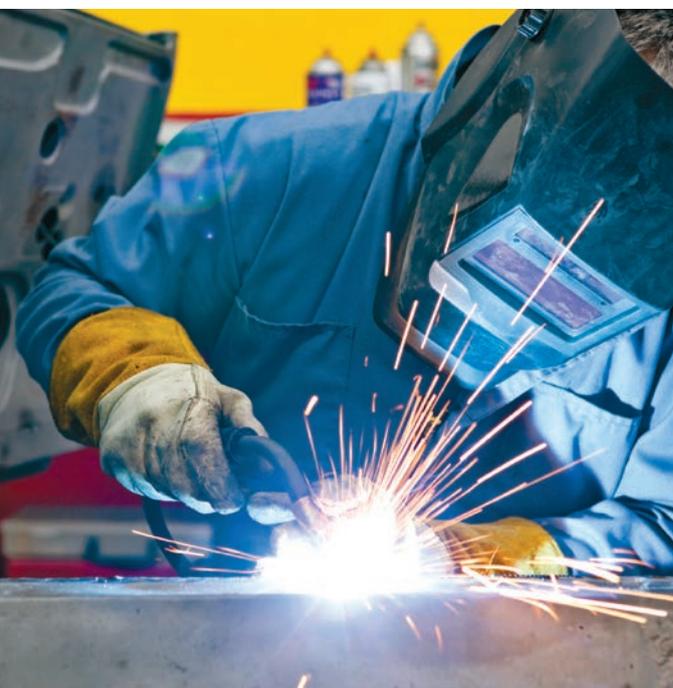


# Informationsbroschüre KLIMASCHUTZ UND ENERGIEEFFIZIENZ



## Impressum

### Herausgeber:

co2online gemeinnützige GmbH  
Hochkirchstraße 9  
10829 Berlin  
info@co2online.de  
www.co2online.de

### Redaktion:

Daniel Münter, Dr. Martin Pehnt, Dr. Lars-Arvid Brischke, Peter Mellwig, Hinrich Helms,  
Mandy Werle, ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH

Jens Hakenes, co2online gGmbH

### Gestaltung und Satz:

Mia Sedding, Individual Berlin

### Bildnachweise

Titelseite: Fotolia © Monkey Business, Stock photo © Suljo,  
Stock photo © Terry J Alcorn, Fotolia © Gudellaphoto  
Kapitelseiten: Fotolia © M. Schuppich (S. 8), Fotolia © Kara (S. 26), Stock photo © Ivan  
Bajic (S. 44), Fotolia © motorradcbr (S. 62), Fotolia © Yurok Aleksandrovich (S. 74),  
Fotolia © Marco2811 (S. 84), Stock photo © elgol (S. 98)

### Stand:

Mai 2017

### Auflage:

15.000 Exemplare

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Drucks hat co2online kompensiert.

Diese Veröffentlichung wird kostenlos abgegeben (solange der Vorrat reicht) und ist nicht für den Verkauf bestimmt.

Die Erstellung dieser Broschüre wird durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit gefördert.

### Hinweis:

Aus Gründen der Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung, wie z. B. TeilnehmerInnen, verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung für beide Geschlechter.

## Inhalt

Vorwort	6
Einleitung	7
<b>1 Klimaschutz durch Energieeffizienz</b>	<b>8</b>
<b>Was ist Energieeffizienz?</b>	9
Die Energieumwandlungskette	9
Energieverbrauch in Deutschland	10
<b>Warum Energieeffizienz?</b>	13
Steigender Verbrauch fossiler Ressourcen ist Klimaschutzproblem Nr. 1	13
Energieeffizienz vermindert Energieabhängigkeit	16
Energieeffizienz senkt Kosten der Energieversorgung	17
Energieeffizienz schafft Wertschöpfung und Renditemöglichkeiten	18
Energieeffizienz und Klimaschutz als gesamtgesellschaftliche Aufgabe	18
<b>Energieeffizienz – große Potenziale, große Bandbreite</b>	19
Energieeffizienz weltweit: der „wichtigste Brennstoff“ mit großem Potenzial	20
Hemmnisse der Energieeffizienz	20
Der Rebound-Effekt – wenn Effizienzgewinne „verpuffen“	21
<b>Energiewende und Energieeffizienz in Deutschland</b>	23
Ziele der Energiewende	23
Rolle der Politik für mehr Energieeffizienz	23
KfW-Förderung für energieeffizientes Bauen	24
Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz	24
<b>2 Energieeffizienz in Gebäuden</b>	<b>26</b>
<b>Auf dem Weg zu klimaneutralen Gebäuden</b>	27
<b>Die Optimierung der Gebäudehülle</b>	30
Fassadendämmung	32
Dach- und Kellerdämmung	32
Fenster	34
<b>Lüftung</b>	35
<b>Effiziente Heiztechnik</b>	36
Solarthermie	36
Biomasse	37
Erdwärme/Umweltwärme	38
Kraft-Wärme-Kopplung	40
Heizungsoptimierung und hydraulischer Abgleich	40
<b>Beleuchtung und Kühlung</b>	41
<b>Vom Gebäude zum Quartier</b>	41
<b>Politische Instrumente für mehr Gebäudeeffizienz</b>	42

<b>3</b>	<b>Energieeffizienz in privaten Haushalten</b>	<b>44</b>
	<b>Stromverbrauch im Haushalt</b>	45
	Stromspeicher liefert nützliche Vergleichswerte	45
	<b>Mehr Energie für zusätzliche Geräte</b>	47
	<b>Stromsparen im Haushalt</b>	48
	Energieeffizienz zahlt sich aus	49
	Ökologische Amortisation und vorzeitiger Austausch	50
	<b>Effizienzverbesserungen in Schritten: Weiße Ware</b>	53
	<b>Beleuchtung: Effizienzrevolution durch Technologiesprünge</b>	56
	Von der Glühbirne zur LED	56
	Einsparungen von 80 Prozent sind drin	57
	<b>Mehr Effizienz in Haushalten: Top Runner</b>	58
	Energiesparen durch achtsames Verhalten	59
<b>4</b>	<b>Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe</b>	<b>62</b>
	<b>Energieeffiziente Querschnittstechnologien</b>	64
	Elektrische Motoren	64
	Pumpen und Pumpensysteme	65
	Druckluft	66
	Beleuchtung	66
	Lüftung und Kühlung	67
	<b>Abwärmenutzung</b>	68
	<b>Green IT – effiziente Informationstechnologie</b>	68
	Stromverbrauch von Servern mit großem Potenzial	69
	<b>Energieeffizienz einzelner Branchen</b>	70
	Stahlherstellung	70
	Papier-Industrie	70
	<b>Mit Energiemanagement Potenziale erkennen</b>	71
	<b>Energieeffizienz durch neue Werkstoffe und Prozesse</b>	72
	<b>Maßnahmen der Politik</b>	72

<b>5 Effizienzsteigerung in der Energiewirtschaft</b>	<b>74</b>
<b>Konventionelle Dampfkraftwerke</b>	75
Optimierung aller Anlagenteile	76
Neue Anlagenkonzepte	76
<b>Gas und Dampf für hohe Effizienz</b>	77
<b>Brennstoffzellen</b>	77
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen zukünftiger Kraftwerkskonzepte</b>	79
<b>Kraft-Wärme-Kopplung</b>	80
Kraft-Wärme-Kopplung in Großkraftwerken	80
Dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung	81
Potenziale und Hemmnisse der KWK	82
Energiepolitische Rahmenbedingungen	82
<b>6 Energieeffizienz im Verkehr</b>	<b>84</b>
<b>Verkehrsvermeidung</b>	87
<b>Verkehrsverlagerung und -auslastung</b>	88
<b>Energieeffiziente Fahrzeuge</b>	89
Senkung der Fahrwiderstände	89
Effiziente Antriebe	90
<b>Alternative Kraftstoffe</b>	93
<b>Alternative Antriebe</b>	94
<b>Politische Instrumente für mehr Effizienz im Verkehr</b>	96
<b>7 Effizienz als umfassende Zukunftsaufgabe</b>	<b>98</b>
<b>Innovationen für mehr Energieeffizienz</b>	99
<b>Energieeffizienz international</b>	100
Beispiel China	100
Energieeffizienz und Entwicklungszusammenarbeit	102
<b>Effizienz und Suffizienz als kultureller Wandel</b>	103
<b>Energieeffizienz: Mehr durch weniger</b>	104

## Vorwort



Liebe Leserin,  
lieber Leser,

maximal zwei Grad Temperaturanstieg, wenn möglich weniger. So lautet das Ziel, zu dem sich die Weltgemeinschaft im Abkommen von Paris bekannt hat. Deutschland hat lange für dieses Abkommen geworben, seit November 2016 ist es nun in Kraft.

Damit das Abkommen erfolgreich wird, hat sich Deutschland vorgenommen, im Jahr 2050 fast keine Treibhausgase mehr auszustoßen. Konkret bedeutet das zum einen, auf erneuerbare Energien umzusteigen. Zum anderen sollte Energie möglichst sparsam eingesetzt werden. Das Stichwort lautet Energieeffizienz.

Werfen wir zum Beispiel einen Blick auf Wohngebäude. Sie werden über viele Jahrzehnte genutzt. Investitionen in ihre Energieeffizienz rentieren sich dennoch häufig schon nach wenigen Jahren. Sie erhöhen den Wohnkomfort unmittelbar und machen unabhängiger von künftigen Energiepreissteigerungen. Dazu gehört zum Beispiel der Austausch alter Heizungsanlagen, möglichst ergänzt durch eine effektive Wärmedämmung. Gut aufeinander abgestimmte Lösungen bringen ökonomisch und auch ökologisch die besten Ergebnisse.

Und: Der Heizungsaustausch und die Wärmedämmung sind nur zwei Beispiele für die Vorteile klimafreundlicher Technologien. In vielen Handwerksbetrieben und Unternehmen finden sich verborgene Schätze, zum Beispiel, wenn Abwärme genutzt wird oder Kälteanlagen optimiert werden.

Diese Broschüre leistet einen Beitrag, um das Thema Energieeffizienz verständlich zu machen, und bietet eine Fülle von Anregungen. Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre!

### **Dr. Barbara Hendricks**

Bundesministerin für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

## Einleitung

Klimawandel, Ressourcenknappheit und der steigende Energiebedarf einer wachsenden Weltbevölkerung gehören zu den wesentlichen Herausforderungen dieses Jahrhunderts. Viele Länder unternehmen deshalb große Anstrengungen, um den Einsatz fossiler Energieträger wie Kohle, Öl und Erdgas einzuschränken und stattdessen neue Wege der Energieerzeugung zu gehen. Erneuerbare Energiequellen wie Sonne, Wind und Biomasse gewinnen weltweit an Bedeutung.

Teil einer wirkungsvollen Reduktion von Treibhausgasen ist zugleich der verantwortungsvolle und effiziente Umgang mit Energie. Wer weniger Rohstoffe einsetzt und diese effizient umwandelt, kann Kosten senken, die Emissionen von Treibhausgasen reduzieren und die Versorgungssicherheit steigern.

Hinter den Begriffen „Energieeffizienz“ und „Energiesparen“ stehen Maßnahmen und Aktionsfelder, die viele verschiedene Bereiche betreffen: den Strom- und Wärmemarkt, den Verkehrssektor, die industrielle Produktion.

Diese Broschüre versucht, die vielen Facetten der Energieeffizienz in einem Gesamtüberblick darzustellen. Welche Vorteile bringt sie der Volkswirtschaft, aber auch den Unternehmen und Bürgerinnen und Bürgern? Welche Herausforderungen bestehen allgemein und welche Hemmnisse stehen Maßnahmen der Energieeffizienz entgegen? Welche Potenziale stecken in den verschiedenen Sektoren und Anwendungsfeldern? Und mit welchen technologischen oder gesellschaftlichen Innovationen kann man Energieeffizienz steigern?

Mit dieser Broschüre wird ein umfassendes, übersichtliches Kompendium der Energieeffizienz vorgelegt. Sie ist nicht als Beratungsinstrument für spezielle Fragen oder Entscheidungssituationen konzipiert. Die Broschüre soll vielmehr als Nachschlagewerk technische Zusammenhänge, Hintergrundwissen und aktuelle Zahlen vermitteln, aber auch Anstöße für eigene Ideen liefern. Ausgangspunkt für die Themenauswahl und Tiefe der Betrachtungen sind die vielfältigen Fragen und Rückmeldungen, die co2online und das ifeu-Institut im Rahmen von Beratungen, Projekten und Kampagnen erreicht haben. Wer sich zu bestimmten Aspekten und Themen vertieft informieren möchte, erhält zudem am Ende eines jeden Kapitels Tipps zu weiteren Informationen und Beratungsangebote.



1

# 1 KLIMASCHUTZ DURCH ENERGIEEFFIZIENZ

## Was ist Energieeffizienz?

Wie viel Energierohstoffe benötigen wir, um einen Raum zu erleuchten oder ein Nahrungsmittel zu kühlen? Wie viel Kohle wird zur Erzeugung von Strom benötigt? Wie viel Kraftstoff ist erforderlich, um von A nach B zu gelangen? Wie viel Energie wird aufgewandt, um eine Wohnung zu erwärmen?

Energieeffizienz beschreibt das „Verhältnis von Ertrag an Leistung, Dienstleistungen, Waren oder Energie zu Energieeinsatz“ – so definiert es die europäische Energiedienstleistungsrichtlinie. Effizienz ist also das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand.

Oft werden die Begriffe „Energieeffizienz“ und „Energiesparen“ gleichbedeutend benutzt. Energiesparen geht aber über Energieeffizienz hinaus, denn es beinhaltet auch den Verzicht auf die Nutzung von Energie. Wenn wir die Innentemperatur eines Raums auf 15 Grad Celsius absenken oder auf eine sonntägliche Ausflugsfahrt mit dem Auto verzichten, spart das Energie, erhöht aber nicht die Energieeffizienz.

„Effizienz“ ist auch etwas anderes als „Effektivität“: Effektivität beschreibt die Wirksamkeit, also das Verhältnis von erreichtem zu definiertem Ziel, während für die Effizienz ein möglichst geringer Mitteleinsatz wichtig ist. Im Alltagssprachgebrauch wird dies häufig auch so formuliert: „Effektiv ist es, die richtigen Dinge zu tun; effizient ist es, die richtigen Dinge richtig zu tun.“ Effektiv – weil ganz sicher wirksam – ist es zum Beispiel, eine Kerze auf dem Esstisch mit einem Eimer Wasser zu löschen. Effizient – weil mit geringstmöglichem Aufwand erreicht – ist es, die Kerze vorsichtig auszupusten.

Effizienz ist also ein Maß für einen optimalen Mitteleinsatz, der in der Realität nicht immer sofort oder nicht immer in jedem Fall (z. B. bei denkmalgeschützten Gebäuden) möglich ist. Dieses allgemeine Verständnis lässt sich auch auf die Energiewirtschaft übertragen. Wir setzen heute Energieträger ein, um mit Dienstleistungen bestimmte Bedürfnisse zu erfüllen. Beispiele für Dienstleistungen sind das Kühlen von Nahrungsmitteln, das Heizen der Wohnung, die Beleuchtung des Schreibtisches oder die Übertragung von Nachrichten. Wenn wir die gleiche Dienstleistung mit weniger Energieeinsatz erfüllen, ist das effizient.

## Die Energieumwandlungskette

Manchen Einsatz von Energie können wir selbst beeinflussen, indem wir zum Beispiel energiesparende Haushaltsgeräte kaufen oder die Waschmaschine nur mit voller Beladung laufen lassen. Gesamtgesellschaftlich gesehen deckt dies aber nur einen Teil der Möglichkeiten ab, effizient mit Energie umzugehen. Auf dem Weg vom Energierohstoff, beispielsweise Braunkohle, zur gewünschten Dienstleistung, etwa dem sauberen Teppich oder dem beleuchteten Raum, wird die Energie mehrmals umgeformt. Jeder dieser Umformungsschritte ist mit Verlusten verbunden und diese Verluste gilt es zu verkleinern oder zu vermeiden, wenn man effizient mit Energie umgehen will.

Auf dem Weg vom Energierohstoff zur Dienstleistung gibt es erhebliche Verluste, so zum Beispiel bei Transport und Umwandlung der Rohstoffe (z. B. Erdöl, Uranerz, Erdgas) in einen „Endenergieträger“. An welcher Stelle der Umwandlungskette genau Verluste entstehen und wie groß sie sind, lässt sich in einem so genannten Energieflussbild darstellen. Gleichzeitig lässt sich so erkennen, an welcher Stelle der Umwandlungskette welche Effizienztechnologie eingesetzt werden könnte.

Bei der Umwandlung von Primär- in Sekundär- und Endenergie, also etwa bei der Herstellung von Benzin und Diesel in der Raffinerie, der Stromerzeugung im Kraftwerk sowie beim Transport zum Kunden, treten besonders große Verluste auf. Der Grund für diese Verluste: Auch die modernsten Raffinerien oder Kraftwerke haben technisch-physikalisch bedingt einen eingeschränkten Wirkungsgrad. Kohlekraftwerke können heute beispielsweise nicht mehr als 46 Prozent der in der Kohle enthaltenen Primärenergie in elektrische Energie umwandeln. Moderne Gas- und Dampf (GuD)-Kraftwerke erreichen Wirkungsgrade um die 60 Prozent. Der Rest geht hauptsächlich als Abwärme verloren. Hinzu kommen Verluste, wenn Kraftwerke angefahren, abgeschaltet oder nicht am optimalen Betriebspunkt betrieben werden. Auch auf dem Weg zum Endkunden geht in der Leitung durch elektrische Widerstände oder schlechte Isolierung Energie verloren.

Um die Verluste der Umwandlung zu senken, gibt es eine ganze Reihe von Effizienzmaßnahmen. Die Fortentwicklung der Kraftwerkstechnik hat in den vergangenen Jahrzehnten schon zu einer enormen Steigerung der Wirkungsgrade geführt – weiterer technischer Fortschritt ist hier möglich. Zudem kann die Abwärme eines Kraftwerks oder einer Raffinerie genutzt werden, anstatt zu verpuffen.

Diese gleichzeitige Produktion von Strom und Wärme in einem Kraftwerk nennt sich Kraft-Wärme-Kopplung (siehe Kapitel „Effizienzsteigerung in der Energiewirtschaft“, Seite 80 ff.).

Aber auch die Energie, die bei den Kunden ankommt, wird nicht verlustfrei verwendet. Bei der Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie geht rund die Hälfte verloren – wiederum oft als Abwärme, weil Maschinen, Glühlampen, Haushaltsgeräte, Heizkessel usw. ebenfalls nur einen beschränkten Wirkungsgrad haben. So kommt nach allen Umwandlungsschritten nur noch ein kleiner Teil der Primärenergie als Nutzenergie in Form von Kraft, Wärme oder Licht an. Und auch im letzten Schritt, der Umsetzung von Nutzenergie in die gewünschte Energiedienstleistung, entstehen noch einmal zusätzliche Verluste. Wenn beispielsweise ein Gebäude nicht gut gedämmt ist, geht ein Teil der Nutzenergie Wärme buchstäblich zum Fenster hinaus.

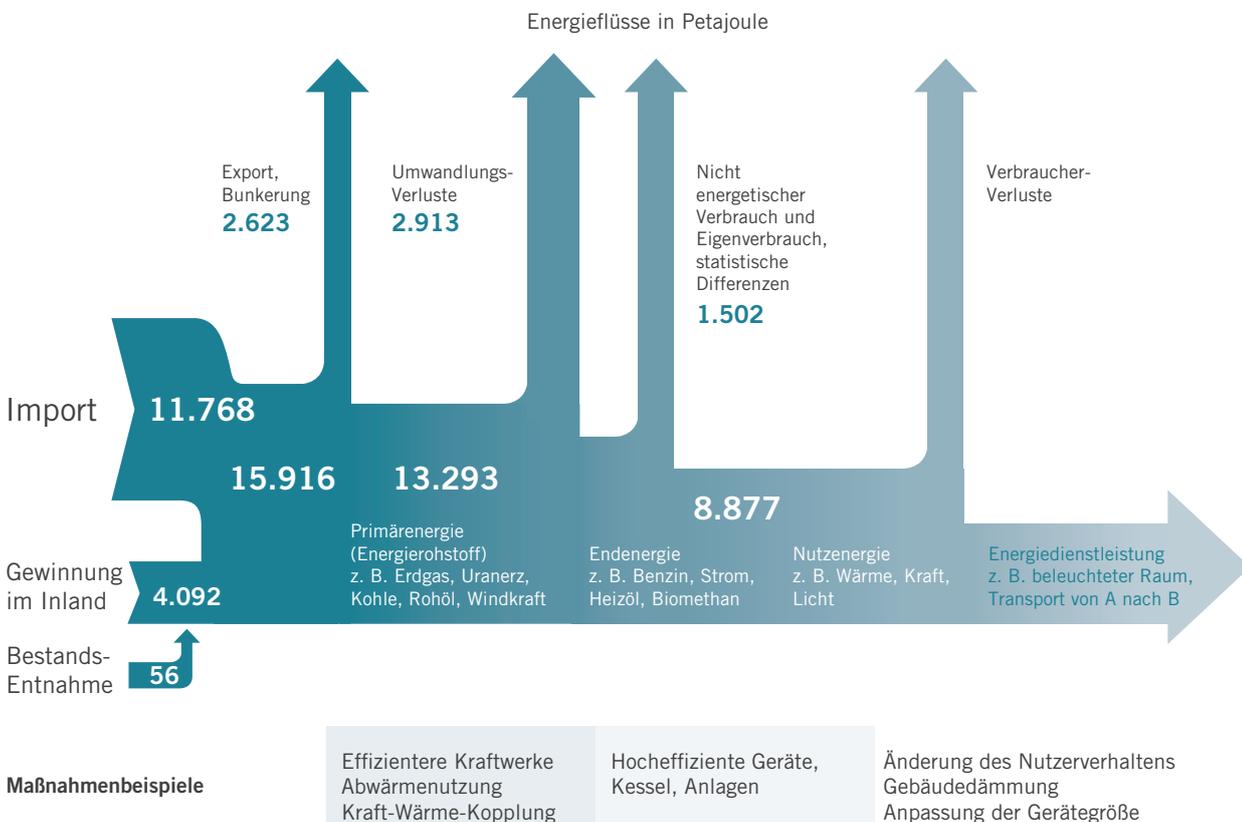
Deutschland ist es gelungen, den Primärenergieverbrauch vom Wirtschaftswachstum zu entkoppeln, d. h., die Deutschen erwirtschaften mehr Wirtschaftsleistung pro eingesetzte Energieeinheit. Der Gesamtverbrauch an Energie sank dabei zunächst kaum. Dies hat auch damit zu tun, dass – mit Ausnahme des Krisenjahrs 2009 – die Wirtschaftskraft stetig gewachsen ist.

### Energieverbrauch in Deutschland

Deutschland förderte und importierte im Jahr 2015 Energierohstoffe mit einem Energiegehalt von rund 15.900 Petajoule (PJ); abzüglich der Exporte und der Lagerung lag der Verbrauch in Deutschland bei rund 13.300 PJ. Rund 8.900 PJ wurden im Jahr 2015 als Endenergie an Kunden übergeben.

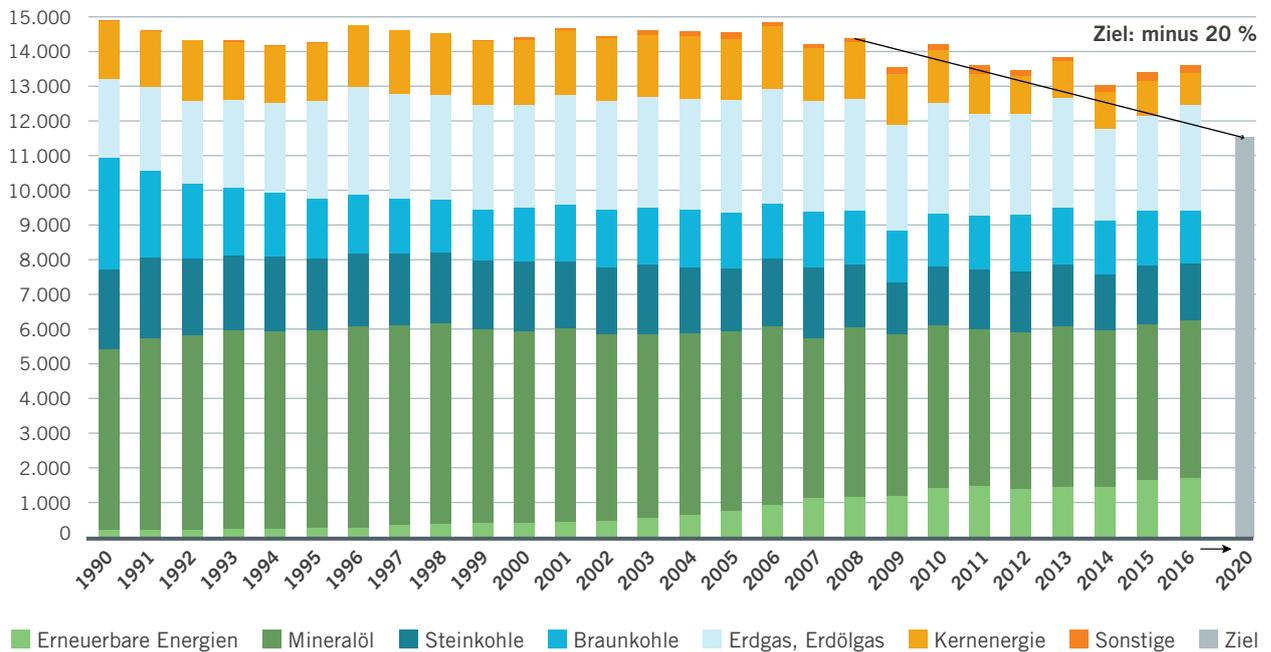
2016 stieg der Primärenergieverbrauch wegen der kälteren Witterung, des Schalttags, des Bevölkerungszuwachses und der positiven wirtschaftlichen Entwicklung auf 13.427 PJ.

### Vom Energierohstoff zur Dienstleistung: Energieumwandlungskette im Jahr 2015 und Effizienzbeispiele



Quellen: ifeu, mit Daten AG Energiebilanzen

### Entwicklung des Primärenergieverbrauchs nach Energieträgern in Deutschland (ohne Außenhandelsaldo Strom)



Quelle: AG Energiebilanzen

## Von der Primär- zur Nutzenergie



Entlang der Energieumwandlungskette unterscheidet man vier Energiebegriffe:

- **Primärenergie** ist der Energiegehalt eines natürlich vorkommenden Energierohstoffs, bevor er – zum Beispiel durch Verbrennung – umgewandelt wird. Zu den Primärenergieträgern zählen fossile wie Stein- und Braunkohle, Erdöl und Erdgas sowie erneuerbare wie Sonnenenergie, Windkraft, Wasserkraft, Erdwärme und Gezeitenenergie.

In Deutschland war 2015 Mineralöl mit 34 Prozent der wichtigste Primärenergieträger, gefolgt von Erdgas (23 Prozent), den erneuerbaren Energien (13 Prozent), Steinkohle (12 Prozent), Braunkohle (11 Prozent) und Kernenergie (7 Prozent).

- **Sekundärenergie** ist die Energie, die als Ergebnis eines Umwandlungsprozesses aus Primärenergie gewonnen wird. Dabei vermindert sich die nutzbare Energiemenge durch Umwandlungs- und Transportverluste in Kraftwerken, Raffinerien und Leitungen. Sekundärenergieträger sind entweder leitungsgebunden wie Strom, Fernwärme, Erdgas und Wasserstoff oder es sind die veredelten Produkte Benzin, Heizöl, Koks und Briketts.

- **Endenergie** nennt man den Teil der Energie, der nach möglichen weiteren Verlusten durch Transport und Umwandlung beim Kunden ankommt, also in der Fabrik, dem Büro oder der Wohnung. Beispiele hierfür sind beim Verbraucher angeliefertes Heizöl, Benzin oder Strom.
- **Nutzenergie** umfasst die technischen Formen der Energie, die der Verbraucher benötigt – beispielsweise Wärme, Licht oder mechanische Energie. Die Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie geschieht dementsprechend in Heizanlagen, Lampen, Maschinen und Haushaltsgeräten.



Stromverbrauch sichtbar machen,  
Quelle: Stock photo © Stephan Zabel

## Geschichte der Energieeffizienz



Quelle: Museum für Energiegeschichte(n) Hannover

In der Geschichte der Energieeffizienz war lange nicht nur der Gedanke des sparsamen Energieeinsatzes die treibende Motivation, sondern auch der Wunsch nach höherer Leistung. Ein Paradebeispiel dafür ist die vom schottischen Techniker James Watt entwickelte Dampfmaschine. James Watt erhielt 1764 als Mechaniker der Universität von Glasgow den Auftrag, eine schlecht funktionierende Dampfmaschine zu verbessern. Das gelang ihm so gut, dass seine Maschine bei gleicher Leistung 60 Prozent weniger Kohle benötigte als das Vorgängermodell, also viel effizienter war. Doch die Nachfrage nach mechanischer Arbeit war so groß, dass sich die neue Dampfmaschine massenhaft verbreitete und zu einem der Auslöser der industriellen Revolution wurde – und damit ein Boom der Kohlenachfrage ausgelöst wurde.

### In der schwierigen Nachkriegszeit bedeutete Energieeffizienz vor allem: Kosten sparen.

Nach vielen Jahren der technischen Entwicklung, aber auch immer neuer Anwendungsgebiete für energieverbrauchende Produkte, waren die Ölkrisen von 1973 und 1979 ein wichtiger Impuls für eine Steigerung der Energieeffizienz. In dieser Zeit wurde den Deutschen erstmals die wirtschaftliche Gefahr bewusst, die von steigenden Energiepreisen ausgeht.

In den Vereinigten Staaten hielt Präsident Jimmy Carter kurz nach seinem Amtsantritt 1977 eine Fernsehansprache, die später als „Sweater and Sacrifice“ („Pullover und Verzicht“)-Rede bekannt wurde. Darin formulierte er: *“Conservation is the quickest, cheapest, most practical source of energy. Conservation is the only way we can buy a barrel of oil for a few dollars.”* („Energiesparen ist die schnellste, billigste und praktischste Energieressource. Energiesparen ist der einzige Weg, um den Preis für ein Barrel Öl niedrig zu halten.“)

Auch in Deutschland wurde Energiesparen als Mittel erkannt, Rohstoffimporte und damit Abhängigkeiten zu reduzieren. Als Reaktion auf die Ölkrise 1973 wurde in Deutschland an vier Sonntagen ein allgemeines Sonntagsfahrverbot erlassen. Die Maßnahmen waren eher symbolischer Natur, allerdings fand damals ein erstes Umdenken statt. In dieser Zeit wurde der Grundstein für eine neue Effizienzpolitik gelegt. Das Bundeswirtschaftsministerium startete die erste Kampagne mit dem Titel „Energiesparen – unsere beste Energiequelle“. Ein weiterer wichtiger Schritt war das 1976 erlassene Energieeinspargesetz, das erstmalig Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden stellte: „Wer ein Gebäude errichtet, [...] hat, um Energie zu sparen, den Wärmeschutz [...] so zu entwerfen und auszuführen, daß beim Heizen und Kühlen vermeidbare Energieverluste unterbleiben.“

### Energiepolitische Handlungsempfehlungen

Der Bericht der Enquete-Kommission „Zukünftige Kernenergie-Politik“ des 8. Deutschen Bundestages vom 27. Juni 1980 stellte den Großteil seiner „energiepolitischen Handlungsempfehlungen“ unter das Thema: „Zur Förderung von Energieeinsparungen und zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energiequellen“. Für den Bereich „Verkehr“ wurden damals Forderungen wie die „Einführung gesetzlicher Regelungen für Höchstverbrauchswerte des spezifischen Kraftstoffverbrauchs von Kraftfahrzeugen“ und die „Geschwindigkeitsbegrenzung auch auf Bundesautobahnen“ aufgestellt.

Diese Forderung wurde in der Öffentlichkeit ab 1982 äußerst lebhaft und kontrovers diskutiert. Viele forderten damals ein Tempolimit – neben der zitierten Verbesserung der Effizienz des Pkw-Verkehrs auch als Maßnahme gegen das „Waldsterben“.



Sonntagsfahrverbot, Quelle: Stock photo © acilo

## Warum Energieeffizienz?

Es gibt viele Gründe, Energie effizienter zu nutzen. Wir profitieren auf wirtschaftlicher, gesundheitlicher und gesellschaftlicher Ebene. Ein niedrigerer Energiebedarf macht Deutschland unabhängiger von Energieimporten und schwankenden Energiepreisen. Außerdem entstehen rund um Effizienztechnologien und -dienstleistungen viele neue Arbeitsplätze. Die industrielle Produktivität steigt und auch öffentliche Haushalte können entlastet werden.

Auch jeder einzelne Bürger kann von einer steigenden Energieeffizienz profitieren: Wer weniger Kraftstoff oder Strom verbraucht, hat einen größeren Teil seines Einkommens zur freien Verfügung. Auch die Umwelt gewinnt, wenn weniger Abgase aus Kraftwerken und Fabriken in die Luft gelangen. Nicht zuletzt dient Energieeffizienz dem Klimaschutz.

### Steigender Verbrauch fossiler Ressourcen ist Klimaschutzproblem Nr. 1

Neben den Luftschadstoffen wie Stickoxiden oder Schwefeldioxid wird bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern (Kohle, Öl oder Erdgas) immer auch Kohlendioxid freigesetzt. Dieses Gas verstärkt den Treibhauseffekt und führt damit zu einer Erhöhung der globalen Temperaturen. Seit Beginn der Industrialisierung ist die Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre um 40 Prozent gestiegen. Das hat eine Erhöhung der mittleren bodennahen Lufttemperatur um 0,85 Grad Celsius bewirkt. Werden keine Gegenmaßnahmen ergriffen, so wird nach Szenarien des Weltklimarats (Intergovernmental Panel on Climate Change/IPCC) mit einem weiteren Anstieg der mittleren globalen bodennahen Lufttemperatur zwischen

## Vielfacher Nutzen der Energieeffizienz



Quelle: IEA 2015

zwei und sieben Grad Celsius bis zum Jahr 2100 gerechnet, wobei regional die Änderungen unterschiedlich stark ausfallen können. Neben der Temperaturerhöhung sind in deutlich stärkerem Maße als bisher Änderungen der Niederschlagsverteilung, ein Anstieg extremer Wettersituationen wie Stürme und Starkregen, eine Verschiebung von Klima- und Vegetationszonen und die Verschlechterung der Böden mit gravierenden Folgen für die ohnehin angespannte Welternährungssituation zu erwarten. Klimänderungen haben in der Erdgeschichte häufig stattgefunden; bedrohlich an den heute zu beobachtenden Veränderungen ist, dass sie in kurzer Zeitspanne auftreten.



Kohlekraftwerk, Quelle: Stock photo © bronswerk

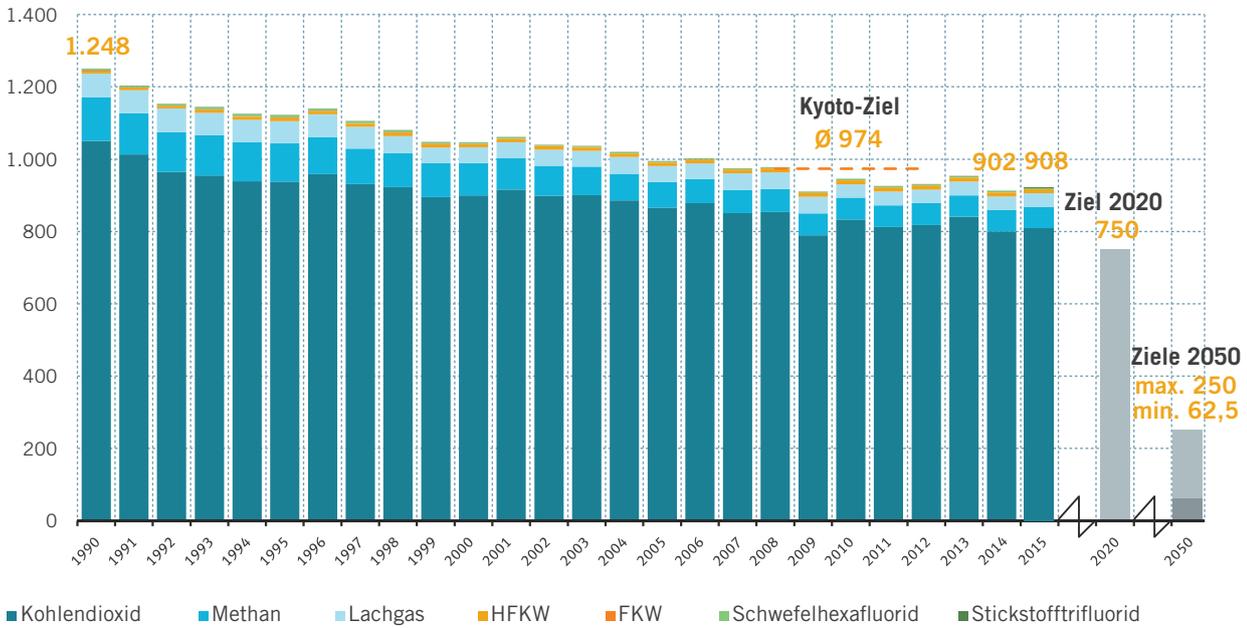
Die Verbrennung fossiler Energieträger ist ein Haupttreiber des Klimawandels. Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen lagen im Jahr 2013 weltweit bei rund 35 Milliarden Tonnen. Der Anstieg dieser Kohlendioxid-Emissionen infolge des wachsenden Weltenergieverbrauchs hat dazu geführt, dass seit Beginn der Industrialisierung insgesamt zusätzliche 1.000 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre emittiert wurden, davon allein 80 Prozent in den vergangenen 50 Jahren. Da das Wachstum bisher in den Industrieländern stattfand, sind diese für rund 90 Prozent der bis heute durch den Energieeinsatz entstandenen CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich.

Im Jahr 2015 hat Deutschland 908 Millionen Tonnen Kohlendioxid und andere Treibhausgase emittiert, das sind rund drei Prozent der weltweiten Emissionen. Jeder Bewohner Deutschlands war damit für den Ausstoß von rund elf Tonnen Treibhausgasen verantwortlich. Ein US-Amerikaner verursacht pro Jahr durchschnittlich 20 Tonnen, ein Chinese 4,6 Tonnen und ein Inder eine Tonne. Diese Zahlen zeigen: Industrieländer tragen für den Treibhauseffekt eine besondere Verantwortung.

Der Weltenergiebedarf wird aller Voraussicht nach weiter deutlich ansteigen. Wesentliche Ursachen hierfür sind das

### Treibhausgasemissionen in Deutschland seit 1990 nach Gasen

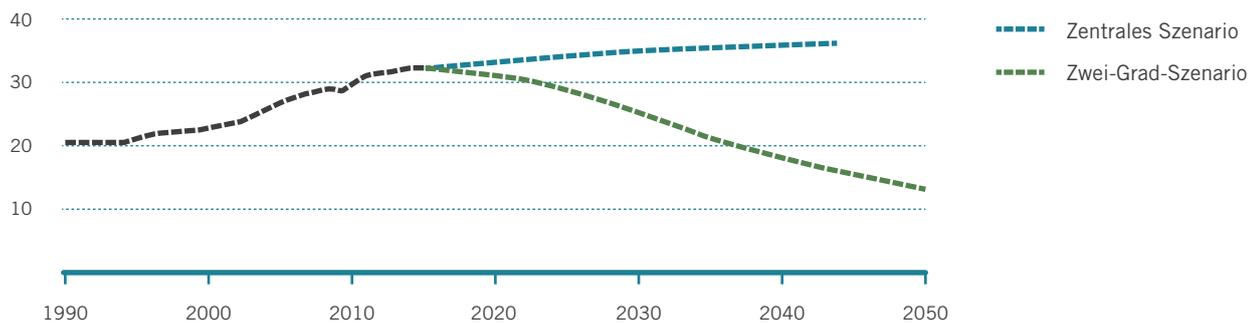
Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente



Quelle: Nationale Treibhausgas-Inventare, UBA 2014

### CO<sub>2</sub>-Emissionen in verschiedenen Szenarien der Internationalen Energieagentur (IEA)

Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen



Quelle: World Energy Outlook 2016

Bevölkerungswachstum, die wirtschaftliche Entwicklung vieler Regionen der Welt und damit der weitere Anstieg des Weltbruttosozialprodukts. Was passiert, wenn die Regierungen dieser Welt in der Energiepolitik nicht gründlich umsteuern, beschreibt eine der wichtigsten Energieprognosen: der „World Energy Outlook“ der Internationalen Energieagentur (IEA). In einem „zentralen Szenario“ ohne umsteuernde Politikmaßnahmen gelingt es nicht, die Treibhausgas-Emissionen zu reduzieren. Der Primärenergiebedarf wird in diesem Szenario um 30 Prozent bis zum Jahr 2040 steigen. Die globalen Verbrauchsschwerpunkte verlagern sich zunehmend auf China, Indien, Südostasien und Teile von Afrika und Lateinamerika.

Viele Experten erwarten bei einer globalen Erwärmung von mehr als zwei Grad Celsius unumkehrbare Schäden an Klima und Umwelt. Um das zu vermeiden, sollte die Konzentration von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre von derzeit 400 tausendstel Prozent (auch „parts per million“, ppm) bis zum Ende dieses Jahrhunderts höchstens auf 450 ppm steigen.

Will man dies erreichen, so ist eine weltweite Reduktion der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen um mehr als die Hälfte bis zum Jahr 2100 unerlässlich. Berücksichtigt man die weiter wachsende Bevölkerung, so darf jeder der dann voraussichtlich zehn Milliarden Erdenbürger durchschnittlich nur noch wenig mehr als eine Tonne CO<sub>2</sub> emittieren. Daraus abgeleitet ergibt sich für Deutschland das längerfristige Ziel einer weitgehenden Dekarbonisierung, also einer Senkung der nationalen Treibhausgas-Emissionen um 90 bis 95 Prozent. Dieses Ziel ist ohne Energieeffizienz und entsprechende Technologien keinesfalls zu erreichen. Das zeigen verschiedene Szenarien sowohl für Deutschland als auch weltweit.

Beispielsweise geht die Internationale Energieagentur in ihrem World Energy Outlook davon aus, dass die Steigerung der Endenergieeffizienz einen ähnlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten muss wie erneuerbare Energien und andere Klimaschutzmaßnahmen.

## Was ist Energieintensität?



Auf der gesamtwirtschaftlichen Ebene wird Energieeffizienz mit der Energieintensität gemessen. Die Energieintensität kann zum Beispiel in Primärenergieverbrauch je Einheit Bruttoinlandsprodukt (BIP) angegeben werden. Die Primärenergieintensität ist weltweit sehr unterschiedlich – zum einen weil sich die Struktur der Wirtschaft regional stark unterscheidet, zum anderen weil unterschiedliche Volkswirtschaften unterschiedlich effizient arbeiten.

Während Indien zum Beispiel im Jahr durchschnittlich mehr als 16 Gigajoule Energie einsetzte, um 1.000 Dollar BIP zu erwirtschaften, waren es in der EU nur rund sechs Gigajoule. Dieser Vergleich lässt hoffen, dass Staaten wie Indien und China mit steigendem Wohlstand auch einen größeren Spielraum haben, effizienter mit Energie umzugehen und so den Anstieg des Energieverbrauchs zu dämpfen.

### Primärenergieintensität und Veränderungstrends in ausgewählten Regionen im Jahr 2012



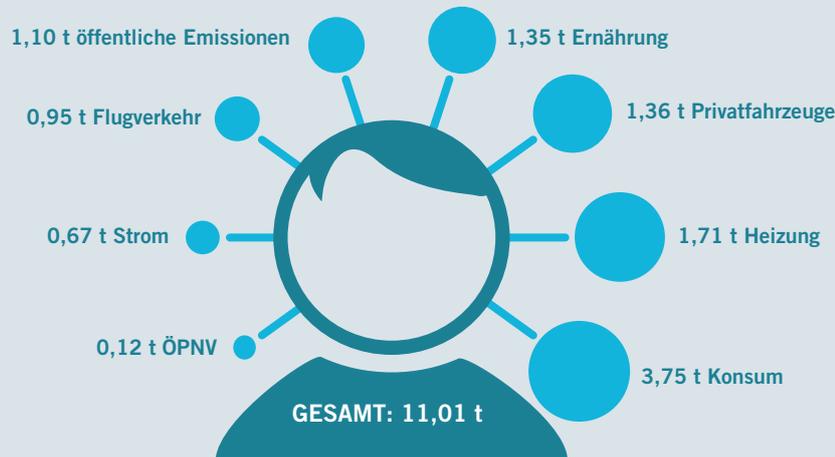
Quelle: World Energy Outlook (WEO)

## Persönlicher CO<sub>2</sub>-Rechner



### So viel Treibhausgase verursachen wir in Deutschland in einem Jahr

Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente pro Kopf



Quelle: ifeu 2013

Jeder Bewohner Deutschlands ist für den Ausstoß von knapp zwölf Tonnen Treibhausgasen verantwortlich. Diese Emissionen entstehen in vielen verschiedenen Lebensbereichen: direkt beim Heizen der Wohnung und bei der Autofahrt zur Arbeit, indirekt durch Anbau und Verarbeitung von Lebensmitteln, die Produktion von Konsumgütern und vieles mehr. Die Abbildung zeigt, welcher Bereich im Leben eines Deutschen wie viel zur durchschnittlichen Klimabilanz beiträgt.

Die persönliche Klimabilanz eines jeden Einzelnen kann stark von diesem Durchschnitt abweichen – je nach Konsumstil und Lebensumständen.

Mit einem CO<sub>2</sub>-Rechner lassen sich die eigenen Treibhausgasemissionen abschätzen, zum Beispiel auf:

► [uba.klimaktiv-co2-rechner.de/de\\_DE/page](http://uba.klimaktiv-co2-rechner.de/de_DE/page)

### Energieeffizienz vermindert Energieabhängigkeit

Eine langfristige Sicherheit der Energieversorgung ist eine wesentliche Voraussetzung für eine starke Volkswirtschaft. Versorgungssicherheit bedeutet dabei sowohl die Verfügbarkeit von Energierohstoffen als auch den Schutz vor zu starken Preisschwankungen. Zu beiden Dimensionen der Versorgungssicherheit leistet Energieeffizienz durch die Senkung des Energierohstoffbedarfs einen Beitrag.

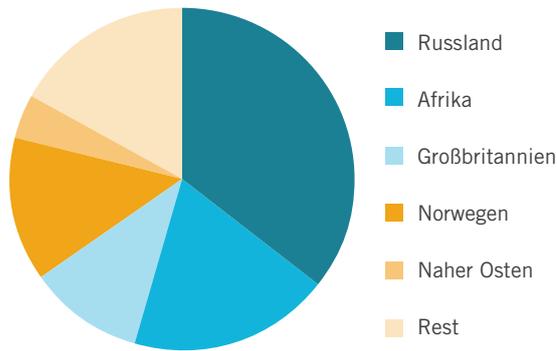
Hierzu gehört zunächst der Bereich der Importabhängigkeit: In Deutschland liegt der Anteil importierter Energieträger insgesamt bei circa 62 Prozent. Während die Importabhängigkeit bei Uranerz bei 100 Prozent liegt, werden Naturgase zu 89 Prozent, Mineralöl zu 99 Prozent und Steinkohle zu fast 90 Prozent aus dem Ausland eingeführt. Deutschland importiert fast ein Drittel seines Erdgases aus Russland und könnte es im Falle eines Boykotts oder Lieferstopps auch nicht kurzfristig aus anderen Quellen ersetzen.

Durch eine größere Energieeffizienz wäre es möglich, die Abhängigkeit von ausländischen Energieimporten stark zu verringern. Erdgas wird bei uns hauptsächlich dazu genutzt, Wärme zu erzeugen. Entsprechend wäre es am wirkungsvollsten, Gebäude energetisch zu sanieren und in der Industrie sowohl Prozesse zu optimieren als auch effiziente Dampf- und Heißwassererzeuger, Trockner und Industrieöfen einzuführen.

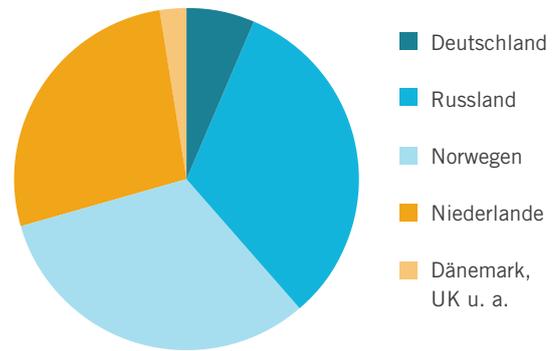
### Energieeffizienz senkt Kosten der Energieversorgung

Energieeffizienz leistet einen wichtigen Beitrag, die Energiekosten der Verbraucher zu senken. Denn die günstige Energie ist diejenige, die erst gar nicht verbraucht wird. Die Stromkosten sind in den letzten zehn Jahren seit der Liberalisierung des Strommarktes deutlich angestiegen. Dieser Anstieg ist insbesondere auf Steuern und Abgaben, Netzentgelte sowie Kosten für Stromerzeugung, Transport und Vertrieb zurückzuführen. Es zeichnet sich ab, dass

### Rohölherkunft Deutschland 2015



### Gasherkunft Deutschland 2015



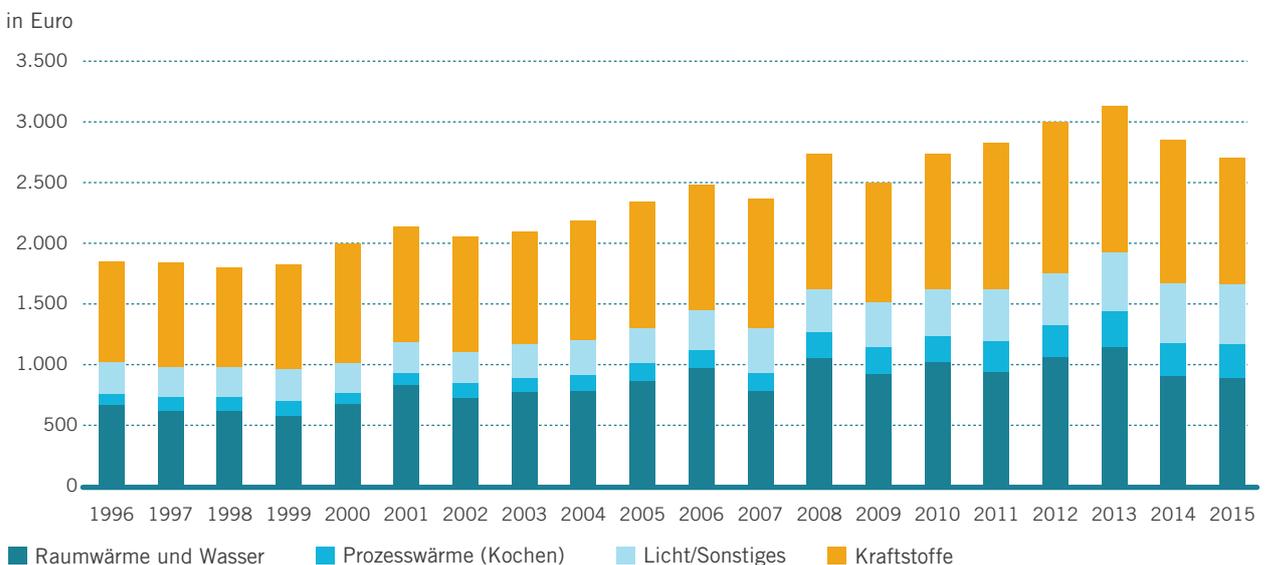
Quellen: BMWi 2017

auch die Heizöl- und Gaspreise im Vergleich zu relativ niedrigen Preisen in den Jahren 2014 und 2015 allmählich und langfristig wieder ansteigen. Ähnlich verhält es sich auch mit dem seit Herbst 2014 sinkenden Ölpreis: Es ist davon auszugehen, dass auch dieser in den nächsten Jahren wieder steigt. Allerdings wird dieser Anstieg nicht so stark erfolgen wie noch vor einigen Jahren prognostiziert.

Die jährlichen Energiekosten eines typischen Haushalts lagen im Jahr 2015 – inklusive Kraftstoffkosten – bei 2.700 Euro. Im Jahr 2000 waren es noch 2.000 Euro – allerdings nicht inflationsbereinigt (siehe Abbildung). Zwar haben sich die Bruttolöhne und -gehälter im selben Zeitraum kontinuierlich erhöht, jedoch ist seit dem Jahr 2000 eine verstärkte Einkommensungleichheit in Deutschland zu verzeichnen: Das heißt, die Einkommensbezieher im oberen Bereich erhalten zunehmend höhere Einkommen und die Einkommensbezieher im unteren Bereich erhalten zunehmend geringere Einkommen.

Energieeffizienzsteigerungen führen nicht nur dazu, dass der Endverbraucher weniger direkte Energiekosten hat. Gleichzeitig sinken durch jede eingesparte Kilowattstunde Strom die Kosten des gesamten deutschen Stromsystems. Denn Energieeffizienz verringert die Menge des Stroms, die zum Kunden geleitet werden muss, und auch die Lastspitzen, so dass weniger Stromnetze und neue Kraftwerke zur Deckung der Nachfrage gebaut werden müssen. In einer aktuellen Studie wurden die Einsparungen berechnet, welche bei deutlich gesteigerter Energieeffizienz durch geringere Investitionen in fossile und erneuerbare Kraftwerke sowie durch niedrigere Ausgaben für Brennstoffe und für den Netzausbau entstehen. Demnach können die Kosten des deutschen Stromsystems bis zum Jahr 2050 um 15 bis 28 Milliarden Euro gesenkt werden, wenn der Stromverbrauch bis dahin um 40 Prozent gegenüber einer Referenzentwicklung zurückgeht (siehe Hinweise am Ende des Kapitels, S. 25).

### Entwicklung der Energiekosten eines typischen privaten Haushalts in Deutschland



Quellen: BMWi, AGEB, BDEW

### Energieeffizienz schafft Wertschöpfung und Renditemöglichkeiten

Viele Investitionen in Effizienzmaßnahmen – insbesondere in den Bereichen Beleuchtung, Elektromotoren und Abwärmenutzung – amortisieren sich bereits nach kurzer Zeit. Bei anderen Effizienzmaßnahmen werden die erforderlichen Investitionen, zum Beispiel für die entsprechenden Maschinen, Baumaßnahmen oder industriellen Prozessumstellungen, durch die mittel- und langfristigen Einsparungen bei den Energieausgaben übertroffen. Solche Investitionen haben eine positive Rendite und lohnen sich nicht nur volkswirtschaftlich, sondern vielfach auch für den einzelnen Investor. Dass sie nicht durchgeführt werden, liegt an einer Reihe anderer Hemmnisse.

Energieeffizienz leistet auch deshalb einen positiven volkswirtschaftlichen Beitrag, weil Energieträger durch heimische Wertschöpfung ersetzt werden. Vereinfacht gesprochen fließen die Euros nicht mehr in den Öl- oder Gasimport, sondern in Modernisierungsmaßnahmen, verbesserte Antriebs-, Mess- und Regel- oder Beleuchtungstechniken. Diese regionale Wertschöpfung und die zusätzlichen Investitionen schaffen auch neue Arbeitsplätze. Im Rahmen volkswirtschaftlicher Analysen lässt sich dieser Effekt abschätzen. Das Ergebnis einer Studie von GWS und ifeu (siehe Hinweise am Ende des Kapitels): Bis zum Jahr 2030 können netto rund 130.000 Arbeitsplätze durch verstärkte Maßnahmen im Bereich Energieeffizienz geschaffen werden. Diese Zahl ist auch so groß, weil viele der betroffenen Branchen, beispielsweise die Bauwirtschaft und Dienstleister, niedrige Importanteile haben und arbeitsintensive Branchen sind. Allerdings ergibt sich hieraus auch die Herausforderung, junge Leute für die Arbeitsbereiche der Energieeffizienz zu begeistern und Heizungsbauer, Stuckateure, Anlagentechniker und viele andere Ausbildungsberufe zu stärken.

Die Steigerung der Energieeffizienz ist für die Volkswirtschaft, aber auch für einzelne Unternehmen ein großer Wettbewerbsvorteil. Sie trägt dazu bei, dass durch die Senkung der Energiekosten Produkte konkurrenzfähiger werden. Zugleich schafft Energieeffizienz auch bedeutende Absatzmärkte für innovative Produkte. Dieser Markt für Energieeffizienzprodukte – ähnlich wie der für Erneuerbare-Energien-Anlagen – wächst im Moment rasant. Deutschland als Technologie-Exportnation hat daran einen entscheidenden Anteil und könnte sich durch eine entschiedene nationale Effizienzstrategie in eine noch bessere Position bringen.

### Energieeffizienz und Klimaschutz als gesamtgesellschaftliche Aufgabe

Energieeffizienz und Klimaschutz haben auch eine soziale Dimension. Das Spannungsfeld zwischen Klimaschutz und sozialer Gerechtigkeit gewinnt zunehmend an Bedeutung. Schlagworte wie „Stromsperre“ oder „Energiearmut“ sind dafür traurige Belege.

Insbesondere Empfänger der staatlichen Grundsicherung geraten zunehmend in Schwierigkeiten, ihre Stromrechnung zu bezahlen. Dies bestätigt auch eine neue Untersuchung des Deutschen Caritasverbandes von rund 80.000 einkommensarmen Haushalten, die im vom Bundesumweltministerium geförderten Projekt „Stromspar-Check PLUS“ beraten worden sind: Grundsicherungsempfänger haben beispielsweise oft einen höheren Stromverbrauch, weil sie arbeitslos oder erwerbsunfähig sind und deshalb mehr Zeit zuhause verbringen. Außerdem können sie sich häufig energiesparende Geräte nicht leisten.



Geld sparen durch Energieeffizienz, Quelle: Stock photo © AlexRaths

## Stromspar-Check PLUS

i

Das Projekt „Stromspar-Check“, das Ende 2008 an den Start ging und 2013 als Stromspar-Check PLUS erheblich ausgeweitet wurde, setzt auf eine aufsuchende Energieeinsparberatung und die bedarfsgerechte Anschaffung effizienter Haushaltstechnik. Es wird mittlerweile bundesweit in über 175 Kommunen umgesetzt. Langzeitarbeitslose werden zu „Stromsparhelfern“ geschult. Sie geben ihre Kenntnisse über Einsparmöglichkeiten für Strom-, aber auch Heizenergie- und Wasserverbrauch an Bürger weiter, die Arbeitslosengeld II, Wohngeld oder Sozialhilfe bekommen. Künftig können auch Rentner und Alleinerziehende mit geringeren Einkommen vom „Stromspar-Check“ profitieren. Zusätzlich erhalten die Haushalte kostenlose Strom- und Wassersparartikel (Energiesparlampen, schaltbare Steckerleisten, Spar-Duschköpfe etc.). Außerdem besteht die Möglichkeit, einen Gutschein über 150 Euro für den Kauf eines hocheffizienten Kühlgeräts zu beantragen. Die Voraussetzung: Das zu ersetzende Altgerät muss mindestens zehn Jahre alt sein und mindestens

200 Kilowattstunden pro Jahr mehr verbrauchen als das neue.

Durch all diese energieeffizienten Geräte und die Umsetzung der Verhaltenstipps sparen sowohl die beratenen Haushalte als auch die Kommunen, die oft schon einen Teil Heiz- und Wasserkosten der Empfänger übernehmen. Ausführende Kooperationspartner sind unter anderen der Deutsche Caritasverband, der in vielen einkommensschwachen Haushalten bekannt und akzeptiert ist, und der Bundesverband der Energie- und Klimaschutzagenturen Deutschlands e.V., deren Experten die Schulungen der Stromsparhelfer durchführen.



► [www.stromspar-check.de](http://www.stromspar-check.de)

Zuschüsse zur Stromrechnung allein – so auch die Erfahrungen der Caritas und von Energieberatern – lösen das Problem der „Energiearmut“ allerdings nicht. Entscheidend ist vielmehr, dass auch Menschen mit wenig Geld das Wissen und die Ausstattung erhalten, um energiesparend und umweltgerecht leben zu können. Wichtig sind dabei spezifische Angebote und Förderinstrumente für diejenigen, die schwierig zu erreichen sind oder denen die Mittel für teurere Energieinvestitionen fehlen.

Energieeffizienz- und Klimaschutzpolitik kann helfen, Armutsrisiken zu bekämpfen. Sie sollte in Zukunft verstärkt auch als präventive Sozialpolitik verstanden werden. Zugleich müssen die Gestalter der Energiewende darauf achten, dass sie sozialverträglich ist, also Haushalten mit geringen Einkommen keine unzumutbaren Belastungen auflädt.

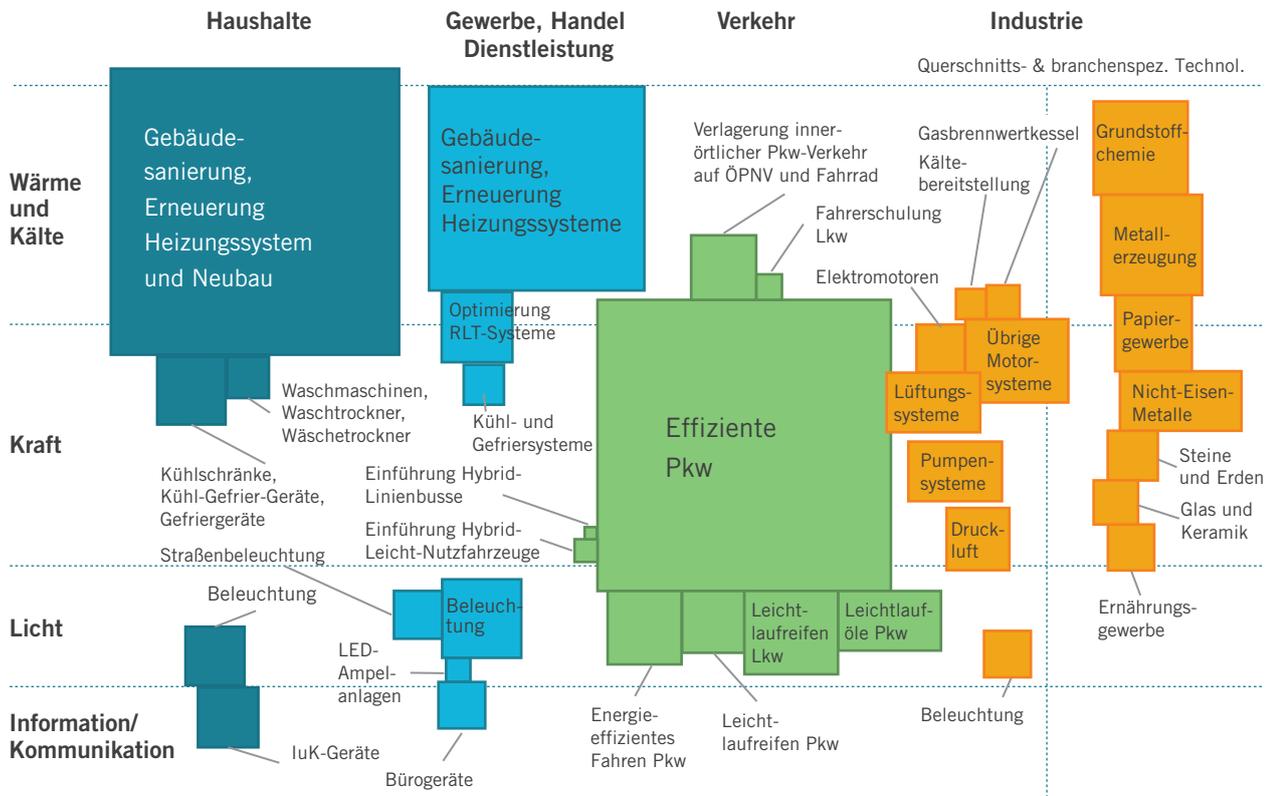
Dass der Klima- und Umweltschutz in vielen Bereichen einen wichtigen Beitrag zur Sozialpolitik leisten kann, ist auch die Überzeugung der großen deutschen Sozial- und Umweltverbände. Projekte aus Energieberatung, Jugendförderung, Hilfe für Menschen mit Migrationshintergrund sowie Umweltbildung zeigen, dass sozial benachteiligte Bevölkerungsgruppen von Maßnahmen zur Förderung des Energiesparens, des Naturschutzes sowie der Umweltbildung besonders profitieren können. Weitere Projekte in diesem Kontext werden in den Hinweisen am Ende des Kapitels aufgeführt.

### Energieeffizienz – große Potenziale, große Bandbreite

Auf den ersten Blick sind die Potenziale zur Energieeinsparung sehr groß. Hier gilt es aber, zu unterscheiden zwischen theoretischen, technischen und wirtschaftlichen Potenzialen (siehe Infobox „Was ist ein ‚Potenzial?‘“, Seite 21). Spricht man von den „Energieeinsparpotenzialen“, ist meist das technische Potenzial gemeint. Es beschreibt den Teil des theoretischen, maximal möglichen Potenzials, der unter gegebenen technischen Rahmenbedingungen nutzbar ist. Analysen gehen davon aus, dass in Deutschland langfristig bis zu 50 Prozent des derzeitigen Energieverbrauchs vermieden werden können, ohne auf Energiedienstleistungen wie Wärme, Transport oder Beleuchtung zu verzichten. Man kann diese technischen Effizienzpotenziale zu einer „Effizienzlandkarte“ zusammenstellen.

Die Fläche der Effizienzquadrate steht für die Größe des Einsparpotenzials. Die Landkarte zeigt: Die größten „Effizienzschätze“ sind durch die energetische Modernisierung im Gebäudebestand und die rasche Einführung sparsamerer Fahrzeuge zu heben. Aber auch bei elektrischen Haushaltsgeräten und in der Industrie sind noch erhebliche Einsparungen möglich. Die kleinteilige Effizienzlandkarte signalisiert allerdings auch: Die Einsparpotenziale verteilen sich auf sehr viele unterschiedliche Bereiche.

„Effizienzlandkarte“: Attraktive (technisch und wirtschaftlich machbare) Einsparpotenziale bis 2030 in Deutschland, aufgliedert nach Sektoren und Anwendungen



Ein Quadrat dieser Größe  entspricht einem Einsparpotenzial von 15 PJ/a.

Deutschland verbrauchte 2015 rund 8.900 PJ Endenergie.

Quelle: ifeu

Energieeffizienz weltweit: der „wichtigste Brennstoff“ mit großem Potenzial

In ihrem „Energy Efficiency Market Report 2013“ schlüsselt die Internationale Energieagentur (IEA) auf, wie groß die 2010 erzielten Energieeinsparungen durch gesteigerte Effizienz in elf ausgesuchten OECD-Ländern (Australien, Dänemark, Finnland, Frankreich, Deutschland, Italien, Japan, Niederlande, Schweden, Vereinigtes Königreich und Vereinigte Staaten) waren. Zusammen vermieden diese Staaten den Einsatz von 63 Exajoule, rund 17,5 Billionen Kilowattstunden. Das entspricht rund zwei Dritteln des heutigen Endenergieverbrauchs dieser Länder und weit mehr als jeder anderen Energiequelle.

Die IEA führt weiter aus, dass die Investitionen in Energieeffizienz größer waren als die Investitionen in neue Windräder, Wasser-, Solar- und Biomassekraftwerke zusammen. Daher formuliert die IEA: „Energy Efficiency is the First Fuel“ – Energieeffizienz ist also der wichtigste Brennstoff.

Weltweit ist das wirtschaftliche Potenzial der Energieeffizienz groß. Die Internationale Energieagentur (IEA) hat

in einer aktuellen Studie abgeschätzt, wie gut die rentablen Einsparmöglichkeiten im Energiesektor bis zum Jahr 2035 ausgeschöpft werden. Die Autoren kommen dabei zu dem Schluss, dass selbst unter der leicht optimistischen Annahme, dass die Regierungen ihre aktuellen Absichtserklärungen und Effizienzzielvorgaben einlösen können, deutlich mehr als die Hälfte des technischen Potenzials nicht umgesetzt wird.

Hemmnisse der Energieeffizienz

Energieeffizienzpotenziale zu erschließen, ist oft einfacher gesagt als getan. Es gibt verschiedene Hürden, die es zu meistern gilt.

Energieeffizienzmaßnahmen erfordern Investitionen. Auch wenn diese Investitionen über ihre Lebensdauer ein Mehrfaches an Energiekosten einsparen, stehen diejenigen vor Schwierigkeiten, die zu wenig Eigenkapital haben, keinen Kredit aufnehmen wollen oder können – etwa weil sie zu alt sind. Viele Menschen verschieben hohe Anfangsinvestitionen, während sie andere Ausgaben mit einem

unmittelbaren Nutzen vorziehen (z. B. neues Badezimmer, Auto, große Reise).

Ein weiteres Hemmnis: Sowohl in vielen privaten Haushalten als auch in den meisten Betrieben stellen die Energiekosten heute nur einen vergleichsweise kleinen Kostenfaktor im Vergleich zu anderen Ausgaben dar. Damit haben Maßnahmen der Energieeffizienz vielfach nur einen geringen Stellenwert, zumal sie – anders als Anlagen, die erneuerbare Energieträger nutzen – oft weder sichtbar noch attraktiv sind.

Viele Betriebe führen Einsparmaßnahmen zudem nur dann durch, wenn sie sich innerhalb weniger Jahre amortisieren, d. h., wenn das investierte Kapital schon nach kurzer Zeit durch Einsparungen wieder hereinkommt. Damit fallen viele Effizienzmaßnahmen weg, die jenseits einer kurzen Amortisationszeit eine sehr gute Verzinsung gebracht hätten.

Viele weitere Hemmnisse verhindern im Einzelfall Effizienzmaßnahmen. Oft fehlen fachliche Informationen. Effizienz kann auch mit baulichen Maßnahmen einhergehen – Unannehmlichkeiten wie Dreck und Lärm werden gescheut. Nicht immer profitieren zudem diejenigen, die investieren, von den Effizienzmaßnahmen. Wenn ein Vermieter beispielsweise in eine Wärmedämmung investiert, sinken für den Mieter die Energiekosten. Technische und rechtliche Hemmnisse kommen hinzu. Diese und viele weitere Hemmnisse tragen dazu bei, dass oft nicht das

gesamte wirtschaftliche Potenzial zur Energieeinsparung ausgeschöpft wird.

### Der Rebound-Effekt – wenn Effizienzgewinne „verpuffen“

Werden Maßnahmen zur Senkung des Energieeinsatzes ergriffen, so sind diese gelegentlich nicht so erfolgreich wie erwartet oder führen zu gegenteiligen Effekten. Das kann am so genannten „Rebound-Effekt“ liegen (siehe auch Infobox „Wirkungsmechanismen für einen Rebound-Effekt“, Seite 22). Er wurde erstmalig 1865 von dem englischen Ökonomen William Stanley Jevons formuliert. Dieser hatte beobachtet, dass durch die Einführung der Watt'schen Dampfmaschine, die dreimal effizienter als die Vorgängermaschine war, der britische Kohleverbrauch deutlich angestiegen war. Die kohlebefeuerte Dampfmaschine war durch die Effizienzsteigerung wettbewerbsfähiger zu betreiben, weshalb insgesamt mehr als dreimal so viele neue Maschinen eingesetzt wurden.

Die Höhe des Rebound-Effektes lässt sich schwer bestimmen und vorhersagen. Verschiedene Studien kommen zu dem Schluss, dass die Energieeinsparung durch Effizienzmaßnahmen zwischen 0 und 30 Prozent (typischerweise 10 Prozent) durch Rebound-Effekte geschmälert wird (siehe Hinweise am Ende des Kapitels). Sie mindern damit die Wirksamkeit von Einsparmaßnahmen, stellen sie aber keineswegs in Frage.

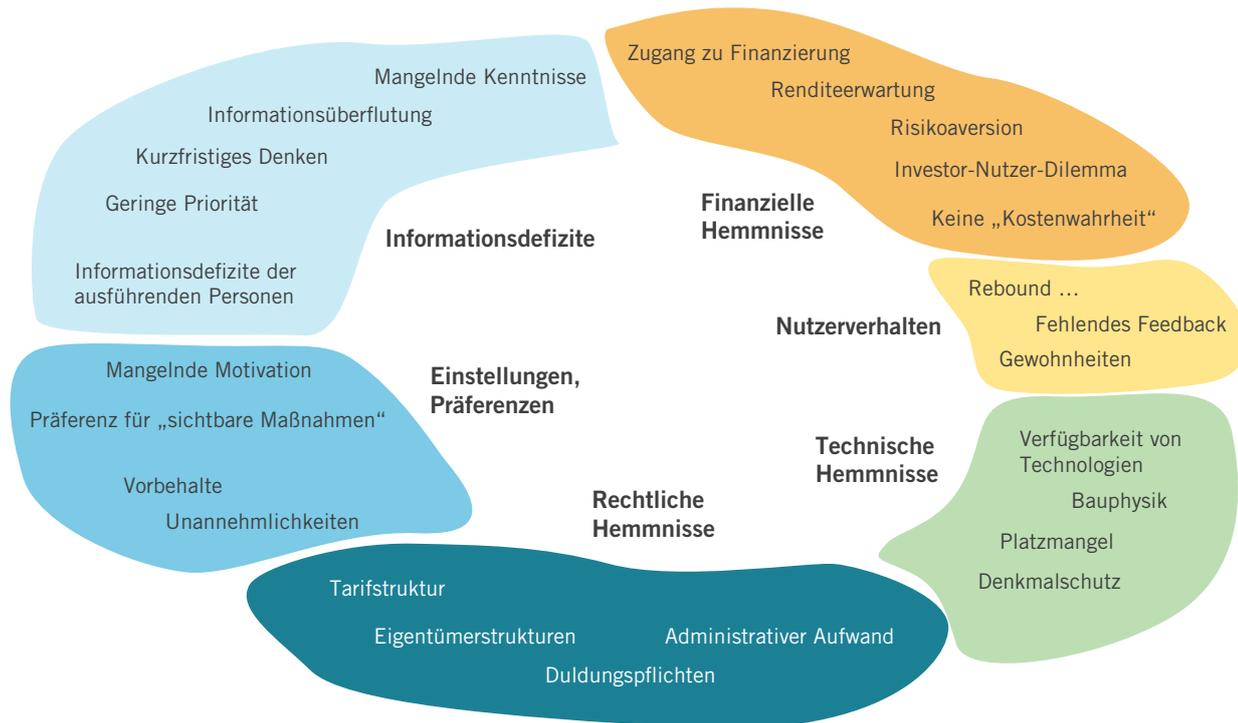
## Was ist ein „Potenzial“?



In der Diskussion um Energieeffizienzpotenziale werden folgende Begriffe unterschieden:

- **Das theoretische Potenzial** beschreibt die theoretisch-physikalische Möglichkeit in einer Region, in einem bestimmten Zeitraum die Energieeffizienz zu steigern. Es markiert damit die absolute Obergrenze des erreichbaren Einsparpotenzials. Wegen technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Beschränkungen kann dieses Potenzial meist nur zu geringen Teilen erschlossen werden.
- **Das technische Potenzial** beschreibt den Teil des theoretischen Potenzials, der unter gegebenen technischen Rahmenbedingungen nutzbar ist. Dabei gibt es noch einmal eine Unterscheidung zwischen dem technischen Potenzial, das schon mit heutigen Mitteln zu erschließen ist, und demjenigen, für das sich die Technik erst noch entwickeln muss. Das ist immer dann plausibel, wenn es beispielsweise schon Prototypen eines neuen, sparsamen Geräts gibt, aber noch keine Massenfertigung.
- **Das wirtschaftliche Potenzial** ist der Anteil des technischen Potenzials, der wirtschaftlich über die Lebensdauer des Produktes rentabel ist. Das wirtschaftliche Potenzial kann aus unterschiedlicher Perspektive betrachtet werden, zum Beispiel aus gesamtwirtschaftlicher Sicht oder aus gesellschaftlicher Sicht, bei der zusätzlich externe Kosten wie Umweltschutz oder Lebensqualität einbezogen werden. Die Wirtschaftlichkeit kann auch aus Sicht der Endabnehmer oder der Anbieter von Energieeffizienz-Technologien und -Dienstleistungen betrachtet werden.
- **Das Erwartungspotenzial oder realisierbare Potenzial** grenzt das Potenzial auf den Teil ein, der innerhalb einer definierten Zeitspanne ausgeschöpft werden kann, wenn spezielle Schwierigkeiten der Markteinführung, Hemmnisse, Politikinstrumente und Förderprogramme vorausgesetzt werden.

### Hemmnisse der Energieeffizienz (Beispiele)



Quellen: ifeu, mit IFAM und ISI

## Wirkungsmechanismen für einen Rebound-Effekt



- Ein **direkter Rebound** entsteht dadurch, dass eine effizienter angebotene Dienstleistung stärker nachgefragt wird; beispielsweise, weil sie billiger wird. Das heißt, dass die Effizienzgewinne eines Produktes durch dessen vermehrte Nutzung geschmälert werden.
- **Indirekt** wirkt ein Rebound, weil eine Energiekosteneinsparung, die sich aufgrund von Effizienzmaßnahmen ergibt, eine erhöhte Nachfrage nach Gütern in anderen Bereichen bewirken kann. Wer beispielsweise Heizkosten einspart, hat mehr Geld für zusätzliche Autofahrten oder Konsumgüter (Budget-Effekt).
- **Energiepreiseffekt:** Außerdem steigt das Angebot an Energieträgern durch Effizienz. Das steigende Angebot senkt den Preis des Energieträgers, was wiederum die Nachfrage ankurbelt.
- **Ansprüche:** Vielfach ziehen Energieeffizienzmaßnahmen auch höhere Ansprüche an den Komfort nach sich. Während in einem schlecht gedämmten Haus niedrige Innentemperaturen im Winter hingenommen werden müssen, steigt in einem sanierten Gebäude der Anspruch an eine als angemessen empfundene Temperatur.
- **Struktureffekte:** Technische Effizienzsteigerungen können auch dazu führen, dass Strukturen geschaffen werden, die wiederum den Energieverbrauch antreiben. Effiziente Fahrzeuge haben beispielsweise erst eine Raumplanung ermöglicht, die auf Schlafstädte, ein „Leben auf dem Land“, Einkaufszenter auf der grünen Wiese etc. setzt. Bei höheren Kraftstoffkosten würden sich funktionsdurchmischte, kleinräumig strukturiertere Raummuster durchsetzen.
- **Ökobilanzieller Rebound** (sog. „graue Energie“): Die Herstellung von Geräten und Maßnahmen der Energieeffizienz verursacht ihrerseits einen Energieverbrauch. Dieser liegt zwar in der Regel eine Größenordnung unterhalb des im Lebenszyklus eingesparten Brennstoffbedarfs, kann aber nicht ganz vernachlässigt werden.
- Im extremen Fall eines durch Effizienz erhöhten Energiebedarfs spricht man von **Backfire**.

## Energiewende und Energieeffizienz in Deutschland

### Ziele der Energiewende

Im Herbst 2010 beschloss die Bundesregierung, die deutschen Treibhausgasemissionen bis 2050 drastisch zu reduzieren – und damit den schrittweisen Ausstieg aus Kohle, Öl und Gas. Spätestens nach dem Reaktorunglück im japanischen Kernkraftwerk Fukushima 2011 lehnte die Mehrheit der Bürger auch die Kernkraft ab. Der vollständige Ausstieg aus der Kernenergienutzung bis 2022 wurde beschlossen.

Dieser Umstieg der Energieversorgung von fossilen und Kernbrennstoffen auf erneuerbare Energien wird auch Energiewende genannt. Das Ziel der Energiewende in Deutschland ist es, die Treibhausgasemissionen in Deutschland zu verringern und die Energieversorgung umweltverträglich und nachhaltig zu gestalten. Die tragende Säule der Energiewende ist der Ausbau der erneuerbaren Energien: Bis zum Jahr 2050 sollen fast ausschließlich regenerative Energiequellen wie Wind- und Wasserkraft, Sonnenenergie, Geothermie und Bioenergie genutzt werden. Die zweite Säule der Energiewende ist die Verringerung des Energieverbrauchs durch eine sparsame und effiziente Nutzung der Energie.

Mit dem im November 2016 beschlossenen „Klimaschutzplan 2050“ wurde ein Fahrplan erstellt, der die Klimaziele Deutschlands insgesamt und für einzelne Wirtschaftszweige in Anlehnung an das Pariser Klimaabkommen festschreibt. Bis zum Jahr 2030 sollen danach die Treibhausgasemissionen um mindestens 55 Prozent, spätestens bis zum Jahr 2040 um mindestens 70 Prozent und bis zum Jahr 2050 um mindestens 80 bis 95 Prozent

gegenüber dem Jahr 1990 reduziert werden. Für die einzelnen Wirtschaftszweige bedeutet dies, dass

- in der Energiewirtschaft mindestens 61 Prozent,
- im Gebäudebereich mindestens 66 Prozent,
- im Verkehrsbereich mindestens 40 Prozent,
- in der Industrie mindestens 49 Prozent und
- in der Landwirtschaft mindestens 31 Prozent

Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Jahr 1990 eingespart werden müssen.

### Rolle der Politik für mehr Energieeffizienz

Damit die Hemmnisse im Effizienzmarkt überwunden werden, ist das Engagement jedes Einzelnen gefordert – etwa beim Kauf effizienter Haushaltsgeräte oder bei der Sanierung des Eigenheims. Um die Ziele der Energiewende zu erreichen, stehen verschiedene Steuerungsinstrumente zur Verfügung – ein Mix aus Fordern, Fördern und Informieren. Ordnungsrechtliche Maßnahmen umfassen beispielsweise verbindliche Grenzwerte oder Produktanforderungen. Zwei wichtige Beispiele hierfür sind die Energieeinsparverordnung (EnEV), die für neue Gebäude Grenzwerte für den Energieverbrauch und ein Mindestmaß an Dämmung der Häuser vorschreibt, und die europäische Ökodesign-Richtlinie, die an alle energierelevanten Produkte Mindestanforderungen stellt. Der Wandel von klassischen Glühlampen hin zu effizienter Beleuchtung, aber auch die Begrenzung der Standby-Stromverluste von Fernsehern oder anderen elektrischen Geräten sind auf die Ökodesign-Richtlinie zurückzuführen.

Wichtige regulatorische Rahmensetzungen zur Energieeffizienz auf EU-Ebene enthält neben der Ökodesign-Richtlinie insbesondere die im Herbst 2012 verabschiedete Richtlinie zur Energieeffizienz (EED). Diese Richtlinie

### Stand und Einsparziele der Energiewende

	2015	2020	2030	2040	2050
<b>Treibhausgasemissionen</b>					
Treibhausgasemissionen (gegenüber 1990)	-27,2%	mindestens -40%	mindestens -55%	mindestens -70%	mindestens -80% bis 95%
<b>Reduktion des Energieverbrauchs und Steigerung der Energieeffizienz</b>					
Primärenergieverbrauch (gegenüber 2008)	-7,6%	-20%			-50%
Endenergieproduktivität	1,3% pro Jahr (2008–2015)	2,1% pro Jahr (2008–2050)			
Bruttostromverbrauch (gegenüber 2008)	-4,0%	-10%			-25%
Primärenergiebedarf Gebäude (gegenüber 2008)	-15,9%				-80%
Wärmebedarf Gebäude (gegenüber 2008)	-11,1%	-20%			
Endenergieverbrauch Verkehr (gegenüber 2005)	+1,3%	-10%			-40%

enthält neben vielen anderen Anforderungen ein Anreizsystem für Energieeffizienz, das Energieverteiler oder Energie-Einzelhandelsunternehmen verpflichtet, jährlich Energieeinsparungen in Höhe von 1,5 Prozent ihres im Vorjahr realisierten Energieabsatzvolumens durchzuführen oder durchführen zu lassen (beispielsweise durch Förderprogramme, Beratungen etc.). In den europäischen Verhandlungen wurde allerdings erreicht, dass Mitgliedsstaaten alternativ auch andere Maßnahmen ergreifen dürfen, etwa ordnungsrechtliche Maßnahmen, Steuern oder Förderprogramme, die auf diese Verpflichtung angerechnet werden. So wird diese Richtlinie auch in Deutschland ohne Verpflichtung von Energieversorgern umgesetzt.

### Förderung von Energieeffizienz

Ein wichtiges Instrument sind auch Förderprogramme für Effizienzmaßnahmen oder -technologien. Das wichtigste deutsche Programm ist das Energieeffizienzprogramm der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) „Energieeffizient Bauen und Sanieren“, das insbesondere Unternehmen bei der Errichtung und Sanierung hocheffizienter gewerblich genutzter Gebäude durch einen zinsgünstigen Kredit oder einen Zuschuss fördert. Daneben gewährt auch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) Fördermittel: Mit dem Marktanreizprogramm werden Investitionen und Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien von zum Beispiel Privatpersonen, Unternehmen und Kommunen vorwiegend im Gebäudebestand gefördert sowie Wärmenetze und Speicher, die aus erneuerbaren Energien gespeist werden.

Ebenfalls an Unternehmen richtet sich das Programm der Bundesregierung zur Förderung hocheffizienter Querschnittstechnologien, das den Ersatz von ineffizienten Elektromotoren, Pumpen, Druckluftsystemen und anderem durch hocheffiziente Anlagen sowie die Optimierung von Systemen fördert. Die Förderung von energieeffizienten und klimaschonenden Produktionsprozessen und von Abwärmenutzung unterstützt Unternehmen dabei, sich für möglichst energieeffiziente und damit umweltverträgliche Investitionen bei der Gestaltung ihrer Produktionsprozesse zu entscheiden. Die Nationale Klimaschutzinitiative (NKI) fördert ferner beispielsweise kommunalen Klimaschutz, Mini-KWK-Anlagen, effiziente Kältetechnik, aber auch viele Einzelprojekte. Daneben gibt es zahlreiche weitere Fördermöglichkeiten auf Bundes- und Landesebene.

Auch von Preisen ausgehende Impulse können Anreize für energieeffizientes Verhalten setzen. So werden Entlastungen im Rahmen des Spitzenausgleichs nach dem Energiesteuergesetz und dem Stromsteuergesetz nur gewährt, wenn die betreffenden Unternehmen über ein Energie- oder Umweltmanagementsystem verfügen. Voraussetzung für die richtigen Investitionsentscheidungen sowohl

bei Unternehmen als auch bei privaten Haushalten oder der öffentlichen Hand (Bund, Länder, Kommunen) sind unabhängige, verlässliche Informationen und Vergleichsmöglichkeiten, um den eigenen Energieverbrauch und die Auswirkungen von Maßnahmen zur Energieeffizienz besser verstehen, einschätzen und bewerten zu können.

Für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende spielen Innovationen und neue Energietechnologien eine wichtige Rolle. Mit der Forschungsförderung auf dem Gebiet der Energietechnologien verfolgt die Bundesregierung das Ziel, Energie effizienter zu erzeugen, zu verteilen und zu nutzen. In den Bereichen Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen reicht die Projektförderung von der energetischen Optimierung einzelner Prozessschritte über die Entwicklung und Einführung neuer Technologien und Anlagenkomponenten bis zu komplexen Versorgung- und Abwärmenutzungskonzepten. Mit Blick auf seine Bedeutung für die Energiewende bildet der Gebäudebereich einen besonderen Schwerpunkt der Forschungsförderung im Bereich Energieeffizienz. Die Bundesregierung unterstützt Forschung und Entwicklung für energieeffiziente Gebäude und Städte mit den Forschungsinitiativen Zukunft Bau, Energieoptimiertes Bauen (EnOB), Energieeffiziente Stadt (EnEff:Stadt) und Energieeffiziente Wärmeversorgung (EnEff:Wärme) im Energieforschungsprogramm. Auch besonders effiziente Modellprojekte wie das Effizienzhaus Plus werden gefördert.

Um die Treibhausgas-Einsparziele zu erreichen, hat die Bundesregierung das „Aktionsprogramm Klimaschutz 2020“ mit zusätzlichen Maßnahmen vorgelegt. Darüber hinaus wurde ein „Klimaschutzplan 2050“ erarbeitet, der die weiteren CO<sub>2</sub>-Reduktionsschritte im Lichte der europäischen Ziele und der Ergebnisse der Pariser Klimakonferenz 2015 bis zum Ziel im Jahr 2050 beschreibt.

### Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz

Zusammen mit dem „Aktionsprogramm Klimaschutz“ wurde im Dezember 2014 auch der „Nationale Aktionsplan Energieeffizienz“ (NAPE) verabschiedet, der im Detail die bestehenden Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz beschreibt und weitere politische Instrumente einführt. Diese werden in den folgenden Kapiteln im Zusammenhang mit den entsprechenden Handlungsfeldern beschrieben. Nicht nur die Bundesregierung fördert die Erhöhung der Energieeffizienz. Hinzu kommen zahlreiche Aktivitäten auf Ebene der Länder und Kommunen, die für mehr Energieeffizienz sorgen. Daneben spielen die Länder auch bei der Umsetzung der ordnungsrechtlichen Vorgaben in den Energieeinspar- und EU-Ökodesign-Verordnungen die entscheidende Rolle, denn die Kontrolle der Umsetzung dieser Vorschriften ist Sache der Landesbehörden.

## Weiterführende Links



Übersichtsseite des Bundesumweltministeriums zur Energieeffizienz

- ▶ [www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/energieeffizienz](http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/energieeffizienz)

Übersichtsseite des Umweltbundesamtes zu Energiesparen und Energieeffizienz

- ▶ [www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen](http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen)

Übersichtsseite des Bundeswirtschaftsministeriums zur Energieeffizienz

- ▶ [www.deutschland-machts-effizient.de](http://www.deutschland-machts-effizient.de)

Die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. wertet Statistiken aus allen Gebieten der Energiewirtschaft aus, erstellt Energiebilanzen und macht diese der Öffentlichkeit zugänglich.

- ▶ [www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de)

Die Stromsparinitiative und die Initiative EnergieEffizienz der Deutschen Energie-Agentur (dena) informieren private Verbraucher, Unternehmen und öffentliche Einrichtungen über Vorteile und Chancen der effizienten Stromnutzung.

- ▶ [www.die-stromsparinitiative.de](http://www.die-stromsparinitiative.de)
- ▶ [www.stromeffizienz.de](http://www.stromeffizienz.de)

Informationen der dena für die Akteure des Energieeffizienz- und Energiedienstleistungsmarktes, wie beispielsweise Contractoren, Energieberater und Anbieter von Energieeffizienzprodukten

- ▶ [www.energieeffizienz-online.info](http://www.energieeffizienz-online.info)

Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung mit langfristigen Maßnahmenvorschlägen

- ▶ [www.klimaschutzplan2050.de](http://www.klimaschutzplan2050.de)

Im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 benennt die Bundesregierung für alle Sektoren Maßnahmen, die die Erreichung des deutschen Klimaziels für 2020 sicherstellen sollen.

- ▶ [www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/aktionsprogramm-klimaschutz](http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/aktionsprogramm-klimaschutz)

Im Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz vom Herbst 2014 beschreibt die Bundesregierung weiterführende Politikinstrumente für mehr Energieeffizienz.

- ▶ [www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energieeffizienz/nape.html](http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energieeffizienz/nape.html)

Übersichtsseite der Bundesregierung zur Energiewende

- ▶ [www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/\\_node.html](http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/_node.html)

Informationen der Internationalen Energieagentur zur Energieeffizienz

- ▶ [www.iea.org/topics/energyefficiency](http://www.iea.org/topics/energyefficiency)

Informationen der Koordinierungsstelle des Weltklimarates (IPCC)

- ▶ [www.de-ipcc.de](http://www.de-ipcc.de)

Mit dem vom ifeu entwickelten CO<sub>2</sub>-Rechner des Umweltbundesamtes lässt sich die persönliche Klimabilanz ermitteln.

- ▶ [uba.klimaktiv-co2-rechner.de/de\\_DE/page](http://uba.klimaktiv-co2-rechner.de/de_DE/page)

Die Agora Energiewende untersucht den Beitrag der Energieeffizienz zur Senkung der Systemkosten.

- ▶ [www.agora-energiewende.de](http://www.agora-energiewende.de)  
(Rubrik Effizienz und Lastmanagement)

Studie zu volkswirtschaftlichen und Arbeitsplatz-Effekten der Energieeffizienz

- ▶ [www.ifeu.de/nki](http://www.ifeu.de/nki)

Die Nationale Klimaschutzinitiative fördert verschiedene Projekte zum Energiesparen im Zusammenhang mit sozial benachteiligten Bevölkerungsgruppen.

- ▶ [www.klimaschutz.de](http://www.klimaschutz.de), beispielsweise:
- ▶ [www.klimaschutz.de/de/projekt/integraetklima](http://www.klimaschutz.de/de/projekt/integraetklima)

Informationen zum Rebound-Effekt liefert das Wuppertal-Institut.

- ▶ [wupperinst.org/de/publikationen/details/wi/a/s/ad/1668](http://wupperinst.org/de/publikationen/details/wi/a/s/ad/1668)



2

## 2 ENERGIEEFFIZIENZ IN GEBÄUDEN

Rund 40 Prozent der gesamten Endenergie in Deutschland werden im Gebäudebereich verbraucht. Dies umfasst die Energie, die benötigt wird, um Räume zu heizen oder zu kühlen, um Wasser zu erwärmen und um Industrieanlagen, Büros, Läden, Sportstätten usw. zu beleuchten.

Ein Großteil der im Gebäudebereich eingesetzten Energie wird zum Heizen verwendet. Außerdem ist zu beobachten, dass der Energieverbrauch für die Kühlung von Gebäuden anwächst. Entsprechend groß ist dort das technische und häufig auch wirtschaftliche Potenzial zur Steigerung der Energieeffizienz.

Der Klimaschutzplan 2050 sieht vor, den Wärmebedarf der Gebäude deutlich und dauerhaft zu verringern bis hin zur Dekarbonisierung des Gebäudebereichs. Den verbleibenden Energiebedarf sollen erneuerbare Energien decken. Sektorkopplung wird somit vorangetrieben. Das Energiekonzept definiert für den Gebäudebereich die Ziele, bis 2020 den Wärmebedarf um 20 Prozent zu reduzieren und bis 2050 den Bedarf an fossilen und nuklearen Energierohstoffen (Primärenergiebedarf) durch Effizienz und erneuerbare Energien um 80 Prozent zu senken.

Viele der heutigen Gebäude werden im Jahr 2050 voraussichtlich noch stehen. Eine energetische Modernisierung vor allem der älteren Gebäude ist Voraussetzung für eine erfolgreiche Energiewende. In den vergangenen Jahren wurde durchschnittlich nur ein Prozent der Gebäude pro Jahr energetisch saniert. Um die gesteckten Ziele zu erreichen, soll diese Sanierungsrate verdoppelt werden. Als Zwischenziel für 2030 gibt der Klimaschutzplan des Bundesumweltministeriums von 2016 maximale Emissionen von 70 bis 72 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten für den Gebäudebereich vor. Laut Klimaschutzbericht 2016 betragen sie 2014 noch 85 Millionen Tonnen.

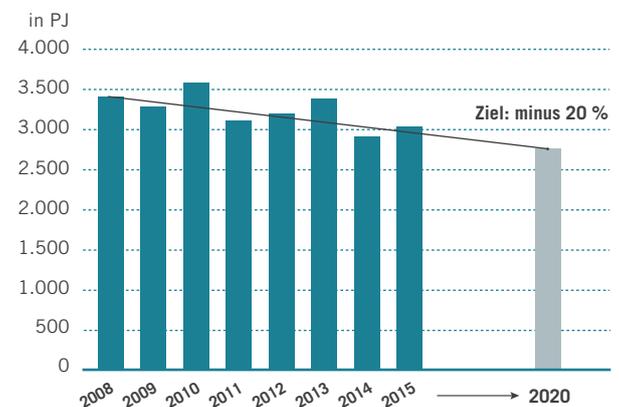
Im besonderen Fokus der energetischen Sanierungen stehen Wohnhäuser, denn sie machen fast zwei Drittel des Gebäudebestandes aus. In Deutschland gibt es rund 14 Millionen Ein- und Zweifamilienhäuser und etwa vier Millionen Mehrfamilienhäuser. Aber auch die Nichtwohngebäude müssen energieeffizienter werden. Sie benötigen mehr als ein Drittel der Endenergie im Gebäudesektor.

Im Jahr 2013 wurden insgesamt rund 55 Milliarden Euro für energetisch relevante Sanierungen ausgegeben – im Wohnungsbau etwa 40 Milliarden Euro, im Nichtwohnungsbau 15 Milliarden Euro.

Beim Energiebedarf von Gebäuden lassen sich in den vergangenen Jahren zwei auf den ersten Blick widersprüchliche Trends beobachten. Zum einen stagniert der Gesamtverbrauch und stieg 2015 im Vergleich zum Vorjahr sogar wieder etwas an. Das ist zum Teil dadurch zu erklären, dass in harten Wintern stärker geheizt wird als in milden.

Zum anderen ist aber der spezifische Endenergieverbrauch, also der Energieverbrauch pro Quadratmeter Wohnfläche, in privaten Gebäuden seit dem Jahr 2000 stetig gesunken. Wurden damals temperaturbereinigt noch 205 Kilowattstunden pro Quadratmeter aufgewendet, waren es 2015 nur noch 136 Kilowattstunden. Die Wohnungen sind in Deutschland also immer besser gedämmt und mit energieeffizienter Heiz- und Lüftungstechnik ausgerüstet. Dass der Gesamtverbrauch trotzdem stagniert, hat damit zu tun, dass die Wohnfläche immer weiter angestiegen ist – von ca. 2.900 Millionen Quadratmetern im Jahr 1996 auf 3.400 Millionen Quadratmeter im Jahr 2013. Viele Deutsche können sich größere Wohnungen leisten und die Zahl der Haushalte steigt, da immer mehr Menschen allein leben.

### Entwicklung des Wärmebedarfs

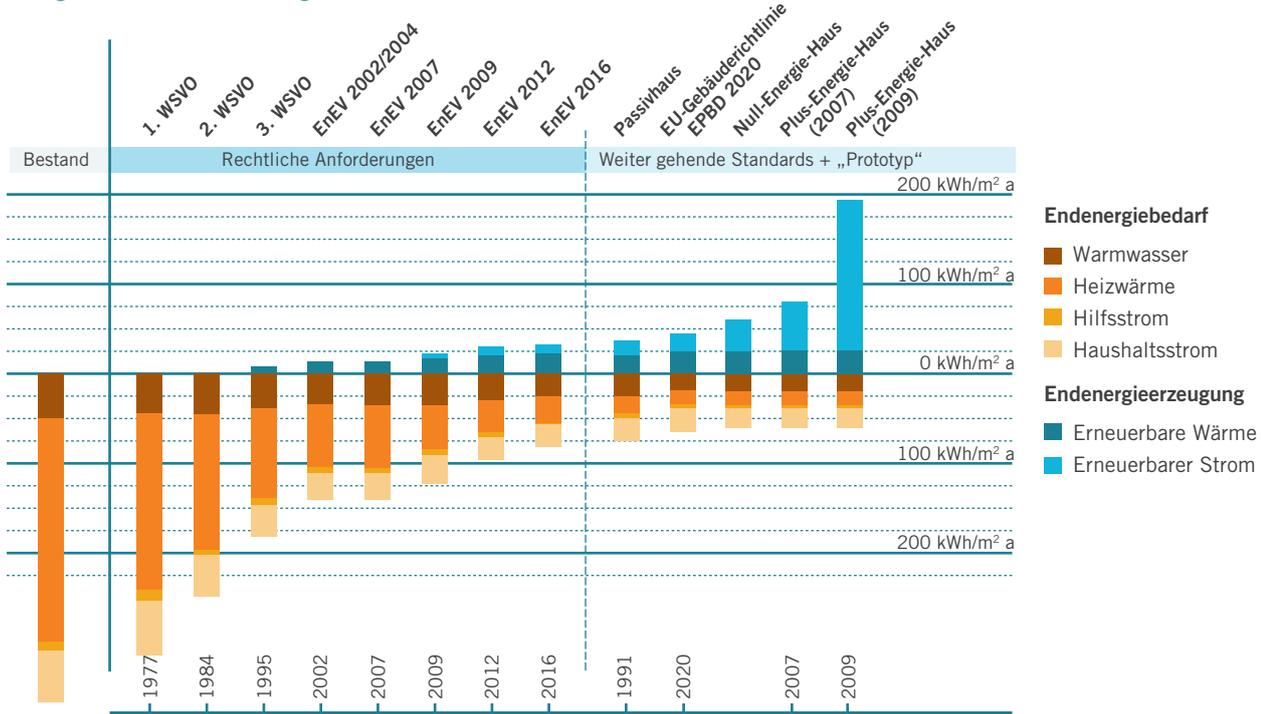


Quelle: BMWi 2017

### Auf dem Weg zu klimaneutralen Gebäuden

Welche energetischen Potenziale in Gebäuden stecken, demonstrieren Neubauten: Seit Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung (WSVO) im Jahr 1977 sind die Anforderungen an neu zu errichtende Gebäude stetig angehoben worden. Die seit 2002 gültige Energieeinsparverordnung (EnEV) wurde mehrmals novelliert und kontinuierlich verschärft. Mit der nächsten Novellierung soll der europäisch geforderte Niedrigstenergiegebäude-Standard eingeführt werden: Die Europäische Union hat

## Energieverbrauch von Wohngebäuden



Quellen: TU Darmstadt, Ergänzungen ifeu

mit der EU-Gebäuderichtlinie beschlossen, dass ab dem Jahr 2019 Neubauten der öffentlichen Hand und ab dem Jahr 2021 alle Neubauten in ganz Europa nur noch als „nearly zero-energy buildings“, also Niedrigstenergiegebäude, zugelassen werden.

Den EU-Vorgaben folgt auch die „Effizienzstrategie Gebäude“ (ESG), die das Bundeskabinett im November 2015 beschlossen hat. Sie nimmt gebäuderelevante Energieverbräuche in den Blick, zeichnet die Weiterentwicklung der Ziele im Gebäudebereich vor und war darüber hinaus Grundlage für die Zielsetzungen des „Klimaschutzplans 2050“. Nach der ESG dürfen im Jahr 2050 Wohngebäude – Neubauten und Bestandsgebäude – durchschnittlich nur noch 40 Kilowattstunden je Quadratmeter und Jahr verbrauchen, für Nichtwohngebäude liegt das Maximum bei durchschnittlich 52 Kilowattstunden. Hierbei gilt es zu beachten, dass Neubauten möglichst geringe Werte erzielen sollten, um Luft nach oben für Bestandsgebäude zu lassen.

Neben den gesetzlichen Regelungen gibt es weitere technische Standards, die zwar rechtlich nicht bindend sind, aber den Stand des technisch und wirtschaftlich Möglichen umsetzen. Es gibt unterschiedliche Begriffe und Konzepte, unter anderem Passivhäuser, Solarhäuser und das Effizienzhaus Plus. Gemeinsam ist diesen Konzepten die ganzheitliche Betrachtung des Energiebedarfs für Heizen, Warmwasser, Kühlung, aber auch für Haushaltsgeräte und Beleuchtung in privaten Haushalten.

Im Passivhaus wie auch in anderen höchsteffizienten Gebäudekonzepten treffen sich zwei wesentliche technische Strategien: Einerseits die bestmögliche Wärmedämmung von Außenwänden, Dach und Bodenplatte; andererseits ist ein Passivhaus so gebaut, dass es möglichst viel Sonnenwärme einsammelt, beispielsweise durch große südorientierte, hocheffiziente Fenster. Der verbleibende Bedarf muss nach den Kriterien des Passivhaus Instituts Darmstadt in unserer Klimazone unterhalb von 15 Kilowattstunden pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr liegen. Er kann durch beliebige Heizungssysteme gedeckt werden, beispielsweise Wärmepumpen, thermische Solaranlagen, Pelletöfen oder Gasheizungen. Oftmals wird die Wärme ausschließlich über die Zuluft einer Lüftungsanlage zugeführt. Ein konventionelles Heizungssystem erübrigt sich dann.

Weitere Anforderungen betreffen die Luftdichtheit und den Primärenergiebedarf, der auf 120 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (inklusive Haushaltsstrom) begrenzt ist. Um diese Kriterien zu erfüllen, müssen Passivhäuser eine Lüftungsanlage mit einem hohen Wärmebereitstellungsgrad und eine äußerst luftdichte Gebäudehülle aufweisen. Auch der Stromverbrauch der elektrischen Geräte im Haus muss, so weit es geht, gesenkt werden. Besonders wichtig ist die Vermeidung von Wärmebrücken. Das gilt für die Fensterleibungen ebenso wie für Bauteilanschlüsse, Kabelführungen und Maueröffnungen für Lüftungskanäle oder Wasserrohre. Sie müssen so konstruiert werden, dass keine Wärme entweicht.

Effizienzhäuser Plus sind nicht an eine bestimmte Technologie gebunden, sondern können energieeffiziente Bautechnologien intelligent kombinieren mit Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energien.

Die Gebäudehülle sollte aber in etwa dem Passivhaus-Standard entsprechen, da alle anderen Maßnahmen eine meist geringere Wirtschaftlichkeit aufweisen. Aus demselben Grund ist eine Komfortlüftung mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung unabdingbar. Die Gebäudetechnik muss ein möglichst hohes Maß an erneuerbaren Energien nutzen. Dazu bietet sich bei den meisten Gebäuden der Einsatz von Photovoltaik an. Ein hoher Anteil der gewonnenen Energie sollte direkt im Gebäude genutzt werden. Dazu bietet sich der Einsatz eines kleinen Batteriespeichers an (Beispiel Einfamilienhaus: Speichervermögen 2 bis 5 kWh). Wenn die Heizwärme und Warmwasserbereitung mittels Wärmepumpe bereitgestellt wird, können weitere Synergien mittels Lastmanagement genutzt werden. Als Lastmanagement wird die gezielte Steuerung des Energieverbrauchs zur Netzstabilisierung oder Ausnutzung von Energiepreisschwankungen verstanden. Für die Haushaltsgeräte ist ein geringer Stromverbrauch wichtig. Es sollten also effiziente Geräte sorgsam genutzt werden.

Der Neubau von Effizienzhäusern Plus wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit im Rahmen eines Förderprogramms für Modellhäuser finanziell besonders unterstützt.

Für Häuser, die einem solch hohen Standard entsprechen sollen, müssen früh die Weichen für ein energie- und flächensparendes, ökologisches und ökonomisches Bauen gestellt werden. Entscheidend ist eine integrale Gesamtplanung des Gebäudes: Beim Gebäudeentwurf sind vor allen Dingen die drei Aspekte Kompaktheit, Orientierung

und Gebäudezonierung wichtig. Kompaktheit ist erforderlich, um ein gutes Verhältnis von Hüllfläche und Volumen zu erreichen. Eine Orientierung nach Süden ermöglicht hohe solare Gewinne. Eine energiesparende Gebäudezonierung orientiert die weniger beheizten Räume nach Norden und minimiert so die Kontaktfläche zum stärker beheizten Teil des Gebäudes. Außerdem sollten Heizung und Warmwasserbereitung möglichst zentral im Gebäude positioniert werden, um die Verteilleitungen kurz zu halten und Wärmeverluste zu vermeiden.

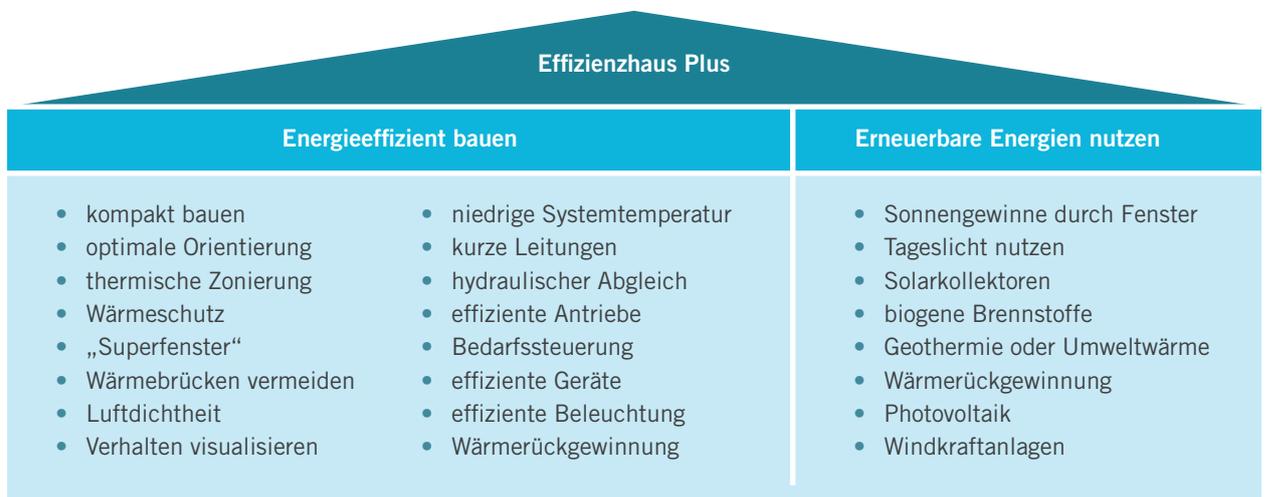
**Definition Effizienzhaus Plus**

Das Effizienzhaus Plus muss sowohl einen negativen Jahres-Primärenergiebedarf als auch einen negativen Jahres-Endenergiebedarf vorweisen. Außerdem sind auch alle sonstigen Bedingungen der Energieeinsparverordnung einzuhalten. Als Bilanzgrenze ist das Grundstück, auf dem das Haus errichtet wird, anzusetzen.



Dieses Effizienzhaus Plus erzeugt innerhalb eines Jahres mehr Energie, als eine vierköpfige Familie für den Betrieb des Hauses benötigt; Quelle: ZEBAU

**Die energetischen Säulen des Effizienzhauses Plus**



Quelle: BMUB

## Die Optimierung der Gebäudehülle

Ein Großteil der Wohneinheiten in Deutschland wurde vor 1977 errichtet, also zu einer Zeit, als es noch keine Wärmeschutzanforderungen gab. Um die Ziele der Energiewende zu erreichen, muss ein Großteil davon energetisch saniert werden. Doch die Geschwindigkeit der Modernisierungen reicht noch nicht aus. Beispielsweise gibt es in Deutschland immer noch über drei Millionen Heizkessel, die älter als 25 Jahre sind.

Problematisch ist nicht nur, dass die Sanierungsrate zu gering ist. Wenn saniert wird, ist vielfach auch die Sanierungstiefe zu gering. Das heißt: Es wird zu wenig gedämmt und nicht die optimalen Technologien verwendet. Eigentümer sollten sich daher vor einer Sanierung individuell beraten lassen. Ein Energieberater oder Architekt hat das gesamte Gebäude im Blick und kann eine optimale Sanierungsstrategie empfehlen, die auf das Gebäude und die Eigentümer ideal abgestimmt ist. Diese Beratung kann auch gefördert werden.

## Vorbild Bundesliegenschaften



### Der Berliner Dienstsitz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Im Jahr 2011 ist das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) in seinen neuen Berliner Dienstsitz in die Stresemannstraße gezogen – als erste Bundesbehörde überhaupt in ein kombiniertes Niedrigenergie- und Passivhaus. Die besondere Herausforderung bestand darin, den Altbau, der einst dem preußischen Landwirtschaftsministerium diente, mit einem Neubau zu erweitern, dabei ökologisch vorbildliche Konzepte in einem historischen Kontext zu verwirklichen und gleichzeitig höchsten Ansprüchen an Gestaltung, Funktionalität und Wirtschaftlichkeit gerecht zu werden. Die Baukosten betragen 67,4 Millionen Euro. Eine besondere Herausforderung war die Realisierung des Passivhaus-Standards im Neubauteil, da die schattige

innerstädtische Lage die Wärmezufuhr durch die Sonne mindert. Umso mehr musste auf eine ausgezeichnete Dämmung, hohe Luftdichtheit, eine angenehme, hocheffiziente Beleuchtung bei weitgehender Nutzung von Tageslicht und eine hohe Stromeffizienz bei Lüftung und Bürotechnik geachtet werden. Auf eine maschinelle Kühlung konnte verzichtet werden. Das ausgeklügelte Versorgungskonzept kombiniert Brennstoffzelle und Photovoltaik, Fernwärme und -kälte aus Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, aber auch eine Abwasserwärme-Rückgewinnung. Ökologische Baumaterialien, etwa hocheffiziente Fenster aus dauerhafter Eiche und Lehm-Innenwände, ergänzen das Konzept.

Das Dach des Neubaus erhielt eine extensive Begrünung und ist heute Lebensraum für Schmetterlinge und Insekten.



Der neue Dienstsitz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit; Quelle: Florian Profitlich

Eine wichtige Aufgabe bei der Optimierung des Gebäudebestandes ist die Optimierung der Gebäudehülle durch Wärmedämmung. Wärmedämmung ist kein Produkt unserer Tage. Schon in der Bronzezeit vor 3.000 bis 5.000 Jahren haben Menschen den Wärmedurchgangskoeffizienten ihrer Gebäudehüllen so weit wie möglich verringert. Eine warme Behausung, die weniger Brennmaterial zum Heizen benötigt, war schon damals erstrebenswert.



Wärmedämmung in der Bronzezeit: Weidengeflecht mit Grasfüllung; Quelle: Hessische Energiesparaktion

## Wärmeleitfähigkeit und U-Wert

i

Die *Wärmeleitfähigkeit*, meist abkürzt durch den griechischen Buchstaben  $\lambda$  (Lambda), beschreibt die Wärmemenge, die durch einen Stoff von einem Meter homogener Dicke bei einer Temperaturdifferenz von einem Grad Celsius (oder Kelvin) in einer Sekunde fließt. Die Wärmeleitfähigkeit ist also ein Maß für die Fähigkeit eines Materials, Wärmeenergie zu leiten. Je kleiner  $\lambda$  ist, desto besser ist das Dämmvermögen des Baustoffs.

Der *Wärmedurchgangskoeffizient* U drückt aus, wie viel Wärmeenergie – gemessen in Watt pro Quadratmeter – bei einem Grad Celsius Temperaturunterschied durch ein Bauteil hindurchgeht. Der U-Wert wird im Wesentlichen durch die Wärmeleitfähigkeit und Dicke der verwendeten Materialien bestimmt.

Im Referenzgebäude, das die aktuelle Energieeinsparverordnung (EnEV) zu Grunde legt, hat die Außenwand eines Hauses einen U-Wert von  $0,28 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Die Abbildung zeigt die erforderlichen Dämmstoffdicken in Zentimetern, um diesen Wert mit verschiedenen Baustoffen zu erreichen. In der Baupraxis kann man mit hochwertigen Dämmstoffen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen U-Werte um  $0,16 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  und besser erreichen.

### Erforderliche Dämmstoffdicke, um den Dämmstandard des Referenzgebäudes der Energieeinsparverordnung EnEV zu erreichen ( $0,28 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ )



Quelle: ifeu

## Fassadendämmung

Die größte Wärmemenge entweicht beim Altbau vor allem über das Dach, über die Fenster und über die Außenwände. Mit einer Fassadendämmung kann ein hoher Anteil der Energie eingespart werden. Ein günstiger Zeitpunkt für eine Dämmung der Außenwände ist, wenn ohnehin Fassadenarbeiten anstehen, wie zum Beispiel Putzausbesserungen, der Einbau neuer Fenster oder ein Neuanstrich. Denn viele Kosten, wie zum Beispiel die für ein Gerüst oder den neuen Außenputz, fallen durch nötige Instandsetzungsmaßnahmen in jedem Fall an. Dadurch reduzieren sich die Kosten für die reine Energiesparmaßnahme. Außerdem gibt es zahlreiche Förderprogramme speziell für die Fassadendämmung. Die Broschüre „Energieeffizient Bauen und Modernisieren“ gibt einen umfangreichen Überblick über die verschiedenen Optionen einer Gebäudedämmung (siehe Hinweise am Ende des Kapitels).

Beispielsweise stehen verschiedene Konstruktionen für die Fassadendämmung zur Verfügung. Am kostengünstigsten ist das so genannte „Wärmedämmverbundsystem“, bei dem der Dämmstoff – Mineralfasern, Hartschaum, Holzfaserplatten oder andere Dämmstoffe – direkt auf die Wand geklebt und gedübelt und dann mit einer Putzschicht versehen wird. Alternativ kann eine hinterlüftete Vorhangfassade angebracht werden. Hierzu wird die Dämmung ebenfalls außenseitig auf die Wand aufgebracht und zum Wetterschutz eine Außenschale erstellt. Gestalterisch eröffnet diese Konstruktionsart eine große Menge von Lösungen. Bei zweischaligem Mauerwerk, auch Hohl-schichtmauerwerk genannt, empfiehlt sich als preiswerteste Maßnahme die nachträgliche Kerndämmung. Hier wird die Dämmung in den Hohlraum zwischen den zwei Mauerwerksschalen eingebracht. Oftmals sollte allerdings ergänzend eine Innendämmung angebracht werden, da die Kerndämmung allein nur eine geringe Verbesserung bringt.

Viele der häufig eingesetzten Dämmstoffe werden – wie andere Baustoffe auch – so hergestellt, dass sie bauaufsichtlich zumindest als „schwer entflammbar“ eingestuft werden. Seit 2013 werden aber verstärkt Vorwürfe

gegen die Hersteller von Polystyrol-Dämmstoffen laut, die Wärmedämmverbundsysteme seien im Brandfall ein erhöhtes Sicherheitsrisiko. Brände wurden von den Medien aufgegriffen. Bei diesen Fällen handelte es sich aber zumeist um Vorhaben, die sich noch in der Bauphase befanden. Der Brandschutz hatte noch nicht seine endgültige Funktionsfähigkeit erreicht. Bei fertiggestellten Wärmedämmverbundsystemen wird eine Brandausbreitung durch nicht brennbare „Brandriegel“ ausreichend lange aufgehalten. Sie müssen oberhalb der Fenster bzw. im Abstand von zwei Etagen umlaufend um die gesamte Fassade angeordnet sein.

Steht ein Gebäude unter Denkmalschutz oder soll die Fassade erhalten bleiben, bietet sich die Innendämmung als Alternative zur Außendämmung an. Neben dem Raumverlust hat dies allerdings einige bauphysikalische Nachteile. Innendämm-Systeme stellen bei richtiger Planung eine hochwertige Lösung dar, sollten aber nur von erfahrenen Fachleuten installiert werden, um Feuchteschäden zu vermeiden.

## Dach- und Kellerdämmung

Durch die Decke zu unbeheizten Dachböden kann in Altbauten viel Heizenergie entweichen. Seit 2012 schreibt die Energieeinsparverordnung (EnEV) deshalb verbindlich für bestehende Gebäude die Dämmung der begehbaren obersten Geschossdecken unter unbeheizten Dachräumen vor, sofern die Geschossdecken nicht dem Mindestwärmeschutz genügen. Für Ein- und Zweifamilienhäuser, bei denen der Eigentümer eine Wohnung seit dem 1. Februar 2002 selbst bewohnt, greift diese Verpflichtung erst bei einem Eigentümerwechsel. Alternativ kann auch das Dach gedämmt werden und somit zusätzlicher Wohnraum geschaffen werden.

Bei einem Spitzdach kann auf, unter und zwischen den Sparren, also den Dachträgern, gedämmt werden, wobei die Dämmarten auch miteinander kombiniert werden können, um eine bessere Dämmwirkung zu erzielen. Auch



Außenwanddämmung, Quelle: Fotolia © Kara



Eine gedämmte Hülle spart hohe Energiekosten, Quelle: Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e. V.

## Modernisierung: Vorurteile & Irrtümer



**Über den Nutzen von energetischen Sanierungen kursieren viele Gerüchte und Irrtümer. Hier einige Vorurteile – und eine Prüfung ihres Wahrheitsgehalts.**

### **Vorurteil 1: Zu viel Dämmung führt zu Schimmel.**

Wenn die Dämm-Maßnahme richtig geplant und ausgeführt wurde, hat Schimmel keine Chance. Im Gegenteil: Wer richtig dämmt, verhindert Schimmel. Die Raumseiten der Außenwände werden wesentlich wärmer. Das ist nicht nur behaglicher, sondern verhindert auch gleichzeitig, dass Luftfeuchtigkeit an den Wänden kondensiert. An einer trockenen Wand kann sich kein Schimmel bilden. Dass Dämm-Maßnahmen in den Medien trotzdem immer wieder mit Schimmelbildung in Verbindung gebracht werden, liegt an einer falschen Planung oder Ausführung – insbesondere Innendämmung verzeiht Fehler nur selten. Auch werden – richtigerweise – oft die Fenster im selben Zug mit der Außenwanddämmung ausgetauscht. Neue Fenster sind aber wesentlich dichter als die alten und erfordern von den Nutzern ein anderes Lüftungsverhalten, um eine zu hohe Luftfeuchtigkeit in den Räumen zu verhindern. Wenn es infolgedessen zu Schimmel kommt, wird dies fälschlich der Dämmung angelastet. Schimmel hat ebenfalls nichts damit zu tun, dass die – immer wieder ins Feld geführte – „Atmung“ der Wände durch die Dämmung behindert wird. Auch durch eine ungedämmte Wand werden weder Luft noch Feuchtigkeit in einem nennenswerten Maß transportiert. Die Dämmschicht ändert daran nichts.

### **Vorurteil 2: Fenster dürfen nicht zu dicht sein, sonst zirkuliert die Raumluft nicht ausreichend.**

Wer sich beim Lüften auf undichte Fenster verlässt, liegt falsch: Ein Luftaustausch findet dann nämlich nur rein zufällig statt – abhängig von den jeweiligen Wetter- und

Druckverhältnissen. Undichte Fenster sorgen für ein unangenehmes Raumklima und unnötig hohen Heizenergieverbrauch. Broschüren geben Tipps zum richtigen Heizen und Lüften (siehe Hinweise am Ende des Kapitels).

### **Vorurteil 3: Energetische Sanierungen sind teuer und rentieren sich nicht.**

Häuser werden über viele Jahrzehnte genutzt – daher muss man bei der Instandhaltung und Modernisierung langfristig denken. Einige Maßnahmen amortisieren sich schneller, andere erst nach 10 oder 20 Jahren. Eine fachgerecht durchgeführte energetische Sanierung sorgt auf jeden Fall dafür, dass die Bewohner von zukünftigen Energiepreissteigerungen unabhängiger sein werden. Energetisch modernisiert werden sollte insbesondere dann, wenn ohnehin Instandhaltungsmaßnahmen anstehen. Dieses „Kopplungsprinzip“ senkt die Extra-Kosten. Die staatlichen Förderprogramme unterstützen Einzelmaßnahmen und Komplettsanierungen finanziell.

### **Vorurteil 4: Für die Produktion der Dämmstoffe wird mehr Energie benötigt, als später eingespart wird.**

Ökobilanzstudien zeigen: Die Herstellung der Dämmstoffe verbraucht nicht mehr Energie, als später eingespart wird (siehe Hinweise am Ende des Kapitels). Selbst bei aus Rohöl produzierten Dämmstoffen wie Polystyrol amortisiert sich die Herstellenergie nach kurzer Zeit. Auch bei sehr hohen Dämmstoffstärken von zum Beispiel 30 Zentimetern liegt die Amortisationszeit bei etwa drei Heizperioden. Andere Dämmstoffe, etwa aus Reststoffen oder nachwachsenden Rohstoffen, weisen eine noch bessere Energiebilanz auf. Eine individuelle Planung hilft dem Eigentümer bei der Festlegung einer optimalen Dämmung.

Flachdächer sind – unter Berücksichtigung ihrer Konstruktionsart – gut zu dämmen. Dächer erreichen häufig die besten Dämmeigenschaften von allen Bauteilen, weil hier auch dickere Dämmschichten gut einzubauen sind.



Deckendämmung, Quelle: Stock photo © LianeM

Dämmschichten sollen grundsätzlich an den Grenzflächen der beheizten Bereiche angeordnet sein. Die Wände und Fußböden von beheizten Kellern müssen also ebenfalls gedämmt sein. Dient der Keller dagegen nur als unbeheizter Lagerraum, so ist die Dämmschicht an der Kellerdecke – zum beheizten Erdgeschoss – anzubringen. Eine nachträgliche Dämmung von Kellerdecken ist oft sehr einfach und kostengünstig durchzuführen. Sie ist jedoch nicht verpflichtend vorgeschrieben.

Ein Energieberater unterbreitet Vorschläge, wie eine Dach- oder Kellerdämmung am effektivsten realisiert werden kann.

## Innovative Dämmstoffe



Auf dem Gebiet der Dämmstoffe gibt es intensive Forschungsaktivitäten. Die Forschungsinitiative Zukunft Bau (siehe Hinweise am Ende des Kapitels) fördert eine Reihe von Entwicklungsvorhaben. Das Ziel vieler Forschungsvorhaben ist, Dämmmaterialien günstiger zu machen, etwa durch vorgefertigte Fassadenelemente, aber auch hocheffektive Materialien zu entwickeln.

So werden beispielsweise **Vakuum-Isolationspaneele** optimiert, die aus einem inneren, porösen Stützkern bestehen, der mit einer Hochbarrierefolie nahezu gasdicht abgeschlossen und dann evakuiert wurde. Durch die niedrige Wärmeleitfähigkeit können sehr geringe Dämmstärken eingesetzt werden – gerade auch in Bereichen, in denen gewöhnliche Dämmstoffe keinen Platz finden.

Eine weitere Innovation sind so genannte **Aerogele auf Basis von Siliziumdioxid**, die zu hochporösen Feststoffen getrocknet werden. Die Größe der eingeschlossenen Poren liegt im Bereich von millionstel Millimetern, wodurch die Bewegung von Luftmolekülen verhindert wird. Die Wärme wird nur noch über den Feststoffanteil des Materials geleitet, der nur zehn Prozent der Dämmstoffmasse ausmacht.

Die ebenfalls verwendete Bezeichnung Nanogel bezieht sich hier auf die Porengröße, nicht auf die Partikelgröße des Materials. Aerogele weisen eine hohe Lichtdurchlässigkeit auf, wodurch sie auch als transparente Wärmedämmung eingesetzt werden können. Diese Dämmstoffe sind heute allerdings noch deutlich teurer als konventionelle Dämmstoffe.

### Fenster

Auch wenn Glas und Rahmen noch in Ordnung scheinen: Einfach verglaste Fenster sollten ausgetauscht werden, da sie sechsmal mehr Wärme verlieren als moderne Fenster. Das verbessert auch den Komfort, denn Zugluft, Kältestrahlung und Kondenswasser an den Fenstern werden vermieden.

Moderne Fenster haben eine Zwei- oder sogar Drei-Scheiben-Verglasung. Die Zwischenräume sind mit Edelgasen (z. B. Krypton) gefüllt, um auch die Verluste durch Wärmeleitung zu verringern. Auf der Scheibenaußenfläche sind oft selektive Beschichtungen aus Silber oder Titan. Sie lassen das Sonnenlicht durch, die Wärmestrahlung wird jedoch im Haus gehalten. Die Rahmen verfügen über mehrere Dichtebenen gegen Zugluft und verringern die Wärmeleitungsverluste durch Hohlkammern oder Dämmstofffüllungen. Die Abstandhalter zwischen den Scheiben bestehen heute nicht mehr aus Metall, weil diese Wärmebrücke so ausgeprägt war, dass sich dort viel Kondenswasser gebildet hat, sondern sind als „warme Kante“ ausgeführt. Beim Fenstervergleich ist also stets der U-Wert des gesamten Fensters – einschließlich des Rahmens – zu beachten.

Der g-Wert gibt dagegen an, wie viel Sonnenstrahlung durch das Fenster ins Haus gelangt. Moderne, sparsame Häuser können zu einem hohen Anteil durch solare Warmegewinne der Fenster beheizt werden. Fenster mit niedrigen g-Werten hingegen kommen bei Überhitzungsproblemen – zum Beispiel in bewohnten Dachräumen – zum Einsatz.

Zu Details der Fensterauswahl siehe die Broschüre „Energieeffizient Bauen und Modernisieren“.

Fenster müssen mit den anderen Bauteilen ein Gesamtsystem bilden, da es sonst zu Schäden kommen kann. Wenn zum Beispiel neue Fenster in Altbauten besser dämmen als die Außenwände, kann es zu Schimmelbildung kommen, weil die Feuchtigkeit plötzlich an anderen Stellen des Raums kondensiert. Da neue Fenster viel dichter sind als alte, müssen die Bewohner auf ausreichende Lüftung achten, da sonst die Luftfeuchtigkeit und damit das Schimmelrisiko weiter steigen. Auch durch den richtigen Einbau der Fenster ins Gebäude werden künftige Schäden ausgeschlossen. Systematisch geplant sind moderne Fenster ein Gewinn für den Komfort und die Umwelt.



Auch kleine Maßnahmen wie die Abdichtung von Fenstern sparen Energie, Quelle: fotolia © RioPatuca Images

### Fenstertipps

Manchmal müssen es nicht gleich neue Fenster sein. Man kann auch durch richtiges Verhalten Heizenergie und damit Geld sparen:

- Kunststoffdichtungen in Fenstern und Türen werden im Laufe der Zeit porös und damit undicht. Undichte Stellen lassen sich einfach mit Schaumdichtungsband oder Gummidichtungen aus dem Baumarkt ausbessern.
- In Altbauten gibt es teilweise besondere Fenster, die nicht ohne Weiteres durch neue Fenster ersetzt werden können – insbesondere, wenn das Gebäude unter Denkmalschutz steht. Aber alte Fenster können von Fachbetrieben aufgearbeitet werden, so dass sie deutlich besser dicht halten.
- In der kalten Jahreszeit können Rollläden nach Einbruch der Dunkelheit Wärmeverluste verhindern.
- Regelmäßiges und richtiges Lüften ist wichtig, damit Feuchtigkeit aus den Räumen entweichen kann. Stoßlüften statt Fenster kippen, Heizung dabei runterdrehen und nie Räume ganz auskühlen lassen.

### Lüftung

Die Luft in unseren Räumen muss regelmäßig ausgetauscht werden. Feuchtigkeit und Kohlendioxid, die von den Bewohnern abgegeben werden, sowie Schadstoffe, die zum Beispiel aus Möbeln und Teppichen in die Luft gelangen, müssen nach außen transportiert werden. In der Vergangenheit waren die Gebäude viel weniger dicht als heute; Öfen und Kamine sorgten für einen zusätzlichen Sog. Dadurch wurden jedoch nicht nur die Schadstoffe hinausgelüftet, sondern auch sehr viel Raumwärme. Zugige Räume konnten oftmals kaum ausreichend beheizt werden – auch weil Zugluft selbst warme Räume unbehaglich werden lässt. Heute müssen Gebäude zu Recht möglichst luftdicht errichtet werden. Um dennoch jederzeit eine hygienisch einwandfreie Luftqualität zu gewährleisten, kommen immer öfter Lüftungsanlagen zum Einsatz. Rund ein Drittel der Heizkosten geht durch die Raumlüftung verloren.

In Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung wird deshalb der verbrauchten Abluft die Wärme entzogen und an die frische Zuluft abgegeben. Auf diese Weise vermeiden die Anlagen rund 90 Prozent der Lüftungswärmeverluste. Die vorgewärmte Zuluft wird aus Kanälen ohne

Zugerscheinungen in die Wohnräume eingeblasen. Sie strömt langsam quer durch die Wohnung zu Küche, Bad und WC, wo sie – zusammen mit Schadstoffen und Gerüchen – wiederum von Kanälen abgesaugt wird. Sie wird zu dem zentralen Lüftungsgerät transportiert. Dies kann über abgehängten Decken, in Nischen oder Nebenräumen geschehen. Dort gibt die Luft ihre Wärme in einem Wärmetauscher an die frische Zuluft ab, ohne sich mit ihr zu vermischen, und wird über einen Rohrstutzen ins Freie geblasen. Die Frischluft wird über Filter angesaugt, so dass Schmutz oder Blütenpollen nicht in den Innenraum gelangen.

Die Frischluft kann zusätzlich über einen Erdwärmetauscher angesaugt werden. Das sind Rohrleitungen, die in einer Tiefe von 1 bis 2 m im Erdreich verlaufen. In ihnen wird die Frischluft im Winter vorgewärmt und im Sommer gekühlt. Dadurch werden die Effizienz der Anlage und der Komfortgewinn zusätzlich gesteigert.

In Gebäuden mit Wärmerückgewinnungsanlage dürfen selbstverständlich immer noch die Fenster geöffnet werden – sie müssen aber nicht mehr geöffnet werden. Gebäude, die hohe Energieeffizienzstandards erfüllen sollen, können heute praktisch nicht mehr ohne eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung gebaut werden.

## Effiziente Heiztechnik

Das Heizsystem ist neben der Wärmedämmung der zweite Bereich, in dem bei einer energetischen Modernisierung hohe Einsparungen möglich sind. Rund 15 Prozent der Heizkessel sind älter als 24 Jahre, 2,3 Prozent sogar älter als 37 Jahre. Im Vergleich zu älteren Kesseln kann ein moderner Brennwertkessel bis zu 25 Prozent Energie und Heizkosten sparen, weil Brennwertgeräte auch die Wärmeenergie in den Abgasen nutzen. Darüber hinaus können auch Heizungssysteme auf Basis erneuerbarer Energien, etwa Wärmepumpen, Holzkessel für Scheitholz, Pellets oder Hackschnitzel und Sonnenkollektoren, oder kleine Blockheizkraftwerke („Mini-KWK“ z.B. in Form eines Brennstoffzellensystems) eingesetzt werden. Auch der Anschluss an eine Nah- oder Fernwärmenetz-Versorgung ist eine Option.

Hohe Einsparungen sind auch durch den Austausch der Heizungspumpe, Dämmung der Heizungsrohre sowie durch den hydraulischen Abgleich der Heizanlage möglich. Die Auswahl der geeigneten Heizung hängt von vielen Faktoren ab, beispielsweise den verfügbaren Energieträgern (Nähe zu Gas- oder Fernwärmenetzen, Verfügbarkeit von Erdwärme etc.), den Eigenschaften des Gebäudes – Art und Größe der Wärmeübergabe in den Raum, Ausrichtung

des Dachs, vorhandene Schornsteine usw. –, aber natürlich auch der Präferenz der Eigentümer. Eine Energieberatung hilft, die optimal an das Gebäude angepasste Heizung zu identifizieren. Die Broschüre „Energieeffizient Bauen und Modernisieren. Ratgeber für private Bauherren“ gibt einen umfassenden Überblick (siehe Hinweise am Ende des Kapitels).

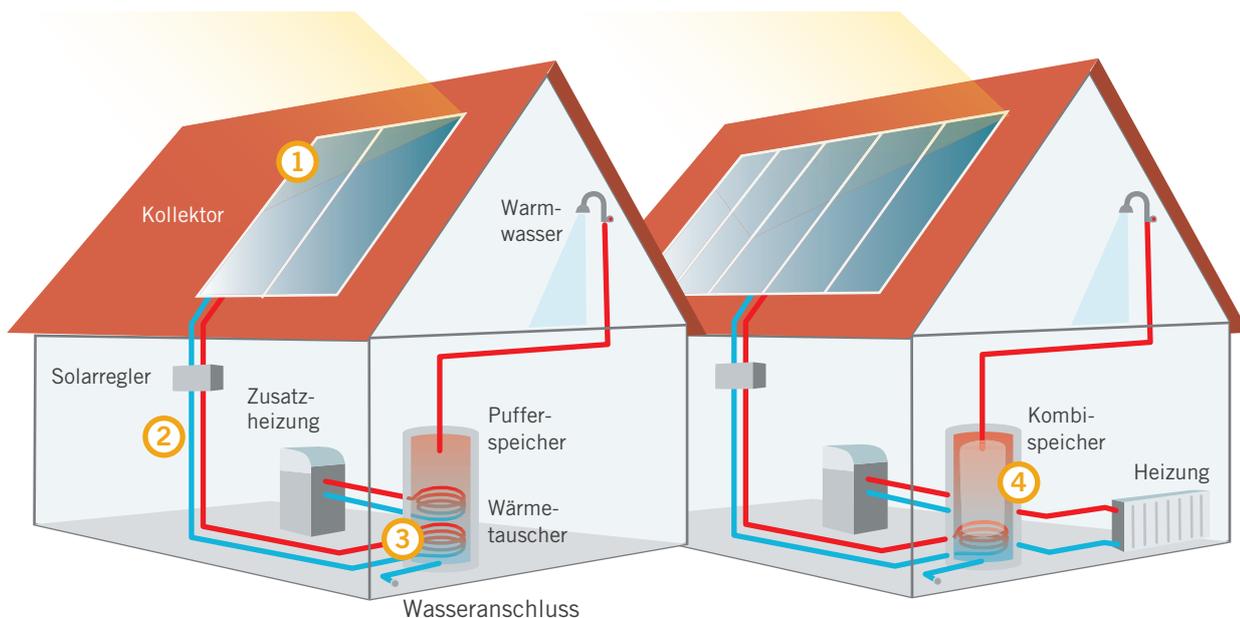
## Solarthermie

Der Einsatz einer thermischen Solaranlage bietet eine Möglichkeit, erneuerbare Energie zur Gebäudeheizung und zur Warmwassererzeugung einzusetzen und damit Gas oder Heizöl zu sparen. Die Anlage besteht aus einem Kollektor, einem Speicher, einer Solarpumpe und einer Regelung. Der Kollektor wird meist auf dem Dach installiert und sammelt so viel Sonnenlicht wie möglich ein. Die einfachste Form des Kollektors ist ein schwarzer Schlauch. Höhere Temperaturen liefern Kollektoren mit Glasabdeckung. In ihnen wird die Strahlung wie in einem Treibhaus gefangen. Sie enthalten Kupfer- oder Aluminiumrohre, die mit einer Wärmeträgerflüssigkeit gefüllt sind. Vakuumkollektoren erreichen hohe Temperaturen und Energieerträge. Wie eine Thermoskanne halten sie die Wärme in ihrem Inneren und verhindern, dass die eingefangene Sonnenwärme an

### Wärme von der Sonne ...

... für heißes Wasser ...

... und zum Heizen



- 1 Sonnenstrahlen erwärmen den Kollektor und die darin enthaltene Wärmeträgerflüssigkeit.
- 2 Die bis zu 90 °C heiße Flüssigkeit zirkuliert zwischen Kollektor und Pufferspeicher.
- 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.



Solarthermie, Quelle: Fotolia © Michael Böhm

die Umgebung verloren geht. Da die Wärme im Kollektor oft nicht zu dem Zeitpunkt entsteht, an dem sie gebraucht wird, wird ein Wärmespeicher eingesetzt.

Kleine Anlagen zur Brauchwassererwärmung sind technisch einfach und decken typischerweise rund 60 Prozent des Warmwasserbedarfs bei kleinen Gebäuden und 30 Prozent bei großen Gebäuden ab. Größere Anlagen zur kombinierten Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung erfordern eine größere Kollektorfläche und einen größeren Speicher. Der Anteil der durch die Solaranlage bereitgestellten Wärme ist abhängig vom Heizwärmebedarf des Gebäudes und kann zwischen 10 und 60 Prozent liegen.

Die Ausrichtung des Kollektors nach Süden und seine Neigung spielen eine weit geringere Rolle als gemeinhin angenommen. Modellrechnungen zeigen, dass Abweichungen von  $\pm 60$  Grad von der genauen Südausrichtung eine Einbuße der Sonnenernte von nur zehn Prozent zur Folge haben.

Bei Neubauten ist es mit saisonalen Speichern sogar möglich, die hohen Wärmeüberschüsse aus dem Sommerhalbjahr bis in die Heizperiode zu speichern. Auf diese Weise können Gebäude überwiegend mit Sonnenenergie beheizt und mit Warmwasser versorgt werden. Die erforderlichen Speicher sind allerdings groß. Häufig werden die „Sonnenhäuser“ um diese Speicher herum gebaut.

## Biomasse

Biomasse – im Gebäudebereich vor allem Holz – als Energieträger ist im Prinzip klimaneutral: Beim Verbrennen entsteht nur so viel  $\text{CO}_2$ , wie beim Wachsen der Atmosphäre entzogen wurde. Biomasse wird direkt zur Wärme- oder Stromerzeugung verbrannt wie zum Beispiel Scheitholz oder Holzpellets. Sie kann auch in flüssige Energieträger wie zum Beispiel Bioethanol oder Rapsölmethylester



Biomasse, Quelle: Fotolia © tchara

(Biodiesel) oder gasförmige Energieträger umgewandelt werden. Zu bedenken gilt, dass nachhaltige Biomasse – auch für energetische Zwecke – nicht unbeschränkt zur Verfügung steht.

Scheitholzkessel verbrennen Holzscheite. Sie gibt es auch als so genannte Holzvergaserkessel. Sie haben zwei Brennräume: Im oberen wird das Holz getrocknet und dann in Holzgas umgewandelt. Mit Hilfe eines Gebläses wird das Holzgas in den unteren Brennraum geleitet, wo es bei über 1.000 Grad Celsius verbrennt. Holzvergaserkessel werden häufig in ländlichen Regionen eingesetzt, wo das Holz ggf. aus dem eigenen Wald kommt. Sie sind auch für die Beheizung größerer Gebäude geeignet.

Hackschnitzelheizungen werden meist in großen Gebäuden oder Heizkraftwerken eingesetzt, es gibt jedoch auch kleinere Kessel für Einfamilienhäuser. Hackschnitzel sind ein sehr preisgünstiger Brennstoff. Auch stammen sie meist aus der Region, verursachen also nur geringe Transportemissionen.

Verbreitet sind Heizungen auf Basis von Holzpellets. Holzpellets sind kleine Presslinge aus naturbelassenem Holz, meist aus Säge- oder Hobelspänen. Sie können in Säcken



Holzheizung, Quelle: Fotolia © Jürgen Fälchle

gekauft oder genau wie Heizöl im Tankwagen angeliefert werden. Pellets lassen sich in Kaminöfen genauso wie in großen, vollautomatischen und emissionsarmen Zentralheizungen verfeuern. Mit Förderschnecken oder Saugvorrichtungen werden die Pellets automatisch aus einem Speicherbehälter geholt und in die Brennkammer eingebracht. Der notwendige Lagerraum für den Brennstoff ist bei Pellets kaum größer als bei einer Ölzentralheizung.

Bei der Verbrennung von Holz müssen auch die Schadstoffemissionen beachtet werden. Sowohl die Kohlenmonoxid-Emissionen als auch der Feinstaub werden durch die Verbrennung von Pellets im Vergleich zur Scheitholzfeuerung beträchtlich vermindert. Im Vergleich zu Heizöl und Erdgas-Heizungen liegen die Emissionen aber dennoch höher.

Im Vergleich zu der festen Biomasse spielt Bioheizöl eine geringere Rolle. Bioheizöl besteht aus herkömmlichem Heizöl, dem fünf bis zehn Prozent Fettsäuremethylester (FAME) beigemischt sind. Je nach Bioanteil wird es als B5 oder B10 bezeichnet. FAME wird überwiegend aus Raps und Sonnenblumen gewonnen. Es können aber auch tierische Fette und Altspeiseöle eingesetzt werden.

Biogas entsteht bei der Vergärung organischer Materie. In Deutschland wird Biogas vor allem aus tierischen Exkrementen und nachwachsenden Rohstoffen (insbesondere Mais, aber auch Grassilage und Getreide) sowie Bioabfällen erzeugt und insbesondere in Blockheizkraftwerken (BHKW) genutzt. Es kann aber auch gereinigt, aufbereitet und dann in das Erdgasnetz eingespeist werden.

### Erdwärme/Umweltwärme

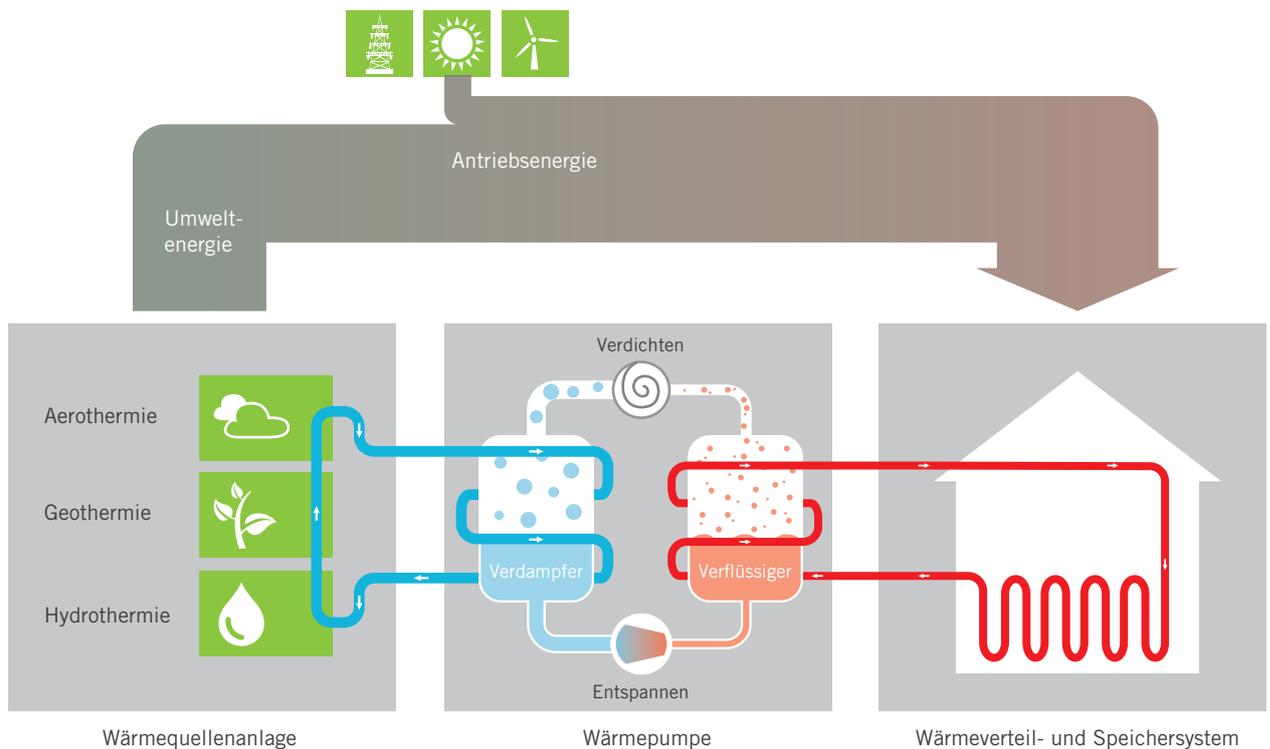
Bei der oberflächennahen Geothermie wird die Wärme der obersten Erdschichten oder des Grundwassers genutzt. Diese Wärme kann von Wärmepumpen genutzt werden. Eine Wärmepumpe funktioniert ähnlich wie ein Kühlschrank. Beim Kühlschrank wird die Wärme dem Kühlraum entzogen und im Wärmetauscher auf der Rückseite des Geräts wieder abgegeben. Bei der Wärmepumpe wird der Prozess umgedreht: Eine Flüssigkeit läuft durch Rohre im Erdreich und entzieht diesem Energie. In einem Wärmetauscher, dem Verdampfer, gibt die Flüssigkeit diese Wärme an ein Wärmeleitmittel ab, das schon bei relativ niedrigen Temperaturen verdampft. In einem elektrisch angetriebenen Verdichter wird es dann komprimiert und dadurch weiter erwärmt. Der aufgenommene Strom wird dabei überwiegend auch in Wärme umgesetzt. Die Summe aus Antriebswärme und Erdwärme wird in einem zweiten Wärmetauscher, dem Verflüssiger, an das Heizungssystem abgegeben. Das Kältemittel wird mit einem Ventil wieder entspannt und kühlt sich weiter ab. Dadurch ist das Kältemittel wieder in der Lage, neue Wärme aus dem Erdreich im Verdampfer aufzunehmen. Als Wärmequelle eignen sich neben dem Erdreich auch Grundwasser und Außenluft.

Zur Wärmeversorgung von Gebäuden werden häufig bis zu 150 m tiefe Löcher gebohrt, in die mit Flüssigkeit (Sole) durchflossene Rohre eingebaut werden. Da diese Bohrungen teuer sind und eine wasserrechtliche Genehmigung erfordern, können die Erdkollektoren auch horizontal in ein bis zwei Meter Bodentiefe in Form von Schlaufen verlegt



Biogasanlage, Quelle: Fotolia © Thomas Otto

## So funktioniert eine Wärmepumpe



Quelle: Bundesverband Wärmepumpe e.V.

werden. Hier sinken die Temperaturen auch im Winter kaum unter fünf Grad Celsius. Dass sie nicht so hohe Temperaturen wie Tiefbohrungen erreichen, wird durch deutlich längere Leitungen kompensiert. Der Flächenbedarf eines so verlegten Erdkollektors beträgt das Ein- bis Anderthalbfache der zu beheizenden Wohnfläche.

Eine andere mögliche Wärmequelle für Wärmepumpen ist die Umgebungsluft. Der Vorteil liegt darin, dass Luft überall und jederzeit verfügbar ist und kostengünstig erschlossen werden kann. Nachteilig ist, dass die Umgebungsluft immer dann am kältesten ist, wenn der Wärmebedarf am höchsten ist – nämlich im Winter. Das mindert den Ertrag der Wärmepumpe. Bei Erdsonden hingegen kann der Temperaturhub der Wärmepumpe über das Jahr relativ konstant gehalten werden, der Energieeinsatz bleibt niedriger. Die so genutzte Energie des Erdreiches stammt – auch bei den Erdsonden – weitgehend aus der Umgebung, deren mittlere Temperatur durch die jährliche Sonneneinstrahlung bestimmt wird.

Daneben gibt es Wärmepumpen, bei denen keine mechanische, sondern thermische Antriebsenergie eingesetzt wird. Diese Sorptionswärmepumpen können mit Gas, Öl, aber auch mit Ab- und Solarwärme betrieben werden. Sie haben den Vorteil eines hohen Wirkungsgrades in Bezug auf die eingesetzte Primärenergie.

Sorptionswärmepumpen kleiner Leistung sind allerdings erst in der Entwicklungsphase.

Für einen effizienten Einsatz des Pumpenantriebs sind niedrige Vorlauftemperaturen im Heizungssystem wesentlich. Kann die Vorlauftemperatur um ein Grad abgesenkt werden, so benötigt die Wärmepumpe bereits ein Prozent weniger Antriebsenergie. Darum sollte man Wärmepumpen mit Fußboden- oder Wandheizungen kombinieren.

Eine elektrische Wärmepumpe entzieht der Wärmequelle im günstigen Fall zwei- bis dreimal mehr Wärme, als sie an Strom benötigt. Das heißt, mit dem Einsatz von einer Kilowattstunde Strom können drei bis vier Kilowattstunden Wärme bereitgestellt werden. Das Verhältnis von abgegebener und aufgenommener Energie wird als Leistungszahl (coefficient of performance – COP) bezeichnet. Der Mittelwert aller momentanen COP-Werte eines Jahres ist die Jahresarbeitszahl (JAZ). Feldtests zeigen, dass Luft-Luft-Wärmepumpen Jahresarbeitszahlen im Mittel um die 3,0, Grundwasser-Wärmepumpen rund 3,5 und Erdreich-Wärmepumpen um 3,7 erreichen. Bei nicht optimal installierten Systemen kann die Arbeitszahl auch deutlich unter 3 liegen. Entscheidend sind unter anderem die Temperaturen des Heizsystems und die Qualität der Installation.

### Kraft-Wärme-Kopplung

Blockheizkraftwerke, kurz BHKW, sind eine weitere energieeffiziente Möglichkeit der Wärmenutzung (siehe auch Kapitel 5). BHKW sind kleine Kraftwerke, die einzelne Häuser und auch ganze Wohnquartiere sowohl mit Wärme („heiz“) als auch mit Strom („kraft“) versorgen. Die Funktionsweise ist einfach: Ein Brennstoff wird in einem Motor – ähnlich einem Automotor – verbrannt, der dann einen Generator zur Stromerzeugung antreibt. Dieser Strom wird entweder direkt genutzt oder gegen eine Vergütung ins öffentliche Stromnetz eingespeist. Die entstehende Wärme wird zunächst in einen Pufferspeicher geleitet. Dieser versorgt dann die Heizkörper im Haus mit Heizwärme und kann auch für die Erwärmung des Brauchwassers genutzt werden.

Technisch zum Einsatz kommen dabei meist Verbrennungsmotoren. Auch Brennstoffzellen werden für diesen Zweck entwickelt: Sie erreichen die höchsten elektrischen Wirkungsgrade aller Anlagen. Allerdings ist diese innovative Technologie zurzeit noch in der Markteinführungsphase.

Ein BHKW stellt Wärme und als Nebenprodukt Strom bereit – und das mit einem sehr hohen Wirkungsgrad. BHKW können 80 bis über 90 Prozent der Primärenergie wirklich nutzen. Das BHKW im eigenen Keller kommt jedoch nicht ganz ohne Nebenwirkungen aus. Im Vergleich zu anderen Heizsystemen schlagen relative hohe Anschaffungs- und Installationskosten zu Buche. Allerdings werden die BHKW auch nach dem Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz gefördert. Für kleine BHKW gibt es zusätzlich das Mini-KWK-Impulsprogramm.

### Heizungsoptimierung und hydraulischer Abgleich

Eine gute Heizung muss auch optimal betrieben werden. Neben einer Dämmung der Rohrleitungen ist ein wichtiger Baustein dabei der hydraulische Abgleich. Nach dem Prinzip des geringsten Widerstandes will das Heizungswasser auf schnellstem Weg zurück zum Heizkessel. Dabei fließt durch lange, dünne Rohre weniger Wasser als durch kurze, dicke. Das führt oft dazu, dass vom Heizkessel entfernte Räume, etwa im Dachgeschoss, nicht ausreichend mit Heizungswasser versorgt werden. Hingegen werden Heizkörper, die nah am Heizkessel liegen, übersorgt. In der Folge können die Thermostatventile an den Heizkörpern ihre Funktion nicht erfüllen – nämlich den Massenstrom des Heizungswassers so zu regulieren, dass stets die gewünschte Temperatur herrscht, unabhängig von Sonneneinstrahlung oder anderen Wärmequellen. Zudem sind die Thermostatventile bei fehlendem hydraulischen Abgleich oft kaum regelbar: Statt einer differenzierten Einstellung erlauben sie nur „An“ oder „Aus“. Auch Geräusche wie Rauschen oder Pfeifen an den Heizkörpern sind klare Anzeichen für nicht abgegliche Systeme.



Hydraulischer Abgleich, Quelle: Christian Klemm

## Brennstoffzellen im Heizungskeller



Für viele Hausbesitzer ist es angesichts steigender Preise attraktiv, ihren Strom selbst herzustellen. Die dabei anfallende Wärme verwenden sie zum Heizen und zur Warmwasserbereitung. Für diese dezentrale Kopplung von Kraft und Wärme ist die Brennstoffzelle eine technische Innovation, die derzeit auf dem Markt eingeführt wird.

Brennstoffzellen sind Energiewandler, die den zugeführten Brennstoff nicht verbrennen, sondern elektrochemisch in Strom und Wärme umwandeln (siehe Seite 77). Im Vergleich zu Verbrennungsmotoren weisen sie einen höheren elektrischen Wirkungsgrad auf. Zudem ist ihr Abgas nahezu schadstofffrei.

Es sind mittlerweile mehrere Anbieter auf dem Markt, die unterschiedliche Typen von Brennstoffzellen-Heizungen anbieten. Für die Auswahl aus der Sicht des Kunden ist entscheidend, ob vor allem Wärme gebraucht wird, der Strom also das Nebenprodukt ist, oder umgekehrt. Einige der neuen Produkte haben einen ausgesprochen hohen elektrischen Wirkungsgrad; bis zu 60 Prozent des eingesetzten Brennstoffs wandeln sie in Strom um – das erreichen sonst nur die modernsten Großkraftwerke. Der Wasserstoff für den Betrieb dieser Brennstoffzellen wird aus Erdgas direkt in der Zelle gewonnen. Noch ist die Brennstoffzelle allerdings deutlich teurer als vergleichbare Verbrennungsmotoren.

## Gelungene Quartierssanierung



Ein gutes Beispiel für ein gelungenes Quartiersprojekt ist die energetische Sanierung der Gartenstadt Drewitz in Potsdam ([www.gartenstadt-drewitz.blogspot.de](http://www.gartenstadt-drewitz.blogspot.de)). Gemeinsam mit Bewohnern, Wohnungsunternehmen, den Stadtwerken und Verkehrsbetrieben, sozialen Trägern und vielen weiteren Akteuren gestaltet die Landeshauptstadt Potsdam das Plattenbauviertel Drewitz zur Gartenstadt um. Damit eng verbunden ist die energetische Sanierung zahlreicher Wohnungen und Gebäude. Grundlage bildet seit 2009 das vom kommunalen Wohnungsunternehmen erarbeitete Stadtentwicklungskonzept. Ziel war es von Anfang an, eine Vielzahl von Akteuren und besonders die Bewohner in die Umsetzung des Konzeptes und die Auswahl von Projekten einzubinden. Bis August 2012 fand ein vierstufiges Werkstattverfahren statt, um mit den Akteuren vor Ort gemeinsam die praktischen Schritte zur Umsetzung des Gartenstadtkonzepts zu diskutieren und zu vereinbaren. Ein Masterplan fasste die Ergebnisse zusammen. So soll unter anderem die Effizienz der Fernwärme erhöht und der Wohnungsbestand nach KfW-Effizienzhaus-Standard 70 saniert werden. Da in dem Stadtteil viele Haushalte mit geringem Einkommen leben, hat die sozialverträgliche Umsetzung der energetischen Sanierung eine besondere Bedeutung.



Gartenstadt Drewitz, Quelle: Lumalandscape / SK:KK

Bis Ende 2014 konnte bereits eine Vielzahl von Maßnahmen aus dem Gartenstadtkonzept umgesetzt werden, wie zum Beispiel die Umwandlung der ehemaligen Hauptverkehrsstraße in einen Park, die energetische und sozialverträgliche Sanierung von etwa 600 Wohnungen und die energetische Sanierung der öffentlichen Gebäude. Finanziert werden die Projekte durch Eigenmittel der Stadt und der Projektbeteiligten sowie über verschiedene Förderprogramme. Im Vergleich zum Jahr 2009 werden durch diese Maßnahmen und weitere Einzelprojekte jährlich etwa 740 Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart. Bis zum Jahr 2025 ist eine Einsparung bis zu 3.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr möglich.

Beim hydraulischen Abgleich werden alle Komponenten der Heizungsverteilung – von der Heizungspumpe bis zum Heizkörperthermostat – richtig dimensioniert und auf den Energiebedarf der Räume abgestimmt. An den Thermostatventilen wird durch Voreinstellung die Durchflussmenge des Heizwassers am Heizkörper exakt einreguliert und an den erforderlichen Bedarf des Raumes angepasst. Das Ergebnis: Alle Heizkörper werden gleich schnell warm. Die Wärme wird gleichmäßig und effizient im Haus verteilt, die Thermostate können die Raumtemperatur regeln. Der Energieverbrauch zum Heizen und für den Pumpenstrom sinkt dadurch um bis zu 15 Prozent.

Voraussetzung für das optimale Einstellen der Heizanlage sind voreinstellbare Thermostatventile an den Heizkörpern. Wo diese nicht vorhanden sind, können sie in der Regel mit vertretbarem Aufwand nachgerüstet werden. Wichtig ist auch, dass es sich um ein Zwei-Rohr-System handelt, dass also zwei Rohre zum Heizkörper führen. Ein Ein-Rohr-System kann nur eingeschränkt abgeglichen werden.

### Beleuchtung und Kühlung

Nicht nur die Gebäudehülle und ihre Beheizung bergen ein großes Einsparpotenzial. Auch die Beleuchtung und, vor allem in Nichtwohngebäuden, die Kühlung können optimiert werden. Diese Möglichkeiten der Effizienzsteigerung werden auf Seite 67 dargestellt.

### Vom Gebäude zum Quartier

Zur Verwirklichung der ambitionierten Klimaschutzziele wird es künftig noch stärker darauf ankommen, nicht nur Einzelgebäude, sondern ganze Stadtquartiere energieeffizienter zu machen. In dezentralen Energiekonzepten, zum Beispiel in der Quartiersversorgung mit Nah- und Fernwärme – gespeist mit erneuerbaren Energien oder Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) –, liegt ein großes Potenzial. Auch die energetische Sanierung von größeren Stadtteilen – von der Wärmedämmung bis zur effizienten Straßenbeleuchtung – birgt deutlich höhere Einsparmöglichkeiten als die Sanierung von Einzelgebäuden. In der Gesamtbilanz eines Quartiers können schwer zu sanierende Altbauten (z.B. mit erhaltenswerten Fassaden) durch hocheffiziente Neubauten oder Sanierungen anderer Gebäude kompensiert werden.

In Deutschland sind 75 Prozent der Wohnungen in privatem Besitz. Quartierskonzepte eröffnen die Möglichkeit, eine hohe Anzahl von Eigentümern mit einer angepassten Strategie anzusprechen. Die Bundesregierung hat deshalb das Förderprogramm „Energetische Stadtsanierung“ ins Leben gerufen, mit dem die Erstellung integrierter Quartierskonzepte und die Betreuung durch einen Sanierungsmanager finanziell unterstützt werden.

## Politische Instrumente für mehr Gebäudeeffizienz

Die energetische Gebäudesanierung und das energieeffiziente Bauen werden von der Bundesregierung durch ein ganzes Maßnahmenbündel unterstützt. Im „Ersten Fortschrittsbericht zur Energiewende“ und im „Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz“ (NAPE) werden die verschiedenen Regulierungs-, Anreiz- und Förderinstrumente beschrieben:

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) stellt Mindestanforderungen an die energetische Qualität der Gebäudehülle und der Anlagentechnik bei Neubauten und bei größeren Sanierungen von bestehenden Gebäuden. Am 1. Mai 2014 trat die novellierte Energieeinsparverordnung in Kraft. Kernelement der Novellierung ist die Verschärfung der Effizienzstandards für Neubauten um durchschnittlich 25 Prozent ab dem 1. Januar 2016. Neue Energieausweise für Wohngebäude enthalten seit Mai 2014 auch die Angabe von Energieeffizienzklassen und müssen spätestens bei der Besichtigung eines Kauf- oder Mietobjekts vorgelegt werden.

Das Marktanreizprogramm (MAP) gewährt Investitionszuschüsse – vorrangig im Bereich von Bestandsgebäuden – für Solarkollektoren, Biomassekessel und effiziente Wärmepumpen. Diese Anlagen werden überwiegend in Ein- und Zweifamilienhäusern, aber auch in Mehrfamilienhäusern, öffentlichen und gewerblichen Gebäuden sowie in Vereinen eingesetzt. Im Neubaubereich sind nur besonders innovative Anwendungen durch Investitionszuschüsse förderfähig. Ein weiteres Förderprogramm speziell für Brennstoffzellen ist in Vorbereitung.

Die KfW-Förderprogramme „Energieeffizient Bauen“ und „Energieeffizient Sanieren“ unterstützen umfassende Bestandssanierungen und Neubauten zum KfW-Effizienzhaus sowie energieeffiziente Einzelmaßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und -einsparung. Gefördert werden Maßnahmen nur dann, wenn die gesetzlich geltenden



Effizienz wird auch finanziell gefördert,  
Quelle: Fotolia © Eisenhans

Mindeststandards übertroffen werden. Je deutlicher das Projekt energetisch die Anforderungen der Energieeinsparverordnung unterschreitet, desto stärker wird es gefördert. Insgesamt gibt es acht KfW-Effizienzhausstandards (Effizienzhaus 115, 100, 85, 70, 55, 40, 40 Plus und Denkmal), von denen die fünf weniger anspruchsvollen nur für den Bestand gelten (Effizienzhaus Denkmal, 115, 100, 85 und 70) und die Effizienzhäuser 40 und 40 Plus nur für den Neubau. Ein Effizienzhaus 40 Plus ist dadurch gekennzeichnet, dass der zulässige Energiebedarf gegenüber dem Referenzgebäude auf 40 Prozent abgesenkt ist und es durch Nutzung erneuerbarer Energiequellen in der Jahresbilanz mehr Energie erzeugt, als es verbraucht. Seit 2016 fördert die KfW im Heizungs- und im Lüftungspaket den Einbau hocheffizienter Geräte in Kombination mit weiteren Effizienzmaßnahmen.

Eine gute Information und Energieberatung sind Voraussetzung für kluge Investitionsentscheidungen. Insbesondere private Haushalte sollen unabhängige, verlässliche und qualitätsgesicherte Informationen und Vergleichsmöglichkeiten erhalten, um den eigenen Energieverbrauch besser verstehen, einschätzen und bewerten zu können. Nur mit diesem Wissen lassen sich letztendlich die geeigneten Maßnahmen ergreifen, um den Energieverbrauch und damit die Kosten für Heizung und Warmwasserbereitung zu senken. Gefördert werden die Erstberatung durch die Verbraucherzentrale, die vertiefende Vor-Ort-Beratung – unterstützt vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) – sowie die Begleitung der Sanierungsmaßnahmen durch das „Programm Baubegleitung“ bei der KfW.

## Weiterführende Links



Eine ausführliche Informationsquelle für private Bauherren ist die Broschüre „Energieeffizient Bauen und Modernisieren. Ratgeber für private Bauherren“.

► [www.bmub.bund.de](http://www.bmub.bund.de)

Das Konzept des Effizienzhauses Plus wird in der Broschüre „Wege zum Effizienzhaus Plus“ beschrieben.

► [www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/effizienzhaus\\_plus\\_broschuere\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/effizienzhaus_plus_broschuere_bf.pdf)

Informationen des Bundesumweltministeriums zum Thema Bauen

► [www.bmub.bund.de/themen/bauen](http://www.bmub.bund.de/themen/bauen)

Die KfW Bankengruppe fördert die Sanierung von Gebäuden, den energieeffizienten Neubau und quartiersweite Sanierungsansätze.

► [www.kfw.de](http://www.kfw.de)

Alle Informationen zu bundesweiten und regionalen Förderprogrammen finden sich in der Broschüre: „Fördergeld für Klimaschutz, Energieeffizienz und erneuerbare Energien“.

► [www.co2online.de/service/publikationen](http://www.co2online.de/service/publikationen)

Im Marktanreizprogramm werden Heizungen auf Basis erneuerbarer Energien gefördert.

► [www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Foerderung/Beratung\\_und\\_Foerderung/Marktanreizprogramm/marktanreizprogramm.html](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Foerderung/Beratung_und_Foerderung/Marktanreizprogramm/marktanreizprogramm.html)

Die Vor-Ort-Beratung wird vom BAFA gefördert.

► [www.bafa.de/bafa/de/energie/energiesparberatung](http://www.bafa.de/bafa/de/energie/energiesparberatung)

Informationen der Beratungsgesellschaft co2online zu energetischen Sanierungen, energieeffizienten Neubauten und Heizungen

► [www.co2online.de/modernisieren-und-bauen](http://www.co2online.de/modernisieren-und-bauen)

► [www.meine-heizung.de](http://www.meine-heizung.de)

Ein Praxistest hat sechs Hausbesitzer beim Austausch des Heizkessels begleitet. Aus ihren Erfahrungen und den Tipps ist ein praktischer Wegweiser entstanden.

► [www.co2online.de/kesseltausch](http://www.co2online.de/kesseltausch)

Die Verbraucherzentrale gibt Tipps zum richtigen Heizen und Lüften.

► [www.verbraucherzentrale-energieberatung.de/downloads/VZE\\_Broschuere\\_HeizenLueften.pdf](http://www.verbraucherzentrale-energieberatung.de/downloads/VZE_Broschuere_HeizenLueften.pdf)

Informationen zur energetischen Stadtsanierung

► [www.energetische-stadtsanierung.info](http://www.energetische-stadtsanierung.info)

Forschung im Programm „Zukunft Bau“

► [www.forschungsinitiative.de](http://www.forschungsinitiative.de)

Studie zu Einsatzmöglichkeiten, Kosten und Ökobilanzen von Wärmedämmstoffen

► [www.fiw-muenchen.de/media/pdf/metastudie\\_waermedaemmstoffe.pdf](http://www.fiw-muenchen.de/media/pdf/metastudie_waermedaemmstoffe.pdf)

ECO



18°C

24°C

3

## 3 ENERGIEEFFIZIENZ IN PRIVATEN HAUSHALTEN

Energiebetriebene Geräte gehören zu jedem Haushalt – zum Kühlen, Kochen und Backen, zum Duschen oder Baden, zum Spülen des Geschirrs und zum Waschen der Kleidung, zur Kommunikation und Unterhaltung, zum Heizen und Klimatisieren der Räume – oder um den Schreibtisch oder das Kinderzimmer zu beleuchten. Für die meisten von uns ist es selbstverständlich, dass wir Energie immer und überall ausreichend zur Verfügung haben. Und wir erwarten, dass Energie für den Durchschnittshaushalt erschwinglich bleibt.

Die Kosten für Heizenergie und Strom lassen sich durch einen Wechsel des Anbieters zwar in bestimmten Grenzen optimieren. Die Entwicklung der Endkundenpreise zeigt aber – abgesehen von dem Verfall des Heizölpreises und von kurzzeitigen Schwankungen – insgesamt nach oben. Der Einzelne kann seine Energiekosten dauerhaft verringern, indem er effizient mit Energie im Haushalt umgeht – durch sparsame Geräte und deren intelligente, planvolle Nutzung.

### Stromverbrauch im Haushalt

Die energiepolitischen Pläne der Bundesregierung enthalten auch eine Zielmarke für den Stromverbrauch: Bis 2020 soll er zehn Prozent gegenüber dem Basisjahr 2008 sinken. Private Haushalte sind für ein gutes Viertel des Stromverbrauchs verantwortlich. Bei den etwa 40 Millionen Haushalten in Deutschland beträgt der durchschnittliche Stromverbrauch pro Haushalt rund 3.200 Kilowattstunden pro Jahr (kWh/a).

Insgesamt ist der Stromverbrauch in privaten Haushalten in Deutschland zwischen 1990 und 2015 um rund 13 Prozent gestiegen. Nach der Jahrtausendwende führte vor allem die dynamische Entwicklung des Internets und die damit verbundene sprunghafte Zunahme von Informations- und Kommunikationstechnik zu einem wachsenden Verbrauch. In den letzten Jahren seit 2005 war er aber leicht rückläufig. Dies ist zu einem großen Teil auf die europaweite Einführung der Energieverbrauchskennzeichnung für Haushaltsgeräte zurückzuführen, die bei der Mehrzahl der betroffenen Gerätekategorien zu einer Verbesserung der Energieeffizienz führte. Im Jahr 2014 sank der Stromverbrauch der privaten Haushalte vor allem witterungsbedingt noch einmal deutlich um über sechs Prozent.

Dahinter stehen verschiedene Trends: messbare Effizienzfortschritte bei den Geräten, ein sinkender Stromverbrauch

pro Quadratmeter Wohnfläche, allerdings auch eine steigende Anzahl kleinerer Haushalte mit der Folge eines hohen Stromverbrauchs. Die Bevölkerungs- und Haushaltsstruktur in Deutschland hat sich in den vergangenen 15 Jahren deutlich geändert. Während die Zahl der Haushalte von 35 auf 40 Millionen gestiegen ist, schrumpfte gleichzeitig deren Größe. Im Jahr 1991 wohnten durchschnittlich noch 2,27 Menschen in einer Haushaltsgemeinschaft – 2015 waren es nur noch 2,0. Das hat auch damit zu tun, dass die Zahl der allein lebenden Menschen in die Höhe geschossen ist: von 12 Millionen Einpersonenhaushalten im Jahr 1991 auf heute rund 16 Millionen.

Die Gründe für die Zunahme an kleineren Haushalten sieht das Statistische Bundesamt unter anderem in der gestiegenen Lebenserwartung. Dadurch nahm der Anteil an älteren Menschen zu, die vorwiegend in Ein- und Zweipersonenhaushalten leben. In bereits einem Viertel aller Haushalte in Deutschland leben ausschließlich Menschen ab 65 Jahren.

Mit der Zahl der Personen steigt zwar auch der Verbrauch pro Haushalt, allerdings nicht proportional. Der Grund: Haushaltsgeräte wie Kühlschrank oder Waschmaschine werden gemeinsam genutzt. Deswegen ist der Pro-Kopf-Stromverbrauch in größeren Haushalten meist geringer als in kleineren Haushalten. Zudem ist der Stromverbrauch in einem Ein- oder Zweifamilienhaus tendenziell höher als in einer Wohnung im Mehrfamilienhaus. Außenbeleuchtung, Garten und Garage brauchen zusätzlichen Strom.

Ein weiterer Faktor ist die Warmwasserbereitung. Wird das Warmwasser für Bad und Küche mit Strom erhitzt, also per Durchlauferhitzer oder Boiler, erhöht sich der Stromverbrauch in einem Einpersonenhaushalt um knapp 30 Prozent oder 400 kWh jährlich.

### Stromspiegel liefert nützliche Vergleichswerte

Ein so genannter Stromspiegel für Deutschland erlaubt es, sich mit dem Verbrauch seines eigenen Haushalts in Relation zum Rest der Bevölkerung einzuordnen. Die Spannweite ist groß: Während ein sehr sparsamer Vierpersonenhaushalt in einem Mehrfamilienhaus ohne strombetriebene Warmwassererzeugung auf einen Pro-Kopf-Verbrauch von weniger als 500 kWh pro Jahr kommt, braucht ein verschwenderischer Einpersonenhaushalt in einem Einfamilienhaus und mit Warmwasser aus Stromboiler oder Durchlauferhitzer 3.700 kWh pro Jahr.



## Stromspiegel für Deutschland 2016: Vergleichswerte für den Stromverbrauch

Gebäudetyp	Warmwasser	Personen im Haushalt	Verbrauch in Kilowattstunden (kWh) pro Jahr						
			Gering				Sehr hoch		
			A	B	C	D	E	F	G
Ein- oder Zweifamilienhaus	ohne Strom	1 Person	bis 1.500	bis 2.100	bis 2.700	bis 3.200	bis 3.500	bis 4.200	über 4.200
		2 Personen	bis 2.100	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.300	bis 3.800	bis 4.500	über 4.500
		3 Personen	bis 2.600	bis 3.200	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.500	über 5.500
		4 Personen	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.000	bis 6.000	über 6.000
		5+ Personen	bis 3.500	bis 4.300	bis 5.000	bis 5.500	bis 6.500	bis 8.000	über 8.000
	mit Strom	1 Person	bis 1.800	bis 2.400	bis 3.000	bis 3.600	bis 4.300	bis 6.000	über 6.000
		2 Personen	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.700	bis 6.500	über 6.500
		3 Personen	bis 3.200	bis 4.000	bis 4.400	bis 5.000	bis 6.000	bis 7.500	über 7.500
		4 Personen	bis 3.500	bis 4.400	bis 5.000	bis 5.800	bis 6.600	bis 8.200	über 8.200
		5+ Personen	bis 4.500	bis 5.400	bis 6.300	bis 7.300	bis 8.900	bis 11.300	über 11.300
Wohnung im Mehrfamilienhaus	ohne Strom	1 Person	bis 800	bis 1.100	bis 1.300	bis 1.500	bis 1.900	bis 2.500	über 2.500
		2 Personen	bis 1.300	bis 1.700	bis 2.000	bis 2.300	bis 2.600	bis 3.200	über 3.200
		3 Personen	bis 1.800	bis 2.200	bis 2.600	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.000	über 4.000
		4 Personen	bis 2.000	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.400	bis 4.000	bis 4.600	über 4.600
		5+ Personen	bis 2.400	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.200	bis 5.000	bis 6.000	über 6.000
	mit Strom	1 Person	bis 1.200	bis 1.500	bis 1.900	bis 2.100	bis 2.600	bis 3.400	über 3.400
		2 Personen	bis 2.000	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.200	bis 3.600	bis 4.400	über 4.400
		3 Personen	bis 2.700	bis 3.400	bis 3.900	bis 4.300	bis 5.000	bis 6.000	über 6.000
		4 Personen	bis 3.100	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.000	bis 5.800	bis 7.100	über 7.100
		5+ Personen	bis 3.300	bis 4.500	bis 5.500	bis 6.000	bis 7.000	bis 9.000	über 9.000

Die Spannweite des Stromverbrauchs ist groß – je nach Geräteausstattung und Nutzung. Sie erfordert eine detaillierte Differenzierung der Verbrauchsdaten. Die Klassen A bis G bilden jeweils 14,3 Prozent der Haushalte ab.

Quellen: co2online et al. 2016 (www.die-stromsparinitiative.de)

## Was ist 1 kWh?



- 9 Liter Teewasser kochen
- 250 Google-Suchanfragen
- 1 Waschmaschinenladung waschen (40 Grad)
- 10 Stunden beleuchten (100-Watt-Glühlampe)
- 90 Stunden beleuchten (11-Watt-Kompaktleuchtstofflampe)
- 1 Mittagessen kochen
- 160 Liter Bier kühlen
- 4 Jahre lang elektrisch Zähne putzen
- 300 Löcher bohren (elektr. Bohrmaschine)
- 10 Stunden Fernsehen gucken
- 1,5 km Auto fahren
- 50 Quadratmeter Wohnung ein Jahr lang heizen
- Stromerzeugung von einem 4-Millionstel-Anteil eines typischen Windrads

## Smart Home



Das Schlagwort *Smart Home* steht für die Vernetzung und Fernsteuerung von Geräten und Installationen im Haushalt. Heute ist der Begriff insbesondere mit zusätzlichen Komfortgewinnen verbunden: Ein Funknetzwerk verbindet Haushaltsgeräte, Garagentore oder Fensterläden, Lampen und vieles mehr mit einer zentralen Steuerung. Bei vielen Systemen wird über Sensoren erfasst, ob Fenster oder Türen geöffnet sind und ob Personen im Raum sind. Smart-Home-Lösungen können künftig aber auch dazu beitragen, durch eine effektive Gerätesteuerung Energie einzusparen. Nachdem man zum Beispiel das Fenster zum Lüften öffnet, schaltet die Heizungssteuerung die Heizkörper automatisch ab, um den Energieverbrauch gering zu halten. Ist das Fenster wieder geschlossen, gehen die Heizkörper wieder in Betrieb. Zusätzlich zur automatischen Steuerung sammelt ein Smart-Home-System in der Regel detaillierte Daten zur Energienutzung und bietet sie zu Auswertung an. Dieser Teilaspekt des Smart Home nennt sich auch Smart Metering. Da diese Daten Auskunft über das private Verhalten der Bewohner geben können, stehen Datenschützer der Entwicklung auch skeptisch gegenüber.

Datenschutz muss bei der Produktentwicklung oberste Priorität haben. Ein weiteres Beispiel für eine effektive Gerätesteuerung stellt die gezielte Zu- bzw. Abschaltung von Verbrauchsgeräten dar (Lastmanagement). Auf diese Weise können Preisspitzen umgangen und zum Beispiel niedrige Strompreise genutzt werden.

Auch die Vernetzung von Komponenten der Unterhaltungselektronik, etwa die zentrale Speicherung und verteilte Nutzung von Video- und Audio-Inhalten, wird immer häufiger eingesetzt. Der deutsche Markt für Smart Home soll nach Einschätzung des Verbandes der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. bis 2025 auf 19 Milliarden Euro anwachsen.

Hersteller und Entwickler werben mit der Möglichkeit, durch Smart-Home-Technik die effiziente Nutzung von Energie im Haushalt voranzutreiben. Es ist aber auch denkbar, dass neue Ansprüche an Komfort und Nutzung elektrischer Geräte entstehen. Das könnte zu Rebound-Effekten beim Stromverbrauch führen (siehe Seite 22).

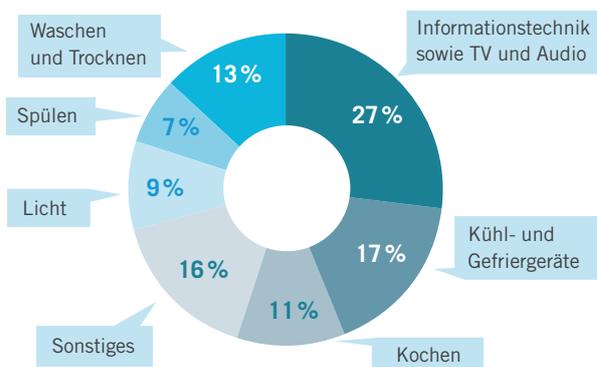
### Mehr Energie für zusätzliche Geräte

Nicht nur die Struktur der Bevölkerung und Haushalte hat sich geändert, sondern auch die Art und Weise, wie Strom zuhause genutzt wird. Waren Mitte der 1990er Jahre Fernseher, Stereoanlage und Bürogeräte für weniger als zehn Prozent des Stromverbrauchs in einem durchschnittlichen Dreipersonenhaushalt verantwortlich, so liegen heute Computer, Drucker und Geräte der Unterhaltungselektronik mit rund einem Viertel des Stromverbrauchs eines Haushalts an der Spitze. Die zweitwichtigste Gerätekategorie

stellten damals wie heute Kühlschränke und Gefriertruhen. Auch der Bereich „Waschen, Trocknen, Spülen“ ist nach wie vor wichtig.

Ein Grund dafür, dass sich die Unterhaltungs-, Kommunikations- und Informationstechnik auf den Spitzenplatz der Stromverbraucher geschoben hat, ist, dass wir immer mehr unterschiedliche Geräte in unserem Alltag nutzen. Eine Studie im Auftrag der Deutschen Energie-Agentur (dena) zeigt, dass zwischen 2006 und 2013 die Nutzung von Notebooks, Netbooks und Tablet-Computern stark zugenommen hat. Zwar ersetzen sie zum Teil stromhungrigere, größere Computer – der Trend zum Zweit- und Drittgerät scheint aber ungebrochen.

### Anteil der Verbrauchssegmente am Stromverbrauch eines typischen Haushalts



Nicht nur die Zahl, auch die Größe und Leistungsfähigkeit der elektrischen Geräte steigt in vielen Bereichen. Neue Fernsehgeräte haben im Schnitt einen größeren Bildschirm, Kühl- und Gefriergeräte mehr Volumen. Dazu erhöht sich die Ausstattung mit bisher wenig verbreiteten Gerätegruppen wie Klimaanlage oder digitalen Bilderrahmen. Hinzu kommt, dass durch die weitere Technisierung und Automatisierung des Alltags sowie durch höhere Anforderungen an den Komfort die Geräte intensiver genutzt werden oder in aktiver Bereitschaft bleiben. Effizienzverbesserungen der Geräte können die Folgen dieser Entwicklungen auf den Stromverbrauch nur teilweise kompensieren.

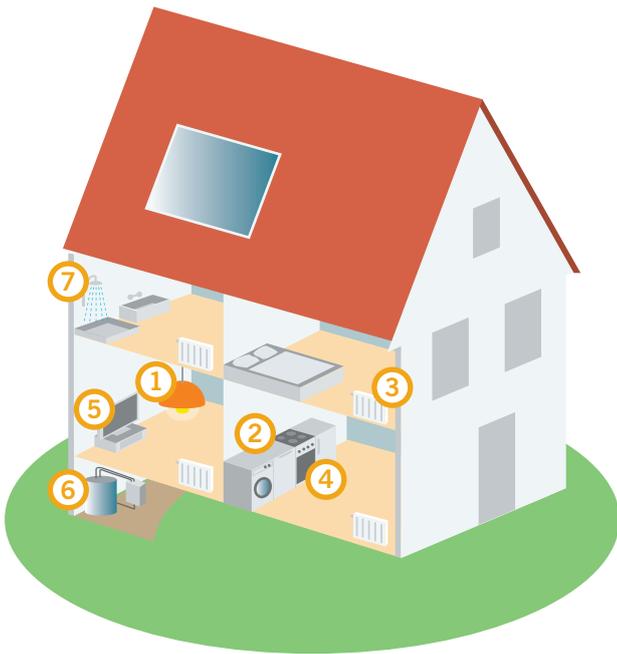
Dreipersonenhaushalt, ohne elektrische Warmwasserversorgung

Quellen: BDEW, EnergieAgentur.NRW, HEA

## Stromsparen im Haushalt

So vielfältig die Art der elektrischen Geräte, die in privaten Haushalten eingesetzt werden, so lang ist auch die Liste der Möglichkeiten, effiziente Technik einzusetzen oder durch intelligente Nutzung den Stromverbrauch zu senken.

### Einsparpotenziale im Haushalt



#### 1. Beleuchtung

Konventionelle Glühlampen sind ineffizient, vergeuden einen Großteil der elektrischen Energie als Wärme. Auch Halogenleuchtampen sind kaum effizienter. Energiesparlampen oder LEDs senken den Stromverbrauch um 80 bis 90 Prozent.

#### 2. Haushaltsgeräte

Hocheffiziente Kühlschränke und Gefriereinheiten verbrauchen wesentlich weniger als durchschnittliche Geräte. Je älter der Kühlschrank, desto größer das Einsparpotenzial. Eine Anhebung der Innentemperatur um bis zu zwei Grad spart noch mehr Strom. Effiziente Spül- und Waschmaschinen senken den Stromverbrauch, regelmäßiges Waschen bei 40 oder gar 30 Grad ebenfalls – ohne Abstriche bei Hygiene und Sauberkeit. In vielen Haushalten ist ein Anschluss von Spül- und Waschmaschinen an die Warmwasserleitung möglich und sinnvoll.

#### 3. Heizen

Die Einsparpotenziale beim Heizen sind ausführlich im Kapitel 2 beschrieben.

#### 4. Kochen

Kochen mit effizientem Gasherd oder einem effizienten elektrischen Herd, etwa einem Induktionsherd, aber auch ein achtsames Verhalten (siehe Seite 59 f.) tragen zur Energieeinsparung bei.

#### 5. Unterhaltungselektronik

Vor allem bei TV-Geräten gibt es durch den Umstieg auf energieeffiziente Geräte ein erhebliches Effizienzpotenzial. Abschalten von Geräten vermeidet unnötigen Standby-Verbrauch.

#### 6. Umwälzpumpe

Ältere Umwälzpumpen bei Heizungen sind heimliche Stromfresser. Eine Hocheffizienzpumpe spart viel Strom.

#### 7. Warmwasser

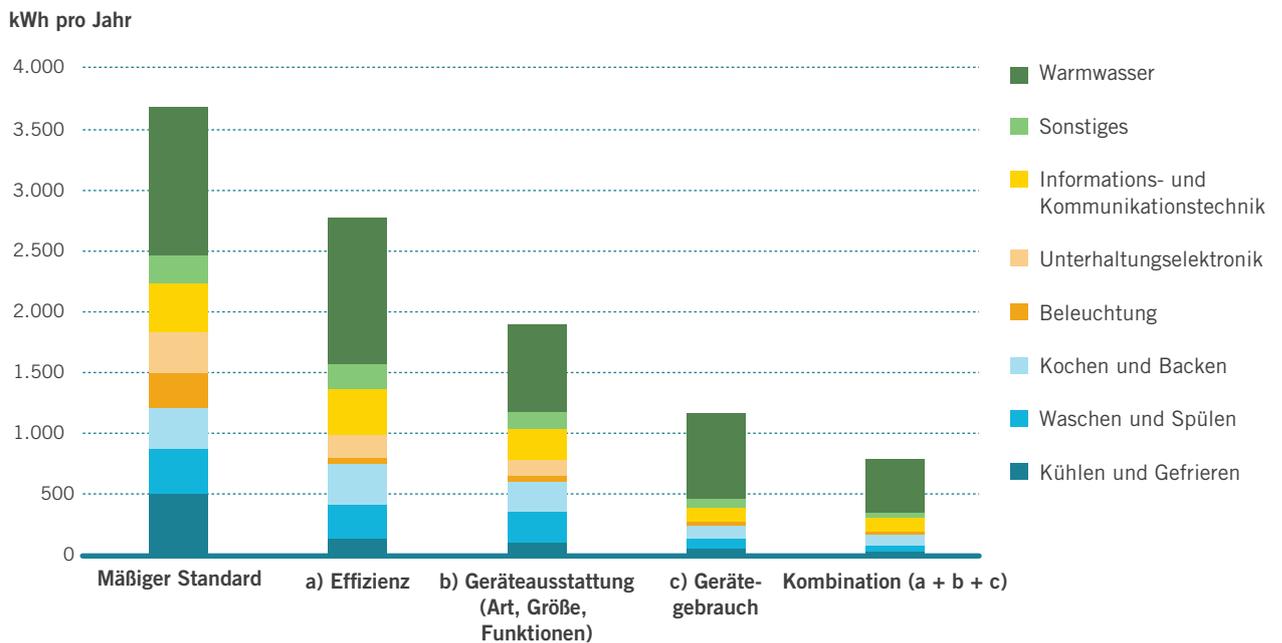
Spararmaturen an Wasserhähnen und Duschköpfen senken den Warmwasserdurchfluss – und damit den Energieeinsatz für Warmwasser – um bis zu 50 Prozent. Duschen statt baden verringert den Warmwasserbedarf beträchtlich.

Wie groß die Einsparmöglichkeiten im Einzelnen sind, lässt sich an Deutschlands häufigstem Haushaltstyp exemplarisch berechnen: dem Zweipersonenhaushalt. Ein Zweipersonenhaushalt mit mäßigem, leicht überdurchschnittlichem Standard in einem Mehrfamilienhaus verbraucht in Deutschland 2.500 Kilowattstunden Strom. Bei elektrischer Warmwasserbereitung für Küche und Bad kommen durchschnittlich 1.000 Kilowattstunden im Jahr dazu. Geht man von einem derzeit mittleren Strompreis von 28 Cent je Kilowattstunde aus, muss ein Zweipersonenhaushalt für Strom im Schnitt 700 Euro bzw. mit elektrischer Warmwasserbereitung 980 Euro im Jahr ausgeben.



In Haushaltsgeräten steckt Effizienzpotenzial, Quelle: Fotolia © kazoka303030

**Senkung des Stromverbrauchs durch:** effizientere Geräte (a), eine angepasste Geräteausstattung (b), einen selteneren Gerätegebrauch (c) und eine Kombination dieser Maßnahmen am Beispiel eines Zweipersonenhaushalts



Quelle: ifeu 2014

In einer Studie des Instituts für Energie- und Umweltforschung (ifeu) aus dem Jahr 2014 wurde in einem ersten Schritt untersucht, wie stark sich der Stromverbrauch dieses Zweipersonenhaushalts durch Ausstattung mit effizienten Geräten senken ließe. In einem zweiten Schritt wurde berechnet, wie eine angepasste Geräteausstattung die Bilanz zusätzlich verbessern würde – also dadurch, dass beispielsweise Kühlschrank, Waschmaschine und Fernseher eine Größenordnung kleiner gewählt werden. Schließlich untersuchten die Forscher auch den Gerätegebrauch und ermittelten, wie stark der Stromverbrauch sinkt, wenn die Bewohner des Zweipersonenhaushalts konsequent alle Standby-Verluste vermeiden, bei niedrigeren Temperaturen waschen und auch die Nutzung der Unterhaltungselektronik moderat reduzieren. Schließlich ermittelten sie noch, was die Kombination all dieser Stromsparmaßnahmen gegenüber dem durchschnittlichen Verbrauch für Vorteile bringt.

Das Ergebnis: Allein durch vollständige Ausstattung des durchschnittlichen Zweipersonenhaushalts mit den derzeit effizientesten Geräten lässt sich eine Reduktion des Stromverbrauchs um 25 Prozent durch Effizienz erreichen, ohne Art, Größe und Funktionen oder Gebrauch der Geräte zu ändern. Durch eine angepasste Gerätegröße sind weitere 25 Prozent Stromverbrauchsreduktion gegenüber der effizienten Ausstattung möglich. Werden auch beim Gerätegebrauch moderate Abstriche gemacht, kann der Stromverbrauch fast um 60 Prozent gegenüber der reinen Effizienz-Variante gesenkt werden. Wenn es sogar gelingt, durch Kombination dieser Strategien den wesentlichen

Teil der stromverbrauchenden Technik im Haushalt nach Effizienz- und angepasstem Gebrauch auszustatten und zu nutzen, kann der Stromverbrauch in diesem Beispiel um 80 Prozent gegenüber einem durchschnittlichen Zweipersonenhaushalt reduziert werden. Die Stromrechnung würde dann von 1.000 auf 200 Euro pro Jahr sinken.

### Energieeffizienz zahlt sich aus

Viele Einsparmaßnahmen im Haushalt kosten kein Geld, sondern zahlen sich durch die vermiedenen Stromkosten sofort aus. Gute Beispiele hierfür sind angepasste Temperaturen von Kühlschrank und Waschmaschine. Lebensmittel bleiben auch bei einer Kühltemperatur von sieben Grad Celsius frisch und einen Großteil der Wäsche bekommt man auch mit einer Waschtemperatur von 40 Grad oder gar 30 Grad sauber.

Um andere Effizienzpotenziale zu erschließen, sind kleinere oder größere Investitionen nötig. Schaltbare Steckerleisten beispielsweise sind eine niedrige Investition, treiben dann aber verschwenderischen Geräten den Standby-Verbrauch aus. Bei großen Haushaltsgeräten wie Wasch-, Spülmaschinen, Kühlschränken und Gefriertruhen liegt der Kaufpreis in der Regel bei mehreren Hundert Euro. Aber auch hier kann es sich finanziell lohnen, ein neues Gerät anzuschaffen – selbst wenn das alte noch funktioniert. Voraussetzung ist natürlich, dass das alte Gerät nicht weiter betrieben wird.

## Warmwasser



Vor allem beim Duschen und Baden, Spülen und Händewaschen wird viel warmes Wasser benötigt. Wenn die gewünschte Wassertemperatur mit Hilfe von Strom erzeugt werden muss, ist dieser Verbrauchsanteil bedeutend: Die elektrische Warmwasserbereitung durch Durchlauferhitzer und Untertischgeräte macht etwa 30 bis 40 Prozent der Stromrechnung eines solchen Haushalts aus.

Grundsätzlich gibt es dabei zwei Arten von Durchlauferhitzern: wenig effiziente, hydraulische und hocheffiziente, elektronisch geregelte Modelle. In der Küche oder Gästetoilette sind so genannte Untertischgeräte (Kleinwasserspeicher) weit verbreitet. Diese haben jedoch hohe Wärmeverluste, da immer wieder nachgeheizt werden muss, um die Wunschtemperatur zu halten. Bei entfernt liegenden Wasserhähnen, wie zum Beispiel im Gästebad,

werden zunehmend „Kleindurchlauferhitzer“ eingesetzt, die schnell warmes Wasser – ohne Verluste durch lange Leitungswege – liefern.

Untertischgeräte sollten nachts über eine Zeitschaltuhr abgeschaltet werden oder so genannte „Thermostops“ nutzen. Diese kappen den Strom nach einer Erwärmung des Wassers automatisch, wodurch Wärmeverluste vermieden werden.

An Wasserhähnen und in der Dusche sollte man Spararmaturen und Perlatoren verwenden, die den Wasserdurchfluss reduzieren. Man muss dabei aber beachten, dass diese nicht mit jedem hydraulischen Durchlauferhitzer kombinierbar sind.

Der Zeitraum, in dem sich eine Neuanschaffung finanziell lohnt, hängt davon ab, wie viel effizienter das Neugerät ist, wie teuer es ist und wie lange es voraussichtlich genutzt werden wird. Ein Beispiel: Ein 14 Jahre alter Wäschetrockner mit sieben Kilogramm Fassungsvermögen verbraucht pro Jahr etwa 700 kWh und verursacht Stromkosten von etwa 200 Euro. Ein hocheffizientes Neugerät verbraucht nur rund 100 kWh, was zu Stromkosten von etwa 26 Euro führt. Es ließen sich also mit dem neuen Wäschetrockner rund 170 Euro jährlich einsparen. Die Anschaffungskosten von rund 700 Euro für das Neugerät wären nach vier Jahren durch den geringeren Stromverbrauch wieder ausgeglichen – verglichen mit einem anderen, weniger effizienten Neugerät würde sich die Investition in Effizienz noch schneller rechnen. Ab diesem Zeitpunkt bis zum Ende der Lebensdauer des Wäschetrockners spart der Verbraucher. Steigen die Strompreise weiter, können die Amortisationszeiten erheblich kürzer sein.

Ein weiteres Beispiel: Es ist wesentlich energieeffizienter, Wasser mit einem kleinen Wasserkocher zu erhitzen als in einem Topf auf dem Elektroherd. Wer täglich drei Liter Wasser zum Kochen bringt, verbraucht pro Jahr mit dem Herd rund 330 kWh, mit dem Wasserkocher nur 120 kWh. Durch die eingesparten Energiekosten finanziert sich der Kaufpreis eines Kochers innerhalb eines halben Jahres. Über eine angenommene Lebensdauer von fünf Jahren bleiben dann durch die Anschaffung sogar über 260 Euro zusätzlich in der Haushaltskasse.

### Ökologische Amortisation und vorzeitiger Austausch

Betrachtet man nur die Vorteile für die Umwelt, dann lohnt sich der Austausch eines ineffizienten Haushaltsgeräts meist schon viel früher als nach rein finanziellen Gesichtspunkten. Eine Umweltbilanz wägt die



Auch durch angemessene Gerätenutzung wird viel Energie gespart, Quelle: Fotolia © Monkey Business

Umweltauswirkungen, die beim Betrieb des Geräts entstehen, gegen die Energie und die Ressourcen ab, die bei Herstellung, Auslieferung und Entsorgung, also entlang des gesamten Lebenszyklus, aufzubringen sind.

Je nach Geräteart entfällt auf die Nutzungsphase ein Großteil des Energieverbrauchs. Dieser Anteil hängt allerdings von verschiedenen Faktoren ab, beispielsweise der Effizienz im Betrieb und den in den Produkten verwendeten Materialien. Während bei einem alten Fernseher die Herstellung nur einen Anteil von unter 30 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs hat, der Energieverbrauch durch die Nutzung also entscheidend ist, steigt der Anteil der Herstellung bei einem modernen, stromsparenden Fernseher auf bis zu 50 Prozent. Die Herstellung eines Kühlschranks schluckte früher weniger als 20 Prozent der Lebenszyklus-Energie, bei einem modernen Kühlschrank sind es bis zu 35 Prozent. Bei einem Notebook-Computer, der wenig Strom verbraucht, dessen Materialien aber

einen großen ökologischen „Rucksack“ haben, liegt der Anteil für Herstellung und Entsorgung sogar bei bis zu 90 Prozent. Das heißt: Ein Notebook oder Smartphone sollte man so lange wie möglich nutzen.

Bei Altgeräten mit hohem Stromverbrauch lohnt sich ein vorzeitiger Austausch jedoch vielfach nicht nur finanziell, sondern auch ökologisch. Bei einem 14 Jahre alten Wäschetrockner, bei dem sich eine hocheffiziente Neuananschaffung finanziell nach vier Jahren wieder amortisiert hat, ist der ökologische Wendepunkt schon nach einem halben Jahr erreicht. Studien zeigen, dass der geringere Stromverbrauch eines neuen Kühlschranks durchschnittlich nach vier Jahren die Umweltbelastungen der Herstellung wieder ausgeglichen hat. Dies gilt zumindest, falls Geräte, die älter als zehn Jahre sind, durch sehr energieeffiziente Geräte der Klasse A++ ersetzt werden und das Altgerät entsorgt wird.

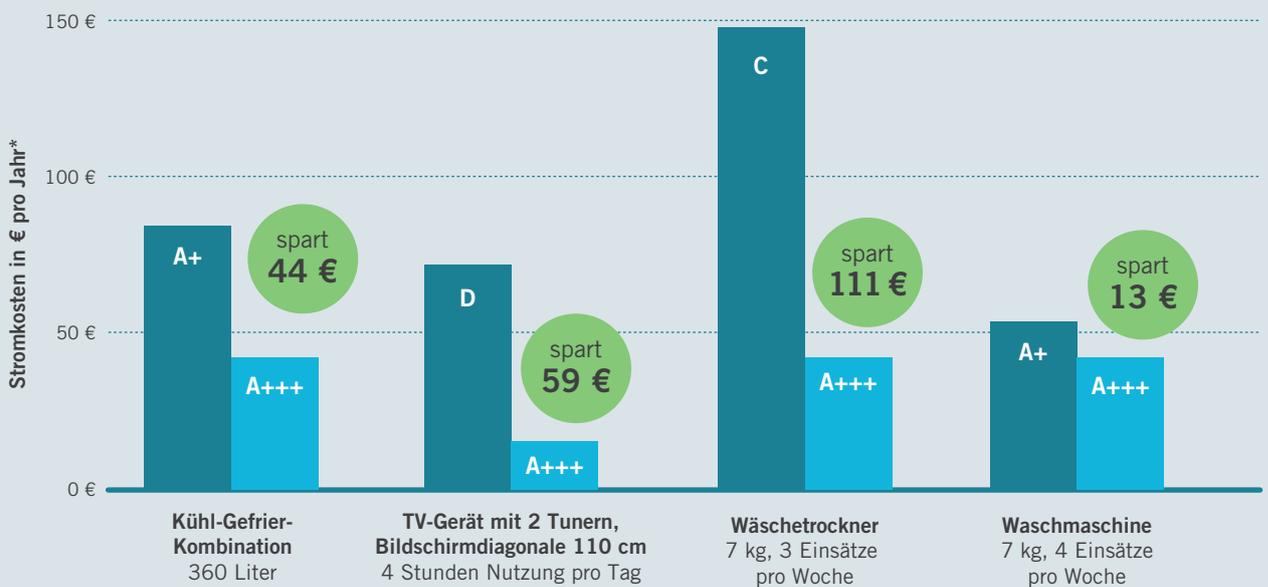
## Bares Geld durch Effizienz



Auch beim Neukauf lässt sich durch die Wahl des richtigen Geräts viel Geld sparen. Der Stromverbrauch vieler Geräteklassen hat in den vergangenen Jahren sehr große Fortschritte gemacht. Trotzdem stellen zum Beispiel die sparsamsten Wäschetrockner der Effizienzklasse A+++ nur einen kleinen Teil des Gesamtangebots. Auch Geräte der Effizienzklasse C sind noch auf dem Markt. Die sind

in der Anschaffung zwar meistens günstiger, doch mit der Stromrechnung wird aus „billig“ sehr schnell „teuer“. Bei drei Einsätzen pro Woche treibt ein billiger, aber stromhungriger Wäschetrockner die Stromkosten um mehr als 100 Euro pro Jahr zusätzlich in die Höhe. Da relativiert sich der Kaufpreis im Vergleich zu einem hocheffizienten Gerät schnell.

### Der Umstieg auf ein Gerät mit Effizienzklasse A++ oder A+++ lohnt sich. Vier Beispiele.



\* angenommener Strompreis: 28 Cent pro Kilowattstunde

Quelle: Initiative EnergieEffizienz der dena

Bei der Entsorgung alter Elektrogeräte ist zu beachten, dass diese nicht im Hausmüll landen dürfen. Insbesondere Kühlflüssigkeit und Dämmmaterialien können sonst Umweltschäden verursachen. Für eine sachgerechte Entsorgung des Kühlschranks sollten kostenlose Sammelstellen der Kommunen genutzt werden. Außerdem bieten auch Händler und Hersteller häufig eine Rücknahme von Kühlgeräten an.

Mit einem kostenlosen Online-Ratgeber wie dem Kühl-Check von co2online ([www.co2online.de/service/energiesparchecks/kuehlcheck](http://www.co2online.de/service/energiesparchecks/kuehlcheck)) kann man bequem ein altes Gerät mit neuen Modellen vergleichen, bevor man den Kühlschrank entsorgt. So lässt sich berechnen, wie viel Geld beim Austausch des Kühlschranks gespart wird und welches neue Gerät in Frage kommt.

## Standby-Verluste



Mit abschaltbaren Steckerleisten die verborgenen Stromverbraucher abschalten, Quelle: Fotolia © Pixelmixel

Brennt am Fernseher oder am DVD-Player permanent ein Licht? Ist das Netzteil des Deckenfluters warm oder brummt es? Gibt es am PC und an der Espressomaschine keinen richtigen Ausschalter? Dann verbrauchen diese Geräte rund um die Uhr Strom, der in einem Durchschnittshaushalt für den Ausstoß von bis zu 255 Kilogramm CO<sub>2</sub> jährlich verantwortlich ist. Das Umweltbundesamt beziffert die unnötigen Kosten durch Standby-Verbrauch deutschlandweit auf vier Milliarden Euro jährlich. Auch im Haushalt macht er bis zu einem Zehntel der Stromrechnung aus. Hier kann man durch fast vollständigen Verzicht auf Standby im Jahr 400 kWh und über 100 Euro sparen.

Mit einer Steckdosenleiste mit Schalter oder einer funktgesteuerten Steckdose kann man allen „heimlichen Verbrauchern“ den Strom komplett abdrehen. Möglichst sollte bereits beim Neukauf darauf geachtet werden, dass sich Geräte vollständig vom Netz trennen lassen. Der Stromverbrauch im Standby ist besonders bei billigen Geräten oft unverhältnismäßig hoch. Über die Lebensdauer gesehen sind solche Energieverschwender dann teurer als effiziente Geräte.

## Effizienzverbesserungen in Schritten: Weiße Ware

Als Weiße Ware werden Haushaltsgroßgeräte zum Kühlen, Gefrieren, Waschen, Trocknen, Geschirrspülen, Backen und Kochen bezeichnet. Sie verbrauchen im Mittel knapp ein Drittel des Haushaltsstroms. Unter dem Einfluss der Energieverbrauchskennzeichnung ist der Stromverbrauch von Haushaltsgroßgeräten in den vergangenen 15 Jahren durch Energieeffizienzverbesserungen je nach Gerätegruppe um 35 bis 70 Prozent gesunken. In allen Produktgruppen sind deshalb mittlerweile Geräte mit der Effizienzklasse A+++ erhältlich. Bei Kühl- und Gefriergeräten müssen Geräte, die seit Juli 2012 auf den Markt gebracht wurden, mindestens die Effizienzklasse A+ aufweisen. Besonders große Fortschritte gab es bei Wäschetrocknern und Kühlschränken.

Hinter den großen Effizienzfortschritten steht eine ganze Reihe von sehr unterschiedlichen technischen Optimierungen.

### Kühl- und Gefriergeräte:

- verbesserte Wärmedämmung (Vakuumdämmung)
- verbesserte spezifische Kälteleistung aufgrund eines optimierten Kompressor-Wirkungsgrades
- spezifisch angepasste Verflüssiger
- flexiblere Regelung (z. B. stufenlose Drehzahlregelung zur besseren Anpassung der Kühlleistung an den Bedarf)
- Optimierung der Luftverteilung im Innenraum durch Ventilatoren
- No-Frost-Funktion (weniger Luftfeuchtigkeit im Gefrierraum)

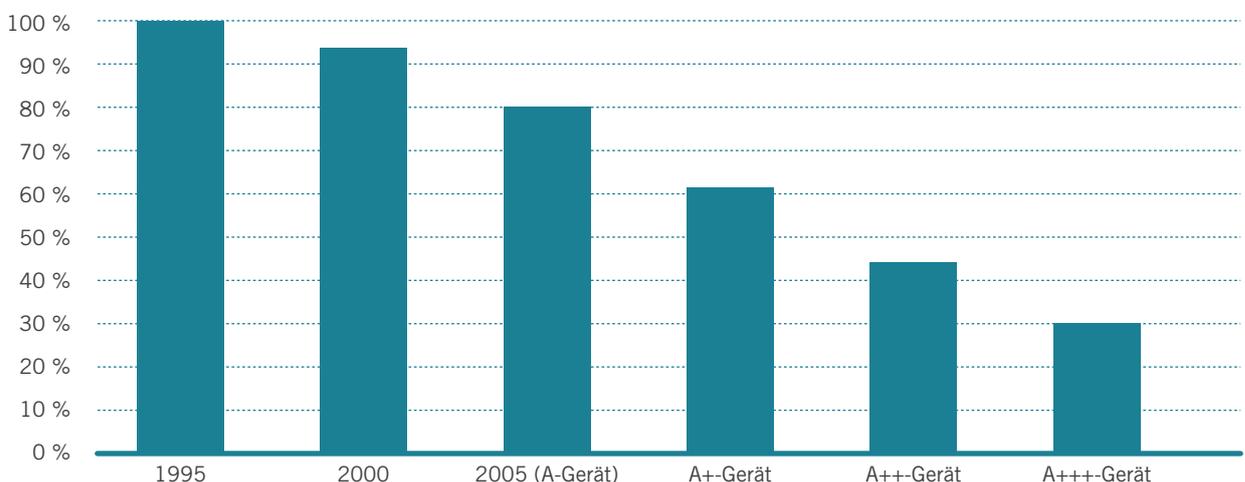


Energieeffizient waschen, Quelle: Fotolia © Monika Wisniewska

### Waschmaschinen:

- Verringerung der pro Waschgang eingesetzten Wassermenge
- Einsatz einer intelligenten Regelung (Fuzzy-Logik) zur Optimierung von Waschwirkung, Strom-, Wasser- und Waschmittelverbrauch
- beladungsabhängige Steuerung der Umflutpumpe
- neue Waschtechniken mit mehrfachem Zwischenschleudern im Hauptwaschgang für eine bessere Durchfeuchtung der Wäsche
- Elektronischer Waschassistent ermittelt nach der Eingabe von Textilart und -farbe, Verschmutzungsgrad und Schleuderstärke das optimale Waschprogramm
- integrierte Waschmittel-Dosierautomatik

### Senkung des Stromverbrauchs durch weniger Energieverbrauch. Beispiel Kühl-Gefrier-Kombination



Quellen: Öko-Institut, ZVEI



Quelle: Fotolia © gulfix

#### Geschirrspülmaschinen:

- Verwendung von energiesparenden mineralischen Zeolithkugeln zur Trocknung des Geschirrs
- Warmwasseranschluss

#### Herd:

- von der gusseisernen Kochplatte über das Ceran-Kochfeld zum Induktionsherd

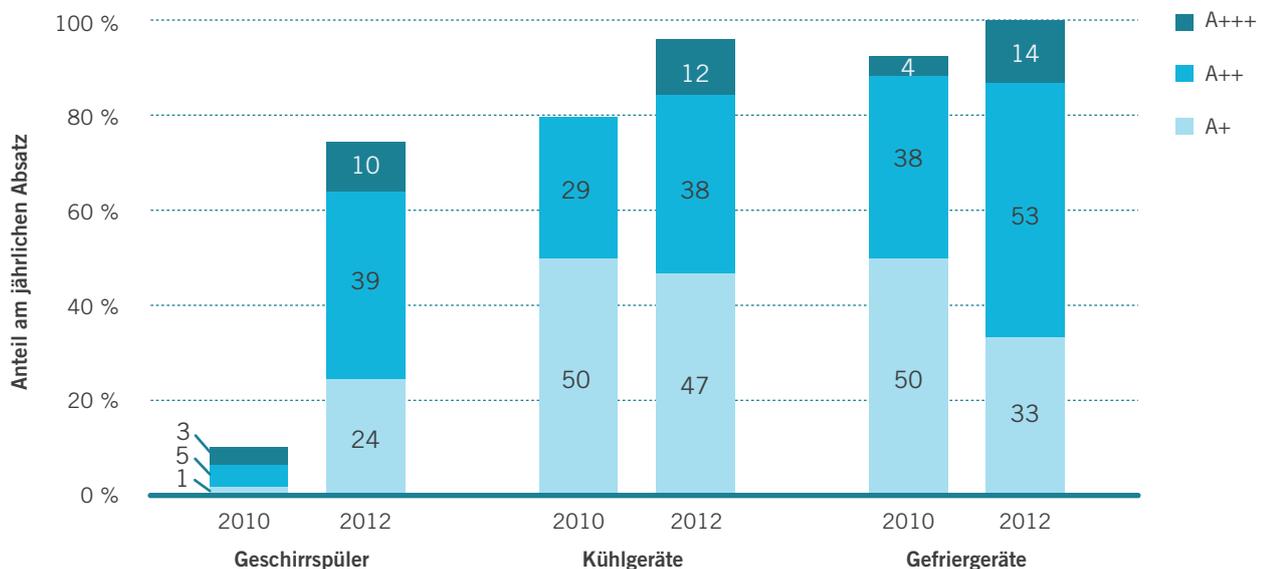
#### Backöfen:

- Verbesserung der Wärmedämmung und Dichtigkeit
- präzisere Temperaturregelung
- Optimierung der Wärmeverteilung im Inneren des Backofens (mit Umluft um 20 bis 30 Grad Celsius niedrigere Temperatur)
- Optimierung der Nutzung durch Automatikprogramme

Einige dieser Innovationen haben ihren Weg auch in die günstigsten Geräte auf dem Markt gefunden. Manche Effizienztechnologien sind bei der Weißen Ware aber den Premiumgeräten eines Herstellers vorbehalten. So entsteht die Marktsituation, dass nur ein Teil der angebotenen Haushaltsgeräte das technische Effizienzpotenzial ausschöpft. Weiterhin sind ineffiziente Geräte auf dem Markt und mit jedem Kauf wird der Energiebedarf des Haushalts auf Jahre festgelegt. Erfreulicherweise steigt der Marktanteil effizienter Geräte mittlerweile bei den meisten Geräteklassen stark an. Und auch in der höchsten Energieeffizienzklasse gibt es noch kräftige Fortschritte – mittlerweile gibt es Waschmaschinen, die gegenüber dem Schwellenwert A+++ nochmals 50 Prozent effizienter sind.

Die EU-Energieverbrauchskennzeichnungs-Richtlinie wird derzeit überarbeitet. Ziel ist es, die Klasseneinteilung so zu gestalten, dass sie für Verbraucher noch verständlicher wird und die technische Entwicklung bei den Produktgruppen längerfristig abbilden kann.

#### Entwicklung der Absatzanteile (in Prozent) der Effizienzklassen A+ bis A+++ in Deutschland 2010–2012



Quelle: GfK Retail and Technology nach BDEW 2014

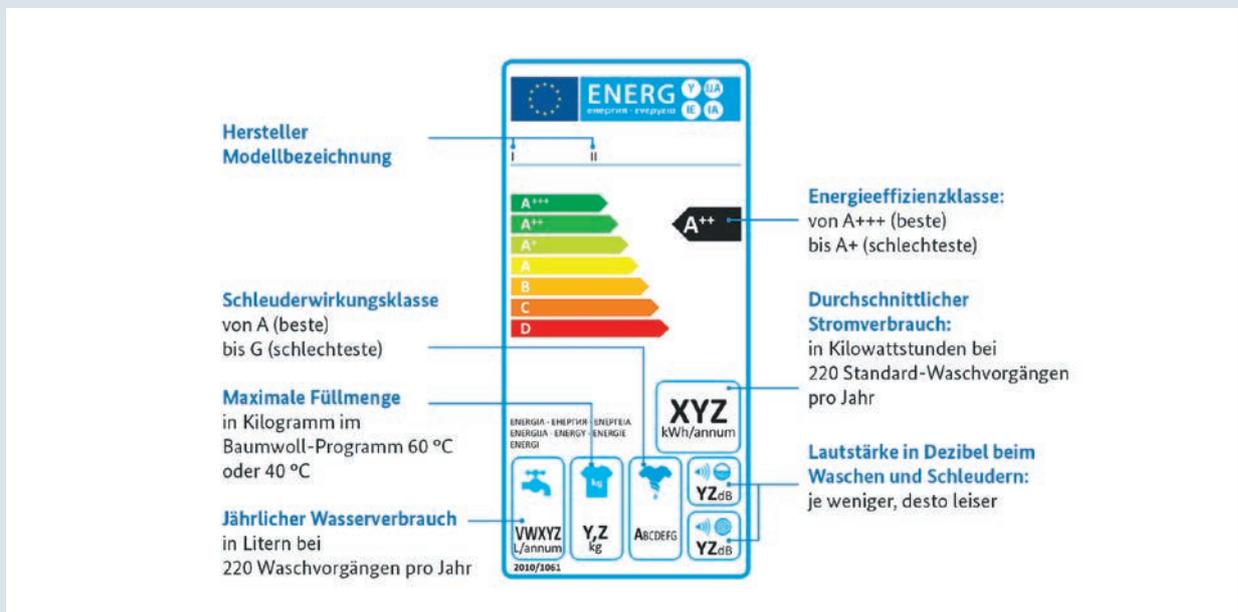
## Energielabel



Erste Anforderungen an die Energieverbrauchskennzeichnung von Backöfen wurden bereits 1979 mit der Richtlinie 79/530/EWG eingeführt. Seit den 1990er Jahren gibt es in der EU eine Kennzeichnungspflicht für bestimmte elektrische Geräte hinsichtlich ihrer Energieeffizienz und ihres Verbrauchs an anderen Ressourcen. Die Skala von A bis G und grün bis rot auf Waschmaschinen, Kühlschränken und Haushaltslampen kennt jeder.

Den Anfang machte 1994 die Kennzeichnung für Kühl- und Gefriergeräte. Es folgten Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrspüler und Haushaltslampen. Im Jahr 2002 kamen Klimaanlage und Elektrobacköfen hinzu, 2011 Fernsehgeräte und 2014 Leuchten und Staubsauger. Das neueste Energielabel kam Anfang 2016 für Wohnraumlüftungen hinzu.

### Energielabel für Waschmaschinen



Quelle: co2online (www.die-stromsparinitiative.de)

## Stromfresser aufspüren



Alle Stromverschwender unter den Haushaltsgeräten aufzuspüren, ist nicht immer einfach. Alle, die es genau wissen wollen, wie viel Strom sie wo verbrauchen, und den Stromverbrauch senken möchten, benötigen dafür technische Hilfsmittel.

Um den Stromverbrauch und die Stromkosten des Kühlschranks zu berechnen, kann man beispielsweise eine kostengünstige **Messsteckdose** kaufen. Stromversorger bieten oft kostenlose Leihgeräte an, die dabei helfen, Stromfressern auf die Spur zu kommen. Den Stromverbrauch des kompletten Haushalts kann man mit einem so

genannten **Optokoppler** überwachen. Das Gerät wird auf dem herkömmlichen Stromzähler befestigt und sorgt für digitale Verbrauchsdaten.

Die komfortabelste Lösung, den Stromverbrauch und folglich die Stromkosten des Haushalts zu überwachen, ist ein **Smart Meter**. Das digitale Messgerät zeigt den Verbrauch nicht nur an, sondern zeichnet die Werte auch auf und kann sie übertragen, zum Beispiel an den Messdienstleister. Einige Energieversorger bieten die meist kostenpflichtige Installation bereits an. Aus Datenschutzgründen sind die Smart Meter nicht ganz unumstritten.

## Beleuchtung: Effizienzrevolution durch Technologiesprünge

Beleuchtung hat einen Anteil von rund 14 Prozent am Stromverbrauch in Deutschland. Besondere Bedeutung kommt dabei dem Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen zu, also der Beleuchtung von Straßen, Büros, Verkaufseinrichtungen, Hotels, Reklame oder Sportstätten. In privaten Haushalten hat die Beleuchtung mit neun Prozent Anteil am Stromverbrauch zwar eine geringere Bedeutung – sollte aber dennoch nicht vernachlässigt werden, da hier Einsparpotenziale bis zu 80 Prozent möglich sind. Denn eine einfache und sehr wirksame Weise, im Haus Strom zu sparen, ist der Umstieg von herkömmlichen Glühlampen auf Energiesparlampen. Glühlampen nutzen gerade einmal fünf Prozent der Energie für die Lichterzeugung – 95 Prozent verpuffen in ungenutzter Wärme. Halogenglühlampen sind nur wenig effizienter als herkömmliche Glühlampen. Werbeaussagen wie „Eco Halogen“ sind daher irreführend. Verbraucherinnen und Verbraucher sollten sich immer am EU-Energieverbrauchskennzeichen auf der Produktverpackung orientieren.

### Von der Glühbirne zur LED

Dass sich verschiedene Leuchtmittel grundlegend in ihrer Effizienz unterscheiden, hat damit zu tun, dass ihre Lichterzeugung auf unterschiedlichen physikalisch-technischen Prinzipien beruht. Prinzipiell gibt es drei Arten von Lichtquellen: Temperaturstrahler, Entladungslampen und Leuchtdioden.

Die Energieumwandlung von Temperaturstrahlern wie Glüh- und Halogenglühlampen beruht auf der Glühemission, bei der elektrische Energie in Gitterschwingungen umgewandelt wird. Diese führen zu einem kontinuierlichen Lichtspektrum mit einem hohen Anteil im infraroten Spektralbereich. Bei Glühlampen wird ein auf 2.500 Grad



Energieeffiziente Beleuchtung – in allen Anwendungsbereichen, Quelle: Fotolia © vladimirfloyd

Celsius erhitzter Wolframdraht durch Stromdurchgang zum Glühen gebracht. Der Wolframdraht befindet sich in einem mit einem Argon-Stickstoff-Gemisch gefüllten Glaskolben. Halogenglühlampen sind in Aufbau und Wirkungsweise mit Glühlampen vergleichbar, als Füllgas werden jedoch Halogene oder Halogenverbindungen eingesetzt.

Leuchtstofflampen und Metalldampflampen sind Entladungslampen, bei denen in einem abgeschlossenen Entladungsgefäß, das mit Gas oder Metalldampf gefüllt ist, beim Stromdurchgang infolge Anregung der Atome Licht emittiert wird. Diese Lichtstrahlung ist sowohl vom Gas bzw. Metalldampf als auch von den Druckverhältnissen im Entladungsgefäß abhängig. Bei Leuchtstofflampen wird durch Füllung der Lampe mit einem Gasgemisch (Argon, Quecksilber) eine Ultraviolettstrahlung erzeugt, die durch den auf der Röhren-Innenwand aufgetragenen Leuchtstoff in sichtbares Licht umgewandelt wird.

## Geschichte der Beleuchtung



Seit dem frühen 19. Jahrhundert haben in Europa verschiedene Arten von Beleuchtung einander abgelöst. Lange waren Kerzen das einzige Leuchtmittel. Dann kamen Gas- und Petroleumlaternen hinzu. Mit der Einführung des elektrischen Lichts spielten die anderen Leuchtmittel schnell keine große Rolle mehr. Die jeweils neueste Technologie war den älteren überlegen – auch wegen ihrer Effizienz. Später brachten bei der elektrischen Beleuchtung Technologiesprünge von der Glühlampe bis zur LED weitere signifikante Effizienzverbesserungen und eine sprunghafte Zunahme der Anwendungsmöglichkeiten für die Beleuchtung.

Eine Studie hat den statistischen Zusammenhang zwischen Lichtkonsum und Kosten für Beleuchtung der letzten 300 Jahre in Großbritannien analysiert und ist zu dem erstaunlichen Ergebnis gekommen, dass über die Jahrhunderte hinweg, unabhängig von den gesellschaftlichen Verhältnissen und den in diesem Zeitraum aufgetretenen signifikanten Technologiesprüngen, stets rund 0,7 Prozent des Bruttoinlandsprodukts und rund 6,5 Prozent des Primärenergieverbrauchs für Beleuchtung eingesetzt wurden. Es gibt somit einen direkten Zusammenhang zwischen Lichtkonsum und wirtschaftlicher Produktivität.

Leuchtdioden (LEDs) bestehen aus Halbleiterkristallen. Die Umwandlung von elektrischer Energie in Licht beruht auf Elektronenübergängen zwischen definierten Energiezuständen des Kristalls. Beim Anlegen einer Spannung werden Photonen freigesetzt, die als sichtbares Licht den Halbleiterkristall verlassen. Die Lichtfarbe einer LED wird durch die spezifischen Eigenschaften des Halbleiterkristalls bestimmt, die sich bei der Herstellung beeinflussen lassen. Das Licht von LEDs ist nahezu einfarbig. Bei organischen Leuchtdioden (OLEDs) ist der Kristall aus organischen Molekülen aufgebaut.

**Einsparungen von 80 Prozent sind drin**

Die kontinuierliche Entwicklung in den letzten Jahrzehnten ermöglicht es, für dieselben Anwendungen alternative, wesentlich energieeffizientere Leuchtmittel einzusetzen. So können beispielsweise bei der Haushaltsbeleuchtung durch Ersatz von Glühlampen durch Energiesparlampen oder LEDs bis zu 80 Prozent Strom eingespart werden. Einsparungen in ähnlicher Höhe sind bei Außen- und Industriebeleuchtungen erreichbar: Wenn ineffiziente Quecksilberdampflampen durch Halogen-Metaldampflampen ersetzt werden, steigt die Effizienz um mehr als 50 Prozent. Mit Natriumhochdruckentladungslampen ist sogar eine Effizienzsteigerung von rund zwei Dritteln möglich.

Ein Maß für die Effizienz eines Leuchtmittels ist die Helligkeit bzw. genauer der Lichtstrom, gemessen in Lumen, im Verhältnis zur eingesetzten elektrischen Leistung, gemessen in Watt. Während herkömmliche Glühlampen auf nur rund 10 Lumen pro Watt (lm/W) kommen und

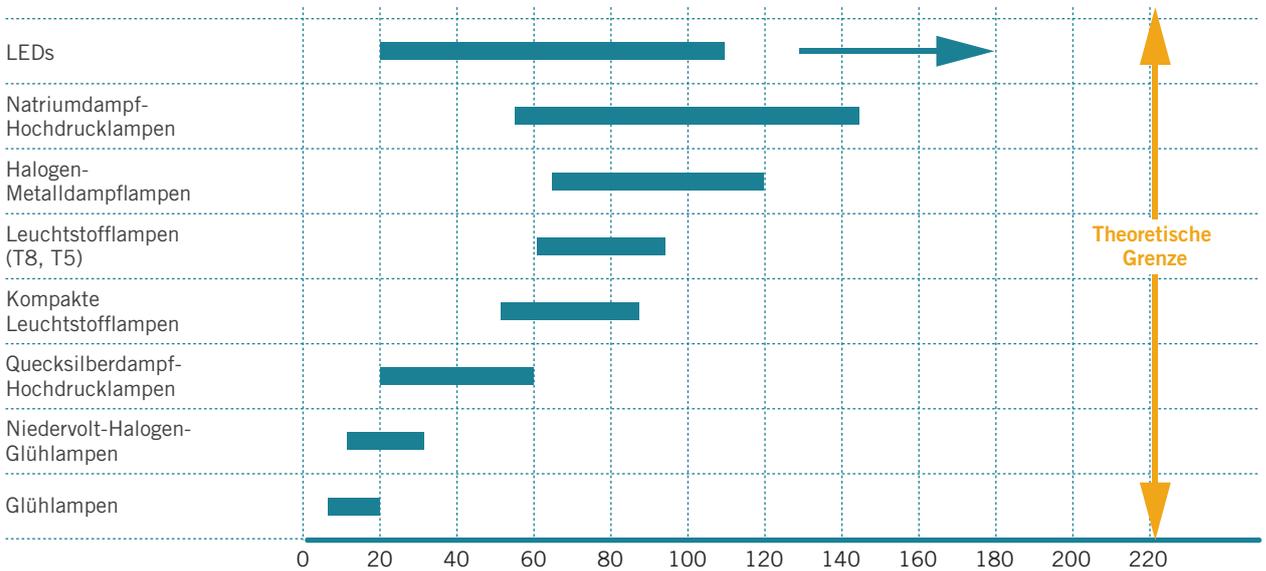
Halogenlampen auf 20 lm/W, strahlen Energiesparlampen mit 60 bis 80 lm/W. Hochleistungs-LEDs schaffen sogar 100 bis 120 lm/W.

Zusätzlich beeinflusst die Lichtfarbe das Helligkeitsempfinden. Für Haushaltsleuchtmittel werden vor allem drei Lichtfarben unterschieden: warmweiß, neutralweiß und tageslichtweiß. Die Lichtfarbe wird in Kelvin (K) angegeben. Mit zunehmendem Kelvinwert wirkt die Lichtfarbe weißer bzw. kälter.

Die Entwicklung der Leuchtmittel ist keineswegs abgeschlossen und es sind weitere erhebliche Verbesserungen der Energieeffizienz zu erwarten. Gerade die Leuchtdioden stehen noch relativ am Anfang ihrer Entwicklung. Die Lichtausbeute der LED konnte innerhalb eines Jahrzehnts nahezu verzehnfacht werden und weitere Steigerungsmöglichkeiten zeichnen sich bereits ab. Durch ihre kompakte Bauweise und die vergleichsweise geringe Wärmeentwicklung lassen sich LEDs auch in vielen neuen Situationen einsetzen, die früher problematisch zu beleuchten waren. Das bringt auch die Gefahr von Rebound-Effekten mit sich (siehe Seite 22), beispielsweise durch großflächige Decken- und Wand-Beleuchtungen.

Für eine vollständige Energiebilanz für Leuchtmittel müssen neben dem Betrieb auch Produktion, Transport, Entsorgung und Recycling berücksichtigt werden. Lebenszyklus-Analysen erfassen die gesamte Primärenergie, die ein Leuchtmittel ab seiner Herstellung verbraucht. Energiesparlampen und LEDs sind zwar energieaufwändiger in der Produktion als herkömmliche Glühlampen, sie halten aber auch 10- bis 50-mal länger – und sind deshalb rundum effizienter.

**Die Effizienz verschiedener Lichtquellen gemessen in Lichtstrom (Lumen) pro Stromeinsatz (Watt)**



Quelle: licht.de

Lumen/Watt (ohne Verluste durch Vorschaltgeräte)

## Mehr Effizienz in Haushalten: Top Runner

Um den Anteil sehr effizienter Geräte voranzubringen, hat die Europäische Union eine Reihe von politischen Werkzeugen entwickelt, die in den einzelnen Mitgliedsländern umgesetzt werden.

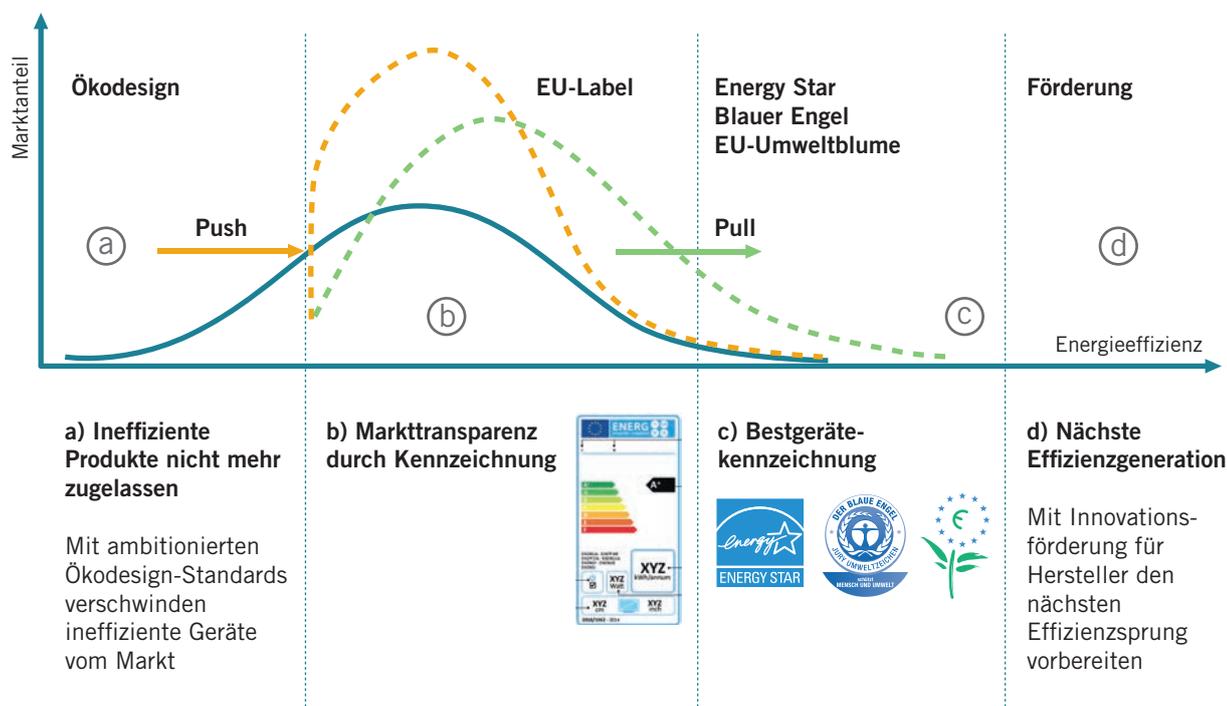
Die beiden wichtigsten Ansätze sind:

- Ökodesign-Richtlinie**  
 Die im Jahr 2005 in ihrer ersten Fassung verabschiedete Richtlinie zielt darauf ab, die Umweltverträglichkeit energierelevanter Produkte durch Mindesteffizienzanforderungen zu verbessern. Dies führt dazu, dass besonders ineffiziente Geräte schrittweise vom EU-Binnenmarkt ausgeschlossen werden.
- EU-Energieverbrauchskennzeichnung**  
 Das Energieverbrauchsetikett hilft beim Kauf energierelevanter Produkte, die Energiekosten und andere Umweltauswirkungen verschiedener Modelle miteinander zu vergleichen.

Hinzu kommt für zahlreiche Produktgruppen eine Kennzeichnung der besten Produkte, zum Beispiel mit dem Blauen Engel, dem „Energy Star“ oder dem Europäischen Umweltzeichen. In Verbindung mit Kriterien an eine umweltfreundliche und energieeffiziente öffentliche Beschaffung ergeben diese Werkzeuge gemeinsam die so genannte europäische Top-Runner-Strategie. Die Grundidee ist einfach: Durch gesetzlich vorgeschriebene Mindesteffizienzstandards dürfen ineffiziente Geräte nicht mehr in Verkehr gebracht werden. Mit der Ökodesign-Richtlinie wird somit eine „Push-Wirkung“ auf den Markt ausgeübt, die Gesamtpalette von energierelevanten Produkten in Richtung höherer Effizienz geschoben. Bei der Haushaltsbeleuchtung hat die Verordnung zum Beispiel zur Folge, dass Glühlampen mit einer Leistungsaufnahme größer als zehn Watt in der EU stufenweise bis August 2012 vom Markt genommen wurden.

Mit der Energieverbrauchskennzeichnung entsteht wiederum eine „Pull-Wirkung“: Dadurch, dass der Verbraucher die effizientesten Geräte erkennen kann und diese kauft, zieht die Nachfrage den Gesamtmarkt zu höherer Energieeffizienz. Auch bilden die effizientesten Produkte den Maßstab für künftige Ökodesign-Anforderungen.

### Die Push- und Pull-Wirkung des Top-Runner-Ansatzes



Quelle: ifeu

## Energiesparen durch achtsames Verhalten



### Beim Wasserkocher auf die Füllmenge achten

Ein Wasserkocher ist für das Erhitzen von Wasser effizienter als der Elektroherd. Kocht man jedoch mehr Wasser als nötig, steigt nicht nur der Energiebedarf, sondern auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß unnötig. Bei einem nicht verwendeten Liter Wasser pro Tag summiert sich das auf 25 Kilogramm CO<sub>2</sub> im Jahr. Zehn Euro kann man im Jahr einsparen, wenn man nur so viel Wasser kocht wie benötigt.



### Auf Klimaanlage verzichten

Klimaanlagen können an sehr heißen Tagen ein echter Genuss sein. Dem Klima schaden sie jedoch: 165 Kilogramm CO<sub>2</sub> stößt eine Klimaanlage aus, wenn sie an 30 Tagen im Jahr acht Stunden läuft. Klimaanlagen sind Stromfresser. So kann man 60 Euro im Jahr sparen, wenn Alternativen zur Klimaanlage (Verschattung, in den heißen Stunden Fenster geschlossen halten, in kühlen Stunden gründlich lüften etc.) genutzt werden.



### Laptop statt PC

Um eine möglichst lange Akku-Laufzeit zu gewährleisten, brauchen Laptops viel weniger Energie als Desktop-PCs – bis zu 140 Kilogramm CO<sub>2</sub> vermeiden sie jährlich gegenüber ihren großen Brüdern. Auch in der Nutzung von Kommunikationsgeräten kann man viel Energie sparen (Router programmieren, so dass er sich nachts abschaltet, Dauer-Onlinebetrieb vermeiden usw.). Gut für den Geldbeutel: 50 Euro kann man im Jahr sparen, wenn man auf einen praktischen Laptop umsteigt.



### Waschen ohne Vorwäsche

Vorwäsche ist überflüssig: Vor allem bei Textilien wie Bettwäsche oder Handtüchern sind die Verschmutzungen in den wenigsten Fällen so stark, dass vor der Hauptwäsche noch das Programm der Vorwäsche laufen muss. Verzichtet man darauf, wird die Wäsche trotzdem sauber, aber die benötigten Mengen an Strom, CO<sub>2</sub> und Geld verringern sich: Waschen ohne Vorwäsche vermeidet bei drei Waschgängen in der Woche 35 Kilogramm CO<sub>2</sub> im Jahr.



### Waschmaschine mit Warmwasseranschluss nutzen

Viele Wasch- und Spülmaschinen können auch direkt an die Warmwasserversorgung angeschlossen werden. Gerade bei besonders energieeffizienter Warmwasserbereitung – etwa mit einer modernen Gasheizung, mit einer Solaranlage oder mit Fernwärme – lohnt sich diese Maßnahme: So werden 45 Kilogramm weniger CO<sub>2</sub> pro Jahr ausgestoßen. Mit einer Solarthermieanlage ist die Einsparung sogar doppelt so hoch. Übrigens: Mit den modernen Waschmitteln reicht oft auch das Waschen bei niedrigen Temperaturen!



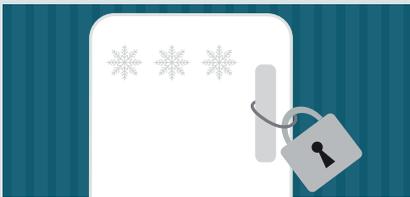
### Wäsche auf einem Wäscheständer trocknen lassen

Es ist immer energiesparender, die Wäsche auf einem Wäscheständer, einer Wäscheleine oder einer Wäschespinne statt im Trockner zu trocknen. Bis zu 395 Kilogramm CO<sub>2</sub> stößt ein Trockner im Laufe des Jahres aus – für etwas, das die Luft klimaneutral erledigen kann. Durch den Verzicht auf einen Wäschetrockner spart man so 135 Euro.



### Kühlschrank und Gefriertruhe abtauen lassen

Ein leichter Reifansatz an den Innenwänden der Kühl- und Gefriergeräte ist ganz normal. Wird der Reif dicker oder bildet sich eine Eisschicht, erhöht sich der Stromverbrauch. In diesem Fall sollte man das Gerät abtauen. Der Dauerbetrieb vereister Kühlgeräte verursacht 30 Kilogramm CO<sub>2</sub> pro Jahr. Eine Vereisung von fünf Millimetern Dicke erhöht den Stromverbrauch des Kühlschranks um 30 Prozent. Das macht selbst bei einem modernen Gerät der Klasse A+++ 10 Euro im Jahr aus.



### Kühlschranktür schnell schließen

Jedes Mal wenn die Kühlschranktür aufgeht und nicht gleich wieder geschlossen wird, entweicht Kälte, für deren Kompensation der Kühlschrank viel Energie braucht, die jährlich etwa 15 unnötige Kilogramm CO<sub>2</sub> erzeugt.



### Kochen mit Deckel

Auf jeden Topf gehört der passende Deckel und auf die Herdplatte der passende Topf. Damit kann man den Energieverbrauch beim Kochen um zwei Drittel senken.



### Energieverbrauch berechnen und kontrollieren

Wer seinen Energieverbrauch kennt, sieht Erfolge schneller und tut sich leichter beim Sparen. Neben Stift und Zettel oder einer Tabellenkalkulation gibt es ein praktisches Werkzeug: das kostenlose Energiesparkonto. Damit wird auch klar, wie der Verbrauch im Vergleich zum Durchschnitt aussieht. Wer es noch genauer wissen will, kann Strommesser für einzelne Geräte ausleihen – und mit dem Energiesparkonto bequem auswerten.

## Weiterführende Links



Ziel der Stromsparinitiative des Bundesumweltministeriums ist es, möglichst viele private Haushalte in Deutschland zu motivieren, ihre Energiesparpotenziale zu nutzen und Strom einzusparen.

► [www.die-stromsparinitiative.de](http://www.die-stromsparinitiative.de)

Die Nationale Top-Runner-Initiative (NTRI) ist eine Initiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, in der Politik, Umwelt- und Verbraucherschutz, Handel und Industrie zusammen daran arbeiten, dass Energiesparen im Alltag erleichtert wird und mehr effiziente Produkte auf den Markt kommen.

► [www.ntri.de](http://www.ntri.de)

Tipps und Informationen der gemeinnützigen Beratungsgesellschaft co2online zum Stromsparen

► [www.co2online.de/energie-sparen/ratgeber/stromcheck](http://www.co2online.de/energie-sparen/ratgeber/stromcheck)

Mit der Smartphone-App ecoGator lassen sich zuhause oder direkt im Laden die effizientesten Haushaltsgeräte finden und vergleichen.

► [www.ecogator.de](http://www.ecogator.de)

Die Initiative EnergieEffizienz der Deutschen Energie-Agentur (dena) informiert private Haushalte über effiziente Haushaltsgeräte und Stromsparen.

► [www.stromeffizienz.de](http://www.stromeffizienz.de)

Mit dem KühlCheck-Rechner ermittelt man, ob sich der Austausch eines alten Kühlgeräts lohnt und welches neue Gerät als effizienter Ersatz in Frage kommt.

► [www.klima-sucht-schutz.de/service/energiesparchecks/kuehlcheck](http://www.klima-sucht-schutz.de/service/energiesparchecks/kuehlcheck)

EcoTopTen informiert auf seiner Website Verbraucher und Beschaffer über ökologische Spitzenprodukte in den Kategorien Beleuchtung, Wärme, Strom, große Haushaltsgeräte, kleine Haushaltsgeräte, Fernseher, Computer/Büro, Mobilität, Lebensmittel und Textilien.

► [www.ecotopten.de](http://www.ecotopten.de)

Das kostenlose Energiesparkonto begleitet Verbraucher kontinuierlich beim Energiesparen. Es macht den Verbrauch von Heizenergie, Wasser, Strom und Benzin sichtbar und bilanziert die Erfolge von Einsparmaßnahmen.

► [www.energiesparkonto.de](http://www.energiesparkonto.de)



4

## 4 ENERGIEEFFIZIENZ IN INDUSTRIE UND GEWERBE

Neben den privaten Haushalten und dem Verkehrssektor ist der Bereich Industrie und Gewerbe der dritte große Energieverbraucher in Deutschland; knapp 44 Prozent des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland gehen in diesen Bereich. Gegenüber dem Jahr 2000 ist die Energienachfrage um rund vier Prozent gestiegen.

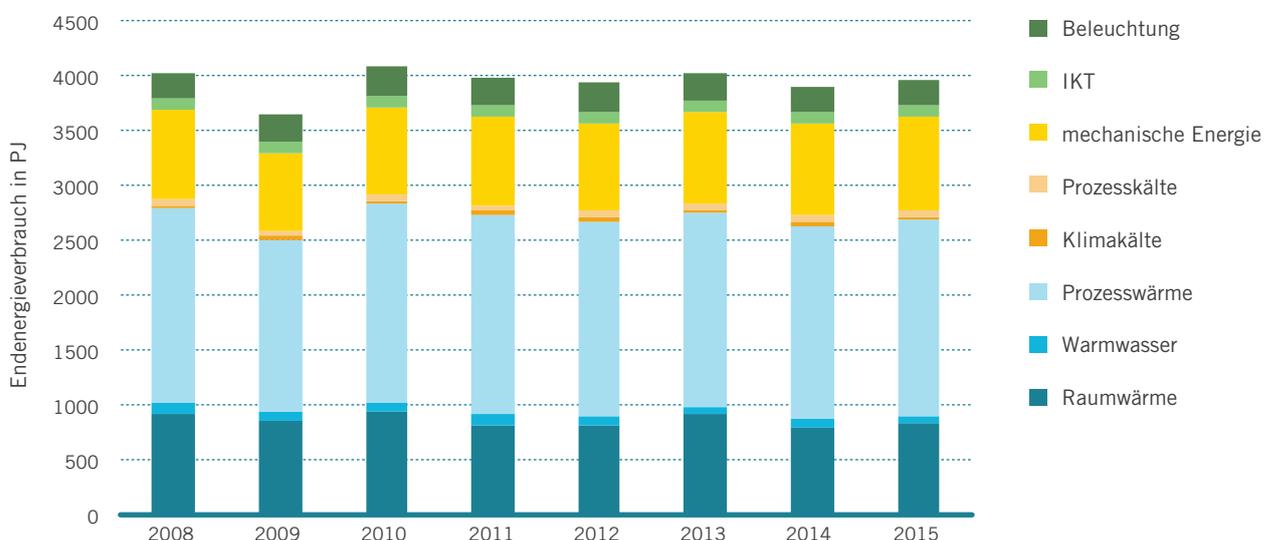
Zwischen den unterschiedlichen Branchen und Unternehmen gibt es große Gemeinsamkeiten beim Energieverbrauch und bei den Effizienzpotenzialen. Allein die elektrischen Antriebe von Mahlwerken, Walzen, Pressen, Kompressoren und anderen Motoranwendungen verursachen in der Industrie rund zwei Drittel des Stromverbrauchs. Durch die Summe von Querschnittstechnologien wie effizienten Motoren und durch branchenspezifische Lösungen ist das gesamte Potenzial der industriellen und gewerblichen Energieeffizienz hoch.

Sehr viele Effizienzmaßnahmen würden sich auch betriebswirtschaftlich rentieren. In einer Studie der Prognos AG wurden die Energieeffizienzpotenziale in den Branchen Metallerzeugung, Metallerzeugnisse, Maschinenbau, Elektrogeräte, elektrische Ausrüstungen und Automobilwirtschaft untersucht. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass sich über 80 Prozent der Effizienzpotenziale in weniger als drei Jahren wirtschaftlich amortisieren

und eine gute Rendite erzielen würden. Für den gesamten Industriesektor gilt: 20 bis 40 Prozent des Energieverbrauchs könnten zu wirtschaftlich vernünftigen Bedingungen in den nächsten zehn Jahren eingespart werden.

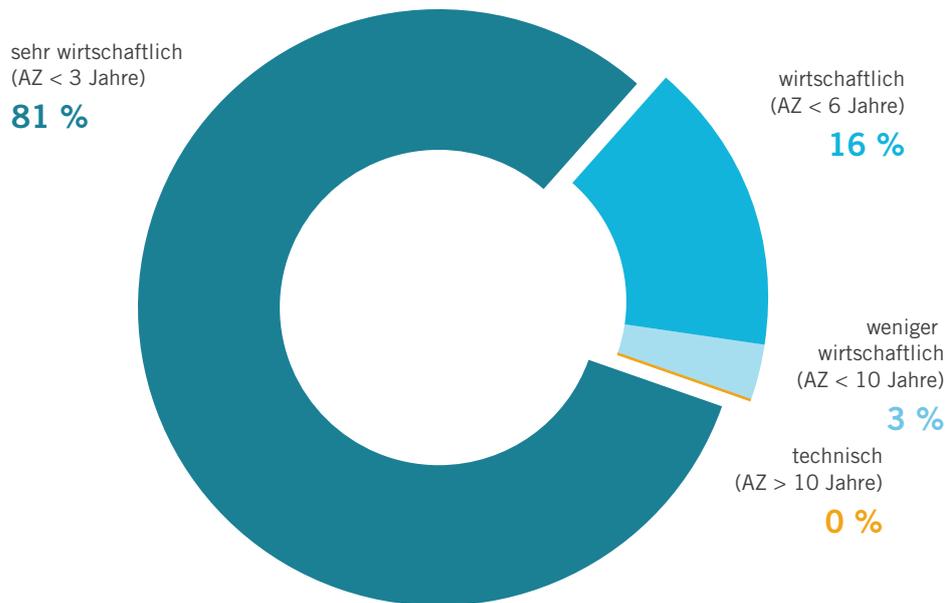
Für Unternehmen gibt es eine ganze Reihe von Hemmnissen, die verhindern, dass Effizienzpotenziale ausgeschöpft werden. So fürchten viele, dass eine Umstellung der Produktionsabläufe zu höherem Ausschuss, Qualitätsproblemen oder gar Produktionsausfällen führen könnte. Außerdem ist oft nicht sicher, wie schnell sich in Zeiten schwankender Energiepreise die Effizienz-Investitionen rentieren. Für viele Unternehmen hat Energieeffizienz zudem keine hohe Priorität, da sich ihre Innovationskraft auf das Kerngeschäft konzentriert. Häufig fehlt es auch an Detailkenntnissen zu den energetischen Prozessen und zum Energiebedarf des Unternehmens. Schließlich gibt es auch auf der Ebene der Mitarbeiter verschiedene Hemmnisse. Die Zuständigkeiten für energetische Fragen und Investitionen sind in vielen Unternehmen nach Investitionshöhen auf unterschiedlichen Management-Ebenen angesiedelt. Mancher Mitarbeiter fühlt sich nicht für Fragen der Energieeffizienz zuständig und verfügt weder über die erforderlichen Kenntnisse noch kennt er die richtigen externen Energieberater und Installationsfirmen.

### Endenergieverbrauch von Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen nach Anwendungen in der Zeitreihe von 2008 bis 2015



Quellen: Fraunhofer ISI, BMWi

### Effizienzpotenziale in produzierenden Unternehmen nach Amortisationszeit (AZ)



Quellen: Ökotec Energiemanagement und Prognos 2012

### Energieeffiziente Querschnittstechnologien

Zu den „Querschnittstechnologien“, die quer durch alle Branchen und Unternehmen in Industrie und Gewerbe eingesetzt werden, zählen elektrische Motoren, Pumpen sowie Lüftungs- und Kühlanlagen. Außerdem kommen in fast allen Betrieben Computer und andere Geräte der Informationstechnologie und elektrische Beleuchtung zum Einsatz.

#### Elektrische Motoren

Mit rund 200 Milliarden Kilowattstunden (200 TWh) gingen knapp 40 Prozent des gesamten deutschen Stromverbrauchs im Jahr 2015 auf das Konto stationärer elektrischer Antriebe – also von Elektromotoren unterschiedlichster Größe. Mehr als 90 Prozent der Gesamtkosten eines Elektromotors über die Lebensdauer entfallen auf den Stromverbrauch, weniger als zehn Prozent auf die Anschaffung. Effiziente Elektromotoren mit höherem Wirkungsgrad führen entsprechend zu erheblichen Einsparungen – sowohl auf gesamtwirtschaftlicher als auch betrieblicher Ebene.

Die Energieeffizienz von Motoren kann erheblich gesteigert werden, indem man elektrische, magnetische und mechanische Verluste reduziert. Elektromotoren in der Industrie

sind außerdem aufgrund von Unkenntnis, übertriebenen Sicherheitszuschlägen oder erwarteter Produktionsausweitung oft für ihren Zweck zu groß. Überdimensionierte Motoren laufen meist in Teillast und deshalb mit deutlich geringeren Wirkungsgraden als bei optimaler Auslastung.

Bei Motoren mit einer stufenlosen Drehzahlregelung lässt sich die Leistung an einen wechselnden Bedarf anpassen. Dadurch werden gleichzeitig Verschleiß und Geräuschpegel vermindert. Insgesamt könnte durch den Einsatz der elektronischen Drehzahlregelung der Verbrauch um etwa ein Viertel gesenkt werden.



Effizienter Motor, Quelle: Stock photo © BigJoker



Pumpen kommen in vielen Bereichen zum Einsatz, Quelle: Stock photo © TERADAT SANTIVIVUT

### Pumpen und Pumpensysteme

Pumpen sind die am weitesten verbreiteten Arbeitsmaschinen und kommen in vielen Bereichen zum Einsatz. In nahezu allen Gebäuden, sowohl Wohn- und Büro- als auch Betriebsgebäuden, werden sie für die unterschiedlichsten Anwendungen eingesetzt. Umwälzpumpen arbeiten in geschlossenen Systemen, wie zum Beispiel Heizungs- und Klimaanlageanlagen. In offenen Systemen, etwa in der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, kommen Förderpumpen zum Einsatz. Der Wirkungsgrad der Pumpen kann vor allem dadurch erhöht werden, dass der effizienteste Typ für die jeweilige Anwendung und Betriebsumgebung ausgewählt wird. Durch Einsatz energieeffizienter Pumpen lassen sich erhebliche Stromeinsparungen erzielen. Die beste verfügbare Technik haben bei Wasserpumpen Kreiselpumpen mit einem Wirkungsgrad von 90 Prozent. Dies entspricht einer Effizienzsteigerung von 10 bis 15 Prozent gegenüber durchschnittlichen, heute eingesetzten Pumpen.

Die europäische Ökodesign-Richtlinie unterscheidet nach Umwälzpumpen und Wasserpumpen. Für Wasserpumpen trat die erste Stufe der Mindesteffizienzanforderungen 2013 und die zweite Stufe zu Beginn des Jahres 2015 in Kraft.

Durch Kombination von Pumpen mit hocheffizienten Motoren und einer flexiblen Regelung, beispielsweise mit Frequenzumrichtern, lässt sich noch mehr Strom einsparen. So wurde errechnet, dass bei flächendeckender Nutzung heute verfügbarer hocheffizienter Umwälzpumpentechnik mit elektronisch kommutierten Motoren rund 60 Prozent des jährlichen Stromverbrauchs für Umwälzpumpen eingespart werden können.

Um bei der Nachrüstung von Regelungssystemen die Energieeffizienzpotenziale vollständig auszuschöpfen, müssen Pumpensystem und Regelung optimal aufeinander abgestimmt werden, zum Beispiel bei Heizungssystemen durch einen hydraulischen Abgleich (siehe Seite 40 f.).

## Pumpenoptimierung im Chemiapark Marl



Die Infracor GmbH war bis Juli 2013 der Betreiber des Standortes „Chemapark Marl“. Der Bereich Technik war zuständig für die Instandhaltung der Betriebsstätten und Pumpensysteme. Auf dem Gelände werden rund 10.000 Pumpen (einschließlich Pumpen in den Chemieanlagen) betrieben. Nach einer Analyse exemplarischer Pumpensysteme vor Ort fiel die Entscheidung für einen Ersatz

mehrerer Pumpen in verschiedenen Heizungs- bzw. Kühlwasserkreisläufen durch Pumpen mit energieeffizientem EC-Motor (electronically commutated motor). Insgesamt 40 Pumpen wurden ersetzt. Bei Investitionskosten von 40.000 Euro spart der Betreiber jetzt eine Strommenge von 90.000 Kilowattstunden pro Jahr und damit Betriebskosten von etwa 12.000 Euro jährlich.

## Druckluft

Druckluft wird für viele Anwendungen und in zahlreichen Branchen in Industrie und Gewerbe eingesetzt, zum Beispiel für Schnellschrauber, Meißel oder pneumatische Förderanlagen, aber auch als Prozessluft in Verfahren und in der industriellen Vakuumtechnik. In diesen Anwendungsfeldern wird Druckluft unter anderem zum Verpacken, Trocknen, Spannen, Klemmen, Belüften, Saugen, Ausblasen, Reinigen, Heben, Positionieren, als Werkzeugantrieb und zum Schüttguttransport genutzt.

Der Energieaufwand und damit die Energiekosten zur Bereitstellung von Druckluft sind jedoch sehr hoch. Darüber hinaus ist es aufwändiger und schwieriger, die Nutzenergie Druckluft zu verteilen als Strom. Etwa 14 Milliarden Kilowattstunden (14 TWh) entfallen pro Jahr in Deutschland auf Druckluftanwendungen – das sind etwa sechs Prozent des industriellen Stromverbrauchs. Durchschnittlich können in Druckluftanlagen etwa ein Drittel des Stromverbrauchs wirtschaftlich eingespart werden, wobei in älteren Anlagen im Vergleich zu modernen Druckluftanlagen oft Einsparungen von mehr als 50 Prozent möglich sind.

Der Gesamtwirkungsgrad eines Druckluftsystems lässt sich durch eine Reihe von Einzelmaßnahmen verbessern, z. B.:

- **Abdichtung von Leckagen**

Bei über Jahre gewachsenen Druckluftnetzen aus unterschiedlichen Werkstoffen, verschiedenen nicht optimalen Durchmesser, mehr oder weniger korrosionsbeständigen Materialien und unterschiedlichen Verbindungsarten kann es auch im Rohrleitungsnetz hohe Leckageraten geben. Oft sind die undichten Stellen auch an den Maschinen und Anlagen zu finden.

- **Nutzung der Abwärme**

Bei der Druckluftherzeugung fallen große Mengen an Wärme an. Allein ein mittelgroßer Kompressor mit 18,5 Kilowatt Leistung erzeugt so viel Wärme, dass man damit mühelos ein Einfamilienhaus beheizen könnte. Die Nutzung der Abwärme ist nicht nur technisch möglich, sondern auch wirtschaftlich. Die zusätzlichen Aufwendungen für die Installation einer Wärmerückgewinnungsanlage in dieser Größenordnung rentieren sich erfahrungsgemäß bereits innerhalb weniger Jahre. Bedingung für die effiziente Abwärmenutzung ist jedoch, dass die Wärme möglichst an Ort und Stelle verwendet werden kann.

- **Verbesserung der Luftführung im Rohrnetz, um Druckverlust durch Reibung zu vermindern**

Oft stammen die Rohrleitungsnetze noch aus einer Zeit, in der die Energie preiswert und möglicherweise auch die Leistung der Druckluftanlage geringer war. Deshalb sind häufig zu enge Leitungsquerschnitte verbaut, die zu hohen Druck- und Energieverlusten führen.



Druckluftanlage, Quelle: Fotolia © markobe



Energieeffiziente Hallenbeleuchtung, Quelle: Stock photo © timy1973

## Beleuchtung

Elektrisches Licht hatte mit rund 78 Milliarden Kilowattstunden (78 TWh) im Jahr 2015 einen Anteil von rund 14 Prozent am Bruttostromverbrauch in Deutschland. Besondere Bedeutung kommt dabei dem Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) zu, in dem mehr als 20 Prozent des Stromverbrauchs für Beleuchtung eingesetzt werden, insbesondere für Straßenbeleuchtung, Bürobeleuchtung, repräsentative Beleuchtung (z.B. Verkaufseinrichtungen, Hotels, Außenwerbung) sowie für die Beleuchtung von Sportstätten. In der Industrie spielt die Beleuchtung mit fünf Prozent Anteil am Stromverbrauch eine etwas kleinere Rolle. Wie ab Seite 44 im Kapitel „Energieeffizienz in privaten Haushalten“ ausführlich beschrieben, lassen sich durch moderne Lampentypen und durchdachte Beleuchtungskonzepte bis zu 80 Prozent des Stromverbrauchs einsparen.

Im Bereich Industrie und Gewerbe lassen sich einige Effizienzpotenziale besonders hervorheben:

- Einsatz von LED-Beleuchtung oder Energiesparlampen (Kompaktleuchtstofflampen) statt Glühlampen
- Einsatz von Spiegelrasterleuchten
- optimierter Betrieb von Leuchten durch Zeitschaltuhren, Bewegungsmelder, tageslichtabhängige Steuerung und Gebäudeleittechnik

## Heizen mit Kälteanlagen



Die Bäckerei und Konditorei Richard Nußbaumer GmbH in Waldbronn spart durch Wärmerückgewinnung aus Kälteaggregaten sowie durch bei einer Erweiterung umgesetzte Maßnahmen jährlich ca. 9.000 Kubikmeter Erdgas ein. Die gesamte Produktionsfläche von 3.800 Quadratmetern und die Büroräume werden seit einer Erweiterung 2009/2010 über Fußbodenheizung aus der Wärmerückgewinnung der Kälteanlagen beheizt. Zu den Kälteanlagen

zählen Kühlzellen, Froster und Schockfroster. Zusätzlich wurde bei der Erweiterung die Beleuchtung durch LED-Leuchten ausgetauscht und eine Photovoltaik-Anlage auf dem Produktionsgebäude installiert.

Auf die Investitionen von 55.000 Euro erwirtschaftet das Unternehmen durch die eingesparten Energiekosten eine interne Verzinsung von sieben Prozent.

### Lüftung und Kühlung

Lüfter werden in sehr vielen verschiedenen Anwendungen in Industrie und Gewerbe eingesetzt. Sie stecken etwa als sehr kleine Einheiten in Computern zur Kühlung elektronischer Baugruppen. Am anderen Ende des Größenspektrums finden sich beispielsweise Brennluft-Gebläse von Kraftwerken. Wie auch bei anderen Querschnittstechnologien kann beim Betrieb von Lüftungsanlagen Energie viel effizienter genutzt werden, wenn die Leistung der Anlage gemäß dem tatsächlichen Bedarf ausgelegt, die Anlage also nicht überdimensioniert ist.

Auch bei der Kältetechnik gibt es große Effizienzpotenziale. Kältemaschinen nutzen Verdunstungskälte, die entsteht, wenn eine Flüssigkeit (Kühlmittel) verdampft. Bei diesem physikalischen Prozess wird der Umgebung Wärme entzogen, so dass die Temperatur sinkt. Indem die Kälte auf die Trägermedien Luft oder Wasser übertragen wird, kann sie in Kühl- und Gefrierräumen oder zur Kühlung von Gebäuden und Industrieprozessen genutzt werden. Ein Kältemittel transportiert dann die Wärmeenergie vom Kühlgut zur Umgebung.

Die meisten Kältemaschinen werden mit elektrischem Strom angetrieben, aber auch thermische und mechanische Antriebe sind möglich. Insgesamt verbrauchen Kältemaschinen derzeit 15 Prozent der gesamten deutschen Elektroenergie.

Ein wichtiges Anwendungsfeld für Kältetechnik sind Industrie und Gewerbe. In der Regel sind Kältemaschinen ein fester Bestandteil heutiger Produktions- und Logistikketten. Dabei unterscheiden sich die einzelnen Anlagen in ihrer Ausführung und Größe erheblich. Das Prinzip dahinter ist jedoch immer das gleiche: An einer Stelle wird Kälte erzeugt, die an einer anderen Stelle in das Produkt oder den Prozess einfließen muss. Das heißt: Wärme, die an einer Stelle entzogen wird, muss an einer anderen Stelle an die Umgebung abgegeben werden.

Statt der weit verbreiteten energiehungrigen Kompressionskältemaschinen ist es effizienter, offene Lüftungssysteme zu nutzen, um große Maschinen zu kühlen. Solche Systeme benötigen erheblich weniger Energie, obwohl sie Ventilatoren verwenden. In Rechenzentren oder EDV-Räumen beispielsweise reicht es aus, auf 26 Grad Celsius zu kühlen – solche Temperaturen lassen sich an vielen Tagen durch die freie Kühlung mit Außenluft erreichen.

Kältemaschinen sind oft für hochsommerliche Temperaturen ausgelegt und im Winter in der Regel deutlich überdimensioniert. Durch häufiges Ein- und Ausschalten verbrauchen sie mehr Energie als für die Kühlaufgabe eigentlich erforderlich. Die optimale Einstellung und Wartung der Kälteanlage und die Betrachtung der Kälteanlage in einem ganzheitlichen, integrierten Energiekonzept spart Energie und ist nachhaltig. Neben der Prozessoptimierung kann auch die entstandene Abwärme genutzt werden.

Vor allem bei der gewerblichen Kältetechnik sind noch Einsparungen an Energie, Geld und CO<sub>2</sub> möglich. Dabei spielen vor allem die regelmäßige Wartung der Anlagen sowie der Einsatz von Komponenten des neuesten Stands der Technik eine wichtige Rolle. Allein durch den Einsatz von am Markt verfügbarer Technik können in Kälteanlagen in Deutschland jedes Jahr ca. elf Milliarden Kilowattstunden (11 TWh) eingespart werden.

Um dieses Einsparpotenzial zu nutzen, fördert das Bundesumweltministerium seit 2008 im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative Effizienzmaßnahmen an gewerblichen Kälteanlagen. Nach ersten Evaluierungen optimieren diese Maßnahmen den Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen um 40 Prozent.

## Abwärmenutzung

Prozesswärme wird in vielen Betrieben eingesetzt, um Heißwasser oder Dampf bereitzustellen, Zwischenprodukte zu trocknen und zu entwässern, Materialien zu erwärmen, zu destillieren, zu pasteurisieren, zu waschen, zu reinigen oder einzudampfen. Der Endenergieeinsatz für Prozesswärme betrug im Jahr 2015 rund 41 Prozent des gesamten Energiebedarfs für Wärme. Die wärmeleitenden Stoffe – beispielsweise Luft, Wasser oder Materialien – tragen nach den Prozessen einen Teil der Wärme noch in sich. Diese könnte für weitere Prozesse genutzt werden – sonst geht sie als Abwärme verloren.

Die Abwärme kann entweder im selben Betrieb für einen weiteren Prozess verwendet werden oder sie wird zum Beispiel durch Einspeisung in ein Wärmenetz an einen externen Abnehmer weitergereicht. Die Wärme wird von einem Medium auf ein anderes meist in einem Wärmetauscher übertragen. Energetisch führt die zusätzliche Wärmenutzung aber auch zu Verlusten, zum Beispiel für Ventilatoren, Pumpen und den Transport zum Wärmekunden. Es ist deshalb besser, zunächst die Produktionsprozesse zu optimieren, so dass möglichst wenig Abwärme anfällt. Dann ist es effizienter, die verbleibende Abwärme im eigenen Betrieb einzusetzen, als sie auszukoppeln und extern zu nutzen.

Aus Abwärme kann übrigens auch Strom gemacht werden: Bei Abgasströmen auf einem hohen Temperaturniveau können spezielle Turbinen (ORC-Turbinen) eingesetzt werden, die auch in Geothermie-Kraftwerken zum Einsatz kommen. In Deutschland gibt es bislang nur wenige solche Anlagen.

## Green IT – effiziente Informationstechnologie

Die dynamische technische Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) führt zu einer erheblichen Erweiterung des Gerätespektrums. Zum anderen werden viele Softwareaufgaben und ein erheblicher Teil der Datenspeicherung zu externen Diensteanbietern verlagert, in die so genannte Datenwolke (Cloud-Computing).

Infolge der rasanten Entwicklung steigt auch der Stromverbrauch für IKT in Deutschland immer weiter. Im Jahr 2015 betrug er zwölf Prozent des gesamten Stromverbrauchs. Trendanalysen gehen von einer Zunahme des IKT-Stromverbrauchs in Deutschland bis 2020 um 20 Prozent gegenüber dem Jahr 2010 aus. Um den Anstieg zu bremsen oder gar den Stromverbrauch der Informationstechnologie zu senken, ist eine Strategie notwendig, die meist unter dem Schlagwort „Green IT“ zusammengefasst wird:

- Einsatz der effizientesten verfügbaren Technik bei Hard- und Software (*Green Components*)
- Entwicklung von Systemlösungen für energieeffiziente und leistungsfähige Server und Rechenzentren (*Green Computing*)
- Entwicklung von Systemlösungen für energieeffiziente und leistungsfähige Breitbandanschlüsse und Netzinfrastrukturen (*Green Networks*)
- Verbesserung der Information über den Energieverbrauch von IKT-Komponenten und -Geräten bei der Beschaffung (*Green Procurement*) und Nutzung sowie über verhaltensbedingte Möglichkeiten zur Erhöhung der Energieeffizienz (*Green Information*)

## Abwärmenutzung einer Druckerei



Die Firma Körner Rotationsdruck in Sindelfingen verwendet vier moderne Offset-Rotationsdruckmaschinen. Dabei ist es notwendig, die Papierbahnen im Anschluss an den Druckprozess zu trocknen. Das geschieht mit erdgasbefeuerten Trocknern, die eine integrierte Nachverbrennung der kohlenwasserstoffhaltigen Abluft beinhalten. Das dort entstehende Reingas, das 400 Grad Celsius heiß ist, wurde lange ungenutzt an die Umgebung abgegeben.

Nach einer energetischen Umrüstung wird die Abwärme nun mit Wärmetauschern auf dem Dach der Produktionshalle genutzt, um Wasser aufzuheizen. Die Wärme wird dann mit einem Nahwärmenetz in eine nahegelegene Siedlung transportiert. Die Kosten des Projekts lagen bei rund 1,5 Millionen Euro.

Die Leistungsaufnahme und damit der Stromverbrauch im Bereitschafts- und Schein-Aus-Zustand (Standby- und Off-Mode) wurde bei Geräten und Komponenten der IKT in den vergangenen Jahren aufgrund der Ökodesign-Mindesteffizienzstandards drastisch reduziert. Damit haben Schein-Aus-Verluste bei heutigen und zukünftigen Geräten nur noch eine untergeordnete Bedeutung. Im Fokus stehen jetzt deshalb die Leistungsaufnahmen und Stromverbräuche im Betriebsmodus und in verschiedenen Stufen von Bereitschaftszuständen (Sleep, Idle/Leerlauf, passives und aktives Standby etc.). Für diese werden ebenfalls im Rahmen der Ökodesign-Richtlinie Mindestenergieeffizienzstandards festgelegt.

Darüber hinaus werden Strategien zur Stromverbrauchsreduktion bei den meisten IKT-Geräten und -Komponenten verfolgt und versprechen in der Summe die Ausschöpfung erheblicher Energieeinsparpotenziale. Dazu gehört die Verbesserung des Leiterplattenmaterials und -designs zur Verringerung der Leitungsverluste, die Miniaturisierung elektrischer, elektronischer, optischer und mechanischer Komponenten und die Erhöhung des Wirkungsgrades der Stromversorgungseinheiten (Netzteile).

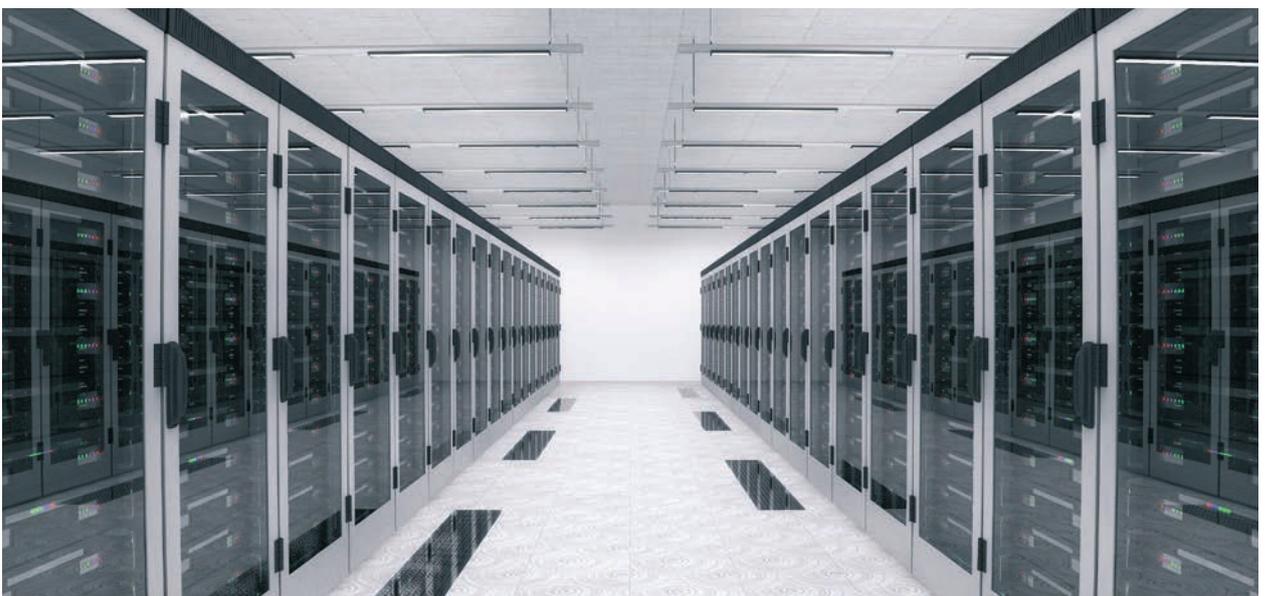
Bislang noch in den Anfängen steckt die energiesparende Programmierung von Anwendungen selbst – so genannte Grüne Software. Im Vordergrund steht dabei, bereits während der Programmierung ein Bewusstsein für Ressourceneffizienz zu schaffen. Die gängigen Programme sprechen heutzutage aufgrund der Überverfügbarkeit von Rechen- und Speicherleistung die Hardware ineffizient an. Allein

die Funktionalität des Programms steht im Vordergrund. Dabei werden entweder Hardwareressourcen für nicht benötigte Programmfunktionen reserviert oder es wird Rechenlast erzeugt, die für die Ausführung der vom Nutzer gewünschten Programmfunktionen gar nicht erforderlich ist. Hierbei spielt zum einen die Programmierung selbst und zum anderen die verwendete Programmiersprache eine Rolle.

### Stromverbrauch von Servern mit großem Potenzial

Der rasant wachsende Stromverbrauch von Servern und Rechenzentren wird von Unternehmen in zunehmendem Maße als Kostenfaktor bzw. Kostensenkungspotenzial erkannt. Mit Sofortmaßnahmen lassen sich in vielen Fällen bereits innerhalb weniger Wochen Stromeinsparungen von bis zu 20 Prozent erzielen, mit langfristigen Maßnahmen können 50 bis 75 Prozent erreicht werden.

Die meisten IKT-Geräte verfügen heute über Energiesparmodi, durch die sich der Stromverbrauch erheblich senken lässt, wenn sie über die entsprechenden Softwareeinstellungen in Leerlaufzeiten aktiviert sind. So kann beispielsweise die Leistungsaufnahme von PC und Monitor um bis zu 97 Prozent vermindert werden. Auf Bildschirmschoner sollte grundsätzlich verzichtet werden, da sie meist zu einem besonders hohen Stromverbrauch führen.



Green IT, Quelle: Stock photo © gogo\_b

## Energieeffizienz einzelner Branchen

Neben Querschnittstechnologien gibt es auch in den einzelnen Branchen unerschlossene spezifische Energieeffizienzpotenziale. Einige von ihnen lassen sich exemplarisch für die beiden wichtigen Branchen Stahl und Papier aufzeigen.

### Stahlherstellung

Stahl ist der wichtigste Werkstoff in Baugewerbe, Stahlbau, Schiffsbau, Schienenbau und in der Elektrotechnik. Das Energieeffizienzpotenzial in der Branche ist hoch – es können langfristig 75 Prozent der Emissionen eingespart werden.

Während des Betriebs eines Hochofens fallen große Mengen Hochofengas an, welches zu 20 bis 28 Prozent aus Kohlenmonoxid und zu ein bis fünf Prozent aus Wasserstoff besteht. Beide Gase stellen eine nutzbare Energiequelle dar. Das Hochofengas sollte deshalb für eine spätere Nutzung als Brennstoff gereinigt und in Gasbehältern zwischengespeichert werden.

Viele Stahlfirmen setzen für die bedeutendsten Energieströme an einem Standort ein ständig aktualisiertes Online-Überwachungssystem ein. Die Daten werden langfristig gespeichert und sollen helfen, typische Prozesssituationen zu analysieren und zu verbessern. Besonders wichtig ist die Überwachung der Gasfackeln, über die immer wieder überschüssiges Hochofengas verbrannt werden muss.

Ein vorbildliches Beispiel für die erfolgreiche Umsetzung verschiedener Energieeffizienzmaßnahmen ist die Salzgitter Flachstahl GmbH, die unterschiedliche Sorten von Stahlblechen für Automobilhersteller und -zulieferer, Röhrenhersteller, die Bauindustrie, den Maschinenbau und die Haushaltsindustrie herstellt. Sie konnte ihren Energiebezug um mehr als 25 Prozent reduzieren und damit auch erhebliche Kosten sparen. Auf dem Weg dorthin setzte das Unternehmen insgesamt 118 Energieeffizienzmaßnahmen um, unter anderem verbesserte das

Unternehmen die Gewinnung der Kuppelgase, die im Hochofen-, Kokerei- und Stahlwerksprozess entstehen und die im eigenen Kraftwerk verstromt werden.

Einige der Maßnahmen, wie die Optimierung des Druckluftverbrauchs und der Hallenheizung, werden nicht nur in der Stahlindustrie angewandt, sondern sind auch auf andere Industriezweige und -prozesse übertragbar. So wurden auch drehzahloptimierte Motoren, eine effizientere Druckluftanlage und moderne Hallenbeleuchtungen eingeführt.

In Summe aller Energieeffizienzmaßnahmen des Projekts wurde der Energieverbrauch der Flachstahlproduktion um 580 Millionen Kilowattstunden (580 GWh) gesenkt.

### Papier-Industrie

Die Papier-Industrie ist eine der energieintensivsten Branchen in Deutschland – sowohl was die Prozesswärme als auch was den Stromverbrauch angeht. Die weitere Automatisierung der Produktion wird den Stromverbrauch in Zukunft noch steigen lassen. Das Energieeffizienzpotenzial ist langfristig mit 50 Prozent sehr hoch. Ein Beispiel ist die Stoffaufbereitung, zu der die Arbeitsgänge Suspensieren, Reinigen und Mahlen der Faserstoffe, das Mischen der verschiedenen Faserstoffarten und die Zugabe von Füll- und Hilfsstoffen gehören. Für den Transport der Stoff- und Wasserströme sind eine Vielzahl von Pumpen im Einsatz, bei großen Papierfabriken bis zu 1.000 Aggregate. Je nach Sortenbereich kann der Stromverbrauch für den Pumpenpark bis zu 30 Prozent des Gesamtstromverbrauchs betragen. Durch effiziente Technologien kann hier in den nächsten zehn Jahren ein Viertel des Energiebedarfs eingespart werden.

Die Niedertemperaturabwärme in der Zellstoff- und Papierherstellung wird oft noch nicht effizient genutzt: Über das Wassersystem und die Abluft geht diese Wärme verloren, könnte aber grundsätzlich auch außerhalb der Fabrik verwendet werden. Die Wirtschaftlichkeit hängt dabei stark von den vorhandenen Abnehmern und den logistischen Randbedingungen ab.

Ein vorbildliches Referenzprojekt ist die Modernisierung der Sappi Stockstadt GmbH in Unterfranken. Das Unternehmen stellt Feinpapiere für den hochwertigen Bilderdruck her. Mit einem Anteil von 25 Prozent am Gesamtstromverbrauch zählen die ca. 2.500 Pumpen zu den größten Verbrauchern. Im Anschluss an eine Untersuchung von 27 Pumpensystemen wurden drei Systeme durch den Einsatz kleinerer, drehzahl geregelter Pumpen mit hocheffizienten Motoren optimiert. Dadurch kann der aktuelle Bedarf bei einem hohen Wirkungsgrad gedeckt werden. Der Stromverbrauch für diese Systeme konnte um 20 bis 40 Prozent reduziert werden.



Stahlherstellung, Quelle: Stock photo © fmajor

## Mit Energiemanagement Potenziale erkennen

Obwohl sich sehr viele Energieeffizienzinvestitionen innerhalb kurzer Zeit betriebswirtschaftlich amortisieren würden, zögern viele Unternehmen, sie umzusetzen. Eine Möglichkeit, die größten Hemmnisse zu überwinden, ist es, ein betriebliches Energiemanagement einzuführen.

1. Als Erstes gilt es, für das Unternehmen klare Organisationsstrukturen zu schaffen und deshalb einen Vertreter der Unternehmensleitung zum „Energiemanager“ zu ernennen. Sinnvoll ist es auch, zusätzlich aus möglichst vielen Bereichen des Unternehmens ein „Energie-Team“ zusammenzustellen.
2. Die Analyse der Ausgangssituation des Unternehmens ist die Voraussetzung, um Effizienzmaßnahmen sinnvoll und effektiv zu planen. Für jeden Unternehmensbereich sollte die Auswertung der Bestandsdaten und die Ermittlung der Effizienzpotenziale einzeln durchgeführt und miteinander verglichen werden. Dabei können auch externe Energieberater helfen.
3. Auf der Basis der Analyse der Ausgangssituation sollten der Energiemanager und sein Team messbare Ziele formulieren. Das hilft dem Unternehmen, den Erfolg der Energieeffizienzmaßnahmen kontinuierlich zu überprüfen. Auf der Grundlage der Ziele kann dann ein konkreter Aktionsplan mit Zeiträumen entwickelt werden.
4. Bei der Umsetzung der Maßnahmen kommt es auf ein gutes Projektmanagement an. Der Prozess sollte systematisch dokumentiert und überprüft werden, um

Fehlentwicklungen früh zu erkennen. Dann können die Verantwortlichen die Einhaltung der vorgegebenen Zeitpläne, des Kostenbudgets und die Kommunikation im Unternehmen steuern.

5. Nach der Durchführung der Effizienzmaßnahmen ist es wichtig, den gesamten Prozess und das Ergebnis zu bewerten. Wurde das Ziel erreicht? Welche Probleme sind aufgetaucht und wie wurden sie gelöst? Lässt sich der Ablauf für kommende Effizienzmaßnahmen verbessern?

Mit der Auswertung des Erreichten und der Überprüfung der Effizienzziele im Unternehmen kann dann die nächste Runde des Managementkreislaufs beginnen.

Bisher mussten energieintensive Betriebe, die am Spitzenausgleich teilnehmen oder von der EEG-Umlage befreit werden wollten, ein Energiemanagementsystem einführen. Mit der Novellierung des Energiedienstleistungsgesetzes im Frühjahr 2015 müssen nun alle Unternehmen, die nicht als kleines oder mittelständisches Unternehmen im Sinne der EU-Definition gelten, erstmals ein Energieaudit nach DIN EN 16247-1 oder alternativ ein Energiemanagementsystem nach DIN EN ISO 50001 einführen.

Darüber hinaus besteht für Unternehmen und Organisationen die Möglichkeit, ein Umweltmanagementsystem, beispielsweise das so genannte Eco-Management and Audit Scheme (EMAS), einzuführen. Durch eine entsprechende Zertifizierung kann nachgewiesen werden, dass Umweltvorschriften eingehalten und selbst gesteckte Umweltziele erreicht werden.

### Ablauf des Energiemanagements nach ISO 50001, Planung – Umsetzung – Überprüfung – Verbesserung



Quelle: BMUB

## Energieeffizienz durch neue Werkstoffe und Prozesse

Bereits heute entwickeln Forscher in Hochschulen und in der Industrie Materialien, Anlagen und Verfahren, die in den nächsten Jahren den Markt für Effizienzprodukte bereichern können. Häufig nutzen sie dabei die Nanotechnologie, Biotechnologie, Mikrosystemtechnik sowie die Systemintegration unterschiedlicher Prozesse und Materialien. Insbesondere die Systemintegration birgt ein großes Einsparpotenzial, denn sie betrachtet die Energie- und Stoffströme geschlossener Produktionsabläufe umfassend und kann so Verluste, besonders Abwärme und Abfall, minimieren.

Neue effiziente Werkstoffe und Prozesse führen auch zu veränderten Produkten und Anlagen. Beispiele hierfür sind:

- neue energieeffiziente Materialien, insbesondere im Bereich der Mikro- und Nanotechnologie und der Funktionskunststoffe
- Oberflächen, die besonders behandelt sind und so die Reibung und damit die Energieverluste vermindern
- neue Trocknungsverfahren, etwa auf Basis von Mikrowellen-Technologie, die den Stromeinsatz deutlich verringern
- Lokalisierung von Wärmebedarf etwa durch Laser-Prozesswärme
- niedrigere Prozesstemperaturen durch Einsatz von Katalysatoren
- Substitution von Stahl und Zement durch weniger energieintensive Werkstoffe, beispielsweise Aluminium oder Keramiken
- Recycling und geschlossene Materialkreisläufe zur Reduktion der Extraktionsenergie

## Maßnahmen der Politik

Auch die Bundesregierung hat die Bedeutung der Energieeffizienz in Industrie und Wirtschaft für das Gelingen der Energiewende erkannt. Der Ende des Jahres 2014 vom BMWi vorgelegte „Nationale Aktionsplan Energieeffizienz“ (NAPE) beschreibt Anreize und sieht Sofortmaßnahmen vor, um in diesen Sektoren noch mehr Energie einzusparen. Angelaufen sind zum Beispiel Förderprogramme für Unternehmen, wie STEPup! und das Pilotprogramm Einsparzähler. Zusätzlich sieht der NAPE vor, bis zum Jahr 2030 eine flächendeckende Einrichtung von 500 industriellen Energieeffizienz-Netzwerken zu unterstützen, in denen die beteiligten Unternehmen Effizienzziele für das jeweilige Netzwerk definieren und umsetzen. Die Netzwerke werden dabei durch qualifizierte Energieberater unterstützt.

Die vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) koordinierte Förderung von Querschnittstechnologien vergibt beispielsweise Zuschüsse für Einzelmaßnahmen – etwa die Einführung hocheffizienter Anlagen und Aggregate. Es wird aber auch systemische Optimierung gefördert. Dabei wird auf Grundlage eines unternehmensindividuellen Konzepts die Erneuerung von mindestens zwei Querschnittstechnologien ab einem Investitionsvolumen von 30.000 Euro gefördert.

Die Einführung von Energiemanagementsystemen wird ebenfalls durch das BAFA gefördert. Im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) des BMUB werden unter anderem energieeffiziente Kältemaschinen gefördert.

Ein anderes Förderprogramm, das KfW-Energieeffizienzprogramm, fördert Maßnahmen, mit denen Energieeinsparpotenziale genutzt werden, beispielsweise die energieeffiziente Sanierung, der Neubau von Gebäuden oder eine Abwärmenutzung. Zudem fördert die KfW Energieberatungen für kleine und mittelständische Unternehmen.

## Praxisbeispiel: Energieeffizienz durch neue Konzepte



Das Abfallrecyclingkonzept der Firma Dyneon GmbH wird durch das Umweltinnovationsprogramm (UIP) des Bundesumweltministeriums gefördert, das seit 1979 erfolgreich Demonstrationsprojekte in den verschiedensten Bereichen unterstützt. Das Pilotprojekt der Dyneon GmbH ist das weltweit erste hochwertige Recyclingkonzept für Fluorpolymerabfälle und -reststoffe. Diese fallen im Halbleiterbereich, als Beschichtung für Dichtungen oder Lager sowie als Werkstoff für Kabelisolationen in der

Elektrotechnik an. Die neue Recyclinganlage ist zunächst für etwa 500 Tonnen Fluorpolymerabfälle pro Jahr ausgelegt. Bei erfolgreichem Projektverlauf können 10.000 Tonnen wässrige Abfallsalzsäure und 7.500 Megawattstunden Energie eingespart werden. Daraus resultieren vermiedene CO<sub>2</sub>-Emissionen in einer Größenordnung von 7.500 Tonnen. Des Weiteren können wertvolle Ressourcen wie Flussspat (Fluorit) eingespart werden. Das Projekt wird mit 1 Million Euro gefördert.

## Initiative Energieeffizienz-Netzwerke



Effizienznetzwerke haben sich in den vergangenen Jahren als wirkungsvolles Instrument herausgestellt, industrielle Energieeffizienz voranzubringen. Ein Netzwerk besteht aus 8 bis 15 Unternehmen, die sich mit Hilfe eines erfahrenen Energieberaters ein Einsparziel setzen und dieses mit Maßnahmen unterlegen. Durch den Erfahrungsaustausch im Netzwerk wird ein gemeinsames Effizienzziel gesetzt. Die an bisherigen Netzwerkprojekten beteiligten Unternehmen konnten ihre Energieeffizienz im Vergleich

zum Branchendurchschnitt nach einigen Jahren deutlich verbessern: Sie erhöhten ihre Energieproduktivität doppelt so schnell wie der Branchendurchschnitt.

Im Rahmen des NAPE wurde eine Vereinbarung mit Verbänden und Organisationen der Wirtschaft zur flächendeckenden Einführung von Energieeffizienz-Netzwerken getroffen. Das Ziel ist, bis zum Jahr 2020 rund 500 neue Netzwerke zu etablieren.

In einem Dialogprozess „Wirtschaft macht Klimaschutz“, der im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 angekündigt wurde, soll die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen weiter beschleunigt werden. Das Umweltinnovationsprogramm des BMUB fördert zudem besonders innovative Effizienzlösungen.

Unter dem Namen „Offensive Abwärmenutzung“ rückt der NAPE die großen Energieeffizienzpotenziale bei der Nutzung industrieller Abwärme in den Fokus. Ab 2015 werden Unternehmen darin unterstützt, Potenziale für die Nutzung von Abwärme aufzuspüren. Anschließend werden auch Investitionen für die Umsetzung gefördert.

Energieintensive Unternehmen können sich unter bestimmten Voraussetzungen von einem Teil der Umlage des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) und teilweise von Strom- und Energiesteuern befreien lassen (Steuerrückerstattungen nach der

Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung (SpaEfV)). Um diese Entlastung zu erhalten, sind die Unternehmen verpflichtet, so genannte Energieaudits einzuführen. Ein Energieaudit beinhaltet eine Analyse des Energieverbrauchs sowie möglicher Einsparpotenziale. Durch diese Maßnahme wird die kontinuierliche Kontrolle und Reduzierung des Energieverbrauchs gefördert.

Auch der Emissionshandel trägt zu einer Steigerung der Energieeffizienz bei. Große Verursacher von CO<sub>2</sub> müssen Zertifikate für den Ausstoß von CO<sub>2</sub> erwerben. Maßnahmen, die zur Energieeffizienz beitragen – und damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen senken –, senken deshalb die Kosten der Unternehmen. Allerdings ist das Preisniveau der Zertifikate derzeit niedrig und der Preisimpuls entsprechend gering.

## Weiterführende Links



Die Deutsche Energie-Agentur (dena) informiert über Effizienzpotenziale in Industrie und Gewerbe und listet in einer Referenzdatenbank herausragende Beispiele für effiziente Energienutzung auf.

► [www.industrie-energieeffizienz.de](http://www.industrie-energieeffizienz.de)

Eine Förderdatenbank gibt einen aktuellen Überblick über alle Förderprogramme.

► [www.foerderdatenbank.de](http://www.foerderdatenbank.de)

Der Nationale Aktionsplan Energieeffizienz

► [www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energieeffizienz/nape.html](http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energieeffizienz/nape.html)

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) fördert neben erneuerbaren Energien auch KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung), Energiesparberatungen sowie Klima- und Kälteanlagen in Unternehmen.

► [www.bafa.de/bafa/de/energie/index.html](http://www.bafa.de/bafa/de/energie/index.html)

Informationen zu „lernenden Energieeffizienz-Netzwerken“ (LEEN)

► [www.leen.de](http://www.leen.de)

GET.Min informiert über die Identifizierung von unternehmensübergreifenden Energieeffizienz- und CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzialen in industriellen Gewerbegebieten.

► [www.getmin.de/projekt](http://www.getmin.de/projekt)



5

## 5 EFFIZIENZSTEIGERUNG IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

Den Wirkungsgrad und die Effizienz des deutschen Kraftwerksparks zu steigern, ist eine der größten Herausforderungen der Energiewende. Mit 317 Millionen Tonnen machte der direkte CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Kraftwerke im Jahr 2013 ein Drittel der gesamten deutschen Emissionen aus. Das ist sogar ein leichter Anstieg gegenüber dem Vorjahr, da wieder mehr Kohle und weniger Gas verfeuert wurde. Nur wenn bei der Strom- und Wärmeproduktion deutlich weniger Treibhausgase ausgestoßen werden, sind die Klimaschutzziele zu erreichen.

Das erste deutsche Kraftwerk wurde 1885 am Berliner Gendarmenmarkt gebaut und bestand aus sechs kohlebefeuerten Dampfmaschinen mit zusammen 540 Kilowatt Leistung. Seitdem bemühen sich Ingenieure, Physiker und Materialforscher darum, den Wirkungsgrad der Stromerzeugung zu erhöhen. Ging es am Anfang noch um die wirtschaftliche Einsparung von Brennstoff, so kamen spätestens Mitte der 1970er Umwelt- und Klimaschutz als Triebkräfte hinzu.

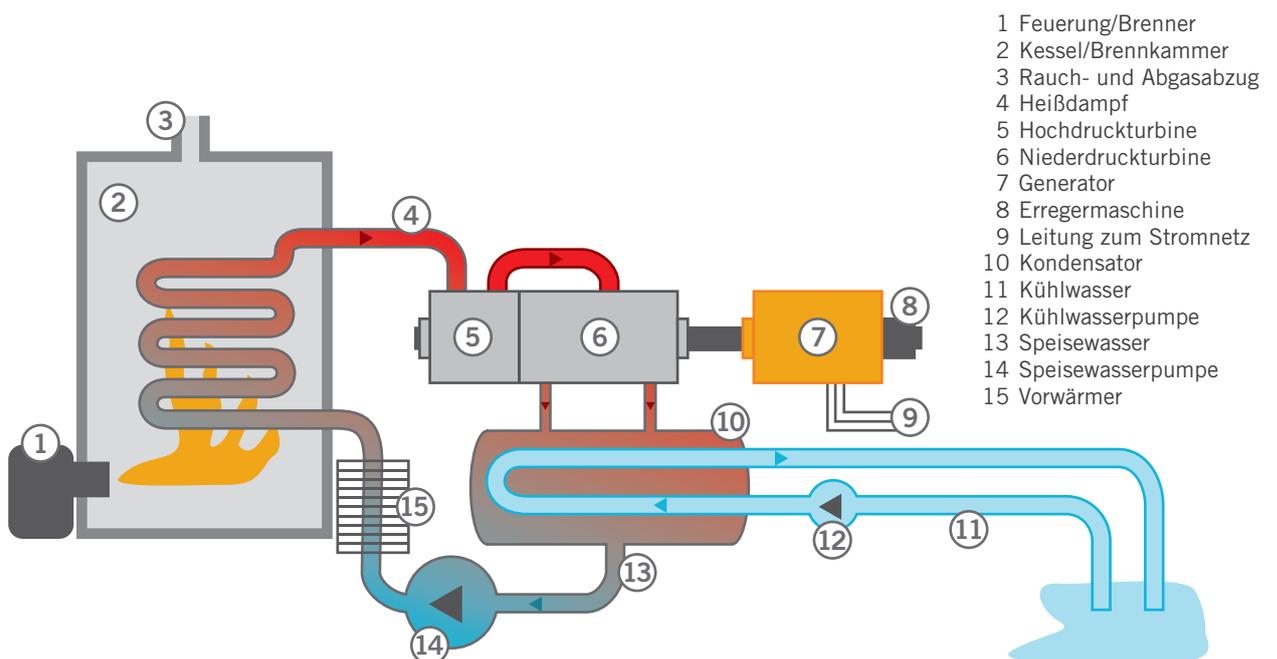
Der Wirkungsgrad von Kraftwerken hat in den vergangenen 130 Jahren eine rasante Entwicklung durchlaufen. Wurden zu Beginn lediglich fünf Prozent der Brennstoffenergie in Strom umgesetzt, erzielen moderne Kraftwerke mehr als zehnmals höhere Wirkungsgrade.

Kraftwerksstilllegungen und -neubauten insbesondere in den neuen Bundesländern haben den elektrischen Wirkungsgrad des deutschen Kraftwerksparks in den vergangenen 30 Jahren erheblich gesteigert: von 37 Prozent im Jahr 1990 auf 47 Prozent im Jahr 2015. Zwar übernehmen die erneuerbaren Energien einen immer größeren Anteil der Stromerzeugung, doch auch konventionelle Kraftwerke müssen noch wesentlich effizienter werden.

### Konventionelle Dampfkraftwerke

Konventionelle Dampfkraftwerke bestehen im Wesentlichen aus vier Komponenten: einem Dampfkessel, einer Turbine mit Generator, einem Kondensator und einer Kesselspeisepumpe. Im Dampfkessel wird zunächst ein Brennstoff, beispielsweise Kohle, verbrannt und aus zugeführtem Wasser Dampf erzeugt, der in einem Überhitzer weiter erwärmt wird. Dieser Dampf wird dann in Rohren zu einer Turbine geführt. Dort gibt der Dampf einen Teil seiner Energie an die Turbinenschaufeln ab. Die Turbine wird dadurch in Rotation versetzt und treibt einen Generator an. Der Dampf ist nun abgekühlt und kondensiert in einem großen Wärmeübertrager zurück zu Wasser. Dabei wird Wärme abgegeben. Das Wasser wird mit Hilfe der Speisepumpe zurück in den Dampferzeuger gepumpt.

Schema eines konventionellen Dampfkraftwerks



Quelle: Wikipedia



Gasturbine, Quelle: Stock photo © arogant

Die grundlegenden physikalischen Gesetze der Thermodynamik setzen dem maximalen Wirkungsgrad eines Dampfkraftwerks eine obere Grenze, die nicht überschritten werden kann. Diese Obergrenze hängt entscheidend von dem Temperaturunterschied zwischen dem heißen Dampf und dem kondensierten Wasser am Ende des Prozesses ab. Die obere Temperatur ist durch die Belastbarkeit der Werkstoffe von Kessel und Turbinen begrenzt. Die Dampfeintrittstemperaturen an der Turbine betragen bei modernen Kraftwerken etwa 600 Grad Celsius. Wird der Dampf im Kondensator auf eine Temperatur von 20 Grad Celsius gekühlt, hat ein solches Kraftwerk einen theoretischen Wirkungsgrad (Carnot-Wirkungsgrad) von 66 Prozent. Durch Verluste bei der Verbrennung, der Dampferzeugung sowie in Dampfturbine, Generator und Transformator liegt der maximale Wirkungsgrad in der Praxis heute bei 46 Prozent.

### Optimierung aller Anlagenteile

Um die praktische Obergrenze des Wirkungsgrades von Dampfkraftwerken näher an die theoretisch mögliche heranzuschieben, versuchen Kraftwerksplaner alle Anlagenteile zu optimieren:

- **Dampferzeuger**  
Im Dampferzeuger sollen Eigenenergiebedarf und Abgasverluste durch aufwändige Strömungssimulationen minimiert werden. Weitere Ansatzpunkte sind die kontinuierliche Flammenüberwachung und der Einsatz von „bionischen Rohrbögen“, welche die natürliche Krümmung von Flussläufen als Vorbild haben. Diese strömungsoptimal geformten Rohrbögen sollen den energetischen Aufwand für die Luftförderung um 15 bis 20 Prozent reduzieren und so die Gesamteffizienz des Kraftwerks erhöhen.
- **Turbinen**  
Bei Dampfturbinen lässt sich durch den Einsatz von computeroptimierten 3D-Schaufeln, reduzierte



Dampfturbine, Quelle: Stock photo © photosoup

Spaltverluste, Titan-Endschaufeln und eine optimale Strömungsgestaltung der Wirkungsgrad um rund vier Prozentpunkte heben.

Neben den Hauptkomponenten lassen sich auch bei kleineren Anlagenteilen noch Fortschritte „herauskitzeln“. Der Wirkungsgrad lässt sich durch optimierte Luftvorwärmer noch um 0,3 Prozentpunkte steigern, durch Elektrofilter um 0,1 Prozentpunkte. Durch Wärmeverschiebesysteme, zum Beispiel die Kühlung der Entschwefelungsanlage durch Kondensat, sind weitere 0,5 bis 1 Prozentpunkte zu holen; ebenso viel lässt sich durch eine optimierte Abkühlung des Dampfes gewinnen.

Da die Technik konventioneller Dampfkraftwerke schon sehr ausgereift ist, werden alle Detailverbesserungen zusammen den Gesamtwirkungsgrad nur um ein bis zwei Prozentpunkte heben können. Mehr Potenzial lässt sich noch mit neuen Anlagenkonzepten erschließen.

### Neue Anlagenkonzepte

Es gibt einige technische Ansätze, um mit neuen Konzepten die Effizienz konventioneller Dampfkraftwerke noch weiter zu steigern. In überkritischen Kraftwerken wird mit Temperaturen von 700 Grad Celsius und 350 bar Druck gearbeitet. Hohe Temperaturen und Drücke erhöhen die mittlere Prozesstemperatur. So lassen sich Blockwirkungsgrade von etwa 50 Prozent erreichen. Dazu müssen allerdings entsprechende Materialien für Kessel, Leitungen und Turbinen entwickelt werden, die diesen Temperaturen und Drücken gewachsen sind.

Braunkohlekraftwerke besitzen einen etwas geringeren Wirkungsgrad als Steinkohlekraftwerke. Dies liegt an dem hohen Wassergehalt der Braunkohle von bis zu 60 Prozent, der die Verbrennung ineffizienter macht. Mit neuen Verfahren kann die Braunkohle vor der Verbrennung mit Abwärme getrocknet werden. Ziel der Kohlevortrocknung ist es, einen Endwassergehalt von 15 bis 20 Prozent zu

erzielen. Damit wird der Wirkungsgrad von Braunkohlekraftwerken um bis zu vier Prozentpunkte gesteigert und nähert sich dem von Steinkohlekraftwerken an.

Fazit: Mit neuen Werkstoffen, höheren Temperaturen und viel technischem Aufwand lässt sich der Wirkungsgrad konventioneller Dampfkraftwerke gegenüber dem heutigen Stand noch erhöhen. Trotzdem ist abzusehen, dass auch in der Zukunft bestenfalls ein Wirkungsgrad von rund 50 Prozent erreicht werden kann.

## Gas und Dampf für hohe Effizienz

Neben den Dampfkraftwerken gibt es schon seit langem Kraftwerke, die mit Gasturbinen arbeiten. Das Gasturbinenkraftwerk besteht im Wesentlichen aus einem Verdichter, einer Brennkammer und einer Turbine. Zunächst wird Luft im Turbokompressor verdichtet. Dadurch steigt die Temperatur. In der Brennkammer wird der komprimierten Luft Gas zugeführt, das Gemisch verbrannt und dadurch weiter erhitzt. In der Gasturbine wird das heiße Rauchgas auf den Umgebungsdruck entspannt und versetzt dadurch die Turbine in Rotation. Ein Teil der Energie wird verwendet, um den Verdichter anzutreiben, der Rest wird zur Stromerzeugung in einem Generator eingesetzt.

Reine Gasturbinenkraftwerke haben nur einen Wirkungsgrad von 35 bis 40 Prozent. Da dieser im Vergleich zu Dampfturbinenkraftwerken deutlich niedriger liegt und

Erdgas als Brennstoff teurer als Kohle ist, werden Gasturbinenkraftwerke vor allem als Spitzenlastkraftwerke oder in Kombination mit einer Nutzung der Abwärme als industrielle Heizkraftwerke eingesetzt.

Der entscheidende Schritt zur Steigerung der Effizienz ist die Kopplung des Gas- und des Dampfturbinenprozesses. Die grundsätzliche Idee ist, die Abwärme, die im Gasturbinenprozess in beträchtlicher Menge anfällt, zur Dampferzeugung für einen Dampfkraftprozess zu nutzen. Kombiniert man eine Gas- mit einer Dampfturbine, so erreicht man durch das entstandene größere Temperaturgefälle von über 1.000 Grad Wirkungsgrade bis zu 60 Prozent. Gas- und Dampf-Kraftwerke, kurz GuD-Kraftwerke, werden typischerweise ab einer elektrischen Leistung von 350 Megawatt gebaut und als Mittel- und Grundlastkraftwerk eingesetzt.

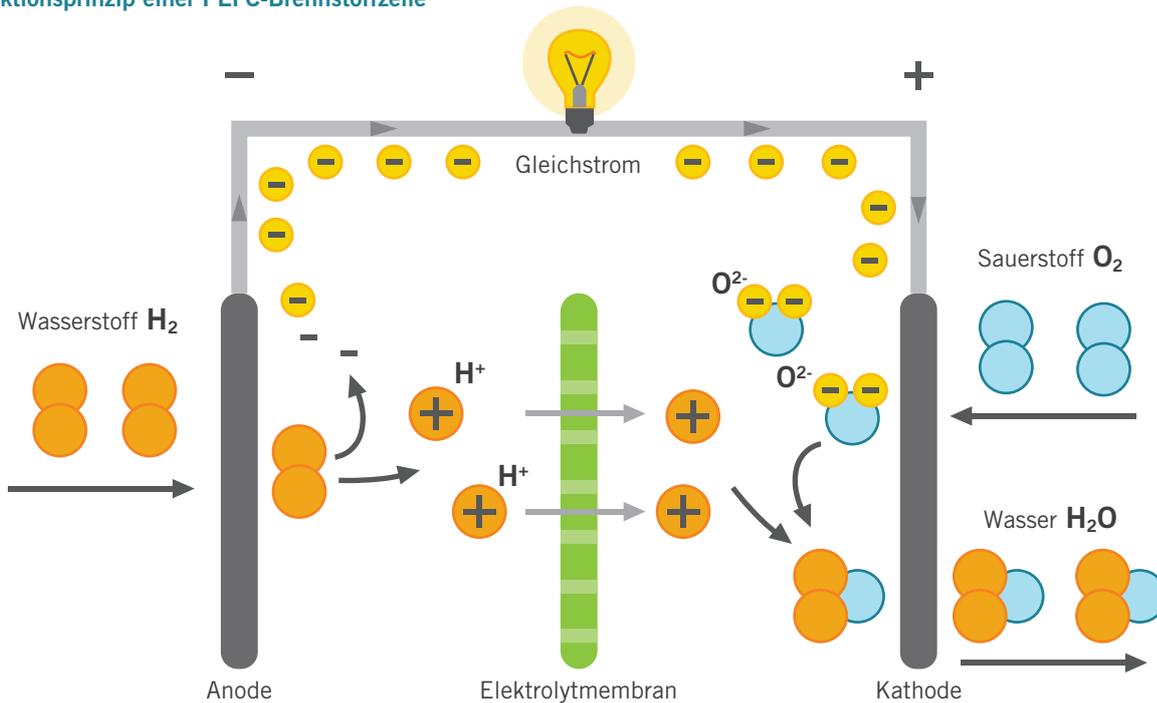
## Brennstoffzellen

In Brennstoffzellen dreht sich kein Generator; stattdessen finden elektrochemische Prozesse statt. Brennstoffzellen nutzen die Energie der Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser, um Strom zu erzeugen. Es gibt verschiedene Typen von Brennstoffzellen. Das technische Prinzip lässt sich am einfachsten an einer Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle, auch PEMFC oder PEFC („FC“ steht für das englische fuel cell), verstehen:



Gasturbinenkraftwerk, Quelle: Stock photo © AvailableLight

## Funktionsprinzip einer PEFC-Brennstoffzelle



Quelle: Wikipedia

Von außen werden die Reaktionsgase Wasserstoff und Sauerstoff eingeleitet. Im Prinzip würden die beiden Gase zu Wasser reagieren, denn diese Reaktion ist energetisch günstig. Daran werden sie von einer Membran gehindert. Diese hauchdünne Plastikfolie ist mit einer teflonähnlichen Struktur so präpariert, dass sie nur Protonen durchlässt, also die Kerne von Wasserstoffatomen. Der Wasserstoff muss also die Elektronen seiner Hülle abstreifen, die dann den Umweg über den angeschlossenen elektrischen Verbraucher wählen. Die Protonen wandern durch die Membran, vereinigen sich wieder mit den Elektronen, reagieren mit dem Sauerstoff und verbinden sich zu Wasser. Bei der Reaktion werden also Strom und Wasserdampf erzeugt. Im Wasserdampf ist noch Reaktionswärme gespeichert, die als Abwärme die Brennstoffzelle verlässt.

Die PEMFC ist lediglich ein Beispiel für eine Brennstoffzelle. Die Funktion der trennenden Membran (Elektrolyt) kann auch durch andere Materialien erfüllt werden, beispielsweise durch keramische Stoffe, flüssige Laugen oder Säuren oder eine Schmelze aus Karbonaten. Dabei hat jeder Elektrolyt seine optimale Arbeitstemperatur. Festoxidbrennstoffzellen müssen zum Beispiel auf 750 bis 1.000 Grad Celsius geheizt werden. Man teilt die Brennstoffzellen daher auf in Nieder-, Mittel- und Hochtemperatur-Brennstoffzellen. Hochtemperatur-Brennstoffzellen eignen sich wegen ihrer hohen Wirkungsgrade und der Möglichkeit, Abwärme auf hohem Temperaturniveau zu nutzen, vor allem zum Einsatz im Kraftwerkssektor, wohingegen

Niedertemperatur-Brennstoffzellen in Autos, Laptops oder Kraftwerken gleichermaßen eingesetzt werden können.

Da Wasserstoff in der Natur kaum als reines Gas vorkommt, muss man ihn im Kraftwerk zunächst herstellen. Erdgas und Heizöl, aber auch andere Kohlenwasserstoffe enthalten Wasserstoff, den man in einer Reaktion, der so genannten Reformierung, freisetzen kann.

Die Brennstoffzelle hat vor allem zwei Vorteile: Zum einen den hohen elektrischen Wirkungsgrad, der über 50 Prozent betragen kann; zum anderen entstehen bei der elektrochemischen Reaktion keine Schadstoffe wie beispielsweise Stickoxide. Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen sind genauso groß wie die eines konventionellen Kraftwerks, das mit dem gleichen Brennstoff und Wirkungsgrad arbeitet.

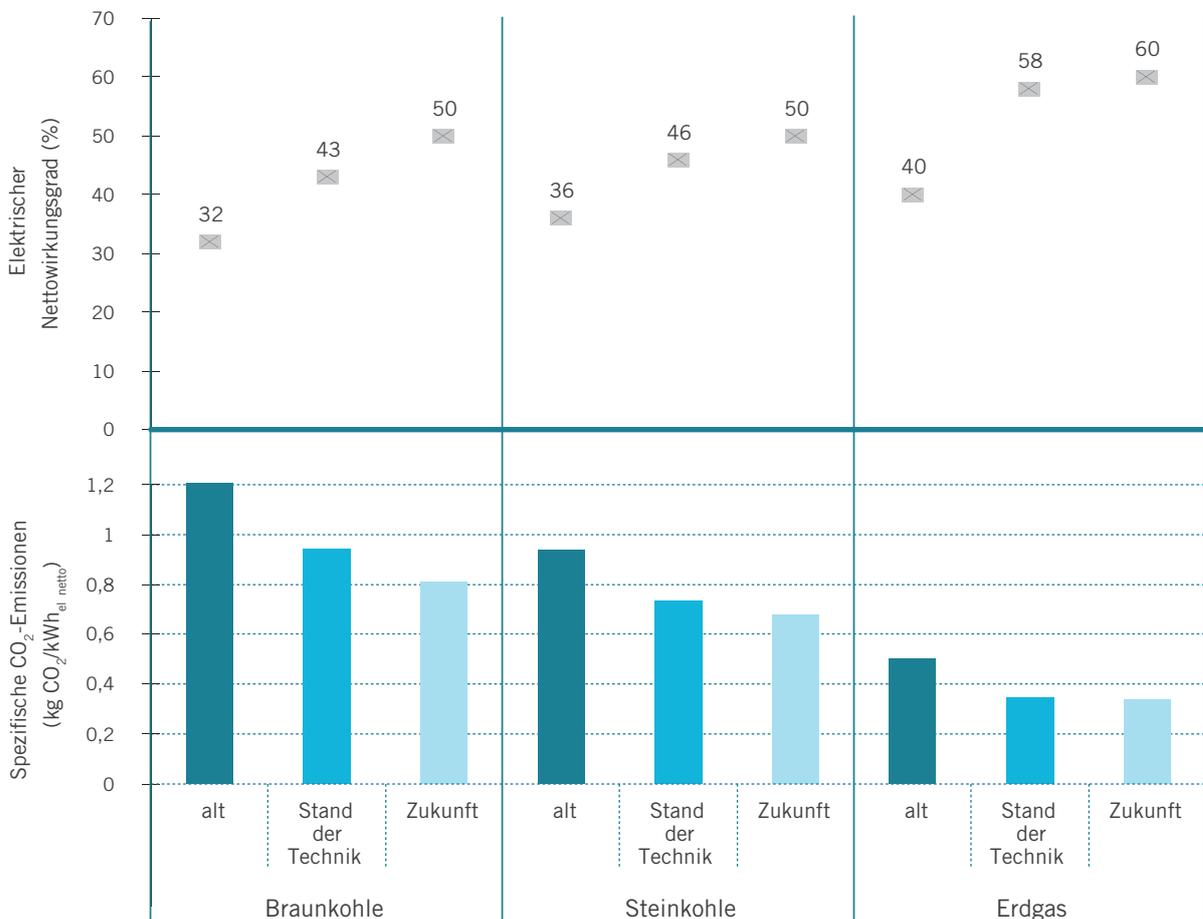
Trotz ihrer Vorteile sind Brennstoffzellen bislang kaum serienreif für die Anwendung in einem Kraftwerk verfügbar. Die größte Hürde sind die hohen Investitionskosten. Heutige Brennstoffzellenkraftwerke sind je nach Größe gegenüber den Konkurrenzsystemen noch um einen Faktor 2,5 bis 20 teurer.

### CO<sub>2</sub>-Emissionen zukünftiger Kraftwerkskonzepte

Die pro Kilowattstunde Strom entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen sind bei Stromerzeugung in Gas- und Dampfkraftwerken (GuD-Kraftwerk) allein abhängig von den Eigenschaften des Brennstoffs und vom elektrischen Wirkungsgrad des Kraftwerks. Obwohl sich der Wirkungsgrad fossiler Kraftwerke in der Vergangenheit deutlich steigern ließ, sind durch physikalische und technische Grenzen die Potenziale für Effizienzsteigerungen fast ausgereizt. Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen von Braunkohlekraftwerken liegen auch bei der zukünftig zu erwartenden Technik mit über 800 Gramm pro Kilowattstunde (g/kWh) höher als die der meisten anderen Kraftwerkstypen. Auch neue Steinkohlekraftwerke werden in Zukunft bestenfalls 680 g/kWh erreichen. Erdgas-GuD-Anlagen werden mit zukünftig 335 g/kWh die geringsten spezifischen Emissionen haben.

Der niedrige CO<sub>2</sub>-Faktor der Erdgas-GuD-Kraftwerke ist nicht allein das Ergebnis ihres hohen Wirkungsgrades. Erdgas besteht im Wesentlichen aus Methan (CH<sub>4</sub>). Bei der Verbrennung reagiert der Kohlenstoff (C) zu CO<sub>2</sub> und der Wasserstoff (H) zu Wasser (H<sub>2</sub>O). Beide Reaktionen setzen Energie frei. Erdgas enthält damit pro Energieeinheit wesentlich weniger Kohlenstoff als Kohle und setzt weniger CO<sub>2</sub> bei der Verbrennung frei.

### Elektrischer Wirkungsgrad und spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen verschiedener Kraftwerkstechniken mit fossilen Brennstoffen und ohne Kraft-Wärme-Kopplung



Quelle: ifeu

## Kraft-Wärme-Kopplung

Auch in modernen Kraftwerken wird rund die Hälfte der Brennstoffenergie ungenutzt in großen Kühltürmen an die Umgebungsluft abgegeben oder erwärmt die Flüsse, die das Kühlwasser liefern. Bei der Kraft-Wärme-Kopplung nutzt man auch die Abwärme der Stromerzeugung, um Häuser zu heizen, Schwimmbäder zu erwärmen oder Dampf für die Industrie zur Verfügung zu stellen. Im Prinzip kann man jedes Kraftwerk in ein „Heiz-Kraftwerk“ umwandeln. Besonders geeignet sind dafür aber dezentrale, kleinere Kraftwerke. Denn dann müssen Strom und Wärme nicht über weite Strecken zum Verbraucher transportiert werden.

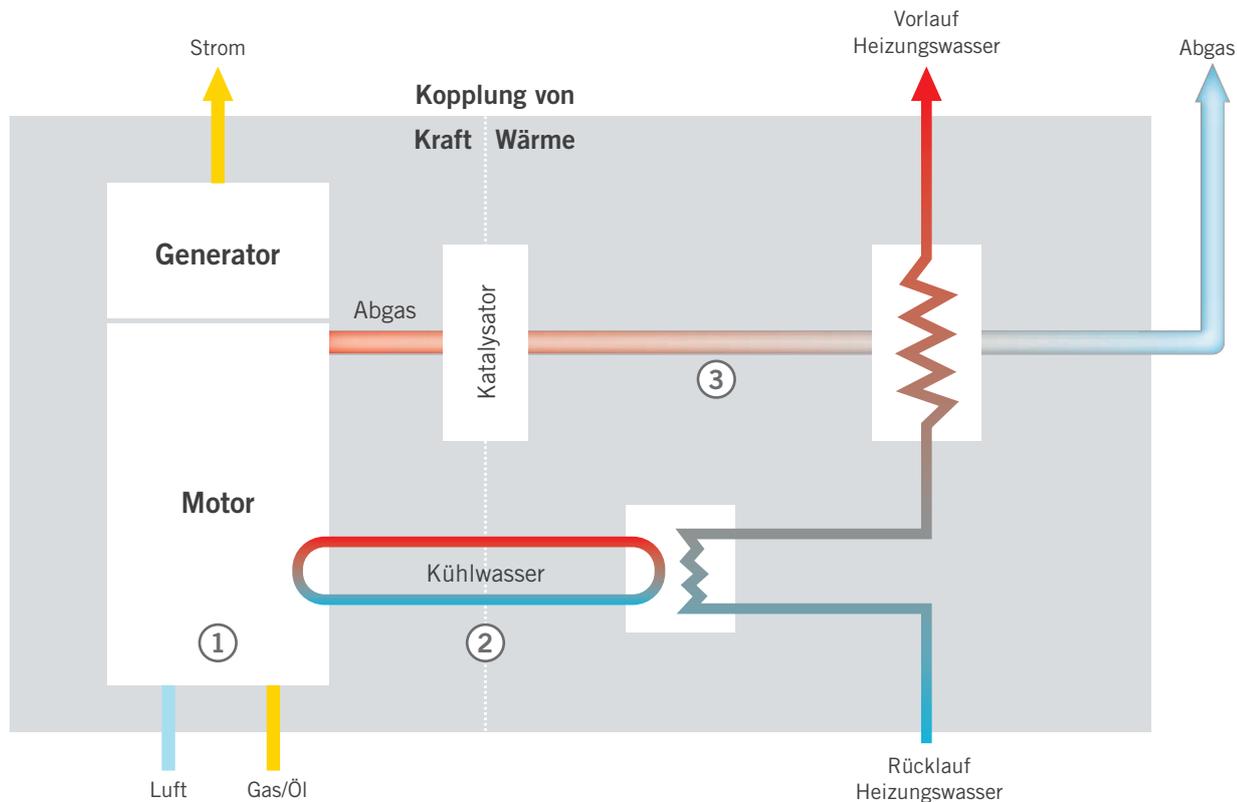
In Deutschland werden rund 17 Prozent der Netto-Stromerzeugung mit Kraft-Wärme-Kopplung gedeckt (Stand 2015). Ein Großteil davon stammt aus großen Kraftwerken, die ihre Wärme an Fernwärmenetze abgeben, und aus der industriellen Kraft-Wärme-Kopplung. Aber auch

Blockheizkraftwerke – kompakte und kleinere Anlagen zur gleichzeitigen Strom- und Wärme-Versorgung – tragen dazu bei.

### Kraft-Wärme-Kopplung in Großkraftwerken

Das Grundprinzip der Kraft-Wärme-Kopplung, kurz KWK, lässt sich gut am Beispiel eines Gas-und-Dampf-Kraftwerks verstehen, wie es auf Seite 77 beschrieben ist. Obwohl eine GuD-Anlage den Brennstoff mit hoher Effizienz in Strom umwandelt, hat das Abgas immer noch eine Temperatur von rund 180 Grad Celsius. Diese Wärmeenergie lässt sich mit Wärmetauschern an einen Wasserkreislauf übertragen und über gut gedämmte Fernwärmeleitungen an Haushalte oder die Industrie liefern. In einem GuD-Kraftwerk wird nicht nur die Abwärme des Abgases, sondern auch die Restwärme der Dampfturbine genutzt, um Fernwärme zu erzeugen.

### Das Prinzip KWK: die Nutzung der Abwärme eines Stromgenerators



- ① Ein Motor, der mit Gas, Benzin oder Diesel betrieben wird, treibt einen Generator zur Stromerzeugung an.
- ② Das Kühlwasser des Motors wärmt das Heizungswasser vor.
- ③ Die heißen Abgase werden zuerst gereinigt und heizen dann das Heizungswasser auf die Nutztemperatur.

## Kraft-Wärme-Kopplung – im Tempel und im Kapitol



Dass es unsinnig ist, Abwärme ungenutzt zu vergeuden, wissen Menschen schon seit langer Zeit. Die Tibetaner beispielsweise wollten nicht die warme Abluft aus ihren Öfen ungenutzt nach außen strömen lassen. Sie installierten Räder mit Lamellen in die Ofenrohre und trieben damit ihre Gebetsmühlen an.

In Amerika gab es bereits vor 100 Jahren KWK. Dort wurden bereits Kirchen, Farmen und sogar das amerikanische Kapitol mit Kraft-Wärme-Kopplung versorgt. Weil es aber in den letzten zwei Jahren des Ersten Weltkriegs Probleme mit dem Eisenbahn-Transport von Kohle in die Ballungsräume gab, kam es dort zu einem enormen Kohlemangel. Die Regierung forcierte daraufhin den Bau zentraler Kohlekraftwerke direkt an den Minen.



Tibetanische Gebetsmühle,  
Quelle: Stock photo © mariusz\_prusaczyk

Auch in konventionellen Dampfkraftwerken könnte Wärme ausgekoppelt werden. Dabei lässt sich Dampf an verschiedenen Stellen im Prozess entnehmen. In einem reinen Dampfkraftwerk hat Kraft-Wärme-Kopplung aber immer zur Folge, dass weniger Strom erzeugt wird. Gegenüber einem vergleichbaren Kraftwerk ohne KWK sinkt der elektrische Wirkungsgrad – dafür steigt der Grad der Brennstoffausnutzung. Ein modernes Steinkohlekraftwerk mit KWK kann auf einen Gesamtwirkungsgrad von 60 Prozent und mehr kommen. Es gibt aber nur wenige Standorte, bei denen genügend Abnehmer für große Mengen Fernwärme in unmittelbarer Nähe liegen. Weite Transportwege sind teuer und ineffizient.

Kompakte Gasturbinenkraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung erreichen einen Gesamtwirkungsgrad von 85 Prozent. Moderne Gas- und Dampf-Kraftwerke sind auch in Verbindung mit KWK die effizientesten Kraftwerke mit fossilen Brennstoffen. Sie können deren Energie zu fast 90 Prozent ausnutzen.

### Dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung

Im Leistungsbereich unter einigen Megawatt kann die Kraft-Wärme-Kopplung ihre Stärken optimal ausspielen. Man spricht dann von Blockheizkraftwerken, abgekürzt BHKW, mit denen Strom und Wärme für einzelne Häuser, aber auch kleinere Wärmenetze bereitgestellt werden. Sehr kleine BHKW nennt man auch Mini-BHKW oder Mikro-KWK. Solche Anlagen haben elektrische Leistungen unter 50, oft sogar unter 20 Kilowatt.



Kraft-Wärme-Kopplung, Quelle: Stock photo © querbeet

Die meisten dieser Blockheizkraftwerke arbeiten mit einem Verbrennungsmotor. Im Verbrennungsmotor wird ein Brennstoff – oftmals Erdgas, aber auch andere Brennstoffe wie Heizöl, Pflanzenöle oder Biogas – verbrannt. Mit der Motorkraft wird ein stromerzeugender Generator betrieben. Die Wärme des Abgases (ca. 400 bis 600 Grad Celsius), des Schmieröls (80 bis 90 Grad Celsius) und des Kühlkreislaufes (80 bis 90 Grad Celsius) wird mit Wärmetauschern an zirkulierendes Wasser abgegeben.

Durch einen zusätzlichen Kondensator kann, ähnlich wie bei Gas-Brennwertkesseln, auch die Kondensationswärme genutzt und der Nutzungsgrad um bis zu zehn Prozentpunkte gesteigert werden.

Der elektrische Wirkungsgrad der kleinen BHKW liegt bei sehr kleinen Systemen bei rund 25 bis 27 Prozent, bei größeren Systemen steigt er auf über 40 Prozent. Der Gesamtnutzungsgrad (Summe aus elektrischem und thermischem Nutzungsgrad) liegt bei den meisten Systemen bei rund 90 Prozent.

Blockheizkraftwerke können sowohl einzelne kleinere Gebäude (siehe auch Seite 40) als auch größere Objekte, beispielsweise Altenheime, Schwimmbäder oder Krankenhäuser, versorgen oder die Wärme in ein Nahwärmenetz einspeisen. Derartige Netze gibt es in vielen Orten Deutschlands und neue können kostengünstig verlegt werden. Eine gute Isolierung sorgt dafür, dass nur ein kleiner Teil der Wärme während des Transports verloren geht – je nach Länge des Netzes, Dichte der Besiedlung und Dicke der Isolierung zwischen 5 und 25 Prozent.

Um eine möglichst hohe Auslastung des BHKW zu erreichen, wird man einen Kompromiss zwischen hoher Laufzeit und hoher Wärmeabdeckung suchen. Man wird das BHKW so klein dimensionieren, dass es eine Grundlast an Wärme liefert. Den restlichen Wärmebedarf, der beispielsweise an kalten Wintertagen oder bei starker Nachfrage nach Warmwasser entsteht, deckt meistens ein Spitzkessel, also ein ganz normaler Heizkessel.

### Potenziale und Hemmnisse der KWK

In vielen Ländern der Europäischen Union hat die Kraft-Wärme-Kopplung eine erhebliche Bedeutung. Vorreiter sind die Dänen, die schon über die Hälfte ihres Strombedarfs gekoppelt produzieren. Auch die Niederlande haben – wegen ihrer eigenen Erdgasfelder – einen hohen Anteil an dezentraler Erdgasversorgung. In Finnland wurde bereits seit den 1960er Jahren mit dem Ausbau der Fernwärmeversorgung begonnen. Sowohl in Dänemark wie in Finnland werden Versorgungsgebiete mit vergleichsweise geringen Wärmedichten mit KWK versorgt. Die Wärmedichte beschreibt den Wärmebedarf einer Siedlung, der pro Hektar und Jahr benötigt wird.

Auch die deutsche Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt, den Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung an der Stromerzeugung auf 25 Prozent im Jahr 2020 anzuheben. Dass dies machbar ist, bestätigen verschiedene Studien der vergangenen Jahre. Derzeit werden insbesondere städtische Gebiete für Wärmenetze in Betracht gezogen. In Deutschland gibt es über 600 Städte mit mindestens 20.000 Einwohnern und mehr als 2.000 Wohneinheiten. Das Beispiel Dänemark zeigt, dass sich auch viele ländliche Gemeinden für die Verlegung von Wärmenetzen eignen.

Dem großen wirtschaftlichen Potenzial zur Erschließung der Kraft-Wärme-Kopplung stehen eine ganze Reihe von Hemmnissen entgegen. Eine wesentliche Hürde besteht in der größeren Komplexität von KWK-Anlagen bei Installation und Betrieb der Anlagen. Unzureichende Information,

mangelnde Motivation und hohe Renditeerwartungen der Anleger sowie unklare Energiepreisentwicklung sind die Hauptgründe für mangelnde Realisierung. Welche Rolle regionale Energiekonzepte, Speichertechnologien und der sinkende Wärmebedarf von Gebäuden durch energieeffiziente Neubauten und Sanierungen für die KWK-Perspektive spielen, ist eine der wichtigen Fragestellungen im Kontext der Energie- und Wärmewende.

### Energiepolitische Rahmenbedingungen

Zu unterscheiden sind die Rahmenbedingungen für die KWK-Nutzung im Industriebereich und die Förderung der so genannten Mini-KWK-Technologie.

Das wichtigste Instrument zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung ist das „Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung“, kurz KWK-Gesetz. Dieses Gesetz verpflichtet die Betreiber von Stromnetzen, KWK-Anlagen an ihr Netz anzuschließen und den Strom, der in diesen Anlagen erzeugt wird, auch vorrangig abzunehmen. Für diesen Strom muss der Netzbetreiber „den Preis, den der Betreiber der KWK-Anlage und der Netzbetreiber vereinbaren, und einen Zuschlag“ entrichten. Diese Regelung des 2012 überarbeiteten KWK-Gesetzes ist von großer Tragweite. Denn der Zuschlag wird nicht nur für den ins Netz eingespeisten Strom gewährt, sondern auch für den selbst verbrauchten.

Der Zuschlag ist im KWK-Gesetz detailliert geregelt. Wenn es dem Netzbetreiber und dem Erzeuger des KWK-Stroms nicht gelingt, eine Vereinbarung zu treffen, so wird zusätzlich zum Zuschlag der „übliche Preis“ gewährt, der sich an den Börsenpreisen der Leipziger Strombörse orientiert. Außerdem werden Entlastungen bei der Stromnetznutzung vergütet.

Viele Jahre wurden KWK-Anlagen auch beim europäischen Emissionshandel bevorzugt, indem kostenlose Zertifikate erteilt wurden – in unterschiedlicher Höhe je nach Brennstoff sowohl für Strom als auch Wärme. Seit 2013 müssen die Zertifikate für die Emissionen der Stromerzeugung vollständig ersteigert werden. Für die Wärmeerzeugung werden den KWK-Anlagenbetreibern noch kostenlose Zertifikate zugeteilt, deren Menge aber über die Jahre reduziert wird.

## Weiterführende Links



Informationen des Umweltbundesamtes zum Kraftwerkspark

- ▶ [www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/kraftwerke](http://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/kraftwerke)

Das BHKW-Infozentrum informiert zu dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung.

- ▶ [www.bhkw-infozentrum.de](http://www.bhkw-infozentrum.de)

Informationen zur Förderung der KWK nach dem Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz und zur Mini-KWK-Förderung des BMUB

- ▶ [www.bafa.de](http://www.bafa.de)

Informationen und Fachartikel zu den Themen Blockheizkraftwerke und Kraft-Wärme-Kopplung

- ▶ [www.co2online.de/modernisieren-und-bauen](http://www.co2online.de/modernisieren-und-bauen)



6

## 6 ENERGIEEFFIZIENZ IM VERKEHR

Mobilität ist eines der Grundbedürfnisse unserer modernen Gesellschaft. Millionen Deutsche pendeln jeden Tag zur Arbeit, fahren am Wochenende ins Grüne oder zu Verwandten und legen auf dem Weg in den Urlaub lange Strecken zurück. Gleichzeitig werden in einer globalisierten Wirtschaft immer mehr Güter über immer längere Strecken transportiert. All dies hat einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch. Rund 30 Prozent der Endenergie werden in Deutschland von Autos, Lastwagen, Zügen, Flugzeugen und Schiffen verbraucht. Der „Klimaschutzplan 2050“ sieht eine Dekarbonisierung des Verkehrssystems bis zum Jahr 2050 vor. Der Straßen- und Schienenverkehr sowie der Luft- und Seeverkehr sollen auf Biokraftstoffe, Strom aus erneuerbaren Energien und treibhausgasneutrale Kraftstoffe umgestellt werden. Der Fuß- und Radverkehr in Städten soll signifikant steigen. Um diese Ziele zu erreichen, sind in den nächsten Jahren jedoch große Anstrengungen notwendig.

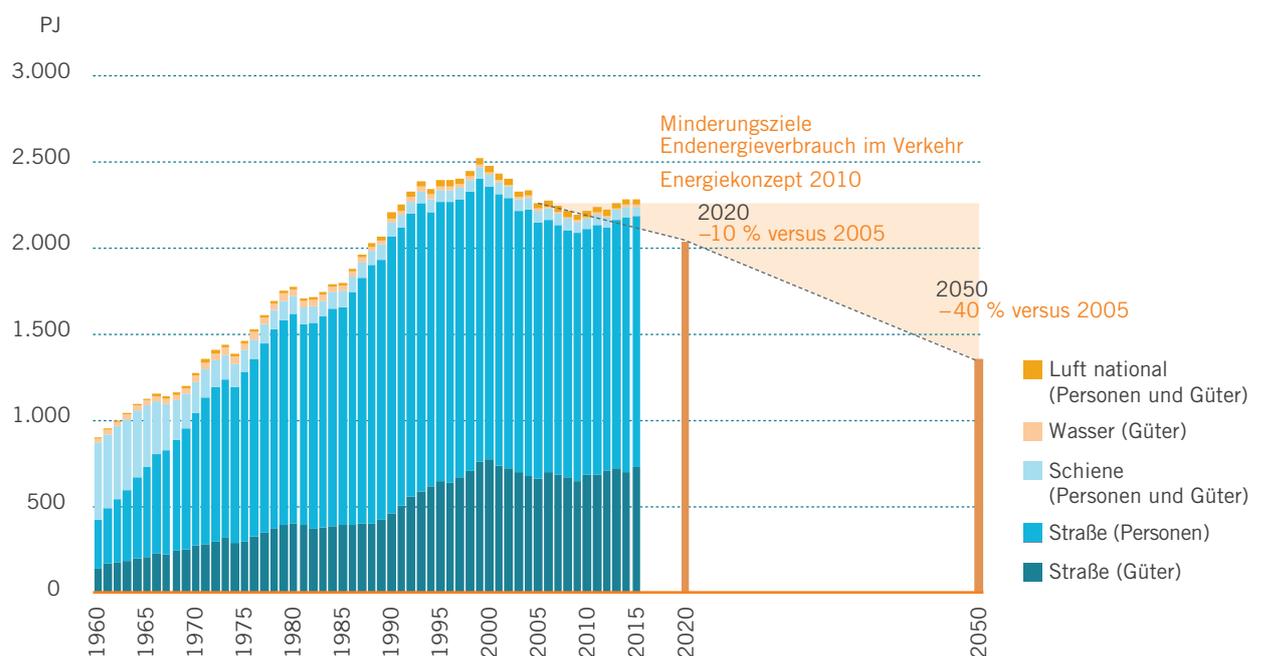
Den mit Abstand größten Endenergiebedarf hat der Straßenverkehr, wobei der Personenverkehr mehr als doppelt so viel wie der Güterverkehr verbraucht. Der jährliche Endenergieverbrauch aller Verkehrsmittel – ebenso wie die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Sektors – ist dabei in den letzten zehn Jahren etwa konstant geblieben.

Hinter dieser Konstanz verbergen sich zwei gegenläufige Trends, die sich gegenseitig aufheben. Zum einen sind Pkw und Lastwagen immer effizienter geworden, ihr Verbrauch pro Kilometer ist kontinuierlich gesunken. Andererseits fahren immer mehr Fahrzeuge immer längere Strecken. Zwischen 1990 und 2014 haben der Personen- und der Güterverkehr um 30 bzw. 155 Prozent zugenommen.

Dieser Anstieg ist eine direkte Folge der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung. Nach der Vollendung der deutschen Einheit hat sich der Lebensstil in den neuen Bundesländern schnell an den der alten angeglichen. Außerdem setzen viele Unternehmen in einer globalisierten Wirtschaft und einem einheitlichen europäischen Wirtschaftsraum auf eine arbeitsteilige Produktion. Rohstoffe, Zwischenprodukte und fertige Waren werden immer häufiger über große Strecken transportiert.

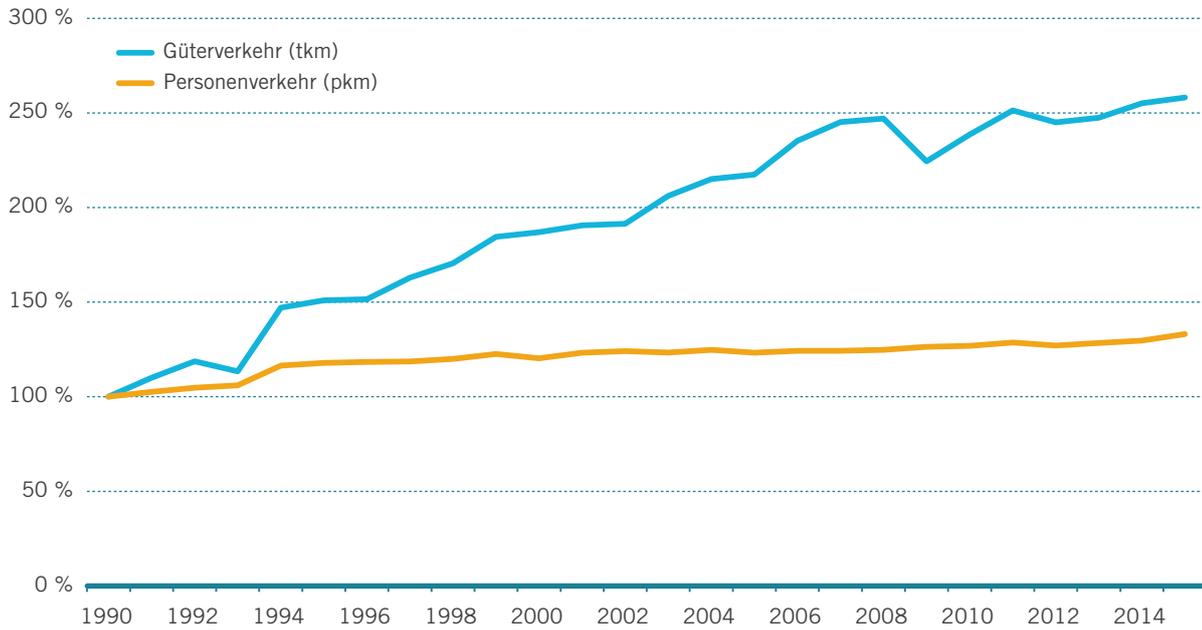
Um die Effizienz im Verkehrssektor zu erhöhen, gibt es verschiedene Stellschrauben. Zum einen ist es am effektivsten, einen Teil des Verkehrs gar nicht erst entstehen zu lassen. Verkehrsvermeidung lässt sich vor allem durch eine integrierte Raum- und Verkehrsplanung erreichen.

### Energieverbrauch der Verkehrsträger bis heute und Zukunftsziele



Quelle: BMVI

### Entwicklung des Personen- und Güterverkehrs im Vergleich zu 1990

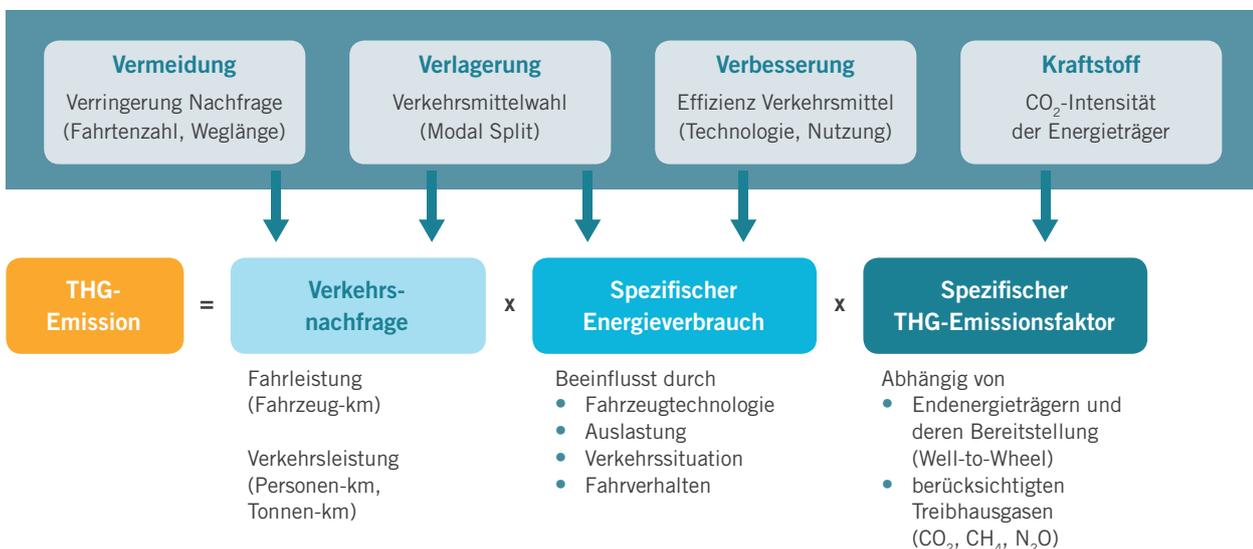


Quelle: ifeu

Außerdem kann der Energieverbrauch für Verkehrsleistungen allein durch die Verlagerung auf effizientere Verkehrsmittel oder eine Erhöhung der Auslastung eines Verkehrsmittels stark verringert werden. Zusätzlich zu den Potenzialen der Vermeidung oder Verlagerung besteht die Möglichkeit, die Effizienz des Fahrzeugs zu erhöhen, etwa durch technische Maßnahmen. Schließlich lässt sich auch durch effiziente Nutzung des Fahrzeugs Energie einsparen, beispielsweise durch ein angepasstes

Verkehrsmanagement oder Kurse in spritsparendem Fahren. Zudem besteht die Möglichkeit, durch Einsatz alternativer Energieträger die Treibhausgasintensität zu mindern. Ein Beispiel hierfür sind Elektrofahrzeuge, wenn sie mit Strom aus sauberen, überwiegend erneuerbaren Quellen betrieben werden. In den folgenden Abschnitten werden diese Stellschrauben eines energieeffizienten Mobilitätssystems beleuchtet.

### Stellschrauben eines klimafreundlichen Verkehrs



Quelle: ifeu

## Verkehrsvermeidung

Ein wichtiger Weg, um den Energieverbrauch des Verkehrs zu senken, ist die Verringerung der Nachfrage nach Fahrten durch eine strukturelle Verkehrsvermeidung. Im Güterverkehr lässt sich diese vor allem durch regionale Stoffkreisläufe erreichen. Dazu gehören beispielsweise die Nutzung regionaler Produkte und die Bildung regionaler Unternehmensverbände, die zu einer Verminderung des erforderlichen globalen Waren- und Dienstleistungsaustauschs führen. Die aktuelle Entwicklung geht allerdings in die entgegengesetzte Richtung. Viele Unternehmen setzen auf eine extrem flexible und kurzfristige Belieferung und eine Zentralisierung der Güterverteilung.

Eine wichtige Einflussgröße für die Unternehmensentscheidungen sind die Transportkosten, die wesentlich von den Treibstoffkosten abhängen. Ein verbessertes Flottenmanagement reduziert zwar nicht die Menge der transportierten Güter, senkt aber die notwendigen Entfernungen oder die Anzahl der Fahrzeuge, indem zum Beispiel Leerfahrten vermieden werden.

Weitgehend offen ist die Frage, ob Informations- und Kommunikationstechnologien zu einer Verringerung des Verkehrs beitragen. Ein komplexes Geflecht aus positiven und negativen Einflüssen erschwert eine eindeutige Aussage. Auf der einen Seite können durch Telearbeit, Austausch materieller durch immaterielle Produkte (z. B. Zeitungen durch E-Paper), Ersatz von Geschäftsreisen durch Telefon- und Videokonferenzen etc. Fahrten und Flüge eingespart werden. Auf der anderen Seite werden diese Einsparungen durch Rebound-Effekte (siehe auch Seite 22) und erhöhte Transportleistungen durch Internet-Shopping teilweise aufgehoben.

Entscheidend für eine Vermeidung von Personenverkehr sind auch die strukturellen Rahmenbedingungen. Durch eine angepasste Stadt- und Raumplanung reduziert sich



Verkehrsvermeidung, Quelle: Pixelio © Uwe Steinbrich

die Zahl der erforderlichen Wege oder Entfernungen. Wenn in einem Stadtviertel Wohnungen, Büros und Geschäfte eng beieinander liegen, kann der Arbeitsweg oder der Weg zum Einkauf oft per Fahrrad oder zu Fuß erledigt werden. Zumindest sinkt aber die Länge der Fahrten mit Auto, Bus oder Straßenbahn. Ähnliches gilt auch für die Entwicklung des ländlichen Raums. Ein Dorfbewohner legt werktags eine rund dreimal längere Gesamtstrecke zurück als ein Städter. Der höheren werktäglichen Verkehrsleistung auf dem Land steht allerdings der „Fluchtverkehr“ am Wochenende entgegen – Freizeitfahrten der Großstädter ins Grüne. Energieeffiziente Raumplanung muss also gleichermaßen die Dezentralisierung von Versorgungs-, Arbeits- und Freizeiteinrichtungen im Auge behalten. Dies gilt auch für neue Touristikkonzepte, die auf Nähe oder gute Erreichbarkeit mit dem öffentlichen Verkehr setzen sollten.

Zur Verkehrsvermeidung zählen auch Ansätze, die auf einen Bewusstseinswandel setzen. So können Menschen durch Informationen und Anreize dazu bewogen werden, auf Fahrten oder Flüge zu verzichten oder ein näher gelegenes Ziel anzusteuern. Das kann den Weg zum Bäcker oder Briefkasten genauso betreffen wie die Urlaubsplanung.

## Verkehrsleistung



Die Aufgabe der Verkehrsmittel ist es, eine bestimmte Menge an Personen oder Waren von einem Ort zu einem anderen zu befördern. Die dafür notwendige Verkehrsleistung wird meist in Personen- oder Tonnenkilometern angegeben. Ein *Tonnenkilometer* entspricht dabei der Gütermenge von einer Tonne, die über die Entfernung von

einem Kilometer transportiert wird; ein *Personenkilometer* entspricht einer Person, die über einen Kilometer bewegt wird. Um diese Verkehrsleistung zu erbringen, sind Fahrten oder Flüge erforderlich, die als Fahrleistung in *Fahrzeugkilometern* gemessen werden.

## Verkehrsverlagerung und -auslastung

Wenn das Transportbedürfnis nicht vermieden werden kann, sollte das jeweils effizienteste Verkehrsmittel gewählt werden, um von A nach B zu reisen oder Güter zu transportieren. Technisch ausgedrückt ist es das Verkehrsmittel mit dem geringsten spezifischen Energieverbrauch pro transportierte Person (Personenkilometer) bzw. Tonne (Tonnenkilometer). Dafür ist nicht allein ein niedriger absoluter Energieverbrauch des Fahrzeugs entscheidend, sondern auch seine Transportkapazität und die Auslastung.

Fahrzeuge weisen sehr unterschiedliche Eigenschaften auf. So hat ein ICE-Zug pro gefahrenen Kilometer zwar einen wesentlich höheren Energieverbrauch als ein Pkw, er bietet aber auch wesentlich mehr Personen Platz. Durchschnittlich sind Zug und Auto auch unterschiedlich stark ausgelastet. In Bezug auf diese „Platzkilometer“ schneiden die Verkehrsmittel des öffentlichen Verkehrs daher deutlich günstiger ab als Pkw. Im Nahverkehr verbrauchen sie etwa die Hälfte der Energie im Vergleich zum Pkw. Auch im Fernverkehr hat die Bahn das Potenzial zu einem merklich niedrigeren spezifischen Energieverbrauch. Schon diese Potenzialbetrachtung zeigt, dass sich die Energieeffizienz des Verkehrs verbessern kann, wenn mehr Reisende auf öffentliche Verkehrsmittel umsteigen oder Güter mit der Bahn transportiert werden.

Dazu kommt: In der Praxis werden nur selten alle angebotenen Plätze tatsächlich genutzt. Ein Pkw ist im Durchschnitt nur mit 1,5 Personen besetzt und auch beim öffentlichen Personennahverkehr ist der durchschnittliche Auslastungsgrad häufig nicht besser: Linienbusse sowie Straßen-, Stadt- und U-Bahnen liegen durchschnittlich bei etwa 20 Prozent. Im Fernverkehr der Bahn werden Auslastungen von etwa 50 Prozent erreicht – hier kann die Auslastung aber auch noch weiter gesteigert werden.

Die höheren Umweltwirkungen des Flugverkehrs kommen vor allem durch die Länge der zurückgelegten Strecken zu Stande, die nur mit dem Flugzeug zurückgelegt werden können. Zusätzlich kommt es bei Fernflügen in großen Höhen zu einer deutlichen Erhöhung der Klimawirkung über die reine Kraftstoffverbrennung hinaus.

Politische Maßnahmen zur Verkehrsverlagerung versuchen in der Regel, den öffentlichen Verkehr (ÖPNV) aufzuwerten. Wesentliche Ansatzpunkte sind Reisezeit, Taktdichte und Betriebszeiten sowie Komfort, Sicherheit, Anschlussgarantien und Tarifoptionen wie Jobtickets oder Gruppentickets. Aber auch Einschränkungen für die Nutzung des Pkw können den ÖPNV attraktiver machen und eine Verkehrsverlagerung bewirken. Beispiele sind Umweltzonen, Mautzonen oder Parkraumbewirtschaftung.

### Primärenergieverbrauch ausgewählter Urlaubsreisen ab Dortmund und zurück bei drei reisenden Personen (relativer Vergleich)



Quelle: ifeu



Quellen (v. l. n. r.): Stock photo © olaser, Stock photo © wastesoul, Stock photo © jrphoto, Stock photo © bbsferrari

Mitfahrzentralen, Fahrgemeinschaften oder reservierte Fahrspuren für Fahrzeuge ab einem gewissen Besetzungsgrad können dazu beitragen, die Auslastung und damit die Energieeffizienz des Verkehrs zu steigern.

Auch im Güterverkehr unterscheidet sich der spezifische Energieverbrauch deutlich zwischen den Verkehrsträgern. Der auf den Tonnenkilometer bezogene Primärenergieverbrauch liegt in Deutschland bei einem Sattelzug auf der Autobahn mehr als doppelt so hoch wie auf der Schiene oder Wasserstraße. Bahn und Binnenschiff bieten allerdings keine flächendeckende Versorgung. Lkw müssen in der Regel die Güter zum Bahnhof oder Hafen bringen und von dort abtransportieren. In vielen Fällen – insbesondere auf längeren Strecken – ist die Energieeffizienz eines Transports auf Schiene und Wasserstraße jedoch höher.

## Energieeffiziente Fahrzeuge

Es gibt eine Vielzahl von technischen Möglichkeiten, die Energieeffizienz des Transports zu erhöhen. Damit ein Fahrzeug ins Rollen kommt und dann in Bewegung bleibt, muss es eine ganze Reihe von physikalischen Widerständen überwinden. Das kostet genau die Energie, die der Motor bereitstellen muss. Insbesondere bei Verkehrsmitteln, deren Antrieb weitgehend ausgereift ist, wie etwa bei Zügen mit Elektromotoren, ist die Reduzierung der Fahrwiderstände oft der einzige Weg, Energie einzusparen. Für Autos gibt es auf dem Weg zu größerer Effizienz hingegen mehrere Wege: Ihre Motoren lassen sich noch optimieren, alternative Kraftstoffe und Antriebe einsetzen und Fahrwiderstände vermindern. Um den Energieverbrauch im Verkehr erheblich zu senken, sollten diese Potenziale ausgeschöpft werden.

## Senkung der Fahrwiderstände

Autos und Züge müssen im Wesentlichen vier verschiedene Widerstände überwinden:

- den Beschleunigungswiderstand beim Anfahren und Beschleunigen
- den Steigungswiderstand bei der Fahrt am Berg
- den Luftwiderstand, der mit der Geschwindigkeit zunimmt
- den Rollwiderstand der Räder

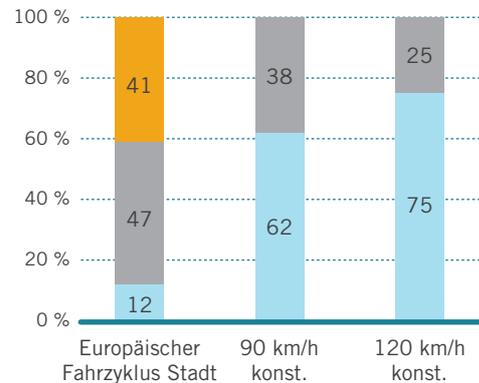
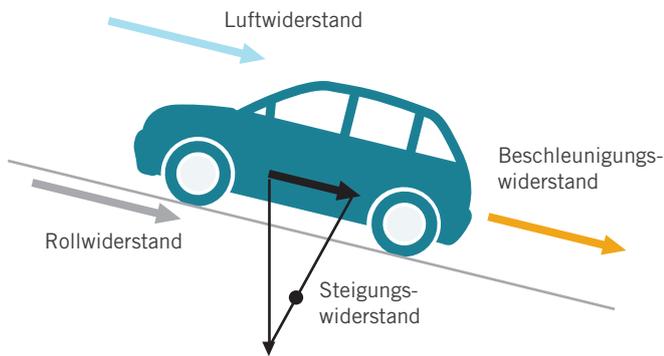
Je nach Strecke spielen diese Fahrwiderstände eine unterschiedlich große Rolle. Im Stadtverkehr dominieren durch das permanente Anfahren und Abbremsen die Roll- und Beschleunigungswiderstände. Auf der Landstraße macht bei konstanter Geschwindigkeit der Luftwiderstand schon mehr als 60 Prozent des Verbrauchs aus. Bei Geschwindigkeiten jenseits von 120 Stundenkilometern liegt dieser Anteil bei mehr als 75 Prozent.

Fast alle Widerstände – bis auf den Luftwiderstand – hängen von der Fahrzeugmasse ab. Daher lohnt es sich wegen der häufigen Beschleunigungen vor allem für Stadtfahrzeuge wie Pkw, Busse, S- und U-Bahnen, durch Leichtbau Gewicht abzuspecken. Hier liegt auch ein großes Einsparpotenzial für den Flugverkehr. Zur Gewichtseinsparung gibt es verschiedene Ansatzpunkte: Man kann entweder konventionelles Material durch leichteres ersetzen, den Materialeinsatz minimieren oder die absolute Zahl der Bauteile reduzieren. Leichte Materialien wie Aluminium, Magnesium und Titan sind schon heute im Fahrzeugbau von besonderer Bedeutung. Aufgrund sinkender Preise werden zunehmend auch Kunststoffe, insbesondere Faserverbundwerkstoffe wie Karbonfasern, eingesetzt. Allerdings ist die Herstellung einiger Leichtbaumaterialien im Vergleich zu herkömmlichen Materialien komplexer und energieaufwändiger. Ein Beitrag zur Energieeffizienz muss daher mit einer detaillierten Ökobilanz nachgewiesen werden.

Für Pkw liegen die Einsparmöglichkeiten pro 100 Kilogramm eingespartes Gewicht durch Leichtbau bei etwa 0,3 Liter Treibstoff auf 100 Kilometer Fahrstrecke. Bei gleich bleibendem Verhältnis von Motorleistung zum



### Fahrwiderstände eines Pkw und deren Anteil im Stadtverkehr, auf der Landstraße und der Autobahn



Quelle: Volkswagen AG

Gewicht des Fahrzeugs kann dann auch ein schwächerer und somit sparsamerer Motor eingesetzt werden, der mit dem daraus folgenden kleineren benötigten Tankvolumen zusätzlich zur Gewichtsreduktion beiträgt.

Der Luftwiderstand hingegen ist vom Gewicht unabhängig und steigt stattdessen mit der Geschwindigkeit, der Größe der Frontfläche und dem allgemeinen Luftwiderstandswert ( $c_w$ -Wert). Besonders die Fahrzeuge des Fernverkehrs wie Sattelschlepper, Hochgeschwindigkeitszüge und Flugzeuge sollten daher mit Blick auf einen möglichst geringen Luftwiderstand konstruiert werden. Allerdings ist der Luftwiderstand moderner Fahrzeuge bereits weitgehend minimiert. Durch optimierte Dachwölbungen, Unterbodenverkleidungen, Spoiler und Ähnliches sind aber bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen noch Einsparungen von zwei bis vier Prozent möglich, bei schweren Lastwagen und Personenzügen sogar bis zu zehn Prozent.

Straßen- und Schienenfahrzeuge müssen außerdem noch den Rollwiderstand überwinden, der außer von der Fahrzeugmasse auch noch durch die Reibungseigenschaften der Räder bestimmt wird. Für Pkw lassen sich durch Leichtlaufreifen zwischen zwei und sechs Prozent Kraftstoff sparen, bei Nutzfahrzeugen sind es bis zu zwölf Prozent. Allerdings nimmt mit dem Reifenrollwiderstand auch die Haftung beim Beschleunigen, Kurvenfahren und Bremsen ab. Somit setzen hier Sicherheitsaspekte der Optimierung Grenzen.

Der Verbraucher spielt bei der Steigerung der Energieeffizienz und der Senkung des Energieverbrauchs im Verkehr eine wichtige Rolle, weil er individuelle Entscheidungen über sein Transportverhalten trifft. Eine dieser Entscheidungen ist die Auswahl von effizienten Fahrzeugen. Die Bundesregierung leistet mittels des Energieeffizienzlabels

Hilfe bei dieser Entscheidung. Der Anteil der mit A und A+ gekennzeichneten Fahrzeuge ist in den letzten Jahren stark angestiegen. Betrug er in 2011 noch ca. 15 Prozent an den in Deutschland verkauften Pkw, so ist er in 2014 auf ca. 27 Prozent angestiegen.

### Effiziente Antriebe

Da der Straßenverkehr für den größten Teil des Endenergiebedarfs im Verkehrssektor verantwortlich ist, werden dort große Anstrengungen unternommen, den Verbrauch zu senken. Während die Konstrukteure bei Luftwiderstand und Leichtbau mittlerweile um die letzten Prozentpunkte ringen, um die Effizienz zu steigern, verbrauchen selbst moderne Verbrennungsmotoren noch über die Hälfte der Kraftstoffenergie als Abwärme. Neben der kontinuierlichen Fortentwicklung herkömmlicher Motoren werden deshalb mittlerweile eine ganze Reihe von alternativen Kraftstoffen und Antriebskonzepten erprobt. In der Gesamtbilanz – von der Herstellung des Kraftstoffs über die Produktion des Autos bis zur Effizienz des Motors – müssen sich die neuen Ideen allerdings gegenüber dem Verbrennungsmotor behaupten. Denn der hat schon eine über 100-jährige technische Evolution hinter sich.

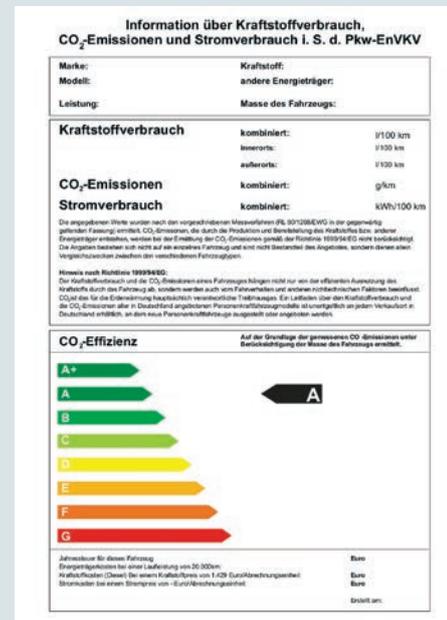
Der Dieselmotor hat aufgrund seines Funktionsprinzips einen generellen Verbrauchsvorteil gegenüber Ottomotoren, der je nach Fahrzeuggröße bis zu 25 Prozent betragen kann. Wegen des – vor allem steuerlich bedingten – niedrigeren Kraftstoffpreises und des geringeren Verbrauchs hat sich dieser Antrieb insbesondere bei Pkw-Vielfahrern durchgesetzt. Neben den wirtschaftlichen Aspekten führte insbesondere die Leistungsfähigkeit und Haltbarkeit zu einer Quasi-Monopolstellung des Diesels bei Nutzfahrzeugen.

## Das Energielabel für Pkw



Seit Ende 2011 gibt es eine Energiekennzeichnungspflicht für alle neu verkauften oder verleasten Pkw. Ähnlich wie die Kennzeichnung von Haushaltgeräten (siehe Seite 55) und Lampen soll das Pkw-Label den Verbraucher auf einen Blick informieren, ob das Auto im Verhältnis zu anderen energieeffizient ist. Das Etikett enthält Angaben zu Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen und als zentrales Element eine farbige CO<sub>2</sub>-Effizienzkala: Klasse A+ in Grün steht für sehr effizient, G in Rot steht für wenig effizient.

Diese Einordnung gilt allerdings nur relativ zu anderen Modellen in derselben Gewichtsklasse. Da die Gewichtsklasse mit den Fahrzeugsegmenten korreliert, erhält der Verbraucher so meist einen guten Überblick über die CO<sub>2</sub>-Effizienz und den Kraftstoffverbrauch vergleichbarer Fahrzeuge. Die angegebenen absoluten Werte zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen erlauben ferner einen Vergleich über die Gewichtsklasse hinaus. Unten auf dem Label finden sich zusätzlich Angaben zu den durchschnittlichen Kraftstoffkosten und zur CO<sub>2</sub>-basierten Kfz-Steuer.



Mit der Entwicklung der elektronischen Direkteinspritzung hat der Dieselmotor einen hohen Entwicklungsstand erreicht, so dass in naher Zukunft keine weiteren großen Effizienzsteigerungen zu erwarten sind. Der optimale Wirkungsgrad moderner Selbstzünder liegt bei gut 45 Prozent – im Teillastbetrieb aber weit darunter. Bestenfalls können durch weitere Verfeinerungen bestehender Techniken wie die Minimierung der Motorreibung und verbesserte Abgasrückführung noch kleine Verbesserungen erzielt werden.

Außerdem setzen die gesetzlichen Abgasgrenzwerte für Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Stickstoffoxide und Rußpartikel einer weiteren technischen Effizienzsteigerung Grenzen.

Im Gegensatz zum Dieselmotor wurde in der historischen Entwicklung des Ottomotors der Schwerpunkt auf Maximalleistung und nicht auf Energieeffizienz gelegt. Daher ist das Optimierungspotenzial noch etwas größer, wird aber bereits zunehmend ausgenutzt.

- Als Downsizing wird eine Verkleinerung des Hubraumes bezeichnet, oft verbunden mit der Reduzierung der Zylinderanzahl. Durch den kleineren Hubraum läuft der Motor seltener im Teillastbereich und hat einen besseren Wirkungsgrad. Meist werden gleichzeitig Turbolader, Druckwellenlader, Kompressoren oder Ladeluftkühler eingesetzt, damit die Gesamtmotorleistung nicht sinkt.

- Die Kraftstoffeinspritzung wird auch bei Ottomotoren immer häufiger eingesetzt. Insbesondere durch die elektronisch gesteuerte Direkteinspritzung und die damit verbundene flexible Anpassung des Lastzustandes kann der Wirkungsgrad des Motors deutlich erhöht werden.
- Eine variable Ventilsteuerung erlaubt die optimale Anpassung von Öffnungszeitpunkt und -dauer der Zylindereinlassventile sowie des Ventilhubes an den momentanen Lastzustand des Motors. Dadurch kann die Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches besser gesteuert werden.
- Eine variable Zylinderabschaltung verkleinert kurzfristig den Hubraum im Teillastbereich, so dass die restlichen Zylinder in einem höheren und somit effizienteren Lastbereich betrieben werden können. Die Vorteile ähneln denen des Downsizings.
- Das Verdichtungsverhältnis ist eigentlich durch die geometrische Konstruktion des Motors fest vorgegeben, kann aber beispielsweise durch variable Führung des Kolbenbodens begrenzt an den Lastzustand des Motors angepasst werden. Je höher das Verdichtungsverhältnis, desto besser ist der Wirkungsgrad des Motors.

## Verkehrsmanagement und Fahrerschulung



Die Fahrsituation und das Verhalten des Fahrers haben einen grundlegenden Einfluss auf den Verbrauch und somit die Energieeffizienz eines Fahrzeugs. Eine offensive Fahrweise oder Stop-and-go-Verkehr mit häufigem Beschleunigen und Bremsen verbraucht wesentlich mehr Kraftstoff als eine defensive Fahrweise, bei der der Fahrer versucht, möglichst gleichmäßig zu fahren. Im Stadtverkehr macht sich zusätzlich der ineffiziente Teillastbetrieb bei Verbrennungsmotoren negativ bemerkbar.

Verkehrsmanagement, vorausschauendes Fahren und Fahrerschulungen können die Energieeffizienz von Fahrzeugen deshalb weiter erhöhen. Verkehrsmanagement fängt

bei der grünen Welle an und geht bis hin zu integrierten, computergesteuerten Managementsystemen. Diese können auf aktuelle Verkehrsinformationen reagieren und sie direkt in vorübergehende Geschwindigkeitsbegrenzungen übersetzen, um den Verkehrsfluss zu erhöhen.

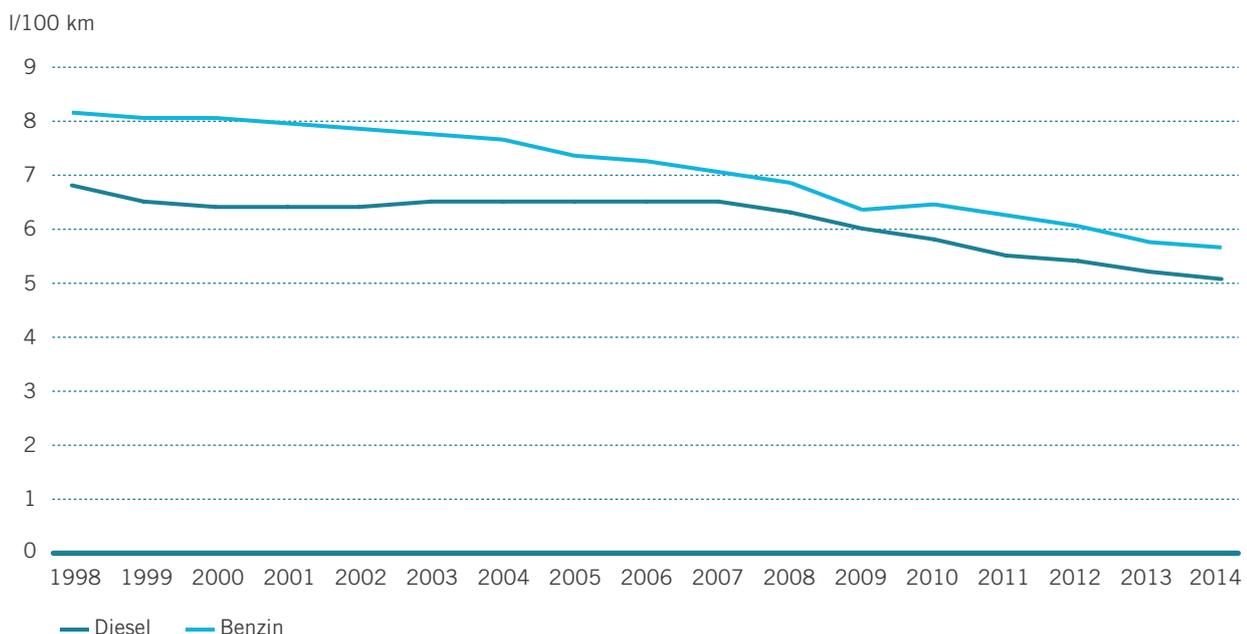
Ein vorausschauender Fahrer kann den Energieverbrauch um bis zu 30 Prozent gegenüber dem Durchschnitt reduzieren. 1999 wurden daher umweltschonende Fahrtechniken als Pflichtbestandteil in die Führerscheinprüfung integriert. Zur Auffrischung und für ältere Fahrer werden zusätzlich so genannte Sprintsparurse angeboten.

Angetrieben durch die CO<sub>2</sub>-Grenzwerte der Europäischen Union ist der Kraftstoffverbrauch neu zugelassener Pkw in den vergangenen Jahren kontinuierlich gesunken.

Durch den Anstieg der Fahrleistung wurden diese Effizienzgewinne aber größtenteils wieder aufgehoben. Kritik gibt es zudem an der Methode, mit der der Kraftstoffverbrauch von Neuwagen ermittelt wird. Viele Experten halten den dafür heute noch angewendeten standardisierten Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) für nur eingeschränkt tauglich, um Aussagen über den Verbrauch im Alltag zu treffen. Da im Zulassungsverfahren das Fahrzeug

zudem ohne Nebenverbraucher wie Klimaanlage, Licht, Audioanlage etc. betrieben wird, sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen des gleichen Typs im realen Verkehr etwa 20 Prozent höher als im NEFZ. Zusätzlich ist der Kraftstoffverbrauch bei so genannten Plug-in-Hybriden (PHEV, siehe Seite 94) stark abhängig vom elektrischen Fahranteil, also auch vom Nutzungsmuster und nicht nur vom Fahrzeug. Es muss letztlich aber auch berücksichtigt werden, dass das eigene Fahrverhalten den Kraftstoffverbrauch signifikant beeinflusst. Ein in einem Standardverfahren ermittelter Wert kann deshalb auch nie genau mit individuellen Erfahrungswerten zusammenfallen.

### Durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch neu zugelassener Pkw und Kombis



## Alternative Kraftstoffe

Das Funktionsprinzip des Verbrennungsmotors ist nicht ausschließlich an die Kraftstoffe Diesel oder Benzin gekoppelt. Besonders Ottomotoren können, mit geringen technischen Änderungen, Biokraftstoffe, Erd- und Flüssiggas (CNG, LPG) oder Wasserstoff als Kraftstoff einsetzen.

Biokraftstoffe werden aus Pflanzen- oder Pflanzenteilen hergestellt. In Deutschland stammt Bioethanol für Ottomotoren meist aus Zuckerrüben, Weizen oder Roggen. Biodiesel wird hierzulande im Wesentlichen aus Rapsöl produziert. Biokraftstoffe können herkömmlichen Kraftstoffen bis zu einem gewissen Prozentsatz ohne Anpassung der Motoren beigemischt werden und eine positive Auswirkung auf die gesamten Treibhausgasemissionen haben. Voraussetzung dafür ist ein nachhaltiger Anbau der Nutzpflanzen. Das Potenzial (Anbauflächen bzw. verfügbare Menge von Rest- und Abfallstoffen) für die Herstellung von Biokraftstoffen ist allerdings begrenzt.

Rein auf Erdgas ausgelegte Motoren können mit einer höheren Verdichtung und daher effizienter betrieben werden. Bivalente Fahrzeuge, die sowohl Benzin als auch Gas tanken können, weisen hingegen teilweise sogar schlechtere Wirkungsgrade als mit Benzin betriebene Motoren aus. In den vergangenen Jahren kamen in Deutschland etliche Modelle auf den Markt, die ab Werk schon mit Erdgas fahren. Zuvor waren hauptsächlich umgerüstete Erdgasfahrzeuge unterwegs. Im Jahr 2013 wurden allerdings nur 7.835 Erdgasfahrzeuge neu zugelassen (bei insgesamt 2,95 Millionen Neuwagen).

Auch Wasserstoff kann man in Ottomotoren einsetzen. Wesentlich höher ist der Wirkungsgrad in Brennstoffzellenfahrzeugen. Brennstoffzellen wandeln Wasserstoff direkt – ohne Verbrennung, sondern elektrochemisch – in Strom um. Wasserstoff kann in Fahrzeugen nur gasförmig unter hohem Druck bis zu 750 bar oder – extrem tiefgekühlt – flüssig transportiert werden.

Für alternative Energie- und Kraftstoffoptionen im Verkehrsbereich muss zudem eine neue Verteil- und Betankungs- bzw. Ladeinfrastruktur aufgebaut werden. Dies erfordert einen hohen technischen und finanziellen Aufwand. Die Infrastruktur zur Erdgasbetankung von Fahrzeugen nimmt kontinuierlich zu, der Aufbau von Wasserstofftankstellen in Deutschland beginnt gerade erst.



Alternative Kraftstoffe ermöglichen effiziente Antriebe und Einsparungen an Energierohstoffen,  
Quelle: Stock photo © itsmex

## Energiebilanz von der Quelle bis zum Rad



Um die Energieeffizienz eines Antriebskonzepts zu beurteilen, reicht es nicht aus, nur den Verbrauch im Fahrzeug zu betrachten. Vielmehr muss die jeweilige Erzeugungskette der verschiedenen Kraftstoffe mit einbezogen werden, denn bei Förderung, Aufarbeitung und Transport wird Energie aufgewendet. Besonders groß sind die Verluste in der Regel, wenn Energie von einem Energieträger in einen anderen umgewandelt wird.

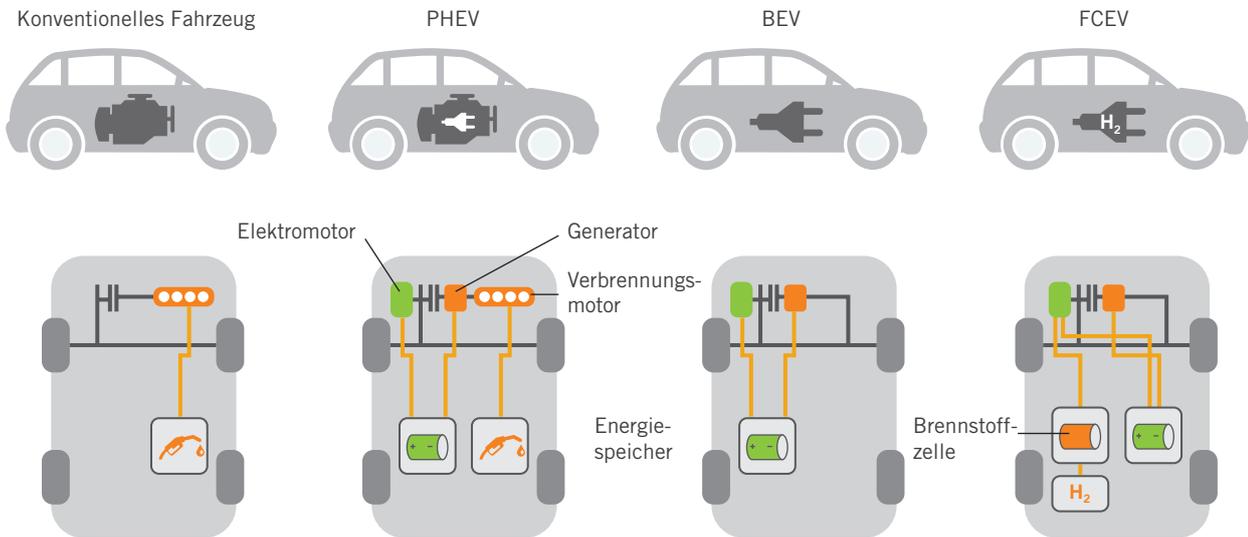
Die Erzeugung von Strom aus Kohle in einem Großkraftwerk hat höchstens einen Wirkungsgrad von rund 45 Prozent (siehe Seite 79), die Herstellung von Wasserstoff gut 70 Prozent.

Die Zahl der möglichen Kombinationen von Rohstoffen, Energieträgern und Antrieben ist groß. Im Internet gibt es einige Programme, die sowohl den Energieaufwand von der Quelle bis zum Rad (Well-to-Wheel) berechnen als auch den Ausstoß von Treibhausgas, der dadurch verursacht wird.

Noch einen Schritt weiter geht die Bilanz über die gesamte Lebensdauer eines Fahrzeugs. Hierbei werden die Energieaufwendungen und Treibhausgase mit eingerechnet, die bei der Herstellung und Entsorgung entstehen.

► [emobil-umwelt.de/index.php/umweltrechner](http://emobil-umwelt.de/index.php/umweltrechner)

## Fahrzeugkonzepte mit Verbrennungsmotor, Plug-in-Hybrid, reinem batterieelektrischen Antrieb und Brennstoffzelle (von links nach rechts)



Quelle: ifeu

## Alternative Antriebe

Mit den Verbesserungen der vergangenen Jahre haben die Konstrukteure das Effizienzpotenzial des Verbrennungsmotors schon sehr weit ausgeschöpft. Größere Energieeinsparungen werden in der Zukunft mit alternativen Antrieben möglich sein. Besondere Beachtung finden in den vergangenen Jahren elektrische Antriebe – in unterschiedlichen technischen Ausprägungen vom Hybrid zum reinen Elektroauto.

Ein Hybridfahrzeug besitzt mindestens zwei Antriebssysteme, die getrennt oder in Kombination arbeiten können. In aller Regel handelt es sich dabei um einen Elektro- und einen Verbrennungsmotor mit den zugehörigen Energiespeichern Batterie und Kraftstofftank. Während bei einem parallelen Hybrid der Antrieb von jedem System einzeln oder in Kombination bereitgestellt wird, erfolgt dieser bei seriellen Hybriden generell über den Elektromotor, dessen Batterie hauptsächlich über eine Verbrennungskraftmaschine, also einen Motor und Generator geladen wird. Daneben gibt es Mischhybride, bei denen die Aufgabe der Motoren variabel an den jeweiligen Fahrzustand angepasst wird.

Außerdem gibt es noch so genannte Mikrohybride, deren Systemkomponenten lediglich zu einer leichten Unterstützung durch elektrischen Strom ausgelegt sind und zum Beispiel über eine elektrische Start-Stopp-Automatik verfügen. Die Entwicklung von Mikrohybriden zum reinen Elektrofahrzeug führt über den immer geringer werdenden Anteil des Verbrennungsmotors am Antrieb und immer größere Batteriekapazitäten.

Bei Plug-in-Hybriden kann die Batterie über eine externe Ladestation geladen werden. Die rein elektrische Reichweite ist bei diesen Autos erheblich größer als bei Hybriden ohne äußere Auflademöglichkeit.

Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs eröffnet gegenüber dem herkömmlichen eine Reihe von Möglichkeiten, die den Verbrauch senken:

- Rekuperation ist die Rückgewinnung und Speicherung von Bremsenergie. Insbesondere im Stadtverkehr und mit einer bedarfsabhängigen Lichtmaschinensteuerung kann diese Technik schon bei Hybriden mit nur kleinen Batterien einen spürbaren Verbrauchsvorteil erzielen.
- Eine intelligente Lastverteilung zwischen den Systemen Elektro- und Verbrennungsmotor sorgt dafür, dass im unteren Lastbereich hauptsächlich bis ausschließlich der Elektroantrieb eingesetzt wird. Der Verbrennungsmotor, dessen optimaler Betriebsbereich unter höherer Last erreicht ist, wird erst bei kritischer Abnahme der Batterieladung oder bei hoher Leistungsanforderung zugeschaltet.
- Downsizing führt dazu, dass der kleinere und von sich aus verbrauchsärmere Motor schneller seinen optimalen Betriebsbereich erreicht und somit effizienter in das Zusammenspiel der beiden Antriebskonzepte eines Hybrides eingebunden werden kann.

Allerdings sind die Vorteile der Hybridkonzepte begrenzt. Neben den höheren Kosten für die zusätzlichen Komponenten und deren Wartung sowie Verlusten durch Energieumwandlung insbesondere bei seriellen Hybriden steigt auch unweigerlich das Fahrzeuggewicht. Im Stadtverkehr überwiegen dennoch eindeutig die Vorteile. Außerorts kann sich die Hybridtechnik durch das Mehrgewicht dagegen auch zu einem Nachteil wandeln und bei hohen Geschwindigkeiten zu einem höheren Energieverbrauch gegenüber konventionellen Pkw führen. Daher ist die Effizienz eines Hybridfahrzeugs eng an den Einsatzzweck und das Nutzungsprofil gebunden.

Trotz der angesprochenen Nachteile stellen Hybridfahrzeuge einen wichtigen Schritt zum reinen Elektroauto dar. Seit 2012 sind mehrere neue Serienfahrzeuge mit reinem Batterieantrieb auf den Markt gekommen, obwohl Ladeinfrastruktur und Reichweite bisher nicht mit den entsprechenden Vergleichswerten konventioneller Fahrzeuge mithalten können. Prinzipiell arbeiten reine Elektrofahrzeuge äußerst effizient, da kaum Umwandlungs- oder Wärmeverluste entstehen; auch sind Fahrzeuggewicht und Komplexität geringer als bei Hybridfahrzeugen. Demgegenüber stehen aber Verluste und Schadstoffemissionen bei der Stromerzeugung, die für eine umfassende Effizienzbeurteilung eines Fahrzeuges mit betrachtet werden müssen. Der mögliche Effizienzvorteil lässt sich also umfassend nur unter Einbeziehung der primärenergetischen Vorkette und der Energie für Herstellung und Entsorgung beurteilen.

Während der Vorteil bei Nutzung erneuerbarer Energie groß ist (über 70 Prozent Klimavorteil gegenüber einem konventionellen Otto-Pkw über den gesamten Lebensweg), sind die Vorteile von Elektrofahrzeugen gegenüber konventionellen Antrieben bei Berechnung mit dem durchschnittlichen deutschen Kraftwerkspark derzeit noch begrenzt. Der hohe Anteil an Kohlekraft macht sich in der Treibhausgasbilanz bemerkbar.

Hier spielt die Zeit jedoch für das Elektroauto: Die Technik wird weiter ausreifen und der Anteil der erneuerbaren Energien im Stromnetz zunehmen. Gleichzeitig wird sich die Bilanz von Benzin und Diesel in der Vorkette verschlechtern – es steigt der Anteil aus Lagerstätten, die nur mit großem Energieaufwand gefördert und aufbereitet werden können.

Neben dem batterieelektrischen Fahrzeug kommen derzeit auch erste Brennstoffzellen-Fahrzeuge auf den Markt, deren Elektromotor mit Strom aus einer Brennstoffzelle betrieben wird (siehe Seite 78). Brennstoffzellen wandeln Wasserstoff und Sauerstoff elektrochemisch in elektrischen Strom um. Brennstoffzellen-Fahrzeuge haben zwei große Vorteile: Zum einen ist der Wirkungsgrad des Antriebsstrangs deutlich höher als der eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor (allerdings deutlich niedriger als der eines Fahrzeugs mit reinem Elektroantrieb). Zum anderen entstehen bei der elektrochemischen Umwandlung fast keine Schadstoffe. Erste Hersteller aus Japan und Südkorea bieten Brennstoffzellen-Fahrzeuge in Serie an.

## Nebenverbraucher



Ein Bereich, der sowohl den Energieverbrauch von konventionellen wie auch alternativen Fahrzeugen in die Höhe treibt, ist bislang weitgehend in der Effizienzdebatte vernachlässigt worden: die Nebenverbraucher. In modernen Autos finden sich Servolenkung, Bremsassistent, Crashsensoren, Klimaanlage, Sitzheizung, Fensterheber, Radio, Navigationsgeräte und vieles mehr. All diese Geräte verbrauchen Energie, die sich aber nicht in den offiziellen Verbrauchsangaben widerspiegelt, da der Neue Europäische Fahrzyklus NEFZ den Betrieb dieser Nebenverbraucher während der Prüfung nicht vorsieht. Angaben zum Energiebedarf dieser Nebenverbraucher können daher meist nur über Schätzungen und Erfahrungswerte ermittelt werden.

Klimaanlagen sind die mit Abstand energiehungrigsten Nebenverbraucher. Ihre Leistungsaufnahme liegt in der Spitze bei vier Kilowatt, im Durchschnitt wird ein

Kilowatt Last abgefragt. Bei Elektrofahrzeugen ist – aufgrund mangelnder Motorabwärme – auch eine zusätzliche Heizung erforderlich. Es gibt bereits technische Lösungen wie variable Kompressorsteuerung und Rezirkulation der Innenraumluft, die den Energieverbrauch deutlich senken können. In zukünftigen Elektroautos können wegen der höheren Bordspannung auch weitere energiesparende Techniken wie effiziente Wärmepumpen eingesetzt werden.



Auch Nebenverbraucher schlucken Sprit,  
Quellen: Stock photo © efenzi, Fotolia © marron\_3

## Politische Instrumente für mehr Effizienz im Verkehr

Die Umsetzung der jüngsten Beschlüsse der Pariser Klimakonferenz erfordert eine Minderung der Emissionen von über 95 Prozent bis zum Jahr 2050 auch im Verkehr. Um dieses Langfristziel zu erreichen, muss der Verkehr deutlich energieeffizienter werden und nahezu komplett mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Daher muss einerseits die Effizienz konventioneller Verbrenner gesteigert werden und andererseits müssen Elektrofahrzeuge, die besonders sparsam mit Energie umgehen, verstärkt Eingang in die Flotte finden.

Bei Pkw wird die Autoindustrie im Rahmen einer EU-Verordnung verpflichtet, bis zum Jahr 2020 den CO<sub>2</sub>-Ausstoß ihrer Neuwagen auf durchschnittlich 95 Gramm pro Kilometer zu senken – das entspricht einem Verbrauch von 4,1 Litern Benzin oder 3,6 Litern Diesel pro 100 Kilometer. Über eine weitere Verschärfung dieser Zielwerte wird derzeit debattiert. Die Vorschriften gelten allerdings als Durchschnitt für die gesamte Fahrzeugflotte in Europa. Die Autobauer können somit höhere CO<sub>2</sub>-Ausstöße von hubraumstarken Fahrzeugen durch den Bau besonders sparsamer Fahrzeuge ausgleichen. Zusätzlich können die Hersteller Fahrzeuge mit einem CO<sub>2</sub>-Ausstoß von weniger als 50 Gramm je Kilometer kurzfristig mehrfach auf ihre Flotte anrechnen lassen – durch so genannte Supercredits. Die realen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf der Straße liegen in der Praxis jedoch deutlich über den gesetzlich geforderten Werten, der Abstand ist in den letzten Jahren zudem deutlich angestiegen.

Die Bundesregierung fördert effiziente Autos auch über die Steuern: Autos mit einem Ausstoß von höchstens 95 Gramm pro Kilometer sind in Deutschland von der CO<sub>2</sub>-basierten Komponente der Kfz-Steuer befreit. Halter solcher Fahrzeuge zahlen also nur einen Sockelbetrag, der sich am Hubraum bemisst. Oberhalb der Grenze werden jährlich zwei Euro pro Gramm an Zusatzsteuer fällig. Außerdem haben auch die Kraftstoffsteuern und die Lkw-Maut eine steuernde Wirkung auf den Verbrauch.

Im „Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz“ (NAPE) und im „Aktionsprogramm Klimaschutz 2020“ kündigte die Bundesregierung weitere Maßnahmen an, um Energie im Verkehrssektor einzusparen und den Ausstoß von Treibhausgasen zu vermeiden:

- Förderung von Elektroautos und Plug-in-Hybriden, um das Ziel von einer Million Elektrofahrzeugen im Jahr 2020 zu erreichen. Beim Kauf reiner Elektroautos gibt es daher seit dem 18. Mai 2016 eine Kaufprämie von 4.000 Euro und bei Plug-in-Hybriden von 3.000 Euro



Umweltverträglicher Verkehr durch politische Instrumente, Quelle: Fotolia © VRD

pro Fahrzeug, wobei die Hälfte des Betrags als direkte staatliche Förderung ausgezahlt wird.

- Darüber hinaus wird die Bundesregierung einen Feldversuch zur Erprobung elektrischer Antriebe bei schweren Nutzfahrzeugen durchführen. Die EU-Richtlinie „Clean Power for Transport“ verpflichtet zudem die Mitgliedsstaaten zum Aufbau einer Tank- und Ladeinfrastruktur für alternative Kraftstoffe. Hierfür will die Bundesregierung spätestens bis Ende 2016 einen nationalen Strategieplan entwickeln.
- Investitionen in den Ausbau der Infrastruktur in einem deutlich höheren Umfang als in der Vergangenheit, um den Schienengüterverkehr zu stärken.
- Ausweitung der Lkw-Maut auf Fahrzeuge ab 7,5 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht und auf 1.100 Kilometer vierspurige Bundesstraßen sowie in einem weiteren Schritt auf alle Bundesstraßen ab 2018. Staffelung der Lkw-Maut in Abhängigkeit vom Energieverbrauch.
- Bündelung von Verkehren in Ballungsgebieten und verstärkter Einsatz von Lastenrädern zur Stärkung regionaler Wirtschaftskreisläufe.
- Förderung des Rad- und Fußverkehrs durch die direkte und indirekte Finanzierung von Radwegen.
- Gutscheine für Spritsparkurse beim Kauf eines Neuwagens.
- Unterstützung von Carsharing durch die Verabschiedung eines Carsharinggesetzes.

## Weiterführende Links



Mit dem vom Bundesumweltministerium geförderten Umweltrechner des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg lassen sich die Umweltwirkungen von Elektroautos, Plug-in-Hybriden und konventionellen Fahrzeugen vergleichen.

► [emobil-umwelt.de/index.php/umweltrechner](http://emobil-umwelt.de/index.php/umweltrechner)

Das Umweltbundesamt (UBA) veröffentlicht Kennzahlen zum Energieverbrauch verschiedener Verkehrsträger in Deutschland.

► [www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/energieverbrauch-nach-verkehrstraegern](http://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/energieverbrauch-nach-verkehrstraegern)

Die Deutsche Energie-Agentur (dena) informiert über die Effizienzkenzeichnung für Pkw.

► [www.pkw-label.de](http://www.pkw-label.de)

EcoPassenger vergleicht Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen verschiedener konkreter Reiserouten mit Autos, Zügen und Flugzeugen in Europa.

► [www.ecopassenger.com](http://www.ecopassenger.com)

Auf der Homepage der Deutschen Bahn wird auf Wunsch der Energieverbrauch der gewählten Verbindung in einem Umweltmobilcheck angezeigt und mit den Alternativen (z. B. Reise mit Pkw oder Flugzeug) verglichen.

► [www.bahn.de](http://www.bahn.de)

Umweltkennzahlen für ausgewählte Transportrelationen kann man für den Güterverkehr mit EcoTransIT berechnen.

► [www.ecotransit.org](http://www.ecotransit.org)

Ein Einblick in Wasserstoff als Verkehrskraftstoff

► [www.cleanenergypartnership.de](http://www.cleanenergypartnership.de)



7

## 7 EFFIZIENZ ALS UMFASSENDE ZUKUNFTSAUFGABE

Die Energiewende bedeutet nicht nur eine überwiegende Versorgung aus erneuerbaren Energien („Zeitalter der Erneuerbaren“), sondern gleichzeitig ein „Zeitalter der Energieeffizienz“.

Die vorangehenden Kapitel haben gezeigt: Die technischen Potenziale zur Energieeinsparung sind groß und können vielfach wirtschaftlich innerhalb der nächsten Jahrzehnte erschlossen werden. Eine große Herausforderung für die Politik, für Verbraucherinnen und Verbraucher sowie für Industrie und Unternehmen besteht darin, dass sich die Einsparpotenziale auf sehr viele unterschiedliche Bereiche und eine Vielzahl von unterschiedlichen Maßnahmen verteilen.

### Innovationen für mehr Energieeffizienz

Die Steigerung der Energieeffizienz wird entscheidend durch soziale und technische Innovationen vorangetrieben. Hier sind technologische Entwicklungen zu erwarten, die sich heute bestenfalls im Ansatz erahnen lassen und die vermutlich dazu führen, dass sich die bekannte Lebenswelt der Menschen verändern wird.

Die unterschiedlichen Energiesysteme werden enger zusammenwachsen. Strom wird zu der maßgeblichen Energiequelle werden und herkömmliche Energieträger wie im Verkehr das Mineralöl oder im Wärmemarkt das Erdgas verdrängen. Damit verbunden sind technologische Innovationen im Bereich der Elektromobilität und im Gebäudebereich.

Ein junges Innovationsfeld sind zum Beispiel so genannte Nullenergiegeräte. Das sind Haushaltsgeräte, die unabhängig vom Stromnetz funktionieren. Heute sind das meist Kleingeräte, die entweder über Solarzellen betrieben werden – etwa Taschenrechner, Gartenlaternen oder Milchschaumer – oder durch Bewegungsenergie, wie Armbanduhrer oder handbetriebene Taschenlampen und Radios. In Zukunft ist es denkbar, dass auch größere Geräte wie Fernseher oder sogar Kühlgeräte ohne Stromanschluss funktionieren. Es sind aber noch erhebliche Anstrengungen in der Forschung notwendig, um etwa Umgebungswärme oder Vibrationsenergie in ausreichendem Umfang zu nutzen.

Ein weiteres Innovationsfeld sind die Effizienzhäuser Plus. Diese neue Gebäudegeneration erwirtschaftet mit erneuerbaren Energien über ein Jahr mehr Energie als für die Unterhaltung inklusive Licht und Haushaltsgeräten benötigt. Überschüssig erwirtschaftete Energie kann angeschlossenen Elektromobilen zur Verfügung gestellt werden. Im Netzwerk Effizienzhaus Plus bietet ein innerstädtisches Effizienzhaus-Plus-Mehrfamiliengebäude der ABG Frankfurt am Main erstmalig seinen Mietern die Nutzungsmöglichkeit eines im Hause mit angeschlossenen E-Mobil-Carsharings an.

Neben den technischen werden insbesondere auch soziale Innovationen einen großen Beitrag zur Energiewende leisten. Schon heute organisieren sich viele Bürger in „Energie-Genossenschaften“ und bei „Energietischen“, um die Energieeffizienz ihrer Städte, Quartiere oder Dörfer voranzubringen. Es wird immer populärer, Gebrauchsgegenstände, Werkzeuge oder Fahrzeuge gemeinsam zu nutzen. Was mit genossenschaftlich organisierten Carsharing-Ver-einen begann, hat sich um kommerzielle Dienstleistungen erweitert, die auch von großen Automobilfirmen angeboten werden.

Das Potenzial dieser sozialen Innovationen ist heute noch gar nicht genau abschätzbar.

Viele soziale Innovationen kommen ohne große Investitionen aus und sind deshalb nicht auf kapitalkräftige Unternehmen oder ein leistungsfähiges Forschungssystem angewiesen. Technische Innovationen werden in der Regel durch einen kleinen Kreis von Experten bestimmt. Soziale Innovationen hingegen können breit und daher mit noch größerem Erfindungsgeist in der Gesellschaft ausgelöst werden. Damit stehen sie auch den Menschen in Entwicklungs- und Schwellenländern offen, die sich keine Hochtechnologie leisten können. Soziale und technologische Innovationen sind aber kein Widerspruch – in manchen Projekten ergänzen sie sich ideal, etwa beim Carsharing mit Elektroautos.

## Bürgerschaftliche Finanzierung von Energieeffizienz



Die direkte Beteiligung von Bürgern an der Energieversorgung ist ein zentrales Element der Energiewende. Speziell seit der Einführung der Einspeisevergütung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz im Jahr 2000 haben sich viele Bürger an dezentralen Photovoltaik- und Windkraftanlagen beteiligt. Aktuell liegt rund die Hälfte der installierten Anlagenleistung erneuerbarer Energien im Stromsektor in Bürgerhand. Neben privaten Einzeleigentümern gehören dazu auch immer häufiger gemeinschaftliche Eigentums- und Organisationsformen. Die Zahl der Bürger-Energie-Genossenschaften hat sich in den vergangenen Jahren rasant entwickelt, von knapp 100 im Jahr 2006 auf fast 1.000 Ende 2014. In der Regel beteiligen sich Bürger mit einer finanziellen Einlage und oft einem darüber hinausgehenden Darlehen an der Errichtung und am Betrieb der Anlagen.

In letzter Zeit rückt auch die Beteiligung von Bürgern an Energiesparmaßnahmen in den Fokus. Die Idee: Effizienzmaßnahmen wie der Austausch alter Lampen durch moderne LEDs oder der Einbau einer neuen Heizungsanlage oder eines Blockheizkraftwerks in Unternehmen, öffentlichen Gebäuden oder Privathäusern werden durch Privatkapital finanziert. Im Gegenzug erhalten die Bürgerinvestoren auf ihre Einlage eine Rendite, die aus den eingesparten Energiekosten gespeist wird. Idee, Planung und Durchführung können von lokalen Bürger-Energie-Genossenschaften, durch Bürgerinitiativen in Form von

Stiftungen oder Vereinen oder von externen Projektdienstleistern getragen werden.

Ein Beispiel für eine solche bürgerschaftliche Finanzierung ist das Konzept der Solar-und-Spar-Schulen in Nordrhein-Westfalen. Durch die Installation von Photovoltaik-Anlagen mit 50 Watt Leistung pro Schüler und die Reduktion des Stromverbrauchs um ebenfalls 50 Watt pro Schüler wurden erneuerbare Energien und Energieeffizienz gleichzeitig vorangebracht. Die Einsparungen wurden vor allem durch den Einbau effizienterer Lampen erreicht. Neben einer Förderung durch das Bundesland wurden finanzielle Mittel von Eltern, Lehrern und Bürgern vor Ort eingeworben. Das Konzept wurde an vier Schulen erfolgreich umgesetzt.

Zurzeit wird in den drei Pilotregionen Aachen, Berchtesgadener Land und Norderstedt auch das Konzept regionaler Energieeffizienz-Genossenschaften erprobt. Das Projekt wird im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative vom Bundesumweltministerium gefördert. Ziel ist es, eine durch Bürgerkapital und begünstigte Kredite finanzierte Beratungs-, Finanzierungs- und Planungsplattform für Energieeffizienzprojekte in den betreffenden Regionen einzurichten. Zielgruppe sind Unternehmen, kommunale Einrichtungen und Privatpersonen.

► [www.reeg-info.de](http://www.reeg-info.de)

## Energieeffizienz international

Überall auf der Welt stehen Staaten vor der Aufgabe, ihre Energieversorgung grundlegend zu erneuern. Viele Länder müssen ihre veraltete Infrastruktur ersetzen oder wollen sich von Brennstoffimporten unabhängig machen. Andere haben mit der Umweltverschmutzung aus Kraftwerken zu kämpfen oder sorgen sich über die Auswirkungen des Klimawandels auf ihre Region. Nicht zuletzt ringen gerade aufstrebende Schwellenländer wie China oder Indien darum, ihren rasant wachsenden Energiebedarf nachhaltig zu stillen. Viele Regierungen beobachten deshalb aufmerksam, wie Deutschland seine Energiewende meistert.

Diese Entwicklung bringt viele Chancen mit sich. Die deutsche Energiewende ist ein Schaufenster für innovative, effiziente Technologien. Maschinen, Kraftwerkstechnologie und Autos aus Deutschland sind weltweit gefragt.

Gleichzeitig können deutsche Unternehmer und Politiker auch von den Strategien anderer Länder lernen. Manche Regierungen gehen entschlossen voran.

### Beispiel China

Große Effizienzfortschritte macht zurzeit China. Zwischen 2006 und 2015 setzte die Regierung dort eine ganze Reihe von Effizienzmaßnahmen in Kraft. Ein Fokus war die Industrie, die dort für rund die Hälfte des Energieverbrauchs verantwortlich ist – vor allem in den Branchen Stahl und Zement. Zu den Maßnahmen gehörten Zielvorgaben für den Energieverbrauch großer Unternehmen, die Einführung von Energiemanagementsystemen, die Schließung veralteter Betriebe und finanzielle Anreize durch Prämien. Allein zwischen 2006 und 2009 sparte China so über 4.400 Petajoule Energie ein. Das entspricht etwa dem gesamten Primärenergiebedarf Polens.

Auch die Energieanforderungen für Gebäude hat die chinesische Regierung entscheidend verschärft. Diese Anstrengungen sind umso wichtiger, als in China über die vergangenen zehn Jahre rund ein Drittel der weltweiten Neubaupläne entstanden ist. Dabei geht es auch um neue Gebäudestrategien. Das erste Passivhaus in Westchina wurde 2014 in Urumqi, der Hauptstadt der Provinz Xinjiang, fertiggestellt. Zusammen mit dem chinesischen Bauträger und der Baubehörde der Stadt erreichten deutsche Planer das anspruchsvolle Ziel, den Heizwärmebedarf im Vergleich zu den Anforderungen für Neubauten um 80 Prozent zu senken. Die Konzeption für das 7.700 Quadratmeter große Gebäude mit Büros, Geschäften und Restaurants wurde gemeinsam von einem deutschen Architekturbüro und dem Xinjiang Architectural Design Institute erstellt. Das ifeu Heidelberg und das Passivhaus Institut Darmstadt begleiteten das Vorhaben.

In Urumqi, einer Stadt mit 3,2 Millionen Einwohnern, wurden in den vergangenen Jahren mehr als sieben Millionen Tonnen Kohle pro Jahr für das Heizen von Gebäuden verbrannt. Ohne ausreichende Abgasreinigungsanlagen gelangten aus den niedrigen Schornsteinen der Heizwerke viele Schadstoffe direkt ins Stadtzentrum. Häufige Inversionswetterlagen in den sehr kalten Wintern führten zu heftigem Smog mit negativen Auswirkungen auf die Gesundheit der Bewohner.

Die Gebäudefläche wird sich in Urumqi bis 2034 voraussichtlich auf 210 Millionen Quadratmeter verdoppeln – das entspricht der gesamten Bautätigkeit in Deutschland. Im Jahr 2010 hat die Stadt einen langfristigen Masterplan mit ehrgeizigen Zielen für die Energieeffizienz von Gebäuden verabschiedet. Mit dem Passivhaus-Pilotprojekt wurde gezeigt, dass technisch anspruchsvolle Gebäude mit hoher Effizienz realisierbar und auch wirtschaftlich vorteilhaft sind, wenn die staatlichen Subventionen der Energiepreise berücksichtigt werden. Die Anforderungen an die Bauqualität waren hoch; zum ersten Mal wurden hierfür Passivhausfenster einer deutschen Firma in China gefertigt. Die begleitende Forschung wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Förderschwerpunkts „Future Megacities“ gefördert.

Das Projekt wurde mit Trainingsmaßnahmen der deutschen Seite (Planung, Qualitätssicherung, Dämmung, Lüftung) begleitet. Mit der Unterstützung deutscher Wissenschaftler wird derzeit ein Passivhausstandard für Xinjiang entwickelt, um ein Förderprogramm für Passivhäuser aufzulegen. Das Interesse an solchen Projekten wächst auch in anderen Städten Chinas.



Das erste Passivhaus in Westchina an Urumqis Glücksstraße (Xingfu Lu), Quelle: ifeu

Auch die Politikinstrumente zur Förderung der Energieeffizienz entwickeln sich weltweit weiter, gleichen sich den deutschen Maßnahmen an oder entwickeln sich darüber hinaus. So wurden in den USA neue Effizienz- und CO<sub>2</sub>-Regelungen für Kraftwerke eingeführt und acht indische Bundesstaaten haben Gebäudeeffizienzstandards etabliert, die der deutschen Energieeinsparverordnung (EnEV) ähneln. Aus Japan wiederum stammt die Idee der Top-Runner-Strategie (siehe Seite 58). Dort gibt es entsprechende Programme mittlerweile auch für Fenster und Dämmstoffe. In vielen europäischen Ländern wurden zudem die Energieversorger oder Netzbetreiber verpflichtet, Energieeffizienzmaßnahmen durchzuführen.

### Energieeffizienz und Entwicklungszusammenarbeit

Vor allem ärmere Entwicklungsländer können nicht aus eigener Kraft die notwendige Finanzierung und Infrastruktur für Effizienzmaßnahmen bereitstellen. Die Bedeutung des Energiesektors hat auch in der entwicklungspolitischen Zusammenarbeit in den vergangenen Jahren stark zugenommen. Energieeffizienz wird durch die Internationale Klimaschutzinitiative (IKI) des Bundesumweltministeriums (BMUB) gefördert. Der Initiative stehen jährlich mindestens 120 Millionen Euro zur Verfügung. Insgesamt gibt es aktuell 515 Projekte weltweit. Davon beschäftigen sich 76 mit dem Thema Energieeffizienz. 23 Projekte sind in Europa, dem Kaukasus und Zentralasien beheimatet, elf im Mittleren Osten und in Afrika, fünf in Mittel- und Südamerika und der Karibik und 24 in Süd- und Südostasien. Auch das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) unterstützt Energievorhaben in über 50 Kooperationsländern.

Ein Beispiel für ein Projekt der Internationalen Klimaschutzinitiative ist ein Pilotvorhaben in Chile zu „Energieeffizienz und Kraft-Wärme-Kopplung in öffentlichen Krankenhäusern“. Durchgeführt wird das Vorhaben durch die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Chilenische Partner sind das chilenische Energieministerium, die Energieeffizienz-Agentur (AChEE) und das chilenische Gesundheitsministerium. Ziel ist es, nachzuweisen, dass BHKW technisch und wirtschaftlich in Chile einsetzbar sind, und damit einen Markt für diese dort noch unbekannt Technologie zu entwickeln. Das Marktpotenzial für BHKW wird in Chile auf ca. 1.000 MW geschätzt.

Machbarkeitsstudien zeigen, dass in den unterschiedlichen Krankenhäusern die Aufstellung von KWK-Anlagen in der Leistungsgröße zwischen 50 und 400 kW<sub>el</sub> wirtschaftlich umgesetzt werden kann. Bei einer Nutzungsdauer der Investitionen von 15 Jahren werden diese in fünf bis sechs Jahren amortisiert, bei gleichzeitiger Reduzierung der Treibhausgase um bis zu 50 Prozent. Bestandteil des Pilotprojekts sind Sensibilisierungsmaßnahmen

für das Krankenhauspersonal, Aus- und Fortbildungen zum Thema Kraft-Wärme-Kopplung und Energieeffizienz in Krankenhäusern sowie die Förderung des Energiespar-Contractings in Chile. Dabei werden aufgrund besonderer Verträge zur Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen nötige Investitionen mit den Einsparungen bezahlt. Das Vorhaben koordiniert die Aktivitäten zwischen den beteiligten Institutionen und ist verantwortlich für Installation und Inbetriebnahme der Anlagen sowie für Messung, Verifizierung und das Verbreiten der Ergebnisse.

Neben günstigen Entwicklungskrediten läuft die Unterstützung vor allem durch Beratung der Kooperationsländer – meist durch die oben bereits erwähnte Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Die Deutschen kooperieren dabei mit allen relevanten Akteuren: Ministerien, Kommunalverwaltungen und Verbänden, Finanzinstitutionen und wissenschaftlichen Einrichtungen, aber auch mit Energienutzern, wie Unternehmen oder Privathaushalten.

Die Unterstützung zur Energieeffizienz kann auch auf einfachster Technik beruhen. So begann die GIZ im Jahr 2006 in Zusammenarbeit mit dem kenianischen Ministerium für Landwirtschaft mit der Förderung von Produktion, Marketing, Installation und der weiteren Verbreitung der effizienten Holzkochherde. Das Programm unterstützt zwei Arten von Kochherden. Der „jiko kisasa“ (Swahili-Ausdruck für „moderner Herd“) ist ein für den Haushalt geeigneter Herd. Mit einer keramikbeschichteten Brennkammer kann er sowohl für den stationären als auch den mobilen Gebrauch angepasst werden. Ein „Rocket-Stove“ ist eine bleibende, aus Ziegeln gemauerte Konstruktion, durch deren besonderes Design 90 Prozent der erzeugten Hitze auf den Boden des Kochtopfes konzentriert werden. Bis Ende 2012 wurden etwa 1,4 Millionen Kochherde in ganz Kenia installiert, die von sieben Millionen Menschen genutzt werden. Als Ergebnis der kommerziellen Vorgehensweise des Projekts sind inzwischen 4.200 Personen als selbständige Herd-Händler tätig. Jeder energieeffiziente Herd spart jedes Jahr etwa eine Tonne Brennholz, insgesamt mehr als 1,5 Millionen Tonnen. Das entspricht 84.000 Hektar Urwald.



Einfache Technik, aber effizient: kenianischer Holzkochherd, Quelle: GIZ

## Effizienz und Suffizienz als kultureller Wandel

Viele Szenarien sind sich einig: Der Energiehunger der Menschheit muss gezügelt werden, um den Klimawandel zu bremsen und die natürlichen Ressourcen nachhaltig zu nutzen. Auch das „Integrierte Umweltprogramm 2030“ des BMUB vom August 2016 setzt hier an und stellt Maßnahmen für eine nachhaltige Gesellschaft vor. Doch wie viel ist zu viel? Eine allgemeine Faustformel beziffert den nachhaltigen jährlichen Energieverbrauch jedes Erdenbürgers auf rund 17.500 Kilowattstunden. Das entspricht einem Verbrauch von ca. 1.700 Liter Heizöl pro Jahr und Person – oder dem Energiebedarf einer dauerhaft laufenden Maschine mit einer Leistung von 2.000 Watt. Dieser eingängige Wert geht auf das energiepolitische Modell der „2.000-Watt-Gesellschaft“ zurück, das an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ) entwickelt wurde. Heute benötigen wir in Deutschland noch 8.300 Watt.

Effizienz ist ein wichtiger Ansatz, um Energie zu sparen. Weit darüber hinaus gehen so genannte Suffizienzstrategien. Der entscheidende Unterschied zur Effizienz besteht bei der Suffizienz darin, auch die absolute Menge an Dienstleistungen, Komfortansprüchen und Bedürfnissen zu reduzieren. Während Energieeffizienz die Kunst ist, ein Bedürfnis mit möglichst wenig Energieaufwand zu befriedigen, ist Suffizienz der Ansatz, Bedürfnisse zu hinterfragen, zu ändern oder zurückzuschrauben. Durch Suffizienz

kann es auch gelingen, direkte und indirekte Rebound-Effekte (siehe Seite 22) zu begrenzen.

Der Ausgangspunkt für Suffizienz ist es, sich die eigenen Bedürfnisse und ihre Folgen bewusst zu machen und Verantwortung zu übernehmen – für die eigenen Grenzen und für eine nachhaltige Entwicklung der Gesellschaft. So führt Suffizienz dazu, für sich selbst ein vernünftiges Maß zu finden und gleiche Lebensgrundlagen für heutige und zukünftige Generationen zu bewahren. Sie erfordert damit im Kern eine Konzentration auf das Wesentliche, auf das, was einem wirklich wichtig und gesellschaftlich verantwortlich ist.

Ein achtsamer Umgang mit Ressourcen ist stark von gesellschaftlichen Rahmenbedingungen und kulturellen Werten abhängig. Nicht nur die Klima- und die Nachhaltigkeitspolitik sollten der Rahmen sein, diesen erforderlichen Wertewandel aufzuzeigen und zu diskutieren. Das Thema „Wie wollen wir künftig leben?“ sollte stärkeren Eingang in alle Politik- und Gesellschaftsbereiche finden.

Suffizienz zielt sowohl auf viele einzelne energierelevante Entscheidungen zum Konsum und zum Technikgebrauch als auch auf grundsätzlichere Veränderungen energie-relevanter Aspekte des Lebensstils, sozialer Praktiken und Versorgungsweisen ab. Ob das als Verzicht oder Bereicherung empfunden wird, ist von Mensch zu Mensch verschieden – und kann sich mit dem Stellenwert der Suffizienz in der Gesellschaft ändern.

### Ausprägungen und Auswirkungen suffizienten Handelns



## Suffizienz: Reduktion – Substitution – Anpassung



Grundsätzlich gehören drei unterschiedliche Strategien zur Suffizienz: Reduktion, Substitution und Anpassung.

### Reduktion

Von den drei Suffizienzstrategien ist die Reduktion am ehesten mit dem Begriff des Verzichts verbunden. Hier geht es darum, den Energieverbrauch von technischen Geräten, der Heizung oder der Warmwasserversorgung dadurch zu senken, dass man sie weniger nutzt oder schwächere, aber sparsamere Alternativen anschafft. Das kann beispielsweise bedeuten, dass die Haushaltsmitglieder weniger fernsehen, die Klimaanlage im Sommer bei 32 Grad statt bei 27 Grad Celsius einschalten oder fünf statt zehn Minuten warm duschen.

Reduktion kann aber auch als Reduktion überflüssiger Funktionen verstanden werden. So können zum Beispiel Smartphones oder Tablet-Computer in vielen Haushalten alle benötigten und gewünschten Funktionen der Informations-, Kommunikations- und Unterhaltungselektronik abdecken. Separate Telefonanlagen, Hi-Fi-Geräte oder Bildschirme sind deshalb zumindest teilweise verzichtbar.

Immer kürzer werdende Innovationszyklen und entsprechende Marketingstrategien führen zum Bedürfnis, immer über diese neuesten Techniken zu verfügen. Da die bisher verwendeten Geräte weiter funktionstüchtig sind, werden sie oft nicht entsorgt, sondern weiter betrieben. Suffizientes Geräte- und Dienstleistungsdesign müsste deshalb den Ersatz der veralteten Geräte oder Funktionen durch die neuen ermöglichen, ohne dass sich immer mehr Technik ansammelt. Das ließe sich etwa dadurch lösen, dass Produkte modular gestaltet werden – statt eines neuen Handys wird nur der Prozessor oder der Bildschirm erneuert. Eine weitere Möglichkeit wäre, beim Neukauf den

Kunden, Händler oder Hersteller darauf zu verpflichten, Altgeräte zu recyceln.

Auch bei Reduktion können Rebound-Effekte auftreten. Es braucht deshalb gleichzeitig attraktive Alternativen, um die entstehenden Lücken zu schließen – sonst fließt die frei gewordene Zeit oder das gesparte Geld gleich in neue energiehungrige Aktivitäten oder Produkte.

### Substitution

Durch Substitution werden energieintensive Dienstleistungen durch weniger energieintensive ersetzt. Das kann die Wahl frischer Nahrungsmittel oder Konserven statt Tiefkühlkost sein, Duschen statt Baden oder die Nutzung der Wäscheleine statt des Trockenautomaten. Auch außerhalb des Haushalts lässt sich durch einen suffizienten Lebensstil Energie einsparen, wenn etwa die Fahrt mit dem eigenen Auto durch die Nutzung einer Mitfahrgelegenheit substituiert wird oder der Urlaub statt mit dem Flugzeug in die Ferne mit dem Fahrrad durch die heimische Region führt.

### Anpassung

Schließlich ist es auch suffizient, die Größe, Leistungsfähigkeit oder Nutzungsdauer eines Geräts an die tatsächlichen Bedürfnisse anzupassen. Wenn etwa die Waschmaschine meist nur halb vollgeladen wird und im Kühlschrank ganze Fächer leer stehen, dann ist die Anschaffung kleinerer Geräte sinnvoll. Intelligente Technik kann zudem helfen, Energie zu sparen, indem sie etwa automatisch die Monitorhelligkeit an das Umgebungslicht anpasst, nicht genutzte Funktionen abschaltet oder die Raumtemperatur bei Abwesenheit herunterregelt. Mit Carsharing stehen unterschiedliche Pkw-Größen für unterschiedliche Aufgaben zur Verfügung.

## Energieeffizienz: Mehr durch weniger

Diese Broschüre hat gezeigt: Einen einheitlichen „Masterplan Energieeffizienz“ gibt es nicht, aber viele verteilte Ansätze. Energieeffizienz muss daher zum Bestandteil der Unternehmenskultur, des politischen Handelns – bei Bund, Ländern und Kommunen – und des Lebensalltags der Menschen werden.

Das Thema muss auch in den Medien den Stellenwert bekommen, wie ihn heute schon der Ausbau der erneuerbaren Energien einnimmt. Wichtig ist es dabei, dass Energieeffizienz nicht als Verzicht von Komfort und Einfachheit wahrgenommen wird, sondern als kluger Fortschritt. Nur so kann sich der effiziente Umgang mit Energie auch in das Bewusstsein der Bürger verankern und wie selbstverständlich gelebt werden.

## Weiterführende Links



Die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) unterstützt die Bundesregierung als Dienstleister in der internationalen Zusammenarbeit – auch bei Projekten zu Energieeffizienz.

► [www.giz.de](http://www.giz.de)

Die Internationale Klimaschutzinitiative des Bundesumweltministeriums fördert weltweit Klimaschutzprojekte.

► [www.international-climate-initiative.com](http://www.international-climate-initiative.com)

Website zum vom Bundesforschungsministerium geförderten Projekt „Energiesuffizienz – Strategien und Instrumente für eine technische, systemische und kulturelle Transformation zur nachhaltigen Begrenzung des Energiebedarfs im Konsumfeld Bauen/Wohnen“

► [www.energiesuffizienz.de](http://www.energiesuffizienz.de)

