

Themenbereich A: Grundlagen
Themenblock 2: Umweltbezogenes Material- und Prozesswissen

A2.5

UMWELTASPEKTE DER ENERGIEERZEUGUNG

Ökopol – Institut für Ökologie und Politik GmbH

Autorinnen und Autoren:

Dirk Jepsen (Ökopol), Evelyn Schönheit (FÖP), Susanne Volz (Ökopol),
Dr. Olaf Wirth (Ökopol) und Till Zimmermann (Ökopol)

A2.5

UMWELTASPEKTE DER ENERGIEERZEUGUNG

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Hintergründe und Definitionen
- 3 Die Nutzbarmachung von Energie
- 4 Energie in Zahlen
- 5 Umweltwirkungen von Energieerzeugung und -verbrauch
- 6 Fazit

1 EINLEITUNG

Andere Themenhefte beziehen sich häufig auf den Energieverbrauch bzw. die Energieeffizienz von Produkten. Aufgrund der mit der Energieerzeugung einhergehenden Umweltwirkungen, ist der Energieverbrauch eine wesentliche Kennzahl für die ökologische Produktentwicklung. Der Primärenergieverbrauch, der heute (noch) zu über 80% durch die Verbrennung fossiler Energieträger wie Öl, Kohle und Gas gespeist wird, trägt entscheidend zu den wesentlichen Umweltproblemen wie Klimawandel, Landnutzung (bzw. die Auswirkungen von Landnutzungsänderungen), terrestrische und aquatische Versauerung und Eutrophierung sowie Schwermetallbelastung der Umwelt bei.

Neben der Verbrennung, bei der große Mengen klimaschädlicher Treibhausgase freigesetzt werden, kommt es auch durch die Gewinnung fossiler Energieträger zu erheblichen Umweltwirkungen, die durch die zunehmende Verknappung der Ressourcen stetig größer werden: Um Ressourcen aus schwer zugänglichen Vorkommen zu gewinnen, werden zunehmend Technologien und Prozesse mit erheblichen Umweltwirkungen und -risiken eingesetzt, wie bspw. Tiefseeölbohrungen, Fracking zur Erdgasgewinnung oder Abbau und Aufbereitung von Ölsanden. Während der Abbau solcher Vorkommen lange Zeit nicht wirtschaftlich war, sorgen hier langfristig steigende Preise und geopolitische Erwägungen zunehmend für einen Wandel zu Lasten der Umwelt.

Die Verringerung des Primärenergiebedarfes ist daher einer der wesentlichen Hebel für aktiven Umweltschutz.

Dieses Themenpapier soll Produktdesignern ein grundsätzliches Verständnis der Hintergründe zur Energiegewinnung liefern sowie bestehende Problematiken und Potentiale aufzeigen. In der Gestaltung energieeffizienter Produkte – bezogen sowohl auf die Herstellung als auch die Nutzung – liegt ein Potential des aktiven Umweltschutzes, das Produktdesigner erschließen können.

A2.5

2 HINTERGRÜNDE UND DEFINITIONEN

Zum besseren Verständnis der Hintergründe der Energieerzeugung und der daraus resultierenden Umweltwirkungen werden zunächst eine Reihe grundsätzliche physikalische Zusammenhänge und Definitionen erläutert.

Energie kann in unterschiedlichen Formen vorliegen, z.B. als mechanische Energie (Bewegung von Körpern und Fluiden sowie Lageenergie), thermische Energie (Wärmeenergie), chemische Energie (Brennwert von Brennstoffen), elektrische Energie (Energie, die mittels Elektrizität übertragen wird) oder Spaltungsenergie (Freisetzung der Bindungsenergie der Nukleonen von Atomen). Bei der umgangssprachlichen Energieerzeugung wird tatsächlich keine Energie erzeugt, sondern es erfolgt eine Umwandlung von Energieformen, dennoch wird im Kontext dieses Papiers auch der umgangssprachliche Begriff der Energieerzeugung verwendet. Im Kohlekraftwerk beispielsweise wird chemische Energie (gebunden in der Braun- oder Steinkohle) zunächst in Wärmeenergie (thermische Energie aus der Verbrennung), dann in mechanische Energie (Antrieb der Dampfturbine) und schließlich im Generator in elektrische Energie umgewandelt. Ähnliches gilt beim Energieverbrauch. Hier erfolgt ebenfalls eine Umwandlung von Energieformen, bspw. in Kraftfahrzeugen von chemischer Energie in mechanische Energie oder bei Glühlampen von elektrischer Energie in Licht und Wärme. Ein tatsächlicher Verbrauch von Energie findet nicht statt. Dies findet Ausdruck im physikalischen Energieerhaltungssatz: „Energie kann weder erzeugt noch vernichtet, sondern nur in andere Formen umgewandelt werden.“

Auch wenn dies bedeutet, dass die Energiemenge auf der Erde mehr oder weniger konstant ist¹, ergeben sich in der Praxis jedoch Einschränkungen, da wir nur bestimmte Energieformen nutzen können. Die Umwandlung von Energieformen erfolgt dabei niemals vollständig. Ein Teil der Energie dissipiert stets, d.h. er geht in nicht-nutzbare Formen über. Dies findet Ausdruck im zweiten Hauptsatz der Thermodynamik („es gibt kein perpetuum mobile zweiter Art“²).

In der Umwandlung von Energie in die für uns nutzbaren Formen kommt es also doch zu Energieverlusten³. Die Ausbeute der Umwandlungsprozesse, d.h. das Verhältnis von entstehender nutzbarer Energie zur theoretisch zur Verfügung stehenden Energie, wird als Wirkungsgrad bezeichnet. Bzgl. der Umwandlung bzw. Erzeugung und dem Verbrauch von Energie sind zudem eine Reihe weiterer Begriffe von Bedeutung:

Primärenergie: Als Primärenergieträger oder Primärenergien werden natürlich vorkommende Energieformen bezeichnet, die **noch keine Umwandlung durch den Menschen erfahren** haben, wie bspw. Kohle, Erdgas und Rohöl, aber auch Windenergie oder Wasserenergie.

Sekundärenergie: Die aus der Primärenergie gewonnenen nutzbaren, also **veredelten oder umgewandelten Energieformen** werden als Sekundärenergieträger oder Sekundärenergien bezeichnet. Dazu gehören Heizöl, aufbereitete Kohle wie Briketts, Biogas, angereichertes Uran ebenso wie elektrische Energie oder mechanische Energie.

Endenergie: Als Endenergie bezeichnet man die Energie, die am **Ort der Nutzung vor** der Nutzung vorliegt, beispielsweise elektrische Energie (Steckdose, Lampenanschluss). Für die Differenz zur elektrischen Sekundärenergie, die von Kraftwerken im Stromnetz zur Verfügung gestellt wird, sind die sogenannten Netzverluste verantwortlich.

Nutzenergie: Die Energie, die tatsächlich für die konkrete Nutzung Verwendung findet, wird als Nutzenergie bezeichnet, beispielsweise das eingeschaltete Licht oder die Wärme der Heizung.

Es muss außerdem zwischen **Energieverbrauch** und **Stromverbrauch** unterschieden werden: Energieverbrauch bezieht sich auf jedwede benötigte Energieform (Elektrizität, Wärme, Antrieb für Fahrzeuge etc.), während sich der Stromverbrauch auf den Verbrauch elektrischer Energie bezieht.

Ferner sind folgende Begrifflichkeiten bezüglich der Stromerzeugung zu unterscheiden:

Bruttostromerzeugung: Gesamte in Kraftwerken erzeugte elektrische Energie.

Nettostromerzeugung: Bruttostromerzeugung abzüglich des Eigenbedarfs der Kraftwerke.

¹ Aufgrund des Zustroms von Sonnenenergie sowie des Energieabflusses in Form von Wärmestrahlung ergibt sich keine exakte Konstanz der Energiemenge auf der Erde.

² Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik findet sich in diversen Formulierungen wieder. Im Zentrum steht dabei die Irreversibilität von Prozessen bei denen Wärme umgewandelt wird.

³ Auch wenn Energie physikalisch betrachtet nicht verloren geht, wird zugunsten der Lesbarkeit des Textes und zur Vereinfachung des Verständnisses im Folgenden von Verlusten gesprochen, sofern die Energie nicht in der vom Menschen benötigten Form nutzbar gemacht werden kann. Gleiches gilt für „Energieverbrauch“.

A2.5

3 DIE NUTZBARMACHUNG VON ENERGIE

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben wird das Verhältnis von durch Energieerzeugungsprozesse zur Verfügung gestellter nutzbarer Energie zur gesamten eingesetzten Energie durch den Wirkungsgrad beschrieben. An dieser Stelle wird nicht auf thermodynamische Kreisprozesse eingegangen, die letztlich zur Umwandlung von Energie führen. Es werden nur die grundsätzlichen Verfahren und Unterschiede einiger Umwandlungsformen dargestellt.

Für eine nähere Betrachtung stellt sich zunächst die Frage nach der gewünschten Energieform, meist elektrische Energie, Wärme oder mechanische Energie. Je nachdem, welche Energieform ursprünglich vorliegt und in welche Energieform umgewandelt werden soll, werden unterschiedliche Wirkungsgrade erzielt. Zu unterscheiden ist dabei zwischen der direkten Energieumwandlung von der Ausgangsform in die gewünschte Form und der indirekten Energieumwandlung, bei der eine schrittweise Umwandlung in verschiedene Energieformen erfolgt. Die direkte Umwandlung des Energieträgers Kohle durch Verbrennung in Wärmeenergie hat beispielsweise einen höheren Wirkungsgrad als die weitere Umwandlung dieser Wärme in elektrische Energie.

Tabelle 1 zeigt beispielhaft die Wirkungsgrade verschiedene Prozess- bzw. Umwandlungsformen⁴.

Tabelle 1: Umwandlungswirkungsgrade ausgewählter Prozesse [nach: Zahoransky, R. Energietechnik⁵, Tabelle3.1]

Ursprüngliche Energieform	Umgewandelte Energieform	Technischer Prozess	Weg der Umwandlung	Max. Umwandlungswirkungsgrad
Mechanische Energie	Elektrische Energie	Generator	Direkt	98%
Chemische Energie	Wärme	Verbrennung	Direkt	95%
Chemische Energie	Elektrische Energie	Kombi-Kraftwerk (Gas-/Dampfkraftwerk)	Indirekt	60%
Chemische Energie	Elektrische Energie	Dampfkraftwerk	Indirekt	45%
Chemische Energie	Elektrische Energie	Gasturbinen-Kraftwerk	Indirekt	30%
Kernenergie	Elektrische Energie	Kernkraftwerke	Indirekt	36%
Auditieren der Antragsteller	Jährliche Inspektionen des Antragstellers	Keine Angaben	Antragsteller können auditiert werden.	Antragsteller können auditiert werden
Einhaltung der gesetzl. Vorgaben des Produktionslandes	Keine Angaben	Keine Angaben	vorhanden	Keine Angaben

Es zeigt sich, dass die direkte Umwandlung meist einen vergleichsweise hohen Wirkungsgrad hat – sei es die Umwandlung chemischer Energie in Wärme durch Verbrennung oder die Umwandlung mechanischer in elektrische Energie. Die indirekte Umwandlung hat dagegen in der Regel einen vergleichsweise niedrigen Wirkungsgrad. Dies liegt daran, dass die meisten Kraftwerke chemische Energie, meist durch Verbrennung fossiler Energieträger, zunächst in Wärme umwandeln müssen⁶,

mithilfe derer Turbinen betrieben werden (Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie), die wiederum Generatoren antreiben, die Strom erzeugen (Umwandlung mechanischer in elektrische Energie) (vgl. Abbildung 1). In jedem Schritt kommt es dabei zu Verlusten nutzbarer Energie, was in einen im Vergleich zur direkten Umwandlung niedrigeren Wirkungsgrad resultiert.

Hierbei auch der Eigenbedarf an Energie für den Betrieb Kraftwerkes zu berücksichtigen zu dem neben viele anderem auch Umweltschutztechnik wie Filteranlagen etc. beitragen, . Auch dieser Eigenbedarf senkt den Gesamtwirkungsgrad der Energieerzeugung.

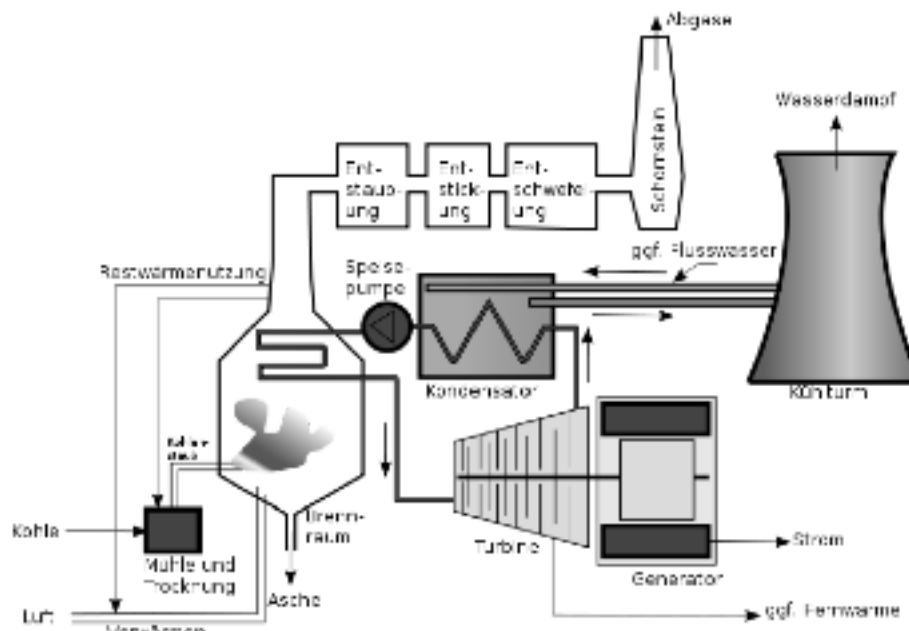


Abbildung 1: Illustration eines fossil betriebenen Stromkraftwerks am Beispiel eines Kohlekraftwerks⁷

Zu beachten ist, dass bei den im Rahmen der Energieerzeugung ablaufenden Umwandlungsprozessen durchaus verschiedene nutzbare Energieformen entstehen können. So fällt in fossilen Kraftwerke Wärme an, die häufig ebenfalls genutzt wird. Man spricht hier von Kraft-Wärme-Kopplung. Der hieraus resultierende Gesamtnutzungsgrad, der gelegentlich auch als Brennstoffausnutzungsgrad bezeichnet wird, ergibt sich aus der Summe der nutzbaren Energiemengen im Verhältnis zur eingesetzten Energie. Voraussetzung für die Kraft-Wärme-Kopplung ist die geographische Nähe zu den potentiellen Verbrauchern, wie Industrien (Wärme für industrielle Prozesse), Wohngebieten (Fernwärmeversorgung), Schwimmbäder etc.

Eine weitere Möglichkeit zur Steigerung des Wirkungsgrades besteht in der Kombination von Gasturbinen mit Dampfkraftwerken (vgl. Tabelle 1). Dabei dienen die heißen Abgase aus dem Gasturbinenprozess als Wärmequelle für den Dampfkraftwerksprozess. Bei älteren Kraftwerken ist jedoch an dieser Stelle eine zusätzliche Feuerung notwendig, die wiederum einen Gesamtwirkungsgradverlust zur Folge hat. Grundsätzlich gilt für die Energieerzeugung insbesondere aus fossilen Energieträgern, dass jede Steigerung des Wirkungsgrades eine Reduktion der spezifischen Umweltwirkungen (Umweltwirkungen pro zur Verfügung gestellter nutzbarer Energie, bspw. pro Kilowattstunde Strom oder Wärme) zur Folge hat.

Bezüglich der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern wie Wind, Wasserkraft und Sonnenenergie ist eine Reihe von Besonderheiten zu beachten. Zunächst ergeben sich hier keine Umweltwirkungen aus der Bereitstellung der Energieträger, die sich zudem durch die Sonneneinstrahlung kontinuierlich erneuern⁸. Bzgl. Bioenergie sind jedoch die Umweltwirkungen aus Anbau, Ernte und Verarbeitung der Energieträger zu berücksichtigen (siehe Ausführungen in Kapitel 5), bei Wasserkraft kann die Nutzbarmachung vorausgehende Errichtung von Staudämmen oder -stufen mit relevanten Umweltwirkungen einhergehen.

Bei der direkten Umwandlung von Sonnenenergie in Strom (Photovoltaik) werden derzeit Wirkungsgrade um die 20% bzw. im Labor von bis zu 40% erzielt. Bei der direkten Umwandlung von Wasserkraft zu elektrischer Energie werden Wirkungsgrade von bis zu 98% erreicht. Bei der Umwandlung von Windenergie in elektrische Energie liegt der theoretisch maximal erreichbare Wirkungsgrad bei 59,5%⁹. Tatsächlich erreicht werden bis zu 50% Wirkungsgrad. Neben der eingesetzten Technologie hängt der Wirkungsgrad bei erneuerbaren Energien zusätzlich von Standortbedingungen wie Sonnenstunden, Temperatur und Windverhältnissen ab. Während die genannten Technologien, Photovoltaik, Wasserkraft und Windkraft, ausschließlich Strom bzw. elektrische Energie bereitstellen, und somit zumindest unmittelbar (d.h. ohne nachgeschaltete weitere Umwandlung) keine Bedienung aller Arten von Primärenergiebedarfen (Strom, Wärme/Kälte, Verkehr) ermöglichen, erlauben bspw. solarthermische Anlagen eine direkte Erzeugung von Wärme und Biomasseheizkraftwerke/Heizkraftwerke eine gekoppelte Produktion von Strom und Wärme analog zur Kraft-Wärme-Kopplung fossiler Kraftwerke. Zudem ist die Umwandlung von Strom zu Wärme (auch power-to-heat genannt) weitgehend verlustfrei (Wirkungsgrade >90%) möglich. Je nach Wirkungsgrad der vorherigen Stromerzeugung ergibt sich ein entsprechend geringerer Gesamtwirkungsgrad.

⁴ Die hier angegebenen Werte sind Richtwerte. Je nach Kraftwerksart und Stand der Technik können diese Werte abweichen.

⁵ Zahoransky, Richard et al., Energietechnik. 5. Auflage. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2010.

⁶ In Kernkraftwerken wird die Wärme durch Kernspaltung gewonnen.

⁷ Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kohlekraftwerk>

⁸ Streng genommen sind Wind- und Wasserkraft umgewandelte Formen von Sonnenenergie. Wind ergibt sich durch die unterschiedliche regionale Erwärmung der Erdoberfläche, Wasserkraft ergibt sich aus dem Kreislauf von Verdunsten und Abregnen, welcher sich ebenfalls der Sonneneinstrahlung ergibt.

⁹ Entsprechend dem sogenannten Gesetz von Betz.

A2.5

4 ENERGIE IN ZAHLEN

Das Schaubild in Abbildung 2 verdeutlicht einige der oben erläuterten Begrifflichkeiten und zeigt sehr anschaulich die Umwandlungsverluste auf dem Weg vom Primär- zum Endenergieverbrauch. Während sich der Endenergieverbrauch im Jahr 2015 auf 8.877 Petajoule beläuft, steht dem ein rund ein Drittel höherer Primärenergieverbrauch von 13.293 Petajoule gegenüber. Der Endenergieverbrauch resultiert dabei zu fast gleichen Teilen aus den Sektoren Industrie, Verkehr und Haushalte, gefolgt vom Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (vgl. Abbildung 3).

Die sich dem Endenergieverbrauch anschließende Ebene der Nutzenergie ist in Abbildung 2 nicht mehr dargestellt, da sie aufgrund eingeschränkter Datenverfügbarkeit (z.B. über das tatsächliche Nutzerverhalten) schwer abbildbar ist. Daher sind in der Darstellung weitere wesentliche Umwandlungsverluste nicht enthalten. So entstehen bei der Verwendung von Sekundärenergieträgern, die dem Endverbraucher zur direkten Nutzung zur Verfügung gestellt werden, wie z.B. Heizöl oder Kraftstoff, ebenfalls einige der zuvor beschriebenen Umwandlungsverluste. Da Heizöl - in den Sektoren Haushalt, Industrie sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (vgl. Abbildung 3) - in der Regel in Wärme umgewandelt wird, entstehen die Verluste hier nicht im erheblichen Maße durch die Umwandlung, sondern auch z.B. durch mangelnde Wärmedämmung von Gebäuden. Im Sektor Verkehr, dem größten Verbraucher im Jahr 2015, entstehen enorme Verluste bei der Umwandlung der Energie in Antrieb (mechanische Energie). Nur rund 20% der im Kraftstoff enthaltenen Energie wird in mechanische Energie umgesetzt, der Rest wird in Wärme oder sonstige nicht genutzte Energie umgewandelt.

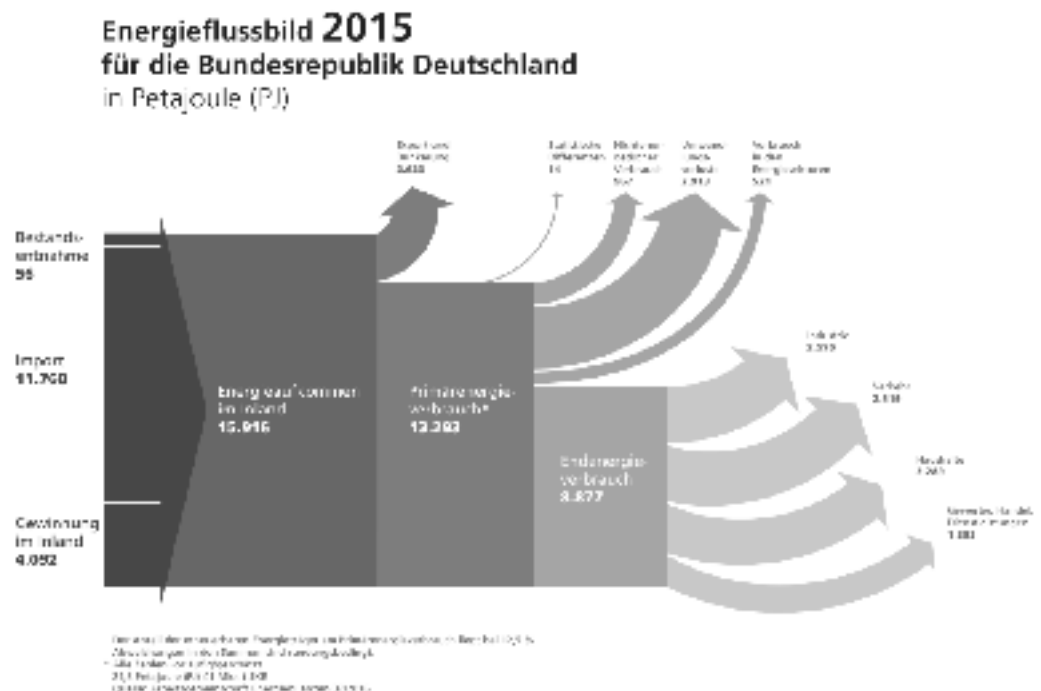


Abbildung 2: Energieflussbild der Bundesrepublik Deutschland 2015¹⁰

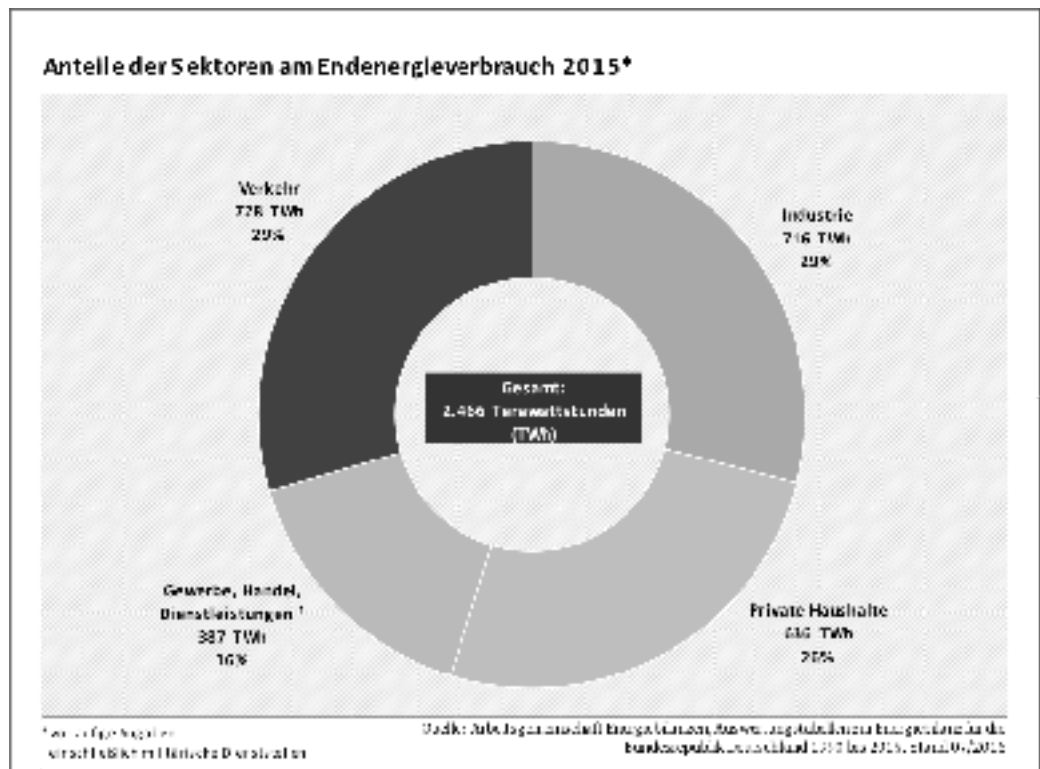


Abbildung 3: Endenergieverbrauch in 2015 nach Sektoren¹¹

Der Primärenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2015 in Höhe von 13.293 PJ setzte sich wie in Abbildung 4 dargestellt zu 80% aus fossilen Energieträgern, zu 8% aus Kernenergie und zu 13% aus erneuerbaren Energieträger zusammen.

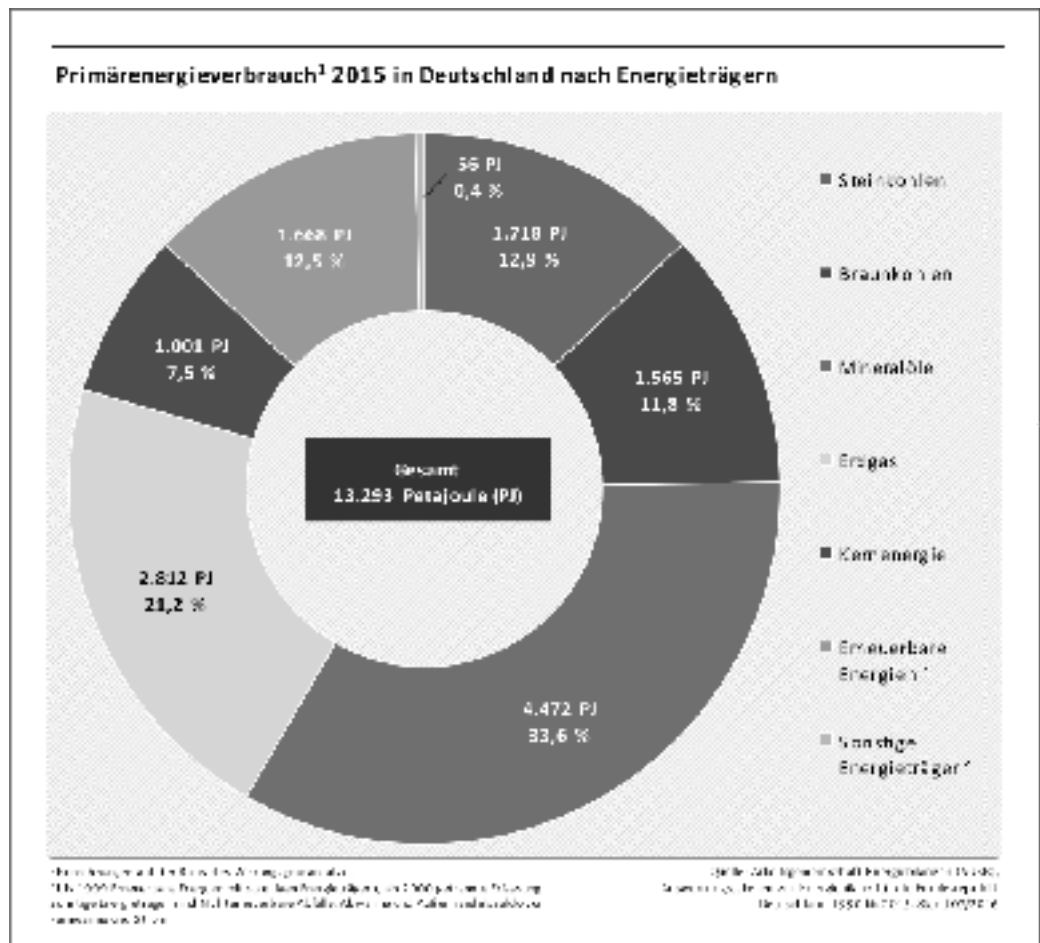


Abbildung 4: Struktur des Primärenergieverbrauchs nach Energieträgern in Deutschland im Jahr 2015¹²

Bezogen auf die Bruttostromerzeugung fällt der Anteil erneuerbarer Energien mit rund 30% noch höher aus (vgl. Abbildung 5). Maßgeblichen Anteil hieran haben insbesondere Windkraft und Photovoltaik, die im Zuge der Energiewende weiter ausgebaut werden sollen. So strebt die Bundesregierung einen Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch von 40-45% bis 2025 und von 55-60% bis 2035 an.

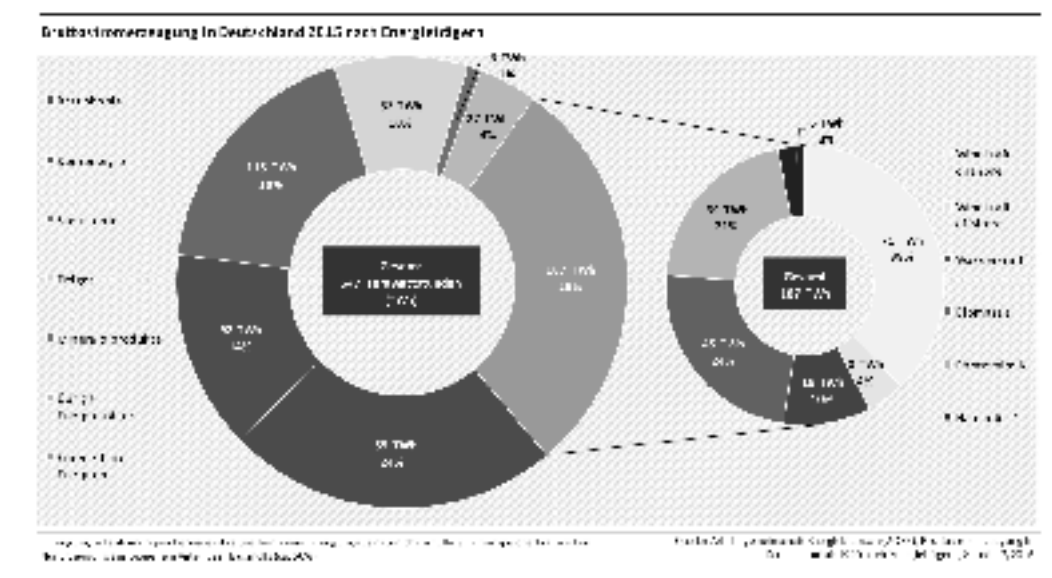


Abbildung 5: Struktur der Bruttostromerzeugung nach Energieträgern in Deutschland im Jahr 2015¹³

Bezüglich der ökologischen Gestaltung von Produkten ist ein näherer Blick auf den Haushaltssektor, in dem diese Produkte überwiegend zum Einsatz kommen, interessant. Für das Jahr 2008 liegt eine Aufschlüsselung des Stromverbrauchs privater Haushalte nach Verwendungszwecken vor, die in Abbildung 6 dargestellt ist. Der größte Anteil am Stromverbrauch (30%) resultiert aus der Verwendung großer Haushaltsgeräte, gefolgt von Raumwärme und Warmwasser (24%) und Informations- und Kommunikationstechnik (17%). Weitere relevante Verbräuche ergeben sich aus den Bereichen Kochen (12,4%) und Beleuchtung (9%).

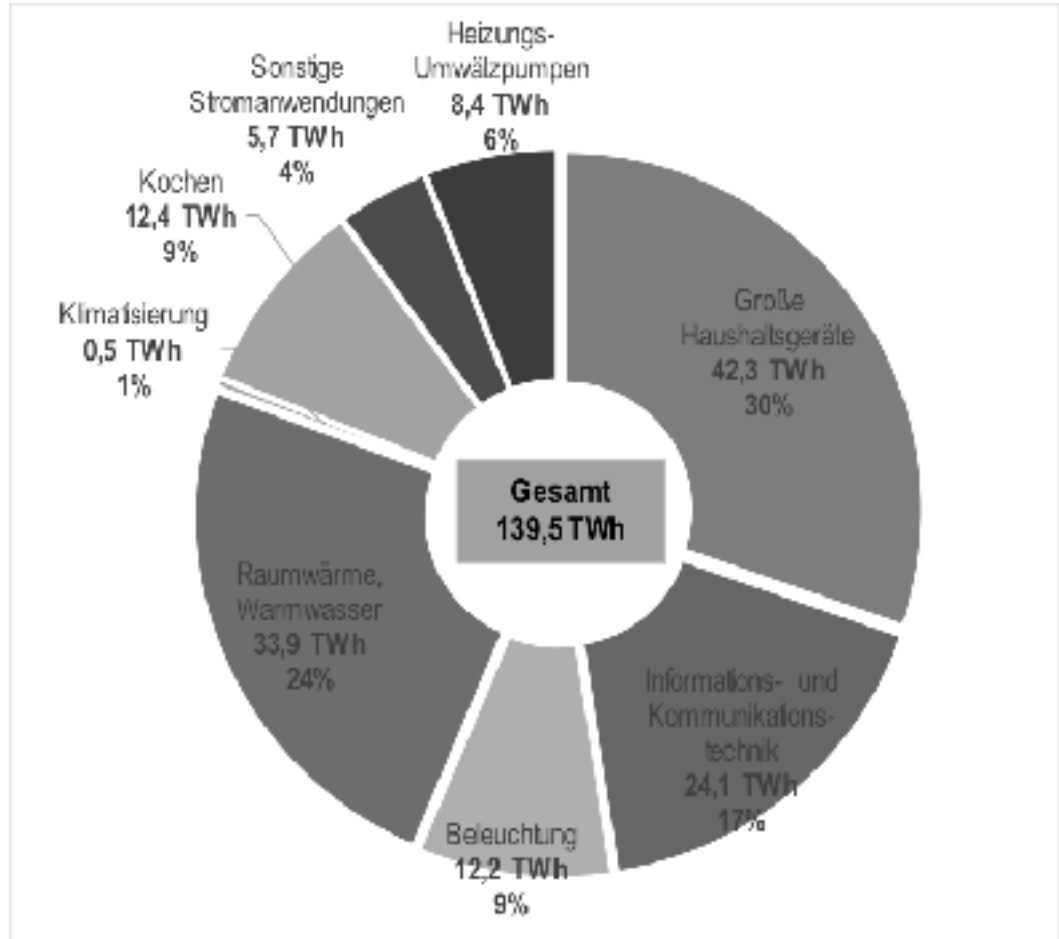


Abbildung 6: Stromverbrauch der privaten Haushalte in Deutschland in 2008 nach Verwendungszweck¹⁴

Das große Potenzial der Produktgestaltung in Bezug auf eine Reduktion des Stromverbrauchs wird in Tabelle 2 veranschaulicht. Hier wird beispielhaft für verschiedene Produkte der Jahresstromverbrauch in einem typischen Haushalt dem Verbrauch ökologischerer Produkte, die mit dem Blauen Engel ausgezeichnet sind, gegenübergestellt. Je nach Produkt zeigen sich mögliche Reduktionen des Jahresstromverbrauchs zwischen 25% und 82%. Dies macht deutlich, welchen potentiellen Beitrag die ökologische Produktgestaltung zu einer Senkung des Stromverbrauchs leisten kann.

Tabelle 2: Einsparpotenziale verschiedener Produkte: Vergleich typischer Haushalt und Blauer-Engel-Haushalt¹⁵

Produkt	Produkttyp	Typischer Haushalt [kWh/a]	Blauer-Engel-Haushalt [kWh/a]	Reduktion
Kühl- und Gefrierkombination	Große Haushaltsgeräte	502	164	-46%
Geschirrspülmaschine	Große Haushaltsgeräte	500	207	-33%
Waschmaschine	Große Haushaltsgeräte	240	168	-29%
DVD-Sekondär-Player	IKT	25	10	-33%
Tragbarer Computer	IKT	40	30	-25%
Fernsegerät	IKT	124	62	-50%
Kompakte Leuchtstofflampe	Beleuchtung	300	53	-52%
Espressomaschine	Kochen	170	43	-35%

Auf einer aggregierten Ebene zeigt sich das Potential der ökologischen Produktentwicklung zur Reduktion des Energieverbrauchs beizutragen bei der Betrachtung der Energieproduktivität. Die Energieproduktivität ist ein Maß dafür, wie wirtschaftliche Leistung (BIP, ausgedrückt in Euro) pro Einheit eingesetzter Energie (in PJ) erzeugt werden. Sie bezieht sich entweder auf den Primärenergieverbrauch (PEV) oder Endenergieverbrauch (EEV).

Für die Bewertung der Effizienzsteigerung ist der Bezug auf den Endenergieverbrauch geeigneter. Der Indikator ist dann um Effekte aus sich veränderndem Energieträgermix im Kraftwerkspark (z.B. durch den Ausbau erneuerbarer Energien) bereinigt. Eine steigende Endenergieproduktivität z.B. durch den technischen Fortschritt bei Haushaltsgeräten trägt zu einem geringeren Energieverbrauch und sinkendem Treibhausgasausstoß bei.

Abbildung 6 zeigt die Entwicklung von Bruttoinlandsprodukt, Endenergieverbrauch und Energieproduktivität im zeitlichen Verlauf. Aufgrund von Steigerungen der Energieproduktivität (Verringerung des Energieeinsatzes pro wirtschaftlicher Leistung) zeigt sich trotz wirtschaftlichen Wachstums (Wachstums des BIP) eine Reduktion des Endenergieverbrauchs.

Endenergieproduktivität

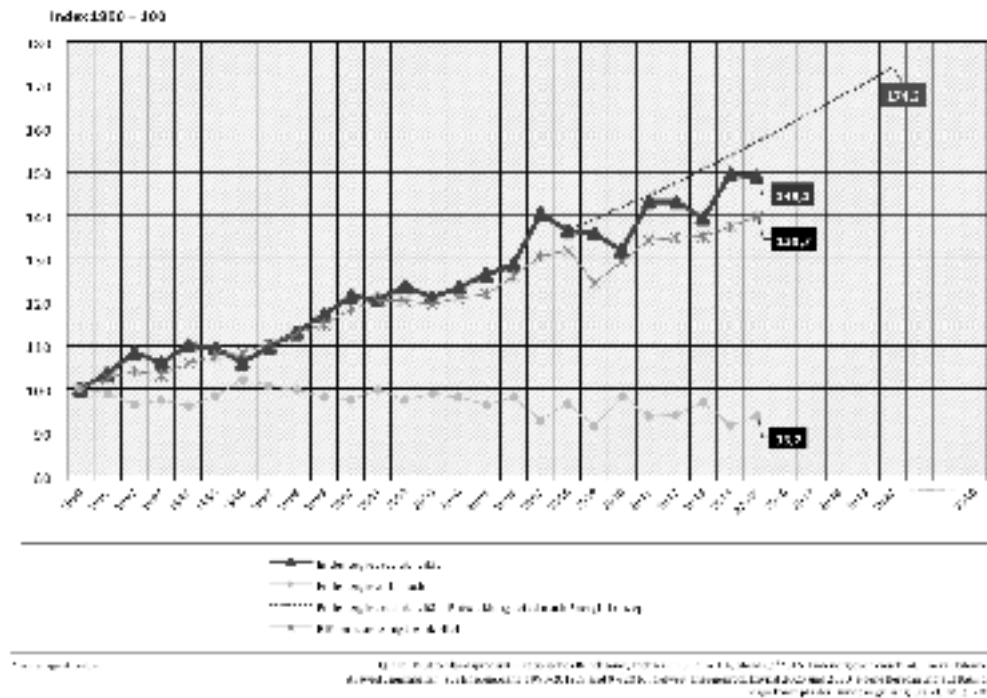


Abbildung 7: Entwicklung von Energieeffizienz und Bruttoinlandsprodukt¹⁶

¹⁰ Quelle: AG Energiebilanzen

¹¹ Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Auswertungstabellen zur Energiebilanz.

¹² Quelle: AG Energiebilanzen, Primärenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland

¹³ Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB)

¹⁴ Quelle: Matthes, Felix et al. (2013). Politiksszenarien für den Klimaschutz VI – Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau. S. 146.

¹⁵ Quelle: Gröger, Jens et al. (2013). TOP 100 – Umweltzeichen für klimarelevante Produkte. Ökoinstitut e.V. (Hrsg.), Freiburg/Darmstadt. S. 38.

¹⁶ Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) Ausgewählte Kennziffern zur Entwicklung der Energieeffizienz.

A2.5

5 UMWELTWIRKUNGEN VON ENERGIE-ERZEUGUNG UND -VERBRAUCH

Wie Eingangs skizziert, trägt die Energieerzeugung zu einer Reihe von Umweltwirkungen wie Klimawandel, Eutrophierung, Versauerung und Auswirkungen von Landnutzungsänderungen bei, die im Detail im Modul -> **Themenblock A1: Ausgewählte Wirkungsbereiche** beschrieben sind. Die Entstehung der Umweltwirkungen lässt sich entlang des Lebenszyklus der Kraftwerke (zur Lebenszyklusbetrachtung sei hier auch auf das Modul -> **Themenblock B2: Analyse und Bewertungsmethoden: B2.1 Die Ökobilanz** verwiesen) wie folgt gliedern:

- Umweltwirkungen der Kraftwerksherstellung
- Umweltwirkungen der Brennstoff-/Energieträgergewinnung
- Umweltwirkungen des Kraftwerksbetriebs
- Umweltwirkungen des Kraftwerkrückbaus

Die **Kraftwerksherstellung** beinhaltet wiederum die mit der Erzeugung der benötigten Energie verbundenen Umweltwirkungen, die Materialgewinnung, die wiederum mit Energiebedarf und den Umweltwirkungen des Rohstoffabbaus einhergeht, und die Landnutzungsänderung am Kraftwerksort. In Bezug auf die gesamte Nutzungsdauer sind die meisten Umweltwirkungen der Kraftwerksherstellung in der Regel zu vernachlässigen. Gelegentlich Gegenstand der öffentlichen Debatte sind die Umweltwirkungen des Bau von Offshore-Windkraftanlagen, bei dem durch die entstehenden Lärm- bzw. Schallemissionen Fische und Schweinswale geschädigt werden können.

Die **Gewinnung der benötigten Energieträger** weist bei fossilen Kraftwerken, Kernkraftwerken und Nutzung von Bioenergie eine wichtige Rolle auf. Je nach Art des Vorkommens und der Bereitstellung kommt es zu teilweise erheblichen Landnutzungsänderungen und Emissionen. Neben dem Abbau fallen auch die weiteren Schritte der Aufbereitung der Energieträger (insbesondere die Brennstoffaufbereitung für Kernkraftwerke) hierunter. Gänzlich anders stellt sich die Situation bei den erneuerbaren Energie dar (Windkraft, Wasserkraft, Photovoltaik/ Solarthermie), wo der Energieträger ohne Umweltwirkungen zur Verfügung steht. Einen Sonderfall stellt hierbei jedoch die Energiegewinnung aus Biomasse dar, bei der insbesondere durch land- und forstwirtschaftliche Bereitstellung, d.h. Anbau und Ernte der biogenen Energieträger ebenfalls signifikante Umweltwirkungen entstehen. Neben Holz dominieren bei den in Deutschland angebauten Energieträgern Mais und Raps, die überwiegend in großen Monokulturen angebaut werden, was Auswirkungen auf Grundwasser, Böden (Eintrag von Düngemitteln), Biodiversität und Landschaftsästhetik („Vermaisung der Landschaft“) hat. Global spielen Ölpalmen (u.a. Indonesien und Malaysia) und Zuckerrohr (u.a. Brasilien) eine wichtige Rolle als Energieträger, deren Anbau häufig mit der Rodung bereits bewirtschafteter Wälder oder von Primärwäldern einhergeht, was mit vielfältigen negativen Auswirkungen auf Ökosysteme und globales Klima einhergeht. Je nach Anbau und Verarbeitung können zudem Emissionen in relevantem Maßstab auftreten, bspw. Methanemissionen in der Palmölverarbeitung oder CO₂-Emissionen durch Humusabbau.

Der eigentliche **Kraftwerksbetrieb** ist bei fossilen Kraftwerken der Hauptverursacher für Emissionen, insbesondere von klimaschädlichen Treibhausgasen (CO₂ und Äquivalente). Bei Kernkraftwerken ergeben sich Treibhausgasemissionen nur durch den Bedarf an Brennelementen, der sich aus dem Kraftwerksbetrieb ergibt. Hierzu zählen die Bereitstellung, ggf. die Aufbereitung, der Austausch

und die (Zwischen- und End-) Lagerung der Brennelemente. Bei den erneuerbaren Energien Sonne, Wasser und Wind kommt es zu praktisch keinen betriebsbedingten Emissionen¹. Biomassekraftwerke hingegen stoßen wie fossile Kraftwerke Treibhausgase aus, werden jedoch in der Klimaberichterstattung und beim Emissionshandel dennoch als treibhausgasneutral betrachtet, da die Energieträger vorher eine entsprechende Menge atmosphärischen CO₂ gebunden haben. Der Ansatz der Klimaberichterstattung berücksichtigt jedoch nicht alle Emissionen über den gesamten Lebensweg der Bioenergienutzung. Deren Einbeziehung zeigt, dass auch die Bioenergienutzung mit Treibhausgasemissionen verbunden ist und in der Regel nicht als treibhausgasneutral angesehen werden kann².

Der **Kraftwerksrückbau** ist wie die Errichtung ebenfalls mit Umweltwirkungen verbunden. Mit der Ausnahme von Kernkraftwerken sind diese jedoch in der Regel bezogen auf die erzeugte Energiemenge vernachlässigbar. Bei Kernkraftwerken hingegen stellt sich der Rückbau als langjähriges und aufwendiges Unterfangen dar, der mit relevanten Emissionen verbunden ist.

Beim Vergleich der Umweltwirkungen verschiedener Energieerzeugungstechnologien sollten entsprechend stets die Umweltwirkungen entlang des gesamten Lebenszyklus herangezogen werden. Ein solcher Vergleich findet sich in Abbildung 8 für die lebenszyklusbezogenen Treibhausgasemissionen verschiedener Energieerzeugungstechnologien. Die Balken geben die Spannweite der für die verschiedenen Technologien in verschiedenen Quellen berichteten Werte wieder. Es zeigt sich deutlich, dass die Energieerzeugung aus fossilen Brennstoffen zu wesentlich höheren Treibhausgasemissionen führt. Bei erneuerbaren Energiequellen stehen in der Regel eher lokal begrenzte Wirkungen wie die Beeinträchtigung von Fischen (bei Wasserkraft) und Vögeln (Windenergie), Flächennutzung (Windenergie, Photovoltaik) oder Beeinträchtigung des Landschaftsbildes (Windenergie) im Vordergrund. Für die Biomasse sind auch globale Auswirkungen der Land- und Forstwirtschaft bekannt, die differenziertere Ergebnisse nahelegen können. Perspektivisch kann sich durch die Nutzung der CCS (Carbon Capture and Storage) Technologie, das heißt durch die Abscheidung und unterirdische Speicherung von CO₂, die Möglichkeit einer Reduktion der THG Emissionen aus der Verbrennung fossiler oder biogener Brennstoffe ergeben. Zum einen ist die Technologie bislang aber nicht praxistauglich. Zum anderen ist sie aus verschiedenen Gründen umstritten. So bringen CO₂ Abscheidung, Transport und Speicherung einen deutlichen Energieaufwand mit sich, was den Verbrauch an fossilen oder biogenen Rohstoffen erhöht. Zudem ist die Speicherung mit Risiken behaftet, Unfälle können zu negativen Auswirkungen auf menschliche Gesundheit, Böden und Grundwasser führen.

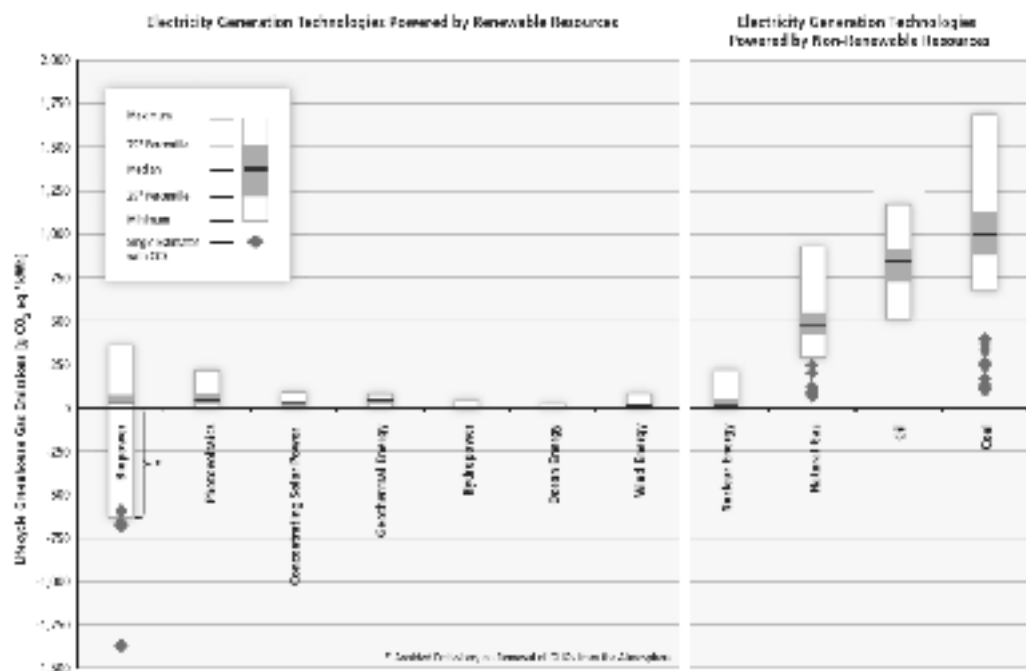


Abbildung 8: Treibhausgasemissionen verschiedener Energieerzeugungsarten¹⁹

Die Produktgestaltung kann in diesem Kontext auf verschiedene Weisen Einfluss auf die energiebezogenen Umweltwirkungen von Produkten, also die Umweltwirkungen, die aus der Energieerzeugung resultieren, ausüben. Die Einflussbereiche lassen sich entlang des Lebenszyklus gliedern:

- Reduktion des Energieverbrauchs in der Materialgewinnung;
- Reduktion des Energieverbrauchs in der Produktfertigung;
- Reduktion des Energieverbrauchs der Produktnutzung;
- Reduktion des Energieverbrauchs in der Entsorgung.

Verschiedene Materialien sind unterschiedlich energieintensiv in ihrer Herstellung. Somit besteht bereits in der Materialauswahl eine Möglichkeit auf den Energieverbrauch Einfluss zu nehmen. Abbildung 9 zeigt die Energieintensität (benötigte Menge Primärenergie zur Produktion des Materials; „embodied energy“ in der Abbildung) aufgetragen gegen die Treibhausgasemissionen der (Primär-) Materialproduktion für verschiedene Materialien („carbon footprint“). Die Bereitstellung von Sekundärmaterialien aus dem Recycling ist zudem meist deutlich weniger energieaufwändig als die Primärproduktion. Gleichzeitig ist natürlich zu beachten, dass sich aus der Materialauswahl auch Konsequenzen für den Energieverbrauch in den folgenden Produktlebenszyklusphasen (Fertigung, Nutzung, Entsorgung) ergeben können.

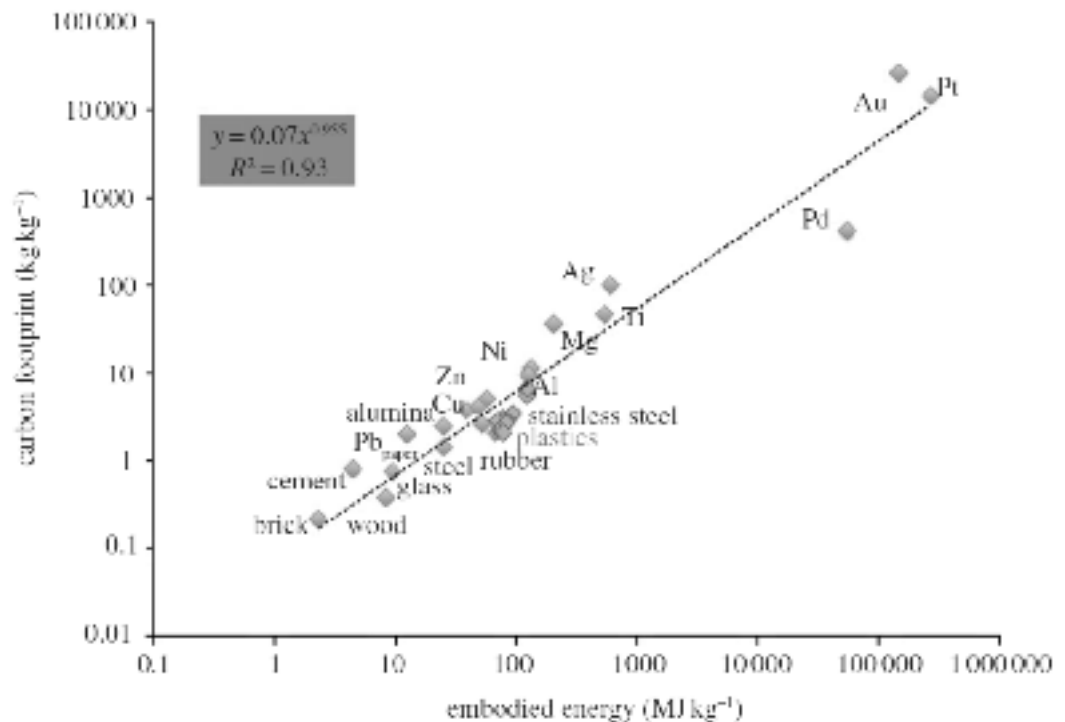


Abbildung 9: Energieintensität und Treibhausgasemissionen der Produktion verschiedener Materialien²⁰

Der Energieverbrauch in der Produktfertigung ergibt sich im Wesentlichen aus dem Energieverbrauch der eingesetzten Fertigungsverfahren, die sich wiederum aus der Produktgestaltung ergeben können. Die aus dem Energieverbrauch resultierenden Umweltwirkungen hängen dabei vom Ort des Energieverbrauches ab. Abbildung 10 veranschaulicht dies anhand der SO_{2e}-Emissionen, die zur Versauerung beitragen (vgl. **Themenblock A1: Ausgewählte Umweltwirkungsbereiche: A1.2 Versauerung von Ökosystemen**), und der CO_{2e}-Emissionen im Strommix verschiedener Länder. Je nach Ort der Produktfertigung können sich entsprechend deutlich höhere oder geringere Umweltwirkungen ergeben. Während beispielsweise Länder wie China, Südafrika und Australien mit einem hohen Anteil von Kohlekraftwerken sowohl hohe CO_{2e} als SO_{2e} Emissionen aufweisen, ergeben sich in Norwegen mit einer nahezu vollständigen Stromversorgung aus Wasserkraft äußerst geringe Emissionen pro Kilowattstunde. Gleichwohl besteht in der Regel natürlich die Möglichkeit, unabhängig vom Mix des

Kraftwerksparks des jeweiligen Landes durch Wahl von Energieversorgern und Tarifen Einfluss auf den individuellen Energiemix zu nehmen und somit beispielsweise den Anteil erneuerbarer Energien in der Energieversorgung der Produktfertigung zu erhöhen.

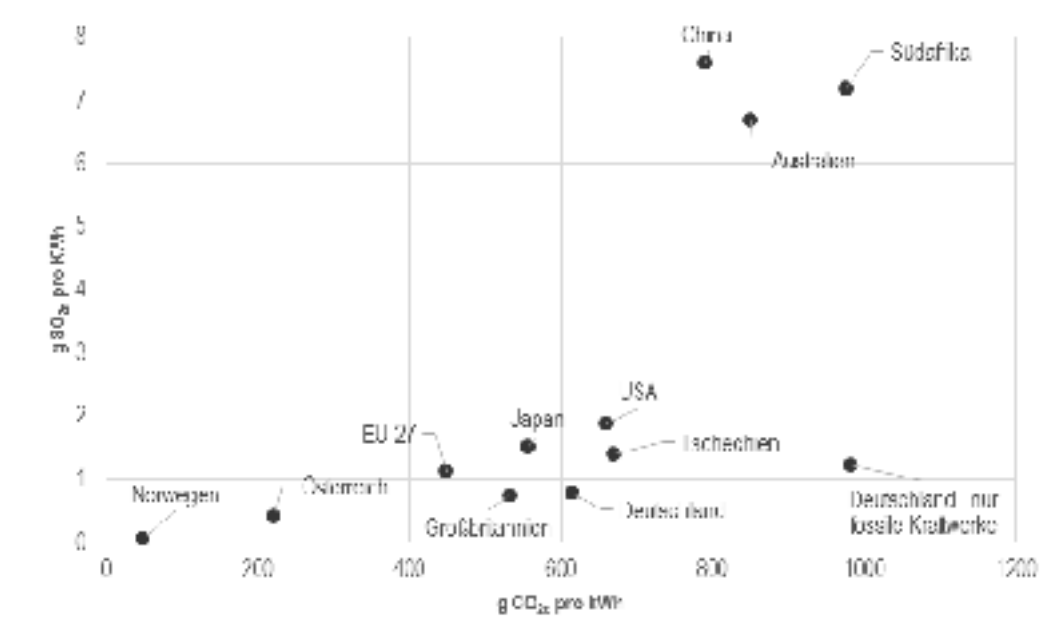


Abbildung 10: Emission von Treibhausgasen und Schwefeldioxidäquivalenten im Strommix verschiedener Länder – Stand 2010²¹

Der Energieverbrauch von Produkten in ihrer Nutzungsphase wird häufig als die Energieeffizienz von Produkten beschrieben. Hierauf wird detailliert in -> **Themenblock B1: Ökodesign-Prinzipien: B1.4 Energieeffizienz** eingegangen. Verschiedene Beispiele für Potentiale, die bezüglich der energieeffizienten Gestaltung von Produkten bestehen, finden sich außerdem in Tabelle 2. Grundsätzlich ist zu beachten, dass wie bei der Produktfertigung der Energiemix für die Beurteilung der aus dem Energieverbrauch resultierenden Umweltwirkungen herangezogen werden muss. Eine Energieversorgung in der Nutzungsphase, die ausschließlich auf erneuerbaren Energien beruht, führt zu entsprechend geringeren Umweltwirkungen als eine Versorgung aus fossilen Quellen.

Die Entsorgung von Produkten kann auf verschiedene Weise den Energieverbrauch beeinflussen. Die Wiederverwendung von Gebraucht-Produkten stellt sicherlich eine der effizientesten Methoden zur Energieersparnis²² dar. Daneben kann das Recycling von Materialien zu Energieersparnissen im Vergleich zur Primärproduktion führen.

Die Bewertung des gesamten Energieverbrauchs entlang des Produktlebenszyklus kann anhand des Indikators des kumulierten Energieverbrauchs (KEA) erfolgen. Eine detaillierte Beschreibung des KEA findet sich im Modul -> **Themenblock B2: Umweltbezogene Analyse und Bewertungsmethoden: B2.2 Eindimensionale Methoden**. Zusätzlich wird häufig außerdem der Bedarf an erneuerbarer Energie und nicht-erneuerbare Energie angegeben, was genauere Rückschlüsse auf die mit dem Energieverbrauch einhergehenden Umweltwirkungen erlaubt.

¹⁶ Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) Ausgewählte Kennziffern zur Entwicklung der Energieeffizienz.

¹⁷ Betriebsbedingte Umweltwirkungen von Windenergieanlagen sind bspw. Schattenwurf oder Schallemissionen, die örtlich eng begrenzt auftreten. Bei Wasserkraftwerken kann zum einen der Kraftwerksbau insbesondere bei Staudämmen mit relevanten Umweltwirkungen verbunden sein. Da das Potential auf nationaler Ebene nahezu ausgeschöpft ist, sind zukünftig jedoch (in Deutschland) kaum neue Projekte zu erwarten. Im Betrieb können sich bspw. Auswirkungen auf Fischbestände ergeben.

¹⁸ Für eine ausführliche Betrachtung siehe bspw. WWF Germany (2007): Regenwald für Biodiesel? Ökologische Auswirkungen der energetischen Nutzung von Palmöl. Unter Mitarbeit von: Guido Reinhardt, Nils Rettenmaier, Sven Gärtner, Andreas Pastowski. ifeu-Institut für Energie und Umweltfortschritt; Wuppertal Institute, Frankfurt am Main.

¹⁹ Quelle: Sathaye, Jayante et al. (2011). Renewable Energy in the Context of Sustainable Development. In Edenhofer et al. (Hrsg.), IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press, Cambridge, New York, 2011. S. 732

²⁰ Quelle: Gutowski, Timothy et al. (2013). The energy required to produce materials: constraints on energy-intensity improvement, parameters of demand. Phil Trans R Soc A 371: 20120003.

²¹ Quelle: Probas – Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme [<http://www.probas.umweltbundesamt.de/>]

²² Ausgenommen sind hiervon alte Produkte, die einen vergleichsweise hohen Energieverbrauch in der Nutzung im Vergleich zu moderneren Produkten aufweisen.

A2.5

6 FAZIT

Mit dem Energieverbrauch für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung Produkten können je nach Energieerzeugungsart erhebliche Umweltwirkungen verbunden sein. Daher ist der Energieverbrauch eine zentrale Zielgröße im ökologischen Produktdesign.

Der Produktdesigner trägt hier eine besondere Verantwortung. Im Rahmen der Produktgestaltung bestehen große Einflussmöglichkeiten auf den Energieverbrauch entlang des Produktlebenszyklus. Der relevante Energieverbrauch beschränkt sich dabei nicht allein auf die Nutzungsphase, sondern umfasst auch andere Lebenszyklusphasen, insbesondere Rohstoffgewinnung und Herstellung.

Durch eine geeignete Materialauswahl und eine Produktgestaltung, die eine energieeffiziente Produktfertigung und -nutzung ermöglichen, sind signifikante Reduktionen des Energieverbrauchs und der hieraus resultierenden Umweltwirkungen möglich.



Impressum

Erstellt im Auftrag des Umweltbundesamtes
im Rahmen des UFOPLAN-Vorhabens FKZ 371295303

durch

Ökopol – Institut für Ökologie und Politik GmbH, Nernstweg 32–34, 22765 Hamburg
Tel.: +49 (0)40/39 100 2-0; Fax.: +49 (0)40/39 100 2-33; Internet: www.oekopol.de