

Ziele der Energiewende	4
Editorial	5
Überblick Energieversorgung	6
Deutschland 2030	8
RÜCKENWIND FÜR DIE STROMVERSORGUNG – WINDENERGIE	10
Technik: So funktioniert eine Windenergieanlage	12
Der Windenergie Raum geben	13
Flächenbedarf der Windenergie	14
Offshore Windenergie	16
SONNIGE AUSSICHTEN FÜR STROM UND WÄRME – SOLARENERGIE	18
Strom aus Solarenergie	20
Technik: So wird Sonneneinstrahlung zur Stromerzeugung genutzt	20
Wärme aus Solarenergie	22
Technik: So funktioniert Solarthermie	22
Praxisbeispiele: Solarenergie aus Freiflächenanlagen	24
ENERGIE AUS DER TIEFE – GEOTHERMIE	26
Potenzial der Geothermie	28
Nutzungstiefen Geothermie	29
Geothermische Kraft- und Heizwerke	30
Technik: So funktioniert hydrothermale Geothermie	31
Technik: So funktioniert oberflächennahe Geothermie	32
Praxisbeispiel: Erdwärme im Einfamilienhaus	33
VIEL ERTRAG VON WENIG FLÄCHE – BIOENERGIE	34
Flächenbedarf der Bioenergie	36
Technik: So funktioniert eine Biogasanlage	38
Energiepflanzen und Reststoffe	38
Praxisbeispiel: Bioenergie vor Ort	40
QUELLE FÜR SAUBERE ENERGIE – WASSERKRAFT	42
Technik: So funktioniert ein Laufwasserkraftwerk	44
Potenzial der Wasserkraft	45
Praxisbeispiele: Reaktivierung, Neubau und Innovation	46
GUT VERNETZT IST HALB GEWONNEN – STROMNETZE	48
Technik: So funktioniert die deutsche Stromversorgung	50
Netzausbau in Europa	51
Höchstspannungsnetz	52
Praxisbeispiel: Netzausbau	54
Verteilnetz	56
Ortsnetz	57
Technik: So funktioniert ein Smart Grid	58
Das regenerative Kombikraftwerk	59
Zellulärer Ansatz	60
Schaufenster in die Energiezukunft	61

ENERGIE SPEICHERN	62
Flexibilisierung	64
Speichertechnologien	65
Praxisbeispiele: Batteriespeicher	66
Praxisbeispiele: Pumpspeicherkraftwerke	68
Power-to-X	70
Technik: Wie funktioniert Power-to-Gas?	71
TREIBSTOFF DER ZUKUNFT – VERKEHRSWENDE	72
Technik und Praxisbeispiele: Power-to-Mobility	74
Praxisbeispiele: Biokraftstoff	76
Effizienz	77
Praxisbeispiele: Güterverkehr	78
Technik: So funktioniert ein Elektroauto	78
Praxisbeispiele: Personenverkehr	79
RIESIGE POTENZIALE WECKEN – WÄRMEWENDE UND EFFIZIENZ	80
Effizienzlandkarte	82
Praxisbeispiele: Gebäude und Kommunen	83
Technik: So funktioniert ein Biomasseheizkraftwerk	85
Impressum	3
Glossar	86
Abkürzungsverzeichnis	94
Fotonachweis	95
Literaturverzeichnis	96

IMPRESSUM

HERAUSGEBER:

Agentur für Erneuerbare Energien e.V.
 Invalidenstraße 91
 10115 Berlin
 Tel.: 030 200535 30
 Fax: 030 200535 51

Konzept und Redaktion: Janine Schmidt-Curreli
 Autoren: Janine Schmidt-Curreli, Alexander Knebel,
 Linus Lawrenz
 Gestaltung: BBGK Berliner Botschaft GmbH
 V. i. S. d. P.: Philipp Vohrer
 Stand: Dezember 2016

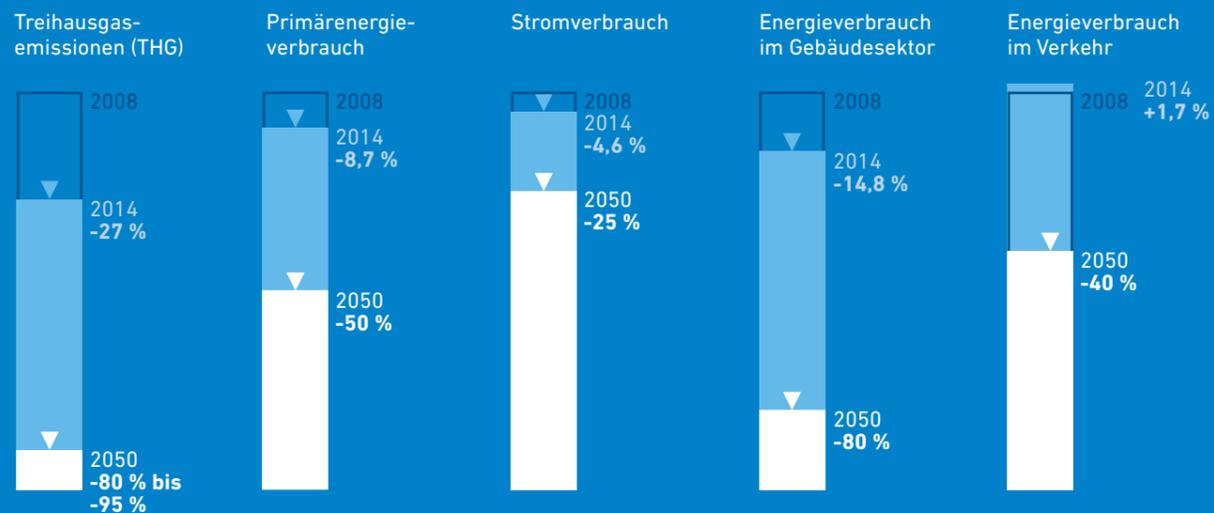
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages

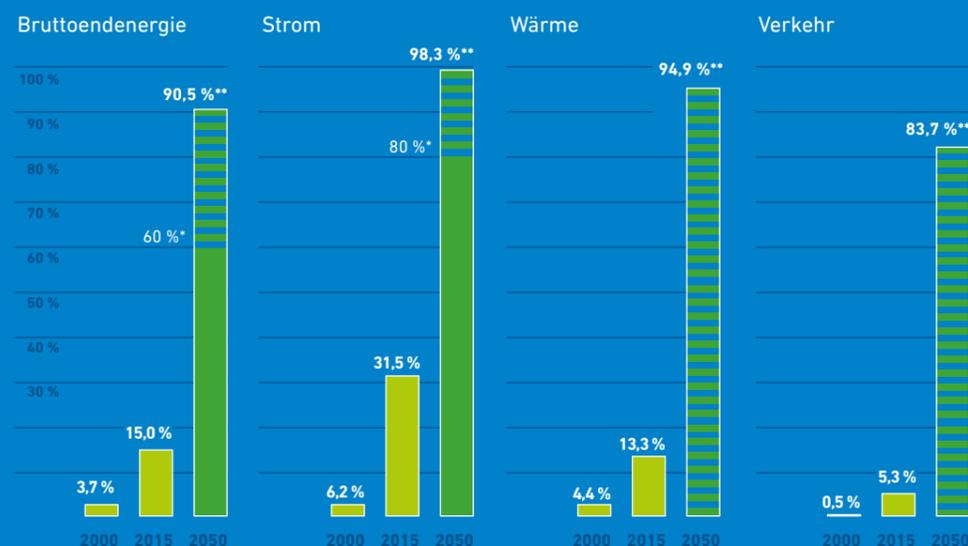
HINWEIS: Die Texte, Abbildungen und Beschreibungen der lokalen Verhältnisse in dieser Publikation wurden nach bestem Wissen und vorliegender Datengrundlage erstellt. Für die Realisierung konkreter Projekte kann dieser Atlas jedoch selbstverständlich keine spezifische Potenzialanalyse durch Fachleute am jeweiligen Standort ersetzen. Trotz größtmöglicher Sorgfalt bei der Erstellung des Energiewendeatlas sind Fehler nie auszuschließen und aufgrund der großen Dynamik im Bereich Erneuerbare Energien können sich schnell Änderungen gegenüber den vorliegenden Texten ergeben. Der Herausgeber übernimmt daher keine Gewähr für die Aktualität, Richtigkeit oder Vollständigkeit der in dieser Broschüre bereitgestellten Informationen.

TREIBHAUSGASMINDERUNG UND EFFIZIENZZIELE ZUR UMSETZUNG DER ENERGIEWENDE ZIELE DER BUNDESREGIERUNG



Quelle: BMWi, BDEW, KBA

ANTEILE ERNEUERBARER ENERGIEN AN DER ENERGIEVERSORGUNG DEUTSCHLANDS



* Ziel der Bundesregierung
** Nitsch (2016) (Szenario Klima 2050)

Quelle: BMWi, Nitsch (2016) (Szenario Klima 2050)

Die in diesem Energiewendeatlas veröffentlichten Ausbauprognosen für 2030 basieren auf der Kurzstudie „Die Energiewende nach COP 21 – Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung“, die vom Bundesverband Erneuerbare Energie im März 2016 beauftragt wurde. Der Autor, Dr. Joachim Nitsch, stellt mit dem Szenario „Klima 2050“ einen Zielpfad dar, der verfolgt werden sollte, um die Energiewende-Ziele (insbes. das THG-Reduktionsziel von -95% bis 2050) der Bundesregierung zu erfüllen. Die für den entsprechenden Ausbau Erneuerbarer Energien benötigten Flächen wurden von der Agentur für Erneuerbare Energien auf Basis von Branchendaten und -prognosen berechnet und stellen lediglich einen Richtwert dar.

Liebe Leserinnen und Leser,

die globale Klimaerwärmung bis 2050 auf unter 2 Grad Celsius begrenzen, das hat die Staatengemeinschaft im Rahmen des Klimavertrags von Paris im Dezember 2015 beschlossen. Um dieses Ziel zu erreichen, muss in den industrialisierten Ländern vor allem die Energiewirtschaft umgebaut werden: Weg von fossilen Brennstoffen wie Kohle und Erdöl – hin zu Erneuerbaren Energien. Dabei gibt es keinen Universalweg aus dem Lehrbuch. Vielmehr muss sich jeder Staat gemäß seinen individuellen Herausforderungen einen eigenen, effizienten Lösungsweg suchen. Ein „Voranschiebern“ gehört zum Mammutprojekt Energiewende genauso dazu wie das Abgucken besonders guter „Rezepte“ durch Nachahmer.

Deutschland gilt als Vorreiter in Sachen erneuerbarer Stromversorgung: Seit der Jahrtausendwende hat sich die regenerative Stromversorgung von rund 5 Prozent zur stärksten Säule der Elektrizitätsversorgung (Anteil 2015: 31,5 Prozent) gemausert. Getragen wurde und wird der Ausbau insbesondere von der deutschen Bevölkerung. Fast jede zweite regenerative Erzeugungsanlage gehört Privatleuten oder Landwirten. Über 90 Prozent der Deutschen befürworten den weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien. Die Abkehr von der Atomkraft ist spätestens seit der Reaktor-Katastrophe in Fukushima 2011 gesellschafts- und parteienübergreifender Konsens. Und auch die weitgehende Dekarbonisierung der restlichen Energieerzeugung ist beschlossene Sache.

Den größten Anteil des grünen Stroms liefern in Deutschland Wind- und Solarenergie. Da diese jedoch je nach Wetterlage und Tageszeit manchmal mehr, manchmal weniger Strom produzieren, bedeutet Energiewende nicht nur eine Erneuerung der Energieerzeugungskapazitäten. Vielmehr muss sich die gesamte Energieinfrastruktur inklusive Stromnetze der Wind- und Solarernte anpassen. Zukünftig werden deshalb wirtschaftliche Anreize nötig sein, damit Verbraucher den Strom verstärkt dann beziehen, wenn ein hohes Angebot am Markt vorhanden ist. Neben diesem Demand-Side-Management können auch Speicher oder ein verstärkter europäischer Stromaustausch für Ausgleich sorgen, wenn Strombedarf und -angebot auseinander klaffen.

Im Gegensatz zur Stromerzeugung spielen Erneuerbare Energien im Wärme- und Verkehrssektor hingegen noch eine untergeordnete Rolle (2015: 13,3 bzw. 5,3 Prozent). Große Hoffnung wird daher in die Sektorenkopplung gesetzt – so wird das Prinzip genannt, Strom in Wärme und Antriebsenergie für den Mobilitätsbereich umzuwandeln. Das hat zwei entscheidende Vorteile: Zum einen werden die beiden besonders energie- und schadstoffintensiven Sektoren Wärme und Verkehr umweltfreundlicher. Zum anderen kann mit einer wachsenden Zahl an Autobatterien ein wertvoller Zwischenspeicher für Wind- und Solarstrom entstehen. Weitere Maßnahmen wie die Verkehrsverlagerung – weg vom motorisierten Individualverkehr hin zu einer stärkeren Nutzung von Bus, Bahn und Rad – sorgen letztlich für die notwendige Verkehrswende.

Der Schlüssel zur Wärmewende hingegen liegt vor allem in der energetischen Sanierung des deutschen Gebäudebestandes sowie einer Modernisierung der Heizungstechnik. Zukünftig wird es in Deutschland vermehrt Häuser und Stadtquartiere geben, die ihren Energiebedarf komplett aus regenerativen Anlagen selbst decken. Allen Sektoren gemein ist die Bedeutung der Energieeffizienz. Es gilt, den Energiekonsum zu reduzieren und den Energiebedarf darüber hinaus aus Erneuerbaren Energien zu decken. Nur in dieser Kombination wird eine nahezu vollständig erneuerbare, umweltschonende Energieversorgung möglich.

Doch was sich wie Zukunftsmusik anhört, wird in Deutschland in vielen Forschungsvorhaben und in der Praxis bereits heute erprobt. Mit dem Energiewendeatlas möchten wir Ihnen einige dieser Beispiele zeigen und Ihnen die Energiewende schmackhaft machen. Bei der Reise quer durch die Republik erfahren Sie, wie Deutschland seine Energiewende umsetzen will – Nachahmung erwünscht.

Philipp Voler

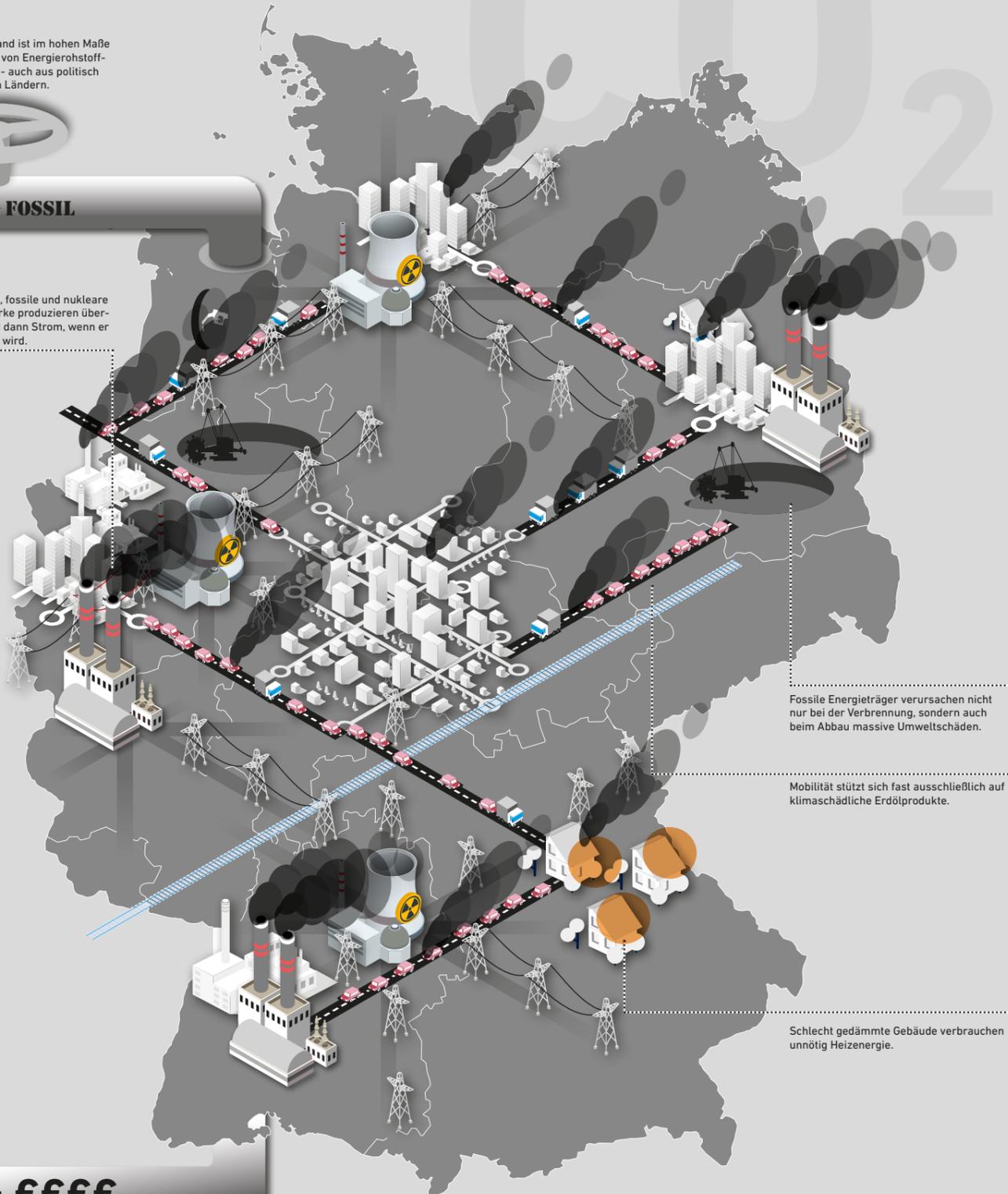


DER BLICK IN DIE VERGANGENHEIT: DEUTSCHLANDS ENERGIEVERSORGUNG VOR DER JAHRTAUSENDWENDE

Deutschland ist im hohen Maße abhängig von Energierohstoffimporten - auch aus politisch instabilen Ländern.

FOSSIL

Zentrale, fossile und nukleare Kraftwerke produzieren überwiegend dann Strom, wenn er benötigt wird.



Fossile Energieträger verursachen nicht nur bei der Verbrennung, sondern auch beim Abbau massive Umweltschäden.

Mobilität stützt sich fast ausschließlich auf klimaschädliche Erdölprodukte.

Schlecht gedämmte Gebäude verbrauchen unnötig Heizenergie.

€€€€

Deutschland gibt mehrere Milliarden Euro jährlich (2015: 66 Milliarden Euro) für Energieimporte aus.

DER BLICK IN DIE ZUKUNFT: DIE ERFOLGREICHE ENERGIEWENDE

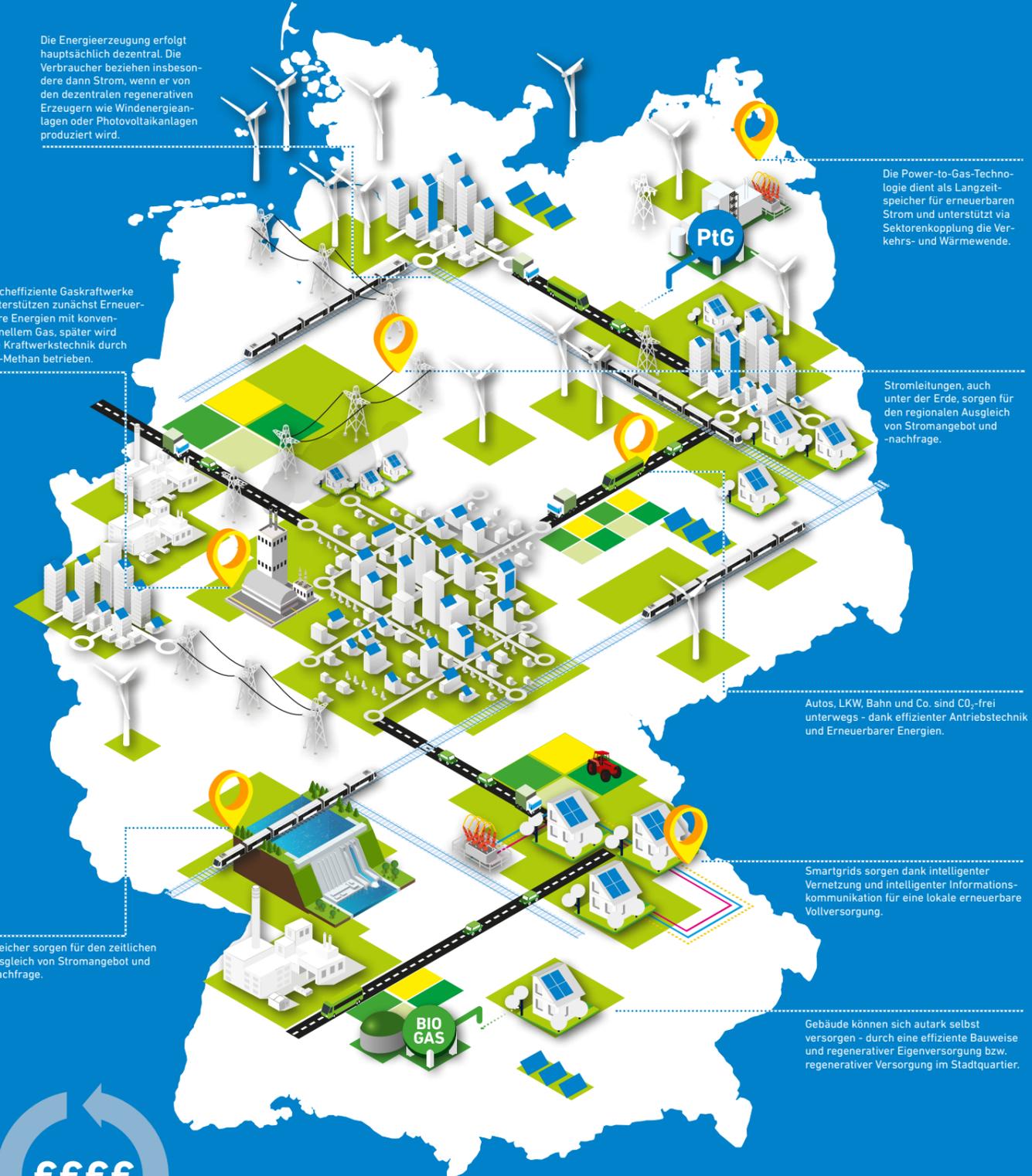
Die Energieerzeugung erfolgt hauptsächlich dezentral. Die Verbraucher beziehen insbesondere dann Strom, wenn er von den dezentralen regenerativen Erzeugern wie Windenergieanlagen oder Photovoltaikanlagen produziert wird.

Hocheffiziente Gaskraftwerke unterstützen zunächst Erneuerbare Energien mit konventionellem Gas, später wird die Kraftwerkstechnik durch EE-Methan betrieben.

Speicher sorgen für den zeitlichen Ausgleich von Stromangebot und -nachfrage.

€€€€

Erneuerbare Energien stärken die heimische Wirtschaft und die Wertschöpfung vor Ort.



Die Power-to-Gas-Technologie dient als Langzeitspeicher für erneuerbaren Strom und unterstützt via Sektorkopplung die Verkehrs- und Wärmewende.

Stromleitungen, auch unter der Erde, sorgen für den regionalen Ausgleich von Stromangebot und -nachfrage.

Autos, LKW, Bahn und Co. sind CO₂-frei unterwegs - dank effizienter Antriebstechnik und Erneuerbarer Energien.

Smartgrids sorgen dank intelligenter Vernetzung und intelligenter Informationskommunikation für eine lokale erneuerbare Vollversorgung.

Gebäude können sich autark selbst versorgen - durch eine effiziente Bauweise und regenerativer Eigenversorgung bzw. regenerativer Versorgung im Stadtquartier.

Mobilität



Erneuerbarer Anteil der Antriebsenergie

Wärme



Erneuerbarer Anteil am Wärmeverbrauch

Strom



Erneuerbare Anteile am Stromverbrauch



EE-Power to Gas: 7,4 Mrd. kWh_{el} 01,0 %₂₀₃₀

EE-Import: 17,0 Mrd. kWh_{el} 02,3 %₂₀₃₀

Windenergie auf See: 90,7 Mrd. kWh_{el} 12,4 %₂₀₃₀

Windenergie an Land: 190,4 Mrd. kWh_{el} 26,0 %₂₀₃₀

Bioenergie: 58,3 Mrd. kWh_{el} 08,0 %₂₀₃₀

Wasserkraft: 23,1 Mrd. kWh_{el}

Photovoltaik: 104,9 Mrd. kWh_{el} 03,2 %₂₀₃₀

Geothermie 3,7 Mrd. kWh_{el} 14,3 %₂₀₃₀

00,5 %₂₀₃₀



Strom aus Erneuerbaren Energien: 108,0 Mrd. kWh



EE-Power to Gas: 20,8 Mrd. kWh



Bioenergie: 138,6 Mrd. kWh_{th}



Solarthermie: 31,0 Mrd. kWh_{th}



Geothermie: 53,2 Mrd. kWh_{th}



Strom aus Erneuerbaren Energien: 30,3 Mrd. kWh



EE-Power to Gas: 50,3 Mrd. kWh



Biokraftstoffe: 66,7 Mrd. kWh

Die Rechtecke bilden den jeweiligen Flächenbedarf der Erneuerbaren Energien an der Gesamtfläche der Bundesrepublik Deutschland maßstabsgetreu ab und sind nicht ortsbezogen.

Windgeschwindigkeiten in 120 m Höhe



nur Fundamentsflächen
 ■ 2015: 2.100 ha
 ■ 2030: 3.700 ha - 5.800 ha

inkl. Abstandsflächen
 ■ 2015: 210.000 ha
 ■ 2030: 370.000 ha - 580.000 ha

In 120 m Höhe weht der Wind durchschnittlich mit einer Geschwindigkeit von



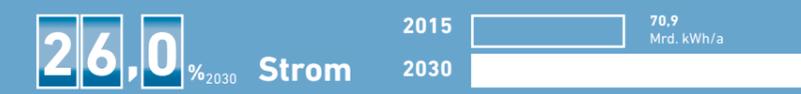
Dass der Wind an der Küste am stärksten weht, ist keine Überraschung. Trotzdem lohnt es sich auch in Süddeutschland, auf Windenergie zu setzen. Denn es gibt für jeden Wind die passende Anlage.

RÜCKENWIND FÜR DIE STROMVERSORGUNG WINDENERGIE

Die Windenergie liefert zwar heute schon den größten Anteil erneuerbaren Stroms, ihr Potenzial ist jedoch noch längst nicht ausgeschöpft. Das liegt in erster Linie an der rasanten Leistungssteigerung der Technik. Der stärkere Wind in großen Höhen kann fast überall in Deutschland genutzt werden, und viele alte können durch wenige moderne leistungsstarke Anlagen ersetzt werden. Das bedeutet, dass immer weniger, aber leistungsstärkere Windenergieanlagen immer mehr Strom erzeugen werden.

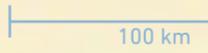
Seit August 2009 erzeugen auch Windenergieanlagen vor der deutschen Küste (sog. Offshore-Windenergie) Strom. Sie werden zukünftig in erheblichem Maße zur Stromversorgung beitragen.

Anteil an der Energieversorgung 2015 und 2030 (nur Onshore-Windenergie)



Um die gegenseitige Beeinflussung zu minimieren, müssen Windenergieanlagen einen Mindestabstand zueinander einhalten. Dieser ist abhängig von der vorherrschenden Windrichtung und der Anlagengröße. Der Durchschnittswert für das Jahr 2015 beträgt eine Abstandsfläche von 5 Hektar pro MW. Für 2030 ergibt sich eine Spanne von 3,8 Hektar pro MW (BWE 2012) bis 6 Hektar pro MW (AEE 2015). Sie resultiert aus unterschiedlichen Annahmen u.a. bezüglich der Anlagengröße und der damit erforderlichen Abstandsfläche.

Die Fundamentsfläche einer Windenergieanlage beträgt maximal ein Prozent der Abstandsfläche und versiegelt den Boden. Die Abstandsflächen können aber z.B. für die Landwirtschaft genutzt werden.

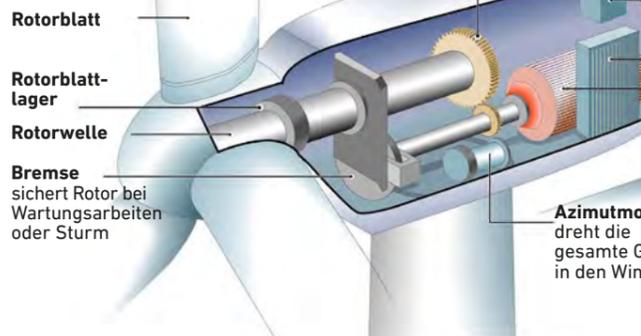


SO FUNKTIONIERT EINE WINDENERGIEANLAGE

Bei Windkraftanlagen haben sich zwei verschiedene Konstruktionsprinzipien durchgesetzt: Anlagen mit Getriebe (1.) erhöhen die niedrige Drehzahl der Rotorwelle auf eine für den Generator günstige Drehzahl. Bei getriebelosen Anlagen (2.) sitzt der Rotor des Generators direkt auf der Rotorwelle.

1. Beispiel einer Anlage mit Getriebe

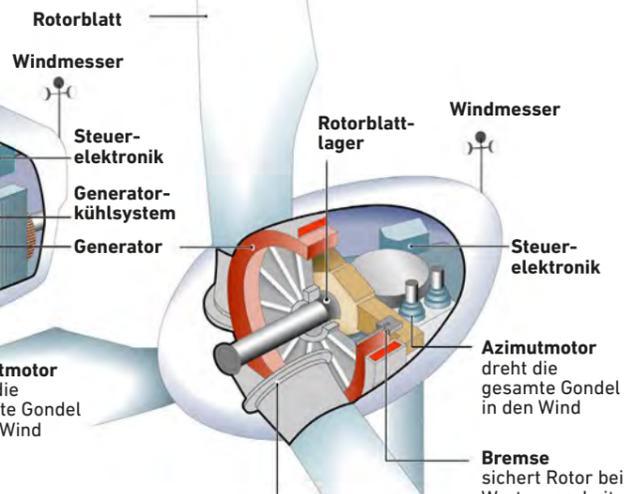
Leistung: 2,0 Megawatt
 Rotordurchmesser: 80 Meter
 Turmhöhe: ca. 80 Meter
 Drehzahl: 9–19 Umdrehungen pro Minute



Der Netzanschluss der Windkraftanlage erfolgt über einen zwischengeschalteten Gleichstromkreis. Der vom Generator erzeugte Wechselstrom wird zunächst in Gleichstrom und anschließend wieder in Wechselstrom mit der richtigen Frequenz und Spannung umgewandelt. Dadurch ist ein drehzahlvariabler Betrieb der Windkraftanlage möglich und die mechanischen Belastungen werden minimiert.

2. Beispiel einer getriebelosen Anlage

Leistung: 5,0 Megawatt
 Rotordurchmesser: 114 Meter
 Turmhöhe: ca. 124 Meter
 Drehzahl: 8–13 Umdrehungen pro Minute



Elektrische Blattverstellung
 Bei pitch-gesteuerten Anlagen lässt sich der Anstellwinkel verändern, um bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten eine gleichbleibende Umdrehungsgeschwindigkeit zu erzielen.

DIE WIRTSCHAFTLICHE UND INFORMELLE BETEILIGUNG DER BÜRGERINNEN UND BÜRGER KANN DIE AKZEPTANZ FÜR WINDPARKS STEIGERN.



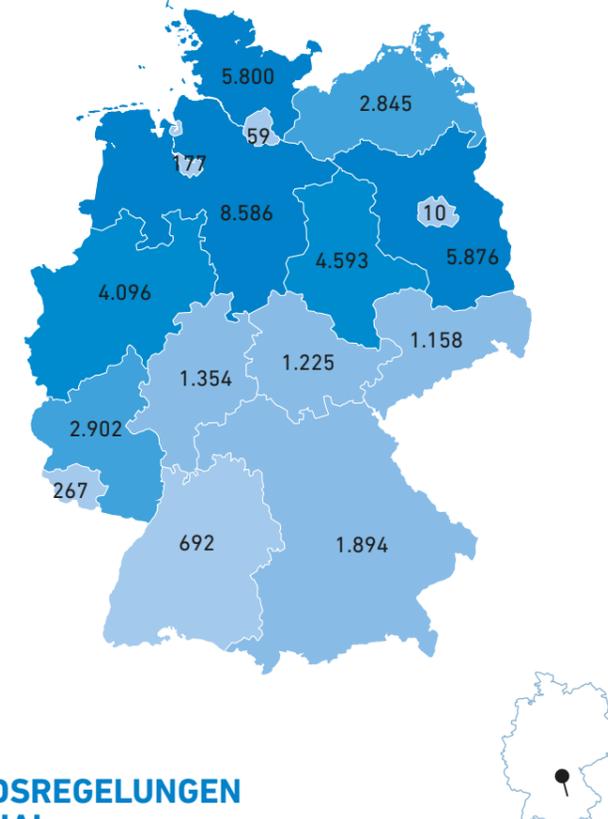
An dem Bürgerwindpark Reußenköge nahe der deutsch-dänischen Grenze sind fast alle Bürger des Ortes beteiligt.

DER ENERGIEWENDE RAUM GEBEN

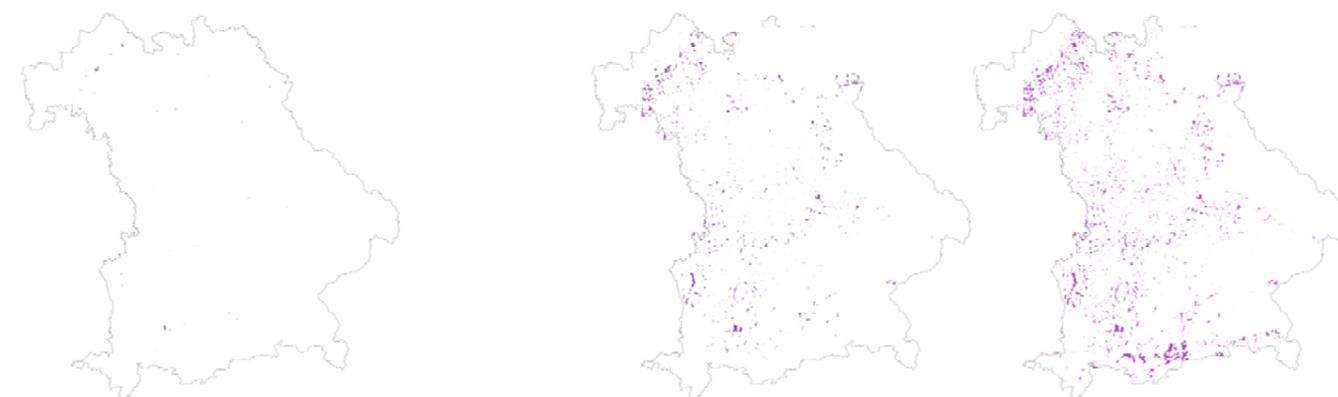
93 Prozent der Deutschen befürworten den weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien, so das Ergebnis einer TNS Emnid-Umfrage aus dem Jahr 2016. Wenn die Energiewende allerdings die Tore der Heimatstadt erreicht, wird die Haltung vieler Anwohner kritischer. Das ist bei der Windenergie genauso der Fall wie bei jedem anderen Infrastrukturprojekt. Windenergieanlagen deshalb sprichwörtlich auf Abstand zu halten und zu restriktive Abstandsregelungen einzuführen, kann das Projekt Energiewende gefährden, wie das Beispiel Bayern zeigt: Dort müssen Windenergieanlagen von der nächsten Wohnsiedlung zehnmal so weit entfernt sein, wie sie hoch sind – bei modernen Anlagen bedeutet das einen Abstand von 2.000 Metern. Das Ergebnis für Bayern gleicht einem Ausbaustopp. Dabei könnte die Lockerung der deutschlandweit strengsten Abstandsregelung für überproportional mehr Energiewende-Fläche sorgen.

Für die nötige Akzeptanz vor Ort können transparente Informationen und eine frühe Einbindung der Bürger in die Planung der Windenergieprojekte sorgen. Durch Beteiligungsmodelle können Bürger auch wirtschaftlich profitieren. Von den Energiewende-Projekten ausgelöste kommunale Steuereinnahmen fließen z.B. in Schulen und Kindergärten, und kommen so der gesamten Bevölkerung zu Gute.

INSTALLIERTE LEISTUNG WINDENERGIE ONSHORE 2015, IN MW JE BUNDESLAND



BEISPIEL BAYERN: RESTRIKTIVE ABSTANDSREGELUNGEN GEFÄHRDEN DAS ENERGIEWENDEPOTENZIAL



Abstandsfläche 2.000 m
 (Status quo Bayern für moderne, 200 m hohe Windenergieanlagen)

Durch eine Verringerung der Abstandsfläche auf:

1.200 m

1.000 m

24-Fache

61-Fache

In Lila eingezeichnet sind die Flächen, die gemäß der jeweiligen Abstandsfläche für Windenergie in Betracht kommen könnten. Weitere Prüfungen, z. B. bzgl. Naturschutz und Windprognosen, müssen noch erfolgen. Die berechneten Flächen können deshalb nur als grober Richtwert gesehen werden.



WINDENERGIE HOLT MEHR STROM AUS DER FLÄCHE ALS BRAUNKOHLLE

Braunkohletagebau Garzweiler II (NRW)

Windpark Bergheim/Rheidt

12 km

Braunkohle

Das Abbaufeld Garzweiler II umfasst eine Fläche von 4.800 Hektar und beinhaltet rund 1,3 Mrd. Tonnen Braunkohle. Im Schnitt könnten 32,5 Mio. Tonnen pro Jahr gefördert werden. Ein modernes Braunkohlekraftwerk mit einem Wirkungsgrad von 43 Prozent kann mit dieser Menge pro Jahr etwa 35 Mrd. kWh Strom produzieren. Daraus ergibt sich ein Stromertrag pro Hektar und Jahr von ca. 7,3 Mio. kWh.

Vergleicht man diesen Wert mit dem Stromertrag pro Hektar versiegelter Fläche einer Windmühle des benachbarten Windparks Bergheim/Rheidt, so zeigt sich, dass schon eine Anlage mit einer installierten Leistung von zwei Megawatt mehr Strom aus der Fläche holt als Braunkohle.

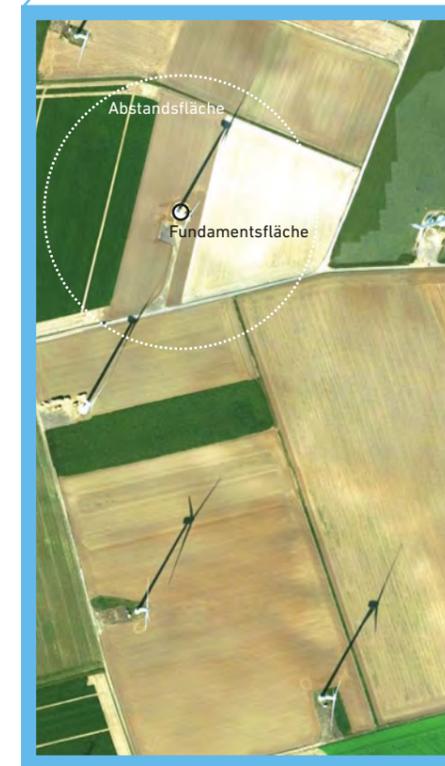
Braunkohle ist ein äußerst problematischer Energieträger, denn im Vergleich zu Steinkohle und Erdgas setzt sie besonders viel Kohlendioxid frei und trägt somit wesentlich zum Klimawandel bei. Für den Abbau wird zudem großflächig das Grundwasser abgesenkt und gesamte Dörfer werden umgesiedelt - auch für den Tagebau Garzweiler II. Der Protest der Betroffenen wurde 2016 erhört: Die rot-grüne Landesregierung beschloss, das Abbaugbiet zu verkleinern, rund 400 Mio. Tonnen Braunkohle sollen in den nächsten Jahrzehnten weniger abgebaut werden. 1.400 Menschen dürfen in ihrem zu Hause bleiben.



Windenergie

	2015	2015	2030	2015	2030
Tagebau Garzweiler II				Windpark Bergheim/Rheidt	
Jährlicher potenzieller Ertrag pro Hektar	ca. 7,3 Mio. kWh	ca. 22,5 Mio. kWh		nur Fundamentsfläche	Jährlicher Ertrag pro Hektar
		ca. 225.000 kWh		inkl. Abstandsflächen	
Deutschland	2015	2015	2030	Deutschland (nur Onshore-Windenergie)	
Stromerzeugung	150 Mrd. kWh	77,9 Mrd. kWh	190,4 Mrd. kWh	Stromerzeugung	
Flächenbedarf	48.300 ha	2.100 ha	3.700 ha – 5.800 ha	Flächenbedarf	
		210.000 ha	370.000 ha – 580.000 ha	nur Fundamentsfläche	
				inkl. Abstandsflächen	
Jährlicher Ertrag pro Hektar	3,1 Mio. kWh	37 Mio. kWh	33 - 52 Mio. kWh	nur Fundamentsfläche	Jährlicher Ertrag pro Hektar
		370.000 kWh	330.000 kWh - 520.000 kWh	inkl. Abstandsflächen	

Quelle: DEBRIV (2015), Statistik der Kohlenwirtschaft (2015), Eigene Berechnungen



500 m

OFFSHORE-WINDENERGIE: ENERGIE VOM STÜRMISCHEN MEER

Ausschließliche Wirtschaftszone Deutschlands

Windpark

- in Betrieb
- in Bau
- in Bauvorbereitung
- genehmigt

Wassertiefe

- unter 5 m
- 5 – 10 m
- 10 – 20 m
- 20 – 30 m
- über 30 m

40 km

Name	Inbetriebnahme	Anzahl Anlagen in MW	Leistung
in Betrieb			
1 Alpha Ventus	2010	12	60
2 Amrumbank West	2015	80	302
3 BARD Offshore 1	2010	80	400
4 Borkum Riffgrund 1	2015	78	312
5 Breitling	2006	1	2,5
6 Butendiek	2015	80	288
7 DanTysk	2014	80	288
8 EnBW Baltic 1	2011	21	48,3
9 EnBW Baltic 2	2015	80	288
10 ENOVA Offshore Project Ems Emden	2004	1	4,5
11 Global Tech I	2015	80	400
12 Gode Wind	2016	97	582
13 Meerwind	2014	80	288
14 Nordsee Ost	2015	48	295,2
15 Riffgat	2014	30	108
16 Trianel Windpark Borkum I	2015	40	200

Name	Inbetriebnahme (geplant)	Anzahl Anlagen in MW	Leistung
in Bau			
17 Nordergründe	2017	18	110,7
18 Nordsee One	2017	54	332,1
19 Sandbank	2017	72	288
20 Veja Mate	2018	67	402
21 Wikinger	2017	70	350
in Bauvorbereitung			
22 Arcadis Ost 1	2018	58	348
23 Arkona	2019	60	385
24 Borkum Riffgrund 2	2019	56	450
25 Merkur	2019	66	396
in Planung			
26 Borkum Riffgrund West I	k.a.	45	270
27 Delta Nordsee I & II	2021	80	320
28 Deutsche Bucht	2019	30	252
29 EnBW He Dreih	k.a.	80	732
30 EnBW Hohe See	k.a.	71	497
31 Gode Wind 04	k.a.	42	252
32 Kaikas	k.a.	83	581
33 Nördlicher Grund	k.a.	64	384
34 Nordsee Three	k.a.	60	369
35 Nordsee Two	k.a.	48	295,2
36 OWP Albatros Phase 1	2019	19	116,8

Quelle: BSH

Anteil an der Energieversorgung 2015 und 2030

(nur Offshore-Windenergie)



Die Windenergie auf hoher See wird zukünftig in erheblichem Maß zur erneuerbaren Energieversorgung beitragen. Ende 2015 waren etwa 16 Windparks mit einer gesamten installierten Leistung von rund 3.300 MW in Betrieb. 20 weitere Windparks mit insgesamt etwa 6.300 MW sind im Bau, der Bauvorbereitung bzw. in Planung.

Ausbaupotenzial

3.300 MW
Installierte Leistung
2015

22.100 MW
Installierte Leistung
2030

Quellen: BMWi; Nitsch (2016) (Szenario Klima2050)

SONNIGE AUSSICHTEN FÜR STROM UND WÄRME SOLARENERGIE

In Deutschland liegt die jährliche Sonneneinstrahlung pro Quadratmeter zwischen 900 und 1.200 kWh. Das ist zwar weniger als in Südeuropa oder Afrika, jedoch ausreichend, einen wichtigen Beitrag zur Strom- und Wärmeversorgung in Deutschland zu leisten. 234.400 Hektar Gebäudeflächen sind für die solare Nutzung geeignet. Bisher werden hiervon rund 11 Prozent genutzt. Das zeigt: Es gibt noch sehr viel Potenzial zu erschließen.



Jährliche Sonneneinstrahlung

kWh/m²

> 1.400
1.350
1.300
1.250
1.200
1.150
1.100
< 1.050

kWh/kW_p

> 1.190
1.150
1.105
1.065
1.020
980
935
< 890

Im Durchschnitt jährlich erzeugte Strommenge einer 1 kW_{peak}-Photovoltaikanlage mit südwärts ausgerichteten PV-Modulen im Winkel von 35 Grad und einem Performance Ratio von 0,85.

Beispielrechnung:
In Kiel beträgt die jährliche Sonneneinstrahlung 1.100 kWh/m². Eine südlich ausgerichtete und um 35 Grad geneigte Photovoltaikanlage mit 1 kW_p installierter Leistung auf ca. 10 m² erzeugt 935 kWh im Jahr. Dies entspricht 27 Prozent des jährlichen Stromverbrauchs eines Durchschnittshaushaltes. In München erzeugt 1 kW_{peak} 1.170 kWh Strom pro Jahr und deckt somit 33 Prozent des Stromverbrauchs.

Anteil an der Energieversorgung 2015 und 2030



Flächenbedarf 2015 und 2030

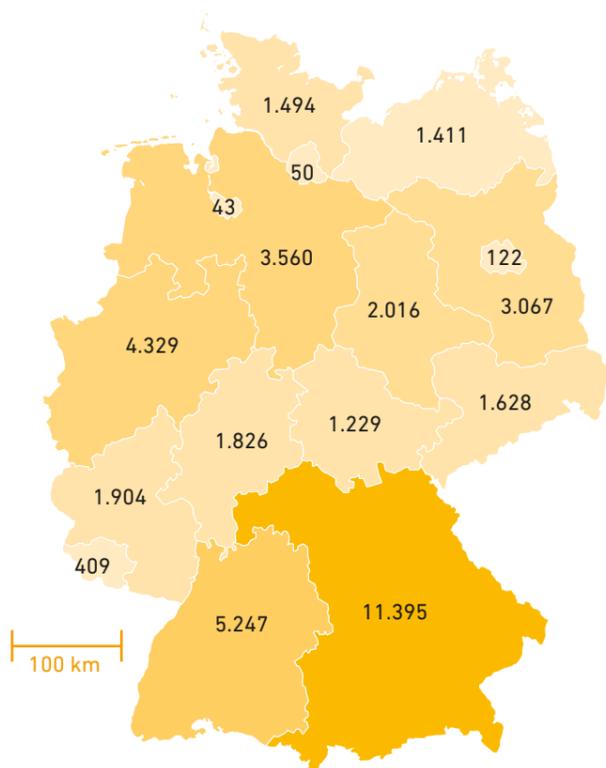


ES GIBT NOCH VIEL POTENZIAL FÜR PHOTOVOLTAIK AUF PRIVATEN DÄCHERN

Rund 39.700 MW Photovoltaik-Leistung gab es 2015 in Deutschland, mehr als ein Viertel davon sind in Bayern installiert. Viele Haushalte nutzen die Chance, Strom auf dem eigenen Dach zu produzieren. Schon 7 m² Dachfläche

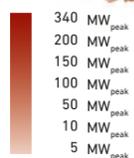
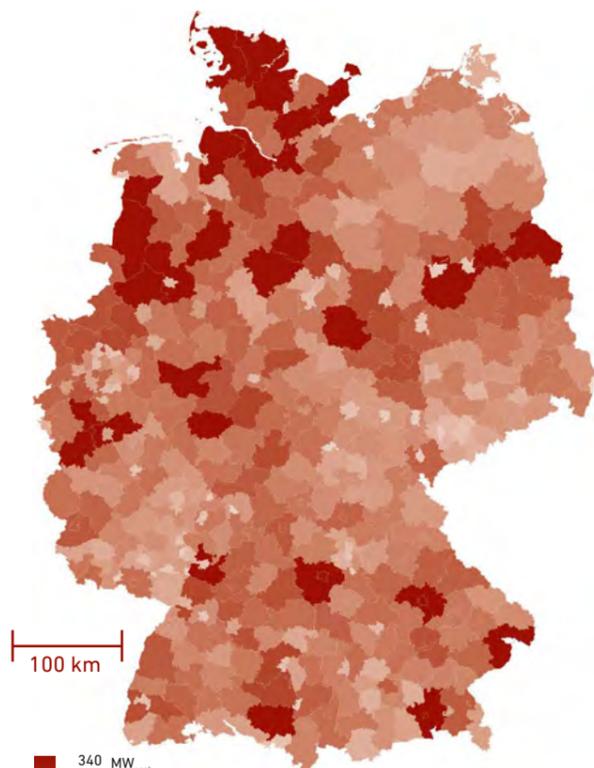
reichen aus, um ca. ein Viertel des Stromverbrauchs eines Durchschnittshaushaltes zu decken. Auf den Dachflächen von Ein- und Zweifamilienhäusern in Deutschland gibt es noch viel Potenzial zur Stromerzeugung zu erschließen.

INSTALLIERTE LEISTUNG PHOTOVOLTAIK 2015 JE BUNDESLAND IN MW_{PEAK}



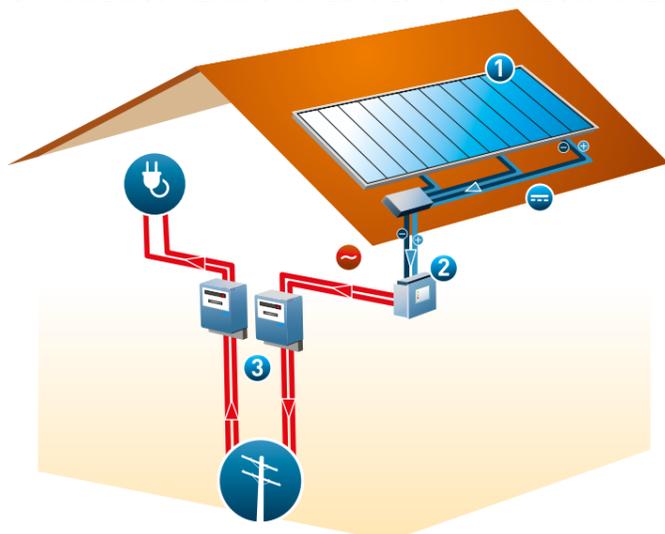
Quelle: BNetzA (2016)

POTENZIAL FÜR DACHFLÄCHEN-PHOTOVOLTAIK JE LANDKREIS IN MW_{PEAK}



Quelle: BSW-Solar, EuPD Research (2009)

SO WIRD DIE SONNENEINSTRALUNG ZUR STROMERZEUGUNG GENUTZT:



- 1 Die Solarzellen erzeugen aus der Energie der Sonnenstrahlen Gleichstrom.
- 2 Der Wechselstromrichter wandelt den Gleichstrom in Wechselstrom um, damit er ins Stromnetz eingespeist werden kann.
- 3 Die Stromzähler messen, wie viel Strom eingespeist und wie viel Strom wieder aus dem Netz bezogen wird.



BEISPIEL OSNABRÜCK: DURCH SOLARENERGIE KÖNNEN OSNABRÜCKS DÄCHER MEHR ALS 100 PROZENT DES STROMBEDARFS ALLER HAUSHALTE DECKEN

Als erste Stadt Europas hat Osnabrück 2008 ein Solardachpotenzialkataster erstellt. Mit diesem Online-Tool können sich die Einwohner über die mögliche Solarernte ihres Hausdachs informieren. Dieses Informationsinstrument erleichtert dem Bürger die Investitionsentscheidung und unterstützt das Voranschreiten der Energiewende vor Ort. Die Stadt gab eine so genannte Laserbefliegung in Auftrag, mit der die Eignung der Osnabrücker Dächer für Solarenergie überprüft werden konnte. Dabei sind Spezialflugzeuge im Einsatz, an deren Rumpf ein Sensor angebracht ist. Dieser Sensor scannt das gesamte Gelände hochauflösend ab. Bei fast 70.000 Gebäuden konnte die Dachform, -neigung, -ausrichtung und -verschattung ermittelt und somit das Solarenergiepotenzial aller Dächer erfasst werden. Inzwischen folgten mehr als 400 Städte und Kommunen dem Beispiel Osnabrücks.

So wurde gerechnet:

- Erfasste Gebäude: 69.759 von 73.430 Gebäuden
- Gut und sehr gut geeignete Gebäude: 27.500
- Bei der Berechnung wurde von einem Modulwirkungsgrad von 15 Prozent ausgegangen, wie ihn gute mono- und polykristalline Solarzellen aus Silizium zum Zeitpunkt der Laserbefliegung erreichten.
- 1 kWp Nennleistung erzeugt in Osnabrück pro Jahr 650- 900 kWh Strom. Dafür ist eine PV-Anlage mit einer Modulfläche von 6,7 m² notwendig.

Der Ertrag ist abhängig von Neigung, Ausrichtung und Verschattung des Moduls. Die höchsten Erträge werden bei genauer Südausrichtung und 35 Grad Dachneigung erzielt.

37 % der Dachflächen Osnabrücks sind sehr gut oder gut für die Nutzung der Solarenergie geeignet.



Wären alle sehr gut und gut geeigneten Dächer im Stadtgebiet mit Photovoltaikanlagen belegt, könnte mehr Strom produziert werden, als alle Privathaushalte zusammen verbrauchen.

Stromverbrauch der Privathaushalte in 2015	232 Mio. kWh
Stromproduktion von allen sehr gut und gut geeigneten Dachflächen (37 %)	249 Mio. kWh



Maschstr. 20
 max. installierbare Modulfläche: 13 m²
 Stromertrag: 1.314 kWh/a
bedingt geeignet

Augustenburger Str. 32
 max. installierbare Modulfläche: 13 m²
 Stromertrag: 1.681 kWh/a
sehr gut geeignet

Quelle: SUN-AREA (2008)

Solarthermische Anlagen wandeln mit Hilfe von Kollektoren die Sonnenenergie in Wärmeenergie um. In Deutschland wird die Solarwärme überwiegend zur Erwärmung von Wasser zum Waschen und Duschen oder zur Raumheizung genutzt.

Es ist jedoch auch möglich, mit Solarwärme zu kühlen. Die Nutzung von solarthermisch angetriebenen Kältemaschinen ist eine zukunftsweisende Möglichkeit, um den Strombedarf für die Klimatisierung zu reduzieren. Der große Vorteil bei der Technik ist die zeitliche Übereinstimmung von Kühlbedarf und Sonneneinstrahlung. Denn je sonniger es ist, desto höher ist auch der Kühlbedarf. So bietet es sich an, die gleiche Anlage im Sommer zur Kühlung und im Winter als Heizung einzusetzen.

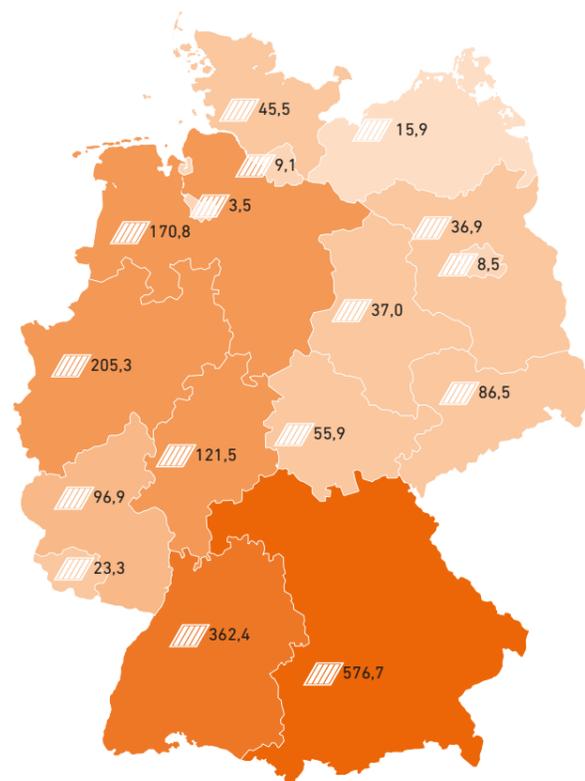
Bisher wird jedoch nur ein Bruchteil der Gebäudeflächen, die für die Nutzung der Solarenergie geeignet sind, genutzt.

Gebäudeflächenpotenzial
234.400 ha

2015 mit
Solarkollektoren belegt:
1.800 ha

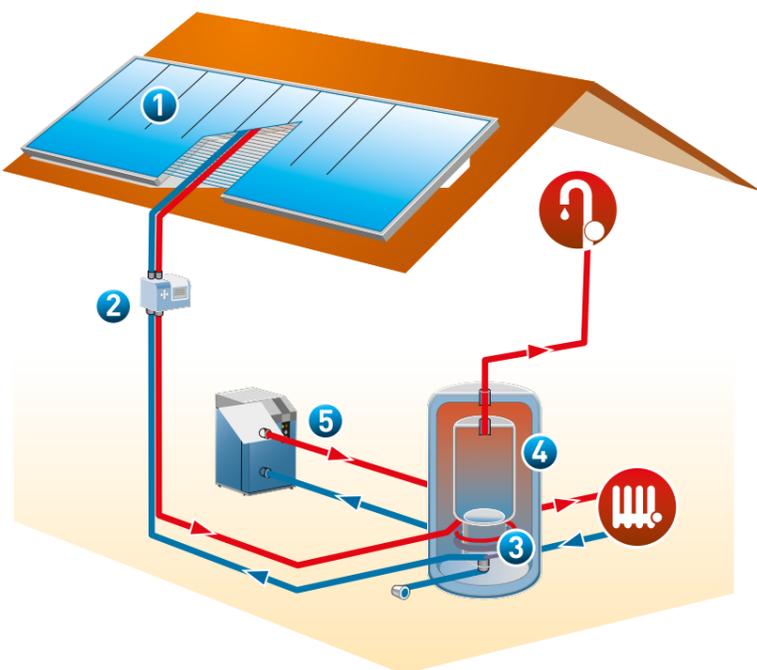


SOLARKOLLEKTORENFLÄCHE NACH BUNDESLÄNDERN 2015
IN HEKTAR



Quelle: BMWi 2016, BAFA 2016

SO FUNKTIONIERT SOLARTHERMIE:



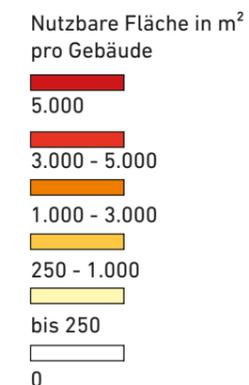
- 1 Sonnenstrahlen erwärmen die Wärmeträgerflüssigkeit im Kollektor.
- 2 Ist die Temperatur der Flüssigkeit höher als die Temperatur im Speicher, startet der Solarregler die Zirkulation.
- 3 Der Wärmetauscher gibt Solarwärme an das Wasser im Pufferspeicher ab.
- 4 Der Pufferspeicher stellt die Wärme auch nachts und an kalten Tagen zur Verfügung.
- 5 Reicht die Kollektorwärme nicht aus, wird eine Zusatzheizung (z.B. Holzpellettheizung) aktiviert.



BEISPIEL BERLIN:
SOLARTHERMISCHES POTENZIAL IN DER BUNDESHAUPTSTADT

Berlins Dächer sind voller Energie. Vor allem für Solarthermieanlagen besteht ein großes Potenzial. Bisher wurden seit 2001 nur 24,5 Hektar Solarkollektoren in der Bundeshauptstadt installiert. Zwar ist die Tendenz steigend – fast ein Viertel der Anlagen wurden 2008 errichtet – jedoch ist das Dachflächenpotenzial bei Weitem noch nicht ausgeschöpft. Dies zeigt das Pilotprojekt „Solaratlas Berlin“. Das öffentlich zugängliche Internetportal informiert den Nutzer nicht nur über die mögliche Stromerzeugung, CO₂-Einsparung und Investitionskosten einer Photovoltaikanlage,

sondern auch über das Solarthermiepotenzial in den ausgewählten Pilotregionen. Eine davon ist das Projektgebiet „Friedrichstraße“, das auf einem Gebiet von 1.000 Hektar über 5.837 Gebäude verfügt. Für die Nutzung der Solarthermie eignen sich 3.926 Gebäude mit einer Dachflächengröße von 71 Hektar. Schon 10 m² Solarkollektoren erzeugen ca. 4.500 kWh Wärme pro Jahr. Das entspricht ca. einem Fünftel des jährlichen Wärmebedarfs eines Durchschnittshaushaltes.



Quelle: Berlin Partner GmbH (2009)

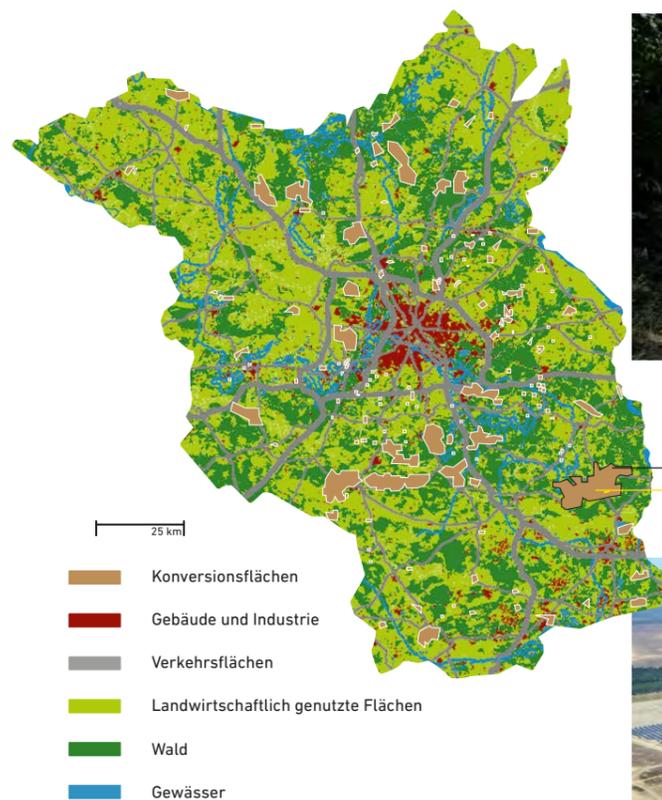
BUNDESPRESSEAMT

Die Solarthermieanlage auf dem Dach des Presse- und Informationsamtes der Bundesregierung (kurz: Bundespresseamt) hat eine Fläche von 348 m² und ist mit Vakuumröhren bestückt. Die Solarwärme wird im Sommer genutzt, um zwei Absorptionskältemaschinen zu betreiben, die das Gebäude teilweise kühlen. Im Winter wird die Wärme zur Heizungsunterstützung benötigt.





BEISPIEL LIEBEROSE : PHOTOVOLTAIK NUTZT AUFGEGEBENE MILITÄRFLÄCHEN



Konversionsfläche Lieberose
ehemaliges Chemielager und -städtchen,
heute Standort des Solarparks Lieberose



KONVERSIONSFLÄCHEN

In Deutschland gibt es rund 350.000 Hektar ehemaliger Militärflächen bzw. Militärflächen, die in Kürze aus der Nutzung gehen. Zwar ist nur ein Teil dieser Flächen für Photovoltaik nutzbar, denn oft handelt es sich bei Konversionsflächen um Naturschutzgebiete. Dahinter verbirgt sich jedoch trotzdem ein hohes Flächenpotenzial für Freiflächenanlagen. Dies zeigt das Praxisbeispiel aus Brandenburg:

Mit einer Fläche von 27.000 Hektar war der Truppenübungsplatz Lieberose der größte in der ehemaligen DDR. Nach dem Abzug der Sowjetarmee im Jahr 1992 ging er in den Besitz des Bundeslandes Brandenburg über – mit allen Altlasten. Neben scharfer Munition auf einer Fläche von rund 400 Hektar sorgten vor allem Chemikalien für Gefahr und verunreinigten den Boden sowie das Grundwasser. Heute wird das Gelände zur umweltfreundlichen Stromerzeugung genutzt.

SOLARPARK LIEBEROSE

Der Solarpark Lieberose produziert nicht nur saubere Energie, sondern sorgt auch dafür, dass gefährliche Munition von dem ehemaligen Truppenübungsplatz entfernt wird. Die dafür notwendigen fünf Millionen Euro konnten durch eine Einmalzahlung der Investoren des Solarkraftwerks und durch die Pachteinahmen für das Gelände finanziert werden. Lieberose ist damit ein Paradebeispiel für die gelungene Verbindung von Hightech und aktivem Naturschutz.

Inbetriebnahme:	2009
Grundfläche:	162 ha (über 210 Fußballfelder)
Modulfläche:	ca. 50 ha ca. 700.000 Dünnschicht-Module
Leistung:	ca. 53 MW
Ertrag pro Jahr:	rund 53 Mio. kWh (entspricht dem Jahresbedarf von rund 15.000 Haushalten)



BEISPIEL SENFTENBERG: DEUTSCHLANDS GRÖSSTE SOLARTHERMIE-ANLAGE

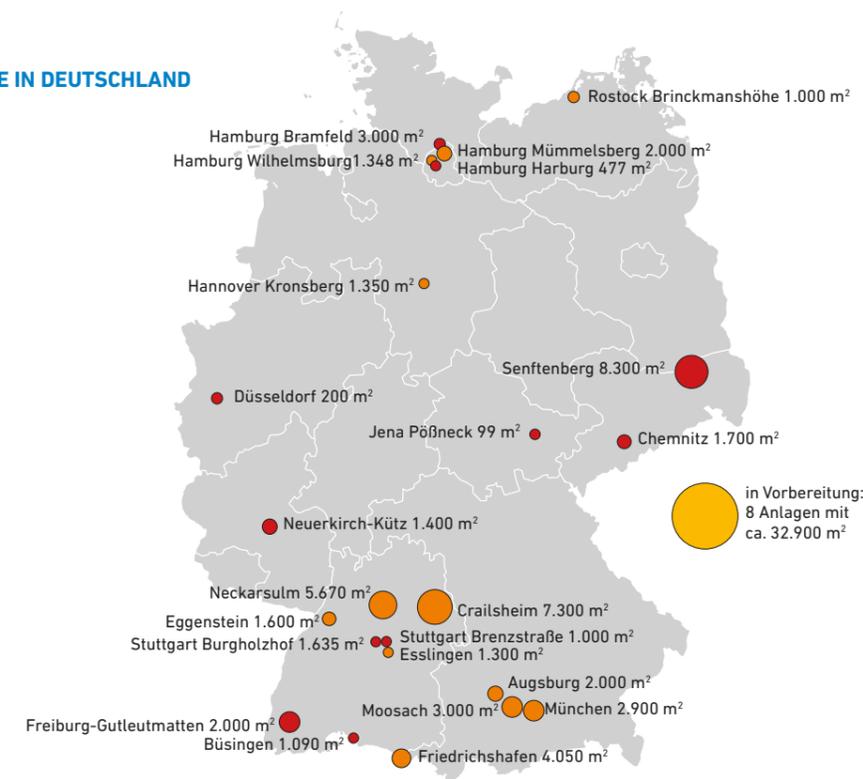
In der 25.000-Einwohner-Stadt Senftenberg ging im September 2016 die größte thermische Solaranlage Deutschlands in Betrieb. Die Anlage wurde von den Stadtwerken Senftenberg auf einer Fläche von ca. 2,2 Hektar errichtet und soll rund vier Millionen Kilowattstunden Wärme pro Jahr produzieren. Sie besteht aus 1.680 Röhrenkollektoren, die während der durchschnittlich 1.700 Sonnenstunden im Jahr Wärme erzeugen. In den Sommermonaten wird die Grundlast nahezu komplett abgedeckt. Der darüber hinaus gehende Bedarf wird durch Erdgaskessel erzeugt. Gemeinsam ersetzen die Anlagen den früheren Braunkohlestaubkessel und versorgen mehr als 10.000 Einwohner mit Wärme.

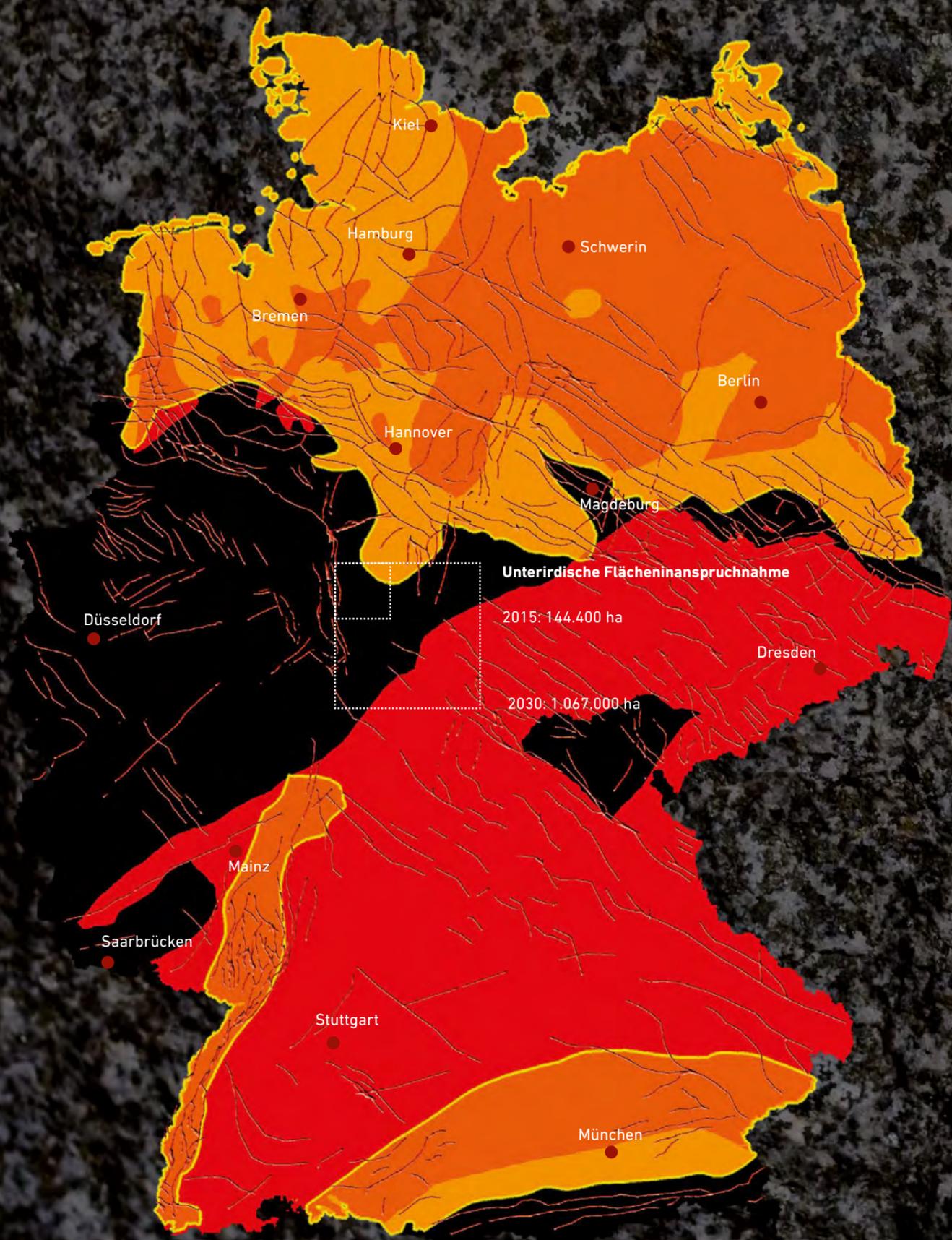
Durch die geschickte Planung der Anlage sind keine weiteren Speicher vonnöten. Bemerkenswert ist auch die kurze Bauzeit von nur einem halben Jahr. Den Verantwortlichen kam es bei der Planung der Solarthermeanlage zugute, dass mit der rekultivierten ehemaligen Deponie Laugkfeld eine ausreichend große Fläche mit optimaler Möglichkeit zur Anbindung an das Fernwärmenetz zur Verfügung stand, auf der das „Sonnenkraftwerk“ errichtet werden konnte. Gefördert wird das Projekt mit einem Investitionszuschuss aus dem Programm „Erneuerbare Energien Premium“ der KfW.



SOLARE FERNWÄRME-Projekte IN DEUTSCHLAND

- in Betrieb:
ca. 49.450 m²
- in Planung/Realisierung:
ca. 5.000 m²
- in Vorbereitung:
ca. 32.900 m²





- Hydrothermale Geothermie
- Petrothermale Geothermie
- Hydrothermale und petrothermale Geothermie
- Tiefenstörungen (Hydrothermale Geothermie)

ENERGIE AUS DER TIEFE GEOTHERMIE

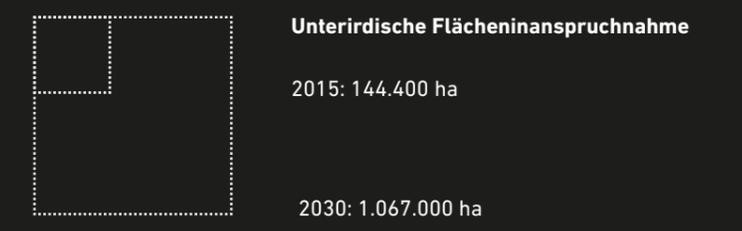
Die Geothermie ist nach menschlichem Ermessen eine unerschöpfliche Energiereserve. Sie ist die erneuerbare Energiequelle, die grundsätzlich an fast jedem Standort genutzt werden kann. Auch in Deutschland gibt es ein beachtliches geothermisches Potenzial, welches den Energiegehalt aller konventionellen Energieträger um ein Vielfaches übersteigt.

Bei der oberflächennahen Geothermie wird die Erdwärme aus Tiefen bis 400 Metern mit Hilfe von Wärmepumpen zur Wärmeversorgung eingesetzt. Die Tiefengeothermie (> 400 m) wird sowohl zur Wärme- als auch zur Stromerzeugung genutzt. Wirtschaftlich interessant für die geothermische Stromerzeugung sind insbesondere die Bereiche in Deutschland, deren geologische Formationen Schichten mit heißem Wasserangebot führen. Sie finden sich vor allem in den oberrheinischen und norddeutschen Tiefebene sowie im süddeutschen Molassegebiet. Neben dieser so genannten hydrothermalen Geothermie gibt es die petrothermale Geothermie. Mit diesem Verfahren kann Strom und Wärme auch dort erzeugt werden, wo es kein heißes Wasser im Untergrund gibt. Um dennoch die hohe Temperatur des trockenen Gesteins nutzen zu können, wird dabei Wasser in das Gestein gepresst.

Anteil an der Energieversorgung 2015 und 2030



Flächenbedarf 2015 und 2030



100 km

Kartengrundlage: TAB (2003)

Quelle: BMWi, Nitsch (2016) (Szenario Klima 2050), eigene Berechnungen

28

GEOTHERMIE POTENZIAL

POTENZIALE DER GEOLOGISCHEN FORMATIONEN

Oberflächennahe Geothermie

Die oberflächennahe Geothermie nutzt die Energie, die in Erdschichten bis 400 Meter Tiefe oder im Grundwasser gespeichert ist. Die hier herrschenden Temperaturen von 8 bis 12 °C lassen sich mit Hilfe von Wärmepumpen, Erdwärmekollektoren oder Erdwärmesonden zur Bereitstellung von Raumheizung und Warmwasser nutzen. Zunehmend werden Wärmepumpen auch zur Kühlung von Gebäuden verwendet und die überschüssige Wärme in der Erde für den Winter gespeichert.

Oberflächennahe Geothermie

mit Wärmepumpen für Wärmege-
winnung
geeignet

Tiefengeothermie

Als Tiefengeothermie bezeichnet man die Nutzung der Erdwärme in Tiefen zwischen 400 und 6.000 Metern. Die Temperaturen sind im Vergleich zur oberflächennahen Geothermie weitaus höher. Neben der Wärmeversorgung ist die Tiefengeothermie deshalb auch für die Stromerzeugung nutzbar. Ab einer Temperatur von etwa 90 °C ist eine wirtschaftliche Stromerzeugung möglich.

Hydrothermale Geothermie

geeignet für Strom-
und Wärmege-
winnung
vorrangig geeignet
für Wärme-
gewinnung

Quelle: TAB (2003)

Während die **hydrothermale Geothermie** heißes Thermalwasser zur Strom- und Wärmege-
winnung nutzt, sitzt die **petrothermale Geothermie** „auf dem Trocken“. Aus diesem Grund wird unter hohem Druck Wasser in das trockene Gestein in ca. 2.000 bis 6.000 m Tiefe gepresst. Hierdurch entstehen Risse mit einer Breite von weniger als einem Millimeter. Diese werden als Transportweg genutzt, um kalte Flüssigkeiten mit Hilfe der natürlichen Wärme des heißen Gesteins zu erhitzen. Die hohen Temperaturen können dann zur Strom- und Wärmege-
winnung genutzt werden.

Petrothermale Geothermie

geeignet für
Strom- und
Wärme-
gewinnung

Quelle: TAB (2003)

Tiefenstörungen sind natürliche Risse im Erdreich. Diese Bruchzonen haben ein höheres Leitvermögen von Flüssigkeiten als das benachbarte Gestein. Aufsteigendes Thermalwasser konzentriert sich deshalb auf diese Bruchzonen, so dass Wärme in geringere Tiefen transportiert wird. Dies macht Tiefenstörungen für eine geothermische Nutzung interessant. Störungszonen werden bisher in Deutschland noch nicht für die Erdwärmegewinnung genutzt.

Tiefenstörungen (Hydrothermale Geothermie)

geeignet für
Strom- und
Wärme-
gewinnung

Quelle: BGR

Geothermische Ressourcen für die Stromerzeugung
Selbst das Potenzial der kleinsten Ressource (hydrothermale Geothermie) entspricht noch ungefähr dem Fünffachen des deutschen Jahresstrombedarfs.

Quelle: TAB (2003)

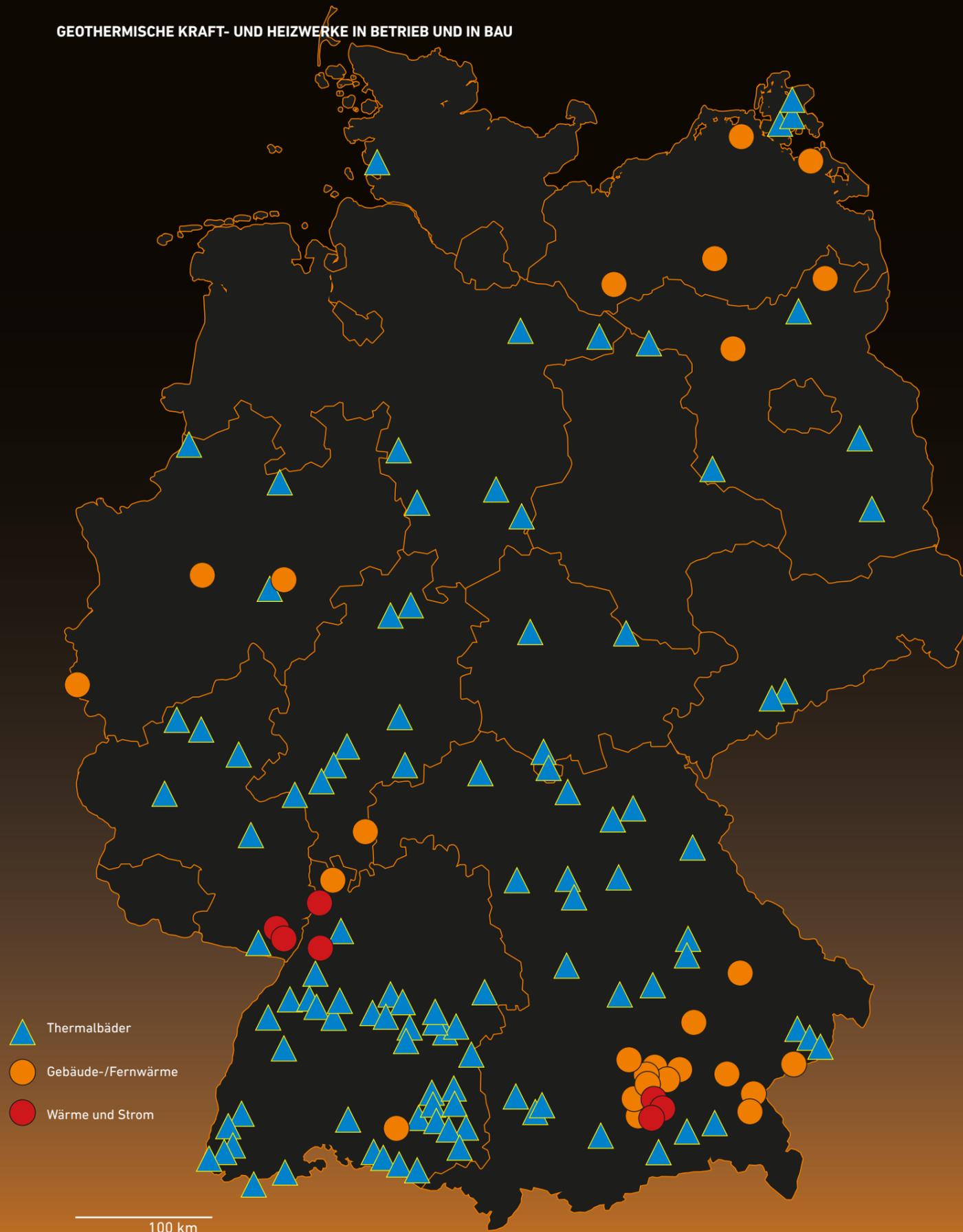
NUTZUNGSTIEFEN GEOTHERMIE 29

Erdwärmesonde (mit Wärmepumpe) Erdwärmesonde (ohne Wärmepumpe) Hydrothermale Geothermie Petrothermale Geothermie Hydrothermale Geothermie

Je tiefer man in das Innere der Erde vordringt, desto wärmer wird es. In Deutschland nimmt die Temperatur im Mittel um etwa 30 °C pro Kilometer zu. Das heißt, dass in 1.000 m Tiefe 40 °C, in 2.000 m Tiefe 70 °C und in 3.000 m Tiefe 100 °C erreicht werden. Diese Werte schwanken regional jedoch oft stark. Abweichungen vom Standard werden als Wärmeanomalien bezeichnet. Energetisch interessant sind besonders Gebiete mit deutlich höheren Temperaturen. Hier steigt das Thermometer schon in geringer Tiefe auf mehrere hundert Grad Celsius.

Nicht nur die Temperatur ist für die geothermische Nutzung relevant, sondern auch die geologischen Bedingungen. Je nach Bodenbeschaffenheit werden verschiedene technische Verfahren zur Strom- und Wärmege-
winnung genutzt.

GEOTHERMISCHE KRAFT- UND HEIZWERKE IN BETRIEB UND IN BAU



- ▲ Thermalbäder
- Gebäude-/Fernwärme
- Wärme und Strom

Quelle: GeotIS (2016)

In Deutschland wird in rund 230 größeren geothermischen Anlagen Wärme und teilweise Strom produziert. Die Leistung dieser Anlagen erreicht insgesamt rund 4.200 MW. Vor allem Thermalbäder und Gebäudekomplexe werden mit Tiefengeothermie beheizt. 21 geothermische Heizkraftwerke speisen Wärme in ein Nahwärmenetz ein und 10 geothermische Kraftwerke produzieren Strom. Weitere 11 Anlagen befinden sich derzeit im Bau. Ende 2016 sind nach Zahlen des Bundesverband Geothermie 30 Anlagen zur Tiefengeothermie in Planung.

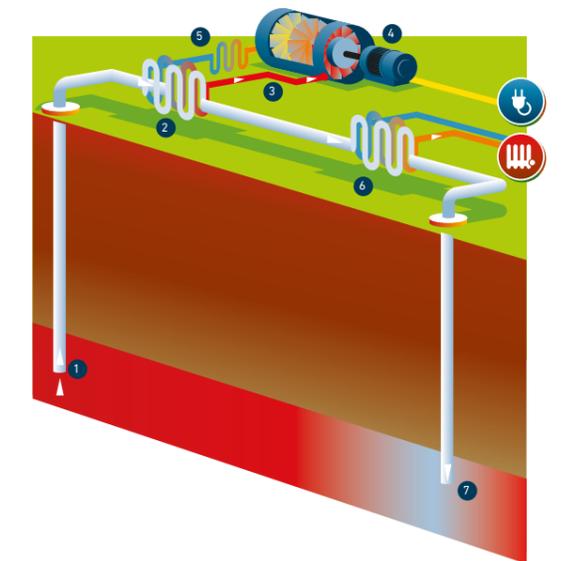
BEISPIEL UNTERHACHING: WÄRME UND STROM AUS DEM GEOTHERMIEKRAFTWERK



Inbetriebnahme	2008
Erschließungskonzept	Hydrothermal
Stromerzeugungsverfahren	Kalina Cycle
Tiefe der Bohrung	ca. 3.400 m
Fördertemperatur des Thermalwassers	122 °C
Abstand der Bohrungen ober Tage	3.500 m
Abstand der Bohrungen unter Tage	4.500 m
Elektrische Leistung	3,4 MW _{el}
Thermische Leistung	38 MW _{th}



SO FUNKTIONIERT DIE HYDROTHERMALE GEOTHERMIE:



Aus 2.000 bis 4.000 Meter Tiefe ① wird vorhandenes Thermalwasser mit einer Temperatur von 90 bis 150°C an die Oberfläche gepumpt.

In einem ersten Wärmetauscher ② gibt das Thermalwasser seine Wärme an einen schnell verdampfenden Wärmeträger ab ③. Der Dampf treibt über eine Turbine den Generator zur Stromerzeugung an ④, ehe er kondensiert und wieder abkühlt ⑤.

Das Thermalwasser ist danach noch immer heiß genug, um in einem zweiten Wärmetauscher Wärme an den Kreislauf eines Nahwärmenetzes abzugeben ⑥. Das abgekühlte Wasser wird wieder in die Tiefe gepumpt, wo es sich erneut erhitzt ⑦.

Mit einer thermischen Leistung von 38 MW gehört die Anlage in Unterhaching bei München zu den größten Geothermiekraftwerken in Deutschland.

MIT HILFE VON WÄRMEPUMPEN KANN DER GESAMTE WÄRMEBEDARF EINES HAUSES GEDECKT WERDEN

Die Funktionsweise der Wärmepumpe ist im Prinzip identisch mit der eines altbekannten Alltagsgerätes: dem Kühlschrank. Während der Kühlschrank allerdings seinem Innenraum die Wärme entzieht und nach draußen abgibt, entzieht die Wärmepumpe dem Außenbereich die Wärme und gibt sie als Heizenergie an das Haus ab. Die Funktion läuft also genau umgekehrt ab. Eine Wärmepumpe erzeugt aus rund 75 Prozent natürlich vorhandener Umweltwärme und 25 Prozent Antriebsenergie (d.h. Strom) die Wärme, die man zum Heizen und zur Warmwasserbereitung benötigt. Sie kann aber auch sehr effektiv zum Kühlen eingesetzt werden.

Durch Erdwärmepumpen kann der Wärmebedarf eines Haushalts besonders effizient gedeckt werden. Das Nutzungspotenzial der oberflächennahen Geothermie ist abhängig von

- der Gesteinswärmeleitfähigkeit und
- der spezifischen Entzugsleistung. Diese gibt an, wieviel Erdwärme dem Erdreich nachhaltig entzogen werden kann, ohne dass zu viel oder zu wenig Wärme entnommen würde, um den jeweiligen Wärmebedarf zu decken.



Auch Umgebungsluft kann als Wärmequelle für eine Wärmepumpe dienen, die im Garten Platz findet.

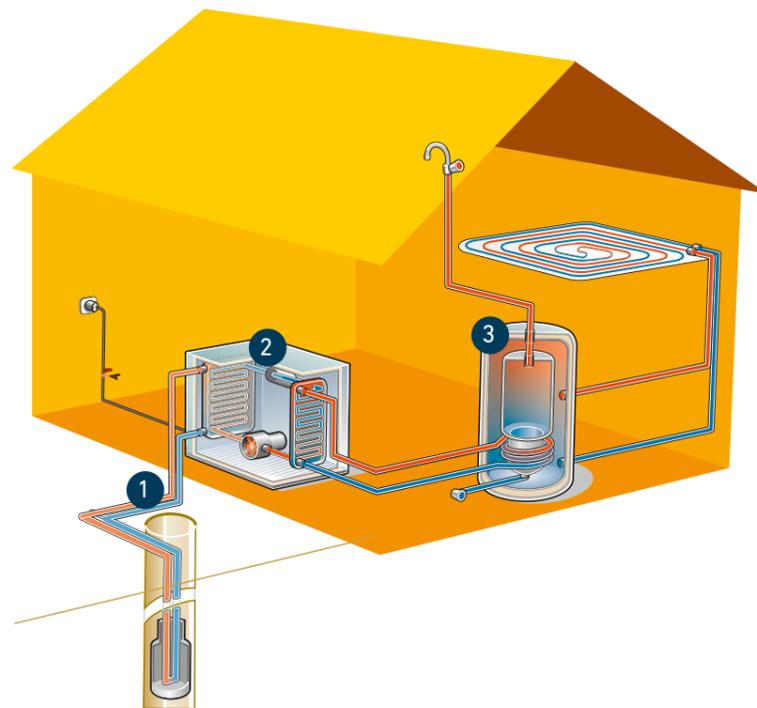
SO FUNKTIONIERT OBERFLÄCHENNAHE GEOTHERMIE:

In einer Erdsonde ① in ca. 10 Meter Tiefe erwärmt sich eine Flüssigkeit (z.B. Wasser) auf rund 10 °C.

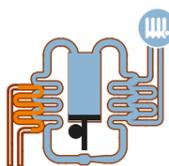
Die Erdwärmepumpe ② überträgt die Erdwärme aus der Erdsonde auf einen Wärmeträger. Dieser wird durch Druckerhöhung erhitzt – die Erdwärmepumpe funktioniert also wie ein umgekehrter Kühlschrank. Für eine Heizleistung von 3 – 5 Kilowattstunden Wärme benötigt sie ca. 1 Kilowattstunde Strom.

Der Pufferspeicher ③ sammelt die Erdwärme, um sie zum Heizen und zur Warmwasserbereitung nutzen zu können.

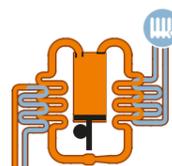
Eine Erdwärmepumpe kann den Wärmebedarf eines Gebäudes zu 100 Prozent decken.



PRINZIP DER ERDWÄRMEPUMPE



Die Erde erwärmt die Flüssigkeit in der Sonde auf 10 °C.



Der Wärmeträger der Erdwärmepumpe nimmt diese Wärme auf und verdampft schnell.

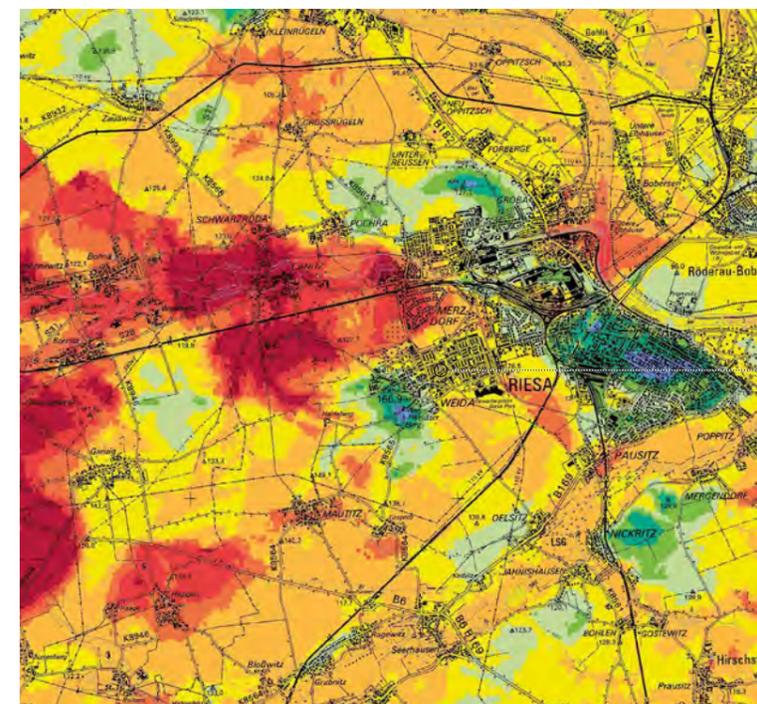


Der elektrische Kompressor der Erdwärmepumpe verdichtet den Dampf. Dadurch steigt dessen Temperatur. Die Wärme kann dann zum Heizen und für die Warmwasserbereitung genutzt werden.



BEISPIEL RIESA: ERDWÄRME DECKT DEN WÄRMEBEDARF EINES EINFAMILIENHAUSES

SO VIEL WÄRME STECKT IN 40 M TIEFE



2 km

Quelle: LfULG (2009)

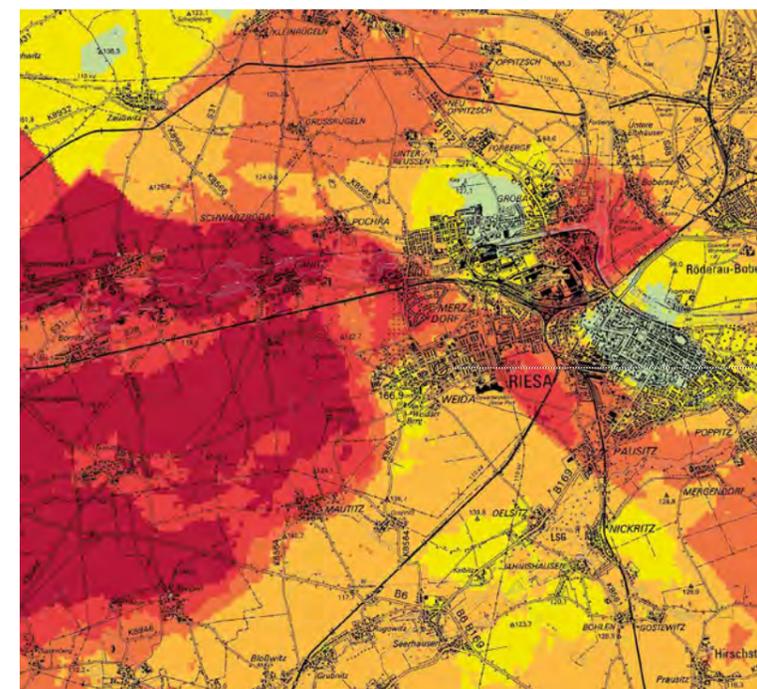
Der Wärmebedarf eines durchschnittlichen Einfamilienhauses kann durch eine Erdwärmepumpe mit einer Leistung von rund 12 kW gedeckt werden.

Erdwärme am Standort in bis zu 40 m Tiefe

50,1 – 52,5 W/m Entzugsleistung x 40 m
= 2.004 bis 2.100 W
= 2,0 bis 2,1 kW

Die benötigte Heizleistung von 12 kW kann beispielsweise durch sechs Erdsondenbohrungen à 40 m Tiefe erreicht werden (6 x 2,0 kW = 12 kW). In den meisten Fällen ist es sinnvoll, statt vieler kleiner Bohrungen nur eine oder zwei tiefe Erdsonden anzulegen, um eine stetige, gleichmäßige Wärmequelle zu erschließen.

SO VIEL WÄRME STECKT IN 100 – 130 M TIEFE



2 km

Quelle: LfULG (2009)

Entzugsleistung in Watt pro Meter bei 1.800 Jahresbetriebsstunden

unter 40
40,1-42,5
42,6-45
45,1-47,5
47,6-50
50,1-52,5
52,6-55
55,1-57,5
57,5-60
über 60,1

Erdwärme am selben Standort in 100-130 m Tiefe

52,6 – 55 W/m Entzugsleistung x 130 m
= 6.838 bis 7.150 W
= 6,8 bis 7,1 kW

Somit kann mit zwei 130 m tiefen Sonden eine Heizleistung von 13,6 kW bereitgestellt werden (2 x 6,8 kW = 13,6 kW). Da im Durchschnitt aber nur eine Heizleistung von 12 kW benötigt wird, würde es ausreichen, zwei Sonden à 115 m Tiefe zu installieren (52,6 W/m x 115 m = 6,05 kW; 2 x 6,05 kW = 12,1 kW).

VIEL ERTRAG VON WENIG FLÄCHE BIOENERGIE



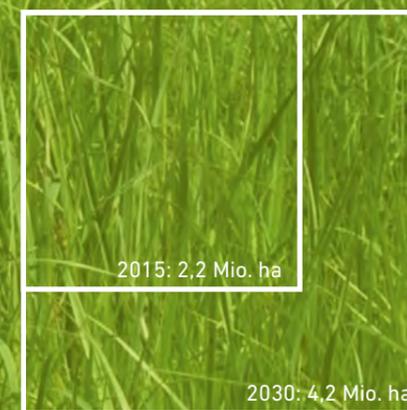
Für die effiziente Nutzung der Bioenergie steht viel Fläche bereit. Langfristig verfügt Deutschland über ein Areal von rund 4 Millionen Hektar zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen. Das entspricht gut einem Fünftel der heute landwirtschaftlich genutzten Flächen. Im Jahr 2015 wuchsen Energiepflanzen bundesweit auf 2,2 Millionen Hektar. Klassische Kulturen wie der Mais erhalten zunehmend Gesellschaft von neuen Energiepflanzen wie Hirse oder Silphie.

Diese Fläche für den Anbau von Energiepflanzen liefert jedoch nur einen Teil des Potenzials der Bioenergie. Bioenergie nutzt für die Strom-, Wärme- und Kraftstoffproduktion auch Reststoffe (z.B. Gülle, Restholz, Bioabfall), die in der Land- und Forstwirtschaft ohnehin anfallen.

Anteil an der Energieversorgung 2015 und 2030



Flächenkulisse 2015 und 2030



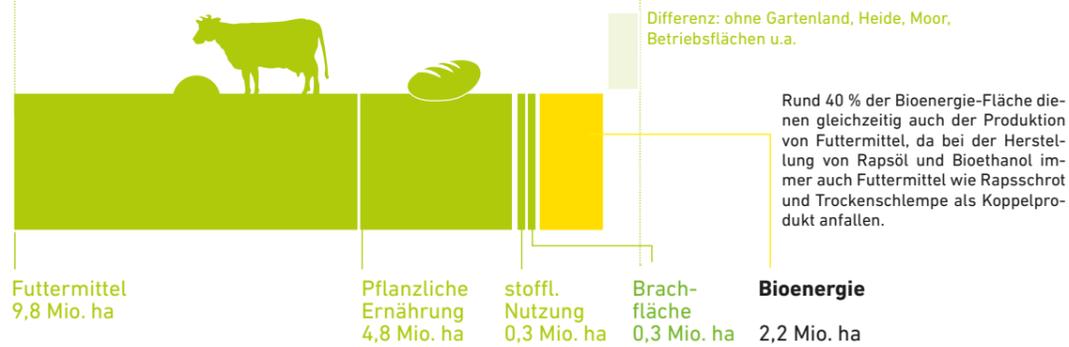
DIE DEUTSCHE LANDESFLÄCHE IST VOR ALLEM VON ACKERLAND, GRÜNLAND UND WALD BELEGT.



gesamte Landesfläche: 35,738 Mio. ha

Quelle: Statistisches Bundesamt, 2015

MEHR ALS DIE HÄLFTE DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN FLÄCHEN WIRD 2015 FÜR FUTTERMittel GENUTZT.



Landwirtschaftsflächen: 16,7 Mio. ha

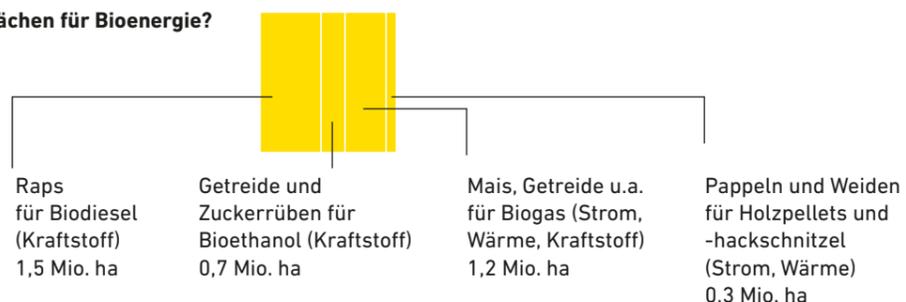
Quelle: Statistisches Bundesamt/FNR

DEN BODEN BEREITEN FÜR DIE ENERGIEWENDE

Die Landwirte in Deutschland nutzten 2015 rd. 2,2 Mio. ha für den Anbau von Energiepflanzen wie Raps, Mais und Gras. Mit nachwachsenden Rohstoffen stellten sie verlässlich Strom, Wärme und Kraftstoffe bereit. Sie sorgten damit für Treibhausgasinsparungen von mehr als 61 Millionen CO₂ äq. Für mehr Klimaschutz aus Feld und Flur kann künftig die Bioenergie moderat wachsen.



Was wächst 2030 wofür auf den Flächen für Bioenergie?



Quelle: AEE/BBFZ/AEE (Berechnungsbasis 2020)

WOFÜR SETZEN WIR DIE BIOENERGIE 2030 EIN?

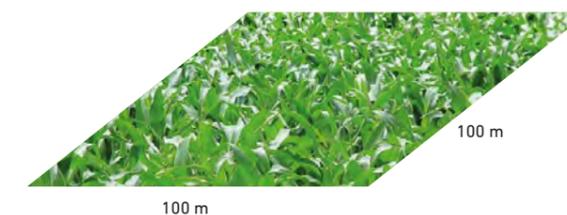


Quelle: DBFZ; DLR et al. (2012)

WOHER KOMMEN DIE ZUSÄTZLICHEN FLÄCHEN FÜR BIOENERGIE?

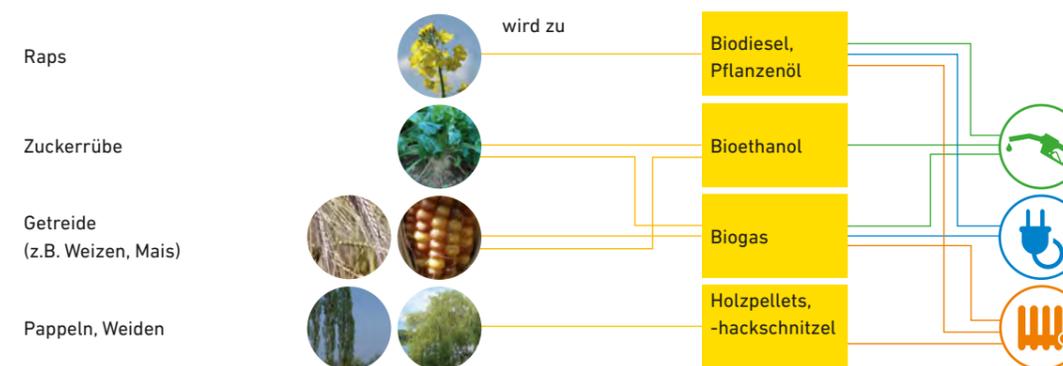
Durch den Bevölkerungsrückgang in Deutschland sinkt auch der Bedarf nach Futter- und Nahrungsmitteln sowie nach Siedlungsflächen. Gleichzeitig steigen die Ernteerträge weiterhin leicht an. So werden zusätzliche Flächen für den Anbau von Energiepflanzen frei, ohne dass die Selbstversorgung Deutschlands mit Nahrungsmitteln in Frage gestellt würde. Während im Inland die Bioenergie für mehr Klimaschutz in der Landwirtschaft sorgt, ist Deutschland weiterhin eine Größe im Agrarexport. So steuert Deutschland z.B. rund ein Fünftel zum EU-Weizenexport bei.

SO VIEL ENERGIE KOMMT VON EINEM HEKTAR:



1 ha Mais
= ca. 45 t Ernteertrag
= ca. 9.000 m³ Biogas
= 18.000 kWh_{el} = **Strom für 5 Haushalte**
+ 12.000 kWh_{th} = **Wärme für 0,6 Haushalte**

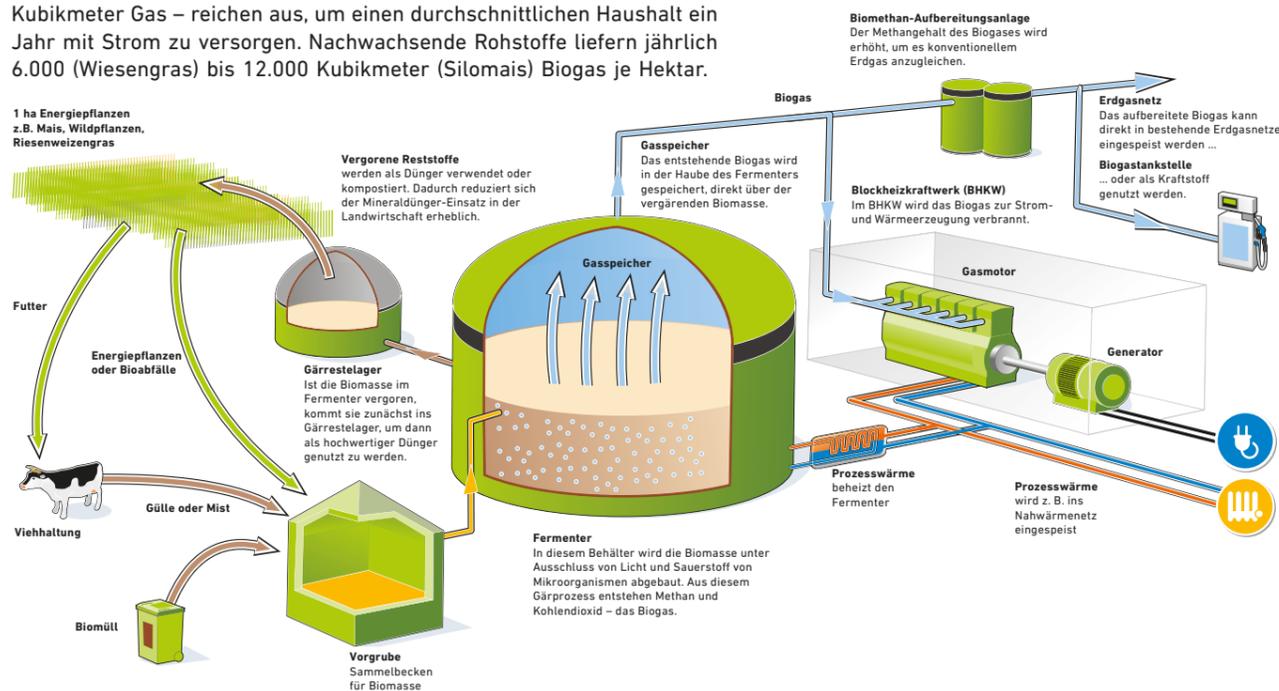
WELCHE ENERGIEPFLANZEN WERDEN WIE GENUTZT?



Quelle: AEE/BEE/DBFZ

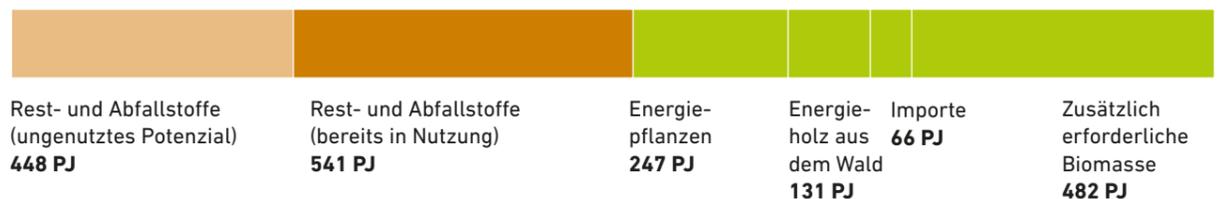
SO FUNKTIONIERT EINE BIOGASANLAGE

Für die Biogasproduktion eignen sich Gülle, feste Biomasse und biogene Abfälle. Die Exkremente von drei Kühen – sie entsprechen bis zu 4,5 Kubikmeter Gas – reichen aus, um einen durchschnittlichen Haushalt ein Jahr mit Strom zu versorgen. Nachwachsende Rohstoffe liefern jährlich 6.000 (Wiesengras) bis 12.000 Kubikmeter (Silomais) Biogas je Hektar.



WOHER DIE BIOENERGIE KOMMT: ENERGIEPFLANZEN UND RESTSTOFFE

Die für Bioenergie genutzte Menge Reststoffe würde heute einer Fläche von 2,6 Mio. Hektar entsprechen, wenn diese Biomasse eigens angebaut werden müsste. Es bestehen noch reichlich Möglichkeiten, um mehr Rest- und Abfallstoffe für die Energiewende zu nutzen. Will Deutschland seine Energie- und Klimaziele erreichen, muss es aber weitere Potenziale, so bei Energiepflanzen, mobilisieren.



WELCHE RESTSTOFFE WERDEN WIE GENUTZT?



WOHER KOMMEN DIE ZUSÄTZLICHEN RESTSTOFFE?

Potenzial für Stroh

Das Potenzial für die energetische Nutzung von Stroh liegt in mehreren Regionen Nordost- und Mitteldeutschlands bei über 1.000 kWh pro Person. Wird es in Biogasanlagen eingesetzt, ließe sich damit z.B. ein Drittel ihres jährlichen Stromverbrauchs abdecken.

Potenzial für Gülle

Das Potenzial für die energetische Nutzung von Gülle und anderen tierischen Exkrementen liegt in mehreren Regionen Norddeutschlands bei über 1.000 kWh pro Person. Werden diese in Biogasanlagen eingesetzt, ließe sich damit ein Drittel ihres jährlichen Stromverbrauchs abdecken.

Potenzial für Waldrestholz

Das Potenzial für die energetische Nutzung von Waldrestholz liegt in mehreren Regionen Nordost- und Süddeutschlands bei über 2.000 kWh pro Person. Wird es in Holzkraftwerken eingesetzt, ließen sich damit – neben Wärme – zwei Drittel ihres gesamten jährlichen Stromverbrauchs abdecken. Dabei ist das Potenzial von Altholz und Industrie- restholz noch nicht berücksichtigt.

Reststroh



Tierische Exkremente



Schwach- und Restholz



Quelle: BBSR

SO VIEL ENERGIE STECKT IN EINEM KUHSTALL.



30 Rinder
= ca. 540 t Rindergülle
= ca. 13.500 m³ Biogas

= 31.500 kWh_{el} = **Strom für 9 Haushalte**
+ 20.000 kWh_{th} = **Wärme für 1 Haushalt**

So viel Holz wächst jede Sekunde nach.



Im Jahr wachsen in Deutschland etwa 122 Kubikmeter Holz hinzu, das sind 4 Kubikmeter Holz pro Sekunde, was einem Würfel mit 1,6 m Kantenlänge gleichkommt.

HOLZENERGIE – AUSREICHENDER VORRAT FÜR VIEL WÄRME

Mit mehr als 70 Prozent hat Holz heute den mit Abstand größten Anteil an der erneuerbaren Wärme. Die effiziente, umweltfreundliche Nutzung der Holzenergie ist unerlässlich, um Treibhausgase und die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu reduzieren. Genormte Holzbrennstoffe wie Holzpellets für die Wärmeversorgung von Ein- und Mehrfamilienhäusern oder zunehmend für Nahwärmenetze sind mit Wirkungsgraden von über 90 Prozent äußerst effizient. Sie werden mittelfristig einen deutlich höheren Anteil an der regenerativen Wärme ausmachen.

Holz ist – wie Biomasse von Energiepflanzen – ein nachwachsender Rohstoff. Mit seinen Vorräten liegt Deutschland im europäischen Vergleich weit vorn. Innerhalb von zehn Jahren ist der Holzvorrat um 7 Prozent weiter angestiegen, wie die jüngste Bundeswaldinventur ergab. Die Forste bieten in vielen Regionen daher weiteres Potenzial für eine nachhaltige Nutzung.

Quelle: www.bundeswaldinventur.de



BEISPIEL NORDSTRAND: BIOENERGIE VON NACHBARN FÜR NACHBARN

In Nordstrand an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste ist Biogas die Energie der kurzen Wege. Die Macherinnen und Macher rund um die Nordstrander Inselenergie GmbH & Co. KG sorgen dafür, dass Strom und Wärme aus ihrer Biogasanlage den Einwohnern der Gemeinde zugutekommen. Nicht nur die Biomasse, sondern auch Know-how, Kapital und Beschäftigte stammen überwiegend aus der Gemeinde.

Die Biogasanlage produziert jährlich etwa anderthalb mal so viel Strom, wie die Nordstranderinnen und Nordstrander verbrauchen und versorgt schätzungsweise jeden zehnten Einwohner mit Wärme.



Werner-Peter Paulsen ist Bürgermeister von Nordstrand und Schafzüchter. Er liefert den Schafmist seiner Herde zur Biogasanlage auf dem Hofgelände von Karl-Volkert Meyer. Zusammen mit Mist und Gülle von benachbarten Milchbauern wird der Schafmist in den Fermentern vergoren, um Biogas zu gewinnen.



Karl-Volkert Meyer ist Landwirt. Er baut unter anderem Kartoffeln und Gerste an. Auf seinem Hof stehen die Fermenter der Biogasanlage. Damit Biogas entsteht, „füttert“ er die Fermenter mit einer Vielzahl von Reststoffen und selbst angebaute Energiepflanzen. Darunter sind Hafer und Bohnen, die im Boden Humus aufbauen, sowie Gräser, die seine Äcker vor Erosion schützen. Mit seinem Nachbarn Thorben Holsteiner hat er die Nordstrander Inselenergie GmbH & Co. KG initiiert.



Dennis Delfs ist Heizungsbauer bei der Maschinenringe Schleswig-Holstein Energie Pool. Er schließt die Nordstrander an das Wärmenetz der Biogasanlage an. Über die insgesamt mehr als 8 Kilometer langen Rohre des Wärmenetzes werden über 100 Wohnhäuser und andere Gebäude auf Nordstrand versorgt.



Dr. Jenny Matthiesen ist Mitarbeiterin der Genossenschaft Deutscher Grün-Energie Erzeuger eG (GDGE). Ihre Genossenschaft kauft den Strom auf, den die Nordstrander Inselenergie in ihren Blockheizkraftwerken erzeugt, um ihn bedarfsgerecht zu vermarkten. Bei einem Überangebot im Netz lässt sie die Stromerzeugung drosseln und das Biogas speichern. Bei steigender Nachfrage wird die Stromerzeugung schnell wieder gesteigert.



QUELLE FÜR SAUBERE ENERGIE WASSERKRAFT



Rund 6.400 Wasserkraftanlagen (WKA) erhalten ihre Stromerzeugung gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vergütet. Rund 6.000 WKA von ihnen haben eine installierte Leistung von unter einem Megawatt.

Ca. 170 WKA mit einer installierten Leistung von über einem Megawatt vermarkten ihre Stromerzeugung hingegen außerhalb des EEGs oder dienen der Eigenstromversorgung.

- Wasserkraftanlagen mit EEG-Vergütung (meist < 1 MW Leistung)
- Wasserkraftanlagen ohne EEG-Vergütung (meist > 1 MW Leistung)
- Pumpspeicherkraftwerke

Quelle: Ingenieurbüro Floecksmühle (2009), BKG (2007)

Die Wasserkraftnutzung ist technisch ausgereift und hat eine lange Tradition. Dennoch gibt es noch Ausbaupotenzial. Denn die Mehrzahl der Wasserkraftanlagen mit einer installierten Leistung von mehr als 1 MW wurde vor 1960 gebaut. Zuwachsmöglichkeiten bestehen deshalb vor allem in der Modernisierung von bestehenden Anlagen und der damit verbundenen Chance höhere Leistungen zu erzielen.

Potenzial steckt auch in der Reaktivierung von Anlagen, die im Zweiten Weltkrieg zerstört oder in den 1960er und 70er Jahren stillgelegt wurden. Diese können mit moderner Technik wieder in Betrieb genommen werden und bieten gleichzeitig die Möglichkeit, den Schutz von Natur und Gewässern zu erhöhen.

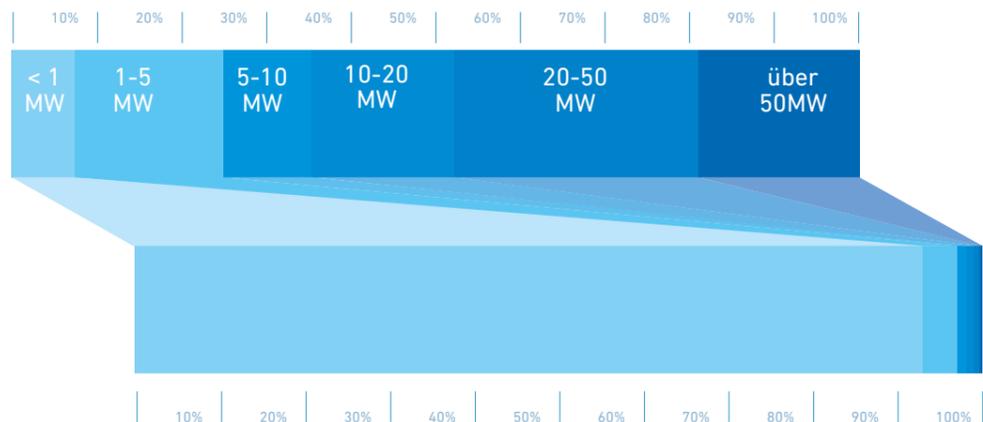
Das zusätzliche Ausbaupotenzial der Wasserkraft wird auf insgesamt rund 1.000 MW bzw. 3,0 Mrd. kWh/a geschätzt und ist somit relativ gering. Ein Großteil dieses Potenzials (rd. 80 %) kann durch den Aus- und Umbau bestehender Großanlagen (≥ 1 MW) erschlossen werden.

Anteil an der Energieversorgung 2015 und 2030



Quelle: BMWi, Nitsch (2016) (Szenario Klima 2050)

ANTEIL AN DER STROMERZEUGUNG AUS WASSERKRAFT JE LEISTUNGSKLASSE IN DEUTSCHLAND (%)



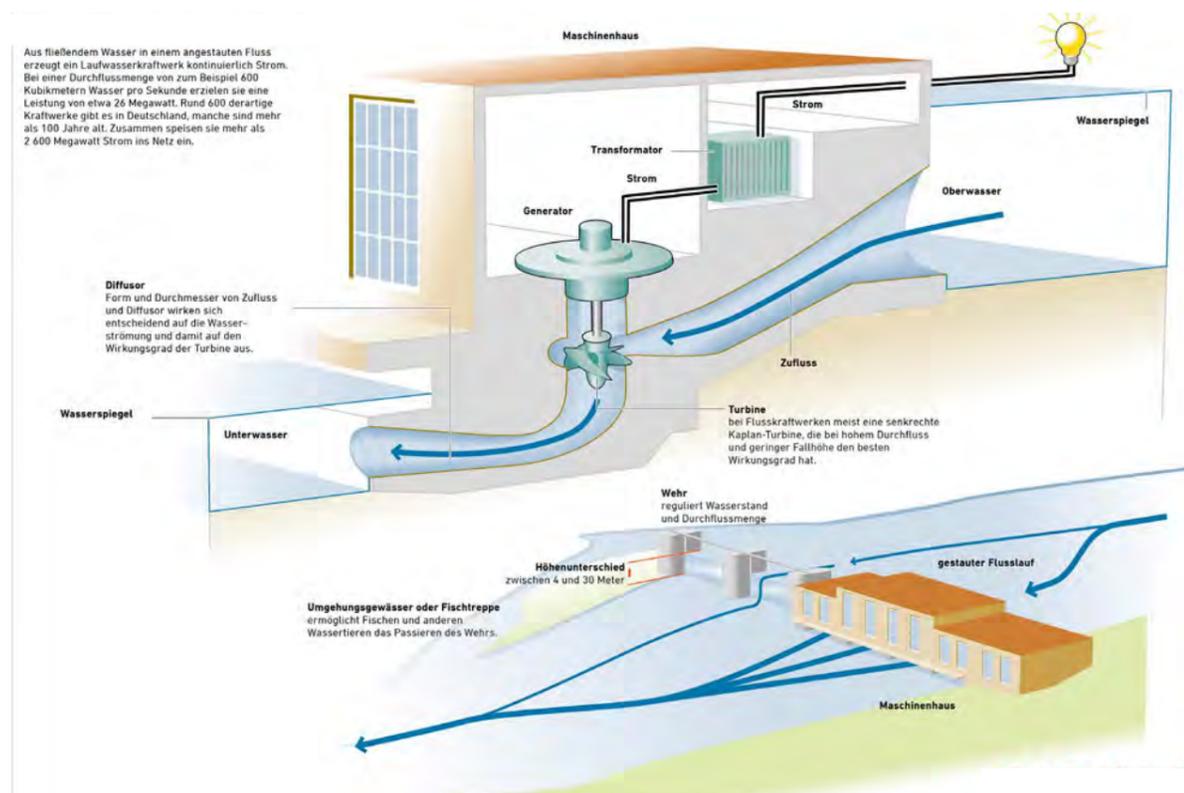
ANTEIL DER IN DEUTSCHLAND INSTALLIERTEN WASSERKRAFTANLAGEN JE LEISTUNGSKLASSE (%)

Quelle: Auswertung IBFM und Hydrotec, EEG-Daten Bundesnetzagentur, BMWi (2015)

Kleine Wasserkraftanlagen mit einer Leistung bis 5 Megawatt machen rund ein Drittel der gesamten Wasserkraft-Stromproduktion aus. Über 95 Prozent der Wasserkraftanlagen in Deutschland sind mit dieser Leistungsklasse installiert (insgesamt 1.400 MW). Ausbau und die Modernisierung der Kleinwasserkraft bleibt aus Sicht des Klimaschutzes weiterhin bedeutsam. Ziel muss sein, alle Möglichkeiten der CO₂-freien Energiebereitstellung zu fördern, die im Einklang mit den Belangen des Gewässer-

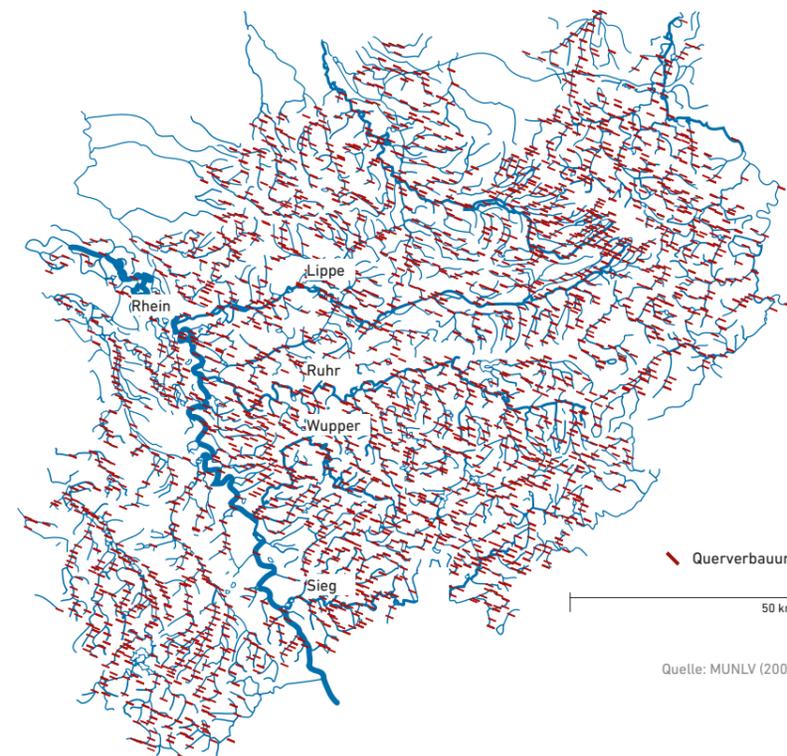
und Naturschutzes stehen. Für das Wasserkraftpotenzial eines Standorts sind geografische Faktoren wie die Höhendifferenz und Abflussmenge entscheidend. Die meisten Wasserkraftwerke nutzen daher die Seen und Flüsse der Gebirge und Mittelgebirge. Das wird besonders bei der regionalen Verteilung der Laufwasserkraftwerke unter 5 MW deutlich: Diese Anlagen sind hauptsächlich in den Ländern Bayern, Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz und Thüringen zu finden.

SO FUNKTIONIERT EIN LAUFWASSERKRAFTWERK



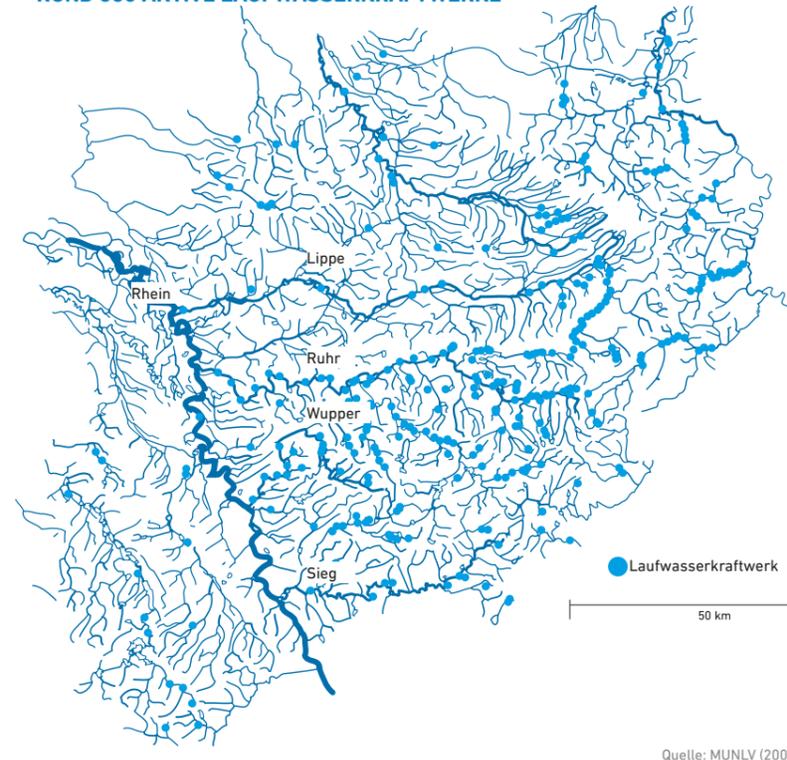
BEISPIEL NORDRHEIN-WESTFALEN: BESTEHENDE QUERVERBAUUNGEN BILDEN EIN GROSSES POTENZIAL FÜR DIE NUTZUNG DER WASSERKRAFT

MEHR ALS 14.000 BESTEHENDE QUERVERBAUUNGEN



In Nordrhein-Westfalen gibt es ca. 14.000, in ganz Deutschland ca. 60.000 Querverbauungen an Gewässern. Querbauwerke wurden zur Trink- und Brauchwassergewinnung, zur Bewässerung benachbarter Flächen, für die Schifffahrt oder zur Wasserkraftnutzung errichtet. Die künstlich in Wasser eingebrachten baulichen Strukturen können die Durchgängigkeit der Gewässer negativ beeinflussen.

RUND 380 AKTIVE LAUFWASSERKRAFTWERKE



Weniger als 15 Prozent der Querverbauungen in Deutschland werden durch Wasserkraftwerke beansprucht. Mehr als 85 Prozent der fehlenden Durchgängigkeit von Gewässern ist also nicht durch die Wasserkraft bedingt.

In Nordrhein-Westfalen werden sogar nur 3 Prozent der Querverbauungen von aktiven Laufwasserkraftwerken genutzt.

Wo bereits Querverbauungen bestehen, kann deren Einsatz zur Stromerzeugung neuen ökologischen Nutzen bringen, beispielsweise wenn Fischpässe oder -treppen die Durchgängigkeit von Stauanlagen wieder herstellen. Diese Durchgängigkeit ist eine entscheidende Voraussetzung für die Besiedelung mit wandernden Fischarten wie Aal oder Lachs. Das ohnehin begrenzte Ausbaupotenzial der Wasserkraft kann mit Hilfe einer ökologischen Baubegleitung im Einklang mit der Natur erschlossen werden.

Quelle: UBA (2008)

BEISPIELE RADOLFZELLER AACH, WESER UND MULDE: POTENZIALNUTZUNG DURCH REAKTIVIERUNG, NEUBAU UND INNOVATION



Menschen nutzen seit Jahrhunderten die Kraft der Bäche und Flüsse zur Energiegewinnung. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts wird die Wasserkraft auch zur Stromerzeugung genutzt. Viele Wasserräder und -mühlen wurden jedoch im Zweiten Weltkrieg zerstört. Außerdem wurden in den 1960er und 70er Jahren viele Anlagen stillgelegt. In ihrer

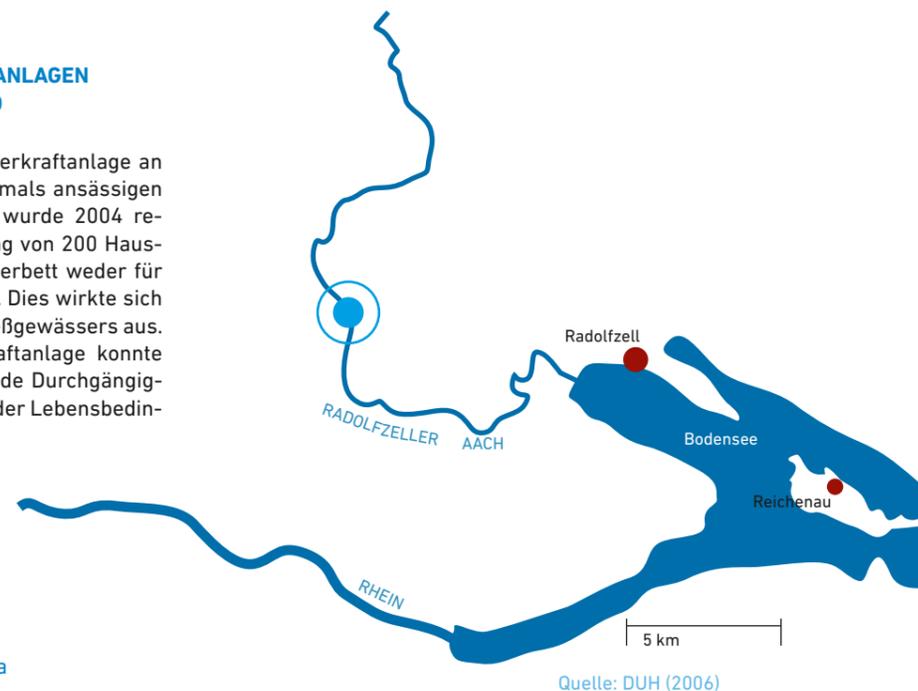
Reaktivierung und Modernisierung steckt großes Potenzial. Die Nutzung der Wasserkraft wird von Fischern und Naturschützern teilweise kritisiert. Folgende Beispiele zeigen, dass sich der Ausbau der Wasserkraft und Naturschutz nicht ausschließen – vielmehr gehen Naturschutz und moderne Wasserkraftanlagen zusammen.

BEISPIEL RADOLFZELLER AACH: REAKTIVIERUNG KLEINER WASSERKRAFTANLAGEN UND NATURSCHUTZ GEHEN HAND IN HAND

Die in den 1970er Jahren stillgelegte Wasserkraftanlage an der Radolfzeller Aach wurde von einer ehemals ansässigen Spinnerei genutzt. Die Wasserkraftanlage wurde 2004 reaktiviert und dient nun zur Stromversorgung von 200 Haushalten. Vor der Reaktivierung war das Mutterbett weder für Fische noch für Kleinlebewesen passierbar. Dies wirkte sich negativ auf die gesamte Lebenswelt des Fließgewässers aus. Im Zuge der Reaktivierung der Wasserkraftanlage konnte u.a. durch eine Fischtreppe eine weitgehende Durchgängigkeit des Gewässers und eine Verbesserung der Lebensbedingungen erreicht werden.

Daten und Fakten

Baujahr	ca. 1896
Jahr der Modernisierung	2004
Installierte Leistung	120 kW
Stromproduktion	0,7 Mio. kWh/a



Reaktivierte Wasserkraftanlage an der Rudolfzeller Aach

BEISPIEL FÜR NEUBAUPOTENZIAL: WESERKRAFTWERK BREMEN

Für die Wasserkraftanlage in Bremen wurde kein neues Wehr errichtet, sondern ein vorhandenes Wehr genutzt. Bei dem Weserkraftwerk handelt es sich um das größte Neubauprojekt Norddeutschlands zur Nutzung der Wasserkraft. Die Anlage wird zudem das größte Wasserkraftwerk an der Weser werden. In ökologischer Hinsicht setzt das Projekt Maßstäbe: Geplant ist ein für diese Kraftwerksgröße bisher einmaliges, innovatives Fischschutzkonzept aus umfangreichen Auf- und Abstiegshilfen in Verbindung mit einem wirksamen Schutz vor der Passage durch die Turbinen.



Sauberer Strom vom Weserwehr

1906-12	Bau einer Schleusenanlage, des Wehres und eines Wasserkraftwerks am Standort Bremen-Hemelingen
1912	Das einzige deutsche Wasserkraftwerk am Unterlauf eines Flusses geht in Betrieb
1981	Schweres Hochwasser der Weser (rund 25 Millionen Euro Schaden)
1987-93	Abriss des alten und Bau des neuen Wehres
2003-06	Planung eines neuen Kraftwerks
2007	Bewilligung der Planung
2008	Baubeginn
2011	Inbetriebnahme des neuen Wasserkraftwerks

Daten und Fakten

Leistung	10 MW
Stromproduktion	42 Mio. kWh/a
Inbetriebnahme	November 2011

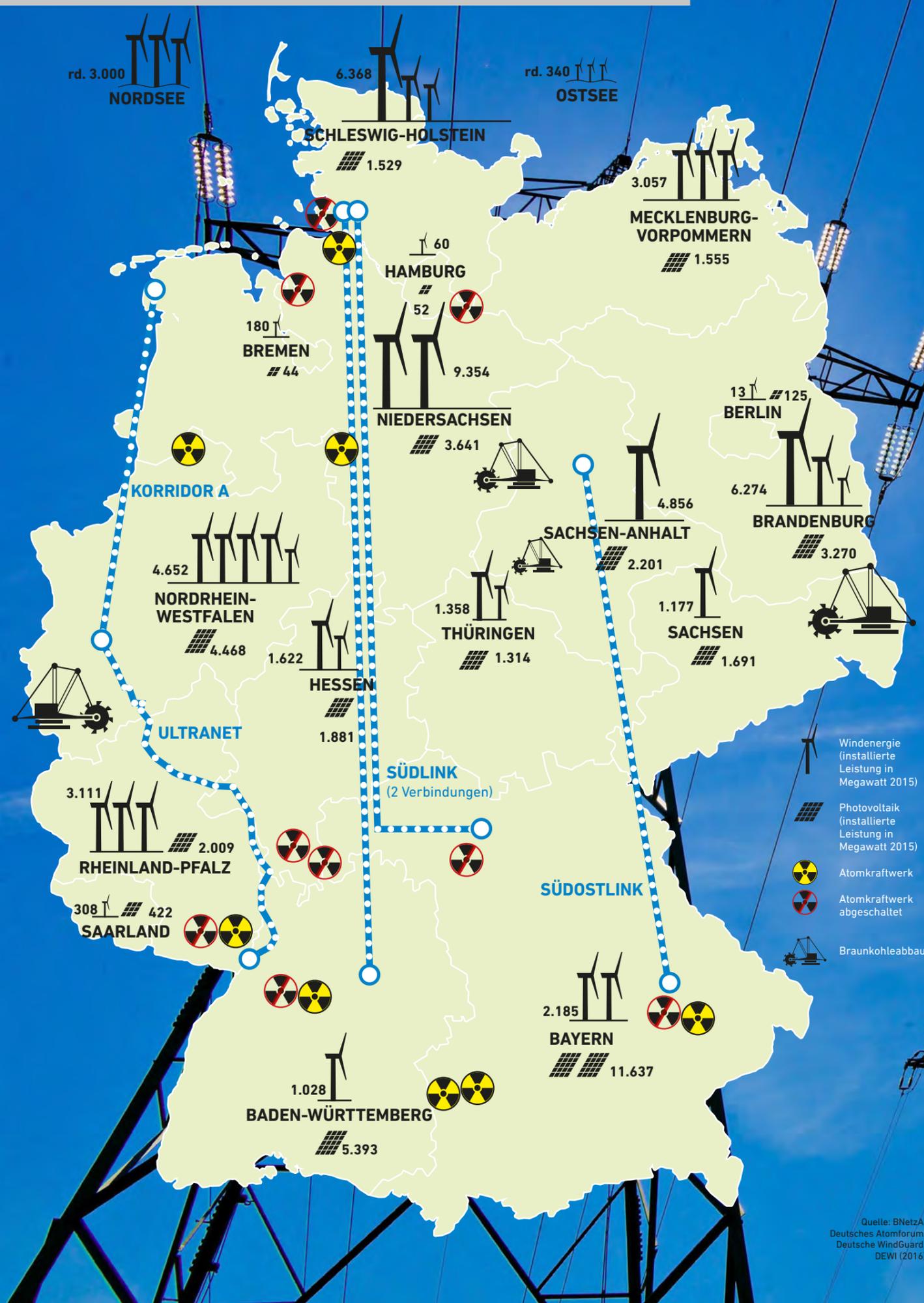
BEISPIEL FÜR INNOVATIONSPOTENZIAL: WASSERKRAFTWERK RAGUHN

Wasserräder gibt es schon seit 2.500 Jahren. Dennoch besteht immer noch technologisches Entwicklungspotenzial für die Wasserkraft. Jüngstes Beispiel: Das Wasserkraftwerk Raguhn (Sachsen-Anhalt) nutzt neue Turbinen, die einen besonders hohen Wirkungsgrad erreichen. Die Wasserkraft profitierte hier von den technischen Weiterentwicklungen bei Windenergieanlagen. Deren Fortschritte lassen sich erfolgreich in den Bau von Turbinen für Wasserkraftwerke übertragen. Dadurch können nun auch Standorte mit niedrigen Fallhöhen erschlossen werden. Zudem handelt es sich beim Wasserkraftwerk Raguhn um eine äußerst fischfreundliche Bauart. Begleitet wird es von einem umfassenden Fischmonitoring. Das Ergebnis: Tiere und Pflanzen nehmen das seit Januar installierte Wasserkraftwerk als Teil ihres Lebensraumes sehr gut an.



Daten und Fakten

Leistung	2,1 MW
Stromproduktion	9,3 Mio. kWh/a
Inbetriebnahme	Juni 2009



Quelle: BNetzA, Deutsches Atomforum, Deutsche WindGuard, DEWI (2016)

GUT VERNETZT IST HALB GEWONNEN STROMNETZE

Das deutsche Stromnetz war seit seinem Entstehen Ende des 19. Jahrhunderts darauf ausgelegt, den Strom von zentralen Erzeugungsanlagen (zuerst Kohle- und Wasserkraftwerke, dann zusätzlich Erdgas- und Atomkraftwerke) auf die Verbrauchszentren zu verteilen. Rund 100 Jahre später wurde mit der Einführung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 der Prozess zur Energiewende eingeläutet. Die damit einhergehende Herausforderung bedeutet nicht weniger als den kompletten Umbau der zentralen Erzeugungsstruktur hin zu einer dezentralen Versorgung auf Basis volatiler Energien, also Energien, die tages- und jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen sind. Hierfür gibt es keinen vorgezeichneten Weg aus dem Lehrbuch, vielmehr wird Neuland betreten.

Da es in Deutschland (noch) keine ausreichenden Speichermöglichkeiten gibt, wurde beschlossen, das Höchstspannungsnetz erheblich auszubauen bzw. zu verstärken, und zwar um rund 7.500 km. Davon sind 2.300 km als Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen (kurz: HGÜ) geplant, die größtenteils als Erdkabel verlegt werden. Mit diesen Maßnahmen sollen bis 2024 die wetterbedingten Fluktuationen der regenerativen Stromerzeugung großflächig ausgeglichen werden. Schließlich wird Windstrom insbesondere in Norddeutschland produziert. Die Leistung der Onshore-Windenergieanlagen in Norddeutschland macht rund 40 Prozent der insgesamt installierten Windleistung in Deutschland aus. Ebenfalls rund 40 Prozent der deutschen Photovoltaik-Leistung sind hingegen im verbrauchsstarken Süden installiert. Wenn im Jahr 2022 aufgrund des Atomausstiegsbeschlusses von 2011 die letzten Atomkraftwerke in Bayern und Baden Württemberg stillgelegt werden, fällt ein bedeutender Anteil an der dortigen Stromversorgung weg. Leistungsstarke „Stromautobahnen“ sollen spätestens dann Windstrom aus dem Norden in die Verbrauchszentren im Süden transportieren.

Neue Trassen sind also dringend erforderlich und längst überfällig. Die deutsche Netzinfrastruktur ist nämlich erheblich in die Jahre gekommen: Das Durchschnittsalter der Übertragungsnetze beträgt rund 53 Jahre (220 kV-Masten) bzw. rund 37 Jahre (380 kV-Masten). Manche Höchstspannungs-Masten sind sogar bereits 85 Jahre im Einsatz. Die Investitionen in Erhalt und Neubau von Netzen waren seit Anfang der 1990er-Jahre bis etwa 2003 rückläufig, seitdem steigen sie wieder leicht an und haben 2014 mit einer Investitionssumme von vier Milliarden Euro erstmals wieder das Niveau von 1993 erreicht. Für die deutsche Energiewende bedeutet dieser Investitionsstau nun aber

immerhin die Chance, den ohnehin erforderlichen Netzausbau auf Erneuerbare Energien auszulegen.

Der Netzausbau kommt allerdings nur langsam voran und hinkt dem dynamischen Ausbau der Erneuerbaren Energien hinterher. Dass dies allerdings kein Hindernis für einen weiteren ambitionierten Zubau der regenerativen Anlagen ist, zeigt eine Studie von Prognos (Prognos et al 2016): Würden in Zeiten hoher Ökostromproduktion nur fünf Prozent des aus Erneuerbaren Energien erzeugten Stroms abgeregelt statt ihn durch das Netz zu leiten, so könnte der geplante HGÜ-Ausbau um mehr als 40 Prozent reduziert werden.

Der Schlüssel für einen gelungenen Umbau der Netzinfrastruktur liegt auch im Verteilnetz. In Deutschland werden mehr als 90 Prozent des erneuerbaren Stroms auf dieser Ebene eingespeist. Rund ein Jahrhundert lang war das Verteilnetz (230 V - 110 kV) nur darauf ausgelegt, den Strom aus dem Höchstspannungsnetz abzunehmen und zum Endverbraucher weiter zu verteilen. Jetzt muss es den Strom auch „einsammeln“, nämlich bei Millionen von Eigenheimen mit Photovoltaikanlagen oder Kommunen mit Windparks. Auch auf Verteilnetzebene muss das Netz ausgebaut bzw. verstärkt werden. Gleichzeitig soll das Netz intelligenter, „smarter“ gemacht werden, etwa um Erzeugungsschwankungen automatisch auszugleichen.

DAS HÖCHSTSPANNUNGSNETZ

MODERNISIERUNGSBEDARF UND GEPLANTER AUSBAU

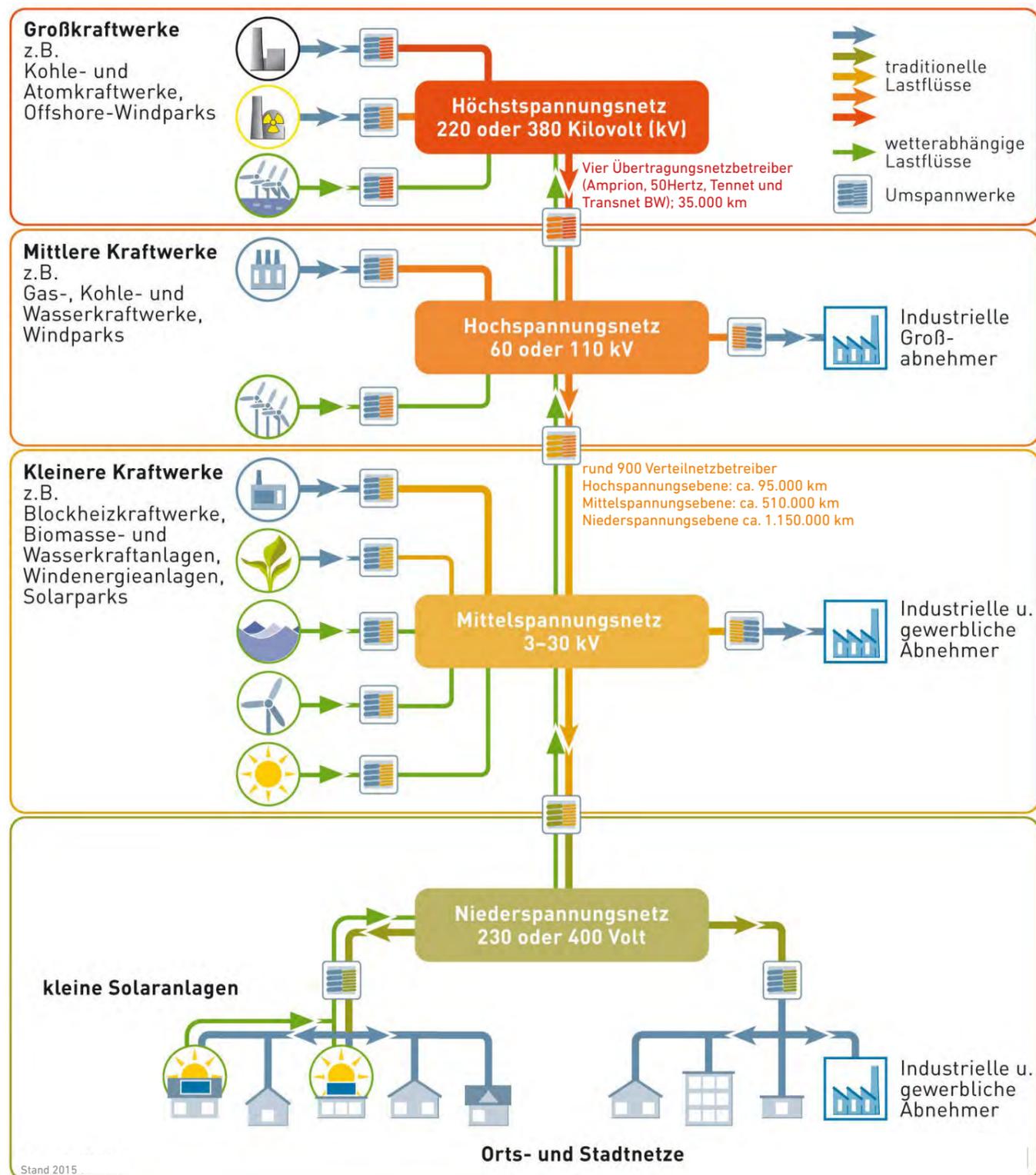


Quelle: BNetzA

SO FUNKTIONIERT DIE DEUTSCHE STROMVERSORGUNG

Das Stromnetz in Deutschland ist traditionell als Einbahnstraße konzipiert. Das Höchstspannungs- oder Übertragungsnetz transportiert den Strom aus Großkraftwerken über große Entfernungen zu den Verbrauchsschwerpunkten. Die Hochspannungsnetze verteilen den Strom in einer größeren Region auf die Mittelspan-

nungsnetze. Von dort fließt er in die lokalen Niederspannungsnetze, an die kleine Stromverbraucher angeschlossen sind. Durch den Ausbau der Wind- und Solarenergie kehren sich die Lastflüsse nun zeitweise um. Dann fließt Strom von den unteren in die oberen Spannungsebenen.



Stand 2015

EUROPÄISCHER NETZAUSBAU: STROM KENNT KEINE GRENZEN

Im Mittelpunkt der europäischen Energiepolitik steht seit Mitte der 90er Jahre die Verwirklichung eines europäischen Energiebinnenmarktes. Durch Investitionen in die Netzinfrastruktur soll der Wettbewerb gestärkt werden und somit eine kostengünstige und zugleich sichere Energieversorgung für Europa gewährleistet werden. Auch die Aufnahme der steigenden Anteile erneuerbaren Stroms erfordert eine Modernisierung der europäischen Netze. Bis zum Jahr 2020 soll der europäische Endenergiebedarf aus 20 Prozent regenerativer Energie gedeckt werden. Hierzu tragen die einzelnen Mitgliedstaaten je nach Potenzial mit festgelegten nationalen Zielen bei.

Jahre feststellt. Auf diesem Plan basieren auch die sogenannten „Projects of Common Interest“ (PCI, Leitungen von gemeinsamem Interesse) für deren Umsetzung EU-Fördermittel zu Verfügung gestellt werden.

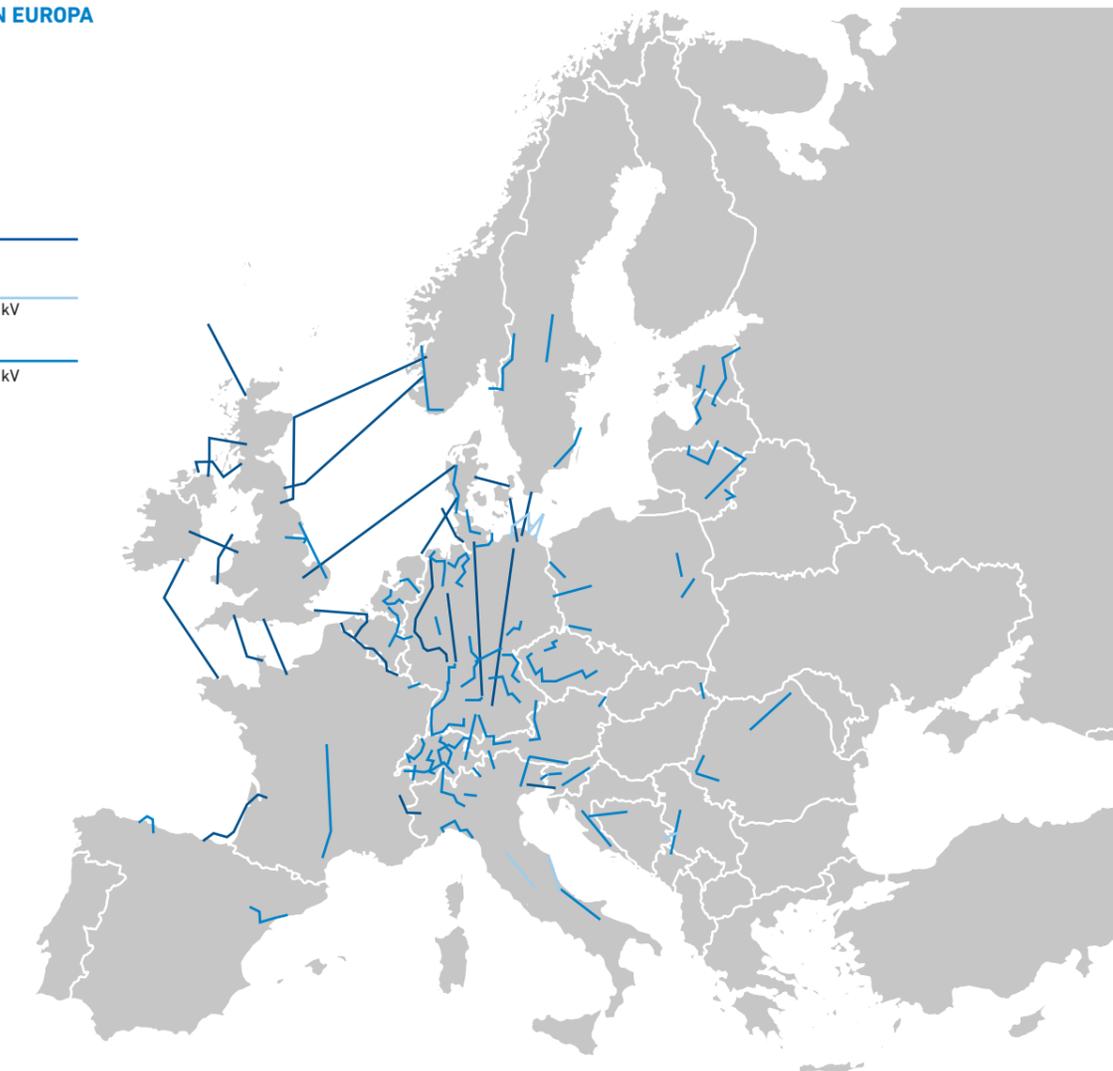
Für Deutschland ist ein nationales Ziel von 18 Prozent am gesamten Endenergieverbrauch vorgesehen. Ein Anteil von 38,6 Prozent soll im Stromsektor bis 2020 erreicht werden.

Deutschland nimmt aufgrund seiner zentralen geographischen Lage aber auch wegen seiner Vorreiterrolle in Sachen Ausbau Erneuerbarer Energien eine besondere Rolle ein. Für die deutsche Energiewende ist der Anschluss an Skandinavien mit seinen großen Speicherkapazitäten von großer Relevanz. Große Erwartungen werden dabei auf den sogenannten Nordlink gesetzt. Dabei handelt es sich um ein Gleichstrom-Unterseekabel zwischen Norwegen und Deutschland (Baubeginn: Sept. 2016). Diese erste Direktverbindung zwischen dem deutschen und norwegischen Strommarkt soll bei Fertigstellung Ende 2018 etwa 623 Kilometer lang sein und 1.400 MW Kapazität bei 500 kV leisten können. Mit Hilfe des Nordlinks kann zukünftig der an der deutschen Küste produzierte Windstrom in den Pumpspeicherkraftwerken Norwegens zwischengespeichert werden.

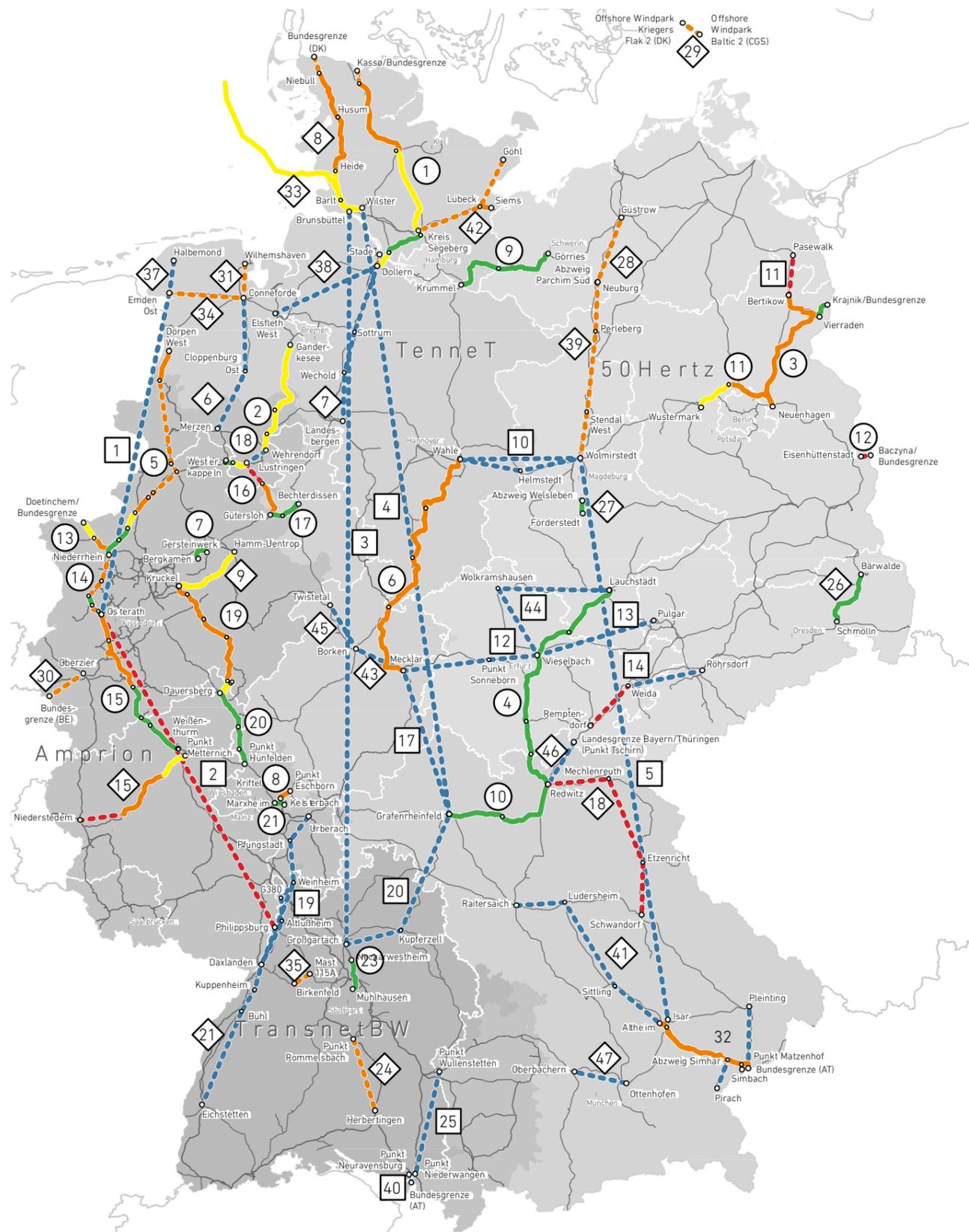
Das Europäische Netzwerk der Übertragungsnetzbetreiber (ENTSO-E) legt alle zwei Jahre einen europäischen Netzentwicklungsplan vor, der den für die genannten Ziele erforderlichen Netzausbaubedarf für die nächsten zehn

NEUE STROMNETZE IN EUROPA

- Gleichspannung
- Wechselspannung bis 220 kV
- Wechselspannung bis 400 kV



Quelle: ENTSO-E



- Vorhaben realisiert
 - Vorhaben realisiert oder im Bau
 - Vorhaben vor/im Planfeststellungsverfahren
 - Vorhaben im Raumordnungs- bzw. Bundesfachplanungsverfahren (Luftlinie)
 - Vorhaben nicht im Genehmigungsverfahren (Luftlinie)
 - Übertragungsnetz
- Laufende Nummer des Vorhabens gemäß
 - 7 BBPIG* mit Zuständigkeit der Bundesnetzagentur
 - 7 BBPIG* mit Zuständigkeit der Landesbehörden
 - 7 EnLAG** mit Zuständigkeit der Landesbehörden
- * Bundesbedarfsplangesetz
** Energieleitungsausbaugesetz

Stand: Drittes Quartal 2016

Quelle: BNetzA

DAS HÖCHSTSPANNUNGSNETZ - DIE STROMAUTOBAHNEN

Für die Energiewende werden neue und modernisierte Stromnetze benötigt. Im Energieleitungsausbaugesetz (EnLAG) wurde 2009 der vordringliche Ausbaubedarf im Höchstspannungsnetz definiert: Rund 1.800 km zusätzliche Stromleitungen sollten demnach bis 2015 umgesetzt werden. Die meisten der 22 (ursprünglich 23) EnLAG-Vorhaben verlaufen in Nord-Süd-Richtung.

Bereits nach zwei Jahren waren erhebliche Verzögerungen abzusehen, da es beachtliche Akzeptanzprobleme gegenüber neuen Freileitungen gab und das Genehmigungsverfahren langwierig war. Hinzu kam der von der Bundesregierung 2011 erneut beschlossene Ausstieg aus der Atomkraft, bis 2022 sollen die letzten Meiler vom Netz gehen. Damit fällt der Hauptenergieerzeuger im Süden weg. Aus diesem Grunde wurde mit dem novellierten Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) und dem Netzausbaubeschleunigungsgesetz (NABEG) im Sommer 2011 ein neues Rahmenwerk für den Netzausbau beschlossen. Die Genehmigung von neuen Netzen, die mehrere Bundesländer durchqueren, obliegt nun direkt der Bundesnetzagentur. Außerdem wird die Öffentlichkeit bei der Planung stärker beteiligt.

Trotz der Novellierungen im Energierecht hinkt der Netzausbau dem Ausbau Erneuerbarer Energien stark hinterher. Der Gesetzgeber hat abermals reagiert und Ende 2015 einen Erdkabelvorrang für die drei großen Gleich-

stromleitungen beschlossen. Dies soll bessere Akzeptanz gewährleisten, so dass der Windstrom bis 2022 den Süden erreicht.

Die rasche Umsetzung der EnLAG-Vorhabene ist für die deutsche Energiewende wichtig. Über den Umfang von Neubautrassen über das Startnetz hinaus wird jedoch viel diskutiert. Unumstritten ist die Bedeutung der Akzeptanz der Bevölkerung für die Infrastrukturmaßnahmen. Von ihr hängt ab, wie zügig Neubaumaßnahmen abgeschlossen werden können.

NETZAUSBAUSTAND :

STARTNETZ (ENLAG-VORHABEN):

- 22 Vorhaben mit insgesamt 1.800 km
- davon 900 km genehmigt
- davon 650 km realisiert (rd. 35%)

ZUBAUNETZ (LT. BUNDESBEDARFSPLAN 2015):

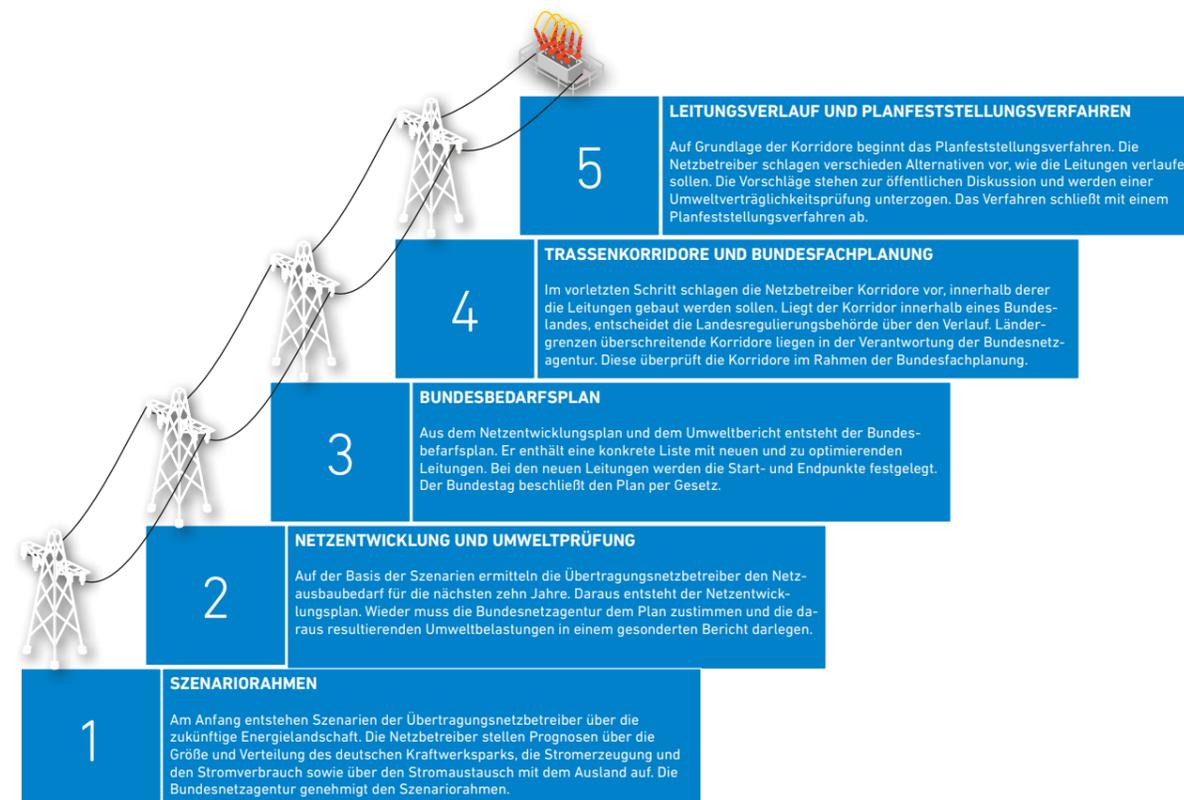
- 43 Vorhaben rund 2.550 km an Neubautrassen und rund 3.100 km an Optimierungs- und Verstärkungsmaßnahmen in bestehenden Trassen zusätzlich zum Startnetz
- davon 400 km genehmigt
- davon 80 km realisiert

Stand: Drittes Quartal 2016

Quelle: Bundesnetzagentur (2016)

DAS FÜNFSTUFIGE NETZAUSBAUVERFAHREN

Die zunehmende Einspeisung von Strom aus Erneuerbaren Energien erfordert den Ausbau und die Optimierung des Stromnetzes. Wie viele neue Leitungen tatsächlich gebraucht werden und wo diese verlaufen sollen, wird in einem gesetzlich festgelegten mehrstufigen Verfahren erörtert und beschlossen.



BEISPIEL SCHLESWIG-HOLSTEIN: WESTKÜSTENLEITUNG – NEUE TRASSEN MIT UNTERSTÜTZUNG DER BEVÖLKERUNG

Die Energiewende hat in Schleswig-Holstein eine besondere Bedeutung: Hier ist die Wiege der Windenergie in Deutschland, Bürgerwindparks sind weit verbreitet und die Onshore-Windkraft hat eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz. Die Landesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2025 die Onshore-Windenergie-Leistung auf 10,5 GW (Stand 2015: 5,8 GW) und die Offshore-Windenergie-Leistung auf 2,6 GW (Stand 2015: 1,5 GW) zu erhöhen.

Der daraus erzeugte grüne Strom wird auch die Metropole Hamburg und die Bundesländer südlich der Elbe versorgen. Der hierfür notwendige Netzausbau ist unerlässlich. Die Landesregierung hat für die sogenannte Westküstenleitung deshalb auf ein zeitintensives Raumordnungsverfahren zu Gunsten eines innovativen Dialogansatzes verzichtet. Die formelle Berücksichtigung der raumordnerischen Belange wie z.B. die Umweltverträglichkeitsprüfung für den Vorzugskorridor fanden später im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens Berücksichtigung.

Ziel dieses Ansatzes war die beschleunigte Umsetzung des Projektes mit der größtmöglichen Akzeptanz bei der Bevölkerung. Seit 2011 wurden die betroffenen Bürger informiert und eingebunden. Allein 2013 wurden vier große Konferenzen, zehn kommunale Veranstaltungen und sechs Fachgespräche mit insgesamt mehr als 1.800 Beteiligten unter Federführung des Landes und mit der Deutschen Umwelthilfe als Moderatorin durchgeführt.



ZIELE DES BÜRGERDIALOGS:

- Informationen von den Bürgern: Hinweise und Anregungen für die Netzplanung helfen vorab Konflikte zu erkennen und auszuräumen. Dadurch rechnet man mit weniger Einwänden im eigentlichen Genehmigungsverfahren
- Informationen für die Bürger: Erläuterungen zum Planungsvorhaben und dessen Notwendigkeit
- Transparenz des Planungsprozess

ERGEBNIS:

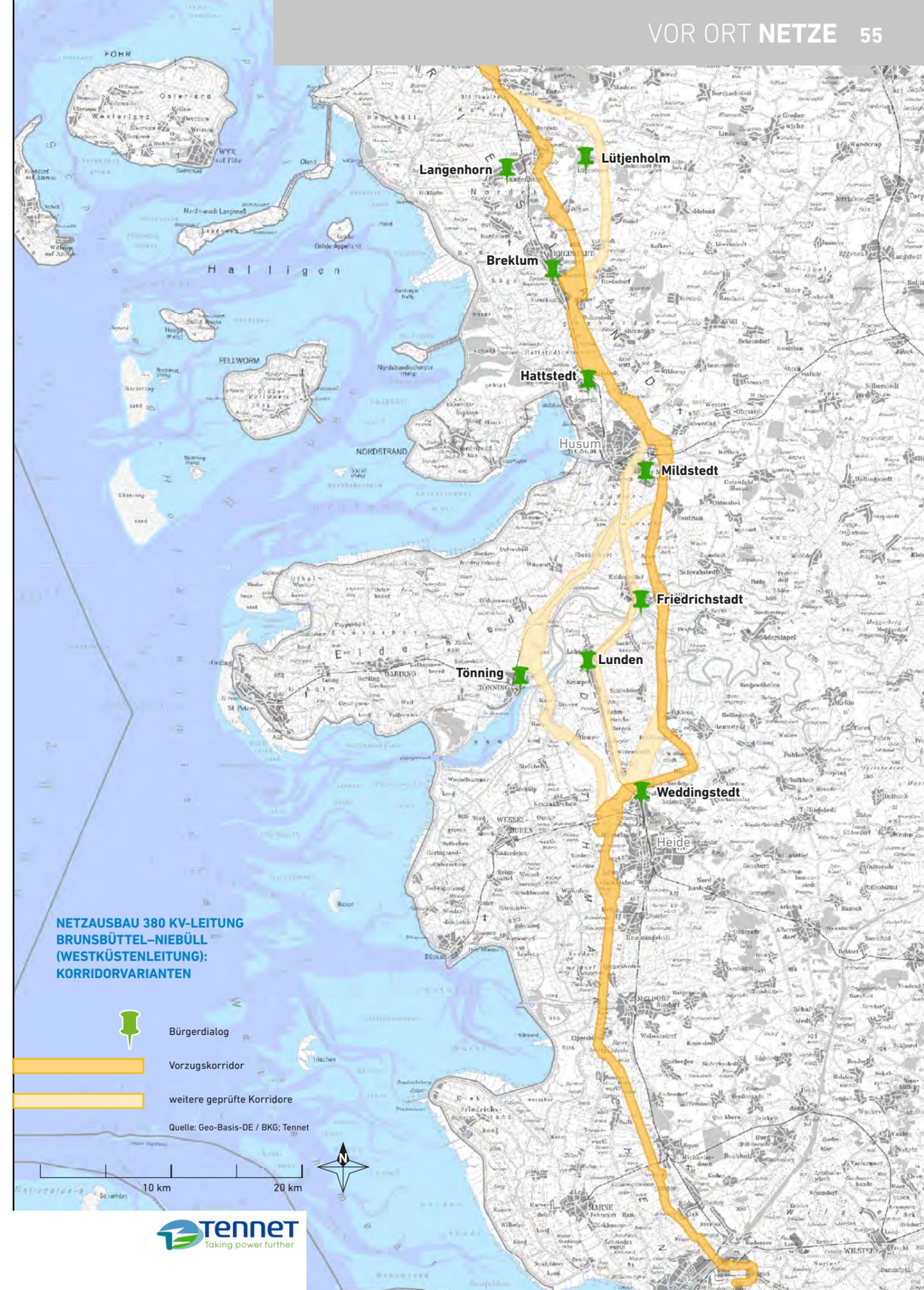
Dass diese Kommunikationsstrategie ein Dialog auf Augenhöhe war, zeigen konkrete Maßnahmen, die auf Wunsch der Bürger von dem zuständigen Übertragungsnetzbetreiber Tennet umgesetzt wurden:

- Auf weiten Teilen der Leitung werden „Vogelmarker“ („flatternde“ Bänder) angebracht, die Vögel vor dem Seil warnen sollen.
- Verbesserungen für das Naturschutzgebiet „Oldenswarter Vorland“ bei Tönning: Das neue Netz (380kV) wird östlich des Schutzgebietes verlaufen, die über den Fluss Eider führende 110-kV-Leitung kommt unter die Erde.
- Streckenbündelung: Dort wo es bereits eine 110kV-Leitung gibt, wird die neue 380kV-Leitung mitgeführt.

Mit dem Ergebnis sind auch die Naturschutzverbände zufrieden. Dies ist keine Selbstverständlichkeit: Schließlich haben BUND und NABU andere Großprojekte im Norden wie z.B. die Elbvertiefung durch Klagen für mehrere Jahre gestoppt. Die Westküstentrasse hingegen befindet sich im Bau und wird voraussichtlich 2018 fertiggestellt.



Bürgerinnen und Bürger informieren sich über den Netzausbau der Westküstenleitung.



DAS VERTEILNETZ: DAS RÜCKGRAT DER ENERGIEWENDE FIT MACHEN FÜR DIE ZUKUNFT

Mehr als 90 Prozent der regenerativen Energieerzeugung werden in die Hoch-, Mittel- und Niederspannung (s. Abb. auf S. 50) eingespeist. Damit spielen die Verteilnetze eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung der Energiewende. Da sie aber bei ihrer Errichtung nicht für die Integration eines solch hohen Anteils dezentraler Erzeugung ausgelegt waren, erreichen sie nun zunehmend die Grenze ihrer Aufnahmefähigkeit. Insbesondere in ländlichen Verteilnetzen steigt die Herausforderung der Spannungshaltung für Netzbetreiber kontinuierlich an: die Netze sind maximal ausgelastet. Damit die Stromversorgung auch weiterhin sicher und stabil bleibt, muss die Netzinfrastruktur insbesondere auf Verteilnetzebene für die Energiezukunft fit gemacht werden.

Der Umfang der benötigten Netze auf Verteilebene wird bis 2032 auf 130.000 km bis 380.000 km geschätzt, bei einem Investitionsvolumen von 23,2 Mrd. bis 48,9 Mrd. Euro (BMWi 2014). Die Bandbreite ergibt sich aus verschiedenen zugrunde gelegten Erneuerbare-Energien-Kapazitäten in dem betrachteten Zeitraum. Aufgrund der unterschiedlichen regionalen Potenziale zur regenerativen Stromerzeugung unterscheidet sich auch der regionale Ausbaubedarf der Verteilnetze. In Süddeutschland werden insbesondere Niederspannungsnetze für die Photovoltaik benötigt, im Norden und Osten hingegen Hochspannungsnetze, in die Windparks einspeisen können.

NETZAUSBAUBEDARF REDUZIEREN MIT INNOVATIVEN PLANUNGSKONZEPTEN UND INTELLIGENTEN TECHNOLOGIEN

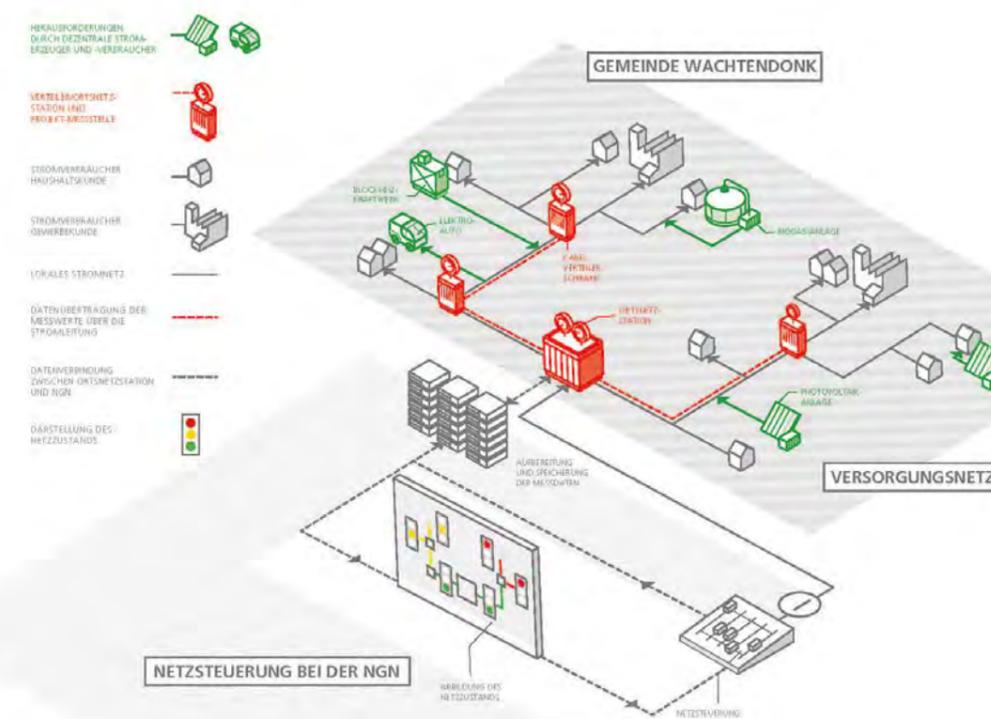
Innovative Planungskonzepte verringern den Netzausbaubedarf erheblich. Durch eine Spitzenkappung im Einspeisemanagement (Abregelung von bis zu drei Prozent der Jahreserzeugung je Erneuerbare-Energien-Anlage) in der Netzplanung können laut der zitierten BMWi-Verteilnetzstudie etwa 40 Prozent des Netzausbaus eingespart werden. Weitere 20 Prozent können durch intelligente Netztechnologien vermieden werden. Insbesondere regelbare Ortsnetztransformatoren (rONT) bergen hierbei ein großes Potenzial. Durch ihren flächendeckenden Einsatz kann der Netzausbaubedarf im Niederspannungsnetz fast gänzlich vermieden werden. Während konventioneller Netzausbau zeitaufwendig ist, lässt sich ein rONT einfach in bestehende Ortsnetzstationen integrieren.



In Ortsnetzstationen können rONT einfach integriert werden und helfen, die Netzzustandsdaten zu erfassen. Zwei Mitarbeiter der Krefelder Stadtwerke testen dies in Wachtendonk.



BEISPIEL WACHTENDONK: LICHT IN DER BLACK BOX - DER REGELBARE ORTSNETZTRANSFORMATOR

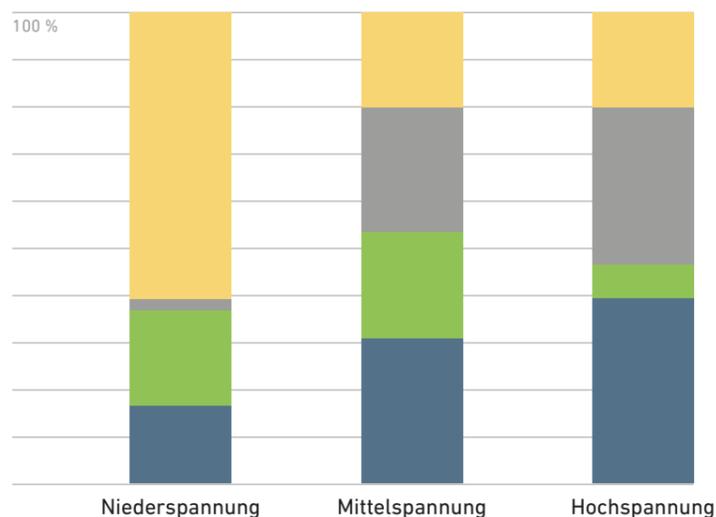


Quelle: SWK Stadtwerke Krefeld (2016)

REGIONALER NETZAUSBAUBEDARF AUF VERTEILNETZEBENE



Anteile der Regionen am gesamten Ausbaubedarf



Quelle: BMWi (2014)

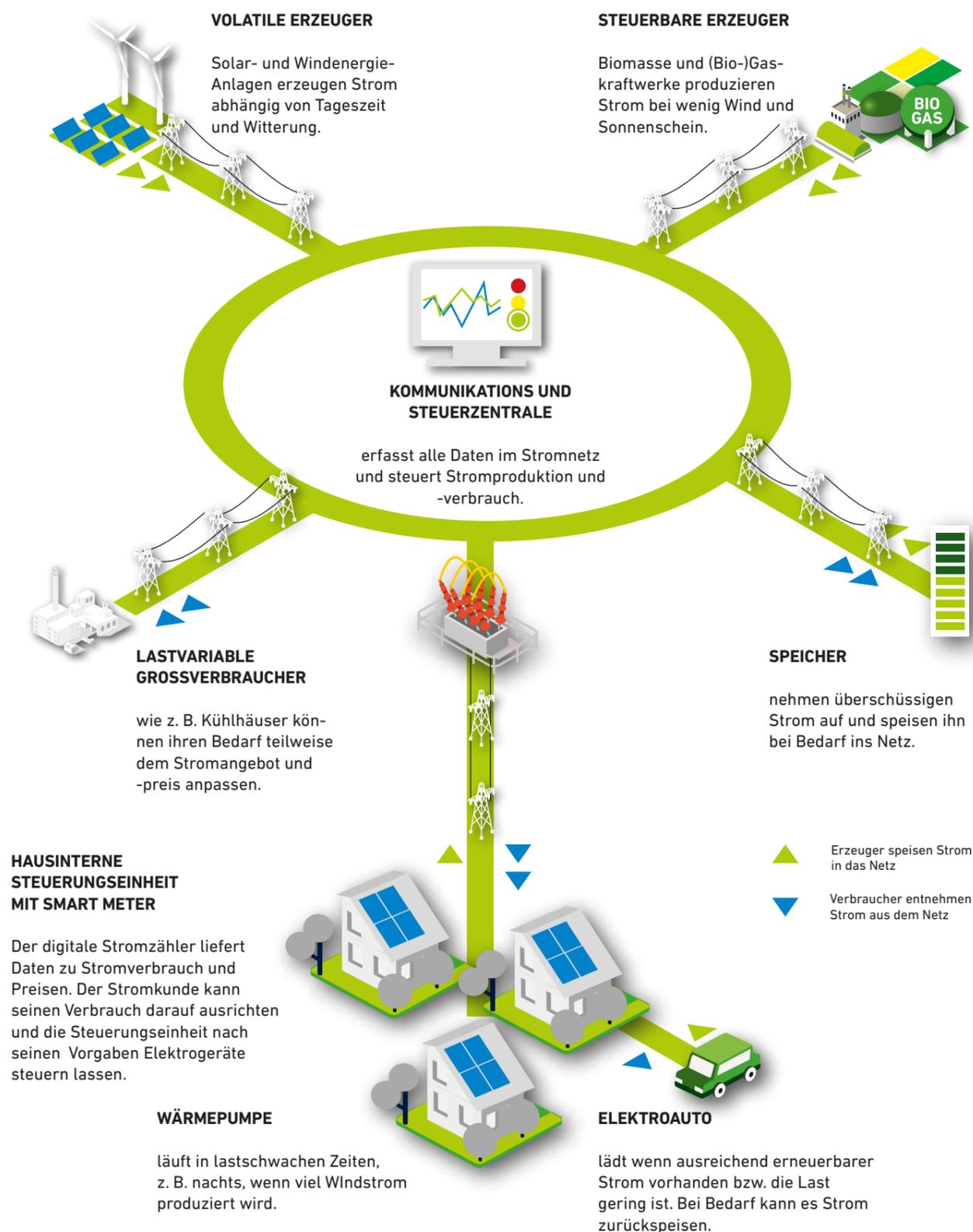
Solange der Strom ausschließlich „top down“ von zentralen Kraftwerken zu den Endverbrauchern transportiert wurde, war kalkulierbar, mit welchen Parametern Transformatoren und Niederspannungsnetze ausgelegt werden mussten. Ziemlich exakt konnte man die Kilowattstunden berechnen, die auf dem Weg durchs Netz waren. Seitdem der Endkunde beispielsweise durch Photovoltaik-Anlagen nun aber selbst zum Stromproduzenten geworden ist und dezentrale EE-Anlagen „bottom up“ Strom durch die Netze schicken, herrscht Unklarheit und das Niederspannungsnetz ähnelt einer Black Box. Unzulässige Spannungsschwankungen werden erst durch Störungsmeldungen bekannt.

Wie Abhilfe geschaffen werden kann, zeigt die Gemeinde Wachtendonk in Nordrhein-Westfalen, nahe der niederländischen Grenze. In einem Forschungsprojekt hat die Gemeinde zusammen mit dem regionalen Stromversorger mit Hilfe der rONT-Technik Licht in die Black Box „Niederspannungsnetz“ gebracht. Die 8.000 Einwohnergemeinde zeichnet sich durch eine ländliche Struktur und eine hohe Begeisterung für Erneuerbare Energien aus: 80 Prozent des Stromes stammen hier aus regenerativer Energie wie etwa PV-Anlagen auf Haus- und Stalldächern. Die Folge: Erhebliche Spannungsschwankungen und -spitzen im Niederspannungsnetz. Unter dem Projektnamen „Wachtendonk macht mit - Forschung im Netz“ wurden 100 Haushalte

und viele Kabelverteilerkästen zunächst mit intelligenten Stromzählern („Smart Meter“) ausgerüstet. Diese erfassen per Fernabfrage Verbrauchsdaten und messen mit einem „Schnappschuss“ die Netzzustandsparameter des Niederspannungsnetzes. Diese Messdaten werden dann vom rONT ausgewertet. Kommt es zu Spannungsproblemen, werden diese dem Netzbetreiber gemeldet, der entsprechend reagieren kann und einem Störfall zuvor kommt. Gleichzeitig erhöhen rONTs die Aufnahmekapazität für weitere regenerative Anlagen oder zusätzliche Stromnachfrager wie Elektroautos, ohne dass das Netz weiter ausgebaut werden müsste. Zudem ist diese Technologie ein wesentlicher Bestandteil eines für die Energiewende notwendigen Smart Grids (s. Abb. auf S. 58).

In dem vom BMWi geförderten Nachfolgeprojekt „ENERGIE“ (Erfassung der niederspannungsseitigen Netzzustandsgrößen in Echtzeiten) wird 2016 untersucht, wie diese Daten zuverlässig übermittelt werden können. Denn Smart Grids benötigen mit ihrer Fülle von Informationen einen anderen als bisher üblichen Frequenzbereich zum Datentransfer. Um das Datenvolumen zudem möglichst gering zu halten, werden diese schon vor Ort soweit gebündelt, dass sie sich auch beim großflächigen Einsatz in handhabbaren Grenzen halten. Das Fernziel des Forschungsprojektes ist eine autarke und eigenständige Bewertung des Netzzustandes des jeweiligen Versorgungsbereiches einer Ortsnetzstation.

SO FUNKTIONIERT EIN SMART GRID:



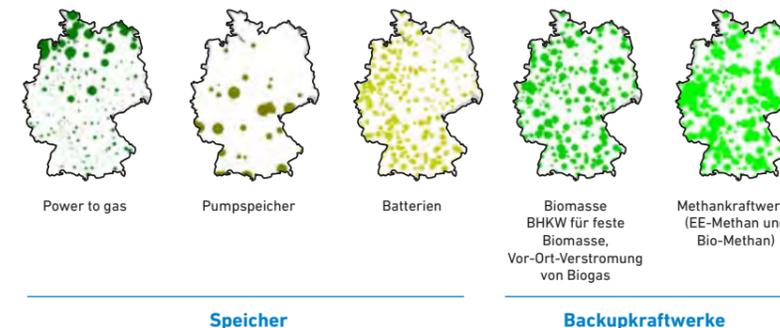
DAS REGENERATIVE KOMBIKRAFTWERK: 100 PROZENT ERNEUERBARE ENERGIE = 100 PROZENT SICHERE STROMVERSORGUNG

Das „Kombikraftwerk 1“, ein Forschungsprojekt unter Federführung des Fraunhofer IWES, hat schon 2009 gezeigt, dass durch das Zusammenfassen verschiedener dezentraler Stromerzeuger zu einem Verbund sich volatile Erneuerbare Energien untereinander ausgleichen können und so eine regenerative Vollversorgung möglich ist. Für eine sichere Stromversorgung müssen aber auch die Netze stabil betrieben und bestimmte Parameter hinsichtlich Spannung und Frequenz eingehalten werden. Im Fokus eines weiteren Forschungsprojekts („Kombikraftwerk 2“) stand 2015 deshalb

die Frage, welche Herausforderungen ein solches System hinsichtlich der Netzstabilität mit sich bringt und wie groß der Systemdienstleistungsbedarf ist, um Frequenz und Spannung mit großen Anteilen volatiler Erzeuger stabil zu halten.

Das Ergebnis der Simulation: Eine stabile Stromversorgung mit 100 Prozent Erneuerbaren Energien ist technisch möglich. Dies gewährleisten zum einen Speicher (Power to Gas, Pumpspeicher und Batterien) und zum anderen Backupkraftwerke (Methankraftwerke und regelbare Biomasse).

Technologie	Installierte Leistung (in GW)	Stromerzeugung (in TWh)
Windenergie Onshore	87,0	213,9 (ohne Überschuss)
Windenergie Offshore	40,0	108,7 (ohne Überschuss)
Photovoltaik	133,7	119,7 (ohne Überschuss)
Wasserkraft	4,8	25
Geothermie	4,7	41
Bioenergie	17,3	34,5
Pumpspeicher	12,6	11,1
Methankraftwerke	53,8	18,5
Batterien	55	2,7
Überschüsse		58,8
Summe		601



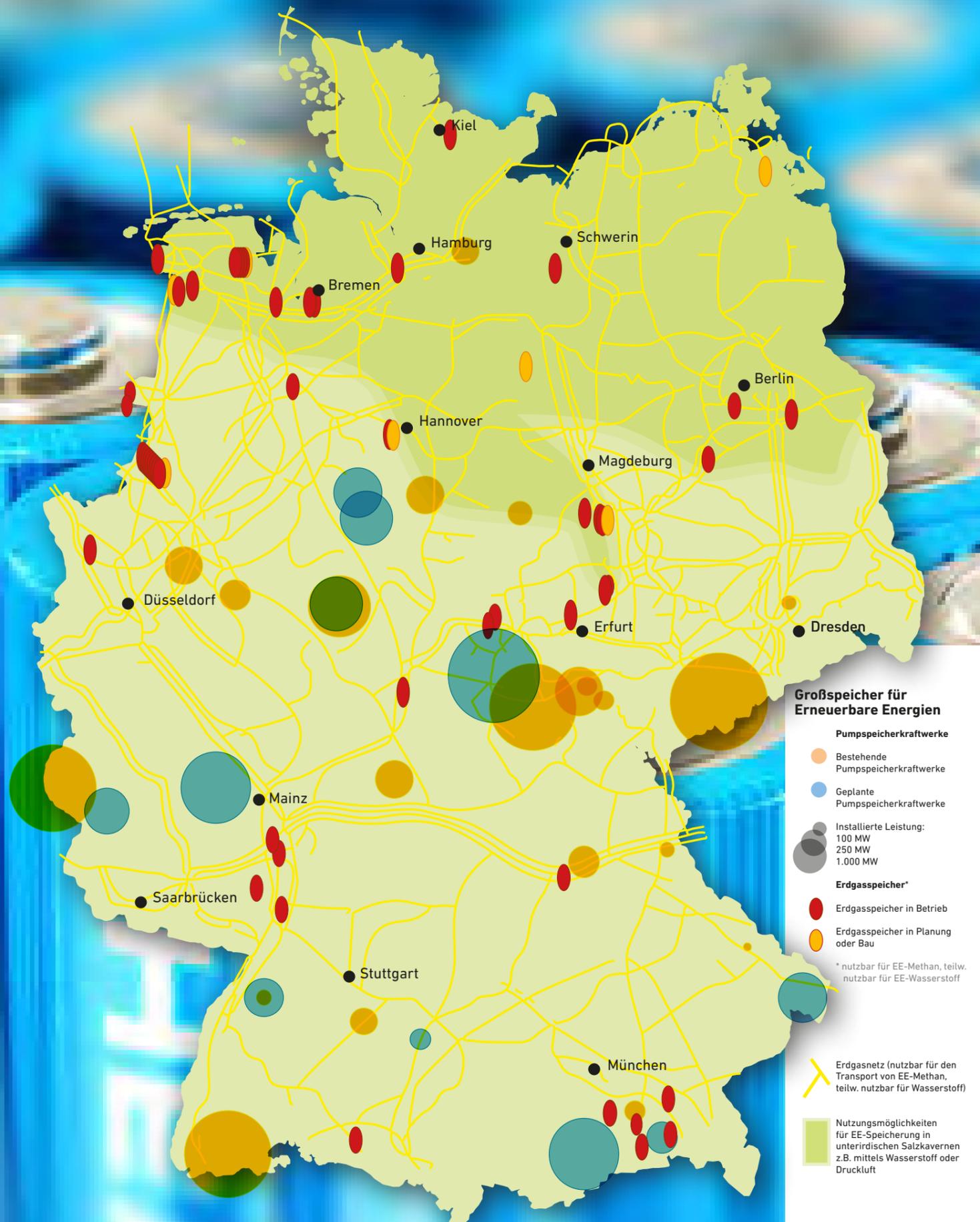
DAS REGENERATIVE KOMBIKRAFTWERK SIMULIERT DIE VOLLVERSORGUNG AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN

Das 100-Prozent-Szenario des Kombikraftwerks modelliert die mögliche regionale Verteilung der regenerativen Anlagen sowie Speicheroptionen unter Berücksichtigung von Potenzialflächen, Wetterdaten und bereits bestehenden Standorten. Ebenfalls wurden politische Zielsetzungen berücksichtigt. Das Stromnetz des Modells basiert auf dem Netzentwicklungsplan.

Quelle: IWES/ Kombikraftwerk



ENERGIE SPEICHERN



Quellen: FfE (2016), FNB Gas (2016), BGR Hannover (2015), LBEG (2015); EON Ruhrgas

Deutschland will sich bis 2050 zu 80 bis 95 Prozent mit erneuerbarem Strom versorgen. Dies erfordert stark wachsende Beiträge der wetterabhängigen Wind- und Solarenergie. Mit ihrem zunehmenden Anteil wird es allerdings schwieriger, das für die Netzstabilität notwendige Gleichgewicht zwischen Stromangebot und -nachfrage zu halten. Es wird vermehrt Zeiten geben in denen die Stromerzeugung den Bedarf übersteigt und umgekehrt. Für das Gelingen der Energiewende ist es folglich notwendig, dass sich der Kraftwerkspark, die Verbraucher sowie Speicher der schwankenden Erzeugung anpassen, also flexibler werden. Zum Beispiel kann die Stromerzeugung aus Biomasse zukünftig verstärkt flexibel gesteuert werden. Im Haushalt der Zukunft beziehen die Haushaltsgeräte wie die Waschmaschine aber auch das Elektroauto automatisch dann Strom, wenn dieser am günstigsten ist. Dafür müssen die Geräte zunächst intelligenter werden und sich ansteuern lassen. Auch Anreize für die Verbraucher durch entsprechende Stromtarife sind erforderlich. Doch nicht nur die Stromnachfrage von Haushalten kann flexibilisiert werden. Auch die Industrie kann ihren Energiebedarf z.B. zeitlich verschieben. Diese Lastverschiebung kann dazu beitragen, die schwankende Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie auszugleichen.

Ebenso spielt die Speicherung des Strom für die Energiewende eine wichtige Rolle. Hierfür kommen eine Reihe von Technologien in Betracht wie zum Beispiel Batterien, Pumpspeicherkraftwerke oder die Nutzung des Stroms zur Wasserstoffproduktion („Power to Gas“) bzw. Wärmeerzeugung („Power-to-Heat“). Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Speicherkapazität, des Wirkungsgrads, ihrer Kosten sowie ihres Einsatzspektrums, das von kurzfristigen Systemdienstleistungsmaßnahmen („Regelenergie“) bis hin zum Lastausgleich über Tage oder Wochen reicht. Die meisten Speichertechnologien sind bereits heute verfügbar, aber die wenigsten sind bisher wirtschaftlich zu betreiben. Die technologische Entwicklung muss noch weiter voranschreiten. Obwohl die bedeutende Rolle von Speichertechnologien für die deutsche Energiewende auf der Hand liegt, bietet der Markt derzeit kaum Anreiz, in die Technologien zu investieren: Die Preisdifferenz zwischen Spitzen- und Grundlaststrom an der Strombörse ist schlicht zu gering.

In welchem Umfang und wann welche Speichertechnologien zum Einsatz kommen können und müssen, hängt neben den wirtschaftlichen Faktoren auch von der Entwicklung des Erzeugungsparks, dem Netzausbau und dem Erschließen weiterer Flexibilitätsoptionen ab. Trotz dieser Unsicherheiten herrscht in der deutschen Forschungslandschaft weitgehend Konsens, dass Langfristspeicher erst bei einem Anteil von mindestens 60 bis 80 Prozent Erneuerbaren Energien am Stromverbrauch relevant werden. Die meisten Wissenschaftler sehen dabei die Power-to-Gas-Technologie (PtG) als beste Option. Vorher sollten Flexibilitätsoptionen wie Lastmanagement in Industrie und Haushalten erschlossen werden, die in der Regel deutlich kostengünstiger sind.

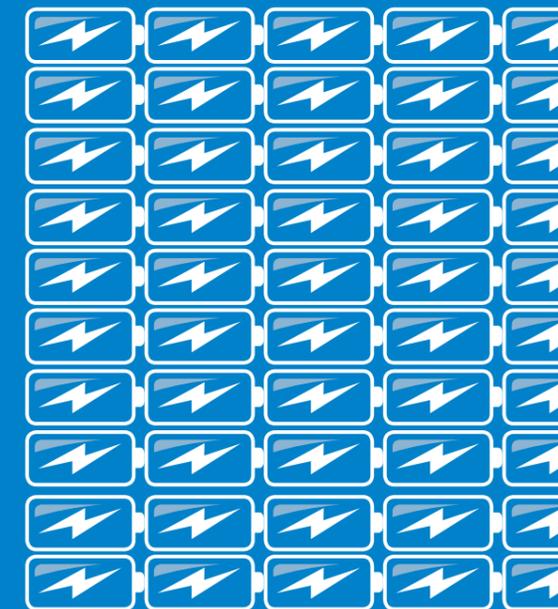
Bund und Länder fördern mit dutzenden Forschungsprojekten die Weiterentwicklung dieser Flexibilitäts- und Speicheroptionen. Einige werden in diesem Kapitel vorgestellt.

Deutschlands 31 Pumpspeicherkraftwerke bieten eine Speicherkapazität von rund 37 Mio. kWh. Nach Fertigstellung des Nordlink können auch weitere ausländische Speicherkapazitäten genutzt werden. Aber auch in Deutschland gibt es noch ein erhebliches Speicherpotenzial: Salzkavernen im Norddeutschen Becken bieten die Möglichkeit mit überschüssigem Strom Wasserstoff, Methan oder Druckluft unter Tage zu speichern. Auch ehemalige Erdgasspeicherkavernen können zukünftig mit klimaneutralen Gasen befüllt werden. Das deutsche Gasnetz bietet der PtG-Technologie mit seinen rund 440.000km Leitungen hervorragende Voraussetzungen nicht nur zur Speicherung, sondern auch zum Transport.

Speichervolumen 2015 und Potenzial

2015: **37 Mio. kWh**

Potenzial*: **337 Mrd. kWh**



*Gasspeicher

Quelle: Sterner (2016)

64

SPEICHER FLEXIBILISIERUNG

FLEXIBILITÄTSOPTIONEN ALS ANTWORT AUF DEZENTRALE VOLATILE ERNEUERBARE ENERGIEN

Mit Hilfe von verschiedenen Flexibilitätsoptionen kann die für die Energiewende notwendige Systemtransformation gelingen, d.h. weg von einer statischen Erzeugungsstruktur hin zu einem dynamischen Energiesystem. Welche Flexibilitätsoption bis 2050 wann zum Einsatz kommen kann, das hat eine Studie des Bundesverbandes Erneuerbare Energie (BEE/BET 2013) untersucht. Das Ergebnis: Bis zu einem Anteil von 47 Prozent erneuerbaren Stroms kann dieser zunächst problemlos in das bestehende deutsche Energiesystem integriert werden. Voraussichtlich erst ab

dem Jahr 2020 kommt es zu größeren Stromüberschüssen der regenerativen Anlagentechnik, die den Abruf verschiedener Flexibilitätsoptionen erfordern. Die Überschüsse können z.T. durch Lastmanagement verlagert, z. T. durch (neue) Netze abtransportiert oder notfalls auch abgeregelt werden. Ein bunter Strauß an Speichertechnologien kann die Speicherung des Stroms bis zu mehreren Wochen und Monaten ermöglichen. Der Einsatz von Langzeitspeichern wird jedoch erst bei Anteilen von regenerativem Strom in Höhe von 60 bis 80 Prozent in Deutschland nötig.

EINSATZ DER FLEXIBILITÄTSOPTIONEN

EE-Erzeugung	2010	2020	2030	2040	2050
	22 %	47 %	79 %	ca. 100 %	ca. 120 %
		DSM Industrie			
		DSM Haushalte, Gewerbe			
		Überschussstrom zu Wärme			
		Einspeisemanagement Wind & PV			
		Strombedarfsorientierter Einsatz Biogas und feste Biomasse			
		Strombedarfsorientierter Einsatz Biomethan (Einspeisung ins Erdgasnetz)			
		Nutzung bestehender Kraftwerke			
		Flexibilitätssteigerung bestehender Kraftwerke durch Retrofit			
		Neue flexible Kraftwerke			
		Stromgeführte KWK			
		Nutzung Netzersatzanlagen			
		Pumpspeicher			
		Druckluftspeicher (?)			
		Batteriespeicher			
		Power to Gas (H ₂)			
		Power to Gas (CH ₄)			

BEISPIEL ESSEN: ALUMINIUMPRODUKTION NACH WETTERLAGE - EIN INDUSTRIEKONZERN STELLT DIE WEICHEN AUF ENERGIEWENDE

Wie die Flexibilisierung der Stromnachfrage im Industriesektor gelingen kann, zeigt der Essener Aluminiumproduzent Trimet. Die Herstellung des Metalls ist sehr energieintensiv. Der Stromverbrauch der Aluhütten des Konzerns ist so hoch wie jener der Ruhrpottstädte Essen, Bochum und Dortmund zusammen. Eine konstante Energiezufuhr war seit Erfindung des Elektrolyseverfahrens zur Herstellung von Aluminium 1886 die Voraussetzung für einen erfolgreichen Produktionsprozess - bis zur deutschen Energiewende. Denn dem stromintensiven Unternehmen ist nun die Flexibilisierung des Prozesses gelungen: Bei Starkwind kann der Stromverbrauch um bis zu 25 Prozent hochgefahren, bei Flaute um 25 Prozent gedrosselt werden. Der „Aluminiumsee“ im Schmelzofen sinkt und steigt dann je nach Wetterlage, die Produktion des Metalls wird dadurch qualitativ nicht beeinträchtigt.

In der Aluminiumhütte wird also künftig nicht mehr nur das Leichtmetall hergestellt, sondern die Öfen fungieren auch als Speicher und puffern Schwankungen im Netz ab. Somit

macht sich Trimet teilweise unabhängig von teuren Strompreisen und kann zudem Regelleistung anbieten, indem es seine Last verschiebt. Nach dem erfolgreichen Abschluss einer Testphase sollen bis Ende 2017 sämtliche 120 Elektrolyseöfen der Aluminiumhütte in Essen umgerüstet werden.

120 Elektrolyseöfen des Aluminiumproduzenten Trimet werden zu einer „virtuellen Batterie“ umgerüstet.

TECHNOLOGIEN SPEICHER 65

SPEICHERTECHNOLOGIEN IM VERGLEICH

AUSSPEICHERZEIT

Quelle: Sterner (2016)

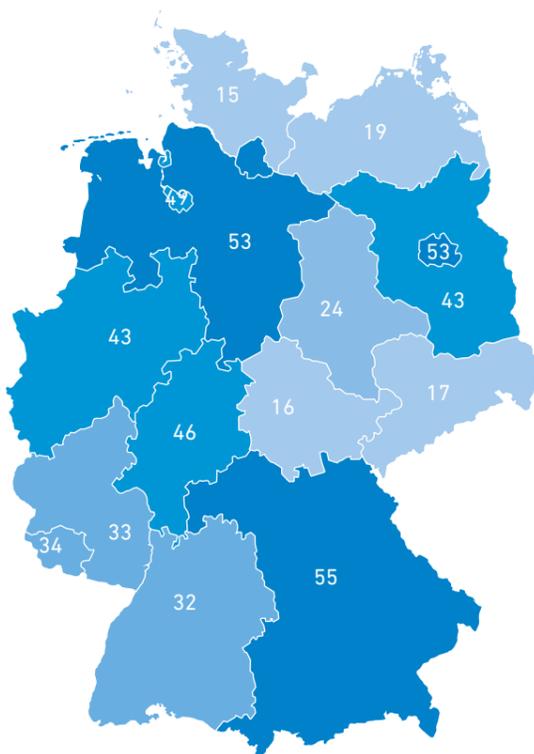
KAPAZITÄTEN VERSCHIEDENER STROMSPEICHER

SPEICHERTYP/EINSATZ	ENTLADEZEIT	SPEICHERART	MAXIMALE SPEICHERKAPAZITÄT TYPISCHER ANLAGEN UND TECHNOLOGIEN
Kurzzeitspeicher: Netzstabilisierung, Netzaufrechterhaltung	kleiner als 1 Sekunde bis wenige Minuten	Spulen SMES	5,6 kWh
		Kondensatoren/Super Caps	52 kWh
		Schwungmassespeicher	5 MWh
Langzeitspeicher: Spitzenbedarfsdeckung	1 Stunde bis ca. 1 Woche	Druckluftspeicher	2,86 GWh
		Pumpspeicher	8,48 GWh
Elektro-chemische Speicher: Reservespeicher, Elektromobilität	1 Stunde bis mehrere Tage	Lithium-Ionen-Akkus	85 kWh
		Redox-Flow-Batterien	12 MWh
		Blei-Säure-Akkus	40 MWh
Chemische Speicher	Tage bis ein Jahr	Wasserstoff	mehrere TWh
		Synthetisches Methan	mehrere TWh

Quelle: AEE (2014)

MIT KLEINEM GROSSES BEWEGEN:
BATTERIESPEICHER IM EINSATZ FÜR DIE ENERGIEWENDE

ANTEIL NEUER PV-ANLAGEN UNTER 30 KW
MIT BATTERIESPEICHERN (2015, IN PROZENT)



Insbesondere im bevölkerungs- bzw. sonnenreichen Westen und Süden kommen PV-Speicher zum Einsatz. Quelle: ISEA (2016)

ANZAHL INSTALLIERTER PV-SPEICHER
IN DEUTSCHLAND 2015



Quelle: ISEA (2016)

Ogleich erste Großbatterien der Multi-Megawattklasse bereits zur Netzentlastung und Regelenergiebereitstellung in Betrieb sind (z.B. Feldheim in Brandenburg, 10 MW Leistung, 10 MWh Kapazität), wird der Einsatz von Batterien im großen Stil erst gegen Ende der 2020er-Jahre erwartet. Bei den bis dahin prognostizierten Mengen an fluktuierender Stromspeisung können zentrale und dezentrale Batteriespeicher Pumpspeicherwerke sinnvoll ergänzen. Mittels Intelligenter Kommunikationstechnik können dann z.B. Batteriespeicher in Privathaushalten und in Elektrofahrzeugen im Lastmanagement aktiv werden und in Kombination mit PV-Anlagen einen wesentlichen Beitrag zur Energiewende leisten. Auch solche dezentralen Speichersysteme werden in dynamischem Tempo ausgebaut, wie das nachfolgende Beispiel aus Umkirch (Baden-Württemberg) zeigt.

BEISPIEL UMKIRCH:
SONNE SPEICHERN DANK
DEUTSCHEM ERFINDERGEIST

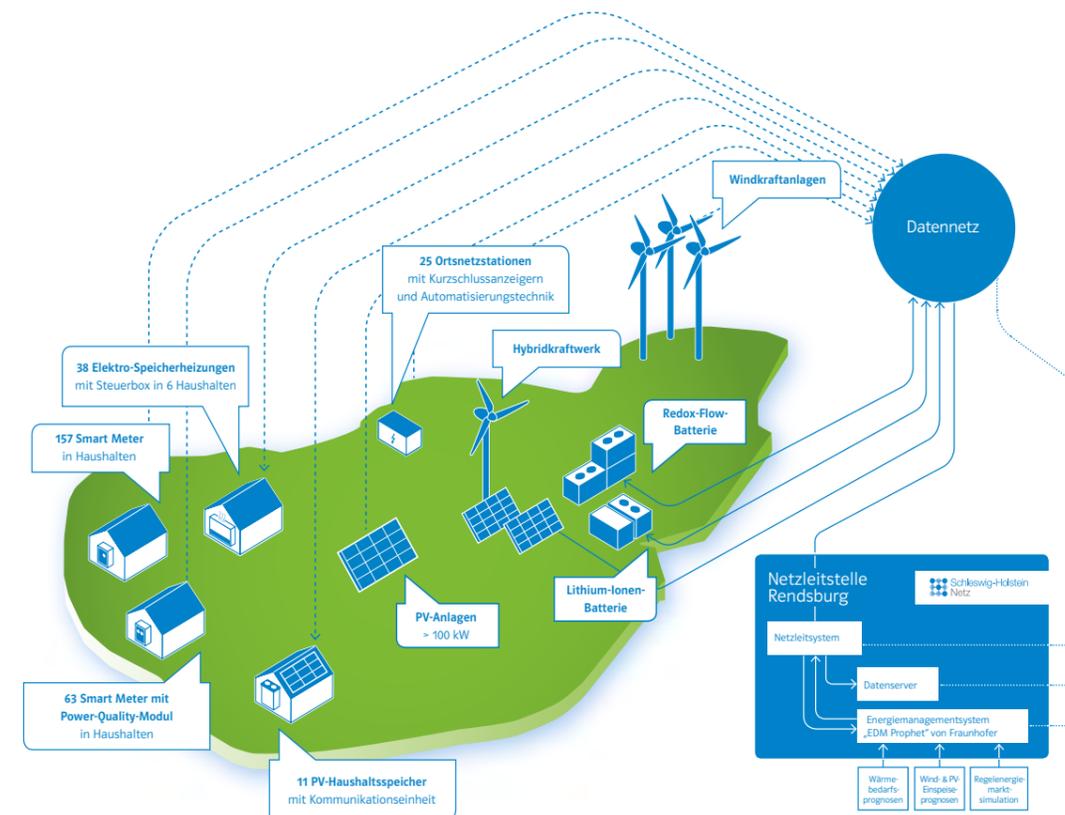
Wolfram Walter hatte vor wenigen Jahren einen Geistesblitz – genau in dem Moment als er sich über seine Photovoltaik-Anlage ärgerte. Diese funktionierte zwar einwandfrei, doch tagsüber musste Walter zu viel produzierten Solarstrom für wenig Einspeisevergütung ins Netz abgeben und nachts hingegen Strom von seinem Energieversorger hinzu kaufen. Er tüftelte an einer Lösung, um seinen Strom zu speichern. Das Ergebnis: Ein Sonnenspeicher, der tagsüber mit dem Solarstrom vom Dach eine Lithiumbatterie auflädt. Dieser kommt dann fast ohne Verlust (Wirkungsgrad: 95 Prozent) wieder zum Einsatz, wenn die Produktion der PV-Anlage nicht mehr für die Versorgung des Walter'schen Haushalts ausreicht. Doch damit nicht genug: Durch ein intelligentes Strommanagement des Sonnenspeichers wird der Eigenverbrauch maximiert und somit letztendlich auch das öffentliche Stromnetz entlastet. Für seine Erfindung hat Walter 2013 den German Renewables Award in der Kategorie Produktinnovation des Jahres erhalten. Seitdem gibt es eine sehr dynamische Entwicklung in diesem Bereich, fast jede zweite PV-Anlage unter 30 kW wird inzwischen mit Speicherbatterie gekauft. Die Politik reizt dies an (z.B. durch Speicherförderung) und die Verbraucher wünschen sich mehr Unabhängigkeit.

Walter hat indes viel zu tun und führt nun ein erfolgreiches Start-Up mit mehr als einem Dutzend Mitarbeitern – dank eines Geistesblitzes.



Um seinen Sonnenspeicher bekannt zu machen ist Wolfram Walter viel unterwegs und zwar mit seinem Elektroauto, das er mit Solarstrom betankt.

BEISPIEL NORDSTRAND:
VIRTUELLER GROSSSPEICHER VERSORGT
ENERGIEWENDE-BEGEISTERTE INSELBEWOHNER



Die Nordseeinsel Pellworm gehört zu den sonnen- und windreichsten Regionen in Deutschland. Bereits seit den 80er Jahren gibt es hier Windenergieanlagen und stetig verbesserte Solarmodule. Inzwischen erzeugen sie insgesamt 20 Mio. kWh Strom pro Jahr. Das ist weit mehr als die rund 1.000 Inselbewohner verbrauchen. Trotzdem gibt es auch Zeiten, in denen Strom vom Festland importiert werden muss.

Wie bereits vor rund 35 Jahren zeigt Pellworm nun mit dem vom BMWi geförderten Projekt „Smart Region Pellworm“ innovative Wege für die Energiewende auf: Eine Kombination von unterschiedlichen Speichertypen (ein so genannter hybrider Speicher) in Verbindung mit einem Smart Grid dient dazu, Stromerzeugung und -verbrauch besser in Einklang zu bringen. Ist das Netz z.B. bei Starkwind zu sehr ausgelastet, kann diese Spitzenerzeugung gespeichert und somit das Netz entlastet werden. Vorteil des hybriden Speicherkonzepts ist, dass sich die verschiedenen Speichertechnologien sinnvoll ergänzen. Eine Lithium-Ionen Batterie, die sich mit ihrem hohen Verhältnis von Leistung zu Kapazität besonders gut für die Bereit-

stellung von Regelenergie eignet, wird ergänzt durch eine Redox-Flow-Batterie. Neben einem nahezu verschleißfreien Betrieb bieten Redox-Flow-Batterien den Vorteil, dass sie sich faktisch nicht entladen und deshalb hervorragend als Langzeitspeicher dienen. Hinzu kommen 38 Elektro-speicherheizungen, die bereits in den Haushalten genutzt wurden. Ebenfalls als flexible Last wurden bei elf Haushalten PV-Haushaltsspeicher (Lithium-Ionen-Batterien) installiert. Alle Komponenten sind mit Intelligenter Kommunikationstechnik ausgestattet, um die Energieflüsse optimal zu steuern sowie Erzeugung und Verbrauch besser aufeinander abzustimmen. Die Smart Region Pellworm zeigt im Ergebnis: Die Technik der Energiezukunft ist bereits funktionstüchtig und marktreif, wenngleich auch noch nicht wirtschaftlich.

Das Erreichen einer komplett energieautarken Insel war nicht Ziel des Projektes. Dies hätte eine etwa doppelt so große Speicherkapazität erfordert, um auch die letzte Lastspitze von 2,5 Prozent jederzeit decken zu können. Vielmehr wird nun erwartet, dass die Idee des intelligenten hybriden Speicherkonzepts aufs Festland exportiert wird.

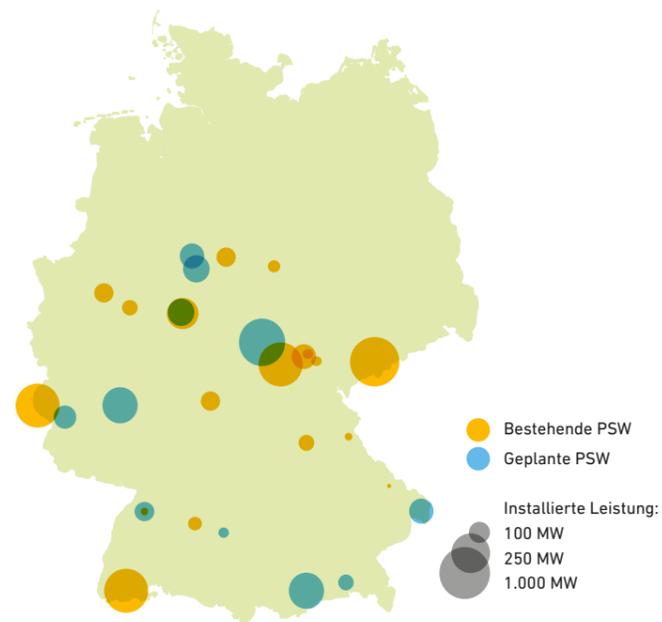
Stromnetz auf Pellworm	
Netzanbindung	2 Seekabel à 20 kV
Ortsnetzstationen	über 50
Stromverbrauch	rund 7 GWh/a
Stromerzeugung	rund 20 GWh/a

Geografie auf Pellworm	
Fläche	37,44 km²
Einwohner	ca. 1.000
Haushalte	ca. 560
Wirtschaft	Tourismus Landwirtschaft

PUMPSPEICHERKRAFTWERKE: ETABLIERTE TECHNOLOGIE BIETET NEUER ENERGIE SPEICHERPLATZ

Die Technologie der Pumpspeicherkraftwerke ist seit mehr als 100 Jahren im Einsatz, technisch ausgereift, vergleichsweise kostengünstig und effizient. Neue Pumpspeicherkraftwerke weisen einen Wirkungsgrad von 75 bis 80 Prozent auf. Die Selbstentladungsrate (Verdunstungen und Versickerung des Wassers) ist sehr gering. Außerdem weist die Technologie eine unbegrenzte Anzahl an Zyklen und eine lange Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten auf. Pumpspeicherwerke stellen Spitzenlaststrom bereit (Lastglättung), sorgen für den Ausgleich von unerwarteten Schwankungen im Stromverbrauch, stellen Systemdienstleistungen bereit und verringern so den Bedarf an fossilen Kraftwerkskapazitäten. In Deutschland gibt es 31 Pumpspeicherkraftwerke (Stand 2013) mit einer Leistung von insgesamt 9.240 MW in Betrieb. Das Ausbaupotenzial in Deutschland gilt allerdings wegen der geografischen Bedingungen und Naturschutzrestriktionen als begrenzt. Die (weitere) Erschließung skandinavischer und alpenländischer Speicherkapazitäten als Ausgleichsoption wird deshalb in vielen Forschungsstudien für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende in Deutschland angedacht.

PUMPSPEICHERKRAFTWERKE (PSW) IN DEUTSCHLAND



Quelle: FFE (2016; Stand 2013)



BEISPIEL GOLDISTHAL: DAS GRÖßTE DEUTSCHE PUMPSPEICHERKRAFTWERK

Eines der leistungsstärksten Pumpspeicherkraftwerke Europas befindet sich in Goldisthal (Thüringen). Es wurde 2003 in Betrieb genommen. Seine Leistung entspricht mit rund einem Gigawatt derjenigen eines typischen Atomkraftwerks. Diese

Leistung kann acht Stunden lang abgerufen werden, dank des 12 Millionen Kubikmeter Wasser fassenden Oberbeckens. Dies würde ausreichen, um das ganze Bundesland Thüringen acht Stunden lang komplett mit Strom zu versorgen.



BEISPIEL GAILDORF: PUMPSPEICHERTECHNOLOGIE 2.0 - DAS OBERBECKEN INS FUNDAMENT DER WINDMÜHLE INTEGRIEREN

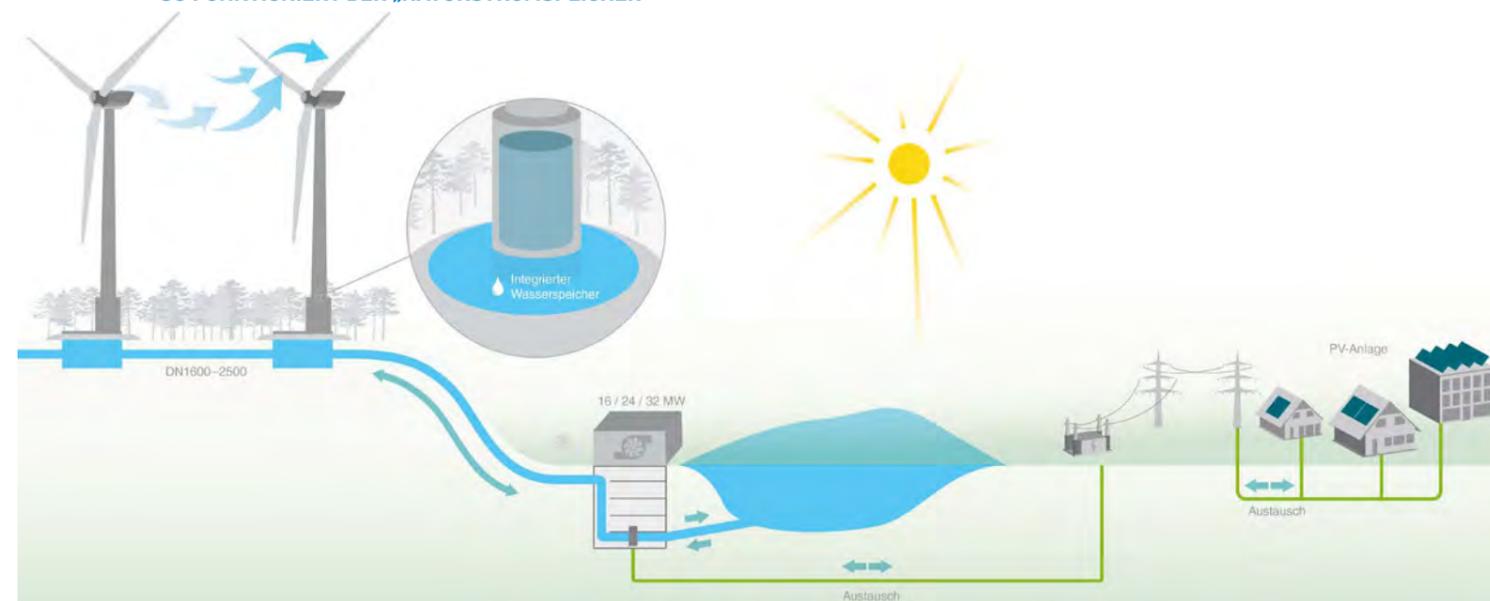


Eine Fotomontage zeigt, wie das Pilotprojekt Gaildorf nach Fertigstellung aussehen wird.

Dass selbst eine 100-jährige Technologie noch Innovationspotenzial hat, zeigt das Pilotprojekt „Naturstromspeicher“ in Gaildorf (Baden-Württemberg). Vier Windräder mit einer Leistung von jeweils 3,4 MW werden auf dem Höhenzug der Limburger Berge gebaut. Das Besondere: In ihren Fundamenten befinden sich Wasserspeicher, die mit einem 200 Meter tiefer gelegenen Pumpspeicherkraftwerk (16 MW) und einem noch anzulegenden Unterbecken verbunden sind. Bei niedrigen Strompreisen und einer geringen Stromnachfrage pumpt das Wasserwerk Wasser in die Fundamente der Windenergieanlage, wo es für eine spätere Nutzung gespeichert wird. Bei hohen Strompreisen und Spitzenbedarf fließt das Wasser nach unten und treibt dabei Turbinen an, die wiederum für Strom sorgen.

Mit der maximalen gespeicherten Wassermenge können 70.000 kWh Strom erzeugt und innerhalb von vier Stunden abgerufen werden. Nur 30 Sekunden dauert es, um das Kraftwerk hochzufahren. Die integrierten Wasserspeicher bieten den Windenergiebetreibern somit hervorragende Voraussetzungen sowohl für das Ausbalancieren der schwankenden Windenergieproduktion als auch für eine Teilnahme am Regelenergiemarkt. Diese wirtschaftlichen Vorteile gehen einher mit der Entlastung des Stromnetzes. Der Bau des vom Bundesumweltministerium geförderten Energiewendeprojekts hat im Oktober 2016 begonnen. Die Windenergieanlagen sollen 2017 fertiggestellt sein, der Pumpspeicher voraussichtlich Ende 2018.

SO FUNKTIONIERT DER „NATURSTROMSPEICHER“



Quelle: Naturspeicher GmbH

MIT „POWER-TO-X“ UNTERSTÜTZT ERNEUERBARER STROM DIE ENERGIEWENDE IM WÄRME- UND VERKEHRSBEREICH

Ein vergleichsweise neues Energiespeicherkonzept ist die Umwandlung von Strom zu Wasserstoff (H₂) bzw. Methan (CH₄), die so genannte „Power to Gas“- Technologie. Die so gewonnenen Gase können entweder direkt verbraucht werden (z.B. für Anwendungen in der chemischen Industrie) oder für eine spätere energetische Nutzung im Gasnetz gespeichert werden. Idealerweise stammt dann der Strom aus Erneuerbaren Energien.

Interessant ist die PtG-Technologie insbesondere wegen der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten. So kann der Energieträger nicht nur wieder im Strombereich zum Einsatz kommen, sondern auch in den Sektoren Wärme („Power to Heat“) und Verkehr („Power to Fuel“), die noch stark von fossilen Energieträgern abhängen. Wegen der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten des erneuerbaren Stroms spricht man in diesem Zusammenhang auch von „Power to X“ bzw. von Sektoren-

kopplung. Diese viel versprechenden Technologien werden ab dem Jahr 2030/40 insbesondere für eine saisonale Speicherung großer EE-Strommengen nötig sein.

Sowohl Wirtschaft und Forschung als auch die Politik sehen das große Potenzial der PtG-Technologie für die Umsetzung der Energiewende. Einige Automobilhersteller haben bereits Pilotprojekte gestartet. Bund und Länder unterstützen mit Fördergeldern verschiedene Forschungs- und Entwicklungsprojekte.

In Deutschland gibt es derzeit mehr als 20 Forschungs-, Demonstrations- und Pilotprojekte der PtG-Technologie, die unterschiedliche Schwerpunkte haben, aber das gleiche Ziel: Die Technologie zu erproben, Standardisierung zu erreichen, die Kostensenkungen und zukünftige Herausforderungen zu identifizieren.



Quelle: greenfacts/DVGW; Stand: Oktober 2015

WIE FUNKTIONIERT POWER-TO-GAS?

ÜBERANGEBOT

Mit dem zunehmenden Ausbau von Windkraft und Photovoltaik kann zukünftig an sehr windigen und sonnigen Tagen das Überangebot an Solar- und Windstrom nicht mehr vollständig durch Flexibilitätsoptionen wie intelligente Stromnetze (Smart Grids) oder den überregionalen Stromaustausch ausgeglichen werden.



STROM

ELEKTROLYSE

Der überschüssige Strom aus Erneuerbaren Energien wird der Elektrolyse zugeführt, wo **Wasser mit elektrischer Energie in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten wird**. Auf diese Weise wird ein Teil der elektrischen Energie chemisch im Wasserstoffgas gespeichert.

WASSERSTOFF

METHANISIERUNG

Bei der Methanisierung wird der elektrolytisch hergestellte Wasserstoff zusätzlich „veredelt“. Dabei wird er mit Kohlenstoffdioxid (CO₂) zur Reaktion gebracht, wobei Methan entsteht: der Hauptbestandteil von fossilem Erdgas. Methan kann im Verhältnis zu Wasserstoff einfacher gespeichert und transportiert werden.

WASSERSTOFF

WASSERSTOFFSPEICHER

Wasserstoffgas muss unter hohem Druck, flüssiger Wasserstoff bei sehr niedriger Temperatur (-253 °C) gespeichert werden, was einen relativ hohen Material- und Energieaufwand bedeutet.

METHAN

GASNETZ

Wasserstoff kann bis zu einem gewissen Anteil (ca. 5 Prozent) ins bestehende Erdgasnetz eingespeist werden, Methan sogar uneingeschränkt. So besteht Anschluss an den größten heute verfügbaren Energiespeicher. Denn das Speichervermögen des deutschen Erdgasnetzes mit seinen Rohrleitungen, Tanks und unterirdischen Kavernen wird auf etwa 200 Milliarden Kilowattstunden geschätzt, was etwa dem deutschlandweiten Stromverbrauch von vier Monaten entspricht.

WASSERSTOFF/METHAN

STROM UND WÄRME

Sowohl Wasserstoff als auch Methan können in **Blockheizkraftwerken (BHKW)** verbrannt werden, ans Gasnetz sind außerdem hochflexible Gas(heiz-)kraftwerke angeschlossen. So kann der gespeicherte Strom bei Bedarf sowohl in Strom zurückverwandelt als auch für die Wärmeversorgung genutzt werden.



KRAFTSTOFF

Wasserstoff und Methan können in **Wasserstoff- oder Gastankstellen** verteilt und als Kraftstoff für entsprechend ausgestattete Verbrennungsmotoren in Fahrzeugen eingesetzt werden. Außerdem dient Wasserstoff als Energiequelle für Elektroautos mit **Brennstoffzelle**.



STROM

WÄRME

MOBILITÄT

INDUSTRIE

Der Industriesektor ist mit 33 Prozent (2015) der größte CO₂-Emittent in Deutschland. Allein bei der Produktion von Rohstahl werden rund 50 Mio. Tonnen CO₂ ausgestoßen. Das EU-geförderte Projekt Green Industrial Hydrogen, bei dem acht Partner aus Deutschland, Italien, Spanien, Finnland und Tschechien mitwirken, will Industrieprozesse klimaschonender gestalten. Der Schlüssel hierfür: ein Hochtemperatur-Elektrolyseverfahren des Projektpartners sunfire GmbH (s. S. 75). Zum einen können Industriebetriebe mit diesem Verfahren durch Wärmerückgewinnung ihre Effizienz steigern. Zum anderen kann der für Industrieprozesse wichtige Rohstoff „Wasser-



stoff“ mit Erneuerbaren Energien klimaschonend bereitgestellt werden, zum Beispiel für den:

- **Chemiesektor:** Wasserstoff bildet das wichtigste Molekül bei der Produktion von Ammoniak, Methanol und Produkten auf Basis von Petroleum
- **Stahlsektor:** Wasserstoff stellt im Prozess eine sichere Atmosphäre her, schließt Sauerstoff aus und verhindert so eine Oxidation des Stahls während des Glühprozesses
- **Stromsektor:** Wasserstoff wird zur Kühlung großer Generatoren eingesetzt

STROMÜBERSCHUSS

POWER-TO-GAS

SPEICHERUNG

GASNUTZUNG



TREIBSTOFF DER ZUKUNFT

VERKEHRSWENDE

Im Energiemix hat der Verkehrssektor einen hohen Stellenwert. Rund 30 Prozent des Endenergiebedarfs entfallen in Deutschland auf die Mobilität. Die Erneuerbaren hinken allerdings hinterher. Sie steuern nur gut 5 Prozent zum Energieverbrauch im Transportsektor Deutschlands und der EU bei.

Gleichzeitig fehlt es an einer Verkehrsverlagerung auf die Schiene – der effizientesten Form der Elektromobilität. Das deutsche Autobahnnetz wuchs in den vergangenen fünfzehn Jahren um mehr als 10 Prozent auf knapp 13.000 km. Die Länge des Schienennetzes hingegen erhöhte sich lediglich um 6 Prozent auf knapp 39.000 km.

Der vom Straßenverkehr dominierte Transportsektor ist daher eine der größten Quellen für den Ausstoß von Treibhausgasen. Lösungen stehen bereit, haben es aber schwer: Für den Einsatz von Biokraftstoffen aus Anbaubiomasse gilt in der EU eine Obergrenze von sieben Prozent am Kraftstoffmix, die nach dem Willen der EU-Kommission sogar noch sinken soll. Alternativen im Personenverkehr auf der Straße wie Elektromobilität auf Basis Erneuerbarer Energien sind erst langsam im Kommen. Doch die Autobauer haben ihre Aktivitäten verstärkt. Neue E-Serienmodelle wie der Opel Ampera-e bringen größere Reichweite. Eine Kaufprämie für die Stromer auf der Straße schafft zusätzliche Anreize. Und die Infrastruktur mit Ladesäulen wird zusehends ausgebaut, auch durch staatliche Förderung.

Mit dem Ausbau der E-Mobilität und dem zunehmendem Strombedarf der Elektroflotten gewinnt die Sektorenkopplung an Bedeutung: Die Verzahnung von Strom- und Transportsektor schafft auf Sicht eine erhöhte Stromnachfrage und bietet Chancen, Angebot und Nachfrage an den Strommärkten besser aufeinander abzustimmen.

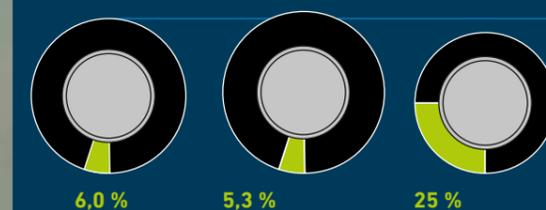
Das gilt auch für die noch in den Kinderschuhen steckende Wasserstoff-Mobilität. Auch sie soll künftig auf besonders günstigen Strom aus Erneuerbaren Energien zurückgreifen können, der z. B. bei hohen Windstärken zur Verfügung steht. Allerdings benötigt die Wasserstoff-Mobilität ebenfalls eine eigene Infrastruktur. Immerhin waren in Deutschland Ende 2016 zwei Pkw, der Toyota Mirai und der Hyundai ix 35 Fuel Cell in Serie erhältlich. Mehr als 30 Wasserstoff-Tankstellen sind in Betrieb. Bis Ende 2018 soll mit rund 100 Wasserstoff-Tankstellen in Großstädten und an Autobahnen eine Basis-Infrastruktur verfügbar sein. Auch in anderen Ländern Mitteleuropas laufen Arbeiten zum Aufbau einer tragfähigen Infrastruktur für Wasserstoff-Mobilität.

Unterstützt wird der technologische Fortschritt von Forschungsförderungsmaßnahmen der Bundesregierung. Sowohl im Förderschwerpunkt „Elektromobilität in Modellregionen“ als auch im Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NIP) arbeiten Akteure aus Wissenschaft und Industrie daran, marktfähige Produkte zu entwickeln und in der Praxis zu testen. Mehr als 300 Projekte, verteilt auf die ganze Republik, wurden und werden mit Forschungsgeldern gefördert.

Während an den technischen Optionen weiter gefeilt wird, fußt der Strommix – trotz aller Fortschritte – zum größten Teil noch auf konventionellen Energien. Ziel der Bundesregierung ist es, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf die Straße zu bringen. Legt man den heutigen deutschen Strommix mit seinem durchschnittlichen CO₂ Emissionsfaktor beim Inlandsverbrauch von rund 600 Gramm pro Kilowattstunde zugrunde, so stößt ein E-Pkw rd. 120 g CO₂ pro Kilometer aus – etwa so viel wie ein mit fossilem Kraftstoff betankter Kleinwagen. Wächst die Nachfrage nach E-Autos und Wasserstoff-Pkw im erhofften Umfang, muss sich also auch das Wachstum der Erneuerbaren am Strommarkt beschleunigen. Sonst werden immer mehr Elektromobile mit Kohle- und Atomstrom unterwegs sein. Dies zeigt die Dringlichkeit, den Strommix weiter zu dekarbonisieren – sonst verpufft der Einsatz für die E-Mobilität aus Sicht des Klimaschutzes.

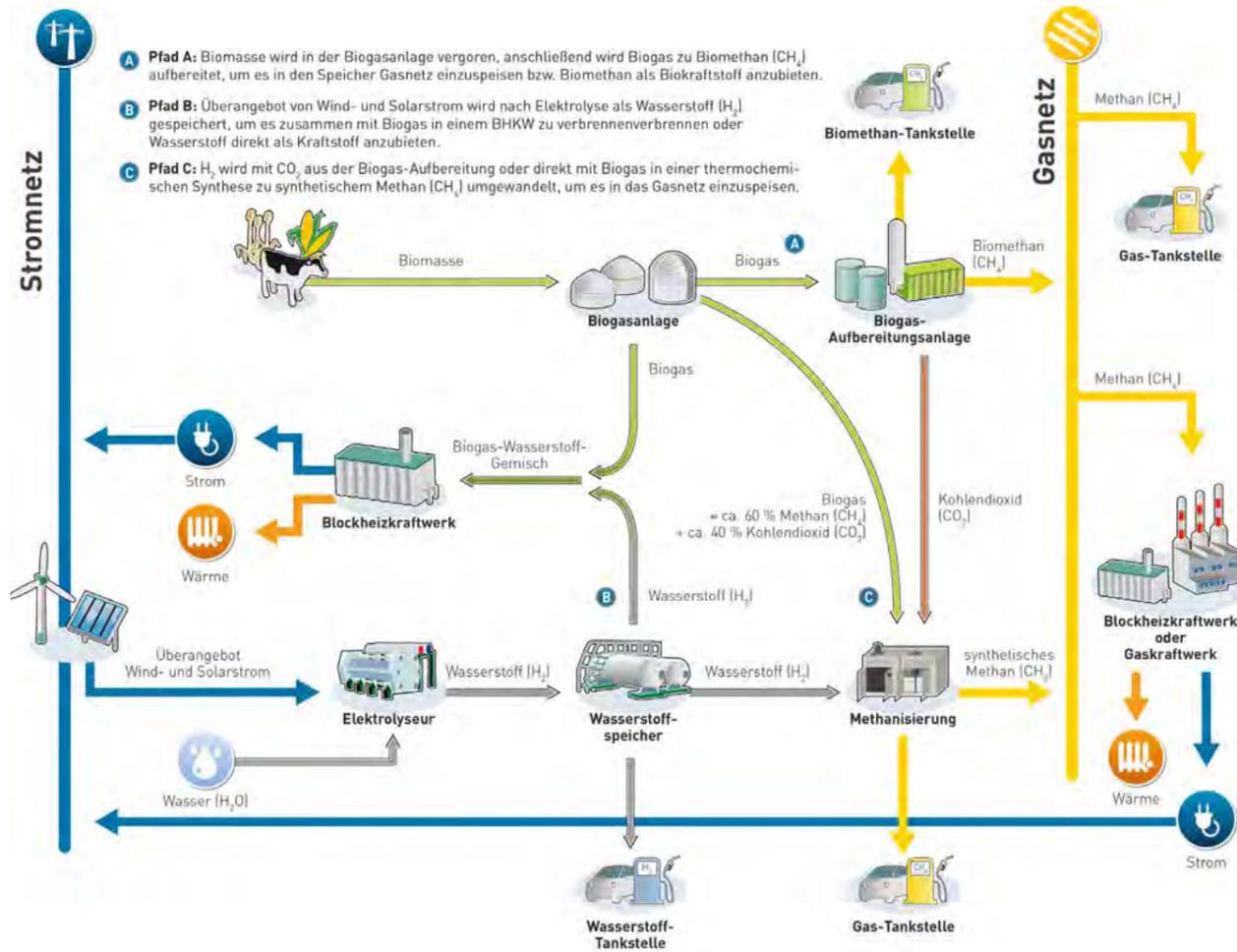
ENERGIEVERBRAUCH IM VERKEHRSEKTOR

Jahr	2008	2015	2030
Energieverbrauch	619 Mrd. kWh	635 Mrd. kWh (+ 2,5 %)	573 Mrd. kWh (-7,4 %)



ANTEIL ERNEUERBARER ENERGIEN IM VERKEHRSEKTOR

VERKNÜPFUNG VON ERNEUERBAREM STROMSEKTOR UND VERKEHRSSSEKTOR



BEISPIEL PRENZLAU: PKW-FLOTTE KLIMANEUTRAL AUF DIE STRASSE SCHICKEN – MIT INNOVATIONEN „MADE IN GERMANY“



2011 ging das erste Hybridkraftwerk weltweit nahe Prenzlau (Bundesland Brandenburg) in Betrieb. Das „Kraftwerk Uckermark“ der Firma Enertrag erzeugt seitdem mithilfe von Windstrom klimaneutralen Wasserstoff. Herzstück der Anlage ist ein 50-kW-Druck-Elektrolyseur, der über ein Mittelspannungskabel direkt mit drei 2-MW-Windenergieanlagen verbunden ist. Dabei dient der Elektrolyseur quasi als Energieregler: Bei einem Überangebot von Windstrom in der Region wird dieser für den Elektrolyseprozess genutzt. Der dabei erzeugte Wasserstoff wird dann in drei Druckbehältern mit einem Fassungsvermögen von insgesamt 1.350 kg gespeichert und als Kraftstoff an Wasserstofftankstellen geliefert.

Erzeugen die Windenergieanlagen hingegen nicht genug Strom, kann der gespeicherte Wasserstoff mit Biogas vermischt in einem Blockheizkraftwerk genutzt werden. Dabei wird nicht nur Strom erzeugt, sondern auch Wärme. Diese wird in das Nahwärmenetz der Stadt Prenzlau eingespeist und versorgt rund 80 Einfamilienhäuser.



BEISPIEL DRESDEN: POWER-TO-LIQUID – DIE REVOLUTION DER KRAFTSTOFFHERSTELLUNG



Das Dresdner Energietechnikunternehmen sunfire GmbH hat in seiner Power-to-Liquid-(PtL) Demonstrationsanlage im März 2015 erstmals synthetischen Kraftstoff aus Wasser und CO₂ produziert.

Für die Produktion des flüssigen Energieträgers setzt sunfire Ökostrom, Wasser und Kohlendioxid ein, das unmittelbar aus der Umgebungsluft gewonnen wird. Herzstück der Demonstrationsanlage ist die Hochtempera-



Ingenieure der sunfire GmbH zapfen die ersten glasklaren Liter des „Blue Crude“.

tur-Elektrolyse, in der das zu Dampf erhitzte Wasser in seine Bestandteile gespalten wird: Sauerstoff und Wasserstoff. Letzterer reagiert anschließend mit CO₂ zu einem Synthesegas, das in Kohlenwasserstoffe umgewandelt wird. Aus dem dabei entstehenden Rohprodukt (das so genannte „Blue Crude“) kann mittels einer Standard-Raffination Kerosin, Diesel, Benzin und andere petrochemische Produkte gewonnen werden.

Da für die Dampferzeugung Abwärme aus dem Prozess genutzt wird, ist die Herstellung mit einem Systemwirkungsgrad von 70 Prozent besonders effizient.

Die so genannten PtL-Kraftstoffe sind klimafreundlich und ressourcenschonend und können zukünftig einen wichtigen Beitrag leisten, die Treibhausmissionen im Verkehrssektor zu reduzieren. Doch das innovative Verfahren hat noch einen weiteren Vorteil: Mit seiner Hilfe kann Wasserstoff erzeugt werden (siehe: Infokasten), aber auch umgekehrt („reversibel“) mit einer Brennstoffzelle Strom und Wärme produziert werden. So können z.B. erneuerbare Brenn- und Kraftstoffe genutzt werden, um Strom flexibel für das öffentliche Stromnetz bereitzustellen.

Das Forschungsprojekt wird mit 6,4 Mio. Euro vom Bundesforschungsministerium unterstützt.

BEISPIEL ALLENDORF: MILLIONEN KLEINER HELFER IM EINSATZ FÜR DIE VERKEHRSWENDE



Drei Container und eine Biomethananlage bilden die Power-to-Gas-Anlage in Allendorf (Hessen), die seit 2015 ins Gasnetz einspeist. Während in bisherigen Power-to-Gas-Projekten (siehe S. 70) die Methanisierung auf chemisch-katalytischem Weg erfolgte, hat MicroEnergy, ein Unternehmen der Viessmann Group, ein biologisches Verfahren entwickelt. Dabei werden das in einer Biogasanlage anfallende CO₂ und extern zugegebener Wasserstoff in Methan umgewandelt, das chemisch mit Erdgas identisch ist. Diese Methanisierung „erledigen“ Millionen hochspezialisierte Mikroorganismen: Sie nehmen den in Flüssigkeit gelösten Wasserstoff und das CO₂ durch ihre Zellwand auf und „verdauen“ beides zu Methan – übrig bleibt bei diesem Prozess lediglich noch Wasser.

Die Millionen kleiner Helfer erhalten die Energie, die sie selbst zum Überleben brauchen, durch den Umwandlungsprozess von Wasserstoff und CO₂. Durch die Kopplung des Verfahrens mit vorhandenen Biogas- und Klärgasanlagen als CO₂-Quelle können die Investitionskosten für Power-to-Gas-Anlagen deutlich gesenkt werden, da an den Standorten Transformatoren, Strom- und Gasnetzanschlüsse oftmals bereits vorhanden sind. So kann das innovative und vielfach ausgezeichnete biologische Umwandlungsverfahren zur Dekarbonisierung des bestehenden Erdgasnetzes sowie der Energiewende im Mobilitätssektor beitragen.



Die Biomethananlage in Allendorf setzt innovative Maßstäbe.

BEISPIEL KIRCHAMPER: NACHHALTIGE LANDWIRTSCHAFT MIT NACHHALTIGEM KRAFTSTOFF



Mit finanzieller Unterstützung durch das bayerische Förderprogramm RapsTrak200 hat Landwirt Johann Felsl einen neuen pflanzenölauglichen Traktor gekauft und betankt diesen mit regionalem Rapsölkraftstoff. Ziel des Förderprogramms ist es, den Einsatz von heimischen Rapsöl- bzw. von Pflanzenölkraftstoffen in modernen landwirtschaftlichen Traktoren zu steigern und so die Markteinführung dieser klimaschonenden Technik zu unterstützen.

Felsl nutzt den pflanzenölauglichen Schlepper auf seinem 92 Hektar großen Hof im bayerischen Kirchamper, den er gemeinsam mit seiner Tochter Theresia bewirtschaftet, für vielfältige Arbeiten: Zum Säen von Weizen, Gerste, Raps und Mais, zum Boden bearbeiten, zum Gras mähen, für die Ernte oder für Heu-, Strohh- und Transportarbeiten. Der Traktor der Marke „John Deere“ war bereits 915 Stunden mit Rapsölkraftstoff im Einsatz - zur vollsten Zufriedenheit des 60-jährigen Landwirts.

Mit einer eigenen Rapsöl-Tankstelle, einer Solarstromanlage auf dem Dach und direkt vermarkteten Produkten vom Hof lebt Felsl Nachhaltigkeit vor und gibt so ein gutes Beispiel mit Nachahmungspotenzial für ganz Deutschland.



Nachhaltige Landwirtschaft: Der Traktor von Landwirt Johann Felsl fährt mit Rapsöl.

BEISPIEL OSTDEUTSCHLAND: BIORAFFINERIEN - INNOVATIVE TECHNOLOGIEN FÜR FORTSCHRITTLICHE MOBILITÄT



Moderne Biokraftstoffproduktion hat mehrere Standbeine: Bei der Herstellung von Biodiesel entsteht in der Ölmühle neben dem Pflanzenöl auch wertvolles Rapsschrot als Eiweißfuttermittel sowie Glycerin für die Pharmaindustrie. Weitere Innovationen wurden entwickelt: So bietet die VERBIO AG auch pflanzliche Cholesterinsenker an - eben-

falls ein Ko-Produkt der Biodieselerzeugung. An Standorten in Brandenburg und Sachsen-Anhalt produziert das Unternehmen weitere hochwertige Produkte: Aus Energiegetreide - meist Roggen aus der Region - erzeugt das Unternehmen Bioethanol für Ottomotoren. Nach der Vergärung und Destillation des Energiegetreides zu Kraftstoff verbleiben Gärrückstände, die so genannte Schlempe. Diese nutzt VERBIO zur Produktion von Futtermitteln oder Biogas. Als Biomethan wird dieses Gas wiederum als Kraftstoff genutzt - z.B. in der mehr als 100 Fahrzeuge starken Busflotte der Stadtwerke Augsburg. Die Gärreste aus der Biogasanlage schließlich werden als Dünger auf den Feldern genutzt.

Damit nicht genug: Neben dem Getreidekorn nutzt VERBIO auch das Stroh. Seit Oktober 2014 wird in Schwedt/Oder Biomethan aus 100 Prozent Stroh produziert. Durch das innovative, von der EU geförderte Projekt, soll in Schwedt nun gezeigt werden, wie das Ganze im großen Stil funktioniert: Bis 2019 wird die Kapazität der bestehenden Anlage auf 16,5 Megawatt ausgebaut, das entspricht einer Jahresproduktion von ca. 136 Millionen Kilowattstunden. Großes Potenzial für die energetische Strohnutzung besteht bundesweit.

Die Beispiele Rapsschrot, Ethanol-schlempe und Stroh zeigen: Biodiesel-, Bioethanol- und Biogasanlagen können als Teil einer sinnvollen Kreislaufwirtschaft den Anspruch erfüllen, als Bioraffinerien nachhaltig klimafreundliche, heimische Energie sowie weitere wertvolle Produkte bereitzustellen.



Mitarbeiter kontrollieren die Veresterungsreaktoren, die zur Biodieselproduktion eingesetzt werden.

MIT EFFIZIENZ VORAN

Für die Dekarbonisierung des Verkehrssektors sind zum einen neuen Antriebstechniken notwendig, die als Treibstoff Erneuerbare Energien nutzen. Zum anderen gilt es, wo immer möglich bestehende Effizienzpotenziale zu erschließen. So können beispielsweise durch Leichtbau im Automobilsektor nicht nur während der Produktion Ressourcen und Energie eingespart werden, sondern auch bei der Nutzung der Kraftstoffverbrauch und somit der CO₂-Ausstoß reduziert werden.

Auch eine verbesserte Aerodynamik trägt dazu bei, die Effizienz im Straßenverkehr zu erhöhen. Großes Potenzial bieten hierfür LKW: Sofern alle aerodynamischen Optimierungsmöglichkeiten an Zugmaschine und Auflieger erschlossen werden, reduziert sich der Luftwiderstand beim Fahren um rund 20 Prozent. Der Verbrauch des Fahrzeugs kann so um rund drei Liter pro 100 km gesenkt werden.

Eine weitere Innovation in der Konstruktionsweise sind Lang-LKW, so genannte EuroCombi. Feldversuche haben gezeigt, dass zwei EuroCombis die Ladung von drei herkömmlichen Lkw transportieren können. Das Ergebnis: Pro transportierter Tonne werden 15 bis 30 Prozent weniger Kraftstoff verbraucht. Gleichzeitig wird das Verkehrsaufkommen reduziert. Allerdings sind die Lang-LKW nicht unumstritten. Ein Kritikpunkt ist die unzureichende Auslegung der Landstraßen für diese Schwertransporter.

Einfach zu heben sind Einsparpotenziale die sich aus einer verbesserten Fahrweise ergeben: Immerhin um rund fünf Prozent kann der Kraftstoffverbrauch eines Brumms gesenkt werden, wenn der Fahrer ein Fahrertraining absolviert hat. Für die Verkehrswende gilt es, all diese Effizienzpotenziale zu erschließen - und den unvermeidlichen Restbedarf an Treibstoffen aus erneuerbaren Quellen zu decken.

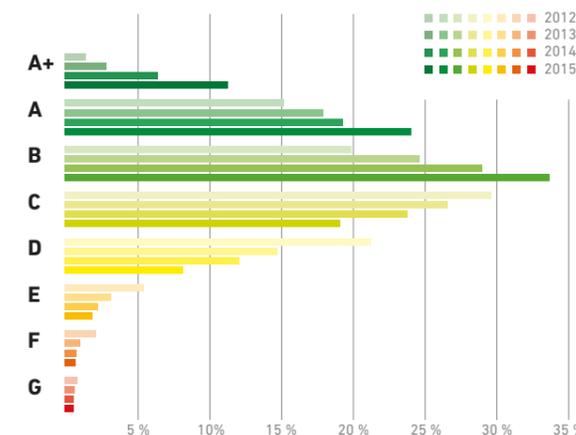


Eine aerodynamisch optimierte Bauweise erschließt Effizienzpotenziale bei der Verkehrswende.

EFFIZIENZ SICHTBAR MACHEN

Beim Kauf eines Neuwagens steht neben Modell, Preis und Verbrauch längst auch der Schadstoffausstoß eines PKWs im Fokus des Interesses. Schließlich ist neben einer Sensibilisierung der Kunden für das Thema Klimaschutz auch die KfZ-Steuer vom CO₂-Ausstoß des PKWs abhängig. Bereits seit 2004 müssen Hersteller und Händler gemäß einer EU-Richtlinie bei Neuwagen sowohl in der Werbung als auch am Fahrzeug Angaben zu Verbrauch und CO₂-Emissionen machen. Mit einer Verordnung zur Kennzeichnung des Energieverbrauchs von PKW ist die Bundesregierung Ende 2011 noch einen Schritt weiter gegangen: Demnach müssen neue PKWs beim Verkauf oder Leasing mit einem standardisierten CO₂-Label gekennzeichnet werden. Das PKW-Label ähnelt den bekannten Effizienz-Labels, beispielsweise für Haushaltsgeräte. Die Fahrzeuge werden also in Effizienzklassen von A+ bis G eingeteilt, Verbraucher können so die Fahrzeuge besser vergleichen. Durch diese Transparenzmaßnahme sollen der Kauf und die Produktion von energieeffizienten Autos gefördert werden.

ENTWICKLUNG DER PKW-NEUZULASSUNGEN NACH CO₂-EFFIZIENZKLASSEN



Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt, Neuzulassungen (FZ): Neuzulassungen von Fahrzeugen nach Umweltmerkmalen, Jahr 2012–2015 (FZ14), Flensburg; Darstellung der Deutschen Energie-Agentur (dena).

GUTE ALTERNATIVEN FÜR DEN GÜTERVERKEHR



Der Elektro-LKW sorgt für schadstofffreien Güterverkehr in der Hauptstadt.

ELEKTRO-LKW IN BERLIN:
BRUMMIS BRUMMEN NICHT MEHR

Seit dem Jahr 2000 ist der Güterverkehr auf Deutschlands Straßen um etwa 31 Prozent gestiegen. Fast alle Waren, die in Geschäften oder im Internet gekauft werden, werden mit dem LKW transportiert. Im Jahr 2013 verursachten diese LKW-Transporte rund 38,7 Mio. Tonnen CO₂-Emissionen. Ein Konzept zur Reduzierung der Umweltbelastung durch den Warentransport auf der Straße verfolgt die Firma E-Force. Diese hat konventionelle 18 Tonnen LKW mit einem Elektroantrieb ausgestattet. In Berlin sind zwei dieser Elektro-LKW seit dem Jahr 2014 im städtischen Logistikbetrieb erfolgreich im Einsatz. Die im Vergleich zu herkömmlichen Modellen geringere Reichweite spielt im städtischen Einsatz keine besonders große Rolle, wodurch der Elektroantrieb alle seine Stärken optimal ausspielen kann. Dazu gehören neben den geringeren Betriebskosten auch die verminderte Lärmbelastigung.

SO FUNKTIONIERT EIN ELEKTROAUTO



Das E-Ship 1 der Enercon GmbH transportiert Windenergieanlagen mit Unterstützung des Windes auf hoher See.

WINDKRAFT AUF HOHER SEE
FÜR DIE WELT

Seit seiner Fertigstellung im Jahr 2010 transportiert das „E-Ship 1“ für die Enercon GmbH Windenergieanlagen um den Globus. Neben einem Dieselantrieb verwendet das Frachtschiff auch so genannten Flettner-Rotoren: Dafür sind auf dem Schiff vier 27 Meter hohe Zylinder angebracht, die durch Elektromotoren in Rotation versetzt werden. Die an den beiden Seiten der Zylinder vorbeiströmende Luft wird beschleunigt bzw. gebremst. Dadurch entsteht ein Druckunterschied (Magnus-Effekt), den die Flettner-Rotoren zum Vortrieb nutzen. Damit wird auch auf dem Wasser die Erneuerbare Energie des Windes nutzbar gemacht. Neben seinem Antriebskonzept verfügt das „E-Ship 1“ über ein optimiertes Ruder- und Propellerkonzept mit Know-how aus der Herstellung von Windenergieanlagen. Das Unterwasserschiff wurde strömungsoptimiert gebaut. Durch diese Techniken kann Enercon eine Treibstoffersparnis von rund 25 Prozent verbuchen. Das entspricht etwa 1.700 Tonnen Schiffsdiesel bzw. bis zu 5.100 Tonnen CO₂, die pro Jahr eingespart werden.

VERKEHRsverlagerung 2.0:
DEN PKW ZU HAUSE STEHEN LASSEN UND EINSTEIGEN IN DIE ZUKUNFT MIT...

Der e-Bus in Bonn hat den Praxistest erfolgreich bestanden.

...100 PROZENT-EE-
ELEKTROBUSSEN

Das größte CO₂-Einsparpotenzial im Verkehrssektor liegt beim Umstieg vom so genannten motorisierten Individualverkehr, also der PKW-Nutzung, auf den öffentlichen Personen-Nahverkehr (ÖPNV). Noch mehr CO₂-Reduktion ist möglich, wenn die ÖPNV-Flotte klimaneutral auf den Straßen fährt. Die Kommunen und Städte können so auch ihrer Vorbildfunktion gerecht werden. Wie zum Beispiel die Stadt Bonn: Sie testet die Alltagstauglichkeit und Wirtschaftlichkeit von Elektrobussen im Vergleich zu herkömmlichen Antriebstechniken. Das Ergebnis: Mittlerweile sechs Busse werden erfolgreich auf fast allen Linien des Streckennetzes eingesetzt. Nachts werden die Akkus wieder aufgeladen - mit Strom aus 100 Prozent Erneuerbaren Energien. Neben dem emissionsfreien Antrieb überzeugen sie auch durch eine geringe Lärmbelastigung. Auch weitere Innovationen werden umgesetzt. So gehören USB-Anschlüsse zum Laden von mobilen Endgeräten zur Standardausstattung.

Der Test findet im Rahmen des von der Europäischen Union geförderten Projekts ZeEUS (Zero Emission Urban Bus Systems) statt. An dem mit 13,5 Mio. Euro geförderten Projekt nehmen neben Bonn auch noch Stockholm, London, Paris, Münster, Pilsen, Warschau, Barcelona, Randstad und Cagliari teil.



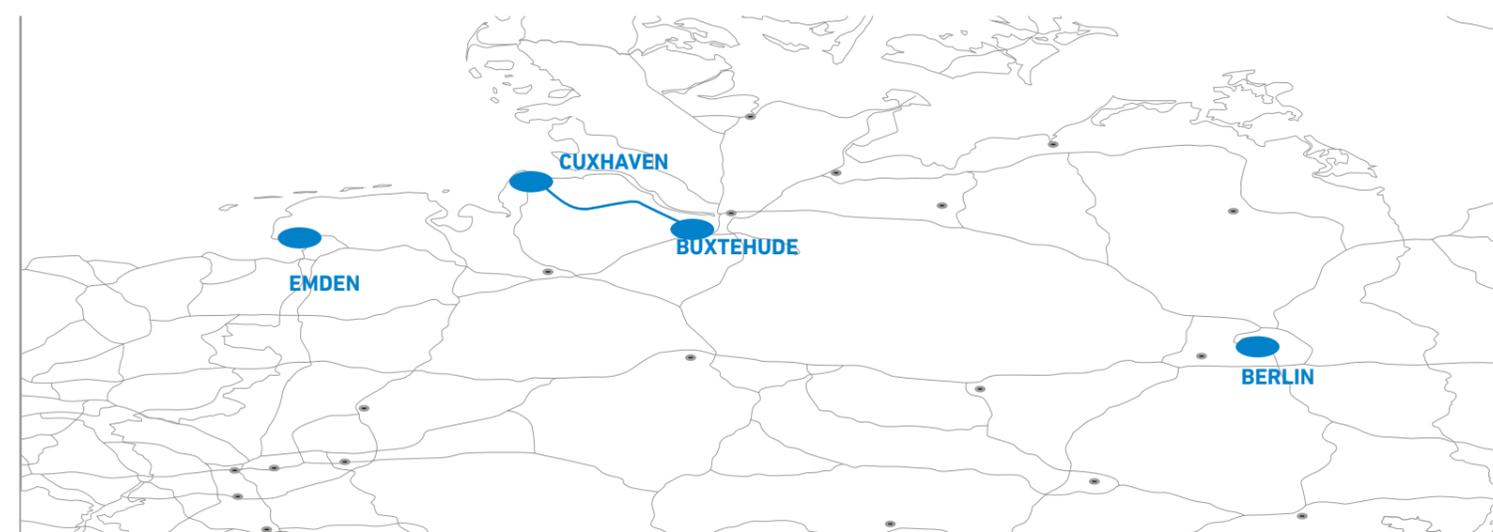
Der erste Wasserstoffzug auf deutschen Gleisen steht in den Startlöchern.

...ZÜGEN MIT
WASSERSTOFFANTRIEB

Elektrisch angetriebene Züge sind längst Stand der Technik und mit regenerativem Strom klimaneutral einsetzbar. Allerdings sind lediglich 60 Prozent der Bahnstrecken in Deutschland mit Oberleitungen versehen. Ein großer Teil des Zugverkehrs wird deshalb mit schadstoffreichen Diesellokomotiven betrieben.

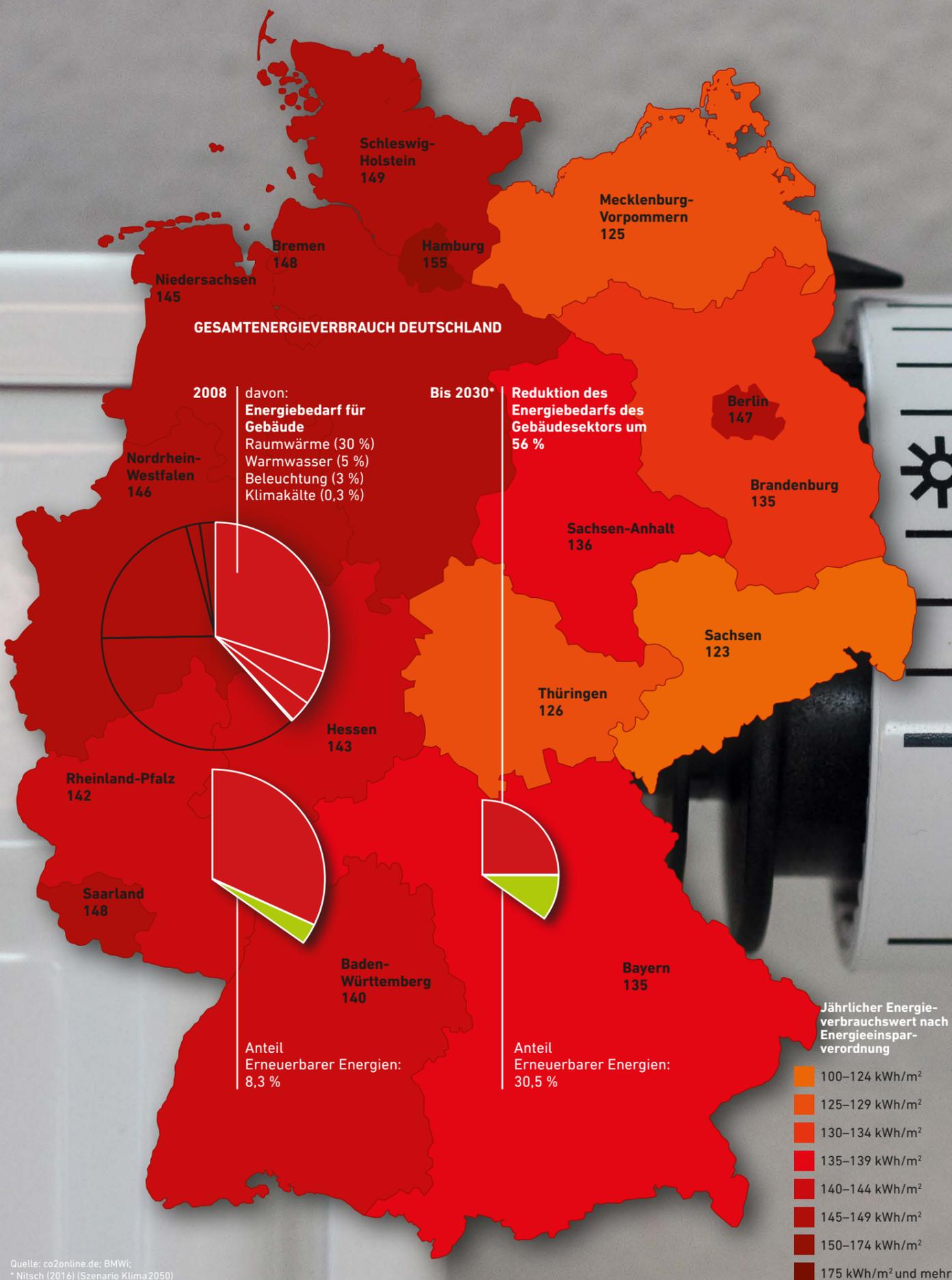
Eine Alternative zu dem konventionellen Energieträger kann im Wasserstoffantrieb liegen. In Norddeutschland, auf einer Strecke im Raum Hamburg, geht ab 2017 mit dem „iLint“ der Firma Alstom Deutschlands erster Zug mit Wasserstoffantrieb in den regulären Betrieb. Auf dem Dach des Zuges befinden sich ein Wasserstofftank und eine Brennstoffzelle, welche elektrische Energie liefert. Die Vorteile liegen auf der Hand: Die Antriebsart ist nahezu geräuschlos, mit regenerativem Strom klimaneutral und kommt auf eine Reichweite von bis zu 800 Kilometer. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 140 Stundenkilometer.

Bereits 14 Bestellungen liegen von der Landesnahverkehrsgesellschaft Niedersachsen vor und mit Baden-Württemberg, Hessen sowie Nordrhein-Westfalen haben weitere Bundesländer großes Interesse am „iLint“.



RIESIGE POTENZIALE WECKEN

MIT EFFIZIENZ UND ERNEUERBAREN ENERGIEN ZUR ERFOLGREICHEN WÄRMEWENDE



In deutschen Heizungskellern herrscht ein uneinheitliches Bild: Ob Zentral- oder Fernheizung, fossil oder erneuerbar, modern oder längst veraltet: Der sogenannte „schlafende Riese“ – also das immense Potenzial, im Wärmesektor fossile Brennstoffe und Treibhausgase einzusparen – hat kein klares Gesicht. Doch gerade im Wärmebereich, wo rund die Hälfte des deutschen Energieverbrauchs stattfindet, müssen rasche und dynamische Veränderungen vorgenommen werden, will Deutschland seine Klimaziele erreichen: Bis 2050 wird von der Bundesregierung ein „nahezu klimaneutraler Gebäudesektor“ angestrebt.

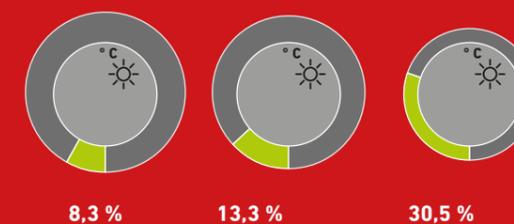
reicht haben. Im Wärmesektor ist der Anteil Erneuerbarer Energien mit rund 13 Prozent (Stand 2015) dagegen seit Jahren kaum gestiegen. Und das obwohl mit Wärmepumpen, Solarthermie und Bioenergie ausgereifte regenerative Technologien für jeden Anwendungsfall zur Verfügung stehen, die ganz erheblich zum Klimaschutz beitragen können.

Um die Klimaschutzziele in Zukunft zu erreichen, braucht es eine Verschiebung von dezentralen Einzelheizungen auf Basis von Biomasse zur netzgebundenen Versorgung bzw. zu industriellen Biomasseanlagen. Für eine klimafreundliche Wärmeversorgung ist es außerdem notwendig, langfristig die vorhandenen Potenziale der Solarthermie sowie der Tiefengeothermie sehr viel dynamischer zu erschließen als bisher.

Bislang vollzieht sich die Energiewende in Deutschland jedoch vor allem im Stromsektor, wo die Erneuerbaren Energien einen Marktanteil von knapp einem Drittel er-

ENDENERGIEVERBRAUCH IM GESAMTEN WÄRMESEKTOR

2008	2015	2030
1.322 Mrd. kWh	1.212 Mrd. kWh	844 Mrd. kWh



ANTEIL ERNEUERBARER ENERGIEN IM WÄRMESEKTOR

Quelle: Nitsch (2016) (Szenario Klima2050)

Quelle: co2online.de; BMWi; * Nitsch (2016) (Szenario Klima2050)

ENERGIEEFFIZIENZ UND WÄRMEWENDE GEHEN HAND IN HAND

Energiewende bedeutet auch, den verschwenderischen Umgang mit Energie zu beenden und eine klima- und ressourcenschonende Energieversorgung zu befördern. Energieeinsparung und Energieeffizienz sind deshalb neben der regenerativen Energieerzeugung wichtige Säulen der Energiewende.

Die Potenziale zur Energieeinsparung sind dabei beachtlich wie die „Effizienzlandkarte“ zeigt. Insbesondere durch einer rasche Einführung sparsamer Fahrzeuge und die energetische Sanierung von Altbauten sowie der Erneuerung von Heizungsanlagen kann der Energieverbrauch erheblich gesenkt werden. Auch in anderen Bereichen wie den elektrischen Haushaltgeräten und dem Industriesektor sind noch weitere Einsparungen möglich. Die „Effizienzlandkarte“ verdeutlicht auch, dass sich die Einsparpotenziale auf viele Einzelmaßnahmen und unterschiedliche Verbraucher verteilen. Folglich bedarf es unterschiedlicher Instrumente, um die Einsparpotenziale zu heben.

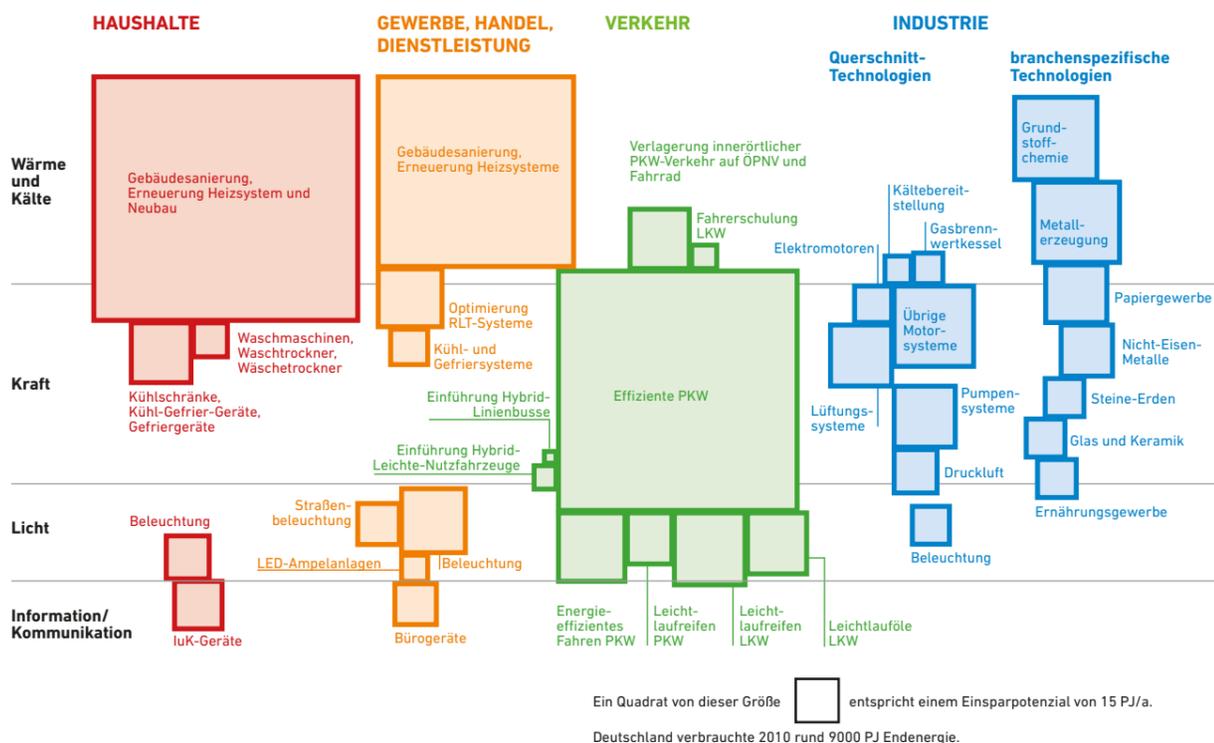
Im Gebäudesektor, der rund 40 Prozent des deutschen Endenergieverbrauchs ausmacht, gibt es u. a. Mindeststandards bezüglich des Energiebedarfs bei Neubauten, die kontinuierlich verschärft werden.

Drei Viertel des Gebäudebestands wurde allerdings vor der ersten Wärmeschutzverordnung, ein Gesetz zur energiesparenden Bauweise (1977), errichtet. Die Gebäude sind größtenteils noch unsaniert und folglich in einem energetisch schlechten Zustand. Durch fachgerechte Sanierung und moderne Gebäude- und Heiztechnik können bis zu 80 Prozent des Energiebedarfs eingespart werden. Mit finanziellen Anreizen wie vergünstigte Darlehen der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) sollen deshalb z. B. Eigenheimbesitzer animiert werden, ihre Gebäude energetisch zu sanieren. Davon profitiert nicht nur das Klima, sondern auch die Bewohner des Hauses durch eine niedrigere Energiekostenrechnung.

Ab 2021 müssen gemäß Gebäuderichtlinie der Europäischen Union neu errichtete private Wohngebäude einen jährlichen Energieverbrauch von nahezu Null haben.

Noch einen Schritt weiter geht das Konzept so genannter Plus-Energiehäuser, die sogar mehr Energie produzieren als sie verbrauchen. Die überschüssige Energie kann dann z. B. für das Familienelektroauto genutzt werden. Das Bundesbauministerium fördert rund 200 Modellhäuser, die diese Bauweise in der Praxis erproben.

EFFIZIENZLANDKARTE: WIE VIEL EINSARPONTENZIAL BESTEHT BEI WELCHEN VERBRAUCHERN?



Technische Einsparpotenziale bis 2030 in Deutschland, aufgliedert nach Sektoren und Anwendungen. Je größer ein Quadrat, desto größer das Einsparpotenzial. Gesamtes Potenzial bis 2030: rund 25 Prozent des heutigen Energiebedarfs.

Quelle: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. Lizenz: Creative Commons by-nc-nd/3.0/de; Bundeszentrale für politische Bildung, 2013, www.bpd.de

ENERGETISCH SANIEREN ZAHLT SICH AUS

In alten Gebäuden wird Energie sprichwörtlich aus dem Fenster geschmissen. Doch nicht nur durch veraltete Fenster, sondern auch durch schlecht gedämmte Außenwände, Dach und Keller entweicht insbesondere im Winter kostbare Wärme. Durch Isolierglasfenster oder eine Dämmung der Gebäudehülle können diese Wärmeverluste minimiert und die Energiekosten drastisch verringert werden. Zudem wird sowohl der Wohnkomfort als auch der Immobilienwert gesteigert. Bei einer fachgerechten Modernisierung und durch die Installation einer effizienten Heizungsanlage, idealerweise auf Basis regenerativer Energien, kann der Energiebedarf sogar auf Neubaulniveau gesenkt werden.



Thermische Schwachstellen sind im Wärmebild leicht erkennbar: Über die Fassade verliert die ungedämmte linke Haushälfte viel Energie. Auch die Schwachstelle „Fenster“ wird mit Hilfe des Wärmebildes deutlich.

BEISPIEL KASSEL: EIN PLUSENERGIEHAUS ALS LEUCHTURMPROJEKT FÜR ENERGIEEFFIZIENTES BAUEN

KENNZAHLEN:

Baujahr: 2012/2013
Bruttogrundfläche: 453 m²
Beheizte Nettogrundfläche: 280 m²
Beheiztes Gebäudevolumen: 1.510 m³

ZIEL DER BAUHERREN:

- ein architektonisch modernes Gebäude
- niedriger Energieverbrauch und sparsamer Umgang mit Ressourcen ohne Komforteinbußen
- auf Dauer niedrige Energiekosten

DER WEG DORTHIN:

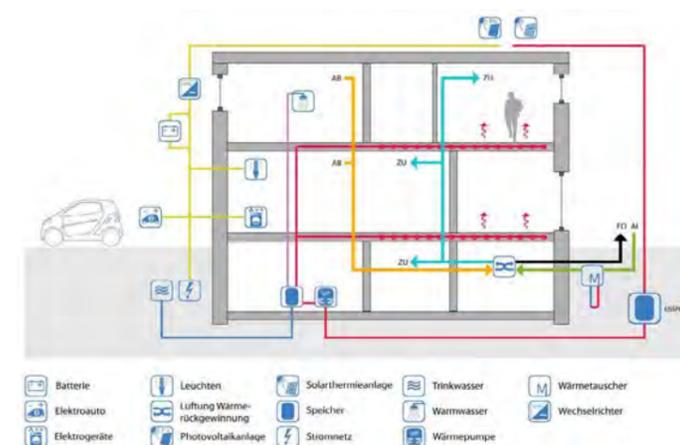
- hochwertige luftdichte Gebäudehülle, nach Süden ausgerichtete, großflächige Glasfassade
- Eine PV-Anlage auf dem Dach und der Fassade (15,75 kWp) sorgt für grünen Strom. Durch ein intelligentes Gebäudemanagement und einen Batteriespeicher kann der überschüssig produzierte Strom gespeichert und z.B. über eine Ladestation für Elektromobilität zugänglich gemacht werden.
- Die Beheizung des Gebäudes erfolgt durch Solarthermie sowie über eine Wärmepumpe. Als Wärmequelle dient das Wasser eines Eisspeichers (Funktionsweise siehe Glossar S. 87), der wiederum von der rund 17 m² großen Solarkollektorfläche gespeist wird.
- Die Wärmeverteilung im Gebäude erfolgt über Nieder-temperatur Flächenheizsysteme im Fußboden.
- Um die Wärmeverluste der Fensterlüftung per Hand zu reduzieren wird das gesamte Wohngebäude mechanisch mit einem Lüftungsgerät inklusive Wärmerückgewinnung be- und entlüftet.
- Um den Wasserverbrauch zu senken wird das Regenwasser in einem 10 m³ großen Regenwassertank gesammelt und vorrangig für Waschmaschine, Toilettenspülung und Gartenbewässerung genutzt.

DAS ERGEBNIS:

Das Haus weist einen Stromüberschuss von rund 3.100 kWh/a auf. Das entspricht einer jährlichen Fahrleistung eines durchschnittlichen Elektroautos von ca. 18.000 km (17kWh/100km).



Das Energieeffizienzhaus Plus in Kassel setzt auf Solarenergie.



Quelle: Fraunhofer IBP

BEISPIEL MIETRACHING: AUF DEM WEG VON DER MILITÄRBRACHE ZUR NULLENERGIE- UND NULLEMISSIONSSTADT



Der Bad Aiblinger Stadtteil Mietraching (Bayern) ist ein Vorzeigeprojekt der Energiewende vor Ort: Ein ganzes Stadtquartier wird durch zukunftsfähiges Bauen und dezentraler regenerativer Energieversorgung zu einer „Nullenergiestadt“.

Der ehemalige Militärstützpunkt der USA wurde 2005 durch die B&O Gruppe erworben. Der private Dienstleister für die Wohnungswirtschaft hat das Ziel, ein energetisch vorbildliches Quartier mit Mischnutzungen von Wohnen und Arbeiten zu entwickeln und daraus für weitere Projekte Erfahrungen zu sammeln.

Die 52 Bestandsgebäude auf dem rund 70 ha großen Areal stammen überwiegend aus den 1930er Jahren und wurden umfassend saniert und modernisiert. Die Wärmedämmung der Fassaden erfolgte zum Beispiel durch Holzfertigelemente inklusive bereits eingebauter Fenster. So wurden in der Sanierungsphase die Eingriffe innerhalb der Wohnungen auf ein Minimum reduziert. Die Neubauten in Mietraching, das auch „City of Woods“ genannt wird, wurden allesamt als architektonisch hochwertige Holzbauten in Niedrigenergiebauweise errichtet. Als besonders innovativ gilt der hohe Vorfertigungsgrad, der für die Zukunft kurze Bauzeiten und geringe Baukosten verspricht.

Herzstück der regenerativen Energieversorgung ist die so genannte Heizikone, die sogar von einem Priester geweiht wurde. Dabei handelt es sich um eine Holzhackschnitzelanlage, die von außen einer mit Holz verkleideten Kirche ähnelt und sich so optisch der Architektur des Quartiers

angepasst. Innen befindet sich ein 500 kW starker Heizkessel, der mit Hilfe von Waldrestholz aus der Region über ein Nahwärmenetz die einzelnen Gebäude mit Wärme versorgt (Funktionsweise siehe Grafik). Neben der Heizikone stellen ca. 2.000 m² Solarkollektoren die regenerative Wärme bereit. Eine Freiflächen-Photovoltaikanlage (2,3 MW) und eine Photovoltaik-Anlage auf den Dächern des ehemaligen Flugzeughangars (400 kW) nutzen hingegen die Sonne zur Stromerzeugung. Abgerundet wird die Erneuerbare Energieversorgung durch den Einsatz von Wärmepumpen.

Das Stadtquartier erzielt dank gutem energetischen Gebäudestandard, regenerativer Wärmeversorgung und großer PV-Anlage eine jährlichen Plusenergiebilanz von ca. 290 kWh/m².

Angesichts der vielen militärischen Brachflächen in Deutschland zeigt das vom BMWi im Rahmen der Forschungsinitiative „EnEff:Stadt“ geförderte Leuchtturmprojekt ein hohes Multiplikationspotenzial auf.



Die Heizikone: Von außen einer Kapelle nachempfunden und innen eine moderne Holzhackschnitzelheizung.

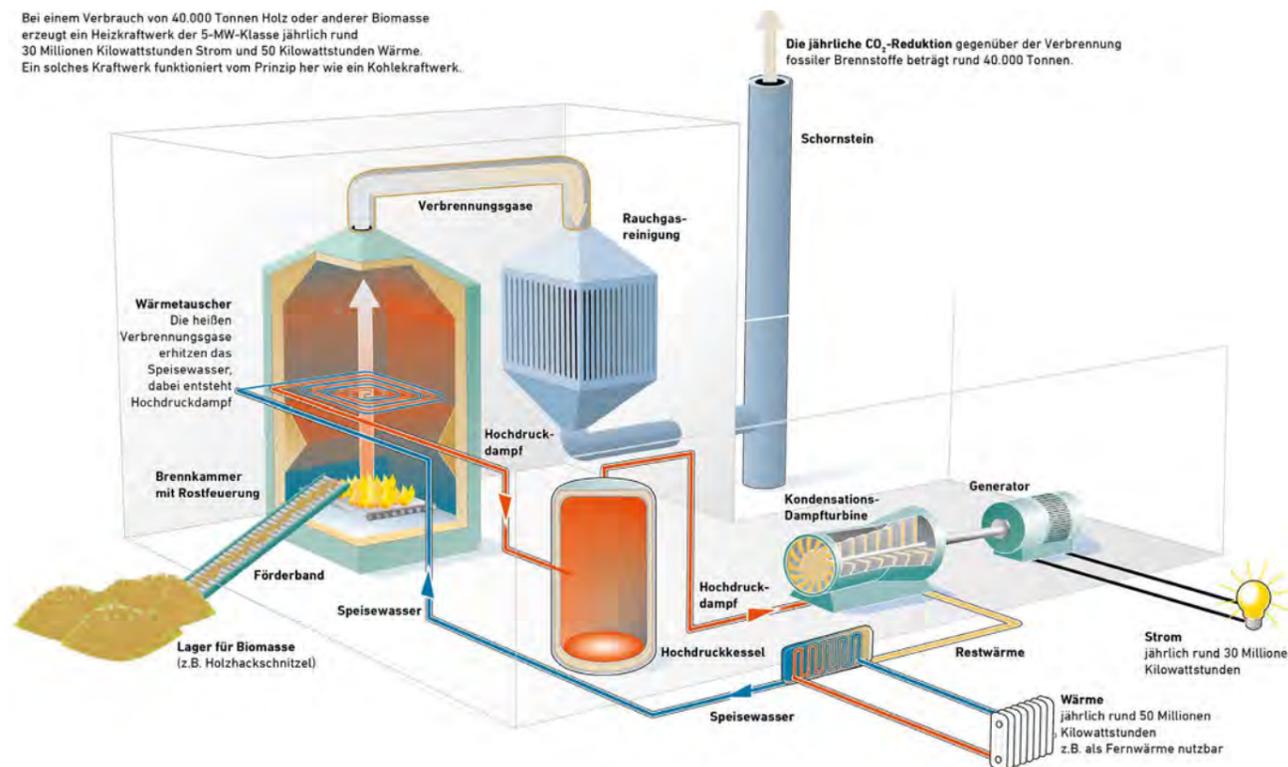


Die Neubau-Mehrfamilienhäuser sind mit einer Holzfassade und PV-Anlagen ausgestattet.



SO FUNKTIONIERT EIN BIOMASSE-HEIZKRAFTWERK

Bei einem Verbrauch von 40.000 Tonnen Holz oder anderer Biomasse erzeugt ein Heizkraftwerk der 5-MW-Klasse jährlich rund 30 Millionen Kilowattstunden Strom und 50 Kilowattstunden Wärme. Ein solches Kraftwerk funktioniert vom Prinzip her wie ein Kohlekraftwerk.



AKZEPTANZ

Bereitschaft in der Gesellschaft, etwas gutzuheißen. Für die Umstellung unserer Energieversorgung auf Erneuerbare Energien sind nicht nur deren technische Entwicklung und Wirtschaftlichkeit, sondern auch ihre gesellschaftliche Akzeptanz sehr wichtig. Dabei betrifft die Akzeptanz für Erneuerbare Energien mehrere Aspekte. Dazu gehören die Errichtung und der Betrieb von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien, die mit der Energiewende verbundenen Kosten genauso wie die Akzeptanz für Energiespeicher oder den Aus-, bzw. Umbau der Stromnetze, die für den weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien erforderlich sind. Insgesamt genießen Erneuerbare Energien in Deutschland eine hohe Akzeptanz bzw. erfreuen sich einer großen Beliebtheit.

BLOCKHEIZKRAFTWERK (BHKW)

Ein Blockheizkraftwerk ist eine Anlage zur gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Wärme nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung.

Siehe auch >Kraft-Wärme-Kopplung

BIOKRAFTSTOFFQUOTE

Die Biokraftstoffquote legt jenen Anteil des Kraftstoffabsatzes fest, der mindestens durch Biokraftstoffe abgedeckt werden muss. Gemäß dem Biokraftstoffquotengesetz werden in Deutschland von 2010 bis 2014 mindestens 6,25 Prozent des Kraftstoffverbrauchs durch Biokraftstoffe abgedeckt. Seit 2015 wird die Biokraftstoffquote über das Kriterium der Treibhausgaseinsparung des jeweiligen Biokraftstoffs definiert. Das Biokraftstoffquotengesetz legt seit 2007 die Mindestquote für Biokraftstoffe am Kraftstoffverbrauch fest. Die Mineralölkonzerne können diesen Anteil durch das Beimischen von Biokraftstoff zu fossilen Kraftstoffen erbringen, durch den Absatz von reinem Biokraftstoff oder durch den Erwerb von Quoten abgesetzter Biokraftstoffmengen anderer Anbieter.

BIODIESEL

Biodiesel ist der in Deutschland am weitesten verbreitete Biokraftstoff. Biodiesel wird mittels eines chemischen Prozesses, der Umesterung, aus Pflanzenöl unter Einsatz von Alkohol gewonnen. In Deutschland kommt hauptsächlich Rapsöl zum Einsatz. Auch Sonnenblumenöl, Soja- und Palmöl können verarbeitet werden, wenn Produzenten nachweislich bestimmte ökologische Mindestkriterien einhalten. Neben der Nutzung von Pflanzenölen zur Kraftstoffherstellung können auch Reststoffe wie Fritier- oder Bratfett für die Biodieselproduktion genutzt werden. Nebenprodukt der Produktion von Biodiesel ist Glycerin, das in der chemischen Industrie zum Einsatz kommt. Rapschrot, ein weiteres Koppelprodukt der Biodieselproduktion, dient als Futtermittel. Biodiesel kann sowohl als Reinkraftstoff getankt werden oder fossilem Dieselmotorkraftstoff in Deutschland bis zu einem Anteil von 7 Prozent beigemischt werden.

BIOETHANOL

Im Gegensatz zu Biodiesel findet Bioethanol bei Ottomotoren Anwendung. Als Rohstoffe für die Herstellung von Bioethanol eignen sich stark zucker- und stärkehaltige Pflanzen wie Zuckerrüben, Zuckerrohr, Roggen, Weizen, Mais und Kartoffeln. In Deutschland kommen hauptsächlich Getreide und Zuckerrüben zum Einsatz. Wie herkömmlicher Alkohol wird Bioethanol durch alkoholische Gärung aus Zucker mit Hilfe von Mikroorganismen gewonnen und

anschließend durch thermische Trennverfahren gereinigt. Bioethanol kann sowohl als Reinkraftstoff (sog. E85) getankt werden oder fossilem Benzin in Deutschland zu einem Anteil von mindestens 5 Prozent beigemischt werden. Siehe auch >Trockenschlempe

BIOGAS

Biogas entsteht, wenn Biomasse unter Ausschluss von Licht und Sauerstoff in einem Gärbehälter, dem Fermenter einer Biogasanlage, durch bestimmte Bakterien abgebaut wird. Biogas besteht aus Methan, Kohlendioxid sowie Sauerstoff, Stickstoff und Spurengasen (u.a. Schwefelwasserstoff). Der Hauptbestandteil, das Methan, ist energetisch nutzbar. Biogas kann aus Energiepflanzen (z.B. Mais, Getreide) als auch aus Reststoffen wie Biomüll, Ernteresten und Stroh sowie tierischen Exkrementen wie Gülle und Mist gewonnen werden. Das in einer Biogasanlage erzeugte Biogas kann in einem Blockheizkraftwerk zu Strom und Wärme umgewandelt werden. Wird Biogas aufbereitet und gereinigt (sog. Biomethan), kann es auch direkt in bestehende Erdgasnetze eingespeist und fossilem Erdgas beigemischt werden oder in Fahrzeugen mit Gasmotor als Kraftstoff genutzt werden.

Siehe auch >Blockheizkraftwerk, >Kraft-Wärme-Kopplung, >Biomasse

BIOKRAFTSTOFF

Aus Biomasse gewonnener Kraftstoff für den Betrieb von Verbrennungsmotoren (z.B. in Fahrzeugen oder Blockheizkraftwerken) oder Heizungen. Zu Biokraftstoffen zählen Biodiesel, Bioethanol, Biomethan (aus Biogas), reine Pflanzenöle und die synthetischen Biomass-to-Liquid (BtL)-Kraftstoffe.

Siehe auch >Biodiesel, >Bioethanol, >Biogas, >Biomasse, >Koppelprodukt

BIOMASSE

Biomasse dient als Oberbegriff für alle Stoffe organischer Herkunft, die ihr Wachstum letztlich der Nutzung der Sonnenenergie verdanken. Aus Sicht der Bioenergie kann unterschieden werden zwischen

- den in der Natur lebenden Pflanzen und Tieren,
- deren Rückständen (z.B. abgestorbene Pflanzen wie Stroh) und deren Nebenprodukte (z.B. Exkremente wie Gülle),
- im weiteren Sinne allen organischen Stoffe, die durch eine technische Umwandlung entstanden sind (z.B. Papier, Zellstoff, Pflanzenöl) oder die durch eine andere Nutzung entstanden sind (z.B. Biomüll, Abfälle aus der Nahrungsmittelindustrie).

Siehe auch >Energiepflanzen, >Koppelprodukt, >Nachwachsende Rohstoffe, >Reststoffe, >Triticale

BIOMASSE-NACHHALTIGKEITSVERORDNUNG

Um die nachhaltige Gewinnung und Nutzung von Biomasse zu gewährleisten, gibt es seit 2009 die Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV) und die Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV). Sie legen fest, wie flüssige Biomasse, insbesondere Pflanzenöl wie Palm-, Soja- und Rapsöl, hergestellt und verwendet werden muss. Im Interesse des Umwelt, Klima- und Naturschutzes darf der Anbau der Pflanzen keine naturschutzfachlich besonders schützenswerten Flächen (z.B. Regenwälder) oder Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand (z.B. Feuchtgebiete, Torfmoore) zerstören, und ihr Einsatz zur Energieversorgung muss zu einer Treibhausgasminimierung um mindestens 35 Prozent führen im Vergleich zu

fossilen Energieträgern. Auch die sozialen Bedingungen beim Anbau werden berücksichtigt.

BIOMETHAN

Methan ist der Hauptbestandteil von Biogas, das aus der Vergärung biogener Stoffe gewonnen wird. Nach der Aufbereitung, bei der die anderen Biogasbestandteile abgeschieden werden, kann es ins Erdgasnetz eingespeist werden. Es steht damit zum Beispiel für den Einsatz in Blockheizkraftwerken oder als Treibstoff für Fahrzeuge zur Verfügung. Dieses aus Biogas gewonnene Methan bezeichnet man als Biomethan.

EISSPEICHER

Eisspeicher nutzen die sogenannte latente Wärme, die beim Übergang zwischen festem Eis und flüssigem Wasser umgesetzt wird. Um Eis über den Taupunkt bei 0 °C hinaus zu erwärmen, ist nämlich weit mehr Energie nötig als bei einer genauso großen Temperaturänderung bei gleichbleibendem Aggregatzustand. Denn um festes Eis flüssig zu machen, müssen die Anziehungskräfte zwischen den Wassermolekülen in den Eiskristallen überwunden werden. Wenn daher ein Kilogramm Eis geschmolzen werden soll, muss diesem etwa so viel Wärme zugeführt werden, wie für die Erhitzung derselben Wassermenge von 0 auf 80 °C nötig wäre. Umgekehrt muss dem Wasser die entsprechende Menge an Wärme entzogen werden, um es wieder in den festen Aggregatzustand zu bringen. Um dieses Prinzip für die Wärmespeicherung nutzbar zu machen, wird bei Einfamilienhäusern ein Speichertank von zehn bis zwölf Kubikmetern Volumen bis vier Meter Tiefe im Erdreich vergraben und einmalig mit Leitungs- oder Grundwasser gefüllt. Die im Wasser vorhandene Wärme kann diesem mithilfe einer Wärmepumpe so lange entzogen werden, bis der Eisspeicher komplett durchgefroren, d. h. entleert ist. Gefüllt hingegen wird ein Eisspeicher meist mit überschüssiger Wärme aus Solarkollektoren, die das Eis zum Schmelzen bringt und ggf. auch darüber hinaus erwärmt. Ein voller Eisspeicher ist daher mit warmem, flüssigem Wasser gefüllt. Als zusätzliche, kontinuierliche Wärmequelle dient auch das Erdreich um den Speicher herum, da ab einem Meter Tiefe das gesamte Jahr über Temperaturen deutlich über 0°C herrschen.

ELEKTROLYSE

Allgemein ein Vorgang, bei dem elektrischer Strom den Austausch von Elektronen zwischen zwei Reaktionspartnern auslöst. Bekanntestes Beispiel ist die Elektrolyse von Wasser. Dabei wird durch elektrischen Strom Wasser in seine beiden Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff aufgespalten. So wird elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt. Wasserstoff eignet sich über einen Zeitraum von Monaten hinweg als Speichermedium.

Siehe auch > Energiespeicher > Power-to-Gas

ELEKTROMOBILITÄT

Umfasst alle Fahrzeuge, die mit elektrischem Strom betrieben werden. Im Schienenverkehr dominieren elektrisch angetriebene Fahrzeuge, auch Elektrofahrräder sind Teil der Elektromobilität. Überwiegend wird Elektromobilität aktuell jedoch mit Elektroautos in Zusammenhang gebracht. Im Straßenverkehr erleben Elektroautos eine Renaissance, stehen allerdings noch vor der Einführung in den Massenmarkt. Noch nicht ausreichend leistungsfähige Akkus oder Brennstoffzellen, hohe Preise und fehlende Lade-Infrastruktur gelten noch als Hindernisse.

Das neu erwachte Interesse an der Elektromobilität ergibt sich durch das mögliche Zusammenspiel von Auto, Stromnetz und Erneuerbaren Energien. Wenn Elektrofahrzeuge mit erneuer-

bar erzeugtem Strom oder Wasserstoff geladen werden, können sie die klimarelevanten Emissionen des Verkehrs senken und sind aus ökologischer Sicht von Vorteil. Eingebunden in ein > Smart Grid können Elektrofahrzeuge mit Akkumulatoren perspektivisch eine wichtige Rolle als „mobile Stromspeicher“ spielen, die in einem gewissen Umfang > Regelenergie bereitstellen können. Dies kann einen wichtigen Beitrag dazu leisten, die schwankende Erzeugung von Strom aus Wind und Sonnenenergie auszugleichen und das Stromnetz zu stabilisieren.

Um die Forschung und Markteinführung voranzubringen, sind in Deutschland verschiedene Foren, Förderprogramme und Strategien ins Leben gerufen worden. Beispiele hierfür sind der Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität und die Nationale Plattform Elektromobilität. Das 2009 gegründete Forum Elektromobilität bündelt die Forschungsaktivitäten von 33 beteiligten Fraunhofer-Instituten und Industriepartnern. Kritiker bemängeln, dass Elektromobilität mit Akkumulatoren ökologisch nicht sinnvoll ist, solange der Hauptanteil des Stroms aus fossilen Quellen kommt. Wenn der für die Elektroautos zusätzlich benötigte Strom aus Kohlekraftwerken bereitgestellt wird, erhöht sich sogar der CO₂-Ausstoß. Demgegenüber stellt sich Elektromobilität auf der Basis von Brennstoffzellen ökologischer dar, wenn der Wasserstoff mit Hilfe von erneuerbarem Strom gewonnen wird.

ENDENERGIE

Als Endenergie bezeichnet man denjenigen Teil der Primärenergie, welcher dem Verbraucher, nach Abzug von Transport- und Umwandlungsverlusten, zur Verfügung steht.

Siehe auch >Primärenergie

ENERGIEEFFIZIENZ

Allgemein bezeichnet das Wort Effizienz das Verhältnis vom erzielten Ertrag zur eingesetzten Arbeit, also von Aufwand und Nutzen. Bei der Energieeffizienz geht es um einen möglichst hohen Wirkungsgrad bei der Energieumwandlung bzw. um einen möglichst geringen Energieverbrauch von Gebäuden, Geräten und Maschinen. Die Steigerung der Energieeffizienz bedeutet, dass die gleiche (oder mehr) Leistung mit einem geringeren Energieaufwand bereitgestellt wird.

ENERGIEEINSPARUNG

Umfasst allgemein alle Maßnahmen, die den Energieverbrauch senken. Energieeinsparung ist allerdings nicht das Gleiche wie die Steigerung der Energieeffizienz: Bei der Steigerung der Energieeffizienz geht es darum, durch technische Mittel weniger Energie für die gleiche Leistung aufzuwenden. Demgegenüber bezieht sich der Begriff Energieeinsparung meist auf ein geändertes Nutzerverhalten, das den Energieverbrauch reduziert. Im Falle des Autoverkehrs bedeutet Effizienzsteigerung zum Beispiel, dass durch technische Weiterentwicklungen für dieselbe Strecke weniger Energie in Form von Kraftstoff benötigt wird. Energie einsparen lässt sich aber auch durch ein verändertes Nutzerverhalten, zum Beispiel durch die Reduktion der Geschwindigkeit oder den Umstieg auf das Fahrrad. Siehe auch > Energieeffizienz

ENERGIEINTENSITÄT

Das Verhältnis des Primärenergieverbrauchs zum Bruttosozialprodukt einer Volkswirtschaft. Auch für kleinere Bereiche oder einzelne Güter lässt sich die Energieintensität berechnen. Die Energieintensität ist eine Kennzahl, die Aufschluss über die Effizienz des Einsatzes von Energie liefert. Sie wird beispielsweise in Millionen Tonnen Öleinheiten je 1.000 US-Dollar Bruttoinlandsprodukt gemessen.

ENERGIELEITUNGS-AUSBAUGESETZ - ENLAG

Das im Sommer 2009 verabschiedete Energieleitungsbaugesetz dient der Beschleunigung des Ausbaus der Höchstspannungsnetze. Ziel ist es, das Übertragungsnetz auszubauen, um die Einbindung von Strom aus Erneuerbaren Energien, den Anschluss neuer Kraftwerke und den internationalen Stromhandel zu erleichtern und strukturelle Engpässe zu vermeiden. Zu diesem Zweck legt das Gesetz für bestimmte Trassen einen vordringlichen Bedarf fest.

ENERGIEPFLANZEN

Energiepflanzen sind Pflanzen, die gezielt für die energetische Nutzung angebaut werden. Kulturpflanzen, die sich besonders gut für die energetische Nutzung eignen, sind in Deutschland z.B. Getreide wie Mais, Weizen, Roggen oder Triticale, neben weiteren Gräsern wie Chinaschilf (Miscanthus) und Weidelgras. Als Energiepflanzen werden auch Ölsaaten wie z.B. Raps und Sonnenblumen sowie außerhalb Deutschlands Ölpalmen und Soja genutzt. Heimische Energiepflanzen sind außerdem schnell wachsende Hölzer wie Pappeln und Weiden; ferner z.B. Rüben sowie Hanf. Ob eine Kulturpflanze als Energiepflanze genutzt wird, entscheidet sich möglicherweise erst nach der Ernte, da die meisten der in Deutschland angebauten Energiepflanzen gleichzeitig auch als Rohstoff für Futtermittel, für Nahrungsmittel oder für die stoffliche Nutzung z.B. in der chemischen Industrie in Frage kommen.

Siehe auch >Biomasse, >Nachwachsende Rohstoffe, >Reststoffe, >Triticale

ERDWÄRMESAMMELN

Erdwärmekollektoren werden in 80-160 cm Tiefe horizontal verlegt. In den Kollektoren befindet sich eine Wärmeträgerflüssigkeit, die die von Regen und Sonne ins Erdreich eingebrachte Wärme aufnimmt und der Wärmepumpe zuführt. Nachdem diese die Temperatur erhöht hat, kann die Wärme zum Heizen und für die Warmwasserbereitung genutzt werden. Siehe auch >Wärmepumpe

ERDWÄRMESONDEN

Erdwärmesonden werden in senkrechten Bohrungen mit einer Tiefe von wenigen Metern bis über 100 Metern installiert. Im Sondenkreislauf zirkuliert eine Wärmeträgerflüssigkeit, die die im Untergrund gespeicherte Wärme aufnimmt. Über eine Wärmepumpe wird die Temperatur weiter erhöht und die so gewonnene Wärme zum Heizen und für die Warmwasserbereitung verwendet. Siehe auch >Wärmepumpe

ERNEUERBARE-ENERGIEN-GESETZ (EEG)

Das EEG ist im Jahr 2000 in Kraft getreten und setzt in Deutschland die Rahmenbedingungen für den Ausbau der Erneuerbaren Energien. Es dient der Markteinführung Erneuerbarer Energien und der Erfüllung der europäischen und deutschen Zielvorgaben für den Anteil Erneuerbarer Energien am Stromverbrauch. Damit soll der Ausstoß klimaschädlicher Emissionen des Energiesektors reduziert werden. Das Fördersystem fußte zunächst auf fixen und über 20 Jahre garantierten, technologieabhängigen Einspeisevergütungen. Mittels mehrerer Novellen wurde das EEG 2004, 2009, 2012, 2014 und 2016 den Marktentwicklungen entsprechend angepasst. Ab dem 1. Januar 2017 wird die Vergütungshöhe des erneuerbaren Stroms nicht mehr wie bisher staatlich festgelegt, sondern durch Ausschreibungen am Markt ermittelt. Kleine Anlagen sind von den Ausschreibungen ausgenommen.

ERNEUERBARES METHAN (AUCH „WINDGAS“)

Bei erneuerbarem Methan handelt es sich um ein Gas, das mit Hilfe von Strom aus Erneuerbaren Energien hergestellt wird. Im ersten Schritt wird dazu durch Elektrolyse Wasserstoff erzeugt. Dieser wird im Anschluss durch Zugabe von CO₂ in Methan umgewandelt. Das Verfahren ist auch unter dem Begriff „Power-to-Gas“ bekannt und eine Möglichkeit für die Langzeitspeicherung von Energie. Es befindet sich allerdings noch im Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsstadium.

FERNWÄRME

Fernwärme ist thermische Energie, die durch ein System isolierter Rohre zum Endverbraucher gelangt. Die Energie wird überwiegend zur Heizung von Gebäuden genutzt. Das heiße Wasser, das in das Fernwärmenetz eingespeist wird, stammt aus Heizwerken oder Heizkraftwerken. Letztere gewinnen mittels Kraft-Wärme-Kopplung gleichzeitig Strom und nutzbare Abwärme. Die meisten Anlagen werden noch mit Kohle oder Erdgas betrieben, es gibt aber auch Anlagen, die Biomasse (z.B. Holzhackschnitzel) oder Erdwärme nutzen.

Siehe auch >Kraft-Wärme-Kopplung, >Nahwärme

FOSSILE ENERGIETRÄGER

Fossile Energieträger sind durch biologische und physikalische Vorgänge im Erdinneren und auf der Erdoberfläche über lange Zeiträume entstanden. Zu ihnen zählen Erdöl und Erdgas sowie Braun- und Steinkohle. Ihre Nutzung setzt Treibhausgas wie Kohlenstoffdioxid frei, das wesentlich zum Klimawandel beiträgt.

Siehe auch >Kohlenstoffdioxid (CO₂)

GEOTHERMIE

Wärmeenergie unterhalb der Erdoberfläche. Bei der Tiefengeothermie (ab 400 Meter Tiefe) wird Energie, die aus dem Erdinneren nach außen aufsteigt, zur Strom- und / oder Wärmegewinnung genutzt. Die Tiefengeothermie wird nach hydrothermalen Geothermie und petrothermalen Geothermie unterschieden. Unter oberflächennaher Geothermie versteht man die Nutzung der Energie, welche in den obersten Erdschichten oder dem Grundwasser gespeichert ist. Auch die hier herrschenden geringen Temperaturen lassen sich auf verschiedene Arten nutzen. Sie können je nach Temperatur und Bedarf sowohl zur Bereitstellung von Wärme als auch zur Erzeugung von Klimakälte dienen. Um die vorhandene Energie im flachen Untergrund nutzen zu können, werden Wärmepumpen, Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden eingesetzt.

Siehe auch >Erdwärmekollektoren, >Erdwärmesonden, >hydrothermale Geothermie, >petrothermale Geothermie

HOCHSPANNUNG

Spannungen über ein Kilovolt werden in Mittelspannung, Hoch- und Höchstspannung unterteilt. Einheitliche Abgrenzungen gibt es dafür jedoch nicht. Üblicherweise gelten Spannungsbereiche zwischen 30 und 110 Kilovolt als Hochspannung. Hochspannungsleitungen gehören zum sogenannten Verteilnetz. Sie dienen dem regionalen Stromtransport und der Versorgung von kleineren Städten. Am Mittel- und Hochspannungsnetz sind kleinere bis mittlere Kraftwerke angeschlossen, wie zum Beispiel Windparks, Solarparks oder Biogasanlagen. Auch große Stromverbraucher wie Industriebetriebe sind teilweise direkt am Mittel- und Hochspannungsnetz angeschlossen.

HÖCHSTSPANNUNG

In der elektrischen Energietechnik bezeichnet man Spannungen über 200 Kilovolt im Allgemeinen als Höchstspannung. Sie wird für den überregionalen Transport von Strom über ausgedehnte Strecken gewählt, um die Leitungsverluste möglichst gering zu halten. Das Höchstspannungsnetz stellt die oberste Ebene des hierarchisch gegliederten Stromnetzes dar. Großkraftwerke wie Atomkraftwerke, Kohlekraftwerke oder auch Offshore-Windparks speisen den erzeugten Strom direkt in das Übertragungsnetz (auch Transportnetz genannt) ein, wo er dann großräumig verteilt wird. Nach Transformation auf Hoch-, Mittel- und Niederspannung wird der Strom dann weiter verteilt bis hin zu den Endverbrauchern.

Siehe auch >Hochspannung

HOLZENERGIE

Neben Reststoffen und Energiepflanzen ist Holz der wichtigste Pfeiler der Bioenergie in Deutschland. Bei der Verarbeitung von Waldholz fällt Waldrestholz an sowie anschließend Industrierestholz, wie z.B. Nebenprodukte von Sägewerken. Althölzer (z.B. gebrauchte Lagerpaletten aus Holz, alte Holzmöbel) sind zuvor bereits für andere Zwecke genutzt worden und können energetisch weiterverwertet werden. Genutzt werden z.B. auch Hölzer aus der Landschaftspflege.

Siehe auch >Holzpellets, >Holzhackschnitzel

HOLZPELLETS

In Stäbchenform gepresstes Brennmaterial aus Holz. Mit Holzpellets können moderne vollautomatische Heizungsanlagen betrieben werden. Für Holzpellettheizungen gibt es Zuschüsse aus dem Marktanreizprogramm. Holzpellets werden ohne chemische Bindemittel aus getrocknetem, naturbelassenem Restholz (Sägemehl, Hobelspäne, Waldrestholz) gepresst.

Siehe auch >Holzenergie, >Holzhackschnitzel

HOLZHACKSCHNITZEL

Holzhackschnitzel sind maschinell zerkleinertes Holz. Die Normen geben eine maximale Größe von ca. 3 - 5 cm² vor. Nicht jede moderne vollautomatische Heizungsanlage, die mit Holzpellets befeuert wird, ist auch für die Verbrennung von Holzhackschnitzeln ausgelegt. Für Holzschneidtheizungen gibt es Zuschüsse aus dem Marktanreizprogramm. Siehe auch >Holzenergie, >Holzpellets

HOT-DRY-ROCK-VERFAHREN (HDR)

Das Hot-Dry-Rock-Verfahren macht die Nutzung von Tiefengeothermie möglich, wenn in der Tiefe kein Thermalwasser vorhanden ist. Der Oberbegriff für Stimulationsverfahren, die bei fehlenden oder zu geringen Thermalwassermengen eingesetzt werden, lautet Enhanced Geothermal Systems (EGS), wobei der Begriff HDR in der Öffentlichkeit bekannter ist. Bei EGS oder HDR wird mit hohem Druck Wasser durch ein Bohrloch in mehr als 3.000 Meter Tiefe in den Untergrund gepresst, wodurch Risse im Gestein entstehen. Anschließend wird Wasser durch das Bohrloch in das unterirdische Rissystem geleitet, wo es sich erwärmt und durch ein anderes Bohrloch wieder hoch gepumpt wird. Das mittels HDR geförderte Wasser erreicht Temperaturen, die eine Stromerzeugung ermöglichen.

Siehe auch >Geothermie, >Petrothermale Geothermie

HYDROTHERMALE GEOTHERMIE

Hydrothermale Geothermie bezeichnet die Strom- und bzw. oder Wärmeerzeugung mit Thermalwasser. Die Temperatur des Wassers muss mindestens 80-100°C betragen, damit eine Stromerzeugung möglich ist. Bei Temperaturen ab 80°C kommen neu entwickelte Organic Rankine-Cycle-Anlagen (ORC) oder das Kalina-Verfahren zum Einsatz. Bei beiden Verfahren werden an Stelle von Wasser Stoffe genutzt, die bereits bei geringeren Temperaturen verdampfen (zum Beispiel Pentan oder Ammoniak). Thermalwasser kann gleichzeitig oder ausschließlich für die Wärmeversorgung genutzt werden. Die thermische Energie des geförderten Wassers wird dazu über einen Wärmetauscher in ein Wärmenetz abgegeben.

Siehe auch >Fernwärme, >Geothermie, >Nahwärme, >Petrothermale Geothermie

INSTALLIERTE LEISTUNG

Die installierte Leistung kennzeichnet die maximale elektrische Leistung eines Kraftwerks oder des gesamten Kraftwerksparks. Sie wird bei kleineren Anlagen in Kilowatt (kW), sonst in Megawatt (MW) oder auch Gigawatt (GW) angegeben. Ein Megawatt sind 1.000 kW. Ein GW sind 1.000 MW oder so viel Leistung wie der Betrieb von 1 Million Wasserkochern oder Haarföhnen benötigt.

KALINA-VERFAHREN

Ein Verfahren zum Betrieb von Dampfturbinen zur geothermischen Stromerzeugung bei relativ niedrigen Temperaturen. Herkömmliche Wasserdampfturbinen benötigen Temperaturen von weit über 100°C. Um auch Temperaturen um 90°C zur geothermischen Stromerzeugung nutzen zu können, wird die Wärme des Tiefenwassers an ein Ammoniak-Wasser-Gemisch mit einem wesentlich niedrigeren Siedepunkt abgegeben. Der entstehende Dampf wird dann an Stelle von reinem Wasserdampf zum Antrieb von Turbinen genutzt.

Siehe auch >Geothermie, >Hydrothermale Geothermie, >Organic-Rankine-Cycle

KILOWATTSTUNDE

Einheit zur Messung von Energiemengen. Dabei entspricht eine Wattstunde (1 Wh) ca. 3,6 Kilojoule (kJ). 1.000 Wh sind eine Kilowattstunde (1 kWh) und 1.000 kWh sind eine Megawattstunde (MWh). Der Stromverbrauch in Deutschland liegt bei ungefähr 615 Terawattstunden (TWh), das sind 615 Milliarden Kilowattstunden. Ein durchschnittlicher 3-Personen-Haushalt verbraucht etwa 3.500 Kilowattstunden Strom im Jahr. Mit einer Kilowattstunde kann man beispielsweise 15 Stunden Radio hören, einmal mit der Waschmaschine Wäsche waschen, oder Mittagessen für vier Personen kochen.

KOHLENSTOFFDIOXID (CO₂)

Kohlenstoffdioxid ist ein farbloses, geruchsneutrales Gas aus Sauerstoff und Kohlenstoff. Es entsteht bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Brennstoffe, insbesondere der fossilen Energieträger. Kohlenstoffdioxid trägt erheblich zum Klimawandel bei, der zu einer durchschnittlichen Erwärmung der Erdatmosphäre um 0,8 Grad Celsius im vergangenen Jahrhundert geführt hat. Die Folgen davon sind unter anderem der Anstieg des Meeresspiegels, die Zunahme von Stürmen und Dürren und das Abschmelzen der Gletscher.

KOMBIKRAFTWERK

Ein Kombikraftwerk verknüpft und steuert eine Vielzahl kleiner und dezentraler Stromerzeugungsanlagen. Die Kombination von Wind-, Solar-, Biomasse- und Wasserkraftanlagen ermöglicht eine Stromproduktion, die ebenso zuverlässig und leistungsstark wie bei herkömmlichen Großkraftwerken ist. Windenergieanlagen und Solarmodule leisten dabei je nach Verfügbarkeit von Wind und Sonne ihren Beitrag zur Stromerzeugung. Je nach Bedarf werden zum Ausgleich Biogas und Wasserkraft eingesetzt.

KONVERSIONSFLÄCHEN

Der Begriff Konversion beschreibt in der Stadtplanung die Wiedereingliederung von Brachflächen in den Wirtschafts- und Naturkreislauf. Der Begriff entstand im Zuge der Umnutzung ehemaliger militärischer Anlagen (Konversionsflächen) und wurde speziell für diese verwendet. Im Laufe der Jahre fand der Begriff auch bei anderen Entwicklungsflächen Anwendung.

KOPPELPRODUKTE

Koppelprodukte fallen während der Produktion z.B. von Biokraftstoffen als Nebenprodukte an. Rund 40 Prozent der Bioenergie-Flächen dienen daher gleichzeitig auch der Produktion von Futtermittel, da bei der Herstellung von Rapsöl und Bioethanol immer auch Futtermittel wie Rapschrot und Trockenschlempe anfallen. Das ebenfalls im Produktionsprozess anfallende Glycerin wird in der chemischen Industrie als Rohstoff eingesetzt. Siehe auch >Biokraftstoffe, >Biomasse, >Trockenschlempe

KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG (KWK)

Bei der Stromerzeugung in thermischen Kraftwerken entsteht immer auch Wärme. Bei herkömmlichen Kraftwerken wird diese Abwärme ungenutzt über Kühltürme an die Umwelt abgegeben, wohingegen sie bei der KWK ausgekoppelt und über ein Wärmenetz als Nah- oder Fernwärme nutzbar gemacht wird. Das steigert den Wirkungsgrad und bedeutet somit eine wesentlich höhere Energieeffizienz. Siehe auch >Blockheizkraftwerk, >Fernwärme, >Nahwärme

LASTMANAGEMENT / DEMAND SIDE MANAGEMENT

Im bisherigen Stromversorgungssystem bestimmt in der Regel die Stromnachfrage den Betrieb von Kraftwerken. Das Stromangebot passt sich durch die Betriebsweise der Kraftwerke den Nachfrageschwankungen an. Im Zuge eines immer stärker auf Erneuerbare Energien ausgerichteten Stromversorgungssystems wird es künftig wichtig, die Last teilweise auch dem Angebot, d.h. vor allem der Verfügbarkeit von Wind- und Sonnenstrom anzupassen. Dadurch lässt sich der Bedarf an fossilen Kraftwerken und Speicherkapazitäten reduzieren. Ein solches Lastmanagement setzt allerdings eine entsprechende Infrastruktur voraus: Die Verbraucher müssen stets über die vorhandenen Stromkapazitäten informiert sein und Anreize zur Anpassung ihrer Stromnachfrage durch entsprechende Tarife und Preissignale bekommen. Zudem müssen sich Geräte wie zum Beispiel Spülmaschinen, Trockner und Waschmaschinen entsprechend steuern bzw. programmieren lassen.

Die Lastmanagementpotenziale werden von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Das technische Lastmanagementpotential liegt sehr hoch und beträgt mehrere

Gigawatt, das praktisch und wirtschaftlich realisierbare Potenzial gilt jedoch als deutlich geringer. Pilotprojekte im Rahmen des BMWi-Programms „E-Energy“ untersuchen verschiedene Lastmanagementpotenziale und probieren eine digitale Vernetzung und Optimierung des Energieversorgungssystems durch den Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien aus.

MITTELSPANNUNG

Mit Mittelspannung ist in der Energietechnik meist ein Spannungsbereich zwischen einem und 30 Kilovolt (kV) gemeint. Es gibt jedoch keine genaue Abgrenzung, auch Werte bis zu 75 kV werden oft als Mittelspannung bezeichnet. Zur Anwendung kommt die Mittelspannung im Mittelspannungsnetz, das für die regionale Verteilung von Strom im Bereich von einigen Kilometern bis zu 100 Kilometern zuständig ist. Mittelspannungsnetze dienen zur Stromversorgung einzelner Stadtteile, von Ortschaften oder Industriebetrieben.

Siehe auch > Hochspannung > Höchstspannung > Niederspannung

NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (NAWARO)

Holz und Energiepflanzen sind nachwachsende Rohstoffe (Nawaro). Diese werden im Gegensatz zu Energiepflanzen zusätzlich aber auch für eine stoffliche Nutzung angebaut, z.B. als Baumaterial, als Zellstoff für die Papierindustrie, als Schmierstoff, Farbstoff oder als sonstige Rohstoffe für die chemische Industrie.

Siehe auch >Biomasse, >Energiepflanzen

NAHWÄRME

Nahwärme ist die Übertragung von Wärme über verhältnismäßig kurze Strecken durch ein Nahwärmenetz zwischen Gebäuden zu Heizzwecken. Rechtlich wird zwischen Nah- und Fernwärme nicht unterschieden. Nahwärme wird im Unterschied zur Fernwärme in kleinen, dezentralen Einheiten realisiert und bei relativ niedrigen Temperaturen übertragen. Daher lässt sich Wärme aus Blockheizkraftwerken, aber auch aus Solarthermieanlagen oder Erdwärmeanlagen verwerten. Im Zuge der verstärkten Nutzung Erneuerbarer Energien spielt der Ausbau von Nahwärme daher eine große Rolle.

Siehe auch >Blockheizkraftwerk, >Fernwärme, >Solarthermie

NIEDERSPANNUNG

Bezeichnet die niedrigste Spannungsebene, die bei Wechselspannung bis 1000 Volt (1 Kilovolt) reicht und bei Gleichspannung bis 1500 Volt (1,5 Kilovolt). Im Niederspannungsnetz ist eine Spannung von 400 Volt üblich. Es dient der Feinverteilung des Stroms an die Endkunden und ist das streckenmäßig am weitesten verzweigte Netz innerhalb des deutschen Stromnetzes. Damit stellen Niederspannungsnetze die unterste Ebene des hierarchisch gegliederten Stromnetzes dar. Haushalte werden mit Niederspannung von etwa 230 Volt beliefert.

Siehe auch > Hochspannung > Höchstspannung > Mittelspannung

OFFSHORE-WINDENERGIE

Die Stromerzeugung aus Windenergie auf dem Meer. Strom aus Offshore-Windenergieanlagen soll einen wichtigen Beitrag zur zukünftigen Energieversorgung Deutschlands

leisten. Die hohen durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten auf dem Meer versprechen eine hohe Stromausbeute. Offshore-Windparks stehen z.B. schon vor Dänemark, Großbritannien und den Niederlanden.

ONSHORE-WINDENERGIE

Die Windenergienutzung an Land. Die Onshore-Windenergie ist in Deutschland die Erneuerbare Energie, die den größten Anteil an der erneuerbaren Stromproduktion hat. (ca. 6,5 Prozent des gesamten deutschen Stromverbrauchs im Jahr 2008).

ORGANIC-RANKINE-CYCLE (ORC)

Ein Verfahren, bei dem Dampfturbinen in Kraftwerken mit einem anderen Arbeitsmittel als Wasserdampf betrieben werden. Ausschlaggebend ist der niedrigere Siedepunkt von organischen Stoffen, wodurch man den Dampfdruck bei relativ geringen Temperaturen erhöhen kann. Das Verfahren kommt bei der Stromerzeugung aus Geothermie zum Einsatz, z.B. im ersten geothermischen Kraftwerk Deutschlands in Neustadt-Glewe.

Siehe auch >Geothermie, >hydrothermale Geothermie

PEAKLEISTUNG

Die Nennleistung von Photovoltaikanlagen wird in kWp (Kilowattpeak) angegeben. Dabei bezieht sich „peak“ (engl. Höchstwert, Spitze) auf die Leistung, die unter internationalen Standard-Testbedingungen erzielt wird. Dieses Vorgehen dient zur Normierung und zum Vergleich verschiedener Solarzellen. Als Faustregel gilt in unseren Breitengraden ein Stromertrag von mindestens 800 kWh pro kWp installierter Leistung der Anlage und Jahr.

Siehe auch >Performance Ratio, >Photovoltaik

PERFORMANCE RATIO

Den angegebenen Nennwirkungsgrad, der unter Standard-Testbedingungen ermittelt wird, erreichen Solarmodule in der Realität kaum. Denn hier reduzieren Widerigkeiten wie Staub, Vogeldreck, Reflexionen, Erwärmung, Leitungs- und Wechselrichterverluste den realen Ertrag. Deshalb spricht man auch vom realen Wirkungsgrad. Das Verhältnis von realem Wirkungsgrad zum Nennwirkungsgrad nennt man Performance Ratio (PR). Dieser wird auch als Qualitätsfaktor bezeichnet. Neue Anlagen, die optimal auf dem Dach installiert und wenig verschmutzt sind, haben einen PR-Wert von 0,85. Das heißt, dass 85 Prozent des vom Generator erzeugten Stroms real zur Verfügung steht. Eine durchschnittliche Anlage mit kleineren Verlusten durch Verschattung hat einen PR-Wert von ca. 0,7.

Siehe auch >Peakleistung, >Photovoltaik, >Wirkungsgrad

PETROTHERMALE GEOTHERMIE

Im Gegensatz zur hydrothermalen Geothermie kann die petrothermale Geothermie nicht auf natürlich vorhandenen Dampf oder Thermalwasser zurückgreifen. Die petrothermale Geothermie „sitzt auf dem Trockenen“ und nutzt die natürliche Wärme des heißen Gesteins in ca. 2.000 - 6.000 Meter Tiefe. Die Verfahren werden daher auch als „Hot-Dry-Rock-Verfahren“ bezeichnet. Mit hydraulischen und chemischen Stimulationsverfahren können Risse und Klüfte im Gestein erzeugt oder erweitert werden. In diese Risse und Klüfte wird per Injektionsbohrung dann unter hohem Druck Wasser eingepresst. Das Wasser erhitzt sich im ca. 200°C heißen Gestein. Eine Förderbohrung pumpt das ca.

90 - 150°C heiße Wasser dann wieder an die Erdoberfläche. Dort kann es wie bei der hydrothermalen Geothermie mit den ORC- (Organic Rankine Cycle) und Kalina-Verfahren genutzt werden: Das heiße Wasser gibt seine Wärme an einen schnell verdampfenden Wärmeträger ab. Dieser treibt wiederum über einen separaten Kreislauf eine Turbine zur Stromerzeugung an. Auch der Anschluss eines Nahwärmenetzes ist möglich.

Siehe auch >Hot-Dry-Rock-Verfahren, >Hydrothermale Geothermie, >Kalina-Verfahren, >Organic-Rankine-Cycle

PHOTOVOLTAIK

Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie. Bei der Photovoltaik wird in Solarzellen durch einfallendes Licht (Photonen) ein elektrisches Feld erzeugt. Elektronen können über elektrische Leiter abfließen. Der Strom kann direkt verwendet werden oder in das Stromnetz eingespeist werden. Siehe auch >Peakleistung, >Performance Ratio

POTENZIELLER JAHRESENERGIEERTRAG

Der potenzielle Jahresenergieertrag gibt an, wie viel Strom alle am Ende eines Jahres in Deutschland installierten Windenergieanlagen produzieren würden, wenn sie unter durchschnittlichen Bedingungen ein Jahr lang Strom produzierten. Er weicht insofern von der tatsächlichen Einspeisung ab, da die meisten Neuanlagen erst im Laufe des Jahres in Betrieb genommen werden und jährlich schwankende Windverhältnisse vorliegen.

POWER-TO-GAS

Methode zur Gewinnung von Methan durch Nutzung von überschüssigem, erneuerbar erzeugtem Strom. Die Methanisierung soll in Zukunft die mittel- und langfristige Speicherung von Energie ermöglichen. Wenn mehr Strom regenerativ erzeugt als verbraucht wird oder über das Netz abtransportiert werden kann, wird diese Energie genutzt, um per Elektrolyse Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zu spalten. Anschließend wird der gewonnene Wasserstoff unter Zugabe von Kohlendioxid (CO₂) im sogenannten Sabatier-Prozess in Methan umgewandelt, das herkömmlichem Erdgas entspricht. Dadurch können die Transport- und Speicherkapazitäten des Erdgasnetzes genutzt werden. Bei Bedarf kann das gespeicherte Methan beispielsweise in einem Gasturbinenkraftwerk rückverstromt werden, es kann aber auch in der Wärmeversorgung oder im Verkehr zum Antrieb von Erdgasfahrzeugen zum Einsatz kommen.

PRIMÄRENERGIE

Energie, die in Form von natürlich vorkommenden Energieträgern zur Verfügung steht. Primärenergie wird durch verschiedene Verfahren in nutzbare Energie, d.h. in Endenergie umgewandelt. Ein Beispiel ist die Erzeugung von Strom und Wärme in Holzheizkraftwerken aus dem Primärenergieträger Holz oder die Umwandlung von Rapsöl in Kraftstoff, der wiederum für den Antrieb von Fahrzeugen genutzt wird. Die Umwandlung ist immer auch mit Energieverlusten verbunden, die umso geringer ausfallen, je höher der Wirkungsgrad der eingesetzten Technik ist.

Siehe auch >Endenergie, >Wirkungsgrad

REGELENERGIE

Energie, die für den kurzfristigen Ausgleich von Schwankungen in Erzeugung und Verbrauch von Strom bereitge-

halten wird, damit zu jedem Zeitpunkt exakt so viel Strom ins Netz eingespeist, wie verbraucht wird. Regelenergie wird an den Regelenergiemärkten der Strombörse gehandelt. Dabei unterscheidet der Markt positive und negative Regelenergie, je nachdem, ob es einen Mangel bzw. Überschuss an Leistung gibt im Vergleich zur prognostizierten Stromversorgung. Bei Bedarf an positiver Regelenergie wird kurzfristig zusätzliche Kraftwerksleistung zur Verfügung gestellt. Als Regelkraftwerke werden Dampfturbinen-, Speicherwasser-, Pumpspeicher- und Gasturbinenkraftwerke eingesetzt, die entweder im Teillastbetrieb operieren oder im Bedarfsfall gestartet werden. Negative Regelenergie ist nötig, wenn überschüssiger Strom vorhanden ist. Das kommt vor, wenn die Stromnachfrage unerwartet gering ausfällt oder die Sonneneinstrahlung oder das Windaufkommen höher ausfällt als prognostiziert. Negative Regelenergie kann aus Anlagen mit großer elektrischer Leistung bestehen, die als zusätzliche Verbraucher zugeschaltet werden, um den Überschussstrom aufzufangen (z.B. Pumpspeicherkraftwerke oder andere Stromspeicher). Prinzipiell ist auch eine Bereitstellung negativer Regelenergieleistung zum Beispiel durch das Abschalten von Windparks möglich. Die verschiedenen Arten der Regelenergie (Primär-, Sekundär-, Tertiärregelung) werden hinsichtlich der Aktivierungs- und Änderungsgeschwindigkeit zur Strombereitstellung bzw. zum Stromverbrauch unterschieden.

REPOWERING

Ersatz alter Anlagen zur Stromerzeugung durch neue, leistungstärkere Anlagen am selben Standort. Der Begriff Repowering wird vor allem im Zusammenhang mit dem Ersatz von alten Windenergieanlagen verwendet. Siehe auch >Onshore-Windenergie

RESTSTOFFE

Reststoffe werden, im Gegensatz zu Energiepflanzen, nicht eigens für die energetische Nutzung angebaut, sondern sind bei einer anderen, vorherigen Nutzung von Biomasse angefallen. Was auf den ersten Blick als überflüssiger Abfall erscheint, ist aber ein wertvoller Reststoff, der auch energetisch genutzt werden kann. Für Bioenergie werden biogene Reststoffe wie Erntereste, Biomüll, Stroh sowie tierische Exkremente (z.B. Gülle, Mist) genutzt. Siehe auch >Biomasse, >Energiepflanzen, >Nachwachsende Rohstoffe

SMART GRIDS / INTELLIGENTE NETZE

Der Begriff „Smart Grids“ steht als Oberbegriff für eine geschickte und effiziente Verknüpfung von Stromerzeugung, Stromtransport und Lastmanagement mit Hilfe moderner Kommunikations- und Informationstechnologie. Der Einsatz von digitaler Technologie soll künftig eine „intelligente“, automatisierte Netzbetriebsführung ermöglichen und dabei immer höhere Anteile erneuerbarer und dezentraler Erzeugungstechnologien sicher und effizient in das Versorgungssystem integrieren. Ein Teil dieser modernen Netzbetriebsführung sind neue digitale, „intelligente“ Stromzähler (Smart Meter). Sie sollen dem Stromverbraucher wesentlich mehr Informationen bieten als die herkömmlichen Stromzähler und ihn damit zu einem verantwortlichen Akteur im Stromversorgungssystem machen. Siehe auch > Lastmanagement / Demand Side Management

SOLARE KÜHLUNG

Raumkühlung mit Solarenergie. Bei der solaren Kühlung wird als Antriebsenergie für Kältemaschinen, wie etwa eine Klimaanlage, nicht elektrischer Strom genutzt, sondern Solarthermie. Siehe auch >Solarthermie

SOLARTHERMIE

Nutzung der Solarenergie zur Erzeugung von Wärme. Eine typische Nutzung der Solarthermie läuft über Sonnenkollektoren. In diesen wird Wasser erwärmt, das zur Raumheizung oder für den direkten Bedarf genutzt werden kann.

TIEFENSTÖRUNGEN

Tiefenstörungen entstehen in der Erdkruste, wenn dortige Gesteine auf einwirkende tektonische Kräfte – meist bruchhaft – reagieren. Störungen können deutlich größere Durchlässigkeiten als benachbarte Gesteine haben. Aufsteigendes Thermalwasser konzentriert sich deshalb auf diese Bruchzonen, so dass Wärme in geringere Tiefen transportiert wird. Dies macht Tiefenstörungen für eine geothermische Nutzung interessant. Störungszonen werden bisher in Deutschland noch nicht für die Erdwärmege- winnung genutzt. Siehe auch >Geothermie, >hydrothermale Geothermie

TRITICALE

Triticale ist ein Getreide. Es ist eine Kreuzung aus Weizen und Roggen. Seine Körner sind ca. 3–5 cm lang und vierkantig. Triticale verbindet hohe Erträge mit geringen Ansprüchen an Klima und Bodenqualität.

TROCKENSCHLEMPPE

Trockenschlempe fällt in einer Anlage zur Herstellung von Bioethanol auf Basis von stärkehaltigen Getreiden an. Während der Produktion entstehen Dämpfe, die nach Abkühlung Rückstände hinterlassen. Dieses Nebenprodukt heißt Schlempe. Nach der Trocknung wird die so genannte Trockenschlempe pelletiert und als lagerfähiges Futtermittel verwendet. Siehe auch >Bioethanol

ÜBERTRAGUNGSNETZ (AUCH: TRANSPORTNETZ)

Das Stromübertragungsnetz dient dem überregionalen Ferntransport von Strom. Um die Übertragungsverluste möglichst zu minimieren, wird dazu Höchstspannung gewählt. Üblicherweise kommen dabei die Spannungsebenen von 220 und 380 Kilovolt zur Anwendung. Über Umspannwerke (Transformatoren) ist das Übertragungsnetz mit den regionalen Verteilnetzen verbunden. Siehe auch > Hochspannung > Höchstspannung

ÜBERTRAGUNGSNETZBETREIBER (ÜNB)

Betreiber der Höchstspannungsnetze, die den Strom über große Entfernungen transportieren. Ihnen kommt die Aufgabe zu, die Übertragungsnetze zu warten und instand zu halten sowie Stromerzeugern, -händlern und -lieferanten Zugang zu den Netzen zu gewähren. Außerdem gleichen die Übertragungsnetzbetreiber Netzschwankungen aus, indem sie Regelenergie bereitstellen. Sie sind dem Gesetz nach die Systemverantwortlichen, das heißt für die Versorgungssicherheit zuständig. Siehe auch > Hochspannung > Höchstspannung > Regelenergie

VERSIEGELUNG VON FLÄCHEN

Flächenversiegelung oder Bodenversiegelung bezeichnet das Bedecken des natürlichen Bodens durch Bauwerke des Menschen. Von Flächenversiegelung wird deshalb gesprochen, weil in den Boden kein Niederschlag mehr eindringen kann und so viele der dort normalerweise ablaufenden Prozesse gestoppt werden.

VERTEILNETZ / VERTEILERNETZ

Umfasst Nieder-, Mittel- und Hochspannungsnetze. Sie sorgen dafür, dass der Strom regional verteilt wird. Haushalte bis mittelgroße Abnehmer sind an das Verteilnetz angeschlossen, das über Umspannwerke (Transformatoren) mit dem Übertragungsnetz (Höchstspannung) verbunden ist. Siehe auch > Hochspannung > Mittelspannung > Nieder- spannung > Übertragungsnetz (auch: Transportnetz)

VERTEILNETZBETREIBER

Sind für den Stromtransport im Verteilnetz und damit die lokalen Stromnetze zuständig. Zu den Aufgaben der Verteilnetzbetreiber gehört neben Wartung und Instandhaltung der Netze und dem Betrieb der Messstellen auch die Gewährung des Netzzugangs für Stromhändler und -lieferanten, wie zum Beispiel Betreibern von kleineren EEG-Anlagen. Etwa 900 Verteilnetzbetreiber gab es im Jahr 2010 deutschlandweit.

VIRTUELLES KRAFTWERK

Ein Verbund aus verschiedenen dezentralen Stromerzeugungsanlagen, die zusammengeschaltet werden. Gesteuert wird ein solches Netzwerk aus kleineren Erzeugern zentral. Durch die enge Vernetzung der Einzelanlagen bekommen die vielen dezentralen Anlagen den Charakter eines Großkraftwerks. Bausteine eines virtuellen Kraftwerks können z.B. Photovoltaikanlagen, Windräder, Biogasanlagen, Blockheizkraftwerke oder Wasserkraftanlagen aber auch Energiespeicher sein, die zusammen gekoppelt betrieben werden. Die Vorteile und Schwachstellen der einzelnen Technologien lassen sich durch die Zusammenschaltung insgesamt ausgleichen. Das Zusammenspiel sowohl von fluktuierenden als auch regelbaren Einspeisern gewährleistet eine sichere und flexible Stromerzeugung. Ein virtuelles Kraftwerk kann z.B. Lastspitzen glätten oder Regelenergie bereitstellen. Die Bezeichnung „virtuell“ rührt daher, dass der Erzeugungsverbund nach außen hin wie ein einzelnes großes Kraftwerk erscheint, aber eigentlich kein einzelnes Kraftwerk existiert, sondern mehrere, über verschiedene Standorte verteilte Anlagen. Siehe auch > Kombikraftwerk > Regelenergie

WÄRMEPUMPE

Eine Wärmepumpe hebt die natürliche Wärme in ihrer Umgebung (z.B. aus dem Erdreich, Grundwasser oder aus der Luft) auf ein höheres Temperaturniveau. Sie nutzt dazu den Effekt, dass sich Gase unter Druck erwärmen (wie z.B. bei einer Fahrrad-Luftpumpe). Siehe auch >Geothermie

WASSERKRAFT

Energie, die mit Hilfe von Wasserrädern oder Wasserturbinen aus fließendem Wasser gewonnen wird. Wasserkraft ist eine natürliche Energiequelle, die überall dort verfügbar ist, wo eine ausreichende Menge Wasser und/ oder Fallhöhe von stetig fließendem Wasser vorhanden ist. Eine Wasserturbine treibt einen Generator an, der Strom aus Wasserkraft erzeugt.

WASSERSTOFF

Chemisches Element. Mit der Transformation des Energieversorgungssystems auf Erneuerbare Energien gewinnt Wasserstoff als Speichermedium an Bedeutung. Das Gas kann per Elektrolyse durch die Aufspaltung von Wasser in seine Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff hergestellt werden. Hierbei kann künftig auf zeitweilig überschüssige Wind- und Solarstrommengen zurückgegriffen werden. Da Wasserstoff ein gut speicher- und transportfähiger Energieträger ist (bis zu fünf Prozent lassen sich direkt in das Erdgasnetz einspeisen), kann er als Langzeitspeicher und in vielfältigen Anwendungen eingesetzt werden. Auch als Antrieb für Autos mit einer Brennstoffzelle kann Wasserstoff genutzt werden. Siehe auch > Methanisierung

WIRKUNGSGRAD

Verhältnis von Energieeinsatz und erhaltener Leistung (z.B. Strom oder Wärme). Der Gesamtwirkungsgrad von Anlagen zur Stromproduktion setzt sich zusammen aus dem elektrischen und dem thermischen Wirkungsgrad. So kann man den Wirkungsgrad erhöhen, indem man auch die Wärme, die bei der Stromerzeugung entsteht, nutzt. Siehe auch >Kraft-Wärme-Kopplung

WIRTSCHAFTLICHKEIT

Das Verhältnis von Aufwand und Ertrag. Die Wirtschaftlichkeit ist ein Maß für Effizienz. Sie entscheidet darüber, ob ein Produkt oder eine Technologie im Wettbewerb bestehen kann.

a	Jahr
Abb.	Abbildung
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
BtL	Biomass-to-Liquid
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EnLAG	Energieleitungsausbaugesetz
ENTSO-E	Europäische Netzwerk der Übertragungsnetzbetreiber
EGS	Enhanced Geothermal Systems
GW	Gigawatt (1.000 Megawatt)
H ₂	Wasserstoff
ha	Hektar
HDR	Hot-Dry-Rock-Verfahren
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen
IuK	Information und Kommunikation
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kJ	Kilojoule
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
kWp	Kilowatt peak
kWh	Kilowattstunden
kWh _{el}	Kilowattstunde elektrisch
kWh _{th}	Kilowattstunde thermisch
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LED	Licht emittierende Diode
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
MW	Megawatt (1.000 Kilowatt)
NABU	Naturschutzbund Deutschland e.V.
Nawaro	Nachwachsende Rohstoffe
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ORC	Organic-Rankine-Cycle
PCI	Vorhaben von gemeinsamem Interesse (projects of common interest)
PJ	Petajoule
PKW	Personenkraftfahrzeug
PR	Performance Ratio
PtG	Power-to-Gas
PtL	Power-to-Liquid
PV	Photovoltaik
RLT	Raumlufttechnik
rONT	regelbare Ortsnetztransformatoren
SINTEG	„Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“

FOTONACHWEIS

Titel:	AEE/Paul Langrock (2); ENERCON GmbH (3); BWP; Tennet; Smart Grids BW; Trimet; Patrick Pleul/ dpa Zentralbild; Geothermie Unterhaching GmbH & Co. KG; Wasserkraftwerke Bremen; B&O Gruppe (2); VERBIO; Planungsbüro Barba; Stadtwerke Bonn
S. 10/11:	iStockphoto.com
S. 13:	BWE
S. 14/15:	ESA, Google Maps, Landsat; Montage BBGK
S. 14:	Raimund Spekking
S. 15 (ul):	WikiCommons, Hannes Grobe
S. 15 (ur):	ENERCON GmbH
S. 16:	Google Maps
S. 17/18:	ESA
S. 21:	Google Maps
S. 23:	BSW Solar/Langrock
S. 24:	Norbert Guthier
S. 25:	Patrick Pleul/ dpa Zentralbild
S. 31 (2):	Geothermie Unterhaching GmbH & Co. KG
S. 32:	BWP
S. 24/35:	sxc.hu
S. 40/41 (5):	AEE/Paul Langrock
S. 42/43:	iStockphoto.com
S. 46:	Rudolfzell
S. 47:	Wasserkraftwerke Bremen
S. 48/49:	Gina Sanders /fotolia.com
S. 54:	Tennet
S. 57:	SWK Stadtwerke Krefeld
S. 61:	Smart Grids BW
S. 62/63:	Scanrail/fotolia.com
S. 64:	Trimet
S. 66:	ASD
S. 68:	Vattenfall
S. 69:	Naturspeicher GmbH
S. 72/73:	zapp2photo/fotolia.com
S. 74:	Enertrag
S. 75 (o):	sunfire
S. 75 (u):	Vissmann
S. 76 (o.):	Eidenschink/TFZ
S. 76:	VERBIO
S. 77:	cargobull
S. 78 (l):	E-Force ONE AG
S. 78 (r):	ENERCON GmbH
S. 79 (l):	Stadtwerke Bonn
S. 79 (r):	Alstom
S. 80/81:	hanohiki/fotolia.com
S. 83 (o):	Ingo Bartussek/fotolia.com
S. 83 (u):	Planungsbüro Barba
S. 84 (o):	B&O Gruppe
S. 84 (u):	Marina Landau-Orth
S. 85:	B&O Gruppe

- [Abo Wind 2016] Abo Wind AG: Pressemitteilung März 2016: Grüne Wasserstoff-Tankstellen für emissionsfreien Verkehr in ganz Deutschland, http://www.abo-wind.com/de/aktuelles/pressemitteilungen/2016/2016-03-14_IRES_Wasserstofftankstellen.html [Zugriff: 15. Dezember 2016].
- [AEE 2016] Agentur für Erneuerbare Energien e.V.: KOMM:MAG- Das Jahresmagazin zu Erneuerbaren Energien in Kommunen. Berlin, März 2016.
- [AEE 2015a] Agentur für Erneuerbare Energien e.V.: KOMM:MAG- Das Jahresmagazin zu Erneuerbaren Energien in Kommunen. Berlin, März 2015. .
- [AEE 2015b] Agentur für Erneuerbare Energien e.V.: Die neue Stromwelt. Szenario eines 100% Erneuerbaren Stromversorgungssystems. Berlin, März 2015. .
- [AEE 2014] Agentur für Erneuerbare Energien e.V.: Renew Spezial Nr. 75: Strom speichern. Berlin, Dezember 2014. .
- [BAFA 2016] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA): MAP - Geförderte Anträge 2015, Juni 2016.
- [BBSR] Bundesinstitut für Bau, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung [BBR]: Energetische Biomassenutzung. Daten, Karten, Graphiken http://www.bbsr.bund.de/cln_016/nn_116204/BBSR/DE/Fachthemen/Fachpolitiken/EnergieUmwelt/RegenerativeEnergie/Fachbeitraege/Energetische-Biomassenutzung/03_DatenKartenGraphiken.html [Zugriff 20.10.2009].
- [BEE 2009] Bundesverband Erneuerbare Energie e.V.: Wege in die moderne Energiewirtschaft, Ausbauprognose der Erneuerbare-Energien-Branche, Oktober 2009.
- [BEE/BET 2013] Bundesverband Erneuerbare Energie e.V.; Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH: Möglichkeiten zum Ausgleich fluktuierender Einspeisungen aus Erneuerbaren Energien. Aachen, März 2013. .
- [Berlin Partner GmbH 2009] Berlin Partner GmbH: Solaratlas Berlin – Pilotprojekt, <http://www.3d-stadtmodellberlin.de/3d/C/seite0.jsp> [Zugriff: 20. Oktober 2009]. .
- [BMVBS / BBSR 2009] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung / Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Nutzung städtischer Freiflächen für erneuerbare Energien. Bonn, 2009.
- [BMVI 2015] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.): Räumlich differenzierte Flächenpotentiale für erneuerbare Energien in Deutschland. BMVI-Online-Publikation, August 2015.
- [BMWi 2016] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Berlin, Dezember 2016, http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2015.pdf;jsessionid=97F95BBD699545F65D71EE593088C4C2?__blob=publicationFile&v=6 [Zugriff: 20. Dezember 2016].
- [BMWi 2015] Bundesministerium für Wirtschaft, Energie und Industrie (Hrsg.): „Die Energie der Zukunft“. Vierter Monitoring-Bericht zur Energiewende; Kurzfassung. Berlin, November 2015. .
- [BMWi 2014] Bundesministerium für Wirtschaft, Energie und Industrie (Hrsg.): Moderne Verteilernetze für Deutschland (Verteilernetzstudie). Berlin, September 2014. .
- [BMWi 2015] Marktanalyse Wasserkraft, <http://www.bmwi.de/DE/Themen/energie,did=692934.html> [Zugriff: 15. Dezember 2016].
- [BNetzA 2016a] Bundesnetzagentur Netzausbau, <https://www.netzausbau.de/leitungsverhaben/de.html> [Zugriff: 15. Dezember 2016].
- [BNetzA 2016b] Bundesnetzagentur: 3. Quartalsbericht 2015 zu Netz- und Systemsicherheitsmaßnahmen - Viertes Quartal 2015 sowie Gesamtjahresbetrachtung 2015, http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/BNetzA/Sachgebiete/Energie/ErneuerbareEnergienGesetz/Statistikberichte/StatistikberichtEEG2007_Id17185pdf.pdf?__blob=publicationFile [Zugriff: 15. Dezember 2016].
- [BNetzA 2016c] Bundesnetzagentur Kraftwerksliste bundesweit. Alle Netz- und Umspannebenen. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/kraftwerksliste-node.html, [Zugriff: 20. Dezember 2016].
- [BNetzA 2015] Bundesnetzagentur: Magazin 2015: Deutschlands Netze im Wandel. Zukunftsfähig, schnell und sicher. Bonn, April 2015. .
- [BNetzA 2011] Bundesnetzagentur: Bericht gemäß §63 Abs. 4 a EnWG zur Auswertung der Netzzustands- und Netzausbauberichte der deutschen Elektrizitätsübertragungsnetzbetreiber. Bonn, März 2011.
- [BSH 2016] Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie: Genehmigung von Offshore Windenergieparks, <http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/Windparks/index.jsp> [Zugriff: 20. Dezember 2016].
- [BUMB 2016] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Begleitforschungsprojekt: Effizienzhaus Plus Steckbrief 19 Effizienzhaus Plus, Kassel. http://www.forschungsinitiative.de/fileadmin/user_upload/Netzwerk_Effizienzhaus_Plus/Kassel/Steckbrief_19_Barba-Kassel_final.pdf [Zugriff: 20. Dezember 2016].
- [BWE 2016] Bundesverband WindEnergie e.V.: Windkraft - Für Bürgerenergie. Berlin, 2016.
- [DBFZ] Deutsches Biomasse-Forschungszentrum/Institut für Umweltplanung, Universität Hannover: Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der energetischen Biomassenutzung, 1. Zwischenbericht, Leipzig/Hannover, 2009.
- [db Regio 2016] DB Regio AG: "Umweltfreundliches Zugpferd: der ECO-Train", http://www.dbr regio.de/db_regio/view/zukunft/hybridantrieb.shtml [Zugriff 20. Dezember 2016].
- [DEBRIV 2016] Deutscher Braunkohlen- Industrie-Verein e.V.: Braunkohle in Deutschland 2015 - Daten und Fakten. <http://www.braunkohle.de/4-0-Zahlen-und-Fakten.html> [Zugriff: 20. Dezember 2016].
- [DENA 2016] Deutsche Energie-Agentur GmbH: Strategieplattform Power to Gas: Hybridkraftwerk Prenzlau, <http://www.powertogas.info/powerto-gas/interaktive-projektkarte/hybridkraftwerk-prenzlau.html>, [Zugriff: 20. Dezember 2016].
- [DEWI 2016] Deutsches Windenergie-Institut (UL Intenational GmbH): Windenergienutzung in Deutschland. Stand 31.12.2015. In: DEWI Magazin 48, Februar 2016. http://www.dewi.de/dewi_res/fileadmin/pdf/publications/Magazin_48/DEWI_Magazin_48_Digital.pdf [Zugriff: 15. Dezember 2016].
- [DIHK 2015] Deutscher Industrie- und Handelskammertag: Faktenpapier Ausbau der Stromnetze: Grundlagen, Planungen, Alternativen. Berlin, Januar 2015.
- [DLR 2012] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik, Ingenieurbüro für neue Energien: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global, März 2012.
- [DLR 2004] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt http://www.dlr.de/PortalData/1/Resources/portal_news/newsarchiv2004/corine_clc_bg_hires.jpg.
- Doll, Nikolaus: Erster Wasserstoff-Zug der Welt fährt in Deutschland. In: <https://www.welt.de/wirtschaft/article158262466/Erster-Wasserstoff-Zug-der-Welt-faehrt-in-Deutschland.html> [Zugriff 20. Dezember 2016].
- [DUH 2013] Deutsche Umwelthilfe e.V.: Maßnahme: Konzeption und Durchführung eines Dialogprozesses – Projekt „Bürgerbeteiligung 380 kV-Westküstenleitung“ Ergebnisbericht zum Dialogverfahren an der geplanten 380 kV-Westküstenleitung. Berlin, Dezember 2013.
- [DUH 2006] Deutsche Umwelthilfe e.V.: Lebendige Flüsse & Kleine Wasserkraft – Konflikt ohne Lösung? Berlin, 2006.
- [Ecofys 2007] Ecofys Germany GmbH: Pressemitteilung August 2007: "Mehr als 2300 km² Gebäudefläche für PV und Solarthermie nutzbar", <http://www.ecofys.de/de/news/pressemitteilungen/solarstadt.htm> [Zugriff: 20. Oktober 2009].
- [EFZN 2013] Energie-Forschungszentrum Niedersachsen: Eignung von Speichertechnologien zum Erhalt der Systemsicherheit. Goslar, März 2013.
- [E-Konzept 2011] Energiekonzept für eine zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. BMWI und BMU, Sept. 2010; und: Bundesregierung: „Gesetzspaket zur Energiewende“, Sommer 2011.
- [EN:EFF Stadt] Eine Militärbrache auf dem Weg zur Nullenergiestadt. <http://www.eneff-stadt.info/de/planungsinstrumente/projekt/details/eine-militaerbrache-auf-dem-weg-zur-nullenergiestadt/> [Zugriff: 20. Dezember 2016].
- [Enercon 2016] ENERCON GmbH: Pressemitteilung 2016 „E-Ship 1“ erhält Klassenerneuerung“, <http://www.enercon.de/de/aktuelles/e-ship-1-erhaelt-klassenerneuerung/> [Zugriff: 20. Dezember 2016].
- [EEK 2015] Kartengrundlage Untertage-Gasspeicherung in Deutschland. ERDÖL ERDGAS KOHLE 131. Jg. 2015, Heft 11. Hamburg, 2015.
- [FfE 2016] Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.: Verbundforschungsvorhaben Merit Order der Energiespeicherung im Jahr 2030 Teil 1: Hauptbericht. München, Mai 2016.
- [FNR] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe: Bioenergie-Szenario 2050 <https://mediathek.fnr.de/bioenergie-szenario-2050.html> [Zugriff: 20. Dezember 2016].
- Forschungsinitiative Energiespeicher: Mobil mit synthetischem Erdgas, 10. April 2014, http://forschung-energiespeicher.info/aktuelles/aktuelles-einzelansicht/45/Mobil_mit_synthetischem_Erdgas [Zugriff: 20. Dezember 2016].
- [Fraunhofer IWES 2014] Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik: Kombikraftwerk 2. Abschlussbericht. Kassel, August 2014.
- [GeotIS 2016] GeotIS: Geothermische Potentiale; AGEMAR, T., ALTEN, J., GANZ, B., KUDER, J., KÜHNE, K., SCHUMACHER, S. & SCHULZ, R. (2014): The Geothermal Information System for Germany - GeotIS – ZDGG Band 165 Heft 2, 129–144. GeotIS: Geothermische Standorte; AGEMAR, T., WEBER, J. & SCHULZ, R. (2014): Deep Geothermal Energy Production in Germany – Energies 2014 Band 7 Heft 7, 4397–4416. www.geotis.de [Zugriff 20. Dezember 2016]. GeotIS: Geothermische Standorte; AGEMAR, T., WEBER, J. & SCHULZ, R. (2014): Deep Geothermal Energy Production in Germany – Energies 2014 Band 7 Heft 7, 4397–4416. www.geotis.de [Zugriff 20. Dezember 2016].
- [IE 2016] Leipziger Institut für Energie: Mittelfristprognose zur deutschlandweiten Stromerzeugung aus EEG geförderten Kraftwerken für die Kalenderjahre 2017 bis 2021. Leipzig, Oktober 2016.
- [IFEU 2009] Institut für Energie und Umweltforschung: Wasserstoff- und Stromspeicher in einem Energiesystem mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien: Analyse der kurz- und mittelfristigen Perspektive. Heidelberg, Mai 2009.
- [ISEA 2016] Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe der RWTH Aachen: Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher. Jahresbericht 2016. Aachen, 2016.
- [Leibniz] Leibniz-Institut für Länderkunde: Germany in Maps, <http://map-service.de/gim> [Zugriff am 12.09.2009].
- [LfULG 2009] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Abteilung 10 Geologie, Projektgruppe Geothermie: Interaktive Geothermische Potenzialkarte, <http://www.umwelt.sachsen.de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/infosysteme/arcims/website/gtk50/viewer.htm> [Zugriff: 20. Oktober 2009].
- [LIAG 2009] Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik: Geothermisches Informationssystem für Deutschland, www.geotis.de [Zugriff: 20. Oktober 2016].
- [MUNLV 2005] Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: Handbuch Querbauwerke. Aachen, 2005.
- [Naturstiftung David 2005] Naturstiftung David: „Naturschutzrelevante Militärfächen“, <http://www.naturgebiete.de/04datenbank/0401datenbank.html> [Zugriff: 20. Oktober 2009].
- [Nitsch 2016] Bundesverband Erneuerbare Energie e.V.; Nitsch, Dr. Joachim: Die Energiewende nach COP 21 – Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung. Kurzstudie für den Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. Stuttgart, März 2016. .
- Sterner, Prof. Dr. Michael: Die Bedeutung und Nutzung von Windgas für das Gelingen der Energiewende. Vortrag, 25. August 2016.
- [Statistisches Bundesamt 2015] Bodenfläche nach Nutzungsarten. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/Flaechennutzung/Tabellen/Bodenflaeche.html>.
- Sterner, Prof. Dr. Michael: Energiespeicher für die Energiewende. Zusatzkosten vs. Zusatznutzen? Vortrag, Leipzig, 05. November 2013.
- [SUN-AREA 2008] SUN-AREA / Fachhochschule Osnabrück: Dachflächen für Photovoltaik (PV) in Osnabrück, <http://geodaten.osnabrueck.de/website/SunArea/viewer.htm> [Zugriff: 20. Oktober 2009].
- [TAB 2003] Büro für Technikfolgenabschätzung des deutschen Bundestages: Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland. Berlin, 2003.
- [UBA 2005] Umweltbundesamt: Bundesweites Kataster der ökologisch wirksamen, funktional differenzierten Querverbauungen der Fließgewässer. Dessau-Roßlau, 2005.
- [VDE 2015] Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.: Der Zelluläre Ansatz. Grundlage einer erfolgreichen, regionenübergreifenden Energiewende. Frankfurt am Main, Juni 2015.
- Weinhold, Nicole: Elektro-Lkw: Brummi brummt nicht. In <http://www.erneuerbareenergien.de/elektro-lkw-brummi-brummt-nicht/150/437/97632/1/> [Zugriff 20. Dezember 2016].
- Weinhold, Nicole: Projekt Green Industrial Hydrogen: Das Öko-Stahlwerk. In <http://www.erneuerbareenergien.de/das-erste-oeko-stahlwerk/150/437/97758/> [Zugriff: 15. Dezember 2015].
- [ZSW 2014] Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg: Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichts 2014 gemäß § 65 EEG. Vorhaben Ilc. Solare Strahlungsenergie. Stuttgart, Juli 2014.

Die Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (AEE) leistet Überzeugungsarbeit für die Energiewende. Ihre Aufgabe ist es, über die Chancen und Vorteile einer Energieversorgung auf Basis Erneuerbarer Energien aufzuklären - vom Klimaschutz über eine sichere Energieversorgung bis hin zur regionalen Wertschöpfung. Die AEE wird getragen von Unternehmen und Verbänden der Erneuerbaren Energien. Sie arbeitet partei- und gesellschaftsübergreifend. Mehrere ihrer Kommunikationsprojekte werden von den Bundesministerien für Umwelt und für Landwirtschaft gefördert.

Aktuelle Informationsangebote im Internet:

www.unendlich-viel-energie.de
www.kommunal-erneuerbar.de
www.foederal-erneuerbar.de
www.energie-studien.de