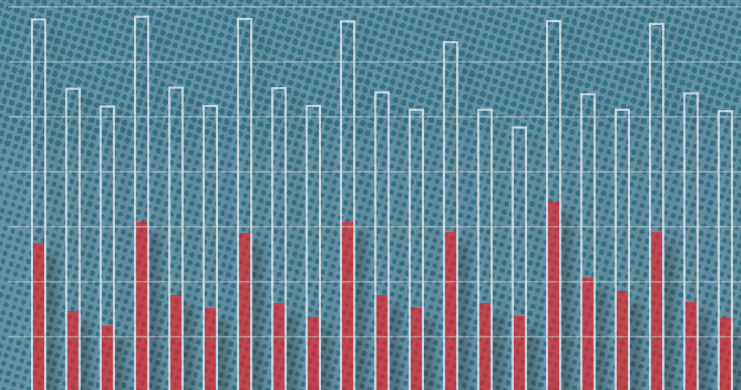


Jörn Krimmling, Ondřej Flanderka

Energiebedarf von Bürogebäuden

Richtwerte und Einflussparameter für die Planung



Jörn Krimmling, Ondřej Flanderka

Energiebedarf von Bürogebäuden

Jörn Krimmling, Ondřej Flanderka

Energiebedarf von Bürogebäuden

Richtwerte und Einflussparameter
für die Planung

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-9769-2
ISBN (E-Book): 978-3-8167-9827-9

Umschlaggestaltung: Martin Kjer
Herstellung: Angelika Schmid
Satz: Mediendesign Späth GmbH, Birenbach
Druck: BELTZ Bad Langensalza GmbH, Bad Langensalza

Alle Rechte vorbehalten.

Die hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafestraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© Fraunhofer IRB Verlag, 2017
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon +49 7 11 970-2500
Telefax +49 7 11 970-2508
irb@irb.fraunhofer.de
www.baufachinformation.de



Vorwort

Die Energieeffizienz von Gebäuden hat sich zu einem der wichtigen Themen in der Bau- und Immobilienwirtschaft entwickelt. Das Thema ist fachlich sehr anspruchsvoll und komplex, daher bedarf es praktisch handhabbarer Systematiken, mit deren Hilfe die Akteure im Planungs- und Bauprozess sinnvolle Gebäudekonzepte entwickeln können. Mit unserem hier vorliegenden Buch wollen wir genau diese Unterstützung geben. Vor allem wollen wir die Kommunikation der vielen Spezialisten im Integralen Planungsprozess, der ja die Voraussetzung für energieeffiziente Gebäude ist, fördern.

Wir können uns beispielsweise vorstellen, dass man die Orientierungswerte für den Energiebedarf der unterschiedlichen Systemkonfigurationen unserer Studie im Rahmen der Zielplanung bei der Entwicklung eines nachhaltigen Gebäudes nutzt. Ebenso könnten erste Wirtschaftlichkeitsanalysen mit Hilfe der Berechnungsergebnisse vorgenommen werden, womit das Buch eigentlich in jedem Entwurfsprozess für Nichtwohngebäude verwendet werden könnte.

Als Zielgruppe sehen wir in erster Linie Architekten, Bauingenieure und Immobilienwirtschaftler aber auch den Energieberater und den TGA-Ingenieur. Wir denken aber auch, dass es in der einschlägigen Hochschulausbildung bzw. der Weiterbildung von Energieberatern verwendet werden kann. Neben der möglichst anschaulichen Darstellung der Berechnungsergebnisse haben wir alle untersuchten Haustechnik-Systeme in ihrer Funktionalität beschrieben, sodass sich auch der Ungeübte zurecht finden wird.

Über Hinweise und Anmerkungen freuen wir uns.

Dresden und Liberec (CZ), im November 2016

Jörn Krimmling
Ondřej Flanderka

Die Autoren und der Verlag haben die Berechnungen, den Text, die Tabellen und Abbildungen mit großer Sorgfalt erarbeitet. Ungeachtet dessen können Fehler nicht ausgeschlossen werden. Abweichungen bei den Ergebnissen können sich auch durch die Weiterentwicklung der Normen und der darauf basierenden Softwaresysteme ergeben. Deshalb übernehmen weder der Verlag noch die Autoren Garantien für die in diesem Buch gegebenen Informationen. In keinem Fall haften der Verlag und die Autoren für Schäden direkter und indirekter Art, die durch die Verwendung dieser Informationen entstanden sein können.

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	5
1	Bürogebäude	9
2	Energieeffizienz versus Energiebedarf	13
3	Entwicklung von Modellgebäuden	17
3.1	Herangehensweise	17
3.2	Geometrie des Baukörpers	17
3.3	Bauphysikalische Eigenschaften der Gebäudehülle	25
3.4	Anlagentechnik	26
3.4.1	Strukturansatz für die Heizung	26
3.4.2	Strukturansatz für die Klimatisierung	30
3.4.3	Strukturansatz für die Beleuchtung	42
4	Energetischer Bilanzierungsansatz	45
4.1	Herangehensweise	45
4.2	Bilanzierungsmodell	47
5	Parameterstudie	57
5.1	Gebäude- und Anlagenkonfiguration	57
5.2	Kompaktheit	57
5.3	Orientierung des Grundrisses	60
5.4	Zusätzliches Tiefgaragengeschoss	61
5.5	Dämmeigenschaften	62
5.6	Transparenzanteil der Fassade	62
5.7	Einfluss der Standard-Nutzungsprofile in den Zonen	63
5.8	Wärmeerzeuger	65
5.9	Vergleich mit dem Berechnungsansatz DIN 4701-10	70
5.10	Gas-Brennwertkessel mit Solarthermie	72
5.11	Kälteerzeuger	74
5.12	Lüftung und Klimatisierung	76
5.13	Indirekte Verdunstungskühlung	80
5.14	Beleuchtung	83
5.15	Zusammenfassung	84
6	Null-Energie-Gebäude	87
7	Energiebedarf im Lebenszyklus	89
8	Lebenszykluskosten und Wirtschaftlichkeit	97

9	Anhang	109
9.1	U-Werte für die verwendeten Dämmstandards	109
9.1.1	Dämmstandard 1 (D1)	109
9.1.2	Dämmstandard 2 (D2)	110
9.2	Ergebnisse der im Buch berechneten Beispiele	112
9.3	Ergebnisse für das sechsgeschossige Winkel-Gebäude (Variante 12)	148
9.4	Verwendete Quellen	156
9.5	Normen und Richtlinien	157
9.6	Glossar	157
9.7	Sachregister	162

1 Bürogebäude

Der heutige Mensch hält sich etwa 80 % seiner Zeit in Gebäuden auf. Rund ein Viertel dieser Zeit verbringt er in den Gebäuden, in denen er seiner Berufstätigkeit nachgeht. Bei diesen Gebäuden handelt es sich in zunehmendem Maße um Bürogebäude, was man mit zwei Tatsachen belegen kann:

1. Die größte Teilmenge der ca. 3,5 Mio. Nichtwohngebäude ist die der Büro- und Verwaltungsgebäude, welche ca. 700 000 Gebäude (20 %) umfasst (vgl. z.B. [Jochum u. a., 2015]).
2. Der Anteil von klassischen Industriearbeitsplätzen nimmt immer weiter ab, dagegen steigt der Anteil von Arbeitsplätzen im privaten und öffentlichen Dienstleistungssektor stark an [Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2012]. Dabei geht es vor allem um wissensintensive Dienstleistungen [Hube, 2005]. Es ist davon auszugehen, dass durch diesen Trend der Anteil von Büroarbeit zunimmt.

Steigende Mieten im Büromarkt deuten auf eine wachsende Nachfrage nach Bürogebäuden insbesondere in den Ballungsgebieten hin [IVD, 2014].

Die Frage, welchen Anteil des jährlichen Energieverbrauchs Bürogebäude verursachen, ist aufgrund der unspezifischen Datenlage nicht leicht zu beantworten. Man kann zunächst den Anteil aller Gebäude am jährlichen Energieverbrauch in Deutschland abschätzen, indem man die Gesamtenergiebilanz der Volkswirtschaft analysiert. Aus dieser aktuellen Endenergiebilanz für Deutschland nach Abbildung 1-1 geht hervor, dass die beiden Verbrauchssektoren Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen ca. 40 % des Energieverbrauchs verursachen. Wenn man annimmt, dass davon ca. 90 % auf Gebäude entfallen und der Industrieverbrauch zu 10 % den Gebäuden zuzuordnen ist, ergibt sich so der Verbrauchsanteil der Gebäude von insgesamt ca. 40 %.

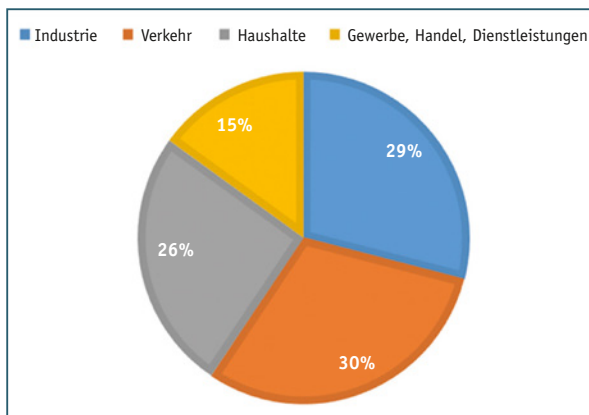


Abbildung 1-1: Endenergiebilanz 2014 für Deutschland. Zahlen nach [AGEB, 2015]

Der Energieverbrauch für Baustoffe lässt sich nur schwer eingrenzen. Für die Gewinnung und Verarbeitung von Steinen und Erden sind etwa 2 % des jährlichen Energieverbrauchs zu veranschlagen, was man aus den branchenbezogenen Daten der Energiebilanz entnehmen kann. Die Herstellung von Dämmstoffen könnte nach einer groben Abschätzung ebenfalls 2 % des Gesamtverbrauches verursachen, sodass man auf einen Verbrauchsanteil für Gebäude von etwa 45 % käme. Andere Quellen sprechen lediglich von 30 % Anteil der Gebäude. Letztendlich ist der genaue Anteil hier von untergeordnetem Interesse. Interessant ist die Tatsache, dass Gebäude einen signifikanten Anteil am Energieverbrauch haben.

Hinsichtlich der Zusammensetzung des Gebäudebestandes kann man auf der Basis verschiedener Quellen von folgender Grundstruktur ausgehen, die ca.:

- 18 Mio. Wohngebäude
- 3,5 Mio. Nichtwohngebäude

umfasst.

Die gesamte Wohnfläche beträgt etwa 3,5 Mrd. m², die Nutzfläche der Nichtwohngebäude liegt bei 2,35 Mrd. m². In der genannten Anzahl der Nichtwohngebäude sind, grob geschätzt und wie bereits erwähnt, 700 000 Büro- und Verwaltungsgebäude mit einer Nettogrundfläche (NGF) von 316 Mio. m² enthalten (vgl. z. B. [Jochum u. a., 2015]). Nach einer neueren Studie der Deutschen Energieagentur (dena) soll es ca. 310 800 Bürogebäude mit 456 Mio. m² Fläche geben [dena, 2016].

Bezeichnung	Wert		Einheit
	von	bis	
Nettogrundfläche der Bürogebäude	316 000 000	316 000 000	m ²
spezifischer Endenergieverbrauch für Elektroenergie	20	40	kWh/m ² a
spezifischer Endenergieverbrauch für Wärme	70	90	kWh/m ² a
geschätzter Endenergieverbrauch gesamt	28 440 000 000	41 080 000 000	kWh/a
geschätzter Endenergieverbrauch gesamt	102,38	147,89	PJ/a
Anteil am Gesamtverbrauch Deutschlands	1,2 %	1,7 %	
Anteil am Gebäudeverbrauch	3,0 %	4,3 %	

Tabelle 1-1: Abschätzung des Endenergieverbrauchs von Bürogebäuden (spezifische Werte nach [BMWi & BMUB, 2015])

Unterstellt man, dass die Flächenangabe für die Büro- und Verwaltungsgebäude belastbar ist, kann man mit einer sehr einfachen Abschätzung den Endenergieverbrauch von Bürogebäuden berechnen. Demzufolge verursachen Bürogebäude derzeit nur etwa 5% des Energieverbrauchs von Gebäuden. Ungeachtet dieses geringen Wertes stellt die energieeffiziente Gestaltung von Bürogebäuden eine wichtige Herausforderung dar, da diese einen hohen Anteil am Baugeschehen haben.

Bei Bürogebäuden kann man von deutlich höheren Neubau- und Modernisierungsraten als bei Wohngebäuden ausgehen, was die Bedeutung energieeffizienter Gebäudekonzepte unterstreicht. Für das dadurch initiierte Baugeschehen sind folgende Aspekte wichtig:

- Das Interesse an hochwertigen, oft klimatisierten Flächen steigt, da die Gestaltung von Arbeitsplätzen ein zunehmender Motivationsaspekt für die Mitarbeiter im Unternehmen ist. Die Klimatisierung führt zunächst zu einem höheren Nutzenergiebedarf und es muss überlegt werden, wie dessen Abdeckung so geschehen kann, dass der Gesamtbedarf nicht ins Unermessliche ansteigt.
- In den Ballungsgebieten gibt es eine signifikante Nachfrage nach Nachhaltigen Bürogebäuden (Green Buildings), welche nach anerkannten Systemen (LEED, BREEAM, DGNB) zertifiziert sind. Bei der Bewertung Nachhaltiger Gebäude steht die Energieeffizienz in Konkurrenz zu ökonomischen bzw. funktionalen und soziokulturellen Aspekten.
- Generell hat sich das Thema der notwendigen Energieeffizienz von Gebäuden als gesellschaftliches Thema etabliert, sodass man beim Neubau oder der Modernisierung von Bürogebäuden sich definitiv damit auseinandersetzen muss.

Mit dem vorliegenden Buch soll ein Beitrag zur energieeffizienten Gestaltung von Bürogebäuden geleistet werden, ohne dass der in der Praxis häufig zu beobachtende Weg der technologischen Überfrachtung von Gebäuden mit vielfältigen Techniksystemen gegangen werden soll.

Mit Hilfe einer systematischen Parameteranalyse an Hand von Modell-Geometrien werden grundsätzliche Einflussparameter herausgearbeitet. Den Bearbeitern von Energiekonzepten wird damit ein Überblick gegeben, mit dessen Hilfe schon in frühen Planungsphasen mögliche Lösungen ausgewählt werden können. Das bedient die heute zunehmend praktizierten integralen Planungsansätze, welche vor allem durch eine größere Variantenvielfalt am Projektanfang gekennzeichnet sind.

2 Energieeffizienz versus Energiebedarf

Da Gebäude einen signifikanten Anteil am Gesamtenergieverbrauch haben, ergibt sich die Frage, wie deren energetische Qualität in Bezug auf die globalen Klimaziele zweifelsfrei beschrieben werden kann. Häufig ist von einer anzustrebenden hohen Energieeffizienz die Rede, obgleich angezweifelt werden muss, dass dieser Parameter letztendlich eine zweckmäßige Aussage liefern kann.

Effizienz gilt allgemein als das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand. Sie kann als Eigenschaft von Prozessen verstanden werden. Eine höhere Effizienz kann demzufolge durch eine Vergrößerung des Nutzens und/oder eine Verringerung des Aufwandes erreicht werden.

Energieeffizienz

Die Energieeffizienz von Gebäuden kann als das Verhältnis von »energetischem Nutzen« zu energetischem Aufwand verstanden werden.

$$EE = \frac{\text{Energetischer Nutzen}}{\text{Energetischer Aufwand}} \quad \text{F 2-1}$$

Die Aufwandskategorie kann einfach durch den jeweiligen Energieverbrauch, respektive den Energiebedarf, beschrieben werden, wobei noch zu klären wäre, welche Energiekategorie genau gemeint ist. Geht es um die globalen Klimaziele, ist der Verbrauch bzw. der Bedarf an fossiler Primärenergie zu bilanzieren. Die Fokussierung auf Endenergie wäre hier falsch, da diese nicht den letztendlichen Ressourcenverbrauch beschreibt, sondern eher auf den wirtschaftlichen Aspekt der Energieversorgung hindeutet. Gefragt wäre dann eine bestimmte wirtschaftliche Effizienz, was mit Hilfe der klassischen Investitionsbewertungsverfahren beantwortet werden sollte. Dieser Betrachtungsbereich soll hier zunächst keine weitere Rolle spielen (vgl. aber Kapitel 8).

Wichtiger erscheint zunächst die Klärung der Frage, welcher »energetische Nutzen« durch die Energieversorgung von Gebäuden gestiftet wird. Gebäude werden mit Energie versorgt, um eine bestimmte Nutzungsqualität bereitstellen zu können. Das betrifft im Wesentlichen folgende Bereiche:

- das thermische Raumklima
- die Frischluftversorgung (Raumlufthygiene) und
- das visuelle Raumklima.

Zwar kann man noch Transportfunktionen und Ähnliches anführen. Diese Bereiche spielen aber derzeit aufgrund ihrer geringen energetischen Relevanz bei der Beurteilung der energetischen Qualität von Gebäuden nur eine untergeordnete Rolle. Wie die Nutzungsqualität zu beschreiben ist, soll nachfolgend am Beispiel des thermischen Raumklima skizziert werden.

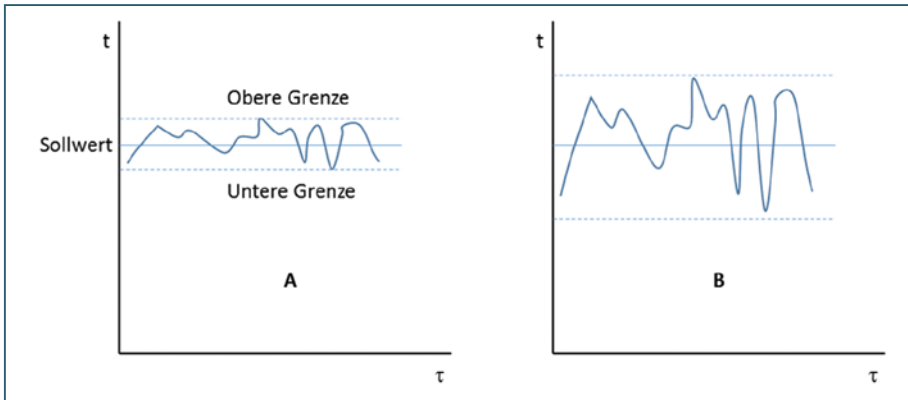


Abbildung 2-1: Beschreibung der Raumklimaqualität durch Abweichungen vom Sollwert

Beispiel thermisches Raumklima

Die Qualität des thermischen Raumklimas kann mit Hilfe der thermischen Behaglichkeit beschrieben werden. Das Prinzip ist anschaulich und ausführlich in der DIN EN ISO 7730 beschrieben worden. Es ist evident, dass es mindestens dreier Parameter bedarf, um die Qualität beschreiben zu können:

- Sollwert der Temperatur¹ je nach Nutzungsprozess (sitzende Bürotätigkeit, körperliche Arbeit im Stehen usw.)
- zugelassene Abweichungen vom Sollwert
- zeitliche Verfügbarkeit der Temperatur innerhalb des durch die zugelassenen Abweichungen definierten Grenzbereichs.

In der Abbildung 2-1 werden zwei Fälle unterschiedlicher Qualität beschrieben. Der Fall A weist ohne Zweifel die höhere Qualität auf, da die zugelassenen Abweichungen (obere und untere Grenze) kleiner sind als bei B. In beiden Fällen wäre die beabsichtigte Nutzungsqualität im gesamten dargestellten Zeitraum verfügbar (die zeitliche Verfügbarkeit ist 100%).

Jetzt könnte es beispielsweise beim Fall A im Sommer sein, dass die obere Grenze der Temperatur zeitweise überschritten werden würde (C in der Abbildung 2-2).

Die zeitliche Verfügbarkeit der gewünschten Nutzungsqualität läge bei C etwa bei 35%.

¹ Wegen der Anschaulichkeit wird hier nur pauschal von der Temperatur als einem maßgeblichen Parameter für die thermische Behaglichkeit gesprochen. Es ist klar, dass es genauer Definitionen bedarf (Einfluss von Lufttemperatur, operative Temperatur, etc.) und dass eine Reihe weiterer Parameter (Feuchte, Luftgeschwindigkeit, Temperaturgradient usw.) erforderlich sind, um das Phänomen der Behaglichkeit angemessen beschreiben zu können (siehe hierzu DIN EN ISO 7730).

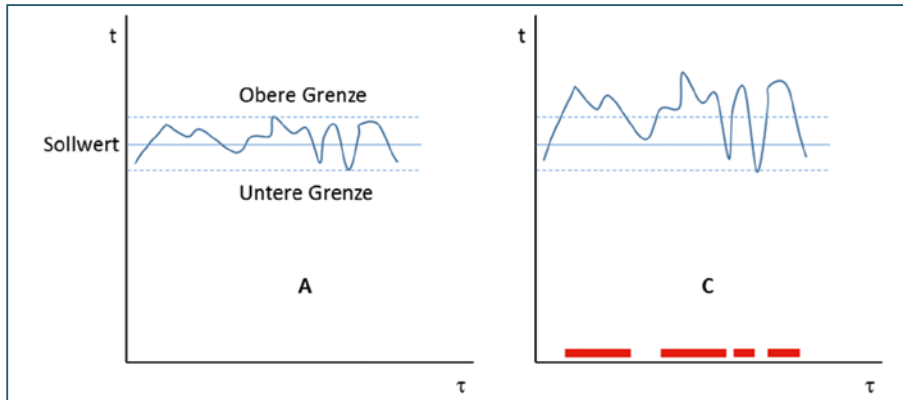


Abbildung 2-2: Zeitliche Verfügbarkeit einer bestimmten Nutzungsqualität

Dieses Prinzip kann sinngemäß auch auf die Frischluftzuführung (Qualitätsparameter: Luftqualität) angewendet werden. Man formuliert einen Sollwert für die CO_2 -Konzentration im Raum und definiert zugelassene Überschreitungen.

Beim visuellen Klima ist die Sache komplexer, da es mehrere Parameter gibt, welche die visuelle Behaglichkeit beeinflussen. Neben dem Tageslichtanteil, der eine sehr wichtige Rolle spielt, sind die Beleuchtungsstärke, die Blendung, die Farbwiedergabe und andere zu nennen.

Betrachtet man jetzt noch einmal F 2-1 wird deutlich, dass eine schlüssige Definition und quantitative Bestimmung eines solchen Effizienzparameters praktisch kaum gelingen kann. Es ist derzeit nicht möglich, das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen in diesem Bereich allgemeingültig mit nur einer Kennzahl zu beschreiben.

Letztlich bleibt auch die Frage, ob der Parameter Energieeffizienz überhaupt zielführend zum Erreichen der Klimaschutzziele ist. Erreicht werden muss die Verringerung der Inanspruchnahme fossiler Energieträger, da es sich einerseits um begrenzte Ressourcen handelt, bei deren Verbrennung andererseits eine signifikante Emission von klimaschädlichen Stoffen stattfindet.

Eine einfache Energiebilanz des Gebäudes nach Abbildung 2-3 zeigt die signifikanten Hebel zur Verringerung des fossilen Primärenergiebedarfs:

- Verringerung der Nutzenergie
- Optimierung der Energieumwandlung (und Verteilung) im Gebäude
- Verwendung erneuerbarer Primärenergieträger anstelle von fossilen.

Die Anwendung des Energieeffizienzkriteriums (welches man hier als das Verhältnis von Nutzenergie zu fossiler Primärenergie verwenden könnte) würde nicht zwangsläufig zu einer Reduzierung des fossilen Primärenergiebedarfs führen. Würde das Gebäude in Abbildung 2-3 zusätzlich noch gekühlt werden, erhöht sich der fossile Energiebedarf in der Regel weiter, auch wenn ein sehr effizienter Kühlprozess zur

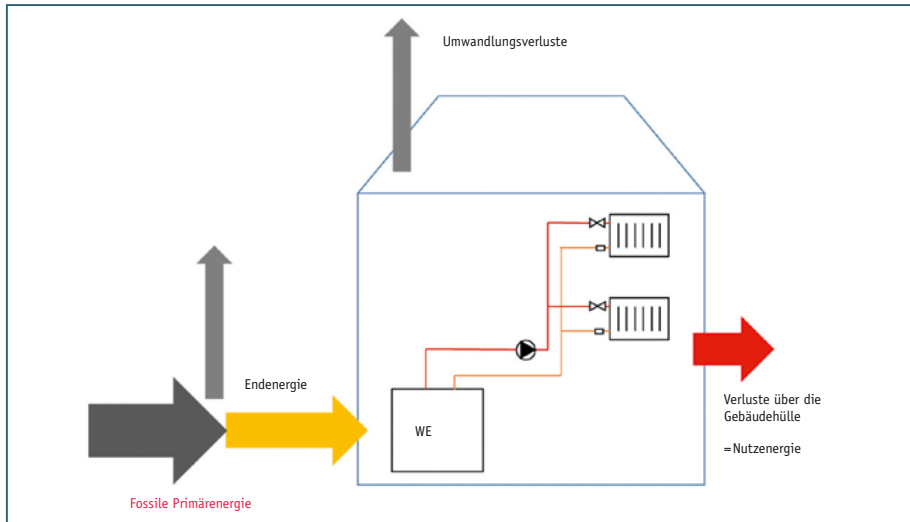


Abbildung 2-3: Energiebilanz des Gebäudes am Beispiel des Heizprozesses

Anwendung käme. Wenn die ambitionierten Klimaschutzziele erreicht werden sollen, muss auch über eine Beschränkung des Komforts nachgedacht werden. Andernfalls werden die vielfachen Effizienzgewinne, welche durch die fortlaufenden Technologieoptimierungen zu verzeichnen sind, zunichte gemacht. Dabei handelt es sich um klassische Reboundeffekte. Man kann davon ausgehen, dass solche in der Praxis wirksam sind, da die Nachfrage nach klimatisierten Büroflächen stetig wächst.

Damit ist festzustellen, dass die energetische Qualität von Gebäuden mit Hilfe des Verbrauches/Bedarfes an fossiler Primärenergie beschrieben werden sollte. Zwar weist dieses Kriterium den Mangel auf, dass ein allgemeingültiger Grenzwert zwar benannt, aber eigentlich nicht ausreichend wissenschaftlich begründet werden kann (er muss also empirisch festgelegt werden), aber das Kriterium fokussiert zweifelsfrei auf eine Verbrauchssenkung und damit auf eine Schonung endlicher Ressourcen.