveau angehoben. Dabei kühlt die Sole ab und fließt mit einer Temperatur unterhalb der Umgebungstemperatur zurück. Hier wird sie von Neuem auf die Temperatur der Umgebungsluft erwärmt. Dadurch, dass die Wärme erst im Gebäude und damit ohne Wärmeverlust erzeugt wird, arbeitet die Split-Wärmepumpe bei hoher Heizleistung sehr effizient. Zur weiteren Effizienzsteigerung lässt sich die Wärmepumpe mit Solartechnik kombinieren. Zudem ist sie besonders leise.

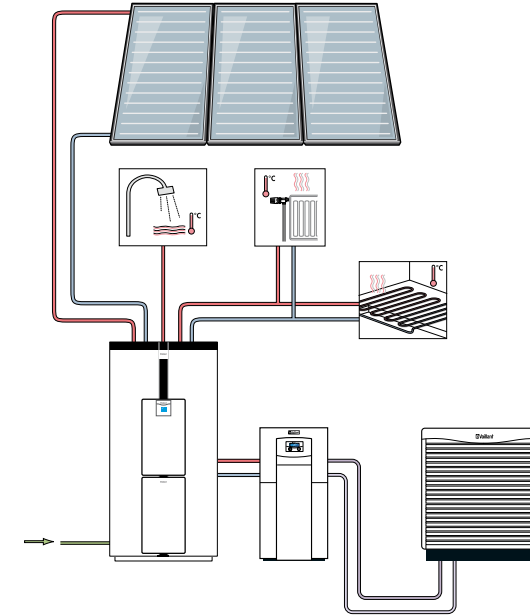
WÄRME AUS DER LUFT

VORTEILE

- > keine Bohrungen nötig
- > auch für Nachrüstung oder Sanierung geeignet
- > kein direkter CO₂-Ausstoß
- > keine fossilen Brennstoffe notwendig

NACHTEILE

- > weniger effizient als Sole-Wasser-Wärmepumpen
- > für große Heizleistung weniger geeignet
- > benötigt bei tiefen Außentemperaturen eine zusätzliche Heizung
- > Stromkosten für den Betrieb



LUFT-WASSER-WÄRMEPUMPE IM SYSTEM

SOLE ALS WÄRMETRÄGER

- > verhindert das Einfrieren der Wärmequelle
- > keine Wärmedämmung der Sole führenden Rohre notwendig
- > umweltfreundlich

WÄRMEPUMPEN-GAS-HYBRIDSYSTEM

Das Wärmepumpen-Gas-Hybridsystem ist die Weiterentwicklung der Sole-Split-Technologie. Es verbindet beispielsweise die Gas-Brennwerttechnik mit einer wandhängenden Wärmepumpe und macht so die Umweltwärme aus Luft, Erdreich oder Wasser nutzbar. Dabei liefert die Wärmepumpe die Basisenergie für die Raumheizung. Die Spitzenlast und die Warmwasserbereitung deckt ein Gas-Wandheizgerät ab. Je nach Energiequelle steht eine aktive oder passive Kühlfunktion zur Verfügung. Die wandhängende Wärmepumpe kann auch bei bereits installierten Gas-Wandheizgeräten nachgerüstet werden.

Das Hybridsystem nutzt stets so viel Umweltwärme wie möglich und nie mehr Gas als nötig. Dies wird durch das intelligente Hybrid-Management (siehe dazu auch „Smart Meter/Smart Grids“, Seiten 49 ff) sichergestellt. Es berücksichtigt die Außentemperatur, die benötigte Vorlauftemperatur und

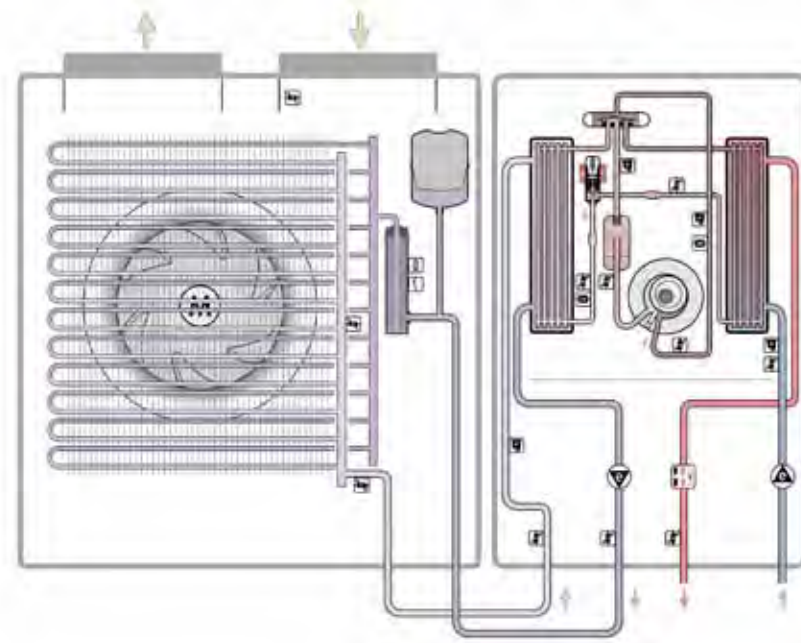
HYBRIDSYSTEM

VORTEILE

- > erneuerbare Energie
- > schadstoffarme Gas-Brennwerttechnik
- > hohe Effizienz
- > umweltfreundlich
- > flexible Einsatzmöglichkeiten
- > leicht nachrüst- bzw. integrierbar

NACHTEILE

- > hoher Installationsaufwand
- > fossiler Energieträger
- > Gasanschluss erforderlich

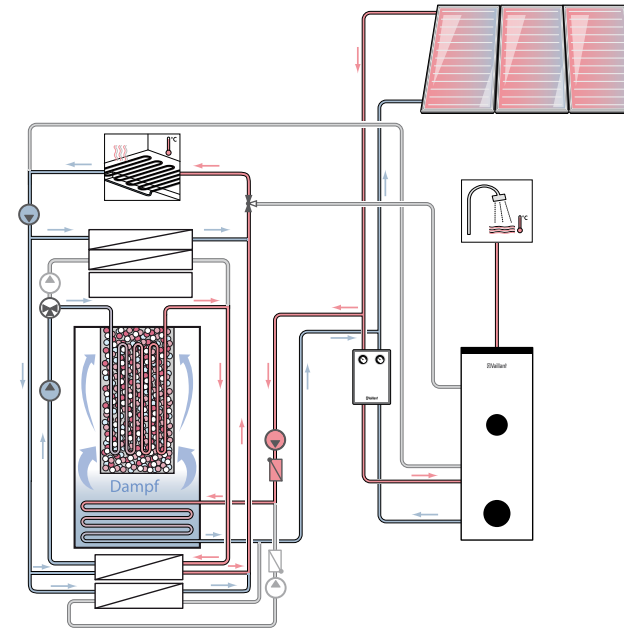


Hybridsystem. Beim Einsatz der Wärmequelle Luft kann über den Anschluss eines Lüftungsventilators mit einem optionalen Abluft-Adapter die Effizienz zusätzlich erhöht werden. Dazu wird die Raumluft beispielsweise aus Badezimmer oder Küche angesaugt und ihr über den Wärmetauscher Energie entzogen.

die Preise der beiden Energieträger Strom und Gas. Ein derartiges **Hybridsystem** kann bis zu 80 Prozent des jährlichen Wärmebedarfs in Ein- und Mehrfamilienhäusern decken. Zudem befindet sich die gesamte Technik geschützt im Gebäude. Auf diese Weise entsteht auf dem Weg vom Wärmetauscher zur Wärmepumpe kein Energieverlust.

ZEOLITH-GAS-WÄRMEPUMPE

Zeolith-Gas-Wärmepumpen koppeln effiziente erdgasbetriebene Brennwerttechnik mit kostenloser Umweltwärme. Durch das Zeolith – ein keramartiges Mineral mit besonderen thermodynamischen Eigenschaften – ist es möglich, einen Teil der zum Heizen von Gebäuden benötigten Primärenergie durch Umweltwärme bereitzustellen. Dies senkt den Energieverbrauch, die Kosten für die eingesetzte Energie und die CO₂-Emissionen im Vergleich zu



ZEOLITH-GAS-WÄRMEPUMPE

VORTEILE

- > erneuerbare Energie
- > schadstoffarme Gas-Brennwerttechnik
- > hohe Effizienz
- > umweltfreundlich
- > Wasser als unbedenkliches Kältemittel
- > systemoffen, da bereits vorhandene Module genutzt werden können

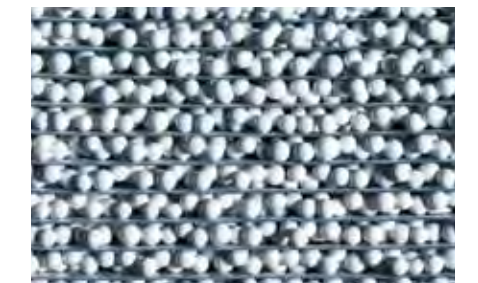
NACHTEILE

- > vergleichsweise hoher Erstinstallationsaufwand
- > fossiler Energieträger
- > Gasanschluss erforderlich

Gas-Brennwertheizgeräten plus Solarthermieanlage für die Warmwasserbereitung deutlich. Dabei erreichen Zeolith-Gas-Wärmepumpen im System (in Kombination mit Solarkollektoren) einen Gesamtnutzungsgrad von bis zu 141 Prozent.

Die Zeolith-Gas-Wärmepumpe besteht aus einer Gas-Brennwerteinheit und einem Zeolith-Modul inklusive Systemregelung. Zusätzlich sind mindestens zwei Solarkollektoren sowie ein solarer Warmwasserspeicher zum System erforderlich. Bereits im Haus vorhandene Speicher und Kollektoren können genutzt werden. Das geschlossene Vakuum-Zeolith-Modul enthält neben dem Zeolith lediglich Wasser als Kältemittel und zwei Wärmetauscher. In der ersten Phase wird im Zeolith-Modul Wasser mithilfe von Solarenergie verdampft. Der anfangs trockene Zeolith nimmt den Wasserdampf in seinen Poren auf und erhitzt sich dabei stark. Diese Wärme wird direkt zum Heizen genutzt.

Zeolith (Siedestein) – ist ein natürlich vorkommendes, umweltverträgliches Mineral, das Wasser anzieht wie ein Schwamm und dabei erhebliche Mengen Wärme abgibt.



bwp > Bundesverband Wärmepumpe e.V.
www.waermepumpe.de

MAP-Novelle. Die Förderbeträge für elektrische Luft-Wasser-Wärmepumpen (bis 100 Kilowatt) liegen je nach Leistung zwischen 1.300 und 1.600 Euro. Sonstige Wärmepumpen (bis 100 Kilowatt) werden je nach Leistung mit zwischen 2.800 und 11.800 Euro vergütet. Für den Einbau eines Pufferspeichers von mindestens 30 Litern pro Kilowatt Wärmeleistung gibt es einen Bonus in Höhe von 500 Euro.

Quelle: BMU, „Energiewende mitgestalten“, 2012

Ist das Zeolith mit Wasser gesättigt und gibt keine Wärme mehr ab, wird das Wasser in der zweiten Phase mittels Gas-Brennwerteinheit wieder aus dem Zeolith verdampft, und das Zeolith trocknet ab. Der Wasserdampf kondensiert an einem Wärmetauscher und gibt dabei wiederum Wärmeenergie ab, die ebenfalls direkt dem Heizkreislauf zugeführt wird. Nach einer kurzen Abkühlungszeit kann die erste Phase erneut beginnen. Da es sich um einen rein physikalischen Vorgang handelt, sind unendlich viele Zyklen möglich. So kann unbegrenzt oft kostenlose und ökologische Umweltwärme in das Heizsystem überführt werden.

POWER-TO-HEAT-PRINZIP

In Kombination mit Wärmepumpen können gut gedämmte Gebäudehüllen, Fußboden- oder Wandheizungen bis zu zwei Stunden als thermische Speicher fungieren. Mit einem zusätzlichen **Pufferspeicher** oder bei Gebäuden mit hoher thermischer Speicherfähigkeit können Wärmepumpen auch über einen deutlich längeren Zeitraum Leistungsschwankungen ausgleichen.

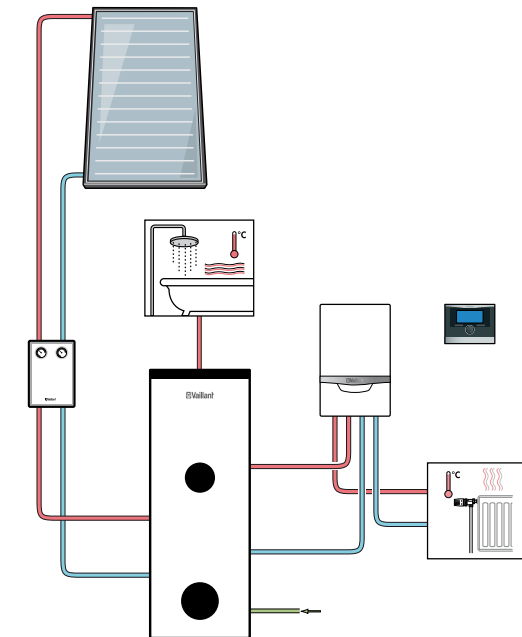
Mit der Novelle des Marktanreizprogramms (MAP) vom 15. August 2012 wird die Anschaffung eines Pufferspeichers mit einem Bonus honoriert.

SOLARTHERMIE

Moderne Heizungen können mit Solarkollektoren kombiniert werden. Sie erwärmen das Wasser und können zum Teil zusätzlich Wärme in den Heizkreislauf einspeisen. Fünf Quadratmeter Kollektorfläche genügen, um 60 Prozent des Jahresenergiebedarfs zur Wassererwärmung eines Vierpersonen-Haushalts zu decken. Kernstück einer Solarthermieranlage sind Kollektoren, die in der Regel auf dem Hausdach montiert sind. Es gibt zwei unterschiedliche Kollektortypen: Flach- und Röhrenkollektoren. Bei beiden

Kollektortypen wird die Wärme der Sonnenstrahlung über eine frostsichere Flüssigkeit aus dem Kollektor zum Speicher geführt und von einem Solarwärmetauscher auf das Wasser übertragen. Röhrenkollektoren verfügen zumeist über einen zusätzlichen Spiegel, der das Sonnenlicht konzentriert. Dadurch erreichen Röhrenkollektoren einen hohen Nutzungsgrad – auch bei diffusen Lichtverhältnissen. Die Amortisationszeit hängt sehr stark von den örtlichen Sonnenstrahlzeiten ab und wird auch von der Höhe der staatlichen Fördergelder beeinflusst. Der Anteil der Solarthermie an der bundesweiten Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien wächst stetig: 2011 bezifferte er sich mit 5.600 Gigawattstunden auf 3,9 Prozent. Die in Deutschland installierte solarthermische Kollektorfläche beträgt derzeit insgesamt über 15 Millionen Quadratmeter. Der Installationsaufwand wird durch ein Marktanreizprogramm finanziell unterstützt (siehe dazu auch Seite 24).

Quelle: BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012



SOLARTHERMIE

VORTEILE

- > erneuerbare Energie
- > absolut sauber, kein CO₂-Ausstoß
- > kann in bestehendes System integriert werden

NACHTEILE

- > je nach Bedarf große Speichervolumina nötig, um Wärme zu bevorraten

PHOTOVOLTAIK

VORTEILE

- > erneuerbare Energie
- > absolut sauber, kein CO₂-Ausstoß
- > praktisch wartungsfrei
- > Solarmodule nutzen nicht ab
- > geringe Stromverluste durch direkte Einspeisung ins Netz am Erzeugungsort

NACHTEILE

- > relativ hohe Einstiegsinvestition
- > hohe Jahresschwankungen
- > geringe Energieausbeute bei mäßiger Sonneneinstrahlung

BNetzA > Bundesnetzagentur
www.bundesnetzagentur.de

Quelle: BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012

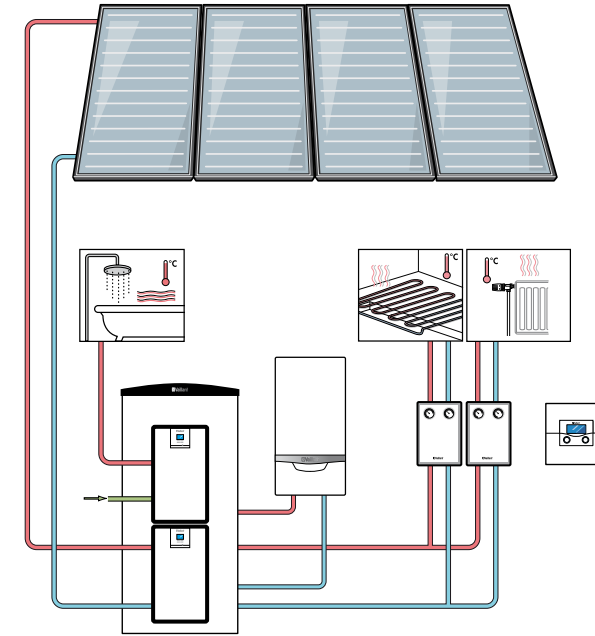
PHOTOVOLTAIK

Solarmodule produzieren mithilfe des Sonnenlichts Gleichstrom, der über einen Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt wird. Dieser Strom kann entweder selbst genutzt oder ins öffentliche Netz eingespeist werden. Trotz Absenkung der Vergütungssätze im Jahr 2012 ist der Photovoltaikboom in deutschen Privathaushalten ungebrochen. Ende Oktober 2012 wies die Bundesnetzagentur eine installierte Photovoltaikkapazität von 31.632 Megawatt aus. Mit einer Leistung von 19,3 Terawattstunden stieg der Anteil am Bruttostromverbrauch auf mittlerweile 3,2 Prozent.

BRENNWERTTECHNIK

Bei der Verbrennung von Gas oder Öl entsteht nicht nur Wärme, sondern auch eine große Menge Wasserdampf. Bei konventionellen Heizungen entweicht der Wasserdampf ungenutzt durch den Schornstein – ein erhebliches Energiepotenzial geht verloren. Moderne Öl- oder Gas-Brennwertgeräte nutzen die im Wasserdampf enthaltene Energie und erreichen dadurch einen Normnutzungsgrad von 109 Prozent (Gas) und 105 Prozent (Öl). Diese Wirkungsgrade liegen kurz vor der physikalischen Grenze. Eine weitere Effizienzsteigerung ist bei der alleinigen Ausnutzung von Gas und Öl kaum noch möglich. Ein Brennwertgerät benötigt gut 30 Prozent weniger Energie als herkömmliche Heizkessel, der Schadstoffgehalt der Abgase sinkt um bis zu 30 Prozent.

Um die im Wasserdampf enthaltene Energie zu nutzen, werden die Abgase in einem Wärmetauscher bis auf die Rücklauftemperatur des Heizgerätes von rund 30 bis 60 Grad Celsius heruntergekühlt. Der Dampf kondensiert zu Wasser und gibt dabei Wärme an den Heizkreislauf ab. Moderne Geräte können ihre Heizleistung modulieren, das heißt exakt an den jeweils benö-



BRENNWERTTECHNIK MIT ÖL ODER GAS

VORTEILE

- > sehr hoher Wirkungsgrad
- > leichte Montage
- > geringe Investitionen
- > hohe Verfügbarkeit
- > mit erneuerbaren Energien kombinierbar

NACHTEILE

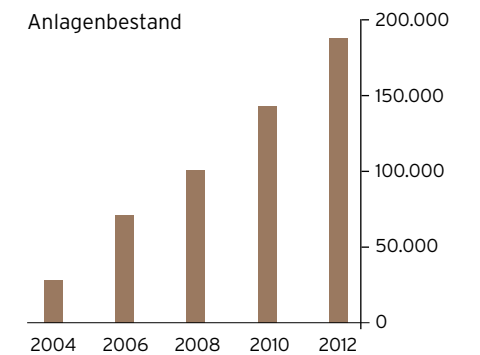
- > fossiler Energieträger
- > Abhängigkeit von Energiepreisen

tigten Energiebedarf anpassen. Der Aufwand für die Umrüstung auf Brennwerttechnologie ist relativ gering. Deswegen ist die Heiztechnik auch für die Modernisierung geeignet. Die Umstellung von alten Heizwertgeräten auf die klimafreundliche Brennwerttechnik wird – insbesondere in Kombination mit einem Solarsystem – derzeit im Rahmen eines Marktanreizprogramms finanziell vom Staat gefördert (siehe dazu auch Seite 24).

PELLET-HEIZKESSEL

In Pellet-Heizsystemen werden zu Pellets verpresste Sägespäne und Sägemehl verfeuert. Die aus naturbelassenem Restholz ohne chemische Bindemittel hergestellten Pellets sind ein Nebenprodukt der Holzindustrie. Neben dem Holzpelletkessel ist – wie bei der Ölheizung – ein Lagerraum für den Brennstoff erforderlich. Ein Zufuhrsystem versorgt den Pellet-Heizkessel per

ENTWICKLUNG DER ANZAHL VON PELLETHEIZUNGEN IN DEUTSCHLAND 2004-2012



Quelle: statista 2012, www.statista.com

.....

HOLZPELLETS - GEPRESSTE SÄGESPÄNE

VORTEILE

- › klimaneutral
- › hohe Effizienz
- › unabhängig von Gas-/Ölpreisen

NACHTEILE

- › Pelletlager erfordert zusätzlichen Platz
 - › hohe Einstiegsinvestitionen erforderlich
-

DEPV › Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V.
www.depv.de

Quellen:
EUWID, „Neue Energien“, Ausgabe 42/2012
statista 2012, www.statista.com

.....

MINI-BLOCKHEIZKRAFTWERKE MIT ERDGAS, BIOGAS ODER DIESEL

VORTEILE

- › hohe Effizienz
- › produzieren Strom und Wärme vor Ort
- › als Schattenkraftwerk nutzbar
- › keine Netzverluste bei der Einspeisung des Stroms und der Nutzung von Wärme

NACHTEILE

- › hohe Einstiegsinvestitionen
 - › nur bei hohem Wärmebedarf wirtschaftlich
-

Luftsog oder über eine Förderschnecke automatisch und kontinuierlich mit Brennstoff. Besonders energieeffizient arbeiten Pelletheizsysteme in Kombination mit Solarkollektoren und einem Pufferspeicher. Diese Heizsysteme sind klimaneutral, weil sie ausschließlich nachwachsende Rohstoffe verfeuern. Bei der Verbrennung von Holzpellets wird die CO₂-Menge ausgestoßen, die der Baum zu Lebzeiten gespeichert hat. Somit setzt der natürliche Verwesungsprozess des Baumes dieselbe CO₂-Menge frei wie das Verfeuern der Holzpellets. Im Rahmen des Klimaschutzprogramms werden Pelletheizungen über Zuschüsse und zinsgünstige Darlehen in Deutschland gefördert. Derzeit erzeugen rund 180.000 Pelletheizungen Wärme in Deutschland (Stand Oktober 2012). Der Deutsche Energieholz- und Pellet-Verband (DEPV) geht davon aus, dass sich die Zahl der Pelletheizungen in den nächsten fünf Jahren verdoppelt.

MINI-BLOCKHEIZKRAFTWERKE FÜR GRÖßERE GEBÄUDE

Mini-Blockheizkraftwerke nutzen die Technologie der Kraft-Wärme-Kopplung gezielt und etablieren sich zunehmend als kostensparende und umweltschonende Alternative zur konventionellen Energieversorgung. Sie produzieren mithilfe eines Gas-Verbrennungsmotors, der einen Generator antreibt, elektrischen Strom und heizen gleichzeitig mit der Abwärme Gebäude und Warmwasser auf. Meist werden sie mit Erdgas oder Diesel angetrieben und kommen häufig in gewerblich genutzten Gebäuden oder in der Landwirtschaft zum Einsatz. Inzwischen werden auch andere Modelle mit alternativen Antriebsformen wie Stirlingmotoren, Mikroturbinen, Dampfmotoren oder Brennstoffzellen entwickelt. Durch die Kombination von Strom- und Wärmeerzeugung erreichen Mini-Blockheizkraftwerke Gesamtwirkungsgrade von bis zu 90 Prozent. Im direkten Vergleich mit einer herkömmlichen Gebäudeheizung erscheint dieser Wert zunächst niedriger. Da bei

Mini-Blockheizkraftwerken im Vergleich zur zentralen Stromerzeugung im Kraftwerk die gesamte anfallende Wärme im Gebäude genutzt wird, ist die Energieausnutzung im Gesamtvergleich aber deutlich höher. Dies kann zu einer CO₂-Einsparung von bis zu 50 Prozent führen. Die Netzbetreiber sind per Gesetz dazu verpflichtet, den Strom von Mini-Blockheizkraftwerken als Ökostrom abzunehmen.

MINI- UND MIKRO-BLOCKHEIZKRAFTWERKE FÜR EIN- UND ZWEIFAMILIENHÄUSER

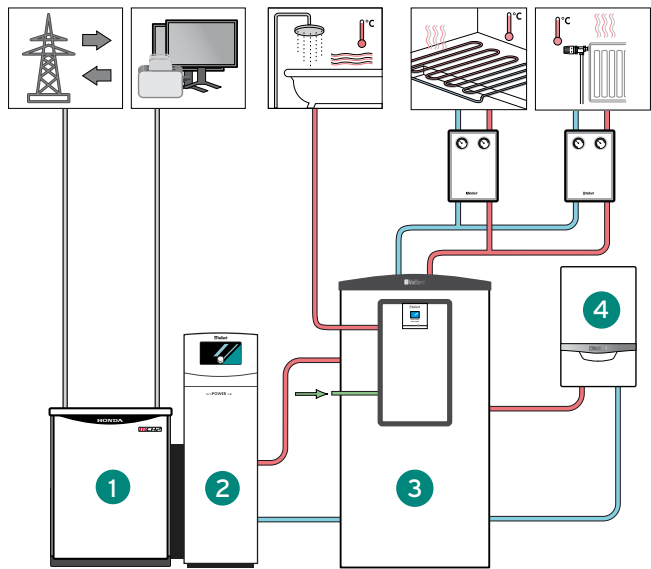
Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerke eignen sich auch für den Einsatz in Ein- und Zweifamilienhäusern. Hier produzieren sie ihren eigenen Strom dort, wo sie ihn brauchen und nutzen die dabei anfallende Wärme zum Heizen und für die Warmwasserbereitung. Im Vergleich zur konventionellen Arbeitsteilung - also der separaten Erzeugung von Strom und Wärme - reduziert dies den

Laut Kurzstudie eignet sich Kraft-Wärme-Kopplung in Verbindung mit Erdgasantrieb als Brückentechnologie ins Zeitalter der erneuerbaren Energien (siehe Seiten 99 ff).

.....

Quelle: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, „Erdgas: Die Brücke ins regenerative Zeitalter“, 2010, www.wupperinst.org

Brennstoffzellen-Heizgeräte wandeln chemische Energie direkt in elektrische Energie um. Vaillant entwickelt aktuell ein Festoxid-Brennstoffzellen-Heizgerät, das zukünftig etwa zwei Kilowatt Wärme und ein Kilowatt Strom produzieren wird. Das umweltschonende, hocheffiziente Heizgerät wird in Einfamilienhäusern zum Einsatz kommen.



MIKRO-BLOCKHEIZKRAFTWERKE

- 1 Gas-Verbrennungsmotor
- 2 Wärmeauskopplungsmodul mit Systemregler
- 3 Multifunktionsspeicher mit Trinkwasserstation
- 4 Spitzenlastheizgerät

KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG FÜR EINFAMILIENHÄUSER

VORTEILE

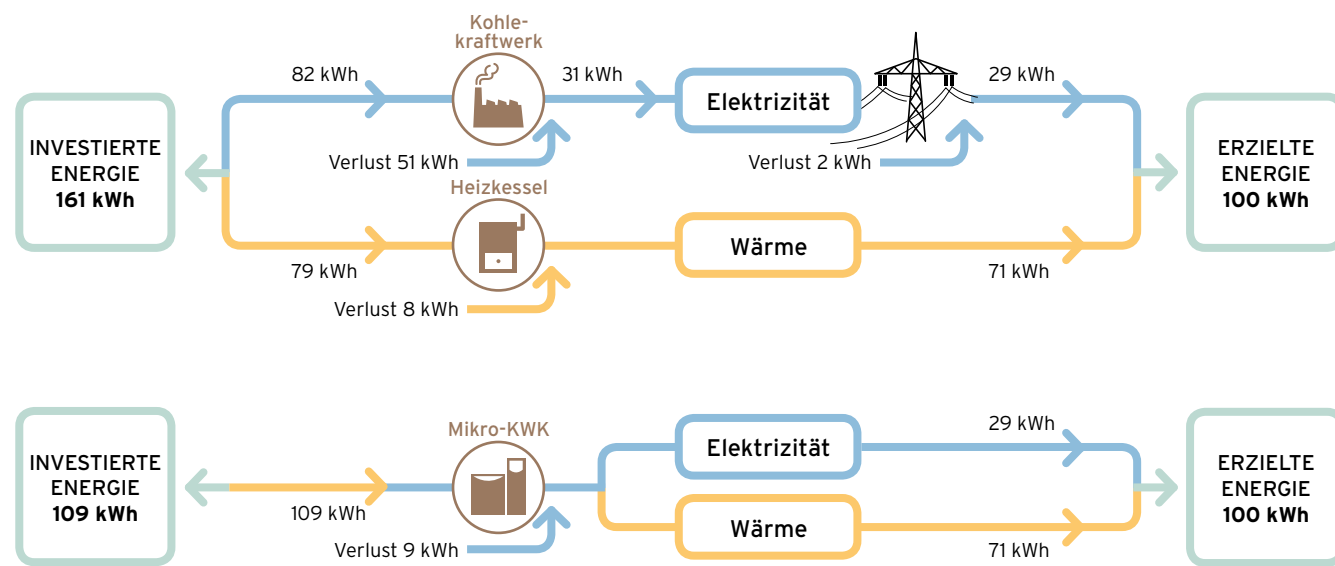
- › hohe Effizienz
- › auch für Einfamilienhäuser geeignet
- › produziert Strom und Wärme vor Ort
- › keine Netzverluste bei der Einspeisung des Stroms und der Nutzung von Wärme

NACHTEILE

- › hohe Einstiegsinvestitionen
- › wenig Erfahrung im europäischen Raum

Energieverbrauch um mehr als ein Drittel und den CO₂-Ausstoß um bis zu 50 Prozent. 2011 kamen erstmalig sogenannte **Mikro-Blockheizkraftwerke** auf den Markt. Sie wurden von Vaillant und dem japanischen Motorenhersteller Honda speziell für den wirtschaftlichen Einsatz in Ein- und Zweifamilienhäusern entwickelt. Sie bestehen aus einem Kraft-Wärme-Kopplungsmodul mit Gasverbrennungsmotor und einem Wärmeauskopplungsmodul. Über den Motorkühlwasserkreislauf wird die Wärme in das Auskopplungsmodul transportiert und von dort in den Speicher eingeschichtet. Dieser wiederum versorgt die Heizkreise des Hauses und sorgt bei Bedarf für die Erwärmung des Trinkwassers. Bei sehr starkem Wärmebedarf wird ein Gas-Brennwertgerät als Spitzenlastheizgerät zugeschaltet. Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerke lassen sich auch mit **Bio-Erdgas** betreiben. Bio-Erdgas ist gasförmige Biomasse, die als erneuerbare Energie der Erdwärme und der Solarenergie gleichgestellt ist.

32 PROZENT PRIMÄRENERGIEEINSPARUNG MIT MIKRO-KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG



FÖRDERUNG VON KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG

Die Bundesregierung unterstützt seit April 2012 den Bau hocheffizienter Blockheizkraftwerke in Ein- und Zweifamilienhäusern, sogenannte Mini-KWK. Die Förderung gilt für Mini-Kraftwerke mit einer Leistung von maximal 20 Kilowatt.

ENERGIEEFFIZIENTES WOHNEN

Mit dem sogenannten **Effizienzhaus-Plus** wurde ein Gebäude entwickelt, das im Laufe eines Jahres mehr Energie erzeugt, als seine Nutzer verbrauchen. Es ist individuell planbar und wird höchsten ökologischen sowie ästhetischen Ansprüchen gerecht. Dabei ist das Effizienzhaus-Plus nicht an eine bestimmte Technologie gebunden: Energieeffiziente Bauweisen lassen sich mit erneuerbaren Energiequellen wie Photovoltaik- oder kleinen Windkraftanlagen sinnvoll kombinieren. Darüber hinaus können Abwärmesysteme, thermische Solaranlagen oder Wärmepumpen eingebunden werden. Für die Warmwassererzeugung kommt Solarthermie in Betracht. Hiermit lassen sich bis zu zwei Drittel des Energiebedarfs für die Warmwassererzeugung einsparen.

Smart Meter sollen zukünftig im Effizienzhaus-Plus ebenfalls zum Standard gehören (siehe dazu auch Seite 49). Die erzeugte überschüssige Energie (sogenannte „Plusenergie“) kann nicht nur für den privaten, sondern auch für den öffentlichen, gewerblichen und industriellen Bereich genutzt werden. Auch das **Energiewerthaus**, das Ytong und Vaillant gemeinsam realisiert haben, zeichnet sich durch individuelle Gestaltungsfreiheit und hohe Energieeffizienz aus. Es entspricht den Anforderungen eines förderfähigen KfW-Effizienzhauses 55 und in Ausführung mit Photovoltaik den Anforderungen des KfW-Effizienzhauses Plus. Die Gebäudehülle des Energiewerthauses besteht aus hochwärmedämmendem Porenbeton. Für die Wärmegewinnung werden Solarthermie, Wärmepumpen und kontrollierte Wohnungslüftung eingesetzt.

KfW-Effizienzhaus 55. In der Hausbranche gibt es eine Vielzahl von Energiestandards und Bezeichnungen. Als allgemein anerkannter Standard haben sich die Förderstufen der KfW für energieeffizientes Bauen durchgesetzt. Ein KfW-Effizienzhaus 55 darf folgende Werte im Vergleich mit einem Standardgebäude nach Energieeinsparverordnung nicht überschreiten: 55 Prozent Jahresprimärenergiebedarf und 70 Prozent Verlust bei der Wärmeübertragung.

Energieeinsparverordnung (EnEV).

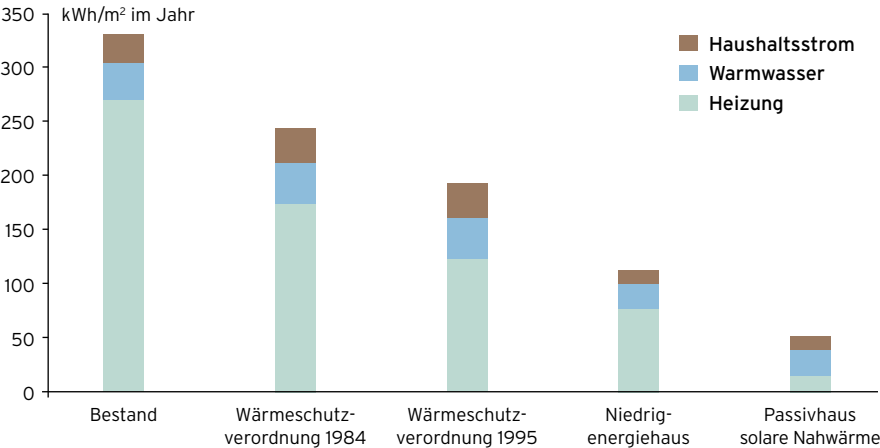
Die EnEV beschreibt die einzuhaltenden energetischen Anforderungen für Neubauten und Umbauten in Deutschland mit dem maximal zulässigen Jahresprimärenergiebedarf. Dieser bezieht die Energiemenge, die im Verlauf eines Jahres für Heizen, Lüften und Warmwasserbereitung benötigt wird. Dieser Wert basiert auf der Qualität und dem Zusammenspiel von Heiztechnik und Gebäudehülle.

BMVBS › Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
www.bmvbs.de

KfW › Kreditanstalt für Wiederaufbau
www.energiesparen.kfw.de
www.plusenergiehaus.de

Quelle: BMVBS, „Wege zum Effizienzhaus-Plus“, 2011

JAHRESHEIZWÄRMEBEDARF
NIEDRIGENERGIE- UND PASSIV-
HAUS



DÄMMEN UND MODERNISIEREN

Ein großes Energieeinsparpotenzial liegt in der Modernisierung von Gebäuden. Schlecht isolierte Fenster, ungedämmte Dächer, veraltete Außenfassaden und nicht isolierte Kellerdecken können den Wärmebedarf gegenüber einem gut isolierten Haus verdreifachen. Neben den Marktanreizprogrammen für umweltfreundliche Heiztechnologie gibt es deshalb auch für die Gebäudesanierung Zuschüsse und zinsgünstige Kredite vom Staat. 2012 hat die Bundesregierung das Gebäudesanierungsprogramm auf 1,5 Milliarden Euro aufgestockt. Mit dem 2008 eingeführten Energieausweis soll der Energiebedarf von Gebäuden für Käufer und Mieter vergleichbar gemacht werden.

Extrem energieeffizient sind sogenannte Passivhäuser. Das sind Gebäude, die wegen ihres geringen Heizwärmebedarfs keine separate Heizung benötigen. In Deutschland liegt die Grenze bei einem Jahresheizwärmebedarf von 15 Kilowattstunden pro Quadratmeter (kWh/m²). Passivhäuser erreichen diese Werte durch konsequente Wärmedämmung bei Dach, Außenwänden und Kellerdecke. Diese Häuser vermeiden darüber hinaus Wärmebrücken, sind extrem windgeschützt und verfügen über sehr gut isolierende

Dreifachverglasung sowie eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft. Gleichzeitig nutzen Passivhäuser durch großzügige Fensterflächen auf der Südseite die Sonneneinstrahlung zur Raumwärmegewinnung. Nicht abschließend geklärt ist jedoch, inwieweit das Fehlen einer Heizung sowie das Nichtöffnen der Fenster zu Feuchtigkeit und Schimmelbildung in Passivhäusern führen können.

ENERGIEEFFIZIENZ BEI ELEKTROGERÄTEN

Der mittlere Stromverbrauch der ca. 40 Millionen deutschen Haushalte für Haushaltsprozesse und Beleuchtung (ohne Heizung und Warmwasserbereitung) beträgt 2.650 Kilowattstunden pro Jahr (Stand 2011), mit leicht steigender Tendenz. Hiervon entfallen etwa 33 Prozent auf Haushaltsprozesse (Kochen, Trocknen, Bügeln), etwa zehn Prozent auf Beleuchtung und die restlichen 57 Prozent auf Haushalts- und Kommunikationsgeräte. Die größten Verbraucher sind Wäschetrockner, gefolgt von Kühl- und Gefriergeräten. Etwa 13 Prozent des Haushaltsstroms werden für den Standby-Betrieb verschwendet. Würde der Standby-Betrieb konsequent vermieden, ließen sich jährlich bis zu 350 Kilowattstunden Strom pro Haushalt einsparen.

Quelle: BMVBS, „Wege zum Effizienzhaus-Plus“, 2011

CO₂-Gebäudesanierungsprogramm. Seit dem Programmstart 2006 hat der Bund bis Ende 2011 insgesamt rund 7,8 Milliarden Euro Fördermittel zur Verfügung gestellt.

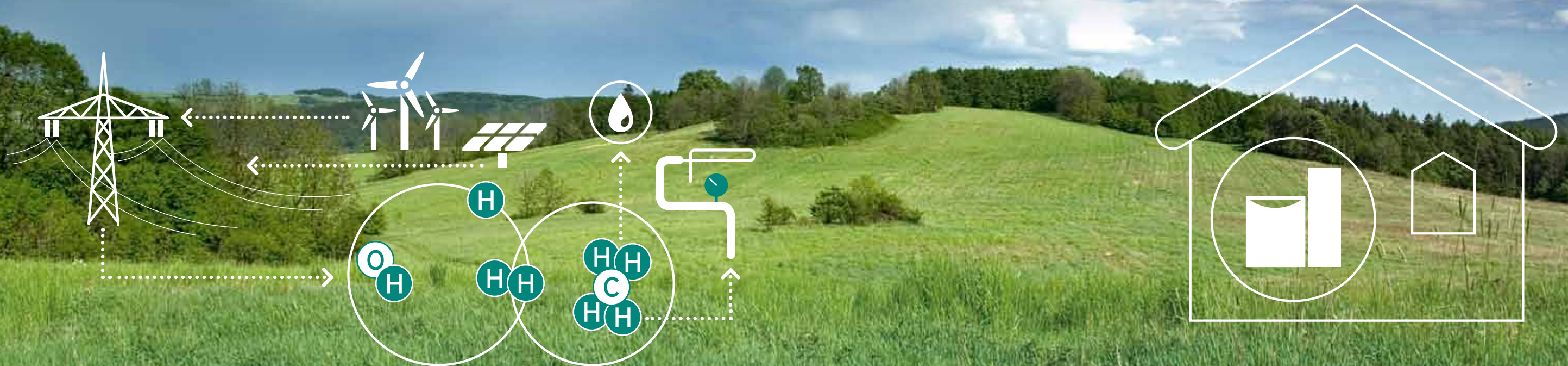
BMVBS > Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
www.bmvbs.de

ENERGIE SPAREN

Der Gebäudebereich bietet das größte Potenzial zur Energieeinsparung. 40 Prozent des deutschen Energieverbrauchs entfallen darauf. Die meisten Gebäude wurden vor der ersten Wärmeschutzverordnung 1979 errichtet. Sie sind meist nicht oder kaum energetisch saniert. Dabei könnten durch fachgerechtes Sanieren und moderne Gebäudetechnik bis zu 80 Prozent des Energiebedarfs eingespart werden. Die Bundesregierung strebt in ihrem Energiekonzept eine Erhöhung der energetischen Sanierungsrate auf zwei Prozent der Gebäudesubstanz an. Dafür wurde das **CO₂-Gebäudesanierungsprogramm** aufgestockt. Für die Jahre 2012 bis 2014 stehen jährlich 1,5 Milliarden Euro aus dem Energie- und Klimafonds zur Verfügung.

Die Weiterentwicklung bestehender sowie die Erforschung neuer Technologien sind auf dem Weg ins Zeitalter der erneuerbaren Energien erforderlich. Sie sollen in Zukunft eine effiziente und zuverlässige Energieversorgung gewährleisten.

// Foto: iStockphoto



Kapitel 07

SONNENENERGIE: LANGFRISTIG GROSSES POTENZIAL

Erneuerbare Energien sollen in Zukunft einen immer größeren Teil des weltweiten Energiebedarfs decken. Kurzfristig haben Windkraft und Biomasse das größte Potenzial. Langfristig ist es aber die unbegrenzt zur Verfügung stehende Sonnenenergie. Wenn nur ein Prozent der Sahara-Wüstenfläche mit Sonnenkollektoren ausgestattet wäre, könnte der weltweite Strombedarf nur mit Solarenergie gedeckt werden. Dazu müsste allerdings das Stromnetz entsprechend ausgebaut werden.

SOLARTHERMISCHE KRAFTWERKE

In trockenen und heißen Zonen der Erde mit einem hohen Anteil an direkter Sonnenstrahlung bieten sich solarthermische Kraftwerke als effizienteste Technik an, um Sonnenenergie zur Stromerzeugung zu nutzen. Um hohe Temperaturen zu erreichen, wird die Solarstrahlung mit linien- oder punktkonzentrierenden Systemen fokussiert. Die konzentrierte Strahlung trifft auf einen Receiver* und erhitzt ein Wärmeträgermedium (zum Beispiel Öl, Wasser, Salz oder Luft). Das Wärmeträgermedium wird der Turbine danach entweder direkt zugeführt oder das Trägermedium gibt in einem Wärmetauscher die Wärme an das Arbeitsmedium für den Turbinenprozess ab.

Abhängig von der Fokussierung und damit von der Spiegelform unterscheidet man **Parabolrinnen-, Fresnel-, Turm- und Paraboloidsysteme**. Die maximal mögliche Receiver-Betriebstemperatur wird durch den Konzentrationsfaktor bestimmt. Paraboloid- und Solartürme mit einem Konzentrationsfaktor über 1.000 erzielen die besten Prozesswirkungsgrade.

SOLARTHERMISCHE KRAFTWERKE IM ÜBERBLICK
Parabolrinnenkraftwerk Anlagengröße 50 - 200 MW Wirkungsgrad 10 - 18 Prozent
Fresnelkraftwerk Anlagengröße 50 - 200 MW Wirkungsgrad 10 - 11 Prozent
Turmkraftwerk Anlagengröße 50 - 200 MW Wirkungsgrad 14 - > 20 Prozent

Quelle: BMU, „Innovation durch Forschung“, 2010

***Receiver:** Absorber zur Aufnahme und Umwandlung von Sonnenenergie.

Parabolrinnenkraftwerke sind die am weitesten entwickelte Technologie. Hier konzentrieren einachsige nachgeführte Parabolspiegel die Solarstrahlung auf ein Receiverrohr. Dieses enthält das Wärmeträgermedium. Die USA produzieren mit dieser Technologie in den Sonnenstaaten wie Kalifornien bereits seit über 20 Jahren umweltfreundlichen Strom. Im südspanischen Andalusien ist Anfang 2012 mit Fertigstellung des dritten solarthermischen Kraftwerkskomplexes von Andasol der größte Solarenergiestandort in Europa entstanden (siehe dazu auch Seite 38 f).

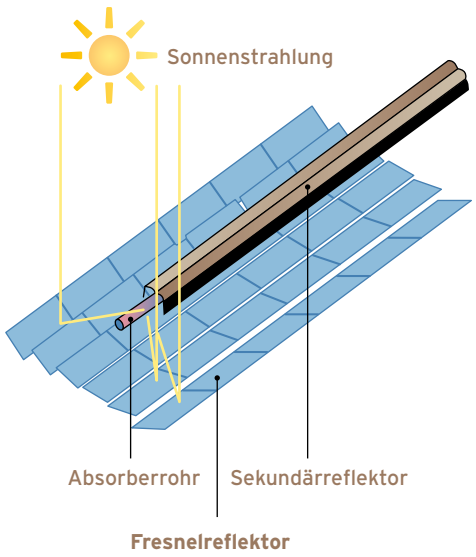
Fresnelkollektoren sind eine Sonderform der Parabolrinne. Bei dieser Technologie lenken einzeln der Sonne nachgeführte, leicht gekrümmte Spiegel in parallelen Reihen das Sonnenlicht auf ein feststehendes Receiverrohr. Im Oktober 2012 nahm im südspanischen Murcia das von Schweizer Energieversorgern erbaute Kraftwerk Puerto Errado 2 den Betrieb auf: Es ist das erste kommerziell betriebene solarthermische Kraftwerk, das auf der Fresnel-Technologie basiert. Puerto Errado 2 produziert 50 Millionen Kilowattstunden Strom pro Jahr. Das entspricht etwa dem Verbrauch von 12.000 Haushalten.

In **solarthermischen Turmkraftwerken** wird die Sonnenstrahlung von nachgeführten Spiegeln (sogenannten Heliostaten) auf einen Receiver gelenkt, der sich auf einem Turm befindet. Der nachfolgende Wärmegewinnungsprozess verläuft wie bei konventionellen solarthermischen Kraftwerken. Die beiden ersten kommerziellen Solarturmkraftwerke gingen 2007 und 2009 in Spanien ans Netz. Eines der fortschrittlichsten Solarturmkraftwerke startete 2009 in Jülich (Nordrhein-Westfalen) den Testbetrieb.

Allein in Spanien werden bis 2014 40 neue Sonnenkraftwerke gebaut. Bis zum Jahr 2020 sollen weltweit 1.500 Anlagen mit einer Leistung von 20.000 Megawatt ans Netz gehen. Dies entspricht einer Leistung von rund 20 Kernkraftwerken. Bis

SOLARES KÜHLEN

Solarenergie lässt sich auch zum Kühlen verwenden: Die Kollektoren auf dem Dach wandeln die Energie der Sonne zunächst in Wärme um, bevor sie zu einer thermisch angetriebenen Kältemaschine gelangt. Der Einsatz ist rentabel: Die Stromkosten lassen sich auf diese Weise um mehr als 30 Prozent reduzieren.



DLR > Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
www.dlr.de
RWE > www.rwe.com
SolarServer > www.solarserver.de

VORTEILE

- › erhebliche Verringerung des CO₂-Ausstoßes
- › bewährte Technik
- › unbegrenzt verfügbare Energie
- › stabile Stromerzeugung als ideale Ergänzung zu schwankenden einheimischen regenerativen Quellen
- › geringe Transportverluste
- › mittelfristig geringere Stromerzeugungs- und Transportkosten als bei konventionellen Technologien

NACHTEILE

- › unkalkulierbare Investitionskosten
- › Energieabhängigkeit von politisch instabilen Ländern
- › Stärkung der zentralistischen Versorgungsstruktur

DESERTEC Foundation ›
www.desertec.org/de/

DLR › Deutsches Zentrum für
Luft- und Raumfahrt
www.dlr.de

BMW, „Die Energiewende in Deutschland“, 2012

zum Jahr 2050 könnten nach Szenarien des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt allein in Nordafrika und im Nahen Osten Sonnenkraftwerke mit einer Leistung von bis zu 470.000 Megawatt entstehen und damit einen maßgeblichen Beitrag zur Energiewende und zur Stromversorgung Europas leisten.

DESERTEC

Das DESERTEC Konzept sieht vor, in den Wüsten der Welt Solarstrom zu erzeugen und diesen zu den dicht bevölkerten und industrialisierten Verbrauchszentren zu transportieren. Initiator ist ein internationales Wissenschaftlernetzwerk, aus dem 2009 die DESERTEC Foundation hervorging. Zusammen mit Partnern aus der Wirtschaft gründete die gemeinnützige Stiftung im Jahr 2009 eine Industrie-Initiative, die das Projekt für Europa, Nordafrika und den Mittleren Osten realisieren soll. Ziel ist es, ab 2050 in der Sahara und den arabischen Wüsten jährlich rund 100 Gigawatt umweltfreundlichen Sonnenstrom für Europa zu produzieren. Dies entspricht 15 Prozent des europäischen Energiebedarfs.

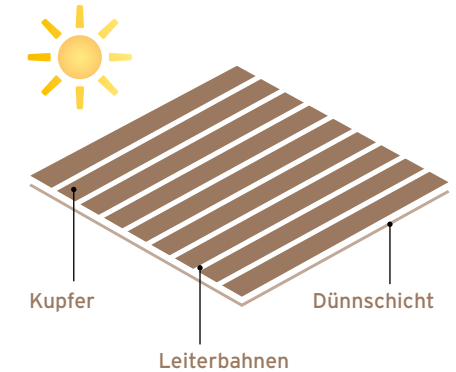
Die Schlüsseltechnologien hierfür haben sich bereits in der Praxis bewährt: Die Hauptrolle im DESERTEC Konzept spielen **solarthermische Kraftwerke** (siehe dazu auch Seite 90 f) und **Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen** (HGÜ). Teile der Wärmeenergie des Tages können gespeichert werden, so dass auch in der Nacht noch Strom produziert werden kann. Mit den HGÜ-Leitungen lässt sich der saubere Strom aus der Wüste über 3.000 Kilometer nach Europa transportieren. Dabei fallen nur geringe Leitungsverluste von rund drei Prozent je 1.000 Kilometer an. Im Gegensatz zu herkömmlichen Wechselstromleitungen lassen sich HGÜ-Fernleitungen auch über weite Strecken unter der Erde verlegen. Dies erhöht die Akzeptanz in der Bevölkerung. Aber: Die Kosten sind enorm – allein das neue Leitungsnetz dürfte nach Berechnungen des

Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt etwa 45 Milliarden Euro kosten. Die Gesamtkosten für das Projekt werden bis 2050 auf 400 Milliarden Euro geschätzt. Der Flächenbedarf wird mit 2.500 Quadratkilometern für die Solarkraftwerke und 3.500 Quadratkilometern für die HGÜ-Leitungen veranschlagt, verteilt über die gesamte Region EU-MENA (Europe – Middle East – North Africa). Neben dem Stromexport soll natürlich zunächst auch der Eigenbedarf der Erzeugerländer abgedeckt werden. Die Rebellion in vielen Ländern Nordafrikas im Sommer 2011 sowie der Rückzug großer europäischer Unternehmen wirken sich allerdings hemmend auf den Fortgang des DESERTEC Projekts aus.

DÜNNSCHICHTMODULE: PREISWERTE ALTERNATIVE

Der Anteil der Solarenergie am Bruttostromverbrauch lag 2012 in Deutschland bei rund fünf Prozent. So liefert die Photovoltaik im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien – trotz des rasanten Wachstums – noch relativ wenig Strom bei hohen Kosten. Um die Kosten zu senken, arbeitet die Solarindustrie seit einigen Jahren kontinuierlich an Alternativen zum kristallinen Standardprodukt. Mit Erfolg: Dünnschichttechnologien haben das Potenzial, die Produktionskosten auf unter einen Euro pro Watt zu senken. Die Material sparende Dünnschichttechnologie, bei der photoaktive Halbleiter in dünnen Schichten (Gesamtdicke nur wenige Tausendstel Millimeter) auf ein Trägermaterial aufgetragen werden, wird stetig weiterentwickelt und erreicht Wirkungsgrade von über 20 Prozent.

Die Verschaltung der einzelnen Zellen zum Modul ist bereits in den Herstellungsprozess integriert. Dünnschichtmodule lassen sich hoch automatisiert und deutlich kostengünstiger fertigen als Solarmodule aus kristallinen Zellen, die außerdem zu einem Modul montiert werden müssen. Großes Potenzial bei den Dünnschichtverfahren haben Module auf Basis von amor-



Die **Dünnschichtsolarzelle** besteht aus einer extrem dünnen Halbleiterverbindung, die sich inklusive der Kontakte auf Glas aufdampfen lässt.

ZSW › Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg
www.zsw-bw.de

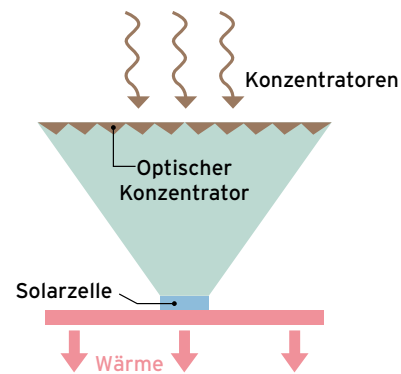
CIS-Solarzellen bestehen aus den Elementen Kupfer, Indium und Schwefel (engl. Copper, Indium, Sulfur).

CIGS-Solarzellen bestehen aus den Elementen Kupfer, Indium, Gallium und Selen (engl. Copper, Indium, Gallium, Selenium).

Quelle: Vaillant, „Energie kompakt 02“, 2011

KONZENTRIERENDE PHOTOVOLTAIK

Hier werden kostenintensive Halbleiterflächen eingespart und durch günstige Optiken ersetzt. Das Sonnenlicht wird vielhundertfach konzentriert und mit hocheffizienten Mehrfachsolarzellen in Elektrizität umgewandelt.



Linsen fokussieren das Licht auf millimeterkleine Solarzellen. Dadurch erzielen Konzentratormodule einen hohen Wirkungsgrad bei niedrigen Materialkosten.

SolarServer > www.solarserver.de

Quelle: Spektrum der Wissenschaft Spezial, Ausgabe 3/2012

phem (nicht kristallinem) oder mikrokristallinem Silizium sowie aus anderen Halbleitermaterialien. Die bekanntesten sind Cadmium-Tellurid und Kupfer-Indium-Diselenid oder -Sulfid. Nischenpositionen nehmen Konzentrator-, Farbstoff- oder organische Zellen ein (siehe dazu auch Seite 36). Den höchsten elektrischen Wirkungsgrad erreichen monokristalline Systeme mit maximal 24 Prozent. Bei den Dünnschichttechnologien zeigen die CIS- oder CIGS-Verfahren mit 20,3 Prozent (Stand Juli 2010) den höchsten Wirkungsgrad. Deutlich geringere Wirkungsgrade erreicht amorphes Dünnschichtsilizium mit 7,5 Prozent.

SOLARZELLEN DER ZUKUNFT

Bei **Konzentratorsolarzellen** bündeln Linsen das Sonnenlicht auf einen Halbleiter. Das spart Material und Kosten. Weltweit sollen im Jahr 2015 mit Konzentratorsolarzellen ausgestattete Anlagen mit einer Gesamtleistung von einem Gigawatt ans Netz gehen. Das langfristige Potenzial ist aber deutlich höher – vor allem in sonnenreichen Gegenden. Hier sind konzentrierende Solarzellen bei starker Einstrahlung besonders wirtschaftlich. Ihr gesamtes Potenzial schöpfen sie als sogenannte **Tandemsolarzellen** aus: Mehrere Zellen werden wie zu einem Sandwich übereinandergestapelt. Dabei wird jede Schicht auf eine bestimmte Wellenlänge optimiert. So kann das gesamte Lichtspektrum abgedeckt werden, um die maximale Energie nutzbar zu machen. Eine Tandemzelle mit 400-fachem Konzentrator erzielte 2012 einen Rekordwirkungsgrad von 43,5 Prozent. Die Zelle misst nur 30 Quadratmillimeter, sammelt aber mit einer Linse das Licht einer 400-mal größeren Fläche ein. Tandemzellen haben bereits Marktreife erlangt, sind jedoch noch recht teuer. Kostengünstiger könnten sie werden, wenn Ebenen aus Nanokristallen übereinandergestapelt würden. Über die Größe oder besser gesagt Winzigkeit der Kristalle ließe sich die Empfindlichkeit für verschiedene Wel-

lenlängen des Lichts einstellen. Die **Nanotechnologie** gilt als Schlüssel für die Solarzellen der Zukunft. Sogenannte Hot Silicon Cells könnten theoretisch einen Wirkungsgrad von 66 Prozent erreichen.

UMWANDLUNG VON SONNENLICHT IN BIOMASSE

Mit künstlicher Photosynthese wäre es möglich, Biotreibstoff herzustellen. Der Vorteil: Es sind keine Pflanzen nötig, die Ackerflächen, Bewässerung sowie Düngung erfordern. Einem Schweizer Forscher ist es gelungen, einen Solarreaktor zu bauen, der Wasser und Kohlendioxid in ein Synthesegas aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid umwandelt. Das Gas könnte als Vorstufe zur Synthese von Benzin, Kerosin und anderen flüssigen Treibstoffen dienen.

Quelle: Spektrum der Wissenschaft Spezial, Ausgabe 3/2012

POTENZIAL DER WINDENERGIE

Anfang der 1990er Jahre standen in Deutschland lediglich knapp 800 Windenergieanlagen. Bei Rotordurchmessern von 20 Metern speisten sie mit einer Leistung von durchschnittlich 150 Kilowatt bundesweit 140 Millionen Kilowattstunden in das Netz ein. Seitdem hat sich die Stromproduktion durch Windenergie mehr als verhundertfacht. Im Jahr 2011 drehten sich bereits die Rotoren von rund 220.000 Anlagen im Wind und stellen mit rund 40 Prozent den größten Teil des erneuerbaren Stroms in Deutschland. Die Windenergie ist auch weiterhin stark ausbaufähig.

BEE > Bundesverband Erneuerbare Energie
www.bee-ev.de

Quelle: Fraunhofer IWES, „Windenergie Report Deutschland 2011“, 2012

ONSHORE - WINDENERGIE AN LAND

Die Onshore-Windenergie ist die treibende Kraft der Energiewende. Dies wird nicht nur über die hohe eingespeiste Menge des Stroms, sondern auch durch die niedrigen Kosten deutlich. Denn Onshore-Windenergie ist unter den

BWE > Bundesverband WindEnergie e.V.
www.wind-energie.de

Fraunhofer IWES > Fraunhofer-Institut
für Windenergie und Energiesystemtechnik
www.iwes.fraunhofer.de

Quelle:
BWE, „A bis Z. Fakten zur Windenergie“, 2012

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG).
Mit der Neuregelung des EEG von 2012
wurde die Anfangsvergütung für Investiti-
onen in Repowering-Projekte auf 0,5 Cent
je Kilowattstunde erhöht. Dabei müssen die
abzubauenden Anlagen vor dem 1. Januar
2002 in Betrieb genommen worden sein.

Agentur für Erneuerbare Energien >
www.unendlich-viel-energie.de

BEE > Bundesverband Erneuerbare Energie
www.bee-ev.de

www.erneuerbare-energien.de

Quelle:
BWE, „A bis Z. Fakten zur Windenergie“, 2012

EWEA > European Wind Energy Association
www.ewea.org

erneuerbaren Energien die kostengünstigste Art der Stromerzeugung. Im Jahr 2011 lag die durchschnittliche EEG-Vergütung für Onshore-Windstrom unter 9 Cent je Kilowattstunde. Gegenwärtig stehen die meisten Windenergieanlagen in den nord- und mitteldeutschen Bundesländern. Spitzenreiter sind Niedersachsen, Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein. Technologische und politische Entwicklungen sorgen jedoch dafür, dass die Onshore-Windenergie auch in Süddeutschland an Bedeutung gewinnt. Eine Studie des Fraunhofer IWES kommt zu dem Ergebnis, dass Bayern und Baden-Württemberg enormes Windenergie-Potenzial besitzen.

REPOWERING

Viele Anlagen zur Windenergienutzung sind in die Jahre gekommen. Hier besteht großes Potenzial, die Altanlagen abzubauen und durch neue, wesentlich leistungsstärkere Anlagen zu ersetzen. Die Faustformel für das Repowering an Land lautet: Verdopplung der installierten Leistung und Verdreifachung der produzierten Strommenge mit der halben Anzahl an Windturbinen. Die Branchenprognose „Stromversorgung 2020“ geht davon aus, dass sich die installierte Leistung an Land bis 2020 gegenüber 2007 auf rund 45 Gigawatt vergrößert. Die produzierten Kilowattstunden sollen sich im selben Zeitraum sogar verdreifachen.

OFFSHORE – WINDPARKS AUF DEM MEER

Durch starke und stetig wehende Winde auf hoher See liegt die Energieausbeute von Offshore-Anlagen 40 Prozent höher als an Land. Aus diesem Grund können Offshore-Windparks in den kommenden Jahren einen wachsenden Beitrag zur Energieversorgung leisten. Nach Schätzungen der European Wind Energy Association (EWEA) können in Europa bis 2020 bis zu 40.000

Megawatt Offshore-Leistung installiert sein. Bereits heute drehen sich vor den europäischen Küsten an das Netz angeschlossene Anlagen mit insgesamt 3.813 Megawatt Leistung. Seit dem Jahr 2011 befinden sich neun neue Offshore-Projekte im Bau. Zudem werden Vorbereitungsarbeiten für neun weitere Projekte – sieben davon in Deutschland und zwei in Großbritannien – getroffen. Wenn diese insgesamt 18 Projekte realisiert sind, wird die kumulierte Offshore-Leistung in Europa mehr als 9.000 Megawatt betragen. In der deutschen Nordsee, 45 Kilometer nördlich der Insel Borkum, wurde mit dem Offshore-Testfeld alpha ventus im Frühjahr 2010 der erste deutsche Offshore-Park mit insgesamt zwölf Anlagen und einer installierten Leistung von 60 Megawatt in Betrieb genommen.

Quelle: BWE, „A bis Z. Fakten zur Windenergie“, 2012

SYNTHETISCHES ERDGAS

Weltweit wird mehr und mehr Strom aus Sonne und Wind gewonnen. Da Solar- und Windstrom oft zu Zeiten entstehen, in denen sie nicht gebraucht werden, werden Stromspeicher für diesen fluktuierend anfallenden Ökostrom benötigt. 2010 ist es deutschen Forschern erstmalig gelungen, erneuerbare Elektrizität mit dem sogenannten „**Power-to-Gas**“-Verfahren in synthetisches Erdgas umzuwandeln.

Auf diese Weise können größere Anteile erneuerbaren Stroms im Energiesystem aufgenommen werden. Zudem speichert erneuerbares Erdgas den Strom langfristig und ist jederzeit abrufbar. Die bestehende Erdgasinfrastruktur kann mit ihrem Speicherreservoir von über 200 Terawattstunden Energie für Monate vorrätig halten. Damit ließen sich zukünftig bis zu 85 Prozent des Stromverbrauchs mit erneuerbaren Energien decken.

Die „Power-to-Gas“-Technologie wandelt nach dem Vorbild der Photosynthese die energielosen Rohstoffe CO₂ und Wasser mithilfe von elektrischem Strom

Fraunhofer-Gesellschaft >
www.fraunhofer.de

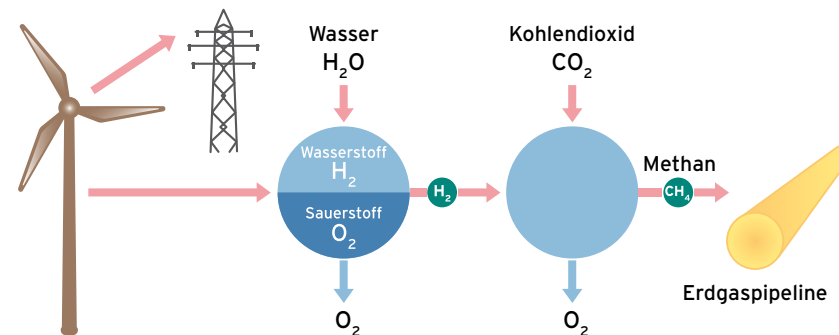
ZSW > Zentrum für Sonnenenergie- und
Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg
www.zsw-bw.de

direkt in synthetisches Erdgas um. Dabei wird in der Elektrolyse im ersten Schritt Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt, in einem zweiten Wasserstoff mit CO₂ direkt zu Methan umgesetzt. In diesem Prozess entsteht ein Energieträger in Normqualität, der direkt in das Erdgasnetz eingespeist werden kann. Der erzielbare Wirkungsgrad beträgt mehr als 60 Prozent.

Eine erste Hürde auf dem Weg zur Marktfähigkeit der „Power-to-Gas“-Technologie ist überwunden: Im Oktober des Jahres 2012 hat das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) eine Forschungsanlage mit einer elektrischen Anschlussleistung von 250 Kilowatt eingeweiht. Mit einer möglichen Methanproduktion von bis zu 300 Kubikmetern pro Tag ist sie die größte Anlage ihrer Art weltweit und zehnmal leistungsfähiger als die drei Jahre zuvor am ZSW entstandene Versuchsanlage. Damit rückt die industrielle Anwendung dieser neuen Stromspeichertechnologie in erreichbare Nähe.

Laut einer Studie des Fraunhofer ISE (siehe dazu auch „Szenario 2050: 100 Prozent erneuerbare Energien für Strom und Wärme“, Seite 66 f) kann im Jahr 2050 die Energie für Strom und Wärme in Deutschland zu 100 Prozent über erneuerbare Energien bereitgestellt werden. Eine Voraussetzung dafür ist, dass synthetisches Gas und Methan als Langzeitspeicher eingesetzt

„POWER-TO-GAS“-VERFAHREN
Mit überschüssigem Ökostrom wird Wasserstoff per Elektrolyse hergestellt und anschließend durch die Zugabe von Kohlendioxid in Methan umgewandelt. In der bestehenden Erdgasinfrastruktur können so große Mengen erneuerbarer Energie gespeichert werden.



werden. Bei einem voll erneuerbaren, autarken System wären 70 Gigawatt starke „Power-to-Gas“-Anlagen nötig, die Überschussstrom in synthetisches Erdgas umwandeln. 95 Gigawatt starke, zentrale Gaskraftwerke würden für die Rückverstromung sorgen. Sie dienen der komplementären Stromversorgung bei nicht ausreichender Leistung aus Wind und Sonne.

ERDGAS ALS BRÜCKENTECHNOLOGIE

Der verstärkte Einsatz von erneuerbarer Energie bedeutet auch eine verstärkte Nachfrage nach Erdgas. Denn erneuerbare Energiequellen wie Wind und Sonne unterliegen starken Schwankungen. Da es auf absehbare Zeit keine ausreichenden Speicherlösungen gibt (siehe dazu auch Seite 52 ff), müssen Gaskraftwerke die schwachen Perioden überbrücken. Dabei liegen die Vorteile von Gaskraftwerken in ihrer bedarfsgerechten Flexibilität im laufenden Betrieb. Zudem stehen für die leitungsgebundene Energieform Erdgas bereits gut ausgebaute Netze und Speicher zur Verfügung, die in naher Zukunft durch die „Power-to-Gas“-Technologie direkt für die Integration erneuerbarer Energien Verwendung finden könnten.

Allerdings ist der konventionelle Kraftwerkspark in Deutschland überaltert. Investitionen wären notwendig. Der Zubau und der Einspeisevorrang der erneuerbaren Energien verhindern jedoch entsprechende Investitionen. Denkbar wäre es, zukünftig nicht nur die abgenommene Kilowattstunde zu vergüten, sondern zusätzlich das Vorhalten von benötigten Reservekapazitäten, die zum Ausgleich von Engpässen und zur Stabilisierung dienen. Dieses Modell ist beispielsweise in den Vereinigten Staaten bereits Realität.

Im **Wärmemarkt** können laut der Kurzstudie „Erdgas: Die Brücke ins regenerative Zeitalter“ des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie zukünftig erhebliche Mengen an Erdgas durch Effizienzmaßnahmen im Gebäudebereich

Quelle: Fraunhofer ISE, „100 % erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland“, 2012

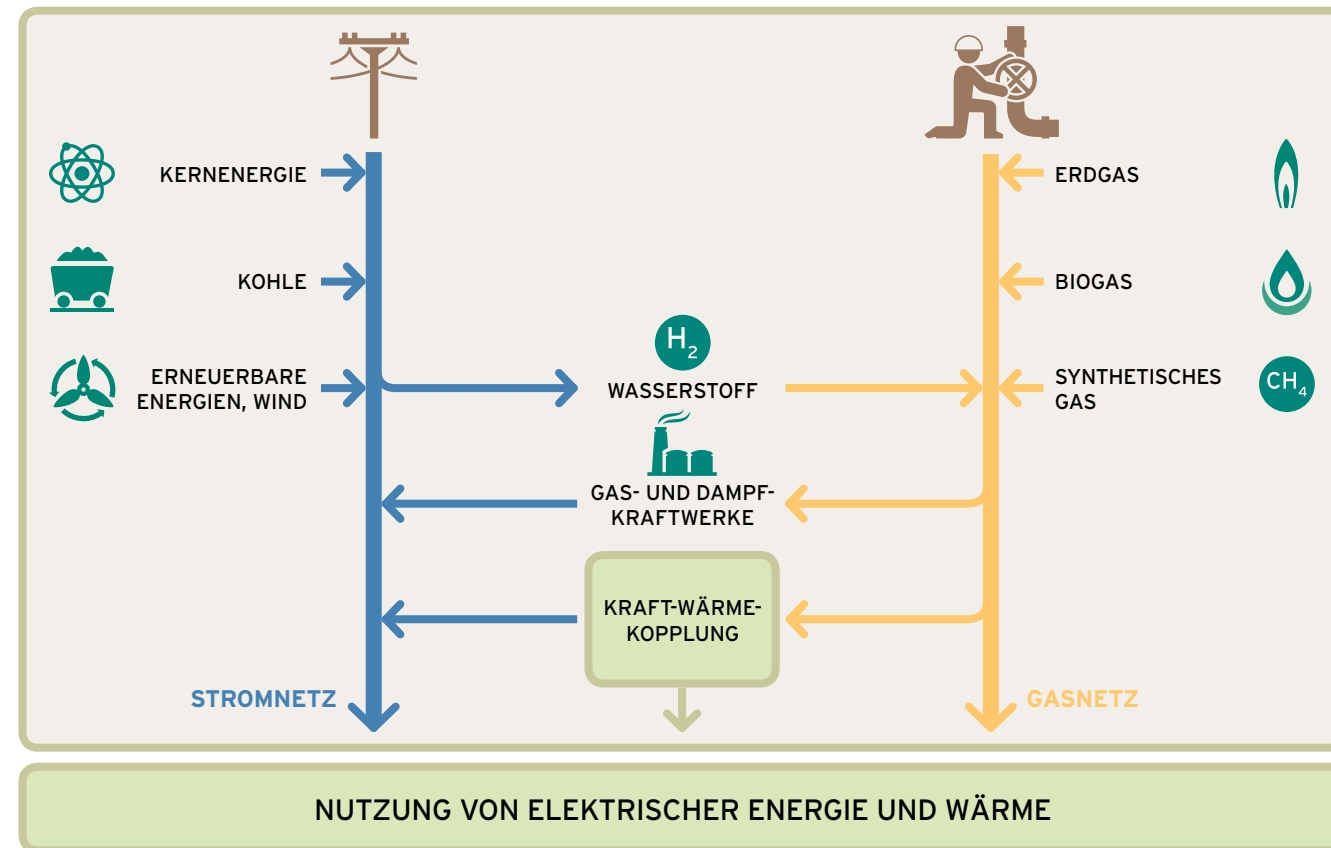
BDEW > Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
www.bdew.de

BDH > Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V.
www.bdh-koeln.de

NaturalGas > www.naturalgas.org
WINGAS > www.wingas.de

Quellen: BDH, „Effiziente Systeme und erneuerbare Energien“, 2011
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, „Erdgas: Die Brücke ins regenerative Zeitalter“, 2010, www.wupperinst.org

ROLLE DES GASES IN EINEM ZUKÜNFTIGEN ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEM



Quelle: BDH, „Effiziente Systeme und erneuerbare Energien“, 2011

eingespart werden. Energieszenarien zeigen, dass das so eingesparte Erdgas in Verbindung mit einem verstärkten Einsatz regenerativer Wärmequellen den Gasmehrbedarf in der Stromerzeugung kompensieren kann. Insbesondere in Verbindung mit dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung ist Erdgas effizient nutzbar (siehe dazu auch Seite 82 ff). Zudem ist es unter entsprechenden politischen Rahmenbedingungen wahrscheinlich, dass die Erdgasversorgung für die nächsten Jahrzehnte gesichert ist. Hinzu kommen alternative Versorgungsoptionen wie das synthetisch gewonnene Erdgas (siehe dazu auch Seite 97 ff).

HYDRAULIC FRACTURING

Mit dem sogenannten Hydraulic Fracturing (kurz: Fracking) steht eine Fördertechnik zur Verfügung, mit der unkonventionelle Gasvorkommen erschlossen werden können. Diese Vorkommen lagern in besonders undurchlässigen Gesteinsschichten und galten daher lange Zeit als wirtschaftlich nicht erschließbar. Die verfügbaren Vorräte sind beträchtlich: Allein die globalen Schiefergasreserven werden derzeit auf 450 Billionen Kubikmeter geschätzt. Damit übertreffen sie die auf 180 Billionen Kubikmeter geschätzten konventionellen Reserven um mehr als das Doppelte. Die weltweit insgesamt verfügbaren Erdgasreserven könnten so für die nächsten 200 Jahre reichen. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) schätzt die förderbaren Schiefergasmengen in Deutschland auf 0,7 bis 2,3 Billionen Kubikmeter. Bei einem durchschnittlichen Verbrauch von rund 100 Millionen Kubikmetern entspricht dies einem Vorrat für rund 23 Jahre. Allerdings ist Fracking umstritten, da chemische Substanzen in den Boden eingebracht werden.

Eine andere Variante der Herstellung und Einspeisung erneuerbaren Gases findet seit einigen Jahren über **Biogas** statt. Das erneuerbare Gas kann ohne zusätzliche Bearbeitung in das Erdgasnetz eingespeist werden.

BGR > Bundesanstalt für
Geowissenschaften und Rohstoffe
www.bgr.bund.de

Zudem ist es möglich, **flüssiges Erdgas** - sogenanntes Liquefied Natural Gas (LNG) - zu erzeugen. Hierzu wird Gas auf -160 Grad Celsius abgekühlt und verflüssigt. So kann es mit speziellen Tankern in die Zielregionen gebracht werden. Dort wird es wieder in das Pipelinennetz eingespeist. Bei diesem Verfahren gehen allerdings rund 25 Prozent des Energiegehalts verloren. Bisher ist Deutschland noch nicht nennenswert an LNG-Gasflüsse angebunden. Hier ist für die Zukunft jedoch eine Weiterentwicklung denkbar.

Auch der Markt für **gasbetriebene Fahrzeuge** ist noch eine Nische, bietet aber ebenfalls Wachstumschancen. Erdgasmobilität ist ausgereift. Die CO_2 -Emissionen von Erdgasfahrzeugen liegen bis zu 23 Prozent unter denen benzinbetriebener Fahrzeuge. Bis 2020 können durch den Umstieg auf Erdgas jährlich eine Million Tonnen CO_2 vermieden werden - bei 20 Prozent Biogasmischung sogar das Doppelte.

GEOTHERMIEPROJEKTE IN DEUTSCHLAND 2012

Deutschlandweit waren 2012 20 Geothermie-Anlagen mit einer installierten Wärmeleistung von 187 Megawatt in Betrieb. Die starke Marktentwicklung der Tiefengeothermie in Deutschland ist maßgeblich auf das Erneuerbare-Energien-Gesetz zurückzuführen. Auch das Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz sowie das Marktanreizprogramm fördern die Nutzung der Abwärme bei der Erzeugung von Geothermiestrom (siehe dazu auch Seite 24 f).

BEE > Bundesverband
Erneuerbare Energie e.V.
www.bee-ev.de

GtV > Bundesverband Geothermie e.V.
www.geothermie.de

GEOTHERMIE

Erdwärme (Geothermie) bietet ein nach menschlichem Ermessen unerschöpfliches Energiereservoir. Nahe der Erdoberfläche stammt die Bodenwärme von der Kraft der Sonne. Ein Teil der Sonnenstrahlung wird dort gespeichert und lässt sich zum Beispiel mittels Wärmepumpen (siehe dazu auch Seite 71 ff) nutzen. In den tiefer gelegenen Schichten ist die Erde selbst Wärmequelle. Die thermische Energie im Erdinneren entsteht hauptsächlich durch den Zerfall radioaktiver Elemente. Den Rest trägt gespeicherte Wärme aus Zeiten der Erdentstehung bei. Durch den kontinuierlichen Wärmestrom, der teilweise bis an die Erdoberfläche gelangt (Vulkane, Geysire), entstehen sehr hohe Temperaturen. Deren Nutzung zur Wärme- und Stromproduktion erfolgt durch Projekte der Tiefengeothermie. In Deutschland gelten das Molassebecken südlich von München, der Oberrheingraben und die Norddeutsche Tiefebene als besonders geeignete Regionen für die Nutzung der Tiefengeothermie. Im Bereich der oberflächennahen Geothermie wird die Realisierung von Geothermieprojekten durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz (EEWärmeG) sowie das Marktanreizprogramm (MAP) gefördert (siehe dazu auch Seite 24). Für die Zukunft gehen Experten von einem deutlichen Wachstum der Erdwärmennutzung aus. Einer Prognose des Bundesverbands Erneuerbare Energie (BEE) zufolge wird die Stromerzeugung durch Geothermie in Deutschland bis 2020 auf jährlich 3.750 Gigawattstunden ansteigen. 2011 waren es 19 Gigawattstunden. Im Wärmebereich erwartet der BEE bis 2020 eine Leistung von 26.000 Gigawatt. 2011 waren es 6.300 Gigawatt.

MEERESENERGIE

Meeresenergie kann der Stromerzeugung auf vielfältige Weise dienen. Es gibt Anlagen, die Gezeiten, Meereswellen oder Meeresströmungen nutzen. Andere Anlagen treiben über den osmotischen Druck, der aus der Differenz

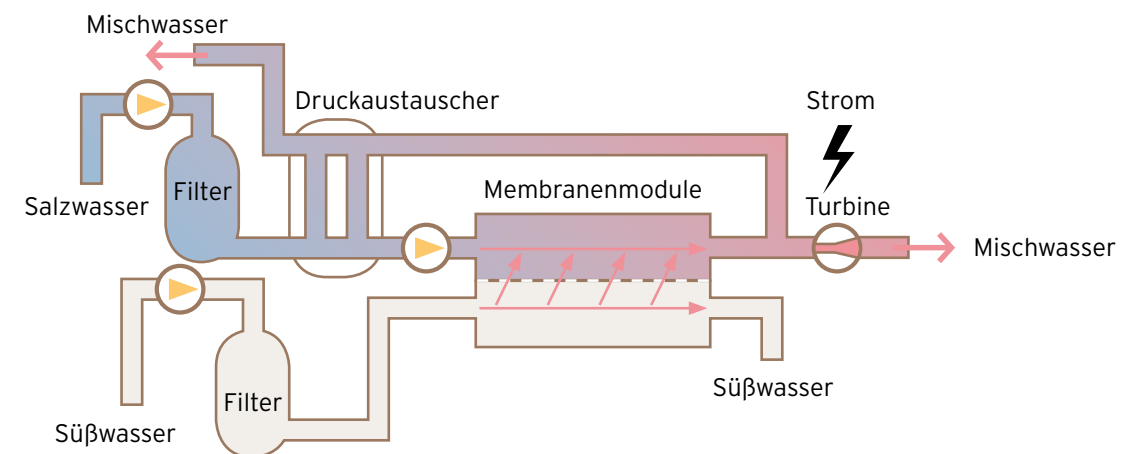
im Salzgehalt von Süßwasser und Meerwasser entsteht, eine Wasserturbine an oder nutzen die Temperaturdifferenz in verschiedenen Meeresschichten, um über einen Niedertemperaturkreislauf Strom zu gewinnen (siehe Grafik unten). **Gezeitenkraftwerke*** sind eine Variante von Wasserkraftwerken. Sie werden bereits seit Jahrzehnten eingesetzt und nutzen den Tidenhub, um mithilfe von Wasserturbinen Strom zu produzieren. Ende 2011 ist in Südkorea das weltgrößte Gezeitenkraftwerk mit einer geplanten Leistung von 254 Megawatt in Betrieb genommen worden.

Meeresströmungen entstehen ebenfalls durch Gezeiten und können an den Küsten, in Buchten und in Meerengen sehr stark sein. **Meeresströmungsturbinen** nutzen dies zur Stromerzeugung. Im Bereich der **Wellenenergienutzung** gibt es eine große Vielfalt. Beispielsweise wird mit schwimmenden, an der Küste oder dem Meeresgrund verankerten Anlagen die Bewegungs- und **Lageenergie**** der Wellen genutzt. Zudem gibt es Systeme, die einen Wasserstau erzeugen (siehe auch Seite 44 f). Die Nutzung der Meeresenergie

***Gezeitenkraftwerke** haben ökologische Nachteile, da sie das Ökosystem der abgetrennten Bucht verändern. Zudem können sie die Gezeiten in den Nachbarbuchten beeinflussen und Erdbeben verursachen.

****Lageenergie** wird auch als Höhen- oder potenzielle Energie bezeichnet. Sie ist eine natürlich vorkommende Primärenergie, die in andere Energieformen zum Beispiel elektrische Energie umgewandelt werden kann.

FUNKTIONSWEISE EINER OSMOSEKRAFTANLAGE

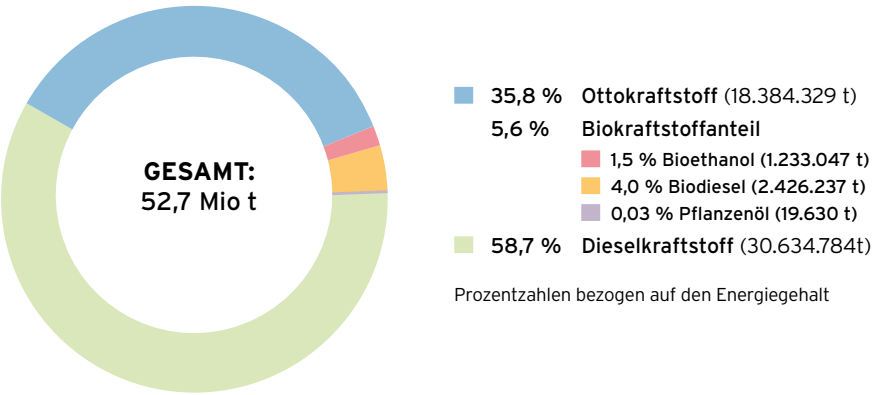


befindet sich weltweit noch im Demonstrationsstadium, bietet aber ein großes Potenzial. Vor der deutschen Küste kann die Technologie allerdings nicht wirtschaftlich eingesetzt werden, da hier Strömungsgeschwindigkeit und Tidenhub relativ gering sind. Geeignete Standorte in Europa sind die Küsten Großbritanniens, Irlands, Norwegens, Spaniens, Frankreichs und Portugals. Im Jahr 2011 wurde in der nordspanischen Stadt Mutriku das erste kommerzielle **Wellenkraftwerk** errichtet. Das Kraftwerk besteht aus insgesamt 16 Wellturbinen mit einer Gesamtleistung von knapp 300 Kilowatt. Weltweit liegt das Potenzial der Meeresenergie bei 1,8 Terawatt.

In Dänemark, in der Region Lolland-Falster, versorgt sich ein Dorf (als erstes Dorf weltweit) ausschließlich mit **Wasserstoffenergie**. Hier wird die produzierte Windenergie durch Elektrolyse in Wasserstoff umgewandelt und in einem Wasserstofftank am Ortsrand gespeichert. Der Wasserstoff wird bedarfsgerecht in die Haushalte geleitet. Jedes Haus verfügt über eine Brennstoffzelle im Keller (siehe dazu auch Seite 109 f). Diese nutzt den Wasserstoff, um Energie für Strom und Heizung zu liefern. In Lolland-Falster liegt zudem die erste und größte Wellenenergie- und Windkraftanlage der Welt.

Quellen:
BMU, „Innovation durch Forschung“, 2012
NATURSTROM AG, „energiezukunft“,
Ausgabe 13/2012

KRAFTSTOFFVERBRAUCH IN DEUTSCHLAND 2011



Quelle: FNR, 2012

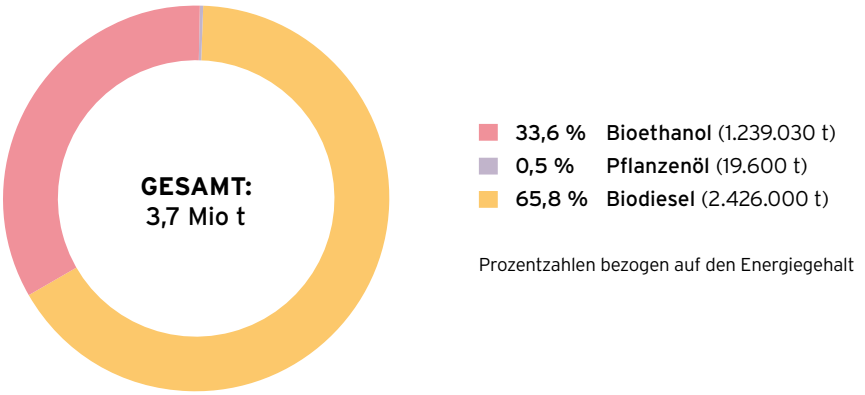
BIOMASSE

Bioenergie ist die einzige erneuerbare Energiequelle, die alle fossilen Energien direkt ersetzen kann. Aus Biomasse lassen sich **Wärme, Strom, Kraftstoffe und Kunststoffe** gewinnen. Zudem bietet Biomasse den Vorteil, dass sie rund um die Uhr bedarfsgerecht zur Verfügung steht (siehe dazu auch Seite 41). Strom und Wärme aus Biomasse können auf verschiedene Art und Weise erzeugt werden.

Biomasse in flüssiger Form oder als Gas kann auch als **Kraftstoff** für den Antrieb von Verbrennungsmotoren dienen. Für eine energieeffiziente Verkehrsstruktur der Zukunft ist sie wichtig. In Deutschland sind gegenwärtig hauptsächlich Biokraftstoffe der „ersten Generation“ (Biodiesel, Pflanzenöl und Bioethanol) auf dem Markt. Die synthetischen Biokraftstoffe der „zweiten Generation“ (zum Beispiel Biomethan, Biomass-to-Liquid (BtL), Cellulose-Ethanol oder auf Jatrophaöl basierendes Bio-Kerosin) sind noch in der Forschungs- bzw. Pilotphase und werden gegenwärtig nicht frei am Markt angeboten. Biomethan könnte zukünftig an Tankstellen über das bestehende Erdgasnetz verfügbar gemacht werden. Besondere Bedeutung

FNR > Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
www.nachwachsende-rohstoffe.de
www.bio-kraftstoffe.info

BIOKRAFTSTOFFVERBRAUCH IN DEUTSCHLAND 2011



Quelle: FNR, 2012

BIOKRAFTSTOFFE UND NACHHALTIGKEIT

In Deutschland und in der EU müssen Biokraftstoffe seit 2011 besondere Anforderungen für ihre nachhaltige Erzeugung erfüllen. Über die **Nachhaltigkeitsverordnung** (BioKraft-NachV) sind Kriterien definiert, die sicherstellen, dass beim Biomasseanbau weltweit keine wertvollen Lebensräume für seltene Pflanzen und Tiere verloren gehen. Zudem müssen Biokraftstoffe über die gesamte Wertschöpfungskette mindestens 35 Prozent Treibhausgase (ab 2017 50 Prozent und ab 2018 60 Prozent) gegenüber fossilen Kraftstoffen einsparen.

SHELL > www.shell.de

könnten **Ethanol aus Lignozellulose** und **synthetische Biokraftstoffe** (BtL-Kraftstoffe) erlangen. Letztere sind für den Einsatz in Pkw, Lkw und Schiffsmotoren bis hin zum Flugzeugtriebwerk denkbar. Die Europäische Union will bis 2020 den Anteil der Biokraftstoffe am Kraftstoffverbrauch auf zehn Prozent steigern. Dabei sieht der EU-Strategieplan die Biokraftstoffe der zweiten Generation als wettbewerbsfähige Alternative zu fossilen Brennstoffen. Laut einer Shell Studie (2012) könnten heimische Biokraftstoffe allein in Deutschland bis 2030 rund 20 Prozent und bis 2050 70 Prozent des Kraftstoffbedarfs abdecken.

HYBRIDKRAFTWERK

ENERTRAG > www.enertrag.com

In Brandenburg wurde Ende 2011 das weltweit erste Hybridkraftwerk in Betrieb genommen, das drei erneuerbare Energiequellen nutzt: Hier werden Wind, Biogas und Wasserstoff in elektrische Energie umgewandelt. Primär wird Strom aus Windenergie und Biogas gewonnen. Der Vorteil des Hybridkraftwerks liegt jedoch darin, dass aus überschüssiger Windenergie Wasserstoff produziert werden kann. Dieser wird genutzt, um in windstillen Phasen Strom zu erzeugen. So kann kontinuierlich erneuerbarer Strom erzeugt werden. Drei Windkraftträder und weitere Komponenten erreichen aktuell eine noch geringe Gesamtleistung von rund sechs Megawatt. Diese soll mittel-

fristig durch technologische Weiterentwicklung deutlich gesteigert werden. In dem Hybridkraftwerk wird nicht nur Strom produziert. Der mit Windkraft erzeugte Wasserstoff kann auch als Kraftstoff abgefüllt werden. Diesen sollen Autofahrer in Berlin und Hamburg in naher Zukunft tanken können.

KOHLEKRAFTWERK MIT CO₂-ABSCHEIDUNG

Bei der herkömmlichen Verbrennung fossiler Rohstoffe wie Kohle gelangen große Mengen CO₂ mit den Verbrennungsabgasen in die Atmosphäre. Dort wirkt CO₂ als Treibhausgas: Eine wichtige Maßnahme zum Klimaschutz ist daher die Reduzierung der CO₂-Emissionen. Mithilfe der „**Carbon Capture and Storage**“-Technologie (CCS) können fossile Energieträger verbrannt werden, ohne dass CO₂ in die Atmosphäre gelangt. Stattdessen wird es aus den Abgasen gefiltert, verflüssigt und unterirdisch gespeichert. Angestrebt wird eine Langzeitsicherheit, die gewährleistet, dass das gespeicherte Kohlendioxid unter Berücksichtigung der erforderlichen Vorsorge gegen Beeinträchtigungen von Mensch und Umwelt vollständig und auf unbegrenzte Zeit in dem Kohlendioxidspeicher zurückgehalten werden kann. Unklar sind jedoch die Konsequenzen, die ein plötzliches Freisetzen großer CO₂-Mengen, beispielsweise durch ein Erdbeben, haben könnte. Vattenfall betreibt in der Lausitz seit 2008 eine CCS-Pilotanlage. Weitere Pilotanlagen befinden sich im niederländischen Buggenum sowie im britischen Ferrybridge.

Global CCS Institute >
www.globalccsinstitute.com

Vattenfall > www.vattenfall.de

CARBON CAPTURE AND STORAGE (CSS)

Zur Koordinierung der weltweiten CCS-Aktivitäten wurde 2009 das „Global Carbon Capture and Storage Institute“ (GCCSI) gegründet. Seine Aufgabe: Forschung und Entwicklung sowie Know-how-Bündelung. In einem jährlich erscheinenden Report wird die Entwicklung von CCS-Demonstrationsprojekten dargestellt.

VIRTUELLE KRAFTWERKE

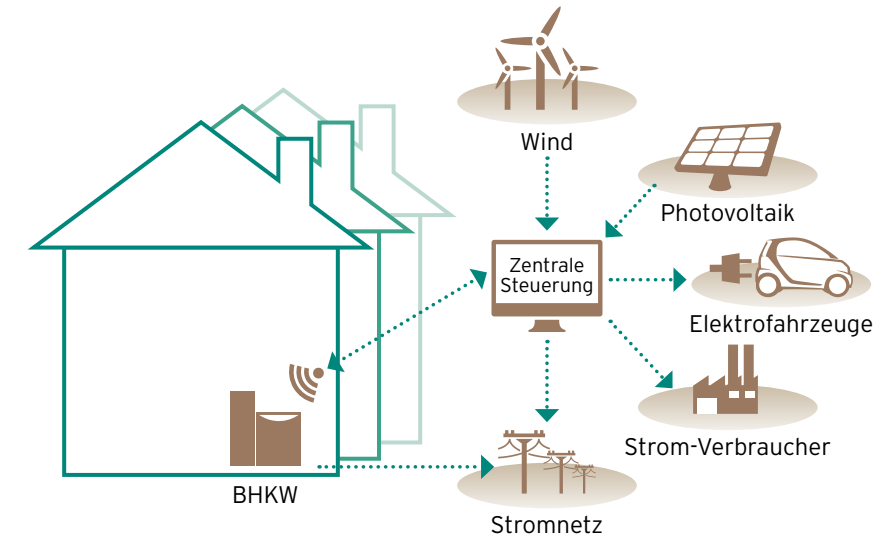
In den vergangenen Jahren ist der Anteil an dezentralen Anlagen und Erzeugungsanlagen von erneuerbaren Energien in Deutschland stark angestiegen. Eine kommerziell sinnvolle Einbindung dieser Anlagen in die bestehenden Netzstrukturen ist jedoch noch nicht in allen Fällen gegeben. Hier stellt der Einsatz von sogenannten virtuellen Kraftwerken eine denkbare Lösung dar, um eine bezahlbare Versorgungssicherheit zu erzielen.

Virtuelle Kraftwerke werden zentral gesteuert und gewährleisten einen effizienten Informationsfluss zwischen Erzeugern, Verbrauchern und Netzkomponenten. So können die Lastflüsse und Prozesse im Energiesystem optimiert und das Netz stabilisiert werden. Experten gehen davon aus, dass virtuelle Kraftwerke aufgrund des technologischen Fortschritts und der Rahmenbedingungen des Energiekonzepts 2010 mittel- bis langfristig zum festen Bestandteil des Energiemarktes werden.

In Aachen ist im Oktober 2012 das erste **dezentrale Brennstoffzellen-Kraftwerk** in Deutschland ans Netz gegangen. Hier werden 25 Mikro-Blockheizkraftwerke (siehe dazu auch Seite 83 f) bei Stadtwerken und Kunden zu einem Verbund zusammengeschaltet und zentral wie ein einziges Kraftwerk gesteuert. Dieses virtuelle Kraftwerk hat eine Gesamtleistung von 50 Kilowatt. Je nach Strombedarf wird das Kraftwerk an- oder ausgeschaltet. An dem Pilotprojekt sind 15 Stadtwerke und Regionalversorger sowie das Energiekompetenzzentrum Hürth beteiligt.

Die Unternehmen Techem und Vattenfall verbinden seit Ende des Jahres 2012 in einer deutschlandweiten Kooperation ebenfalls dezentrale Wärmeversorgung mit dezentraler Stromproduktion. Immobilienbesitzer bekommen die Möglichkeit, mit **Blockheizkraftwerken**, die in ein virtuelles Kraftwerk eingebunden werden, Raumwärme und Warmwasser zu erzeugen.

Quellen: „Brennstoffspiegel und Mineralölrundschau“, Dezember 2012
PricewaterhouseCoopers, „Virtuelle Kraftwerke als wirkungsvolles Instrument für die Energiewende“, 2012



VIRTUELLES KRAFTWERK

Das virtuelle Kraftwerk kombiniert dezentrale Blockheizkraftwerke (BHKW), Elektrofahrzeuge, Verbraucher und erneuerbare Energien, die zentral gesteuert werden.

STROM UND WÄRME AUS DER BRENNSTOFFZELLE

Brennstoffzellen gewinnen aus Erdgas Wasserstoff. Bei der anschließenden Reaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff (sogenannte „kalte Verbrennung“) entstehen Wärmeenergie und Gleichstrom. Wärme und Strom können dann direkt am Bedarfsort verwendet werden. Da Brennstoffzellen sehr hohe Wirkungsgrade erzielen und nahezu geräuschlos arbeiten, gelten sie als die Zukunft der Kraft-Wärme-Kopplung (siehe dazu auch Seite 82 ff). Zudem kann eine Vielzahl von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zu einem virtuellen Kraftwerk verbunden werden (siehe dazu auch Seite 108 f). Vaillant gehört zu den Pionieren bei der Entwicklung von Brennstoffzellen-Heizgeräten. Seit 2009 testet das Unternehmen mehrere Prototypen einer neuen Brennstoffzellengeneration. Dabei wurden im Jahr 2011 mehr als 12.000 Stunden im Dauerbetrieb erreicht.

Vaillant ist zudem Partner des sogenannten **Callux**-Praxistests, dem bundesweit größten Feldtest von Brennstoffzellen-Heizgeräten fürs Eigenheim. Ende 2012 waren im Rahmen dieses Tests 300 Brennstoffzellen-Heizgeräte installiert. Mit der Installation von weiteren 250 Anlagen und zusätzlichen Aktivitäten soll Cal-

VORTEILE

Im Vergleich zu Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Verbrennungsmotoren haben Brennstoffzellen systemische Vorteile. Sie sind wartungsarm, leise und weisen eine hohe elektrische Effizienz auf.

FÖRDERUNG

Das BMWi fördert Komponentenentwicklung sowie Fertigungstechnologien. Die Nationale Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellen (NOW) koordiniert das Nationale Innovationsprogramm (NIP), um Brennstoffzellen zum erfolgreichen Markteintritt zu verhelfen.

BMVBS > Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
www.bmvbs.de

Callux > www.callux.net

Vaillant > www.vaillant.de

ZSW > Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg
www.zsw-bw.de

Quelle: BMWi, „Die Energiewende in Deutschland“, 2012

lux die Markteinführung der innovativen Anlagen bis zum Jahr 2016 vorantreiben. Das Projekt wird von Partnern aus der Energiewirtschaft und Heizgeräte-industrie mit Unterstützung des **BMVBS** verfolgt und vom **ZSW** auf Projektebe-ne koordiniert.

www.e-energy.de

DAS INTERNET DER ENERGIE

Der Strukturwandel im Energiesystem sowie die Herausforderungen des Zeit-alters erneuerbarer Energien verlangen nach speziellen Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT). Diese sollen die Elektrizitätsversorgung von der Erzeugung über Speicherung, Transport und Verteilung bis hin zum Verbrauch optimieren. Bis Ende des Jahres 2012 wurden entsprechende Technologien deutschlandweit in sechs ausgewählten Pilotprojekten mit unterschiedlichen Schwerpunkten entwickelt und erprobt. Die Pilotprojekte wurden durch das gemeinsame Förderprogramm „E-Energy - IKT-basiertes Energiesystem der Zukunft“ von **BMWi** und **BMU** unterstützt. Erste Ergebnis-se der Pilotprojekte wurden bereits veröffentlicht. Die endgültigen Auswer-tungen werden im Laufe des Jahres 2013 erfolgen und sind über die angege-benen Internetadressen abrufbar.

www.modellstadt-mannheim.de

Modellstadt Mannheim: Hier wurde ein virtueller Energiemarktplatz für alle Akteure eines zukünftigen Energiemarkts geschaffen. In einem Multisparten-Ansatz (Strom, Wärme, Gas, Wasser) wurden neue Geschäftsmodelle und Anreizsysteme für Kunden und Netzbetreiber sowie Wege zu einer stabilen Netzsteuerung und zur Systemintegration erneuerbarer Energien unter-sucht. Für 3.000 Endkunden der beteiligten Energieversorger wurde es möglich, Herkunft und Preis des Stroms zu erkennen und direkten Einfluss darauf zu nehmen. Sogenannte intelligente Gebäude wurden mit einem intelligenten Netz zu einem Gesamtsystem verbunden. Ein beim Kunden

installierter „Energiebutler“ half, den Verbrauch am variablen Preis auszu-richten. Die Projektergebnisse zeigen unter anderem, dass absolut weniger Strom verbraucht und sechs bis acht Prozent der Last in Niedrigtarifzeiten verlagert wurden.

eTelligence-Modellregion Cuxhaven: In der Modellregion Cuxhaven wurde mit 650 Feldtesthaushalten ein neues, zukunftsorientiertes Energiesystem erforscht. Dabei repräsentiert das Projekt eine ländliche Modellregion mit geringer Versorgungsdichte und einem hohen Anteil erneuerbarer Energi-en. In Form eines virtuellen Kraftwerks (siehe dazu auch Seite 108 f) wurde Strom intelligent in die Netze und in einen regionalen Markt integriert. So konnte eine hohe Versorgungssicherheit bei verbesserter Wirtschaftlichkeit gewährleistet werden. Die Projektergebnisse im Überblick:

- > Stromverbrauch, Kosten und CO₂-Emissionen wurden transparent.
- > Mit einem innovativen Mengentarif konnten die Haushalte innerhalb eines Jahres durchschnittlich 100 Euro einsparen.
- > Über einen zeitvariablen Tarif wurde eine Lastverschiebung von bis zu 30 Prozent realisiert.
- > Die Kühlhäuser der Region konnten mehr als sechs Prozent ihrer Stromkosten einsparen.

www.etelligence.de

BMU > Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
www.bmu.de

BMWi > Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
www.bmw.de

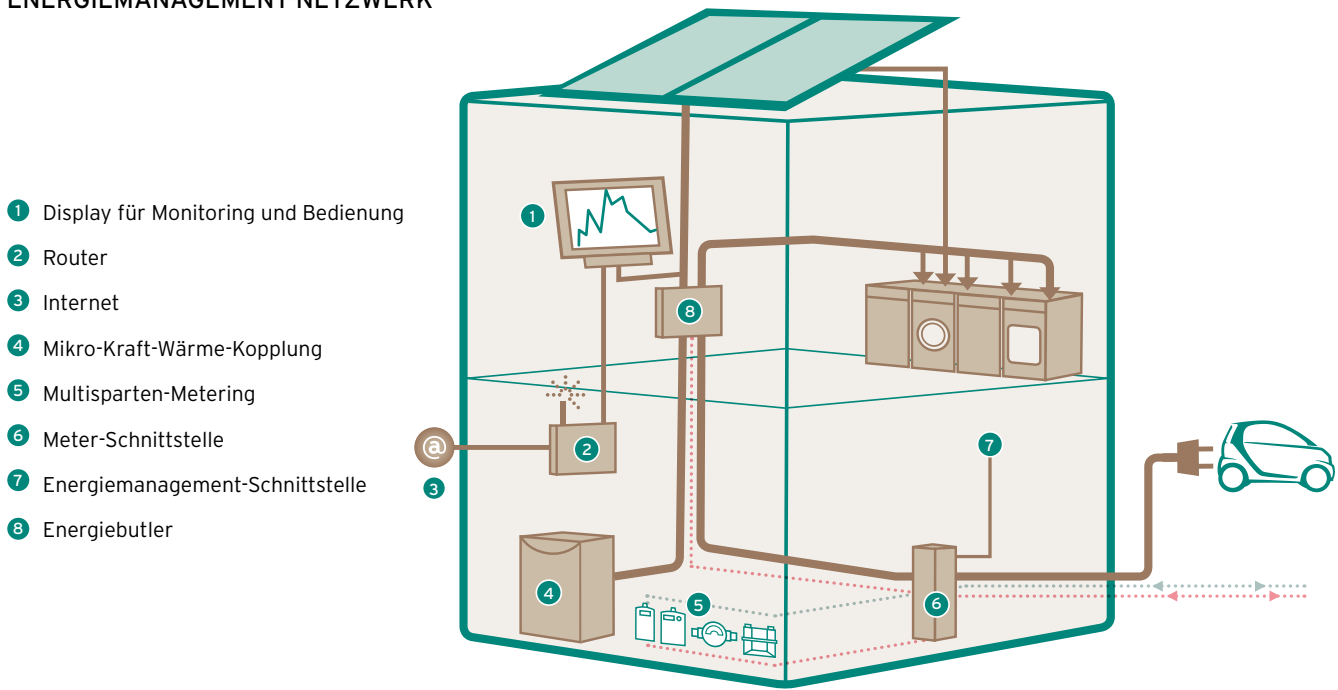
ENERGIEFORSCHUNGSPROGRAMM

Das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung stärkt die technologischen Grundlagen zum Umbau der Energieversorgung. Schwerpunkte sind: Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Energiespeicher, Netztechnik, Integration erneuerbarer Energien in die Energieversorgung sowie das Zusammenwirken dieser Technologien im Gesamtsystem. Bis 2014 stehen für dieses Programm 3,5 Milliarden Euro zur Verfügung.

MeRegio-Modellregion Karlsruhe/Stuttgart: Durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien sollten Emissionen minimiert werden. Das Projekt konnte nachweisen, dass Kunden Innovationen in diesem Bereich annehmen und bereit sind, ihren Stromverbrauch anzupassen.

Regenerative Modellregion Harz: Hier wurde ein neues Solar- und Windprognosesystem eingesetzt. Es stimmt den Betrieb einer großen Zahl dezentraler Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien sowie ein Pumpspeicherkraftwerk mit den Verbrauchern ab. Trotz einer steigenden Anzahl von Windkraftanlagen soll so bis zum Jahr 2020 in dieser Region kein Netzausbau notwendig sein.

ENERGIEMANAGEMENT-NETZWERK

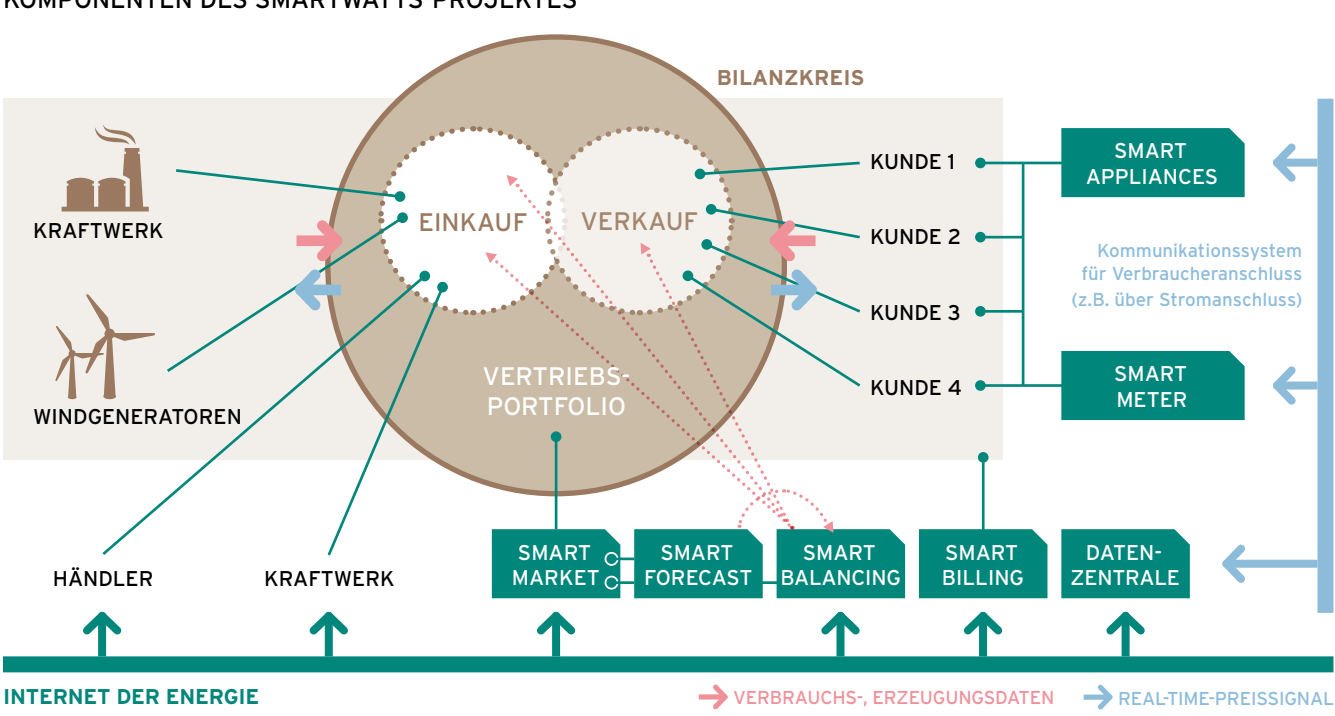


E-DeMa-Modellregion Rhein-Ruhr: 20 Mikro-Blockheizkraftwerke konnten in dieser Region als dezentrale Kleinerzeuger zugeschaltet werden. Über 1.000 IKT-Gateways erlaubten es den Verbrauchern, aktiv am Marktgeschehen teilzunehmen. Auf diese Weise wurden Stromkunden von reinen Verbrauchern zu „Prosumern“, also gleichzeitig zu Produzenten und Konsumenten.

SmartWatts-Modellregion Aachen: Mithilfe intelligenter Stromzähler bekamen etwa 500 Verbraucher die Möglichkeit, Auskunft darüber zu erhalten, aus welchen Quellen ihr Strom stammt und was er jeweils kostet. Die Stromverbraucher konnten so die für sie optimale Wahl treffen.

Hans-Gerd Servatius, Uwe Schneidewind, Dirk Rohlfing (Hrsg.), „Smart Energy“, 2012

KOMPONENTEN DES SMARTWATTS-PROJEKTES



Auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene haben sich Akteure aus Politik, Wirtschaft und Forschung einem Ziel verschrieben: Sie wollen ihren Teil dazu beitragen, um für die Zukunft eine klima- und umweltverträgliche, zuverlässige sowie wirtschaftliche Energieversorgung sicherzustellen.

// Foto: gettyimages



Kapitel 08

POLITIK

Mit dem **Energiekonzept 2010** und den **Beschlüssen zur Energiewende** im Juni 2011 hat die Bundesregierung erstmals eine umfassende Strategie für den Ausbau der erneuerbaren Energien vorgelegt. Bis 2020 soll ihr Anteil an der Stromversorgung auf mindestens 35 Prozent steigen. Bis 2050 sollen sie zum Hauptpfeiler der Energieversorgung in Deutschland werden. In Deutschland ist die Umsetzung des europäischen Strategischen Energietechnologieplans (SET-Plan) Bestandteil des nationalen Energieforschungsprogramms. Priorität haben Projekte mit einer klaren europäischen Dimension im Bereich Stromnetze, erneuerbare Energien, Speichertechnologien, Energieeffizienz sowie Abtrennung und Speicherung von CO₂. Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist auch das Kernelement der **EU-Strategie 2020**. Mit ihr hat sich die Europäische Union das verbindliche Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2020 ein Fünftel des gesamten Bruttoendenergieverbrauchs mit erneuerbaren Energien herzustellen sowie eine Energieeffizienzsteigerung von 20 Prozent zu erzielen. Dabei wird der weitere Ausbau in allen Nutzungssektoren maßgeblich durch die EU-Richtlinie 2009/28/EG bestimmt. Die **Internationale Organisation für erneuerbare Energien** (IRENA) analysiert die weltweiten Potenziale von erneuerbaren Energien, entwirft Ausbauszenarien und unterstützt ihre internationale Entwicklung. Sie arbeitet eng mit einzelnen UN-Organisationen, der Internationalen Energie-Agentur (IEA) sowie mit Netzwerken wie REN21 zusammen.

VERBÄNDE UND ORGANISATIONEN

Informationsvermittlung und Lobbyarbeit finden im Energiesektor sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene statt. Die folgende Zusammen-

BWE > Bundesverband WindEnergie
www.wind-energie.de

IEA > Internationale Energie-Agentur
www.iea.org

IRENA > Internationale Organisation für erneuerbare Energien
www.irena.org

REN21 > Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
www.ren21.net

Quellen: BMU, „Erneuerbare Energien. Einstieg in die Zukunft“, 2011
BMU, „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2012
BWE, „A bis Z. Fakten zur Windenergie“, 2012

stellung enthält eine Auswahl der wichtigsten Verbände und Organisationen auf allen Ebenen. Auch Forschungsinstitute aus aller Welt wurden integriert: Sie stehen für die Entwicklung neuer Energietechnologien, die im Idealfall mehr leisten, weniger kosten und den Energieverbrauch senken.

	IN DEUTSCHLAND	
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. www.bdew.de	Informationen siehe Seite 122.
BDH	Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. www.bdh-koeln.de	Informationen siehe Seite 122.
BEE	Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. www.bee-ev.de	Informationen siehe Seite 122.
BSW	Bundesverband Solarwirtschaft e.V. www.solarwirtschaft.de	Informationen siehe Seite 122.
BTGA	Bundesindustrieverband Technische Gebäudeausrüstung e.V. (vormals BHKS) www.btga.de	Download „BHKS-Almanach 2012“, 2012.
BWE	Bundesverband WindEnergie e.V. www.wind-energie.de	Informationen siehe Seite 122.
bwp	Bundesverband Wärmepumpe e.V. www.waermepumpe.de	Informationen siehe Seite 122.
FVEE	ForschungsVerbund Erneuerbare Energien www.fvee.de	Bundesweites Forschungsnetzwerk für erneuerbare Energien. Download von Themenheften, Workshopbänden für Experten und weiteren themenspezifischen Publikationen, Kontaktdaten zu Experten.
GtV	Bundesverband Geothermie e.V. www.geothermie.de	Informationen siehe Seite 123.
ZVSHK	Zentralverband Sanitär Heizung Klima www.zvshk.de	Standesorganisation, Wirtschaftsverband und Interessenvertretung des SHK-Handwerks in Deutschland. Informationen zu Gebäude- und Energietechnik, aktueller Gesetzeslage, Fördermitteln.

	IN EUROPA	
AEBIOM	European Biomass Association I www.aebiom.org	Europäischer Biomasseverband. Hintergrundinformationen zur Biomassenutzung. Downloads von Informationen zu europäischen Biomasseprojekten.
EGEC	European Geothermal Energy Council I www.egec.org	Europäischer Geothermieverband. Monatlich erscheinender Newsletter, Download von Broschüren.
EPIA	European Photovoltaic Industry Association I www.epia.org	Weltweit größter Photovoltaikindustrieverband. Informationen zu gesetzlichen Rahmenbedingungen für Photovoltaik in Europa. Publikationen zu Photovoltaik, Szenarien, Marktinformationen, Roadmaps.
ESHA	The European Small Hydropower Association I www.eshab.be	Europäischer Verband für kleine Wasserkraftwerke. Hintergrundinformationen zum Thema Wasserkraft.
ESTIF	European Solar Thermal Industry Federation I www.estif.org	Europäischer Solarthermieverband. Branchenplattform. Download von Marktinformationen und Statistiken zum Thema Solarthermie.
EUBIA	European Biomass Industry Association I www.eubia.org	Europäischer Biomasseverband. Hintergrundinformationen zu Biomasse und Biokraftstoffen, Informationen über gesetzliche Rahmenbedingungen, Forschungsprojekte und Veranstaltungen im Biomassesektor.
EWEA	The European Wind Energy Association I www.ewea.org	Informationen siehe Seite 126.

	INTERNATIONAL	
IEA	International Energy Agency I www.iea.org	Informationen siehe Seite 127.
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development I www.oecd.org	Internationale Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, auch „Organisation der Industriestaaten“, 40 Mitgliedsstaaten. Beschlüsse der OECD sind völkerrechtlich bindend. Download: „Die OECD in Zahlen und Fakten 2011-2012“, 2012.
WCRE	The World Council for Renewable Energy I www.wcre.org	Verschiedene Artikel zum Schwerpunktthema erneuerbare Energien.

	FORSCHUNGSINSTITUTE	
AIST	National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan I www.aist.go.jp	Nationales Forschungsinstitut. Informationen und Downloads von Publikationen zu Forschungen im Bereich Zukunftstechnologien.
DEWI	Deutsches Windenergie-Institut I www.dewi.de	Informationen siehe Seite 120.
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt I www.dlr.de	Informationen siehe Seite 125.
ECN	Energy Research Centre of the Netherlands, Niederlande I www.ecn.nl	Nationales Forschungsinstitut. Informationen zum Themenbereich nachhaltige Energiesysteme.
EPRI	Electric Power Research Institute, USA I www.epri.com	Nationales Forschungsinstitut. Informationen zum Thema umweltfreundliche Gewinnung und Nutzung von Elektrizität.
Fraunhofer ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Deutschland I www.ise.fraunhofer.de	Informationen siehe Seite 121.
Fraunhofer IWES	Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik, Deutschland I www.iwes.fraunhofer.de	Informationen siehe Seite 121.
FZ Jülich	Forschungszentrum Jülich, Deutschland I www.fz-juelich.de	Interdisziplinäres Forschungszentrum. Schwerpunkte: Energie und Umwelt, Informationstechnologie und Gesundheit.
GZB	Internationales Geothermiezentrum NRW, Deutschland I www.geothermie-zentrum.de	Verbundforschungseinrichtung der Wissenschaft und der Wirtschaft. Kompetenzzentrum und Ansprechstelle in Fragen der Nutzung und Gewinnung von Erdwärme.
Global CCS	Internationales CCS-Forschungsinstitut, Australien I www.globalccsinstitute.com	Informationen siehe Seite 127.
IPP	Max-Planck-Institut für Plasmaphysik I www.ipp.mpg.de	Informationen siehe Seite 121.
NREL	National Renewable Energy Laboratory, USA I www.nrel.gov	Nationales Forschungsinstitut mit Schwerpunkt erneuerbare Energien.
Wuppertal Institut	Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie I www.wupperinst.org	Informationen siehe Seite 121.
ZSW	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Deutschland I www.zsw-bw.de	Informationen siehe Seite 125.

LINKS UND INHALTE

	IN DEUTSCHLAND	
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. I www.ag-energiebilanzen.de	1971 von Verbänden der deutschen Energiewirtschaft und Instituten der energiewirtschaftlichen Forschung gegründet. Auswertung von Statistiken aus dem Bereich Energiewirtschaft, Erstellung von Energiebilanzen. Download „Energieverbrauch 2011“, 2012; „Energieverbrauch 2012“, 2013.
	Bergische Universität Wuppertal I www.uni-wuppertal.de	Machbarkeitsstudie zum Thema Pumpspeicherkraftwerke.
BINE	BINE Informationsdienst I www.bine.info	Informationsdienst der FIZ Karlsruhe. Kooperiert mit Einrichtungen und Organisationen aus Forschung, Ausbildung, Praxis, Fachmedien und Politik. Gefördert durch BMWi. U. a. Informationen zu den Themen Wärme- und Stromspeicher.
DEWI	Deutsches Windenergie-Institut I www.dewi.de	Das Institut wurde 1990 durch das Land Niedersachsen zur Unterstützung der Windenergieindustrie gegründet. Download von Studien, Statistiken, Publikationen und Gesetzen.
DGVN	Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen e.V. I www.dgvn.de	Vermittlung der Anliegen der Vereinten Nationen gezielt an die deutsche Öffentlichkeit. Download der Veröffentlichung „EU-Programme für Klimaschutz und Energieeffizienz“, 2011.
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V. I www.diw.de	Gemeinnütziges und unabhängiges Institut für Grundlagenforschung und wirtschaftspolitische Beratung. Forschungsabteilung für Energie, Verkehr, Umwelt. Download von themenspezifischen Publikationen.
	DYESOL I www.dyesol.com	Anbieter für Solartechnologie. Informationen zu den Themen Solarzellen und künstliche Photosynthese.
	Ecofys I www.ecofys.de	Beratungsunternehmen mit Schwerpunkt Energieeffizienz, erneuerbare Energien und Klimapolitik. U. a. Downloads von Studien.
EEFA	Forschungsinstitut für Energie- und Umweltprobleme, Berlin/Münster I www.eefa.de	Unabhängiges Forschungsinstitut mit Schwerpunkt Energie- und Umweltprobleme. Download von Analysen.

	Energy Watch Group I www.energywatchgroup.org	Projekt der Ludwig-Bölkow-Stiftung. Download von Studien zum Thema erneuerbare Energien.
FIZ	Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur I www.fiz-karlsruhe.de	Im BMBF Auftrag Kooperationen mit IAEA und IEA. Im BMWi Auftrag verantwortlich für den BINE Informationsdienst.
	Fraunhofer-Gesellschaft I www.fraunhofer.de	Organisation für anwendungsorientierte Forschung, z. B. zum Thema Energie und Wohnen.
Fraunhofer ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Deutschland I www.ise.fraunhofer.de	Nationales Forschungsinstitut. Schafft technische Voraussetzungen für eine effiziente und umweltfreundliche Energieversorgung. Download des Szenarios „100 % erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland“, 2012.
Fraunhofer IWES	Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik, Deutschland I www.iwes.fraunhofer.de	Forschungsinstitut mit Schwerpunkt erneuerbare Energien. Download „Windenergie Report Deutschland 2011“.
IPP	Max-Planck-Institut für Plasmaphysik I www.ipp.mpg.de	Erforschung der Grundlagen eines Fusionskraftwerks. Information zu Projekten, Glossar, themenspezifische Broschüren zum Download.
IUP	Institut für Umweltphysik an der Universität Bremen I www.iup.uni-bremen.de	Forschungsinstitut mit den Schwerpunkten Atmosphärenforschung, Meeres- und Kryosphärenforschung und Fernerkundung. Downloads von Veröffentlichungen einzelner Forschungsprojekte.
	KATALYSE Institut für angewandte Umweltforschung I www.katalyse.de	Unabhängiges Institut für angewandte Umweltforschung. Umweltlexikon online.
LAK	Länderarbeitskreis Energiebilanzen I www.lak-energiebilanzen.de	Energiebilanzen der Bundesländer.
PwC	PricewaterhouseCoopers I www.pwc.de	Dienstleistungsunternehmen für Wirtschaftsprüfung, Steuer- und Unternehmensberatung. Veröffentlichung „Virtuelle Kraftwerke als wirkungsvolles Instrument für die Energiewende“, 2012.
RWI	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung I www.rwi-essen.de	Zentrum für wissenschaftliche Forschung und evidenzbasierte Politikberatung.
Wuppertal Institut	Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie I www.wupperinst.org	Interdisziplinäre Forschungen. Download Studie „Erdgas: Die Brücke ins regenerative Zeitalter“, 2010.

	DEUTSCHLAND – VERBÄNDE, PORTALE, FOREN	
	Agentur für Erneuerbare Energien www.unendlich-viel-energie.de	Informationsportal für erneuerbare Energien, finanziert zu je 50 Prozent von BMU und BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) sowie von Unternehmen der Branche.
AGFW	Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. www.agfw.de	Unabhängiger Energieeffizienzverband.
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. www.bdew.de	Download von Jahresberichten, Grafiken und Datenmaterial.
BDH	Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. www.bdh-koeln.de	Download der Veröffentlichung „Effiziente Systeme und erneuerbare Energien“, 2011.
BEE	Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. www.bee-ev.de	Dachverband aller Sparten der erneuerbaren Energien. Download „Branchenprognose Wärmeversorgung“.
	Brennstoffspiegel und Mineralölrundschau www.brennstoffspiegel.de	Fachzeitschrift mit Berichten über Energiethemen.
BSW	Bundesverband Solarwirtschaft e.V. www.solarwirtschaft.de	Daten und Informationen zur deutschen Solarbranche.
BWE	Bundesverband WindEnergie e.V. www.wind-energie.de	Informationssammlung zur Windenergie-Nutzung in Deutschland, Europa und der Welt. Download „A bis Z. Fakten zur Windenergie“, 2012.
bwp	Bundesverband Wärmepumpe e.V. www.waermepumpe.de	Download von Pressemitteilungen zu aktuellen technischen, wirtschaftlichen und politischen Themen, Infografiken, Daten und Studien. Download „Positionspapier Smart Grid und Smart Market“, 2012.
	www.co2-handel.de	Informationsportal zu Emissionshandel und Klimaschutz.
DAtF	Deutsches Atomforum www.kernenergie.de	Förderung der friedlichen Nutzung der Kernenergie in Deutschland. Informationen und Downloads zum Thema Kernenergie.
dena	Deutsche Energie-Agentur GmbH www.dena.de	Kompetenzzentrum für Energieeffizienz und erneuerbare Energien. Download „Endbericht. Integration EE“, 2012.

DEPV	Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V. www.depv.de	Download von Publikationen und Informationsmaterial.
EID	Energie Informationsdienst www.eid-aktuell.de	Unabhängiger Informationsdienst der Energiewirtschaft. Meldungen, Analysen und Energiepreiserhebungen.
	energiespektrum www.energiespektrum.de	Energiemagazin.
EUWID	Europäischer Wirtschaftsdienst www.euwid-energie.de	Nachrichtenportal des Europäischen Wirtschaftsdienstes und Herausgeber des Printmediums EUWID. Nachrichten über erneuerbare Energien und innovative Energiekonzepte.
	Fachverband Biogas e.V. www.biogas.org	Förderung von Entwicklungen und Austausch von Informationen im Biogasbereich. Download von Publikationen zu den Themen Biogas, Biomasseanbau, Fördermöglichkeiten etc.
GtV	Bundesverband Geothermie e.V. www.geothermie.de	Informationen zum Thema Erdwärme, Projektübersicht, Newsletter, Download von Broschüren und Bildern.
KfW	www.kfw.de www.energiesparen.kfw.de www.plusenergiehaus.de	Förderbank. U. a. Informationen zum Effizienzhaus.
	Das regenerative Kombikraftwerk www.kombikraftwerk.de	Download von Projektinformationen.
	Kraftwerkforschung www.kraftwerkforschung.info	Webseite mit aktuellen Meldungen und Hintergrundberichten aus der Kraftwerkforschung.
	Mineralölwirtschaftsverband e.V. www.mwv.de	Download von Tabellen zu Kraftstoff- und Heizölpreisen sowie zur Rohölpreisentwicklung.
	SolarServer www.solarserver.de	Internetportal zur Sonnenenergie, siehe auch Agentur für Erneuerbare Energien.
	Spektrum der Wissenschaft www.spektrum.de	Fachmagazin mit Berichten aus Wissenschaft und Forschung. Spektrum Spezial „Die Energie der Zukunft“, 3/2012.
	statista www.statista.com	Statistikportal. Statistikrecherche nach Stichworten.
ZfES	Zentrum für Energieforschung Stuttgart e.V. www.zfes.uni-stuttgart.de	Fachnetzwerk für interdisziplinäre Zusammenarbeit auf dem Gebiet nachhaltige Energieversorgung.

	DEUTSCHLAND – BUND UND LÄNDER	
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle I www.bafa.de	Kompetenzzentrum für Außenwirtschaft, Wirtschaftsförderung, Energie und Klimaschutz.
BFS	Bundesamt für Strahlenschutz I www.bfs.de	Informationen zu Strahlenschutz sowie zu Transport und Lagerung radioaktiver Stoffe. Download von Informationsmaterial, Berichten und Studien.
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe I www.bgr.bund.de	Fachbehörde des BMWi. Beratung der Bundesregierung zur regionalen und quantitativen weltweiten Verfügbarkeit von Energierohstoffen.
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung I www.bmbf.de	Downloads aus den Bereichen Bildung und Forschung.
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit I www.bmu.de	Umfangreiches Informations- und Datenmaterial zu den Themen Klima und Energie/erneuerbare Energien sowie zu staatlichen Energieförderprogrammen. Downloads: „Die Energiewende in Deutschland“, 2012; „Die Energiewende. Zukunft made in Germany“, 2012; „Energiewende mitgestalten“, 2012; „Erneuerbare Energien“, 2011; „Erneuerbare Energien in Zahlen“, 2010/2012; „Innovation durch Forschung“, 2010/2012; „Klimaschutz und Wachstum“, 2011.
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung I www.bmvbs.de Projektseite: www.callux.net	Unterstützung des Callux-Praxistests: bundesweiter Feldtest von Brennstoffzellen-Heizgeräten. Informationen zum Thema Elektromobilität. Download „Wege zum Effizienzhaus-Plus“, 2011.
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie I www.bmw.de	Umfangreiches Informations- und Datenmaterial zum Thema Energie sowie zu staatlichen Energieförderprogrammen. Downloads: „Die Energiewende in Deutschland“, 2012; „Energiedaten“, 2012; „Energie in Deutschland 2010“, 2010; „Energiewende! Energiepolitische Informationen“, 02/2012; „Erneuerbare Energien in Deutschland“, 2012.
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung I www.bmz.de	Informationen und Veröffentlichungen zum Themenschwerpunkt Energie.

BNetzA	Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen I www.bundesnetzagentur.de	U. a. Informationen zu den Energiethemen Elektrizität und Gas.
	Die Bundesregierung I www.bundesregierung.de	Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. Download der Publikation „Deutschland verändert sich“, 2012.
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt I www.dehst.de	Zuständige nationale Behörde zur Umsetzung der marktwirtschaftlichen Klimaschutzinstrumente des Kyoto-Protokolls.
DERA	Deutsche Rohstoffagentur I www.deutsche-rohstoffagentur.de	Zentrale Informations- und Beratungsplattform für mineralische und Energierohstoffe in Deutschland. Download: „Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2011“, 2011.
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt I www.dlr.de	Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr. Download von Artikeln zu den Themen Energie und DESERTEC.
	E-Energy I www.e-energy.de Links zu den Modellregionen: www.modellstadt-mannheim.de I www.etelligence.de I www.meregio.de www.regmodharz.de I www.e-dema.de www.smartwatts.de	Gemeinsames Förderprogramm von BMWi und BMU für ein „Internet der Energie“, das in sechs Modellregionen erprobt wurde.
	www.erneuerbare-energien.de	Webseite des BMU zum Thema erneuerbare Energien. U. A. aktuelle Informationen zum Marktanreizprogramm.
FNR	Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. I www.nachwachsende-rohstoffe.de Themenportale: zum Beispiel I www.bio-kraftstoffe.info	Die Fachagentur wurde 1993 auf Initiative der Bundesregierung gegründet, um Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte im Bereich nachwachsender Rohstoffe zu koordinieren.
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie I www.lbeg.niedersachsen.de	Informationen und Downloads rund um das Thema Energie und Rohstoffe.
	Umweltbundesamt I www.umweltbundesamt.de	Zentrale Umweltbehörde der Bundesrepublik Deutschland. Informationen/Downloads zu Energie und Klimaschutz.
ZSW	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg I www.zsw-bw.de	Energieforschungsinstitut des Landes Baden-Württemberg. Öffentlichkeitsarbeit zu erneuerbaren Energien.

 IN EUROPA		
EEA	European Environment Agency www.eea.europa.eu	Informationen zu Klimawandel und Energiepolitik. Downloads themenspezifischer Veröffentlichungen.
EEX	European Energy Exchange AG www.eex.com	Führender Handelsplatz im europäischen Energiehandel. Download von Marktdaten, Jahresberichten und Produktbroschüren.
	Europäische Kommission www.ec.europa.eu/energy/index_en.htm	Veröffentlichungen der EU zum Thema Energie.
eurosolar	Europäische Vereinigung für Erneuerbare Energien www.eurosolar.de	Gemeinnützige und unabhängige europäische Vereinigung für erneuerbare Energien. Artikel zu aktuellen Themen.
eurostat	Statistisches Amt der Europäischen Union www.epp.eurostat.ec.europa.eu	Europäische Statistiken.
EWEA	The European Wind Energy Association www.ewea.org	Europäischer Windenergieverband. Download von themenspezifischen Veröffentlichungen.
IFIC	International Feed-In Cooperation www.feed-in-cooperation.org	Informationen zu Einspeisevergütungsregelungen für erneuerbare Energien.
	NaturalGas www.naturalgas.org	Informationsportal zum Thema Erdgas.
	Nuklearforum Schweiz www.nuklearforum.ch	Förderung der friedlichen Nutzung und der Entwicklung der Kernenergie in der Schweiz. Faktenblätter zum Thema Kernenergie.
RES LEGAL	Internet-Datenbank „Rechtsquellen für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien“ www.res-legal.de	Juristische Inhalte zu Förderung und Netzzugang von Strom aus erneuerbaren Energien in den 27 EU-Mitgliedsstaaten.

 INTERNATIONAL		
BP	British Petroleum Company www.bp.com www.deutschebp.de	Internationales Mineralöl- und Energieunternehmen. Download: „BP Statistical Review of World Energy 2012“, 2012. Die veröffentlichten Daten basieren auf den offiziellen Quellen der Länder und sind laut BP nicht von Unternehmensinteressen beeinflusst.
	DESERTEC Foundation www.desertec.org	Die DESERTEC Foundation wurde 2009 als gemeinnützige Stiftung gegründet, um die Umsetzung des globalen DESERTEC Konzeptes „Sauberer Strom aus Wüsten“ weltweit voranzutreiben.
	Dyesol www.dyesol.de	Internationaler Anbieter für Solartechnologie. Download von Forschungsarbeiten.
EERE	U.S. Department of Energy, Energy Efficiency & Renewable Energy www.eere.energy.gov	Zahlreiche Informationen, auch zum Download, zu Energieeffizienz und erneuerbaren Energien.
EIA	U.S. Energy Information Administration www.eia.doe.gov	Weltweite Energie-Statistik, herausgegeben von der US-Regierung.
Global CCS Institute	Internationales CCS-Forschungsinstitut, Australien www.globalccsinstitute.com	Forschung und Entwicklung von „Carbon Capture and Storage“-Technologien. Download des Jahresberichts.
IAEA	International Atomic Energy Agency www.iaea.org	Internationale, wissenschaftlich-technisch tätige „Atombehörde“ unter dem Dach der UN.
IEA	International Energy Agency www.iea.org	OECD-Institution. Download: „Key World Energy Statistics 2012“, 2012.
IEA-PVPS	International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme www.iea-pvps.org	Weltweites Netzwerk der Photovoltaikforschung. Zahlen und Fakten zum Thema Photovoltaik.
IRENA	Internationale Organisation für erneuerbare Energien www.irena.org	Berichte, wissenschaftliche Publikationen und Broschüren zum Download.
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century www.ren21.net	Globales Politiknetzwerk und Forum für erneuerbare Energien. Download: „Renewables Global Status Report 2012“, 2013.
WRI	World Resources Institute www.wri.org	Non-Profit-Organisation zum Schutz der Umwelt und zur Förderung nachhaltiger Entwicklungen.

STICHWORTVERZEICHNIS

ADELE	54 f	DESERTEC	92 f
Alpha ventus	97	Druckluftspeicher, adiabater	51, 53 f
Andasol	39, 56, 91	Dünnschichtmodul/-technologie	36, 93 f
Atomausstieg	8 f, 90	EEG-Novelle	23 f, 28
Atomgesetz	8	Effizienz	73, 69, 75 ff, 80, 82, 84 f, 99, 109
Atomstrom	34	Effizienzhaus	69, 85, 87
Aufwindkraftwerk	39	Einspeisevergütung	21, 23
Biogas	24, 40 f, 82, 100 f, 106	Elektroauto/-fahrzeug	47, 49, 57 ff
Biokraftstoff/-treibstoff	11, 41, 64, 95, 104 ff	Elektromobilität	58 f
Biomasse	9 ff, 13, 28 f, 41, 45, 64, 70 f, 84, 90, 105 f	Emissionsrechtehandel	22
Blockheizkraftwerk (BHKW)	67, 82 ff, 108, 113	Emissionszertifikat	10, 22, 24, 59
Brauchwasser	35, 38	Endenergie-/verbrauch	9, 11, 21, 41, 48, 66, 70
Braunkohle	9 f, 16 f, 30, 63	Energiebedarf	8, 30, 36, 85, 92
Brennstoff	28, 34, 56, 63, 72 ff, 81 f, 106	Energieeffizienz	3, 8 f, 11, 59, 66, 85, 111, 116
Brennstoffzelle	57, 82 f, 104, 108 f	Energieeinsparverordnung (EnEV)	85
Brennstoffzellen-Heizgerät	83, 109	Energieerzeugung	8,54
Brennstoffzellenkraftwerk, dezentral	108	Energieförderprogramm	23
Brennwerttechnik	3, 76 f, 80 f	Energieforschungsprogramm	11, 59, 116
Brückentechnologie	83, 99	Energieimport	16 f
Bruttoendenergieverbrauch	9, 11, 48, 116	Energiekonzept	3, 7 ff, 12, 66, 70, 87, 108, 116
Bruttostromverbrauch	9, 28, 35 f, 67, 80, 93	Energiekosten	15 f, 18, 22
Bundesnetzagentur	20 f, 80	Energiemarkt	14, 16, 18, 62, 108, 110, 116
CIGS-/CIS-Solarzelle	93	Energiepaket	8 ff, 23
CO ₂ -Emission	28, 30 ff, 36, 38 ff, 52, 70, 72, 76, 101, 107, 111	Energiepreis	8, 17, 62, 81
CO ₂ -Gebäudesanierungsprogramm	37	Energiequelle	3, 26 ff, 30, 36, 38, 40 ff, 51, 62, 75, 85, 99, 105 f
Dämmung	8, 86	Energie-Roadmap	12

Energiespeicher	30, 111	Gas-Wärmepumpe	67, 76 f
Energiesystem	36, 53 f, 67, 96 f, 108, 110 f	Geothermie/-kraftwerk	11, 29, 40 f, 64 f, 71, 102
Energietechnologieplan (SET-Plan)	59, 116	Gezeitenkraftwerk	44, 103
Energieträger	8 f, 11, 17 f, 28 f, 70, 77 f, 81, 90, 98, 107	Grünstromprivileg	24
Energie- und Klimafonds	10, 58 f, 87	Heizenergie	35, 70
Energieverbrauch	8, 16, 19, 28, 32, 49, 55 f, 62, 66, 71, 76, 87, 117	Heizöl	10, 19, 31, 35, 62, 66
Energieversorgung	8, 12, 16, 21, 61, 63, 66, 70, 82, 89, 96, 111, 115 f	Heizsystem	72, 74, 78, 81 f
Energiewende	3, 7 ff, 12, 24 f, 28, 39, 49, 52 55, 58 f, 64, 66, 78, 92, 110	Heiztechnologie	3, 86
Energiewerthaus	85	Heizung	38, 47, 70 f, 73 f, 78 ff, 86 f, 104
Energiewirtschaftsgesetz (EnWG-Novelle)	48 f	Heizwärmebedarf	3, 67, 86
Erdgas, synthetisches	9 f, 16 ff, 20, 28, 32 f, 54, 57, 62, 82 ff, 98 ff, 105, 109	HGÜ-Leitung/-Fernleitung	92 f
Erdöl	9, 16 f, 21, 28, 30 ff, 58, 62	Hybridkraftwerk	106 f
Erdwärme	9, 28, 40, 84, 102	Hybridsystem	75 f
Erneuerbare/Regenerative Energien	3, 8 f, 12, 17, 24, 28, 48, 52, 59, 61, 63, 66, 70, 90, 98, 102, 111, 116	Hydraulic Fracturing	101
Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	10, 19, 21, 23 ff, 28 f, 96, 102	Intelligenter Zähler	49, 75, 85, 113
Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG)	24, 70, 102	Intelligentes Netz	49, 52, 75, 110 f
Flach-/Flächenkollektor	38, 73 f	Internationale Agentur für Erneuerbare Energien (IRENA)	12, 116
Flexibilitätsprämie	23 f	Kernenergie	3, 8, 10 f, 13, 29, 34, 59, 63
Förderprogramm	58, 110	Kernkraft/Kernkraftwerk	7 ff, 29, 34, 59, 91
Fossile Energieträger	11, 28, 77 f, 81, 90, 107	Klimawandel	28, 30
Fresnelkollektor/-reflektor	91	Kohle	8, 13, 28, 30 ff, 51, 62 f, 66, 84, 107
Gaskraftwerk	8, 99	Kohlekraftwerk	30, 51
Gasturbinenkraftwerk	32	Kontinentalschelf	32 f
		Kraftstoff	19, 29, 31 f, 41, 57, 67, 105 ff
		Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	3, 21, 23 ff, 30, 56, 70, 82 ff, 100, 109, 112

STICHWORTVERZEICHNIS

Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)	25	Offshore	12, 41 f, 54, 96 f
Kraftwerk, dezentral/virtuell	20, 28, 35 ff, 38 ff, 51 f, 54, 56, 83 ff, 90 ff, 99, 104, 108 f, 111	Onshore	42, 95f
Kyoto-Protokoll	22	Osmosekraftanlage	103
Langzeitspeicher	67, 98	Parabolrinnenkraftwerk	38, 90 f
Latentwärmespeicher	56	Passivhaus	86
Laufwasserkraftwerk	44	Pellet-Heizsystem	81
Luft-Wasser-Wärmepumpe	74, 78	Photovoltaik	10, 29, 35 ff, 39, 45, 47, 51, 67, 69, 71, 80, 85, 93
Marktanreizprogramm (MAP)	24, 28, 40, 70, 72, 78 f, 102	Photovoltaik-Kraftwerk	35 f
Marktprämie	23	Plutonium	29, 34
Meeresenergie	13, 102 ff	„Power-to-Gas“-Technologie/-Verfahren	54, 97 ff
Meeresströmungsturbine	103	Power-to-heat-Prinzip	78
Mehrfachsolarzelle	94	Preisbildung	18 ff
Methan/Methanhydrat	32 f, 67, 98	Primärenergie/-verbrauch	3, 9, 17, 28 f, 31 f, 62 f, 66, 72, 76, 84, 103
Mikro-Blockheizkraftwerk (Mikro-BHKW)	84, 108, 113	Pufferspeicher	78, 82
Mineralöl	16 f, 20 f, 63	Pumpspeicher/-kraftwerk	10, 44 f, 51 ff, 112
Mini-Blockheizkraftwerk (Mini-BHKW)	82 ff	Regenerative Energien	siehe erneuerbare Energien
Nachhaltigkeitsverordnung (BioKraft-NachV)	106	Repowering	96
Nanotechnologie	95	Ressourcen	66, 70
Netzausbau	8, 48, 112	Röhrenkollektor	38, 78 f
Netzausbaubeschleunigungsgesetz (NABEG)	48	Rohstoff	18, 33, 41, 82, 97, 101, 107
Netzentwicklungsplan	48	Salzspeicher	56
Netznutzungsentgelt	21 f	Schattenkraftwerk	30, 32, 36, 82
Nuklearbrennstoff	28	Smart Grid	49, 52, 75, 110 f
Ökostrom	83, 97 f	Smart Meter	49, 75, 85, 113
Ölpreisbindung	18	Solaranlage	38, 48, 67, 70, 85

Solar-/Sonnenenergie	11, 27, 29, 35 f, 39, 48, 56, 67, 77, 84, 90 f, 93, 98	Treibhausgas	9, 11 f, 22 f, 29, 66, 107
Solar-/Sonnenkollektoren	35, 38, 77 f, 82, 90	Uran	9, 29, 34
Solarstrom	58, 84, 92	Versorgungssicherheit	18, 56, 108, 111
Solarthermie	3, 24, 29, 35, 38 ff, 67, 77 ff, 85	Wärmebedarf	3, 62, 76, 82 ff, 86
Solarthermisches Kraftwerk	35	Wärmebereich	8, 64, 102
Solarturmkraftwerk	38, 91	Wärmedämmung	70, 74, 86
Solarzelle	35 f, 93 ff	Wärmepumpe	3, 35, 40, 49, 51 f, 64, 67, 70 ff, 85, 102
Sole-Wasser-Wärmepumpe	73 f	Wärmepumpen-Gas-Hybridsystem	75
Speicherkraftwerk	45, 54	Wärmequelle	40, 74, 76, 100, 102
Speichersystem/-technologie	3, 52, 59, 116	Wärmespeicher	54, 56
Spitzenlastkraftwerk	51, 53	Wärmeversorgung	66 f, 70, 109
Splittechnologie	74	Warmwasserbereitung	70, 72, 75, 77, 85, 87
Steinkohle	10, 16 f, 30, 63	Wasserkraft	9, 11, 13, 42, 44 f, 71, 103
Strömungskraftwerk	44	Wasserkraftwerk	42, 44 f, 103
Strombedarf	42, 44, 52, 90	Wasserstoff	32, 57, 93, 95, 98, 104, 106 f, 109
Stromerzeugung	9, 21, 23 f, 32, 35, 40 f, 44 f, 48, 51 f, 54, 83, 90, 92, 96, 100, 102 f	Wasserstoffspeicher	57
Stromnetz	21, 23, 30, 36, 48, 51 f, 58 f, 69, 90, 116	Wasser-Wasser-Wärmepumpe	73
Stromnetzgeldverordnung	21	Wellenkraftwerk	44, 104
Strompreis	16, 19	Windenergie	11, 42 f, 45, 48, 71, 95 f, 106
Stromproduktion	28, 30, 44, 52, 95, 102, 109	Windenergieanlage/Windkraftanlage	42, 44 f, 54, 58, 85, 95 f, 104, 106, 112
Stromspeicher	58, 97 f	Windkraft	42, 51, 63, 90, 107
Stromtankstelle	58	Windpark	12, 48, 54, 96
Stromversorgung	22, 41 f, 63, 92, 96, 99, 116	Windstrom	57, 96 f
Tandem(solar)zelle	94	Zeolith/Zeolith-Gas-Wärmepumpe	56, 76 f

TABELLEN UND GRAFIKEN

ENERGIEWENDE IN DEUTSCHLAND			Entwicklung der EEG-Umlage 2000-2012	25
Erneuerbare Energien: Ziele der Bundesregierung	9		Kostenanteile für eine Kilowattstunde	25
Beschleunigter Atomausstieg	9		Strom für Haushaltskunden	
Brutto-Stromerzeugung nach Energieträgern 2011	10			
Struktur des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern in der EU	11	ENERGIEQUELLEN	Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch in Deutschland 2011	29
Energie-Roadmap 2050	12		Vermiedene Treibhausgas-Emissionen durch erneuerbare Energien in Deutschland 2011	29
Anteile erneuerbarer Energien an der globalen Stromerzeugung	13		Weltweiter Ölverbrauch pro Kopf 2011 in Tonnen	31
Primärenergieverbrauch im internationalen Vergleich	13		Übersicht des Photovoltaik-Marktes 2011	37
			Jährliche Solarstromerzeugung in den zehn kapazitätsstärksten IEA-PVPS Ländern 2005-2011	37
ENERGIEMARKT UND -PREISE			Endenergiebereitstellung aus Biomasse im Strom-, Wärme- und Kraftstoffbereich 2011	41
Anteile der Energieträger an der Primärenergiegewinnung in Deutschland 2011	16		Weltweit erfolgreichste Länder in der Nutzung der Windenergie 2011	43
Importabhängigkeit verschiedener Energieträger	17		Anteile an der installierten Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland 2011	45
Rohölpreis in US-Dollar pro Barrel	17			
Energiepreisbildung private Haushalte 2011/2012	19			
Größte Energieversorger weltweit 2012	21			
Faktoren der Energiepreisbildung	21			

UMRECHNUNGSTABELLE ENERGIEEINHEITEN

EINHEIT	kWh	TWh	GJ	PJ	t SKE	Mt SKE	t RÖE
1 kWh Kilowattstunde	1	0,000000001	0,0000000036	0,0036	0,000123	0,000000000123	0,0000859
1 TWh Terawattstunde	1.000.000.000	1	3,6	3.600.000	122.833	0,123	85,985
1 GJ Gigajoule	277,78	0,000000278	1	0,000001	0,03412	0,000000034	0,024
1 PJ Petajoule	277.777.777,78	0,278	1.000.000	1	34.120	0,034	23.885
1 t SKE Steinkohleeinheiten	8.141	0,00000814	29,31	0,00002931	1	0,000001	0,7
1 Mt SKE	8.141.111.111	8.141	29.308.000	29,31	0,000001	1	698.374
1 t RÖE/RÖL¹ Rohöleinheiten	11.641,44	0,0000116	41,87	0,00004187	1,43	0,00000143	1

K (Kilo) 10³ | M (Mega) 10⁶ | G (Giga) 10⁹ | T (Tera) 10¹² | P (Peta) 10¹⁵ | E (Exa) 10¹⁸

¹International: (M)toe - (million) tonnes of oil equivalent

NETZ- UND SPEICHERTECHNOLOGIEN

Anteile am Strom- und Endenergieverbrauch	48
Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland	53

ENERGIENUTZUNG UND -VERBRAUCH

Primärenergieverbrauch ausgewählter EU-Länder 2011	62
Primärenergieverbrauch in Deutschland 2011	63
Endenergieverbrauch in Deutschland 2011	64
Entwicklung der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland 1990-2011	65
Anteile erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung in Deutschland 2000-2011	67

ENERGIEWENDE IM HAUSHALT

Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland 2011-2012	71
Absatzzahlen von Heizungswärmepumpen in Deutschland 2006-2011	72
Entwicklung der Anzahl von Pelletheizungen in Deutschland 2004-2012	81
32 Prozent Primärenergieeinsparung mit Mikro-KWK	84
Jahresheizwärmebedarf Niedrigenergie- und Passivhaus	86
ENERGIE DER ZUKUNFT	
Solarthermische Kraftwerke im Überblick	90
Rolle des Gases in einem zukünftigen Energieversorgungssystem	100
Kraftstoffverbrauch in Deutschland 2011	104
Biokraftstoffverbrauch in Deutschland 2011	105

IMPRESSUM

Herausgeber:
Vaillant GmbH
Berghauser Str. 40
42859 Remscheid
www.vaillant.de

Kontakt:
Dr. Jens Wichteremann
Direktor Unternehmenskommunikation und Nachhaltigkeitsmanagement
Telefon: +49 (0)2191 182754
E-Mail: jens.wichteremann@vaillant.de

Konzept:
Vaillant und Oliver Schrott Kommunikation

Grafik/Gestaltung, Redaktion:
Oliver Schrott Kommunikation GmbH
An den Dominikanern 11-27
50668 Köln
www.osk.de



Gedruckt auf 170 g/qm Vivus 103 impact von Berberich, Recycling aus 100 % Altpapier mit ca. 1,3-fachem Volumen klimaneutral produziert.