

# Energiebilanzen - Einleitung

Dieses Kapitel erklärt Begriffe, die mit dem Thema Energiebilanz zusammenhängen. Es soll deutlich werden, dass die Höhe der benötigten Energie des Gebäudes von einer großen Anzahl von Faktoren abhängt, die miteinander verknüpft sind und untereinander Wechselwirkungen ausüben - und die daher nur in einer ganzheitlichen Bilanz betrachtet werden können.

## 1. Notwendigkeit von Energiebilanzen

Die Frage, warum für ein Gebäude überhaupt eine Energiebilanz erstellt wird, kann auf vielfache Weise beantwortet werden. Zunächst muss jedoch festgelegt werden, welche Energien überhaupt bilanziert werden sollen.

Ganz allgemein gesehen, kann jeder Energiestrom, der in ein Gebäude hineinfließt, bzw. jeder Energiestrom, der aus diesem Gebäude wieder herausfließt, bilanziert werden. Die in das Gebäude hineinfließenden Energien treten in Form von:

- elektrischer Energie (Strom),
- Wärmeenergie (Fernwärme, Nahwärme, Personenabwärme),
- Strahlungsenergie (Solarwärme) oder
- chemisch gebundener Energie (Gas, Öl, Kohle, Holz)

auf. Im Gebäude werden sie genutzt, das heißt teilweise umgewandelt, und treten im allgemeinen in Form von **Wärmeenergie** aus dem Gebäude aus. Diese Zusammenhänge zeigt Bild 1.1.

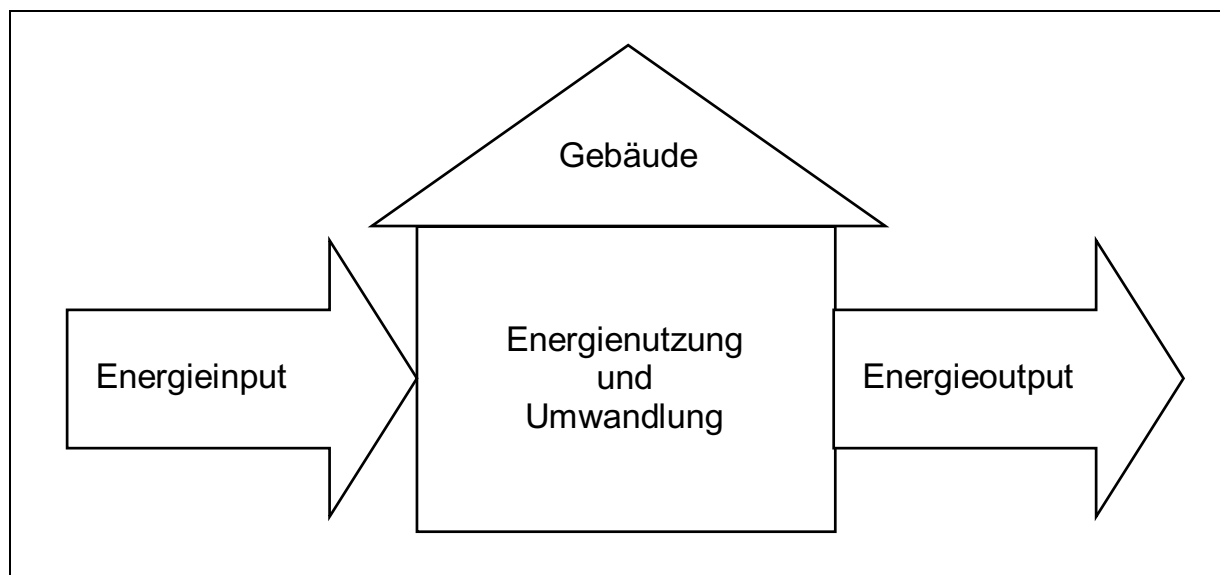


BILD 1.1 ENERGIEINPUT, ENERGIENUTZUNG UND ENERGIEOUTPUT

Eine Energiebilanz erfasst alle oder einen Teil dieser Energien in einer definierten Zeitperiode (z.B. ein Jahr). Dabei spielt es keine Rolle, ob eintretende oder austretende Energien bilanziert werden, denn aufgrund der Energieerhaltung sind diese beiden Mengen gleich groß.

Üblicherweise ist das Endziel einer Energiebilanz, den Teil der in das Gebäude einfließenden Energien zu bilanzieren, für dessen Bereitstellung ein Primärenergieträger verbraucht wird (endlicher Rohstoff) oder der käuflich erworben werden muss. Diese Energiemenge stimmt nicht zwangsläufig mit dem Energieinput überein. Denn der Energieinput umfasst auch Energien (wie solare Einstrahlung usw.), die nicht gekauft werden müssen oder die keinen endlichen Rohstoff verbrauchen. Diese Zusammenhänge zeigt Bild 1.2.

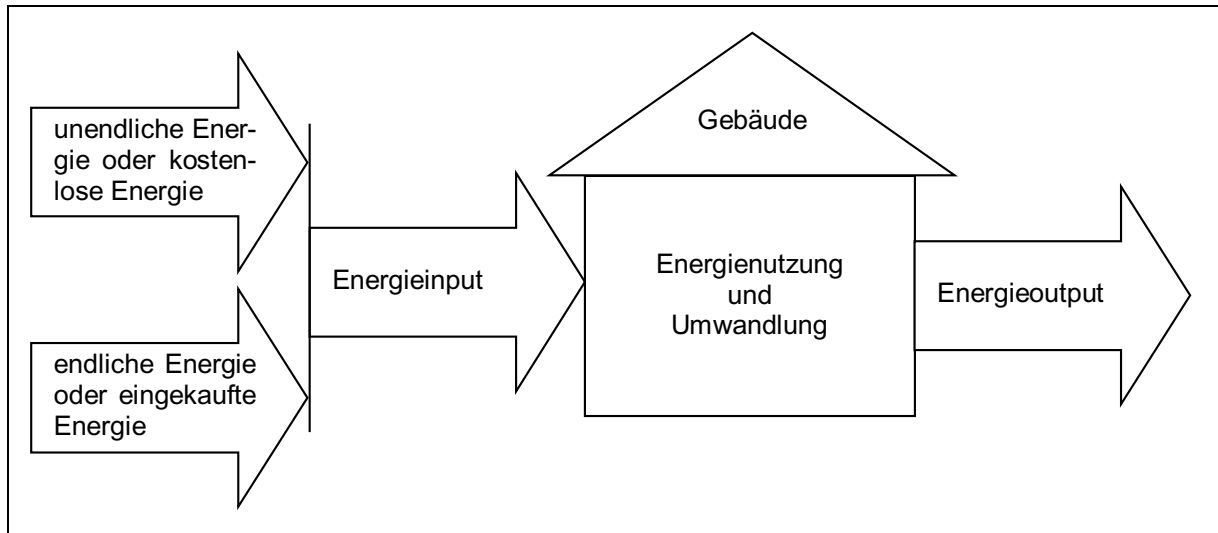


BILD 1.2 BILANZIERTE ENERGIEMENGE FÜR DAS GEBÄUDE

Energiebilanzen werden jedoch grundsätzlich in Energieverbrauchsbilanzen und Energiebedarfsbilanzen unterschieden.

Eine **Energieverbrauchsbilanz** basiert auf der verbrauchten Energie, aus Messdaten und Abrechnungen. Der Energieverbrauch kann anschließend anhand der Gebäude-, Anlagen- und Nutzercharakteristik auf die einzelnen Energieverbraucher des Gebäudes aufgeteilt werden. Energieverbrauchsbilanzen finden bei der Bewertung bereits bestehender Gebäude Anwendung.

Das Gegenstück dazu sind die **Energiebedarfsbilanzen**. Anhand der Charakteristik des Gebäudes werden zunächst auf Basis von typischen Bedarfskennwerten alle Wärmemengen bilanziert, die im Gebäude genutzt werden und in Form von Wärme aus dem Gebäude austreten müssen. Diese Vorgehensweise erlaubt anschließend den Rückschluss darüber, welche Energien in das Gebäude fließen müssen. Energiebedarfsbilanzen werden vor allem bei der Gebäudeplanung eingesetzt, wenn reale Verbräuche noch nicht vorliegen.

In einem frühen Diskussionsstadium der EnEV 2002 wurde der Heizenergiebedarf auch als rechnerischer Verbrauch bezeichnet [EHM].

Die Notwendigkeit und Motivation eine Energiebilanz zu erstellen, hängt natürlich vom Betrachter und dem Ziel des Betrachters ab. Dieser Betrachter kann der Nutzer des Gebäudes, ein Energieversorger oder auch die Bundesregierung gegenüber der Öffentlichkeit sein. Wichtige Ziele sind sicherlich die Optimierung von Kosten und/oder der Umweltverträglichkeit.

Energiebedarfsbilanzen erlauben den energetischen Vergleich verschiedener nutzungsartabhängiger Gebäudevariationen (damit sind Gebäude, Anlagentechnik und Nutzung gemeint) im Vorfeld einer Umsetzung in die Realität. Damit können je nach Betrachtungsebene unter anderem folgende Aussagen gemacht werden:

- Wie hoch werden der jährliche Energieverbrauch und damit die Energiekosten des Gebäudes für den Nutzer sein?
- Wie hoch werden bei einem Gebäude oder einem größeren Versorgungsgebiet der Energieverbrauch und damit der Energieabsatz für das Versorgungsunternehmen sein?
- Wie hoch wird - zum Beispiel deutschlandweit - der Energieverbrauch aller Neubauten sein. Und wie verändert sich damit der jährliche bundesweite CO<sub>2</sub>-Ausstoß.

Energieverbrauchsbilanzen erlauben die Abschätzung des zukünftigen Energieverbrauches zum Beispiel nach Sanierungen und damit Aussagen über die Kosten und Umweltrelevanz.

## 2. Energieeinzelnennwerte

Wird ein Gebäude anhand seiner Energiebilanz beschrieben, so helfen Energiekennwerte. Diese können anhand verschiedener Merkmale unterschieden werden. Eine Übersicht bietet Tabelle 2.1 [VDI 3807].

Unterscheidungsmerkmal	Beispiele
Verwendungszweck	reine Heizwärme, Warmwasser, Wirtschaftswärme, Elektroverbrauch, Wasser
Energieart	Heizöl, Erdgas, Fernwärme, Strom, feste Brennstoffe
Nutzungsart	unterschiedliche Wohn- und Nichtwohngebäude
Energieform	Primärenergie, Endenergie, Nutzenergie
Bezugswert	Flächen, Personenzahlen, Produktionseinheiten
Kosten	spezifische Energiekosten, Kosten je Bezugswert, Grund- und Arbeitspreise

TABELLE 2.1 UNTERSCHIEDUNG VON ENERGIE- UND KOSTENKENNWERTEN

Wie Tabelle 2.1 deutlich zeigt, gibt es eine Vielzahl von Energiekennwerten und Möglichkeiten der Unterteilung für Gebäude. In diesem Buch wird vor allem auf folgende Unterscheidungsmerkmale näher eingegangen:

- Verwendungszweck: als Wärmeenergie, als elektrische Hilfsenergie
- Energieform: Primärenergie, Endenergie, Nutzenergie.

Steht man vor der Aufgabe, die Energiebilanz für ein Gebäude zu erstellen, so stellt sich schnell heraus, dass es drei wesentliche Einflüsse auf den Energieverbrauch oder Energiebedarf gibt:

- die Charakteristik der wärmeübertragenden Umfassungsflächen des Gebäudes (Dämmstandard, Dichtigkeit)
- die Charakteristik der Anlagentechnik (Verlustbegrenzung) und der Regelung (Bedarfsanpassung)
- die Nutzung (Nutzerverhalten im Zusammenspiel mit der Gebäude- und Anlagentechnik)

Der Energiebedarf- bzw. Energieverbrauch eines Gebäudes lässt sich also auf diese drei Hauptverursacher zurückführen. Eine Möglichkeit wäre es nun, auch die Gesamtenergiemenge, die in ein Gebäude fließt, auf diese drei Hauptverursacher aufzuteilen.

Wie vorher bereits erklärt, lassen sich für ein Gebäude Energieinput bzw. Energieoutput bilanzieren. Innerhalb des Gebäudes - also zwischen den Gesamtinput und Gesamtoutput stehen dann die Verbraucher: "Gebäude", "Anlage" und "Nutzer". Es ergäben sich drei Energiekennwerte. Den Energieverbrauch des Gebäudes, der Anlage und des Nutzers.

Für einen beliebigen Neubau könnte dann quasi im "Baukastensystem" aus jeweils einem Gebäudetyp, einem Nutzertyp und einem Anlagentyp jede beliebige Kombination zusammengesetzt werden. Anhand der drei Energiekennwerte würde sich dann ein Gesamtenergiekennwert ergeben. Für ein Gebäude aus dem Bestand würde ähnliches gelten.

Diese Herangehensweise erweist sich allerdings als unpraktikabel, da sich die drei Hauptverursacher gegenseitig beeinflussen. Den drei Verursachern kann nicht einfach je ein Teil des Gesamtenergie-Inputs zugeschrieben werden.

Es hat es sich daher als praktikabel erwiesen, den Energieverbrauch auf eine definierte Zahl von Einzelverursachern zurückzuführen. Jedem dieser Verursacher wird ein Energieeinzelkennwert bei der Gebäudebeschreibung zugewiesen. Dieser Einzelkennwert kann ggf. auf weitere andere Einzelkennwerte aufgeteilt werden. Mehrere Verbraucher (Einzelkennwerte) können auch zu einem übergeordneten Einzelkennwert zusammengefasst werden.

Zum Verständnis: ein Energieverbraucher im Gebäude ist beispielsweise das "Wärmeverteilnetz". Man kann diesem Verbraucher einen Energieeinzelkennwert zuordnen. Dieser Kennwert ist der "Wärmeverlust der Verteilung". Er ist ein Teil des Einzelkennwertes "technische Wärmeverluste", denn darunter werden alle technischen Verluste zusammengefasst, auch die der Wärmespeicherung und Wärmeerzeugung. Andererseits wird der "Wärmeverlust der Verteilung" selbst durch andere Einzelkennwerte, wie beispielsweise "Länge des Verteilsystems" und "mittlere Temperatur in den Leitungen" bestimmt.

Je vielschichtiger die Aufschlüsselung, desto genauer kann das Gebäude abgebildet werden. Die Einzelkennwerte können für jedes Gebäude entweder aus realen Bedingungen und Messungen oder anhand von typischen statistisch erfassten Mittelwerten bestimmt werden. Sie umfassen sowohl Energieverluste und Energiegewinne für ein Gebäude.

Eine Übersicht ist in Bild 2.1 gegeben.

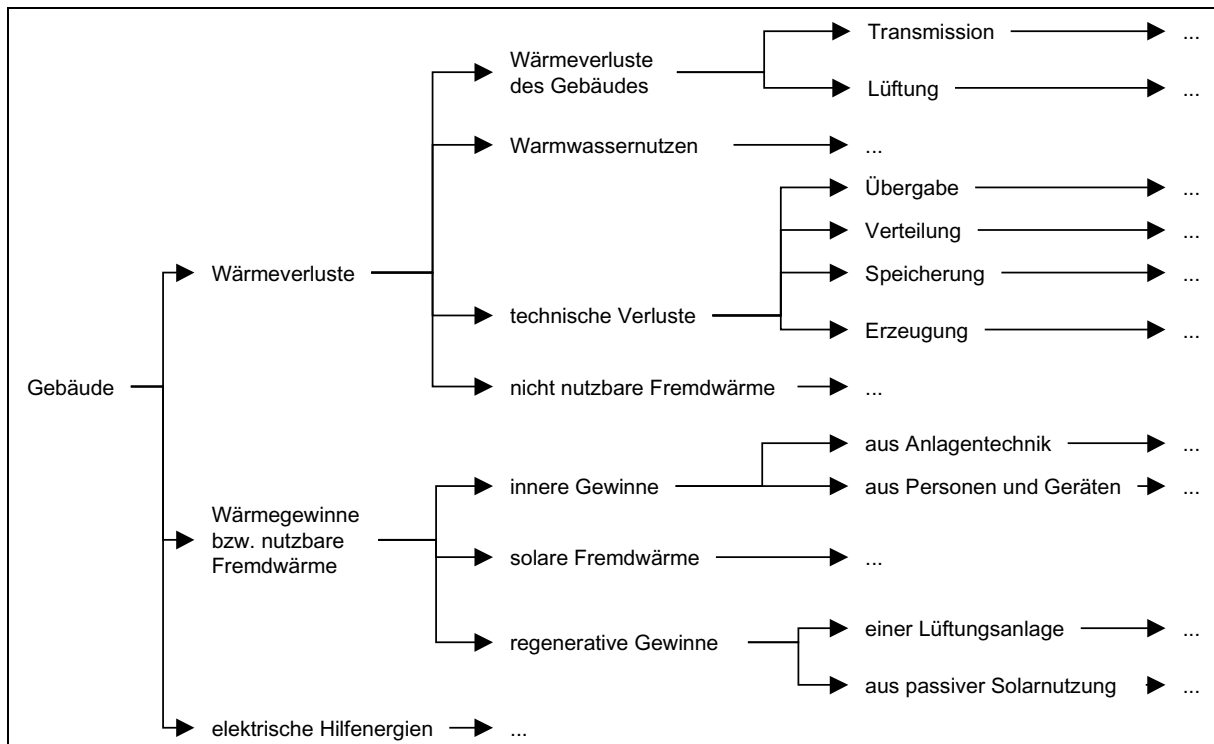


BILD 2.1 VERKNÜPFUNG DER WICHTIGSTEN ENERGIEEINZELKENNWERTE DES GEBÄUDES

Bild 2.1 umfasst die Einzelkennwerte wie sie auch in der Energieeinsparverordnung und den entsprechenden Berechnungsvorschriften verwendet werden. An der Stelle der drei Punkte "..." folgen weitere Unterteilungen und Einflussgrößen.

### 3. Gemeinsame Physik

Voraussetzung für die energetische Beschreibung von Gebäuden und die Bildung von Energieeinzelkennwerten sind Mathematik und Physik.

An dieser Stelle soll eine kurze Wiederholung der wichtigen physikalischen Grundlagen folgen. Für das Verständnis spielt es dabei keine Rolle, ob Sie als Leser eine mehr architektonisch oder anlagentechnisch geprägte Vorbildung haben. Die hier beschriebenen Zusammenhänge können unter dem Begriff "gemeinsame Physik von Anlagentechnik und Gebäude" verstanden werden.

Eine beliebige Energiemenge  $Q$  lässt sich physikalisch anhand verschiedenster Zusammenhänge definieren. Beispielsweise Kraft mal Weg, Impuls mal Geschwindigkeit und so weiter. Im Falle der Energiebilanz ist folgender Zusammenhang der Grundlegende:

$$\text{Energie} = \text{Leistung} \times \text{Zeit}$$

$$Q = (\dot{Q} \text{ bzw. } P) \cdot t$$

Diese Formel kann für alle thermischen und alle elektrischen Energien verwendet werden.

Die Definition der Leistung P oder  $\dot{Q}$  hängt von dem physikalischen Phänomen ab, welches beschrieben werden soll. Für die Energiebilanz gelten folgende vier wichtigen Zusammenhänge für die Leistung:

(a)

Leistung = Volumenstrom  $\times$  Dichte  $\times$  spezifische Speicherkapazität  $\times$  Temperaturdifferenz

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta\vartheta$$

Dieser Zusammenhang kann für die Wärmetransport-Eigenschaften eines fließenden Mediums verwendet werden. Ein Volumenstrom  $\dot{V}$  des Stoffes mit den Stoffeigenschaften  $\rho$  und  $c_p$  wird um eine Temperaturdifferenz  $\Delta\vartheta$  erwärmt oder abgekühlt. Das gilt für Wasser, das kalt ins Gebäude einströmt und erwärmt werden muss genauso wie für den Luftstrom zur Gebäudelüftung.

(b)

Leistung = Wärmedurchgangswert  $\times$  Fläche  $\times$  Temperaturdifferenz

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta\vartheta$$

Diese Formel gilt für alle Wärmetransportvorgänge (Auskühlung und Erwärmung) ohne Stoffaustausch. Die Leistung wird bestimmt durch die Größe der Fläche A mit dem Wärmedurchgangskoeffizienten U (früher k) und der Temperaturdifferenz  $\Delta\vartheta$  auf beiden Seiten der Trennfläche. Dieser Zusammenhang gilt für die Ermittlung aller Wärmeverluste aufgrund von Transmission, sei es für die Außenwände des Gebäudes oder die Wärmeverluste von Speichern und Rohren, aber auch für die Wärmeübertragung in Wärmeübertragern.

(c)

Leistung =  $\frac{\text{Volumenstrom} \times \text{Druckdifferenz}}{\text{Wirkungsgrad}}$

$$P = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\eta}$$

Mit diesem Zusammenhang können alle elektrischen Leistungen bestimmt werden, die auf hydraulischen Prozessen gründen. Dies sind im Falle der Energiebilanz alle Pumpen- und Ventilatorleistungen. Die elektrische Leistung hängt von der Höhe des umgewälzten Volumenstromes  $\dot{V}$ , von der Druckdifferenz  $\Delta p$  und dem Wirkungsgrad der Pumpe  $\eta$  ab.

(d)

Leistung = Massenstrom  $\times$  Heizwert

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot H$$

Mit dieser Formel lässt sich die Leistung aufgrund von chemisch gebundener Energie ermitteln. Neben dem Massenstrom des Brennstoffes  $\dot{m}$  muss weiterhin dessen Heizwert (oder Brennwert) H bekannt sein. Dieser Zusammenhang gilt für alle chemischen Umwandlungsprozesse.

Für die Definition der Leistung fehlt nun noch der Umwandlungsprozess von Strahlungsleistung in thermische Leistung. Auf diesbezügliche Ableitungen wird hier nicht weiter eingegangen, da diese nicht unmittelbar in der Bilanz benötigt werden.

Der letzte Zusammenhang ist die Bildung von sogenannten "spezifischen Kennwerten". Darunter sind - zumindest für dieses Buch - alle flächenbezogenen Größen zu verstehen.

$$\text{spezifischer Wert} = \frac{\text{absoluter Wert}}{\text{Fläche}}$$

Ein absoluter Kennwert wird durch die Bezugsfläche geteilt und ergibt einen spezifischen Kennwert. Die spezifischen Kennwerte sind oft mit kleinen Buchstaben des Alphabetes gekennzeichnet. Die zugehörigen absoluten Werte mit den jeweiligen Großbuchstaben. Beispiel ist eine Energiemenge  $Q$  in Kilowattstunden (kWh) und die zugehörige spezifische Energiemenge  $q$  in Kilowattstunden je Quadratmeter (kWh/m<sup>2</sup>).

### Literatur

[VDI 3807-1]	VDI 3808; Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien für heiztechnische Anlagen; Blatt 1 Grundlagen; VDI; 1994 Im Internet: <a href="http://www.vdi.de">www.vdi.de</a> und <a href="http://www.beuth.de">www.beuth.de</a>
[VDI 3807-2]	VDI 3808; Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien für heiztechnische Anlagen; Blatt 2 Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte; VDI; 1998 Im Internet: <a href="http://www.vdi.de">www.vdi.de</a> und <a href="http://www.beuth.de">www.beuth.de</a>
[VDI 3807-3]	VDI 3808; Energiewirtschaftliche Beurteilungskriterien für heiztechnische Anlagen; Blatt 3 Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude und Grundstücke; VDI; 2000 Im Internet: <a href="http://www.vdi.de">www.vdi.de</a> und <a href="http://www.beuth.de">www.beuth.de</a>

Quelle: Jagnow, Horschler, Wolff;  
Die neue Energieeinsparverordnung 2002;  
Deutscher Wirtschaftsdienst; Köln; 2002