

Infos zu Energiebilanzen

Um den Klimawandel zu stoppen, müssen wir die Energiewende möglichst schnell voranbringen. Die fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas sollen durch erneuerbare Energie ersetzt werden. Diese Umstellung führt auch zu Herausforderungen bei der quantitativen, also der zahlenmäßigen Charakterisierung des Energiebedarfs und seiner Veränderungen. Der Grund dafür ist letztendlich, dass es bei den fossilen Energieträgern relativ einfach ist, den Energieinhalt von Kohle, Erdöl und Erdgas anzugeben, diese Energieträger allerdings nur mit großen Verlusten in Strom umgewandelt werden können, wohingegen bei Windenergie, Photovoltaik und Wasserkraft direkt Strom erzeugt wird. Dieser Unterschied kann in Energiebilanzen mit unterschiedlichen Methoden berücksichtigt werden, die jeweils individuelle Vor- und Nachteile aufweisen. Diese unterschiedlichen Bilanzierungsmethoden sollen hier vorgestellt und ihre Konsequenzen kurz charakterisiert werden.

Zuvor ist es nötig, drei Begriffe zu definieren und zu erklären, die bei Energiebilanzen von Bedeutung sind:

- Als **Primärenergie** bezeichnet man die Energie, wie sie in ihrer ursprünglichen Form bereitgestellt wird. Bei den fossilen Energieträgern Kohle, Erdöl und Erdgas ist das die chemische Energie, die in diesen Ausgangsstoffen enthalten ist. Die physikalische Größe, mit deren Hilfe dies ermittelt wird, ist der Heizwert. Diese Energie entspricht der Wärme, die beim Verbrennen der Energieträger freigesetzt wird. Bei Photovoltaik, Windenergie und Wasserkraft wird als erste zugängliche Energieform dagegen Strom erzeugt. Im Prinzip ist die ursprüngliche Energieform allerdings die im Sonnenlicht, im Wind und im Wasser direkt enthaltene Energie, die dann erst mit entsprechenden Verlusten in Strom umgewandelt wird. In vielen Fällen wird aber der Strom als Primärenergie betrachtet und nur wenige Studien berücksichtigen Sonnenlicht, Wind- und Wasserenergie zur Charakterisierung der entsprechenden Primärenergie.
- Als **Endenergie** wird die Energieform bezeichnet, die den Endkunden erreicht. Dies sind beispielsweise Strom und Stadtgas, die in einem Haus ankommen, Heizöl und Kraftstoffe für den PKW.
- **Nutzenergie** ist schließlich die Energie, die vom Endkunden eigentlich genutzt wird. Das sind beispielsweise die Raumwärme, die Energie, die ein PKW für den Antrieb letztendlich mit den Rädern auf die Straße bringt, und die Lichtenergie der Raumbeleuchtung.

Häufig nehmen die Energiemengen von Primärenergie über Endenergie zu Nutzenergie ab, weil bei jeder Umwandlung Energieverluste entstehen. In einem Kohlekraftwerk werden aus 100 % chemischer Energie in der Kohle nur etwa 40 % als elektrische Energie erzeugt. Besser sind da Kraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung, bei denen die bei der Umwandlung entstehende Wärme - also die Energie, die nicht als Strom das Kraftwerk verlässt, sondern oftmals über die Kühltürme als Wärme an die Umgebung abgegeben wird - noch zur Raumheizung beispielsweise über Fernwärmenetze genutzt wird. Genauso werden beispielsweise bei einem PKW von der im Benzin enthaltenen chemischen Energie, die Endenergie ist, nach den Verlusten

im Motor und im Getriebe typischerweise nur etwa 20 % für den eigentlichen Antrieb genutzt.

Allerdings gibt es auch Fälle, in denen die Nutzenergie höher ist als die Endenergie. Ein für die zukünftige Entwicklung besonders relevantes Beispiel ist die Raumheizung mit einer Wärmepumpe. Mit einer Wärmepumpe wird Umgebungsluft von einer niedrigen Temperatur auf eine höhere Temperatur ‚gepumpt‘, die zum Beheizen von Räumen geeignet ist. Die zum Pumpen benötigte elektrische Energie ist dabei deutlich weniger als die gepumpte Wärmeenergie. Daher ist bei diesem Beispiel die Nutzenergie höher als die eingesetzte Endenergie.

Prinzipiell kann Energie aber nicht verbraucht oder erzeugt werden. Es gilt die sogenannte Energieerhaltung, ein ganz grundlegendes physikalisches Prinzip. Energie kann daher nicht verloren gehen oder aus dem Nichts entstehen. Es werden lediglich die Energieformen ineinander umgewandelt. Beim Verbrennen der Kohle in einem Kraftwerk wird beispielsweise die chemische Energie in der Kohle im Wesentlichen in Strom umgewandelt und in Wärme, die über die Kühltürme an die Umgebung abgegeben wird. Die Energiemenge, die im Strom enthalten ist, zusammen mit der über die Kühltürme abgegebenen Wärmemenge entsprechen dabei der chemischen Energie, die ursprünglich in der Kohle enthalten war. Verluste bei Umwandlungsprozessen zwischen Energieformen werden dabei typischerweise als Wärme in die Umgebung abgegeben.

Die Energieerhaltung bedeutet auch, dass manche umgangssprachliche Formulierungen streng genommen nicht zutreffen. Es können beispielsweise gar keine Energieverluste auftreten. Mit Energieverlusten meint man üblicherweise, dass ein Teil der Energie nach einer Umwandlung nicht mehr in nutzbarer Form vorliegt, sondern als Wärme an die Umgebung abgegeben wurde. Genauso gibt es keinen Energieverbrauch. Energie kann nicht verbraucht, sondern nur gewandelt werden. Auch mit Energieverbrauch meint man üblicherweise, dass eine Energieform genutzt wurde, um damit eine Wirkung zu erzielen, beispielsweise, um sich mit einem PKW fortzubewegen oder einen Raum zu beheizen. Auch die so genutzte Energie wird letztendlich praktisch immer als Wärme auf geringem Temperaturniveau in die Umgebung abgegeben. Statt Energieverbrauch spricht man daher besser von Energiekonsum, wodurch dieser Widerspruch mit dem physikalischen Gesetz der Energieerhaltung vermieden wird. Dabei sollte klar sein, dass die Energierohstoffe, also die Energieträger, natürlich sehr wohl verbraucht werden können. Genauso lassen sich einzelne Energieformen wie Wärme oder Strom sehr wohl erzeugen. Die Gesamtenergie wird bei allen Umwandlungsprozessen aber nie verändert.

Nach diesen Vorbemerkungen können nun die unterschiedlichen Methoden zur Bilanzierung von Energie vorgestellt werden. Sie unterscheiden sich darin, wie die Primärenergie fossiler Energieträger und von erneuerbarer Energie bewertet werden.

- Bei der **Substitutionsmethode**, die auch BP-Methode genannt wird, weil sie in den Energiestatistiken von BP Anwendung findet, wird als Primärenergie des erneuerbar erzeugten Stroms und von Kernenergie die Energiemenge angegeben, die mit fossilen Energieträgern eingesetzt werden müsste, um diese Strommenge zu erzeugen. Die fossilen Energieträger werden mit ihrem Heizwert berücksichtigt, also mit der in ihnen enthaltenen chemischen Energie. Die Frage, die mit dieser Energiebewertung beantwortet wird, ist also: Wie viel der in den heute genutzten

fossilen Energieträgern enthaltenen Energie wird durch den zukünftig zunehmend erneuerbar erzeugten Strom substituiert. Bei der Umrechnung werden typischerweise die heute üblichen Kraftwerkswirkungsgrade zugrunde gelegt, also Werte von beispielsweise 38 % oder 40 %. Damit ist der numerische Wert der Primärenergie um den Kehrwert dieses Wirkungsgrades, also um einen Faktor von etwa 2,5 höher als die im Strom enthaltene Energie. Unterschiedliche Quellen verwenden dabei etwas unterschiedliche Umrechnungsfaktoren, die aber typischerweise im angegebenen Bereich liegen. Die Substitutionsmethode wurde für die deutsche Energiebilanz bis 1994 angewendet.

Die Substitutionsmethode hat zwei Vorteile. Erstens können die Werte für die Primärenergie aus fossilen und erneuerbaren Quellen unmittelbar miteinander verglichen werden. Dies liegt auch daran, dass bei einigen Energienutzungen die beim Endkonsumenten bereitgestellte Nutzenergie fossil-basiert und erneuerbar nach der Substitutionsmethode zu vergleichbaren Werten beim Primärenergiekonsum führen. So wird mit strombetriebenen Wärmepumpen etwa 2,5-fach mehr Wärme bereitgestellt als Strom eingesetzt wird. Damit entspricht die nach der Substitutionsmethode ermittelte Primärenergie für Wärmepumpen, die mit erneuerbarem Strom betrieben werden, etwa dem Energieinhalt der Brennstoffe bei fossil betriebenen Öl- oder Gasheizungen bei gleicher Heizleistung. Zweitens lässt sich daher bei der Substitutionsmethode an den Werten der verschiedenen Energiequellen recht gut ablesen, wie weit die Energiewende fortgeschritten ist. Wenn also beispielsweise 20 % der Energie durch erneuerbaren Strom bereitgestellt werden, korrespondiert dies direkt damit, dass die Energiewende zu 20 % vollzogen ist. Nachteilig ist dagegen, dass die Primärenergie nicht der Energie des erzeugten Stroms darstellt, sondern deutlich darüber liegt, was Verwirrung auslösen kann, wenn die Primärenergien mit Angaben in entsprechenden Statistiken zur Stromerzeugung verglichen werden.

- Bei der **Wirkungsgradmethode**, die im Englischen als physical energy content method bezeichnet wird, werden fossile Energieträger ebenfalls mit ihrem Heizwert, also dem chemischen Energieinhalt berücksichtigt. Für Kernenergie wird ein Wirkungsgrad von 33 % zugrunde gelegt. Bei Strom aus erneuerbaren Quellen, also bei Photovoltaik, Wind- und Wasserkraft wird dagegen lediglich die erzeugte elektrische Energie bilanziert. Die auf die PV-Anlage eingestrahlte Sonnenenergie, die ja die Energieform darstellt, die primär zur Verfügung steht, wird dabei nicht als Primärenergie betrachtet. Die Wirkungsgradmethode wird seit 1995 für die deutsche Energiebilanz zugrunde gelegt.

Vorteilhaft bei der Wirkungsgradmethode ist, dass für erneuerbar erzeugten Strom die elektrische Energie berücksichtigt wird. Damit entspricht die Energiemenge den Werten, die in entsprechenden Statistiken zur Stromerzeugung angegeben sind. Insbesondere auch nach Abschluss der Energiewende, wenn die bereitgestellte Endenergie fast ausschließlich Strom sein wird, stimmt dann die angegebene Primärenergie mit der erzeugten Strommenge überein.

Nachteilig bei der Nutzung der Wirkungsgradmethode ist allerdings, dass während der Energiewende die benötigte Primärenergie abnimmt, selbst wenn die Endkonsumenten keine Energie zusätzlich einsparen. Dies liegt daran, dass die erheblichen Verluste bei der Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern berücksichtigt ist, bei erneuerbarem Strom dagegen nicht. Durch die Energiewende werden diese Verluste verringert, so dass zunehmend weniger konsumierte Primärenergie in

den Bilanzen ausgewiesen wird. Diese scheinbare Einsparung ist dabei erheblich, denn in drei der großen Energiesektoren, der Stromerzeugung, der Raumheizung und dem Transport, führt die Umstellung von fossilen Energiequellen zu erneuerbarem Strom rein rechnerisch zu einer Abnahme der verbrauchten Primärenergie um einen Faktor von bis zu etwa 2,5. Von dieser Abnahme, die sich alleine aufgrund der spezifischen Berechnungsbasis ergibt, ist bei der Wirkungsgradmethode die Reduktion des Energiekonsums durch ‚echte‘ Einsparungen bei den Endverbrauchern nicht auf einfache Weise zu unterscheiden. Es ist daher nicht einfach möglich anhand der Werte für die Primärenergie anzugeben, wie wirksam Energieeinsparungen der Endverbraucher sind. Genauso ist es unmöglich, anhand der Werte für erneuerbar erzeugten Strom im Vergleich zum gesamten Primärenergiekonsum anzugeben, zu welchem Grad die Energiewende in einem betrachteten Jahr bereits fortgeschritten ist.

- Bei der ‚**Direktäquivalentmethode**‘, auf English direct equivalent method, wird die Energie nach der ersten Umwandlung berücksichtigt. Bei fossilen Energieträgern also die Wärme, die wieder dem chemischen Energieinhalt entspricht, bei Kernkraft und erneuerbarem Strom die elektrische Energie. Der einzige nennenswerte Unterschied zur Wirkungsgradmethode ist also, wie Kernenergie berücksichtigt wird. Bei der Direktäquivalentmethode wird lediglich der erzeugte Strom berücksichtigt, bei der Wirkungsgradmethode dagegen ein Wirkungsgrad von 33 %. Da der wesentliche Unterschied zur Wirkungsgradmethode darin liegt, wie Kernkraft energetisch bewertet wird, entsprechen die Vor- und Nachteile der Direktäquivalentmethode denen der Wirkungsgradmethode.

Ein zahlenmäßiger Vergleich für die unterschiedlichen Bewertungsmethoden ist anhand eines illustrativen Beispiels in IPCC (2014, Tabelle A.II.10) tabellarisch gezeigt.

Anmerkungen:

Um die Erläuterungen einfach zu halten, wurden in der Vorstellung der Bewertungsmethoden nur die wesentlichen Beiträge zur verfügbaren Primärenergie berücksichtigt. So werden beispielsweise die Energie bei der Müllverbrennung und der Verbrennung von Klärschlamm nicht berücksichtigt. Wie solche Beiträge zur Primärenergie berücksichtigt werden, ist in den unten angegebenen Quellen zum Teil beschrieben.

Bei den Grundlagen für die Energiebilanzen sind manche Zusammenhänge vereinfacht dargestellt, so dass die wesentlichen Zusammenhänge herausgestellt werden. So kann beispielsweise der chemische Energieinhalt fossiler Energieträger mit dem oberen oder dem unteren Heizwert ausgedrückt werden, die sich typischerweise um etwa 5 bis 10 % unterscheiden. Der Unterschied rührt daher, dass das bei der Verbrennung entstehende Wasser nach dem Prozess dampfförmig (unterer Heizwert) oder flüssig (oberer Heizwert, Brennwert) vorliegen kann. Bei Prozessen, bei denen das Wasser aus dem Abgas kondensiert wird, wird die Verdampfungsenergie des Wassers mitgenutzt, so dass der obere Heizwert relevant ist. Bei Prozessen, bei denen das Wasser den Prozess im Abgas dampfförmig verlässt, muss dagegen der untere Heizwert berücksichtigt werden.

In einigen Studien werden weitere Methoden zur Auswertung der Primärenergie verwendet. So wird manchmal bei Wärmepumpenheizungen die Energie der Umge-

bungsluft, die durch die Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gebracht wird, als Primärenergie berücksichtigt. Genauso wird in manchen Studien beispielsweise die Sonnenenergie bei Photovoltaik als Primärenergie gewertet.

Bei der Beschreibung von Kraftwerksprozessen und ihren Verlusten werden nur die wesentlichen Energiemengen beschrieben. Verluste treten auch an vielen anderen Stellen auf, beispielsweise bei allen technischen Apparaten wie Pumpen. Außerdem wird Wärme auch von der Brennkammer direkt an die Umgebung abgegeben. Dies sind allerdings vergleichsweise kleine Energiemengen, die die grundlegende Beschreibung hier nicht wesentlich beeinflussen.

Quellen:

AG Energiebilanzen, 2019: Energie in Zahlen - Arbeit und Leistungen der AG Energiebilanzen. <https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2019/01/ageb-energie-in-zahlen-2019.pdf>

IPCC, 2014: Krey V., O. Masera, G. Blanford, T. Bruckner, R. Cooke, K. Fisher-Vanden, H. Haberl, E. Hertwich, E. Kriegler, D. Mueller, S. Paltsev, L. Price, S. Schlömer, D. Ürge-Vorsatz, D. van Vuuren, and T. Zwickel, 2014: Annex II: Metrics & Methodology. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-ii.pdf

WBGU, 2003: Die Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit. Springer-Verlag, Berlin. <https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/welt-im-wandel-energiewende-zur-nachhaltigkeit>

Wikipedia, 2021: Primärenergieverbrauch, <https://de.wikipedia.org/wiki/Primärenergieverbrauch> (zugegriffen 20.09.2024)