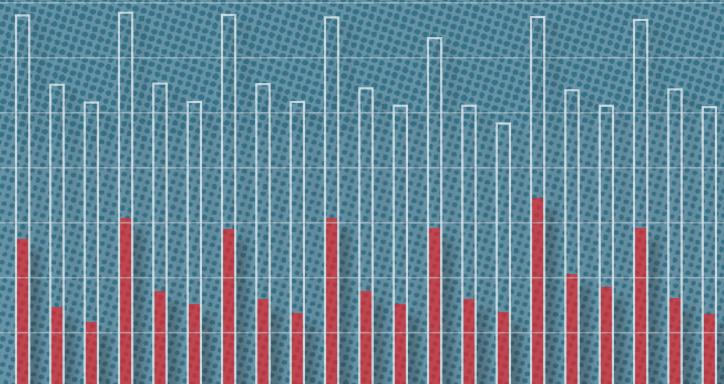


Jörn Krimmling, Ondřej Flanderka

Energiebedarf von Bürogebäuden

Richtwerte und Einflussparameter
für die Planung



Fraunhofer IRB Verlag

Jörn Krimmling, Ondřej Flanderka

Energiebedarf von Bürogebäuden

Jörn Krimmling, Ondřej Flanderka

Energiebedarf von Bürogebäuden

Richtwerte und Einflussparameter
für die Planung

Fraunhofer IRB Verlag

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, Burggrafenstraße 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 +49 711 970-25 00
Telefax +49 711 970-25 08
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, da gegen 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 %.

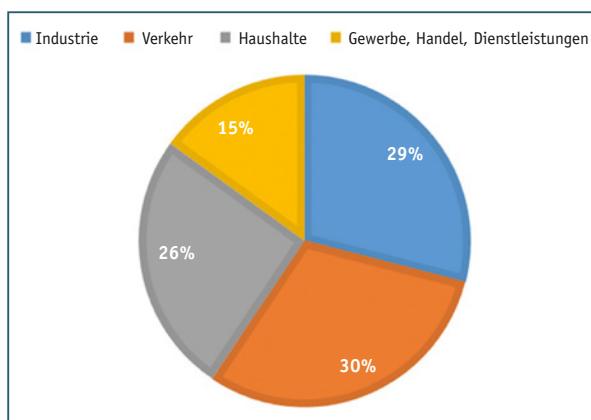


Abbildung 1-1: Endenergiebilanz 2014 für Deutschland. Zahlen nach [AGEB, 2015]

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 Klimaschutzziele 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.

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

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 Klimaschutzziele, 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.

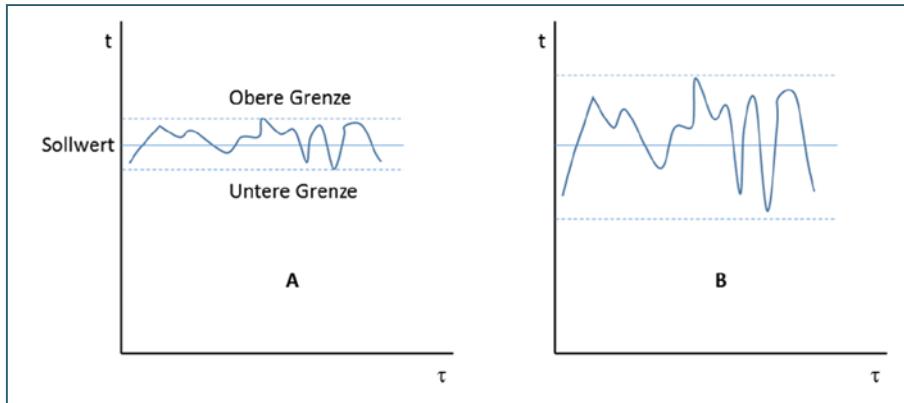


Abbildung 2-1: Beschreibung der Raumklimaqualität durch Abweichungen vom Sollwert

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).

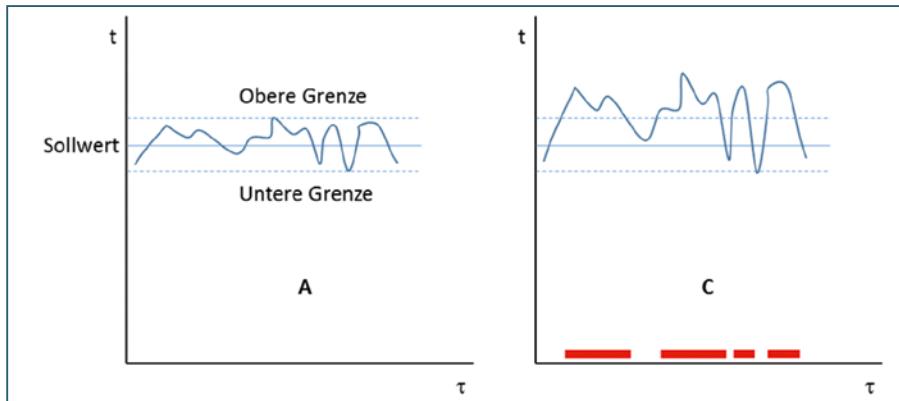


Abbildung 2-2: Zeitliche Verfügbarkeit einer bestimmten Nutzungsqualität

Dieses Prinzip kann sinngemäß auch auf die Frischluftzuführung (Qualitätsparameter: Luftqualität) angewendet werden. Man formuliert einen Sollwert für die CO₂-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

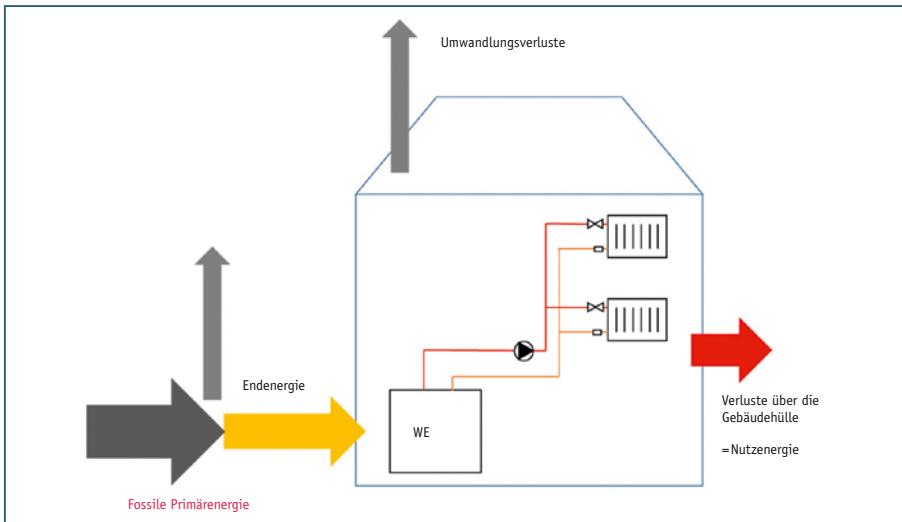


Abbildung 2-3: Energiebilanz des Gebäudes am Beispiel des Heizprozesses

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 Technologie-optimierungen 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.

3 Entwicklung von Modellgebäuden

3.1 Herangehensweise

Der fossile Primärenergiebedarf eines Gebäudes mit definierter Nutzungsart wird durch

- die Geometrie des Baukörpers
- die bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäudehülle und
- die Anlagentechnik

bestimmt. Nach der geltenden Energieeinsparverordnung mit den dort angeführten Festlegungen für Nichtwohngebäude ist er für folgende Anwendungen zu bilanzieren:

- Heizung
- Warmwasserbereitung
- Lüftung
- Kühlung
- Beleuchtung.

Der Strombedarf für Aufzüge und nutzungsspezifische Anwendungen wird demzufolge nicht mitbilanziert.

Im Folgenden sollen an Hand verschiedener Gebäudemodelle die Wirkung der genannten Einflussparameter (Geometrie, Bauphysik, Anlagentechnik) auf den fossilen Primärenergiebedarf mit Hilfe von Berechnungen nach dem Modell der DIN 18599 untersucht werden. Alle Aussagen beziehen sich demzufolge auf die Modellwelt der Norm, d. h. sie basieren auf deren Genauigkeitslevel. Zwar stellt dies eine Einschränkung dar, aber diese erscheint insofern als gerechtfertigt, als dass im heutigen üblichen Gebäudeentwurfsprozess von Nichtwohngebäuden ausschließlich mit diesem Modellansatz gearbeitet wird, da er als einzige zulässige Bilanzierungsmethode in der Energieeinsparverordnung vorgeschrieben ist.

3.2 Geometrie des Baukörpers

Der Einfluss der Geometrie des Baukörpers wurde durch die Wahl verschiedener Formen für den Gebäudegrundriss und die Anzahl der Geschosse abgebildet. Zwangsläufig entstanden Modellgebäude mit unterschiedlicher Nutzfläche, sodass auch der Größeneffekt untersucht werden konnte.

Baukörperform

Es wurden Gebäudemodelle mit folgenden Grundrissformen entwickelt:

- Quadrat
- Rechteck schlank

- Rechteck kompakt
- Winkel
- U-Form
- Quadrat mit Atrium
- Doppel-E.

Außerdem wurde die Geschossanzahl variiert:

- ein Geschoss
- drei Geschosse
- sechs Geschosse.

Für das sechsgeschossige Gebäude wird auch der Einfluss eines zusätzlichen Tiefgaragengeschosses auf den Energiebedarf dargestellt. Für die Regelgeschosse wird zunächst die Nutzung als Zellenbüro angenommen. Über das entsprechende Nutzungsprofil in der DIN 18599-10 ergibt sich die Anzahl der Arbeitsplätze bzw. die Anzahl der Personen.

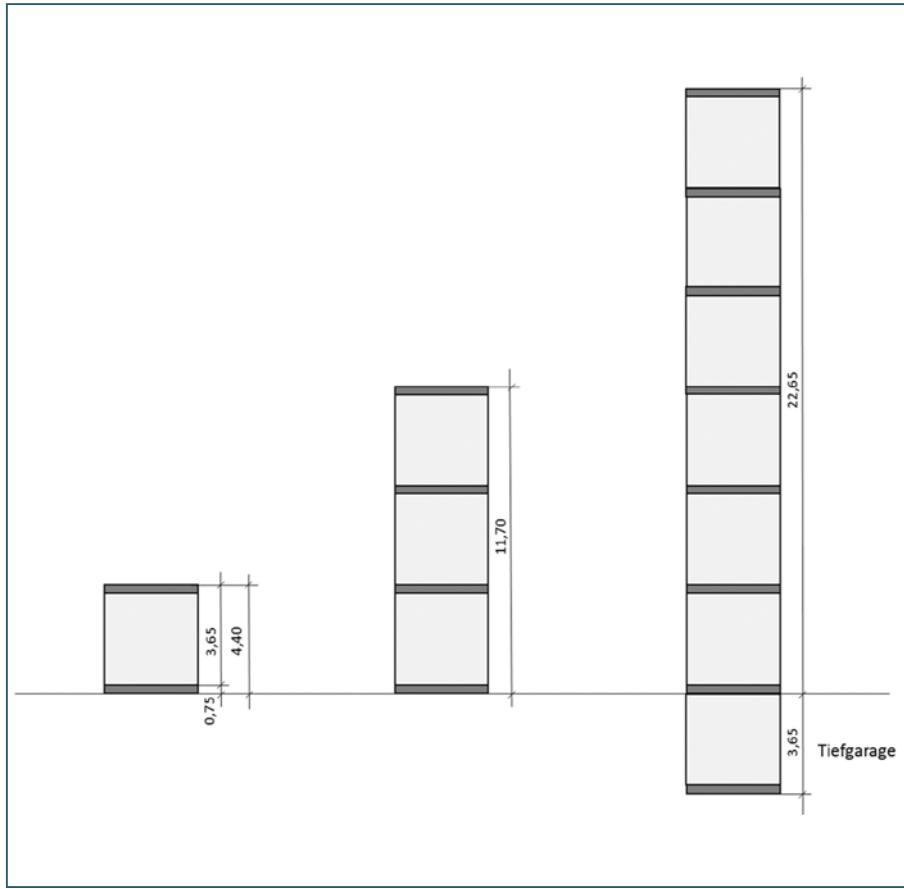


Abbildung 3-1: Höhenschnitt durch die Gebäude

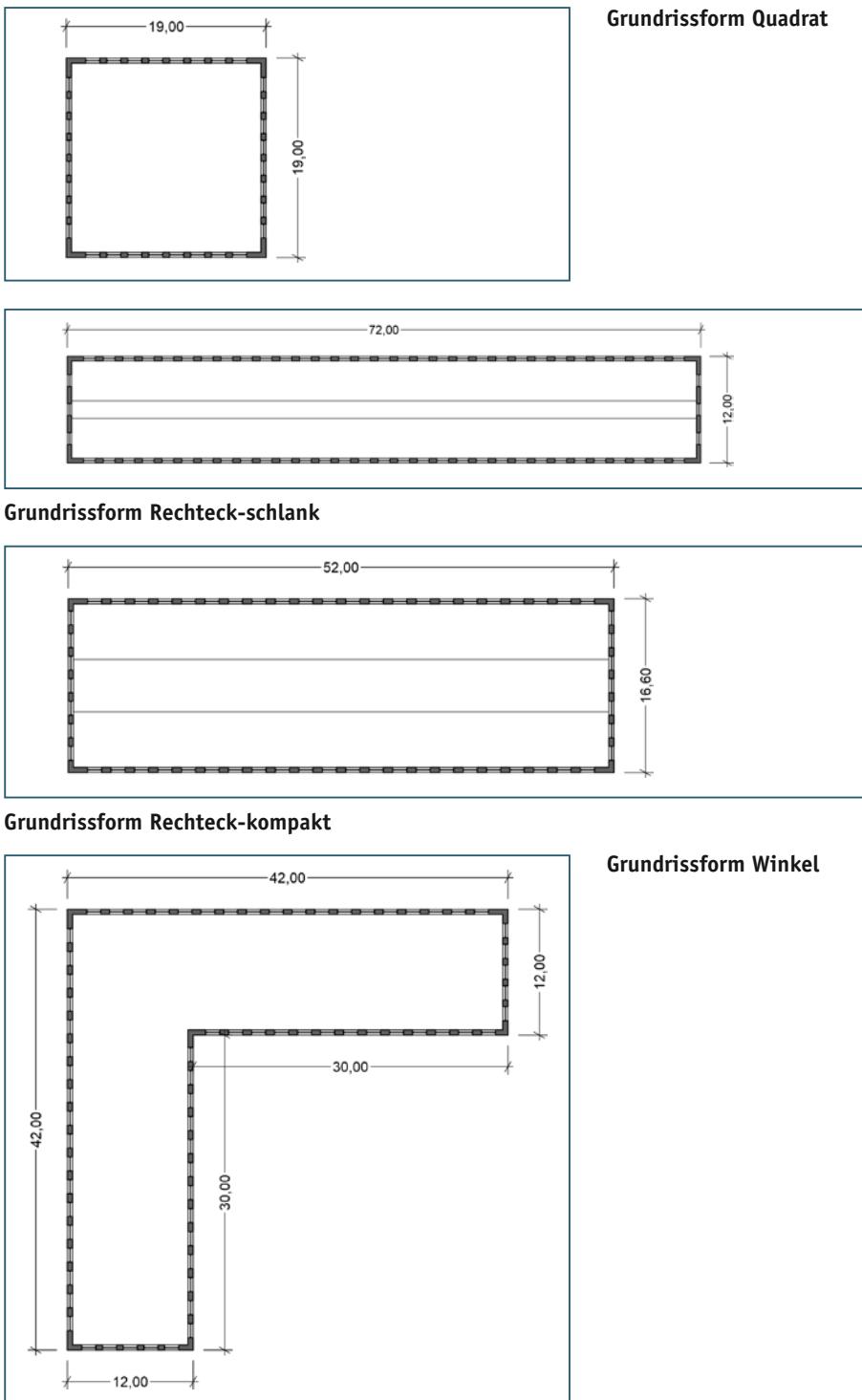


Abbildung 3-2: Grundrissformen der Modellgebäude (Fortsetzung auf nächster Seite)

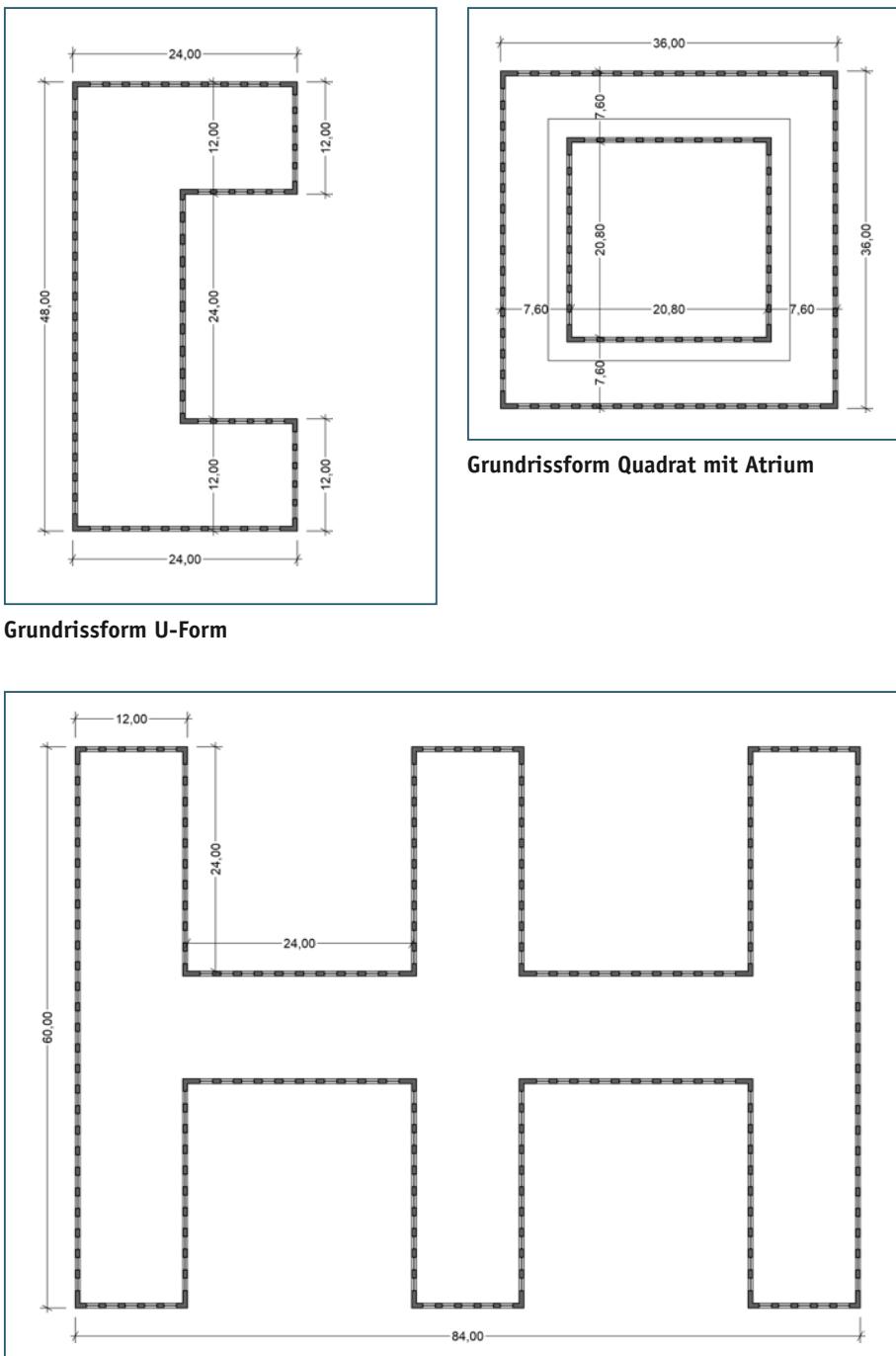
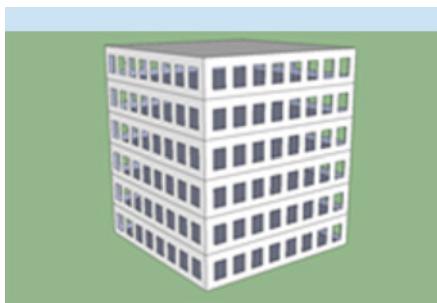


Abbildung 3-2: Grundrissformen der Modellgebäude (Fortsetzung von vorheriger Seite)



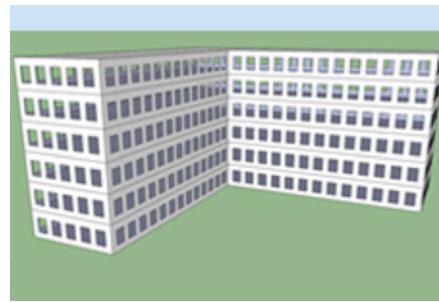
Grundrissform Quadrat



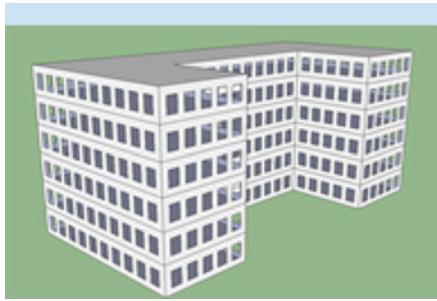
Grundrissform Rechteck-schlank



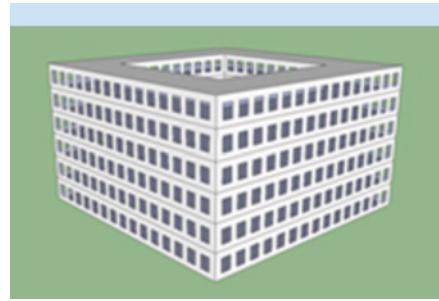
Grundrissform Rechteck-kompakt



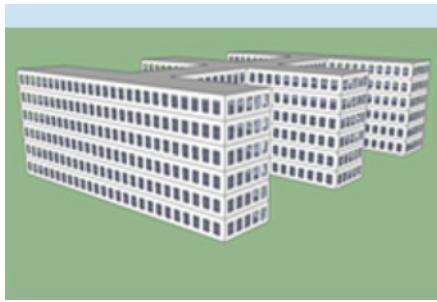
Grundrissform Winkel



Grundrissform U-Form



Grundrissform Quadrat mit Atrium



Grundrissform Doppel-E

Abbildung 3-3: Isometrische Darstellung der sechsgeschossigen Modellgebäude

Variante	Gebäudetyp	OG	TG	Länge	Breite	Tiefe	Höhe	BGF	KGF	NGF
1	Quadrat 1-0	1	0	29,40	29,40	0,00	4,40	864,36	130,00	734,36
2	Quadrat 3-0	3	0	29,40	29,40	0,00	11,70	2593,08	390,00	2 203,08
3	Quadrat 6-0	6	0	29,40	29,40	0,00	22,65	5 186,16	909,00	4 277,16
4	Rechteck schlank 1-0	1	0	72,00	12,00	0,00	4,40	864,00	130,00	734,00
5	Rechteck schlank 3-0	3	0	72,00	12,00	0,00	11,70	2 592,00	390,00	2 202,00
6	Rechteck schlank 6-0	6	0	72,00	12,00	0,00	22,65	5 184,00	909,00	4 275,00
7	Rechteck kompakt 1-0	1	0	52,00	16,60	0,00	4,40	863,20	129,00	734,20
8	Rechteck kompakt 3-0	3	0	52,00	16,60	0,00	11,70	2 589,60	387,00	2 202,60
9	Rechteck kompakt 6-0	6	0	52,00	16,60	0,00	22,65	5 179,20	904,00	4 275,20
10	Winkel 1-0	1	0	42,00	42,00	12,00	4,40	864,00	130,00	734,00
11	Winkel 3-0	3	0	42,00	42,00	12,00	11,70	2 592,00	390,00	2 202,00
12	Winkel 6-0	6	0	42,00	42,00	12,00	22,65	5 184,00	910,00	4 274,00
13	U-Form 1-0	1	0	48,00	24,00	12,00	4,40	864,00	130,00	734,00
14	U-Form 3-0	3	0	48,00	24,00	12,00	11,70	2 592,00	390,00	2 202,00
15	U-Form 6-0	6	0	48,00	24,00	12,00	22,65	5 184,00	910,00	4 274,00
16	Quadrat mit Atrium 1-0	1	0	36,00	36,00	7,60	4,40	863,36	130,00	733,36
17	Quadrat mit Atrium 3-0	3	0	36,00	36,00	7,60	11,70	2 590,08	390,00	2 200,08
18	Quadrat mit Atrium 6-0	6	0	36,00	36,00	7,60	22,65	5 180,16	906,00	4 274,16
19	Doppel-E 1-0	1	0	84,00	60,00	12,00	4,40	2 736,00	410,00	2 326,00
20	Doppel-E 3-0	3	0	84,00	60,00	12,00	11,70	8 208,00	1 230,00	6 978,00
21	Doppel-E 6-0	6	0	84,00	60,00	12,00	22,65	16 416,00	2 870,00	13 546,00
A_{Fa} Fassadenfläche A_{Fe1} Fensterfläche bei niedrigem Fensterflächenanteil A_{Fe2} Fensterfläche bei hohem Fensterflächenanteil F_{trans1} Transparenzanteil bei niedrigem Fensterflächenanteil F_{trans2} Transparenzanteil bei hohem Fensterflächenanteil										

Tabelle 3-1: Geometrische Daten der Modellgebäude

BRI (=V)	NRI	A _{fa}	A _{Fe1}	A _{Fe2}	F _{trans1}	F _{trans2}	A _{Hüll}	A/V	Arbeitsplätze
3 803,18	2 129,64	517,44	133,40	317,52	0,26	0,61	2 246,16	0,591	52
10 113,01	6 388,93	1 375,92	400,16	952,56	0,29	0,69	3 104,64	0,307	157
19 577,75	12 403,76	2 663,64	800,28	1 905,12	0,30	0,72	4 392,36	0,224	306
3 801,60	2 128,60	739,20	174,42	453,60	0,24	0,61	2 467,20	0,649	52
10 108,80	6 385,80	1 965,60	523,26	1 360,80	0,27	0,69	3 693,60	0,365	157
19 569,60	12 397,50	3 805,20	1 046,52	2 721,60	0,28	0,72	5 533,20	0,283	305
3 798,08	2 129,18	603,68	148,77	370,44	0,25	0,61	2 330,08	0,613	52
10 099,44	6 387,54	1 605,24	446,31	1 111,32	0,28	0,69	3 331,64	0,330	157
19 551,48	12 398,08	3 107,58	892,62	2 222,64	0,29	0,72	4 833,98	0,247	305
3 801,60	2 128,60	739,20	184,68	453,60	0,25	0,61	2 467,20	0,649	52
10 108,80	6 385,80	1 965,60	554,04	1 360,80	0,28	0,69	3 693,60	0,365	157
19 569,60	12 394,60	3 805,20	1 108,08	2 721,60	0,29	0,72	5 533,20	0,283	305
3 801,60	2 128,60	739,20	182,12	453,60	0,25	0,61	2 467,20	0,649	52
10 108,80	6 385,80	1 965,60	546,35	1 360,80	0,28	0,69	3 693,60	0,365	157
19 569,60	12 394,60	3 805,20	1 092,69	2 721,60	0,29	0,72	5 533,20	0,283	305
3 798,78	2 126,74	999,68	246,24	613,44	0,25	0,61	2 726,40	0,718	52
10 101,31	6 380,23	2 658,24	738,72	1 840,32	0,28	0,69	4 384,96	0,434	157
19 555,10	12 395,06	5 146,08	1 477,44	3 680,64	0,29	0,72	6 872,80	0,351	305
12 038,40	6 745,40	2 112,00	518,13	1 296,00	0,25	0,61	7 584,00	0,630	166
32 011,20	20 236,20	5 616,00	1 554,39	3 888,00	0,28	0,69	11 088,00	0,346	498
61 970,40	39 283,40	10 872,00	3 108,78	7 776,00	0,29	0,72	16 344,00	0,264	968

Kompaktheit

Als Maß für die Kompaktheit eines Gebäudes wird im Allgemeinen die Kennzahl des A/V-Verhältnisses verwendet:

$$A/V = \frac{A_{\text{Hüll}}}{V} \quad F 3-1$$

$A_{\text{Hüll}}$ Hüllfläche des Baukörpers
 V Volumen des Baukörpers

Meistens wird übersehen, dass die Kennzahl nach F 3-1 nur eine sinnvolle Aussage für Gebäude mit gleichem Volumen liefert. In der Praxis wird die Kennzahl jedoch oft losgelöst von dieser Bedingung verwendet, was zu falschen Einschätzungen führt.

Beispiel 3-1: Untersuchung des Parameters A/V

Für Kugeln mit jeweils unterschiedlichem Radius r ist das A/V-Verhältnis zu bestimmen.

$$A = 4\pi r^2 \quad F 3-2$$

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \quad F 3-3$$

$$A/V = \frac{3}{r} \quad F 3-4$$

Das A/V-Verhältnis ist eine Funktion von r bzw. von V und kann demzufolge nicht als absoluter Parameter zur Kennzeichnung der Kompaktheit verwendet werden.

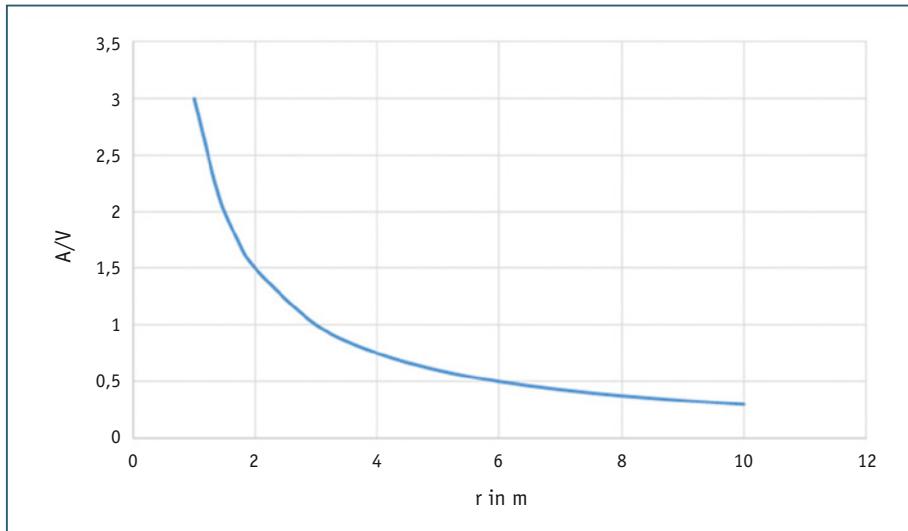


Abbildung 3-4: A/V-Verhältnis für Kugeln mit unterschiedlichem Radius

3.3 Bauphysikalische Eigenschaften der Gebäudehülle

Bei den bauphysikalischen Eigenschaften wurden die Dämmeigenschaften der Außenhülle, repräsentiert durch die U-Werte, und der Transparenzanteil der Fassade variiert.

Dämmeigenschaften

Durch die Dämmeigenschaften der Außenhülle wird der Transmissionswärmeverlust des Gebäudes im Heizfall beeinflusst. Es wurden zwei Dämmstandards gewählt (Tabelle 3-2):

1. U-Werte des Referenzgebäudes nach EnEV 2014/2016 (siehe Anlage 2 der Verordnung, Tabelle 1)
2. U-Werte in der Größenordnung realisierter Passivhäuser

	Außenwand	Dach	Boden	Fenster
Dämmstandard 1 (D1)	0,28	0,20	0,35	1,30
Dämmstandard 2 (D2)	0,08	0,08	0,09	0,80

Tabelle 3-2: U-Werte der Dämmstandards (alle Werte in W/m²K)

Für den zweiten Dämmstandard wurden zunächst die U-Werte realisierter Passivhäuser analysiert. Für die U-Werte von Außenwand, Dach und Bodenplatte wurden die jeweils minimalen Werte ausgeführter Passivhäuser angesetzt. Die entsprechenden Wandaufbauen sind beispielhaft im Anhang dargestellt. Der Wert für die Fenster wurde nach [Kaufmann & Feist, 2004, S. 62] festgelegt.

Transparenzanteil der Fassade

Der Transparenzanteil der Fassade wirkt sich aus

- bei den solaren Gewinnen im Heizfall
- bei den solaren Einträgen im Kühlfall

Der Transparenzanteil (für die Variante i) wurde folgendermaßen definiert:

$$F_{trans,i} = \frac{A_{Fe,i}}{A_{Fa}} \quad F\ 3-5$$

$A_{Fe,i}$ Fensterfläche des Gebäudes (Variante i)

A_{Fa} Fassadenfläche (Hüllfläche verringert um Dach und Bodenfläche)

In die Untersuchung wurden zwei Gebäudeversionen jeweils mit unterschiedlichem Transparenzanteil einbezogen (siehe Tabelle 3-1):

Gebäudeversion mit i = 1: Transparenzanteil $F_{trans,1} = \text{ca. } 28\%$ (T1)

Gebäudeversion mit i = 2: Transparenzanteil $F_{trans,2} = \text{ca. } 74\%$ (T2)

3.4 Anlagentechnik

3.4.1 Strukturansatz für die Heizung

Der Energiebedarf eines Gebäudes wird sehr weitreichend durch die Wahl der entsprechenden Anlagentechnik bestimmt. Signifikante Einflussparameter kann man sich am Beispiel der Heizungsanlage verdeutlichen. Die heute übliche Pumpenwarmwasserheizung nach Abbildung 3-5 (vgl. auch Abbildung 4-2), besteht aus den drei Komplexen (bei bestimmten Anlagen wie Holzpelletkessel, Wärmepumpen können zusätzlich noch Wärmespeicher zum Einsatz kommen.):

- Wärmeerzeugung
- Wärmeverteilung
- Wärmeübergabe an den Raum bzw. Heizlast.

Diese Komplexe wirken sich maßgeblich auf den Energiebedarf zum Heizen aus. Große Bedeutung hat die Wahl des Wärmeerzeugers. Die Wärmeübergabe an den Raum erfolgt über die Raumheizeinrichtungen (Heizkörper, baukörperintegrierte Heizflächen wie z. B. die Fußbodenheizung), was energetisch von untergeordneter Bedeutung, aber wichtig für die Behaglichkeit ist. Über die Raumheizeinrichtung wird dem Raum die Wärme zugeführt, welche er aufgrund seiner bauphysikalischen Eigenschaften

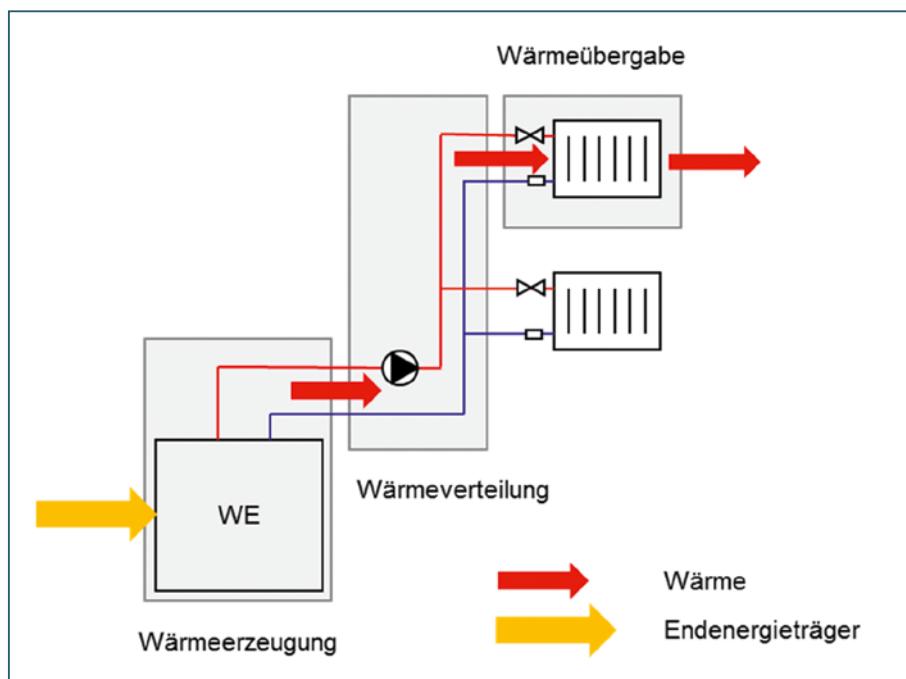


Abbildung 3-5: Funktionale Struktur einer Heizungsanlage

(U-Werte der Umfassungskonstruktion, Transparenzanteil der Fassade für solare Gewinne) an die Umgebung verliert.

Energetische Bedeutung der Wärmeerzeugung

Der Energiebedarf wird überwiegend durch die Art der Wärmeerzeugung bestimmt, der maßgebliche Parameter ist die Erzeugeraufwandszahl oder, traditionell formuliert, deren Kehrwert der Jahresnutzungsgrad. Dieser ist das Verhältnis von erzeugter Wärme, welche dann verteilt und an die Räume übergeben werden kann, zu aufgewandter Endenergie (in der Heizungstechnik speziell als Heizenergie bezeichnet):

$$\eta_{WE,a} = \frac{Q_{h,WE,a}}{Q_{h,f,a}} \quad F\ 3-6$$

$\eta_{WE,a}$ Jahresnutzungsgrad des Wärmeerzeugers

$Q_{h,WE,a}$ Jährlich erzeugte Wärme in kWh/a

$Q_{h,f,a}$ Dem Wärmeerzeuger jährlich zugeführte Endenergie zum Heizen in kWh/a

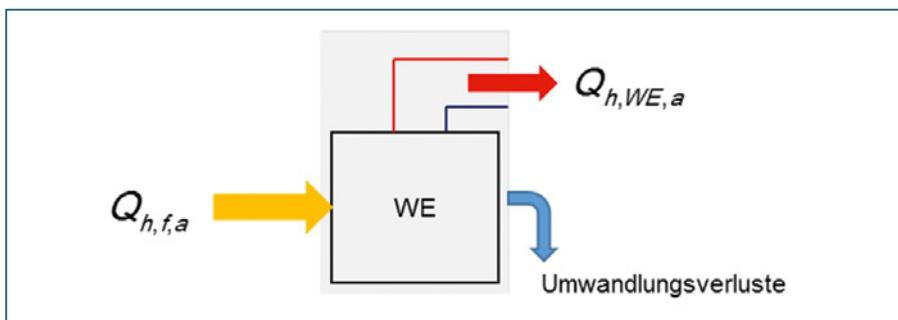


Abbildung 3-6: Wärmeerzeuger

Im Jahresnutzungsgrad sind die technologischen Spezifika der jeweiligen Technologie in einer Kennzahl aggregiert. Dies kann man sich am nachfolgenden Beispiel vor Augen halten.

Beispiel 3-2: Einfluss des Jahresnutzungsgrades des Wärmeerzeugers

Für die Heizung eines Gebäudes sollen zwei Wärmeerzeuger an Hand ihrer Jahresnutzungsgrade untersucht werden:

- Erdgas-Brennwertkessel
- Erd-Wärmepumpe

Die für die Heizung jährlich benötigte Wärme $Q_{h,WE,a}$ wurde an Hand der Baukörper-eigenschaften ermittelt.

für die Heizung benötigte Wärme	$Q_{h,WE,a}$	226 000,00	kWh/a
Jahresnutzungsgrad des Brennwertkessels	$\eta_{BW,a}$	0,99	
Jahresarbeitszahl der Erd-Wärmepumpe	$\eta_{WP,a}$	3,25	
Endenergie für den Brennwertkessel (Erdgas)	$Q_{h,EG,a}$	228 282,83	kWh/a
Endenergie für die Wärmepumpe (Elektroenergie)	$Q_{h,Elt,a}$	69 538,46	kWh/a

Tabelle 3-3: Ausgangswerte für das Beispiel 3-2

Die Wärmepumpe benötigt deutlich weniger Endenergie als der Brennwertkessel. Allerdings lässt dieser Umstand keinen Rückschluss auf die energetische Qualität zu, da diese nur an Hand der benötigten fossilen Primärenergie bewertet werden kann.

Wärmeerzeugung für Bürogebäude

Die Wärmeerzeugung für Bürogebäude wird üblicherweise mit folgenden Technologien realisiert (vgl. z. B. [Krimmling u. a., 2014, S. 117–140]):

- Erdgas-Brennwertkessel, Heizöl-Brennwertkessel
- Holzpelletkessel
- Wärmepumpen (Sole-Wasser-WP, Wasser-Wasser-WP, Luft-Wasser-WP)
- Blockheizkraftwerke
- Fernwärme

Die genannten Anlagensysteme können jeweils einzeln oder in Kombination verwendet werden. Gegen die in der Regel aufwendigeren Kombinationsvarianten sprechen oft wirtschaftliche und betriebsorganisatorische Gründe.

Für die Auswahl der Wärmeerzeugertechnologie sind beim Neubau die Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG) zu beachten. Insbesondere Letzteres wirkt sich signifikant auf die Wärmeerzeugung aus. Während mit dem Holzpelletkessel und den Wärmepumpen die Einhaltung des EEWärmeG gelingen kann, ist der alleinige Einsatz von Erdgas- oder Heizöl-Brennwertkesseln nicht ausreichend. Diese müssen entweder mit einer solarthermischen Anlage kombiniert werden oder es müssen die Bedingungen für die Kompensationsmöglichkeiten durch intensivere Dämmung erfüllt werden, was seit dem Inkrafttreten

der EnEV 2016 sehr aufwendig geworden ist. Durch den Einsatz eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) kann ebenfalls eine der Kompensationsanforderungen des EEGWärmeG erfüllt werden. Allerdings sind BHKW nicht in allen Bürogebäuden wirtschaftlich sinnvoll und es ist das deutlich erhöhte Betreiberrisiko in Betracht zu ziehen. Sollte dennoch eine BHKW-Variante erwogen werden, empfiehlt sich die Umsetzung in Form eines Energie-Contractings.

Denkbar und in vielen Fällen sinnvoll wäre auch die Wärmeversorgung mit Fernwärme, sofern deren Bereitstellung die Erfüllung der Bedingungen der EnEV und des EEGWärmeG erlaubt. Im Einzelfall sollte man die Fernwärmeverwendung vor allem dann erwägen, wenn das entsprechende Versorgungssystem einen niedrigen Primärenergiefaktor aufweist. Außerdem sollte bei der Wärmeerzeugung ein ausreichend hoher Anteil erneuerbarer Energien zum Einsatz kommen oder die Wärme wird überwiegend mit Kraft-Wärme-Kopplungstechnologien bereitgestellt.

Energetische Bedeutung der Wärmeverteilung

Die Wärmeverteilung hat ebenfalls einen Einfluss auf den Energiebedarf, wenngleich dieser als eher gering anzusehen ist. Durch die Wärmeverteilung wird eher die Nutzungsflexibilität des Gebäudes beeinflusst, was praktisch durch die Anzahl und Aufteilung der einzelnen Heizkreise umgesetzt wird. Wird die Heizkreisaufteilung an den Nutzungszonen des Gebäudes orientiert, kann später ein effektiver Absenkbetrieb in Nichtnutzungszeiten realisiert werden. Da der energetische Einfluss der Wärmeverteilung, wie gesagt, marginal ist, wird von einer Parametervariation bezüglich Netztopologie und Heizwassertemperaturen abgesehen.

Energetische Bedeutung der Wärmeübergabe

Aus energetischer Sicht sind die Raumheizeinrichtungen Wärmeübertrager, welche die mit dem Heizwasser anstehende Wärme an den Raum übertragen. Umwandlungs- bzw. Übertragungsverluste fallen demzufolge nicht an. Nichtsdestotrotz beeinflusst die Raumheizeinrichtung über die Vor- und Rücklauftemperaturen bzw. die Wärmeübertragungsflächen den Energiebedarf. Dabei gilt:

- Große Heizflächen ermöglichen niedrige Systemtemperaturen, was zu günstigen Jahresnutzungsgraden bei Kesseln bzw. Jahresarbeitszahlen bei Wärmepumpen führt. Eine typische Temperaturspreizung ist beispielsweise: Vorlauf-/Rücklauftemperatur = 35/28 °C.
- Kleine Heizflächen erfordern höhere Systemtemperaturen und ziehen schlechtere Nutzungsgrade und Arbeitszahlen nach sich. Eine typische Spreizung wäre hier: 70/55 °C.

Durch die Wahl der Art der Wärmeübergabe an den Raum ergibt sich eine bestimmte thermische Behaglichkeit. Raumheizeinrichtungen kann man aus Sicht der Behaglichkeit in zwei Gruppen unterteilen:

- Raumheizeinrichtungen, bei welchen die Wärme überwiegend durch Strahlung in den Raum übergeben wird (vergleichsweise große Flächen mit niedrigen Systemtemperaturen) und
- Raumheizeinrichtungen, bei welchen die Wärme überwiegend durch Konvektion übertragen wird (vergleichsweise kleine Flächen mit höheren Systemtemperaturen).

Mit Hilfe der ersten Gruppe erreicht man im Allgemeinen eine hohe Behaglichkeit, da der Mensch Strahlungswärme als angenehmer empfindet als konvektive Wärme. Einen hohen Strahlungsanteil erreicht man durch eine möglichst große Heizfläche. Das bringt den energetischen Vorteil der entsprechend niedrigen Systemtemperaturen. Man spricht in diesem Zusammenhang von Niedertemperaturheizsystemen.

3.4.2 Strukturansatz für die Klimatisierung

Die Strukturierung der Klimatisierung ist ungleich schwieriger als bei der Heizung, da es eine große Vielfalt an Raumklimasystemen gibt. Erschwerend kommt hinzu, dass diese mit der Frischluftversorgung kombiniert sein können, was häufig vorkommt. Letztlich dienen die Raumklimasysteme nicht nur zur Kühlung des Gebäudes, sondern auch zum Heizen bzw. Be- und Entfeuchten.

Eine plausible Systematisierung gelingt an Hand der Medien, mit deren Hilfe die Kälte (Wärme, Feuchte) zu den Räumen transportiert wird. Prinzipiell werden drei Medien verwendet:

- Luft
- Wasser
- Kältemittel.

Durch Kombination erhält man eine Systematik der Klimaanlagen nach Abbildung 3-7.

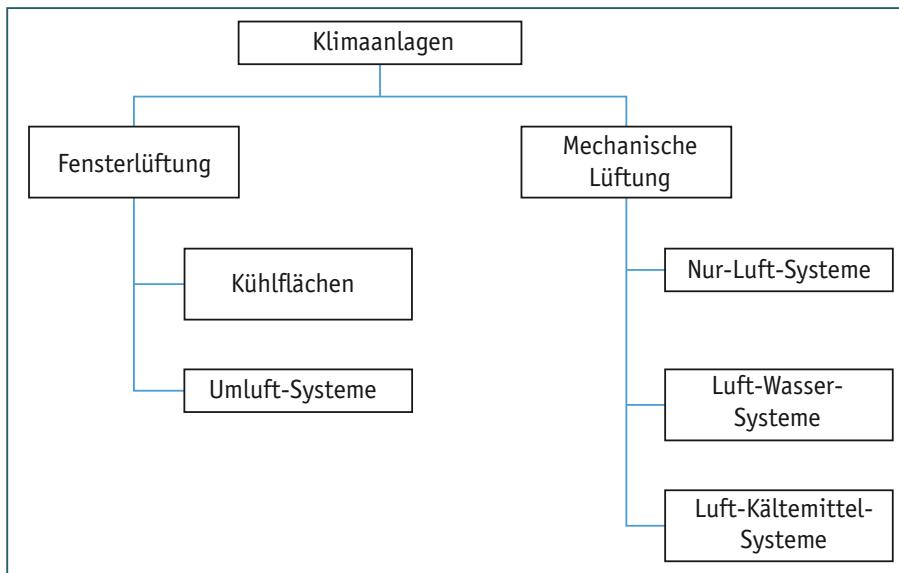


Abbildung 3-7: Systematik der Klimaanlagen (Klimaanlagen werden auch als RLT-Anlagen = Raumlufttechnische Anlagen bezeichnet)

Lüftungssysteme

Die erforderliche Frischluftzufuhr kann

- durch Fensterlüftung oder
- mit einer mechanischen Lüftungsanlage

erfolgen. Mit Hilfe der Fensterlüftung kann zumindest in Bürogebäuden mit Zellbüros der erforderliche Luftaustausch realisiert werden. In Großraumbüros ist oft eine mechanische Lüftung erforderlich. Je nach Anzahl der anwesenden Personen im Raum muss dazu das Fenster über entsprechend lange Zeiträume geöffnet werden. Allerdings ist im Sommer und im Winter zweitweise mit Einschränkungen der thermischen Behaglichkeit im Raum zu rechnen, wenn das Fenster geöffnet ist. Zudem entfällt die Möglichkeit der Wärme- bzw. Kälterückgewinnung. In [Fitzner & Finke, 2012] wird am Beispiel eines 80 m²-großen Büroraums gezeigt, dass der erforderliche Luftwechsel bis zu Außentemperaturen von etwa 6 °C durch Dauerlüftung über entsprechend angestellte Kippfenster erreicht werden kann, ohne dass es zu Behaglichkeiteinschränkungen gekommen wäre. Bei tieferen Außentemperaturen sollte dann zur Stoßlüftung übergegangen werden. Die Aussage gilt für eine maximale Kühlleistung des eintretenden Außenluftstroms von 30 W/m².

Mit Hilfe mechanischer Lüftungsanlagen kann i. A. eine deutlich höhere thermische Behaglichkeit und Luftqualität erreicht werden, als bei der Fensterlüftung. Bei diesen Anlagen, welche in der Regel als kombiniertes Zu- und Abluftsystem konfiguriert werden, kann außerdem die Wärme- bzw. Kälterückgewinnung problemlos vorgesehen

werden. Allerdings verursacht eine mechanische Lüftungsanlage signifikante Investitionskosten und es ist der zusätzliche Energieaufwand für den Lufttransport in den Luftkanälen zu berücksichtigen. Nicht zuletzt entsteht Aufwand für die Instandhaltung des Systems, an welches auch Anforderungen aus Sicht der Hygiene gestellt werden.

Kühlung in Kombination mit Fensterlüftung

In der Praxis wird die Fensterlüftung (sofern überhaupt eine Kühlung vorgesehen ist) kombiniert mit Kühlflächen (Kühldecke oder aktivierte Decke, sogenannte thermoaktive Bauteilsysteme, abgekürzt mit TABS) über welche auch geheizt werden kann. Die Wärmeübertragung erfolgt durch Strahlung, was in der Regel zu hohen Behaglichkeitswerten führt. Solche Flächen-Kühl- und Heizsysteme sind außerdem für energieeffiziente Gebäude wichtig, da sie aufgrund der hohen Systemtemperaturen im Kühlfall bzw. der niedrigen Systemtemperaturen im Heizfall auf hohe Effizienzwerte bei den Kälte- bzw. Wärmeerzeugern führen. Zudem wird oft der Einsatz erneuerbarer Energiequellen sinnvoll bzw. überhaupt möglich, wie z. B. bei der Kältebereitstellung mit Hilfe der Erdsonden von Wärmepumpen. Zur Kühlung von Räumen mit Fensterlüftung können weiterhin Umluft-Systeme (konvektive Systeme) eingesetzt werden. Das wären beispielsweise Fan-Coil-Systeme (Gebläsekonvektoren) oder Raumklimageräte (Kältemittelsysteme).

Kühlung in Kombination mit mechanischer Lüftung

In dieser Anlagenkategorie gibt es drei Grundsysteme:

- Nur-Luft-Systeme
- Luft-Wasser-Systeme
- Luft-Kältemittel-Systeme.

Bei den **Nur-Luft-Systemen**, welche das klassische Prinzip verkörpern, wird dem Raum über ein entsprechendes Kanalsystem erwärmte oder gekühlte Luft zugeführt. Da insbesondere der Kühlbetrieb große Luftvolumenströme erfordert, benötigen die Nur-Luft-Anlagen im Allgemeinen viel Energie und zwar hauptsächlich für den Lufttransport. Weiterhin unterscheidet man zwei Unterkategorien:

- Anlagen mit konstantem Volumenstrom (KVS-Anlagen)
- Anlagen mit variablem Volumenstrom (VVS-Anlagen).

Durch die raumweise variable Regelung des Volumenstroms erreicht man je nach Last eine Reduzierung der Luftmenge, was unter Zuhilfenahme eines drehzahlgesteuerten Ventilators zur Energieeinsparung beim Lufttransport führt.

Bei den **Luft-Wasser-Systemen** trennt man die Klimatisierung des Raums in zwei Systeme auf:

- in ein Luftsystem (sog. Primärluft), welches zur Versorgung des Raums mit dem physiologisch notwendigen Luftwechsel dient und
- in ein separates Wassersystem, welches zum Heizen und Kühlen dient.

Dadurch erreicht man eine deutliche Reduzierung der umzuwälzenden Luftmengen. Häufig wird z. B. eine Primärluftanlage mit einem Flächenkühlungssystem im Raum kombiniert. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Verwendung einer Induktionsklimaanlage, bei welcher aufbereitete Primärluft aus dem Induktionsgerät in den Raum geblasen wird und dabei einen Teil der Raumluft über den Wärmeübertrager im Gerät mitzieht. Dadurch kann diese ebenfalls gekühlt oder geheizt werden. Induktionsanlagen haben den Vorteil, dass die Heiz- und Kühlleistung gut raumweise geregelt werden kann. Dies gilt auch für Fan-Coil-Systeme (Gebläsekonvektoren), bei welchen die Raumluft mit Hilfe des Ventilators (Gebläse) durch das Gerät gezogen wird. Es handelt sich in diesem Fall also um Umluftgeräte, welche die vorhandene Raumluft ansaugen, konditionieren (heizen, kühlen) und dann wieder in den Raum blasen.

Die **Luft-Kältemittel-Systeme** ähneln im Grunde weitgehend den Luft-Wasser-Systemen, nur wird hier die Kälte mit Hilfe des Kältemittels (Arbeitsmittel in Kältemaschinen und Wärmepumpen) transportiert. Auch diese bestehen aus einem separaten Luft-Kanalsystem für die Aufbereitung der Primärluft und einem Kältemittel-Leitungssystem, mit dessen Hilfe die Räume über im Raum angebrachte Heiz- bzw. Kühlflächen geheizt oder gekühlt werden können. Die Kältemittelsysteme gehen aus dem klassischen Splittergerät hervor. Es gibt Multisplitt- und VRF-Anlagen (VRF bedeutet variable refrigerating flow, d. h. es handelt sich um Anlagen mit variablem Kältemittelstrom). Ein Vorteil der Kältemittel-Systeme besteht in den sehr geringen Leitungsquerschnitten, was vor allem bei der Sanierung vorteilhaft sein kann.

Fassadenlüftungsanlagen

Bei Fassadenlüftungsanlagen entfällt das zentrale Luft-Kanalnetz und die Luftaufbereitung erfolgt vor Ort durch ein in den Brüstungs- oder Deckenaufbau integriertes Gerät. Die Luft wird direkt von außen angesaugt und wieder nach draußen geleitet. Eine Wärme- und Kälterückgewinnung ist möglich, ebenso eine Entfeuchtung der Zuluft, eine Befeuchtung dagegen nicht. Bei der Planung ist zu berücksichtigen, dass die Luft im Fassadenaußenbereich aufgrund der Grenzschichtbildung etwas wärmer als sonst ist, und dass es außerdem zu Überströmungen zwischen Zu- und Abluft kommen kann.

Funktionale Struktur einer Klimaanlage

Sinngemäß und in Anlehnung an Abbildung 3-5 kann man sich die funktionale Struktur einer Klimaanlage wie in der Abbildung 3-8 vorstellen. Die Darstellung orientiert sich aus didaktischen Gründen an einem Wasserkühlungssystem, welches z. B. eine Kühldecke oder andere Raumkühlleinrichtung versorgt. Man kann das Prinzip aber auch gleichermaßen auf ein Luftsystem übertragen, bei welchem in der Zentrale die Luft gekühlt (geheizt, be- oder entfeuchtet), dann mit einem Kanalnetz im Gebäude verteilt und schließlich durch den Luftauslass an den Raum übergeben wird.

Im Schema werden die Haupteinflusskomplexe auf den Energiebedarf deutlich:

- Kälteerzeugung
- Kälteverteilung
- Kälteübergabe an den Raum bzw. die Raumkühllast, welche durch die inneren Quellen (Menschen, Bürotechnik) und die Gestaltung des Baukörpers (Transparenz-anteil der Fassade, energiespeichernde Baumassen) geprägt wird.

Übersicht Kälteerzeugung

Die Bereitstellung von Kälte für Wasserkühlsysteme kann mit folgenden Technologien bewerkstelligt werden (vgl. [Krimmling u. a., 2014, S. 206–215]):

- elektrische Kompressionskältemaschinen (KKM)
- Absorptionskältemaschinen (AKM)
- Erdsonden von Wärmepumpen
- Grundwasserbrunnen (auch von Wärmepumpen)
- freie Kühlung
- indirekte Verdunstungskühlung.

Die Luft von Luftsystmen kann außerdem direkt gekühlt werden, indem die zu kühlende Luft über die Verdampferfläche der Kältemaschine geleitet wird. Außerdem kann die Zuluft in Luft-Systemen mit Hilfe der indirekten Verdunstungskühlung gekühlt werden, bei welcher Wasser in den Abluftstrom eingedüst wird, welches durch seine Verdunstung einen Abkühleffekt bewirkt.

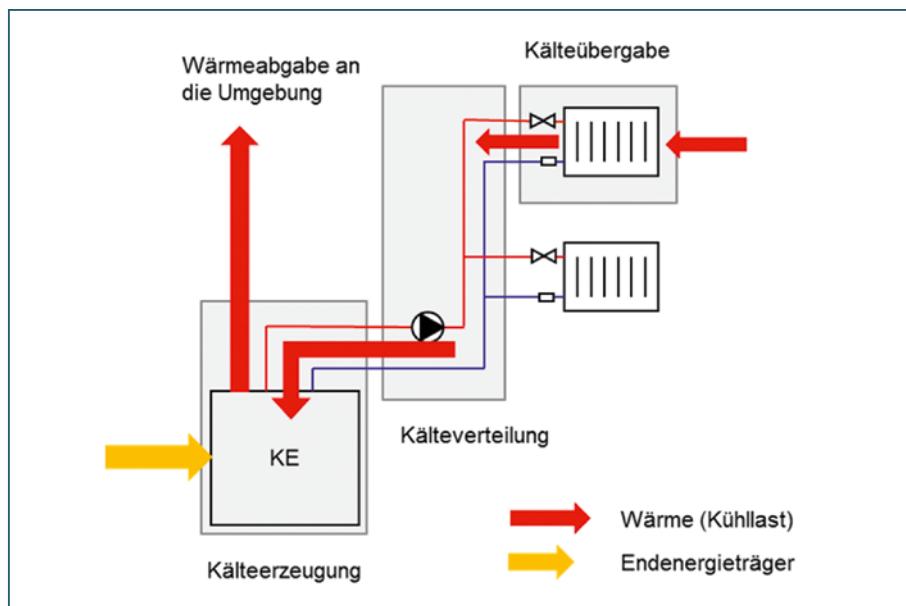


Abbildung 3-8: Sinngemäß funktionale Struktur einer Klimaanlage

Elektrische Kompressionskältemaschine

Elektrische Kompressionskältemaschinen (im Folgenden KKM) sind die am häufigsten verwendeten Kältemaschinen. Obwohl bei vielen KKM Elektroenergie als Antriebsenergie für den Verdichter verwendet wird, stellen sie in vielen Fällen ein energetisches und vor allem noch wirtschaftliches Optimum dar.

Die energetische Effizienz einer KKM kann zunächst mit der Leistungszahl (auch als COP bezeichnet) beschrieben werden:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{\text{Nutz}}}{P_{\text{zu}}} \quad \text{F 3-7}$$

ε Leistungszahl

\dot{Q}_{Nutz} Nutzkälteleistung

P_{zu} Antriebsleistung des Verdichters

Die Leistungszahl kann man auch als das Produkt von theoretischer Leistungszahl und dem Gütegrad schreiben:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{theo}} \cdot \nu = \frac{T_{\text{VD}}}{T_{\text{Kon}} + T_{\text{VD}}} \cdot \nu \quad \text{F 3-8}$$

$\varepsilon_{\text{theo}}$ theoretische Leistungszahl (Leistungszahl des Carnotprozesses)

ν Gütegrad mit $\nu = 0,5 \dots 0,6$

T_{VD} mittlere Verdampfungstemperatur (kalte Seite)

T_{Kon} mittlere Kondensatortemperatur (warme Seite)

Aus F 3-8 wird ersichtlich, dass die Leistungszahl umso besser wird, je näher die Temperaturen von Verdampfer und Kondensator beieinander liegen.

Beispiel 3-3: Analyse der Leistungszahl einer KKM

Für die beiden Fälle der Tabelle 3-4 sind mit F 3-8 die theoretische und die reale Leistungszahl zu berechnen. Achtung: Es sind jeweils die absoluten Temperaturen in K einzusetzen.

		Fall 1	Fall 2
Verdampfungstemperatur	in °C	8	0
Kondensatortemperatur	in °C	30	50
Verdampfungstemperatur	in K	281,15	273,15
Kondensatortemperatur	in K	303,15	323,15
theoretische Leistungszahl		12,78	5,46
Gütegrad		0,55	0,55
reale Leistungszahl		7,03	3,00

Tabelle 3-4: Leistungszahlen für zwei Fälle von KKM

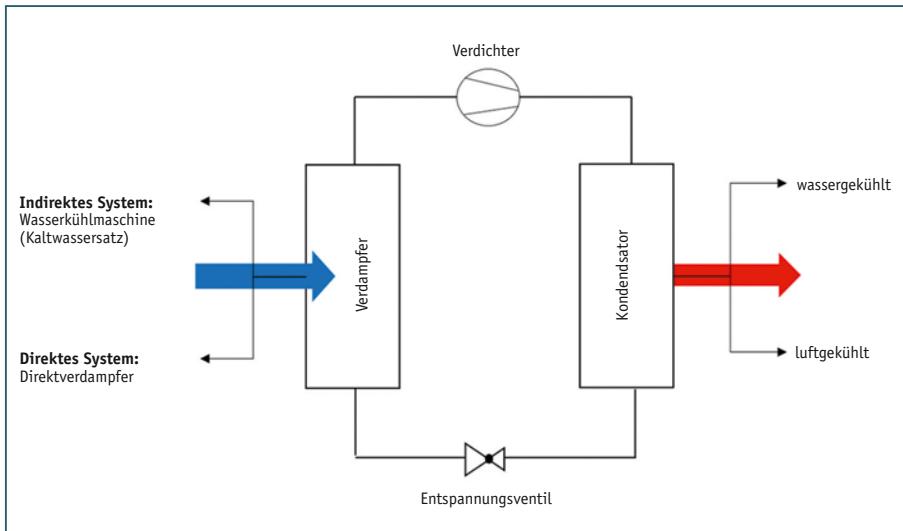


Abbildung 3-9: Übersicht Kompressionskältemaschinen

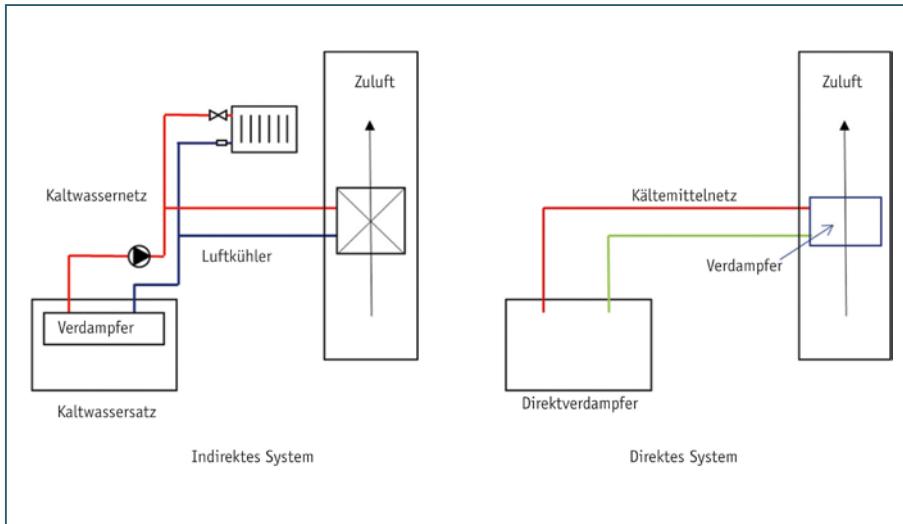


Abbildung 3-10: Indirektes und direktes System der Kühlung

Bei der KKM des Fall 1 ergibt sich eine höhere Leistungszahl, da die Temperaturen von Verdampfer und Kondensator näher beieinanderliegen.

Für die energetische Bilanzierung kann natürlich nicht die Leistungszahl verwendet werden, da sie nur einen Momentanzustand beschreibt. Gleichermaßen wie bei den Wärmeerzeugern wird auch bei den Kälteerzeugern eine Jahresarbeitszahl gebildet, die das Verhältnis von jährlicher Nutzkälte zu jährlicher Antriebsenergie beschreibt. Vergleiche dazu den Abschnitt 4.2. Die grundsätzlichen Bauarten von KKM sind in Abbildung 3-9.

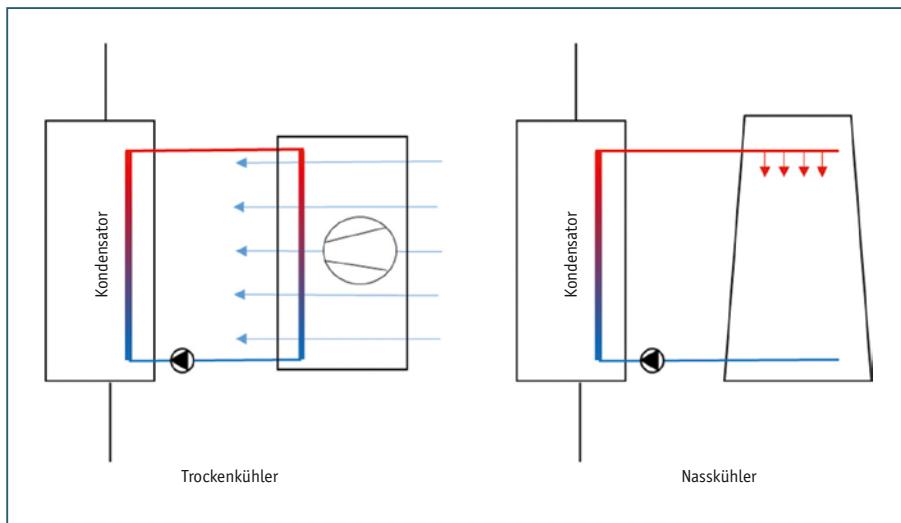


Abbildung 3-11: Wassergekühlte Kondensatoren

Sehr häufig werden Wasserkühlmaschinen (Kaltwassersätze) verwendet. Diese indirekten Systeme erzeugen Kaltwasser, mit dessen Hilfe dann die Luft im Zentralgerät gekühlt werden kann oder mit welchem eine Kühldecke oder ein Kühlkonvektor beaufschlagt wird.

Beim Direktverdampfer (Direktes System) wird die Zuluft direkt mit der Verdampferfläche gekühlt.

Der Kondensator kann entweder mit

- Wasser oder
 - Luft gekühlt

werden. Die Kühlung mit Wasser wird am häufigsten verwendet. Hier können zwei Arten von Rückkühlern eingesetzt werden (Abbildung 3-11):

- Trockenkühler
 - Nasskühler.

Energetisch ist der Nasskühler günstiger, da die kältemittelseitige Kondensations-temperatur geringer sein kann, was sich günstig auf die Arbeitszahl auswirkt (vgl. F 3-8 und Beispiel 3-3). Allerdings ist diese Anlagentechnik aufwendiger, sodass in der Praxis sehr häufig Trockenkühler eingesetzt werden.

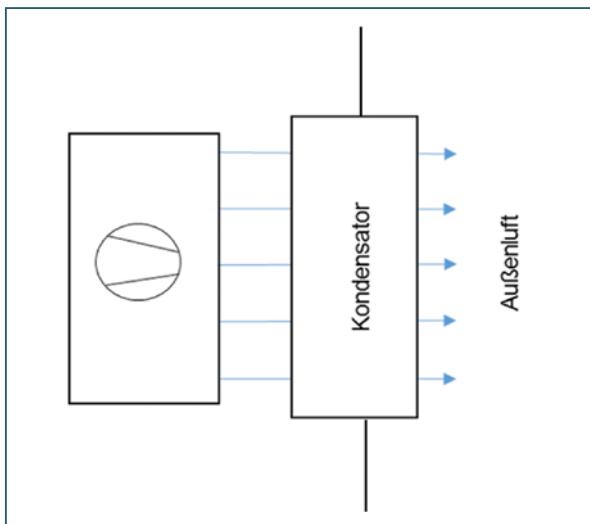


Abbildung 3-12: Luftgekühlter Kondensator

Absorptionskältemaschinen

Bei Absorptionskältemaschinen (AKM) erfolgt die Kälteerzeugung mit Hilfe von Wärme. Es wird ein sogenannter Thermischer Verdichter verwendet, der beispielsweise mit Fernwärme oder mit solarthermischer Wärme angetrieben werden kann. Da die Kälteerzeugung mit AKM anlagentechnisch vergleichsweise aufwendig und teuer und demzufolge in vielen Fällen unwirtschaftlich ist, wird sie hier nicht weiter betrachtet.

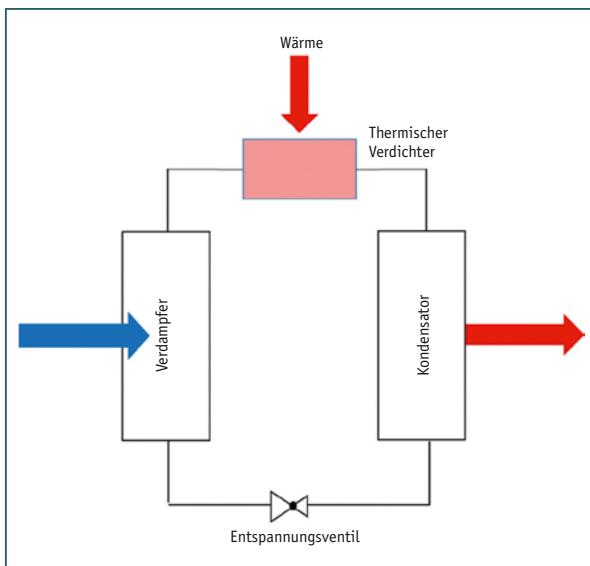


Abbildung 3-13: Grundprinzip der Absorptionskältemaschine (AKM)

Erdsonden von Wärmepumpen

Die Nutzung des im Erdreich vorhandenen Kältepoteziels mit Hilfe vertikaler Erdsonden kann vor allem dann interessant sein, wenn das Anlagenkonzept ohnehin eine Erd-Wärmepumpe (synonym: Sole-Wasser-Wärmepumpe) vorsieht.

Das Kältepoteziel des Erdreichs wird durch das in der Abbildung 3-14 dargestellte, gemessene Temperaturprofil des ungestörten Erdreichs charakterisiert. Es lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- Bis zu einer Tiefe von ca. 8 m schwankt die Erdreichtemperatur mit der Außentemperatur und man kann jahreszeitlich charakteristische Verläufe erkennen.
- Im Bereich von 8 bis ca. 18 m ist die Temperatur weitestgehend konstant und liegt bei ca. 12 °C.
- Ab einer Tiefe von ca. 18 m nimmt die Temperatur stetig zu. Sie erreichte in einer Tiefe von knapp 166 m (Tiefe einer Erdsonde für eine Wärmepumpe) ca. 21 °C. Der geothermische Gradient $\Delta t/L$ würde im vorliegenden Fall somit bei $(21-12)K/(166-18)m = 0,06 K/m$ liegen.

Die Kälteerzeugung mit Hilfe der Erdsonden gelingt gut, wenn im Gebäude ein weitestgehend parallel verlaufender, d. h. überwiegend gleichzeitiger Kältebedarf vorliegt. Dazu können in die Sonden beispielsweise zwei getrennte Kreisläufe jeweils zum Heizen und Kühlen eingebaut werden. Durch den Wärmeentzug beim Heizen kühlt das Erdreich im Umfeld der Sonde aus. Dieses Kältereservoir kann dann zum Kühlen genutzt werden, wodurch sich das Erdreich wieder regeneriert.

Denkbar wäre auch eine saisonal gesplittete Wärme- und Kälteversorgung. Im Winter wird das Erdreich ausgekühlt und im Sommer wird Wärme durch den entsprechenden

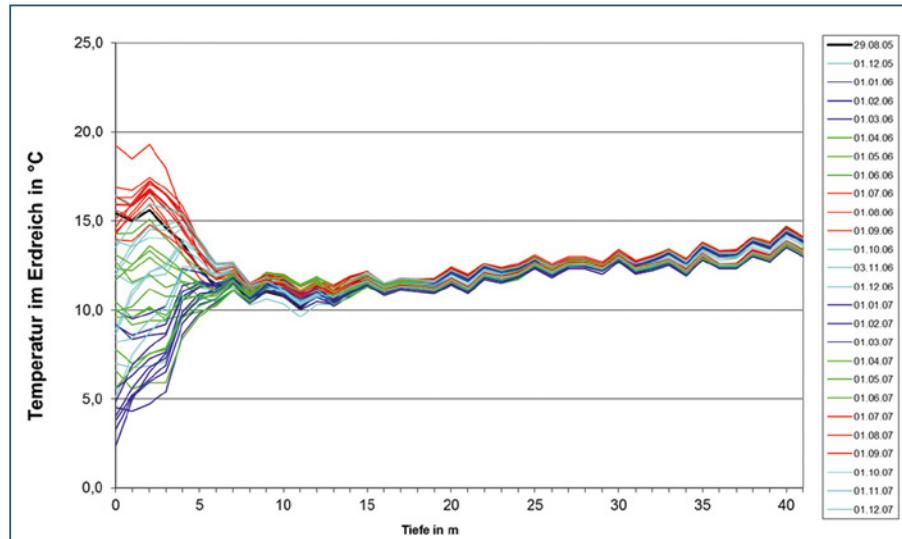


Abbildung 3-14: Temperaturprofil im Erdreich

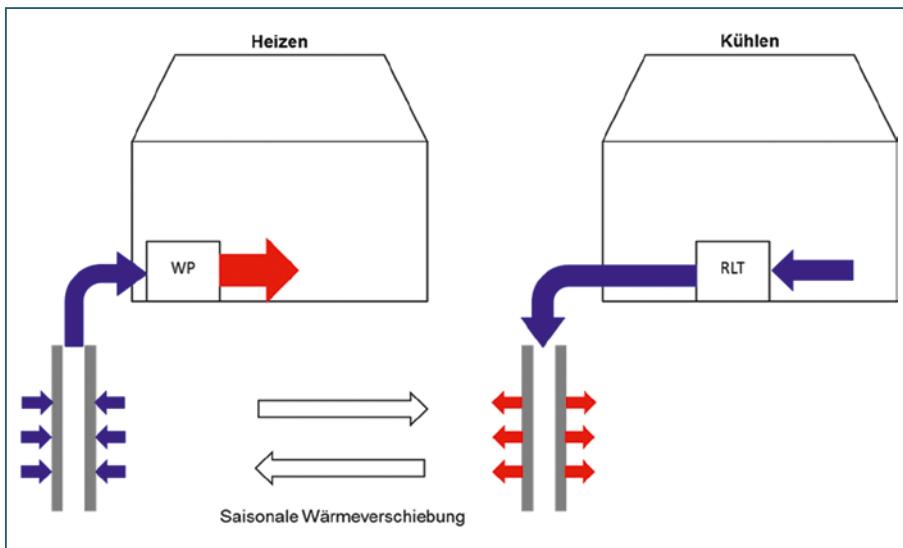


Abbildung 3-15: Saisonale gesplittete Wärme- und Kälteversorgung (saisonale Wärmeverschiebung)

Kühlprozess ins Erdreich eingebracht. Allerdings beeinträchtigt der geothermische Wärmefluss oftmals ein solches Konzept, da die durch das Heizen oder Kühlen verursachten Temperaturunterschiede relativ schnell wieder ausgeglichen werden [Kahnt, Krimmling & Schiffner 2010].

Energetisch ist die Kälteerzeugung mit Hilfe von Erdsonden als günstig anzusehen, da keine Energie für den eigentlichen Kälteerzeugungsprozess benötigt wird. Man braucht lediglich Hilfsenergie für den Betrieb des hydraulischen Kreislaufs. (Hinweise zur Konzeption und Auslegung von Erdsonden sind in der VDI 4640-2 zu finden).

Grundwasserbrunnen

Die Kältebereitstellung mit Hilfe von Grundwasserbrunnen ist ebenfalls als energetisch günstig einzustufen. Bilanziert wird ebenfalls nur der energetische Aufwand für das hydraulische System der Grundwasserförderung. Ausführliche Erläuterungen zur Technologie sowie zu Auslegungsaspekten kann man in der VDI 4640-2 nachlesen.

Da die Kältebereitstellung mit Grundwasser sehr stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängt und auch nicht in allen Fällen genehmigungsfähig ist, wird auf diese Technologie hier nicht weiter eingegangen.

Freie Kühlung

Bei der freien Kühlung wird das Kältepotenzial der Außenluft verwendet. Demzufolge kann dieses Potenzial nur dann genutzt werden, wenn die jeweiligen Kühlprozesse in Zeiten fallen, in welchen mit Hilfe der Außenluftparameter direkt gekühlt werden

kann. Bei Bürogebäuden kann die freie Kühlung während der frühen Morgenstunden bzw. in der Nacht wirksam sein. Als alleiniges Kältepotenzial reicht dieses Kühlprinzip bei Bürogebäuden insbesondere bei hohen Komfortansprüchen in der Regel nicht aus.

Freie Kühlung kann auf zwei Wegen realisiert werden:

- Freie Nachtauskühlung, indem das Gebäude nachts mit Außenluft durchströmt wird. Das Gebäude muss über wirksame Speichermassen verfügen, welche tagsüber die Wärme aufnehmen. Nachts werden diese Speicher mit der kühlen Außenluft wieder entladen.
- Mit Hilfe von Freikühlern, welche meistens in die Rückkühlwanlage der Kältemaschine integriert werden (Abbildung 3-16).

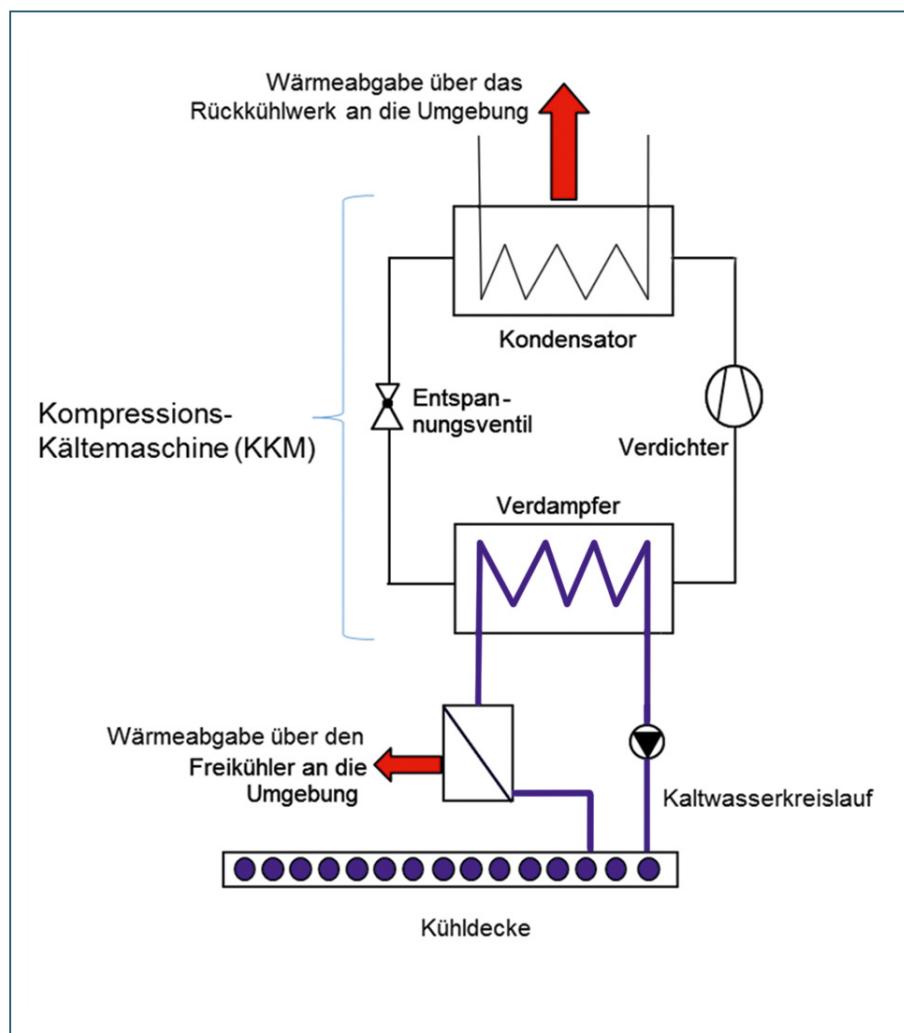


Abbildung 3-16: Freikühler in einem Kaltwassernetz (Kaltwasserkreislauf)

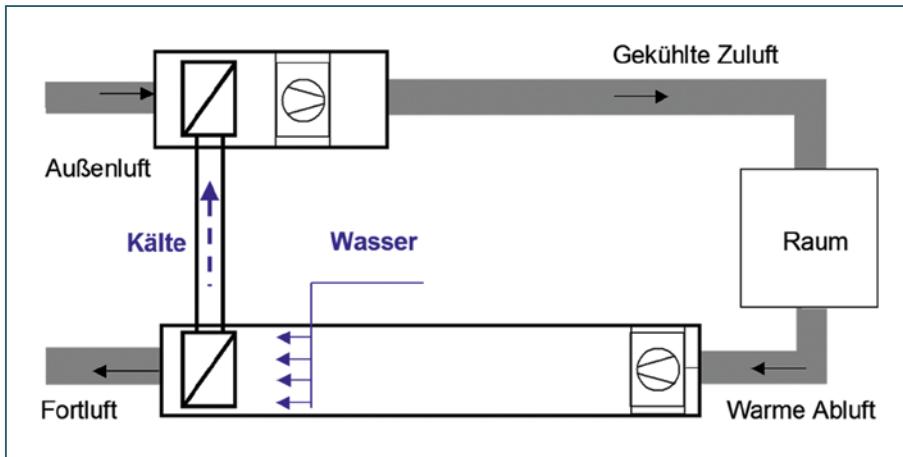


Abbildung 3-17: Indirekte Verdunstungskühlung (vgl. auch [Krimmling u.a., 2014, S.205])

Indirekte Verdunstungskühlung

Bei der indirekten Verdunstungskühlung erfolgt die Kälteerzeugung ohne Aufwendung von Energie, weshalb man auch von adiabater Kühlung spricht. In den Abluftstrom der Klimaanlage wird Wasser eingedüst, welches verdunstet. Die für die Verdunstung erforderliche Energie wird der Luft entzogen, welche sich dadurch abkühlt. Die so erzeugte Kälte kann mit Hilfe eines Wärmerückgewinnungssystems an die Zuluft übertragen werden.

Die indirekte Verdunstungskühlung wird bei luftgestützten Klimaanlagen eingesetzt. Nach [Recknagel, Sprenger & Albers, 2015, S. 1604–1608] können ca. 40 bis 50 % der zur Kälteerzeugung benötigten Energie eingespart werden. Die restliche Kälte wird konventionell mit einer Kompressionskältemaschine bereitgestellt.

3.4.3 Strukturansatz für die Beleuchtung

Die Beleuchtung der Innenräume von Gebäuden erfolgt auf zwei Wegen:

- durch Kunstlicht und
- durch Tageslicht.

Kunstlicht

Den für die Heizungs- und Klimaanlage verwendeten Strukturansatz kann man sinngemäß auch auf das Kunstlichtsystem übertragen (Abbildung 3-18). Die wesentlichen Einflusskomplexe sind hier:

- die Art der Leuchte mit dem wesentlichen Parameter der Lichtausbeute (Einheit: lm/W, d. h. Lichtstrom in Lumen pro Leistung in Watt) und
- die Anordnung der Leuchten im Raum

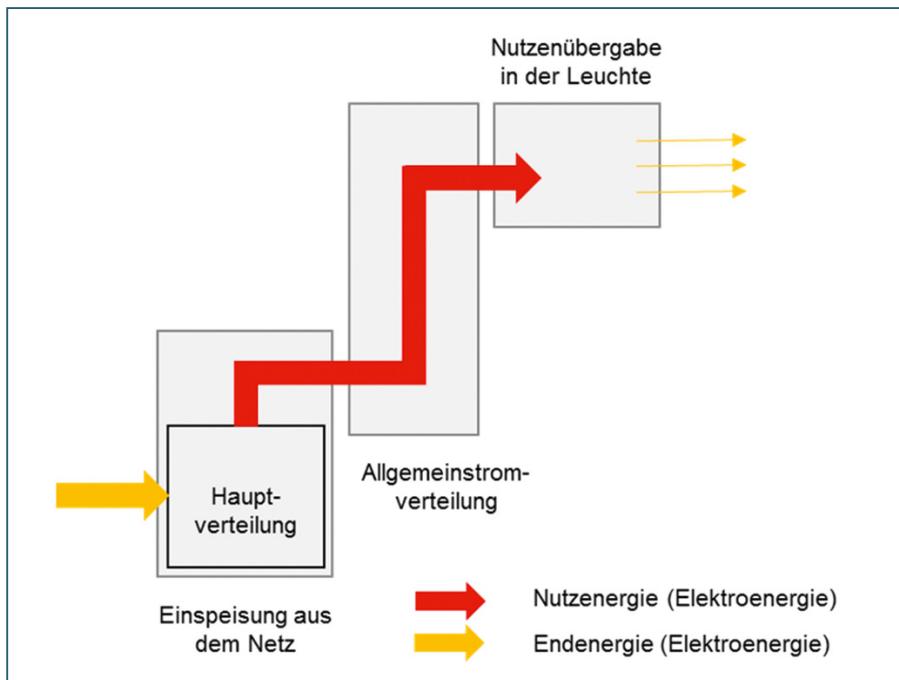


Abbildung 3-18: Funktionale Struktur der Beleuchtungsanlage (Kunstlichtsystem)

Die Verteilung hat keinen direkten Einfluss auf den Energiebedarf. Bei der Einspeisung wäre der Fall einer Photovoltaikanlage interessant, durch welchen der fossile Primärenergiebedarf anteilig reduziert werden kann. Künftig können auch elektrische Speicher sinnvoll sein.

Den Energiebedarf eines Kunstlichtsystems kann man vereinfacht mit folgender Beziehung beschreiben:

$$E_{\text{Bel}} = P_{\text{Bel}} \cdot \Delta \tau_{\text{Bel}} \quad F\ 3-9$$

E_{Bel} Energiebedarf für Beleuchtung in kWh

P_{Bel} effektive elektrische Leistung des Kunstlichtsystems in kW

$\Delta \tau_{\text{Bel}}$ Brenndauer der Beleuchtung in h

Aus F 3-9 ergeben sich zwei Ansätze zur Energiereduzierung:

- Verringerung effektive elektrische Leistung der Leuchte
- Verringerung der Brenndauer.

Die effektive elektrische Leistung der Leuchten kann beispielsweise durch effektivere Lampen (LED anstelle Leuchtstofflampe) verringert werden. Man verringert die Gesamtleistung der Beleuchtung in einem Raum aber auch dann, wenn man von

indirekter Beleuchtung zu direkter Beleuchtung übergeht. Zu den heute verfügbaren Lichtquellen siehe ausführlich [Krimmling u. a., 2014, S.396–400].

Die Brenndauer hängt bei manuell bedienten Systemen vom Nutzerverhalten ab. Den Nutzereinfluss kann man durch automatische Steuerungen zurückdrängen:

- zeitabhängige Steuerung
- präsenzabhängige Steuerung
- tageslichtabhängige Regelung.

Tageslicht

Ein hoher Tageslichtanteil wirkt sich positiv auf das menschliche Wohlbefinden sowie den Energiebedarf aus. Man erreicht eine hohe Tageslichtausbeute durch folgende Maßnahmen:

- transparente Fassaden (hoher Glasanteil, hohe T_L -Werte)
- stark gegliederte (nicht kompakte) Baukörper mit geringen Raumtiefen.

4 Energetischer Bilanzierungsansatz

4.1 Herangehensweise

Der Energiebedarf Modellgebäude wurde entsprechend dem aktuellen Stand der DIN V 18599 mit Hilfe der Software »IBP 18599 High End« berechnet. Die Berechnungen können in folgenden Modi durchgeführt werden:

- Nachweis EnEV zzzz (z. B. EnEV 2016)
- Nachweis KfW xx.yy.zzzz (z. B. KfW 01.01.2016)
- Beratung DIN V 18599:zzzz (z. B. DIN V 18599:2011)

Die Modi unterscheiden sich in den Primärenergiefaktoren und anderen Berechnungsdetails. Im vorliegenden Fall wurde der Modus »Nachweis EnEV 2016« verwendet. Zwischen den Modi »Nachweis EnEV 2016« und Beratung DIN V 18599:2011 gibt es nur geringfügige Unterschiede bei den Berechnungsergebnissen.

Im Vorfeld wurden drei verschiedene, am Markt verfügbare Softwarelösungen zur Berechnung des Energiebedarfs von Nichtwohngebäuden getestet²:

- »IBP:18599 High End«, Stand der Version: Juni 2013
- »Energieberater 18599«, Stand der Version: August 2013
- »Solar-Computer B54«, Stand der Version: April 2013.

Die Voruntersuchungen wurden an Hand eines sehr einfachen eingeschossigen, quaderförmigen Modells entsprechend der Abbildung 4-1 und Tabelle 4-1 durchgeführt.

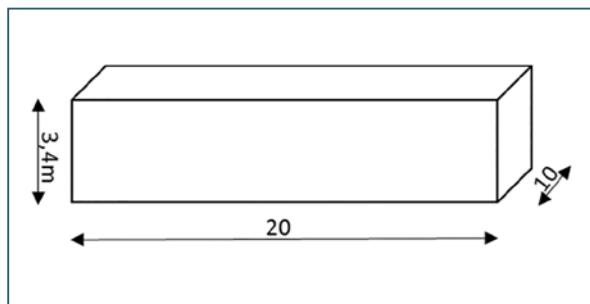


Abbildung 4-1: Gebäude-
modell für die Vorunter-
suchungen

2 Die Voruntersuchungen wurden mit einer etwas älteren Version erstellt. Alle übrigen Berechnungsergebnisse wurden mit der zum Zeitpunkt der Niederschrift aktuellsten Version des IBP-Programms berechnet.

Bruttogrundfläche	BGF	200	m ²
Bruttoraumvolumen	BRI	680	m ³
Nettogrundfläche	NGF	168	m ²
Nettoraumvolumen	NRI	544	m ³
U-Wert Bodenplatte		0,19	W/m ² K
U-Wert Außenwand		0,21	W/m ² K
U-Wert Dach		0,34	W/m ² K
U-Wert Fenster		1,3	W/m ² K
Transparenzanteil		13	%

Tabelle 4-1: Daten des Gebäudemodells

Für das Modell wurden schrittweise folgende Szenarien berechnet:

- nur jeweils eine Konditionierung (Beleuchtung, Heizung, Kühlung, Lüftung)
- Kombinationen der Konditionierungen.

Während bei der Berechnung für die Fälle, dass das Gebäude nur beleuchtet bzw. nur belüftet wird, alle drei Programme auf das exakt gleiche Ergebnis führten, wichen die Ergebnisse bei den anderen Konditionierungen voneinander ab. Allerdings liegen die Abweichungen in einem sehr niedrigen, akzeptablen Bereich (Tabelle 4-2), sodass man hinsichtlich der Ergebnisqualität alle drei Programme als gleichwertig ansehen kann.

	IBP:18599	Energie-berater 18599	Solar-Computer B 54
Heizung	138,22	138,04	138,07
Kühlung	20,72	20,52	20,11
Belüftung	30,51	30,51	30,51
Beleuchtung	54,46	54,46	54,46
Gesamt	243,92	243,53	243,15

Tabelle 4-2: Fossiler Primärenergiebedarf für das Gebäudemodell der Voruntersuchung (alle Werte in kWh/m²a)

Die Entscheidung für das Programm IBP erfolgte vor allem wegen dessen hoher Variabilität bezüglich möglicher Parametereingaben, wobei letztlich auch subjektive Präferenzen der Bearbeiter eine Rolle spielten.

4.2 Bilanzierungsmodell

Das Bilanzierungsmodell nach DIN V 18599 ist als Zonenbilanzverfahren einzustufen, wobei der Energiebedarf pro Zone für die Periode eines Monats ermittelt wird. Der Jahresbedarf ergibt sich als Summation über alle Zonen sowie Monate des Jahres.

Um die je Zone benötigte Nutzenergie (Wärme, Kälte, Licht) bereitzustellen, wird die dem Gebäude zugeführte Endenergie umgewandelt und im Gebäude verteilt. Außerdem wird Hilfsenergie benötigt. Die Bilanzierung erfolgt für den Endenergieträger j:

$$Q_{f,j} = Q_{h,f,j} + Q_{h^*,f,j} + Q_{c,f,j} + Q_{c^*,f,j} + Q_{w,f,j} + Q_{rv,f,j} + Q_{l,f,j} + Q_{f,j,aux} \quad F 4-1$$

$Q_{f,j}$	Endenergie eines Energieträgers j
$Q_{h,f,j}$	Endenergie für das Heizsystem, versorgt über den Energieträger j
$Q_{h^*,f,j}$	Endenergie für die RLT-Heizfunktion, versorgt über den Energieträger j
$Q_{c,f,j}$	Endenergie für das Kühlsystem, versorgt über den Energieträger j
$Q_{c^*,f,j}$	Endenergie für die RLT-Kühlfunktion, versorgt über den Energieträger j
$Q_{w,f,j}$	Endenergie für Trinkwarmwasser, versorgt über den Energieträger j
$Q_{rv,f,j}$	Endenergie für die Lüftung, versorgt über den Energieträger j
$Q_{l,f,j}$	Endenergie für die Beleuchtung, versorgt über den Energieträger j
$Q_{f,j,aux}$	Endenergie für Hilfsenergien, versorgt über den Energieträger j

Der fossile Primärenergiebedarf des Gebäudes ergibt sich mit Hilfe der Primärenergiefaktoren der benötigten Endenergiträger:

$$Q_p = \sum_j (Q_{f,j} \cdot f_{p,j}) \quad F 4-2$$

Q_p	fossiler Primärenergiebedarf
$Q_{f,j}$	Endenergie je nach Energieträger j
$f_{p,j}$	Primärenergiefaktor des Endenergiträgers j

Im Folgenden wird der prinzipielle Ansatz am Beispiel der drei energetischen Funktionen:

- Heizen
- Kühlen
- Beleuchten

sinngemäß erläutert, wobei gegenüber der Norm aus Gründen des besseren Verständnisses einige Vereinfachungen gemacht werden. Es wird z.B. die Hilfsenergie für Wärme- und Kälteerzeuger sowie für die Heizwasser- und Kaltwassersysteme nicht dargestellt; außerdem werden die Verluste bei der Nutzenübergabe nicht dargestellt – in den Rechnungen wurden diese jedoch entsprechend den Vorgaben der Norm berücksichtigt. Für die genaue Modell- und Berechnungskonfiguration wird auf den Text der Norm verwiesen.

Heizen

Gebäude mit Innenraumtemperaturen von bzw. über 19 °C müssen in unserer Klimaregion im Regelfall mit Wärme versorgt werden. Die Wärme wird über das Heizsystem im Gebäude verteilt und mit Hilfe der Raumheizeinrichtungen an den Raum übergeben (Energiebilanzen in Abbildung 4-2). Als Trägermedium der Verteilung fungiert Heizwasser, welches im Wärmeerzeuger (WE) entsprechend aufgeheizt wird.

Die an den Raum übergebene Wärme ($Q_{h,R}$ in Abbildung 4-2) entspricht bei einer definierten Raumtemperatur dem Saldo aus Transmissionswärme- und Lüftungswärmeverlusten einerseits sowie inneren und äußereren Wärmegewinnen andererseits. Demzufolge ist die den Räumen zuzuführende Wärme durch die Geometrie und Bauphysik des Gebäudes bestimmt und nicht durch das Heizsystem; sie wird als Heizwärmebedarf (Nutzenergie zum Heizen) bezeichnet.

$$Q_{h,R} = Q_{T,h} + Q_{L,h} - Q_{S,h} - Q_{I,h} \quad F\ 4-3$$

- | | |
|-----------|--|
| $Q_{h,R}$ | Heizwärmeverluste des Gebäudes (an die Räume übergebene Wärme) |
| $Q_{T,h}$ | Transmissionswärmeverluste des Gebäudes |
| $Q_{L,h}$ | Lüftungswärmeverluste des Gebäudes |
| $Q_{S,h}$ | äußere Wärmegewinne (Solarstrahlung) |
| $Q_{I,h}$ | innere Wärmegewinne |

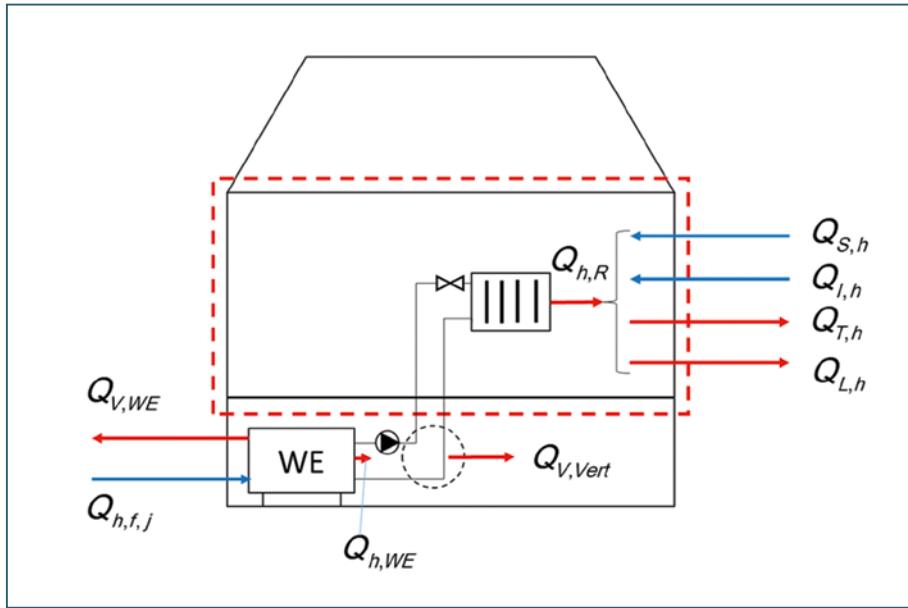


Abbildung 4-2: Heizen eines Gebäudes (Verluste der Nutzenübergabe und der Speicherung sind nicht dargestellt)

Die durch den Wärmeerzeuger bereitzustellende Wärme ergibt sich über die Berücksichtigung der Verluste der Verteilung und der Nutzenübergabe.

$$Q_{h,WE} = Q_{h,R} + Q_{V,Vert} + Q_{V,NÜ} + Q_{V,Sp} \quad F\ 4-4$$

- $Q_{h,WE}$ Erzeugernutzwärmeabgabe an das Heizsystem
 $Q_{V,Vert}$ Wärmeverluste der Verteilung
 $Q_{V,NÜ}$ Wärmeverluste der Nutzenübergabe
 $Q_{V,Sp}$ Wärmeverluste der Speicherung

$$Q_{h,f,j} = Q_{h,WE} + Q_{V,WE} \quad F\ 4-5$$

- $Q_{h,f,j}$ Endenergie zur Wärmeerzeugung (vgl. F 4-1)
 $Q_{V,WE}$ Umwandlungsverluste des Wärmerzeugers

Im Normverfahren werden die Verluste des Wärmerzeugers, je nach Typ und Belastungsgrad, detailliert ermittelt und über alle Perioden aufsummiert. Für praktische Abschätzungen kann man den Endenergiebedarf über den Jahresnutzungsgrad des Wärmerzeugers bestimmen, da es Erfahrungswerte für typische Jahresnutzungsgrade gibt:

$$Q_{h,f,j,a} = \frac{Q_{h,WE,a}}{\eta_{WE,a}} \quad F\ 4-6$$

$\eta_{WE,a}$ Jahresnutzungsgrad des Wärmerzeugers

Der Jahresnutzungsgrad beschreibt die speziellen Verhältnisse der jeweiligen Umwandlungs-Technologie, vergleiche auch Beispiel 3-2.

Kühlen

Beim Kühlen der Räume eines Gebäudes ist der Ansatz etwas komplexer, da zwei Grundtechnologien möglich sind:

- Kühlen über eine Raumkühleinrichtung, (z. B. Kühldecke, aktivierte Decke)
- Kühlen über eine sog. Nur-Luft-Klimaanlage, bei welcher gekühlte Luft in den Raum geblasen wird, welche die Kühllast aufnimmt und abführt.

In der Praxis kommen beide Grundtechnologien entweder separat oder in Kombination vor. Beim Kühlen über eine Raumkühleinrichtung werden

- die äußeren Lasten (Sonneneinstrahlung) und
- die inneren Lasten (Personen, Beleuchtung, Technik)

von dieser aufgenommen und abgeführt. Als Trägermedium fungiert Kaltwasser, welches im Kälteerzeuger (KE) entsprechend gekühlt wird. Die im Raum aufgenommene Wärmelast wird letztlich über das Rückkühlwerk an die Umgebung abgegeben (Abbildung 4-3).

Der Kühlbedarf des Raumes ergibt sich als Summe von äußerer und innerer Last:

$$Q_{k,R} = Q_{A,k} + Q_{I,k} \quad F 4-7$$

$Q_{k,R}$ Kühlbedarf des Gebäudes (Kühlbedarf der Räume)

$Q_{A,k}$ äußere Wärmelast des Gebäudes

$Q_{I,k}$ innere Wärmelast des Gebäudes

Die durch den Kälteerzeuger bereitzustellende Kälte ergibt sich über die Berücksichtigung des Wärmeeintrages der Verteilung:

$$Q_{k,KE} = Q_{k,R} + Q_{V,Vert} \quad F 4-8$$

$Q_{k,KE}$ Nutzkälte des Kälteerzeugers

$Q_{V,Vert}$ Wärmeeintrag der Verteilung

Der Endenergiebedarf des Kälteerzeugers ergibt sich mit dessen Nutzungsgrad:

$$Q_{h,f,j} = \frac{Q_{k,KE}}{\eta_{KE}} \quad F 4-9$$

$Q_{h,f,j}$ Endenergiebedarf des Kälteerzeugers, siehe F 4-1 (Endenergie für das Kühl-
system) F 4-5

η_{KE} Nutzungsgrad des Kälteerzeugers

In der DIN 18599-7 wird der Nutzungsgrad des Kälteerzeugers aus der Leistungszahl (COP) und dem durch die Nutzung determinierten Teillastfaktor ermittelt:

$$\eta_{KE,a} = \varepsilon \cdot PLV \quad F 4-10$$

$\eta_{KE,a}$ Jahresnutzungsgrad des Kälteerzeugers

ε Leistungszahl des Kälteerzeugers, vgl. auch F 3-7 und F 3-8

PLV mittlerer Teillastfaktor, siehe Anhang A der DIN V 18599

Während bei der Wärmeerzeugung der Endenergiebedarf detailliert über eine Bilanz der Umwandlungsverluste in Abhängigkeit des Wärmeerzeugertyps und dessen Betriebsweise ermittelt wird, erfolgt die Bilanzierung des Endenergiebedarfs für die Kälteerzeugung pauschal mit Hilfe von durchschnittlichen Kenngrößen.

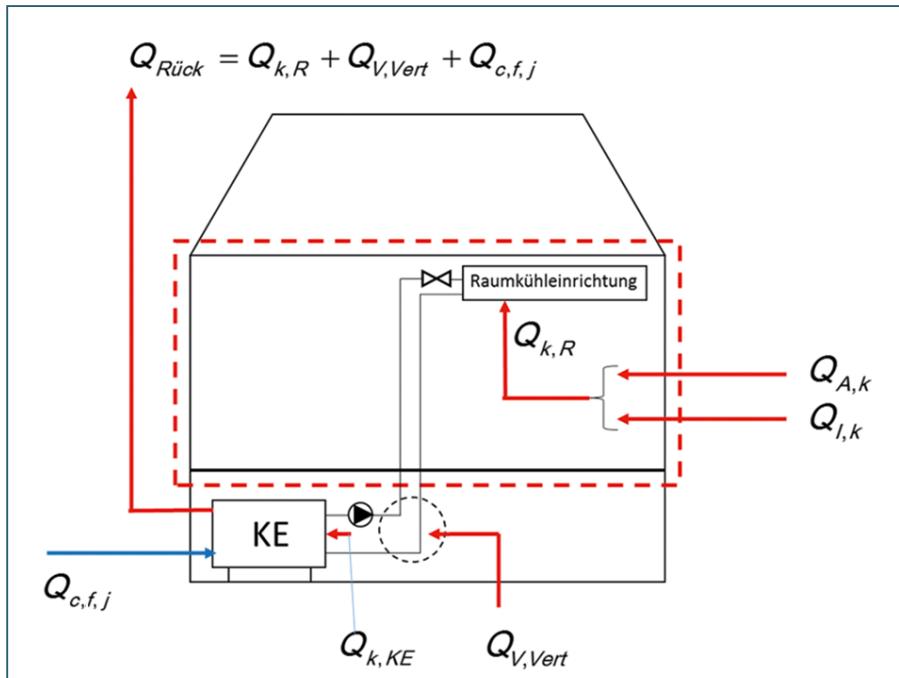


Abbildung 4-3: Kühlen eines Gebäudes über Raumkühlleinrichtungen

Über das Rückkühlwerk werden folgende Energien an die Umgebung abgegeben:

- Kühlbedarf der Räume $Q_{k,R}$
- Wärmeeintrag durch die Verteilung $Q_{V,Vert}$
- Endenergie des Kälteerzeugers $Q_{c,f,j}$
- ggf. Einträge durch Hilfsenergie.

Werden die Räume über ein Luftsystem gekühlt, gelten die Zusammenhänge entsprechend der Abbildung 4-4.

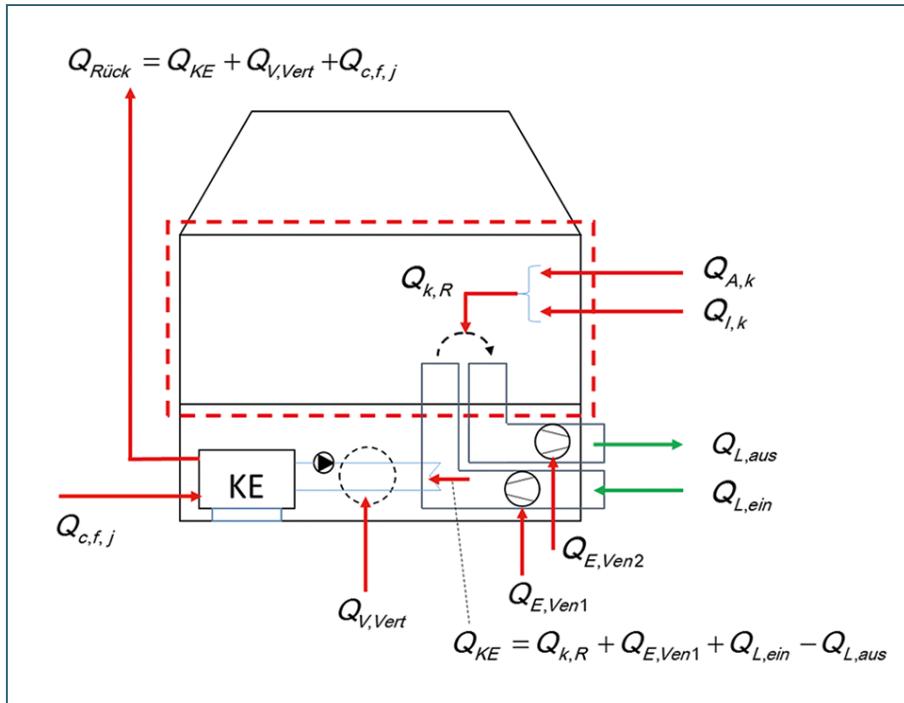


Abbildung 4-4: Kühlen eines Gebäudes über ein Luftsystem

Die durch den Kälteerzeuger bereitzustellende Nutzkälte ergibt sich folgendermaßen:

$$\begin{aligned}
 Q_{k,KE} &= Q_{KE} + Q_{V,Vert} & F 4-11 \\
 Q_{KE} &= Q_{k,R} + Q_{E,Ven1} + \Delta Q_L \\
 \Delta Q_L &= Q_{L,ein} - Q_{L,aus}
 \end{aligned}$$

- $Q_{k,KE}$ Nutzkälte des Kälteerzeugers
- $Q_{V,Vert}$ Wärmeeintrag der Verteilung
- Q_{KE} abzuführende Wärme aus dem Luftsystem
- $Q_{E,Ven1}$ Endenergie für den Zuluftventilator
- ΔQ_L Abkühlung der Zuluft auf das erforderliche Niveau um die Raumkühllast abführen zu können ($Q_{L,ein} - Q_{L,aus}$).

Die Energie für den Lufttransport ($Q_{E,Ven1}$ und $Q_{E,Ven2}$) ist von maßgeblicher Größe und wirkt sich wegen des hohen Primärenergiefaktors insbesondere signifikant auf den fossilen Primärenergiebedarf aus. Es ist demzufolge sinnvoll, die Kühlung über Luftsysteme möglichst zu beschränken und mehr oder ausschließlich über Wassersysteme zu kühlen, siehe die Kategorie »Luft-Wasser-Systeme« in der Abbildung 3-7.

Beispiel 4-1: Analyse des Energieaufwandes für den Lufttransport in Klimaanlagen

Ein Bürouraum für 3 Personen soll gekühlt werden. Im ersten Schritt sind der physiologisch erforderliche Luftvolumenstrom und der kühlbedingte Volumenstrom zu ermitteln:

$$\text{physiologisch erforderlicher Luftvolumenstrom: } \dot{V}_{\text{phys}} = N_{\text{Per}} \cdot \dot{v}_{\text{spez}} \quad F\ 4-12$$

$$\begin{array}{ll} N_{\text{Per}} & \text{Anzahl der Personen} \\ \dot{v}_{\text{spez}} & \text{spezifischer Luftbedarf pro Person} \end{array}$$

$$\text{kühlbedingter Volumenstrom: } \dot{V}_{\text{kühl}} = \frac{\dot{q}_{\text{kühl}} \cdot A}{\rho_L \cdot c_p \cdot \Delta t} \quad F\ 4-13$$

$$\begin{array}{ll} \dot{q}_{\text{kühl}} & \text{flächenspezifische Kühllast} \\ A & \text{Nutzfläche im Raum} \\ \rho_L & \text{Dichte der Luft} \\ c_p & \text{spezifische Wärmekapazität der Luft} \\ \Delta t & \text{Temperaturdifferenz: Zulufttemperatur – Raumtemperatur} \end{array}$$

Nutzfläche	A	45	m^2
Personen	N_{Per}	3	
flächenspezifische spezifische Kühllast	$\dot{q}_{\text{kühl}}$	40	W/m^2
spezifischer Luftbedarf pro Person	v_{Per}	40	$\text{m}^3/\text{h} \text{ Pers.}$
Temperaturdifferenz	Δt	8	K
Dichte der Luft	ρ_L	1,2	kg/m^3
spezifische Wärme- kapazität der Luft	c_p	1	$\text{kJ}/\text{kg K}$
physiologisch erforder- licher Volumenstrom	V_{phys}	120,00	m^3/h
kühlbedingter Volumen- strom	$V_{\text{kühl}}$	675,00	m^3/h

Tabelle 4-3: Bestimmung der Volumenströme

Es zeigt sich, dass der kühlbedingte Volumenstrom deutlich größer ist, als der physiologisch erforderliche. Die Anlage würde nach dem größeren der beiden Volumenströme ausgelegt und gebaut werden. Es stellt sich die Frage, ob die Kühlfunktion mit Hilfe eines Wassersystems energetisch günstiger realisiert werden könnte. Dazu wird der Energieaufwand für den Transport des Kühlmediums in beiden Fällen abgeschätzt:

$$\text{Energiebedarf hydraulisches System: } E_{\text{Lufttransport}} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\eta_{\text{VD/P}}} \cdot \Delta \tau_a \quad F 4-14$$

- \dot{V} Volumenstrom Luft oder Wasser
 Δp Druckverlust im hydraulischen System
 $\eta_{\text{VD/P}}$ Wirkungsgrad Verdichter oder Pumpe
 $\Delta \tau_a$ jährliche Laufzeit des hydraulischen Systems

Bezeichnung	Formel-zeichen	Einheit	Luft-System	Wasser-System
Kühllast des Raumes	$Q_{\text{Kühl}}$	kW	1,80	1,80
Temperaturdifferenz	Δt	K	8,00	8,00
Dichte der Luft	ρ_L	kg/m ³	1,20	1000,00
spezifische Wärmekapazität der Luft	c_p	kJ/kg K	1,00	4,20
Druckverlust im hydraulischen System	Δp	Pa	1500,00	50 000,00
Wirkungsgrad von Ventilator bzw. Pumpe	$\eta_{\text{VD/P}}$	–	0,72	0,42
jährliche Laufzeit	$\Delta \tau_a$	h/a	500,00	500,00
Volumenstrom	V	m ³ /h	675,00	0,19
Jahresenergiebedarf	$E_{\text{Lufttransport}}$	kWh/a	195,31	3,17

Tabelle 4-4: Jährlicher Energiebedarf für den Luft- bzw. Wassertransport

Die Ergebnisse in der Tabelle 4-4 zeigen deutlich, dass für den Kältetransport mit dem Wassersystems deutlich weniger Energie benötigt wird, als mit dem Luft-System. Daraus ergeben sich zwei Optimierungsansätze:

- Verwendung von Luft-Wasser-Systemen anstelle von Nur-Luft-Systemen
- Verringerung der Luftmenge in Luftsystmen (z.B. mit variabler Volumenstromregelung = sog. VVS-Anlagen oder durch Quellluftsysteme)

Beleuchten

Der Endenergiebedarf für die Beleuchtung hängt von folgenden Parametern ab:

- notwendige Beleuchtungsstärke
- Effizienz der Energieumwandlung Elektroenergie – Licht
- Anteil des genutzten Tageslichtes
- Gestaltung der Leuchte
- Steuerungsprinzip (z.B. manuelle oder automatische Zu- und Abschaltung der Beleuchtung).

Die benötigte Endenergie ist mit der Nutzenergie identisch und wird im Prinzip folgendermaßen berechnet:

$$Q_{l,f,j} = Q_l = \sum_i p_i \cdot [A_{TL,i} \cdot \tau_{TL,i} + A_{KL,i} \cdot \tau_{KL,i}] \quad F 4-15$$

$Q_{l,f,j}$ Endenergie für Beleuchtung nach F 4-1

Q_l Nutzenergie für Beleuchtung

p_i spezifische Leistung der Beleuchtung des Bereiches i

$A_{TL,i}$ Fläche, die mit Tageslicht versorgt ist

$\tau_{TL,i}$ Brenndauer der Beleuchtung auf der tageslichtversorgten Fläche

$A_{KL,i}$ Fläche, die nur mit Kunstlicht versorgt ist

$\tau_{KL,i}$ Brenndauer der Beleuchtung auf der kunstlichtversorgten Fläche

Die spezifische Leistung kann näherungsweise mit dieser Beziehung bestimmt werden:

$$p_i = \frac{k_A \cdot \bar{E}_m}{WF \cdot \eta_S \cdot \eta_{LB} \cdot \eta_R} \quad F 4-16$$

k_A Minderungsfaktor zur Berücksichtigung des Bereichs der Sehauflage, d. h. man geht davon aus, dass die erforderliche Beleuchtungsstärke nicht im gesamten Raum sondern beispielsweise nur auf der Arbeitsfläche gewährleistet sein muss.

\bar{E}_m erforderliche Beleuchtungsstärke

WF Wartungsfaktor, welcher die Alterung und Verschmutzung der Leuchte abbildet

η_S Wirkungsgrad der Lampe (z. B. Glühlampe, Leuchtstoffröhre, LED)

η_{LB} Wirkungsgrad der Leuchte (z. B. Decken-Rasterleuchte, Pendelleuchte, Stehleuchte)

η_R Raumwirkungsgrad

Der Raumwirkungsgrad hängt einerseits von der Geometrie des Raumes ab, aber auch vom Beleuchtungsprinzip. Man unterscheidet:

- direkte Beleuchtung
- direkte/indirekte Beleuchtung
- indirekte Beleuchtung.

Für eine gegebene Raumgeometrie gilt:

$$\eta_{R,Direkt} > \eta_{R,Dir-Indir} > \eta_{R,Indirekt} \quad F 4-17$$

$\eta_{R,Direkt}$ Raumwirkungsgrad bei direkter Beleuchtung

$\eta_{R,Dir-Indir}$ Raumwirkungsgrad bei direkter/indirekter Beleuchtung

$\eta_{R,Indirekt}$ Raumwirkungsgrad bei indirekter Beleuchtung

5 Parameterstudie

5.1 Gebäude- und Anlagenkonfiguration

Für die Parameterstudien wurde zunächst mit folgender Gebäude- und Anlagenkonfiguration begonnen:

- Gebäude mit geringem Fensterflächenanteil (Transparenzanteil 1 Tabelle 3-1)
- Dämmung Niveau EnEV (Dämmstandard 1 Tabelle 3-2)
- Holzpelletkessel mit Heizkörpern (Temperaturniveau: 70/55 °C)
- Netztyp II nach DIN 18599-5, Anhang C mit automatischen Durchflussreglern
- direkte/indirekte Beleuchtung mit manueller Steuerung.

Die Parameter des Heizungsnetzes wurden an Hand der charakteristischen Gebäudemaße nach DIN 18599-1 abgeschätzt. Generell wurde mit Standardwerten gerechnet, was die DIN 18599 in vielen Fällen zulässt. Die verfügbaren Softwarelösungen bieten im Regelfall die Verwendung der Standardwerte im EnEV-Verfahren an. Deren Verwendung dürfte die gängige Praxis sein.

Die nachfolgenden Untersuchungen bewegen sich im virtuellen Raum des Bilanzmodells der DIN 18599. Es wird gezeigt, wie sich der Energiebedarf von Gebäuden nach diesem Modell verändert, wenn bestimmte Gebäudeparameter verändert werden. Auf diesem Weg kann man in der Phase des Entwurfs eine Gestaltungsvariante mit optimaler energetischer Qualität finden. Die praktische Realisierung dieses Entwurfspotenzials geschieht in der Bauphase und mehr noch während des Gebäudebetriebes. Dass es in der späteren Betriebs- und Nutzungsphase durchaus Abweichungen zwischen den hier gezeigten Energiebedarfsrechnungen und dem dann festgestellten Energieverbrauch geben wird, ist nicht als Einschränkung dieses Optimierungsansatzes zu sehen.

Die nachfolgenden Parameterstudien demonstrieren einerseits die Wertigkeit der verschiedenen Gebäudeparameter im Hinblick auf einen möglichst geringen Primärenergiebedarf, aber anderseits auch die Eigenschaften des Bilanzmodells.

5.2 Kompaktheit

Die Kompaktheit des Baukörpers wird durch das A/V-Verhältnis charakterisiert. Wie im Abschnitt 3.2 dargestellt wurde, liefert dieser Parameter nur bei Gebäuden mit gleichem Volumen eine sinnvolle Aussage. Betrachtet man zunächst nur solche Varianten, bei denen das Gebäude lediglich beheizt und beleuchtet wird, würde man beim Energiebedarf für die Heizung einen geringeren Bedarf für die kompakteren Gebäude also mit hohem A/V-Verhältnis erwarten. Bei der Beleuchtung würden diese Gebäude allerdings einen höheren Bedarf verursachen.

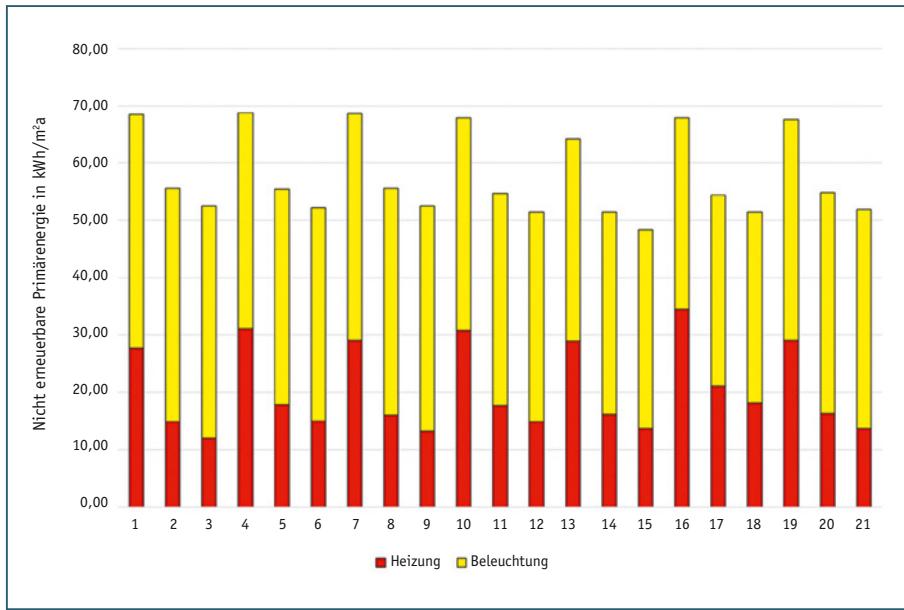


Abbildung 5-1: Einfluss des A/V-Verhältnisses bei beheizten und beleuchteten Gebäuden (alle Geometrievarianten)

Betrachtet man nun die Abbildung 5-1, in welcher alle Geometrievarianten dargestellt sind, kann man zunächst konstatieren, dass die jeweils größeren Gebäude der gleichen Geometrie (mit jeweils höherer Geschossanzahl) niedrigere Energiebedarfs- werte aufweisen, was auf den Heizungsanteil zurückzuführen ist. Eine eindeutige Korrelation zum A/V-Verhältnis ist nicht erkennbar.

Bei den eingeschossigen Gebäuden mit gleichem Volumen kann man eine eindeutige Abhängigkeit vom A/V-Verhältnis erkennen (Abbildung 5-2 und Tabelle 5-1). Der geringste Primärenergiebedarf für die Heizung, aber der größte Primärenergiebedarf für die Beleuchtung fällt bei Variante 1, dem kompaktesten Gebäude an. Die Variante 16 dagegen, welche am wenigsten kompakt ist, hat den größten Primärenergiebedarf für die Heizung. Dagegen weist sie den geringsten Primärenergiebedarf für die Beleuchtung auf.

		1	4	7	10	13	16
A/V-Verhältnis	-	0,59	0,65	0,61	0,65	0,65	0,72
Heizung	kWh/m ² a	27,65	31,10	29,04	30,84	28,91	34,55
Beleuchtung	kWh/m ² a	40,82	37,62	39,60	37,01	35,21	33,28
Gesamt	kWh/m ² a	68,47	68,72	68,64	67,85	64,12	67,83

Tabelle 5-1: Primärenergiebedarf-Einfluss des A/V-Verhältnisses bei beheizten und beleuchteten Gebäuden (nur eingeschossige Geometrievarianten, alle mit gleichem Volumen)

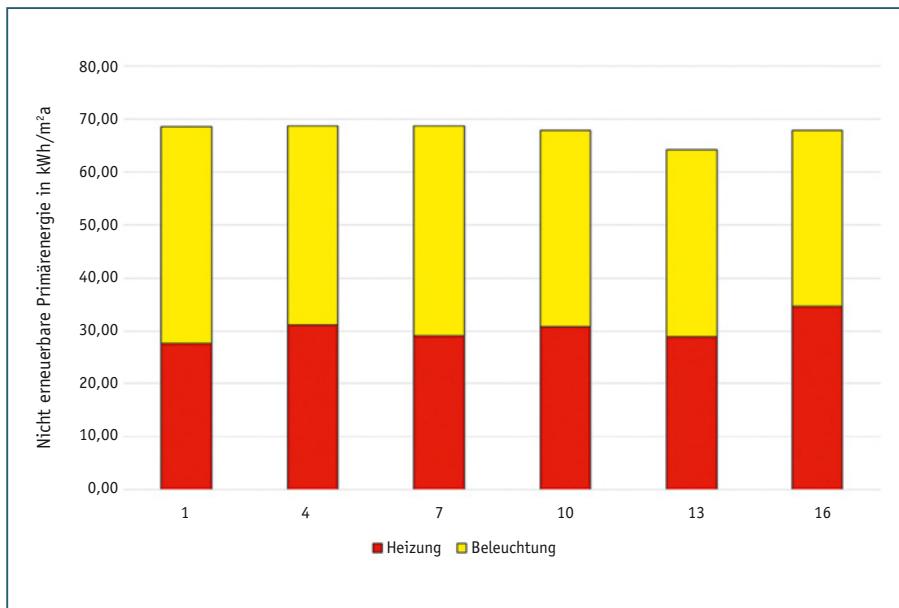


Abbildung 5-2: Einfluss des A/V-Verhältnisses bei beheizten und beleuchteten Gebäuden (nur eingeschossige Geometrievarianten, alle mit gleichem Volumen)

Die Aussage wird bestätigt durch die Abbildung 5-3 und die Tabelle 5-2 für die sechsgeschossigen Gebäude. Zwar weisen diese bei der Heizung durchgehend niedrigere Bedarfswerte aus, was jedoch auf den Einfluss der Transmissionswärmeverluste von Bodenplatte und Dach zurückzuführen ist.

		3	6	9	12	15	18
A/V-Verhältnis	-	0,22	0,28	0,25	0,28	0,28	0,35
Heizung	kWh/m²a	12,05	14,94	13,21	14,87	13,62	18,16
Beleuchtung	kWh/m²a	40,52	37,22	39,26	36,59	34,74	33,28
Gesamt	kWh/m²a	52,57	52,16	52,47	51,47	48,36	51,45

Tabelle 5-2: Primärenergiebedarf-Einfluss des A/V-Verhältnisses bei beheizten und beleuchteten Gebäuden (nur eingeschossige Geometrievarianten, alle mit gleichem Volumen)

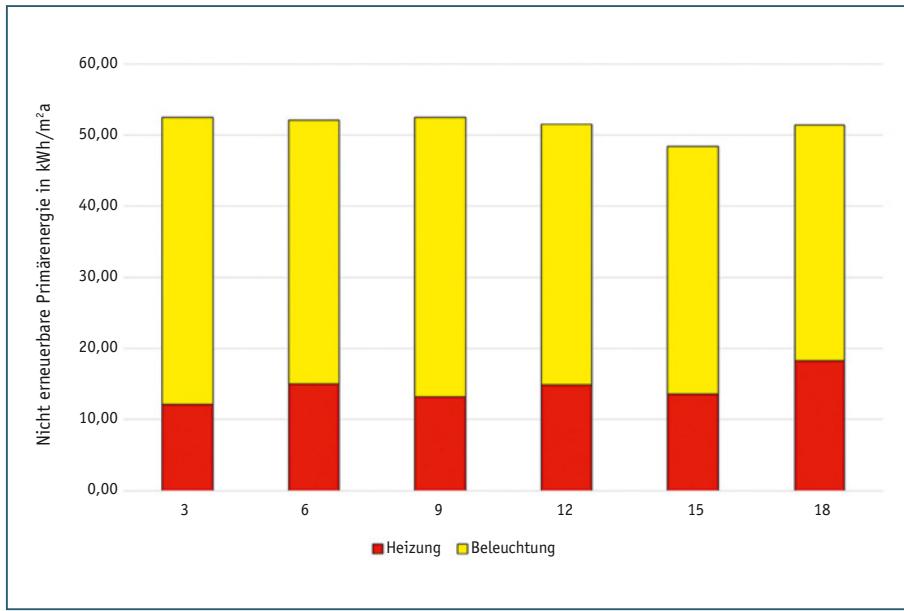


Abbildung 5-3: Einfluss des A/V-Verhältnisses bei beheizten und beleuchteten Gebäuden (nur sechsgeschossige Geometrievarianten, alle mit gleichem Volumen)

Insgesamt ist der Einfluss der Kompaktheit auf den Primärenergiebedarf aber eher marginal, was insbesondere auf die gegenläufige Tendenz von Heizung und Beleuchtung zurückzuführen sein dürfte.

5.3 Orientierung des Grundrisses

In Abbildung 5-2 und Abbildung 5-3 fällt auf, dass das U-förmige Gebäude (Variante 13 bzw. 15) einen etwas geringeren Gesamtbedarf hat als die übrigen Gebäude, obwohl es geometrisch weitestgehend dem rechteckförmigen Gebäude (Variante 4 bzw. 6) entspricht. Man könnte vermuten, dass die Orientierung des Grundrisses in Bezug auf die Himmelsrichtungen die Ursache ist. Die Tabelle 5-3 und Tabelle 5-4 zeigen, dass beim rechteckigen Grundriss die Orientierung eine größere Rolle spielt als beim U-förmigen Grundriss. Allerdings ist auch dieser Einfluss eher marginal. An dieser Stelle werden auch die Grenzen des Bilanzmodells deutlich, bei welchem beispielsweise Verschattungseffekte, wie sie beim U-förmigen Grundriss zu vermuten sind, nicht berücksichtigt werden können.

		 S	 S
Heizung	kWh/m ² a	31,10	30,32
Beleuchtung	kWh/m ² a	37,62	37,92
Gesamt	kWh/m ² a	68,72	68,24
Differenz			0,7 %

Tabelle 5-3: Einfluss der Orientierung beim rechteckigen Grundriss (Primärenergie)

		13-01	13-02
		U-Form 1-0	U-Form 1-0
		 S	 S
Heizung	kWh/m ² a	28,91	28,83
Beleuchtung	kWh/m ² a	35,21	35,21
Gesamt	kWh/m ² a	64,12	64,04
Differenz			0,1 %

Tabelle 5-4: Einfluss der Orientierung beim U-förmigen Grundriss (Primärenergie)

5.4 Zusätzliches Tiefgaragengeschoss

In Tabelle 5-5 wird der Einfluss des zusätzlichen Tiefgaragengeschosses am Beispiel des sechsgeschossigen Winkelgebäudes (Variante 12 in Tabelle 3-1) dargestellt. Es wird zwischen einer natürlich belüfteten Tiefgarage (Variante 12-TG2) und einer Tiefgarage mit einer Abluftanlage (Variante 12-TG3) unterschieden.

Das zusätzliche Tiefgaragengeschoss verringert etwas den Energiebedarf für die Heizung. Dafür wird geringfügig mehr Energie für die Beleuchtung benötigt, aber insgesamt gibt es keine Auswirkungen auf den spezifischen Bedarf. Bei der Variante mit Abluftanlage kommt noch der Energiebedarf für die Lüftung hinzu, wodurch sich der spezifische Bedarf etwa um 5 % erhöht.

		12-TG1	12-TG2	12-TG3
		Winkel 6-0	Winkel 6-1-oL	Winkel 6-1-mL
Tiefgarage	-	nein	ja	ja
Lüftung TG	-	nein	nein	ja
Heizung	kWh/m ² a	14,87	14,69	14,69
Lüftung	kWh/m ² a	0,00	0,00	2,79
Beleuchtung	kWh/m ² a	36,59	36,79	36,79
Gesamt	kWh/m ² a	51,47	51,48	54,27
Veränderung			0 %	5 %

Tabelle 5-5: Einfluss des Tiefgaragengeschosses auf den Primärenergiebedarf für das sechsgeschossige Winkelgebäude

5.5 Dämmeigenschaften

Durch eine Verstärkung der Dämmung der Außenbauteile wird der Transmissionswärmeverlust verringert. Für das sechsgeschossige Winkelgebäude (Variante 12 in Tabelle 3-1) verringert sich der Primärenergiebedarf entsprechend der Tabelle 5-6 um ca. 12 %.

		12-D1	12-D2
		Winkel 6-0-D1	Winkel 6-0-D2
Dämmstandard	-	1	2
Heizung	kWh/m ² a	14,87	8,82
Beleuchtung	kWh/m ² a	36,59	36,59
Gesamt	kWh/m ² a	51,47	45,41
Veränderung			11,8 %

Tabelle 5-6: Einfluss des Dämmstandards auf den Primärenergiebedarf des sechsgeschossigen Winkelgebäudes

5.6 Transparenzanteil der Fassade

Für das sechsgeschossige Winkelgebäude (Variante 12 in Tabelle 3-1) wurde beispielhaft der Einfluss des Transparenzanteils der Fassade untersucht. Für das nur beheizte Gebäude weist die Tabelle 5-7 erwartungsgemäß einen geringeren Primärenergiebedarf für das Gebäude mit dem größeren Glasanteil aus. Für diesen Fall muss jedoch mit Behaglichkeitseinschränkungen im Sommer gerechnet werden. Für ein nur beheiztes Gebäude hat der Transparenzanteil nur einen geringen Einfluss auf den Primärenergiebedarf des Gebäudes, da der geringere Bedarf bei der Beleuchtung auf

einen durch die verminderten internen Wärmegewinne etwas höheren Bedarf bei der Beheizung führt.

Wird das Gebäude gekühlt (Kompressions-Kältemaschine mit Kühldecke), ergibt sich der höhere Bedarf für das Gebäude mit dem höheren Transparenzanteil. Schon hier wird deutlich, dass bei hohen Komfortansprüchen mit möglichst niedrigen Glasanteilen gearbeitet werden sollte.

		12-T1	12-T2
		Winkel 6-0-29 %	Winkel 6-0-72 %
Transparenz- anteil	-	29 %	72 %
Heizung	kWh/m ² a	14,87	18,84
Beleuchtung	kWh/m ² a	36,59	31,77
Gesamt	kWh/m ² a	51,47	50,61
Veränderung			1,7 %

Tabelle 5-7: Einfluss des Transparenzanteils auf den Primärenergiebedarf des sechsgesossigen Winkelgebäudes (Heizen, Beleuchten)

		12-T1-KKM	12-T2-KKM
		Winkel 6-0-29 %	Winkel 6-0-72 %
Transparenz- anteil	-	29 %	72 %
Heizung	kWh/m ² a	14,87	18,83
Kühlung	kWh/m ² a	11,79	23,72
Beleuchtung	kWh/m ² a	36,59	31,77
Gesamt	kWh/m ² a	63,25	74,33
Veränderung			17,5 %

Tabelle 5-8: Einfluss des Transparenzanteils auf den Primärenergiebedarf des sechsgesossigen Winkelgebäudes (Heizen, Kühlen, Beleuchten)

5.7 Einfluss der Standard-Nutzungsprofile in den Zonen

Für das sechsgesossige Winkelgebäude (Variante 12 in Tabelle 3-1) wurde der Einfluss der Standard-Nutzungsprofile (DIN V 18599-10, A2-Ausgabe 12/2011) bzw. der Büroform untersucht. Zunächst wurde für die sechs Geschosse eine reine Büronutzung unterstellt, die aber in der Büroform variiert wurde:

- Einzelbüro (Tabelle A.1 in der Norm)
- Gruppenbüro (Tabelle A.2 in der Norm)
- Großraumbüro (Tabelle A.3 in der Norm)

		12-B1	12-B2	12-B3
		Winkel 6-0-EB	Winkel 6-0-GB	Winkel 6-0-GR
Büroform	-	Einzelbüro	Gruppenbüro	Großraumbüro
Heizung	kWh/m ² a	14,87	15,20	18,15
Beleuchtung	kWh/m ² a	36,59	32,51	51,55
Gesamt	kWh/m ² a	51,47	47,71	69,70
Veränderung gegenüber 12-B1			7,3 %	35,4 %

Tabelle 5-9: Einfluss der Büroform auf den Primärenergiebedarf

Für das Einzelbüro ergibt sich ein höherer Beleuchtungsbedarf aufgrund der größeren installierten Leistung als beim Gruppenbüro. Dies ist auf den Minderungsfaktor k_A zurückzuführen, »der die Tatsache berücksichtigt, dass bei einigen Raumnutzungsarten nur eine Teilfläche der Gesamtgrundfläche eines Raumes den Bereich der Sehauflage ausmacht.« (DIN V 18599-4, S. 56) Zwar ist beim Großraumbüro die installierte Leistung noch kleiner, allerdings wird mehr Energie für die Beleuchtung benötigt, da im Standard-Nutzungsprofil der Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit F_t für die Nutzungsart »Großraumbüro um 30% höher liegt als bei den anderen beiden Nutzungsarten. Der höhere Energiebedarf für die Heizung ist auf die vergrößerten Lüftungswärmeverluste zurückzuführen.«

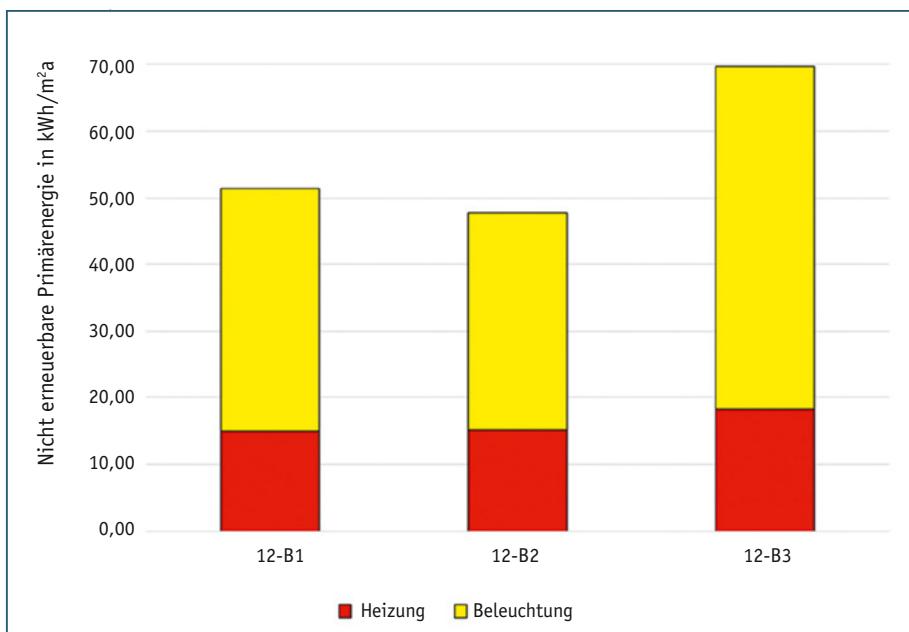


Abbildung 5-4: Einfluss der Büroform auf den Primärenergiebedarf (12-B1: Einzelbüro, 12-B2: Gruppenbüro, 12-B3: Großraumbüro)

Im Rahmen des Bilanzmodells der DIN V 18599 haben die Standard-Nutzungsprofile offensichtlich einen signifikanten Einfluss. Im vorliegenden Fall unterscheiden sich beispielsweise das Einzelbüro und das Großraumbüro beim Primärenergiebedarf immerhin um ca. 35 %, was vor allem auf die Beleuchtung zurückzuführen ist. Für die Varianten mit Einzel- bzw. Gruppenbüro (bzw. für alle bisherigen Varianten mit der Büroform Einzelbüro) wurden bei der Beleuchtung jeweils zwei Beleuchtungsbereiche in der Zone unterschieden. Die Bürozone wurde mit dem Standard-Modus nach DIN 18599-4 berechnet, für die Flurzone wurde eine installierte Leistung von 4 W/m² vorgegeben.

5.8 Wärmeerzeuger

Es wurden sechs Varianten mit jeweils unterschiedlichem Wärmeerzeuger bzw. Heizungssystem einander gegenübergestellt (Tabelle 5-10, Abbildung 5-5):

- Elektrische Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Flächenheizung
- Elektrische Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Flächenheizung
- Holzpelletkessel mit Flächenheizung
- Erdgas-Brennwertkessel mit Flächenheizung
- Holzpelletkessel mit Heizkörpern
- Erdgas-Brennwertkessel mit Heizkörpern.

Primärenergetisch am günstigsten schneiden erwartungsgemäß die beiden Holzpellet-Varianten ab. Die beiden Wärmepumpen-Varianten haben aufgrund des Anteils der Umweltwärmennutzung ebenfalls einen niedrigen Primärenergiebedarf. Der Gas-Brennwertkessel schneidet am schlechtesten ab. Hinzu kommt, dass mit dieser Wärmebereitstellungstechnologie der durch das Referenzgebäude gegebene Grenzwert der Energieeinsparverordnung (hier: 84,30 kWh/m²a) nicht erreicht werden kann.

		12-WE1	12-WE2	12-WE3	12-WE4	12-WE5	12-WE6
Wärmeerzeuger	-	S-W-WP	L-W-WP	H-P-Kessel	G-BW-Kessel	H-P-Kessel	G-BW-Kessel
Raumheiz-einrichtung	-	Flächen-heizung	Flächen-heizung	Flächen-heizung	Flächen-heizung	Heiz-körper	Heiz-körper
Temperatur-spreizung	°C/°C	35/28	35/28	35/28	35/28	70/55	70/55
Heizung	kWh/m ² a	24,62	34,24	16,47	71,65	14,87	68,31
Beleuchtung	kWh/m ² a	36,59	36,59	36,59	36,59	36,59	36,59
Gesamt	kWh/m ² a	61,22	70,83	53,06	108,24	51,47	104,91

Tabelle 5-10: Einfluss der Wärmeerzeugung auf den Primärenergiebedarf am Beispiel des sechsgeschossigen Winkelgebäudes

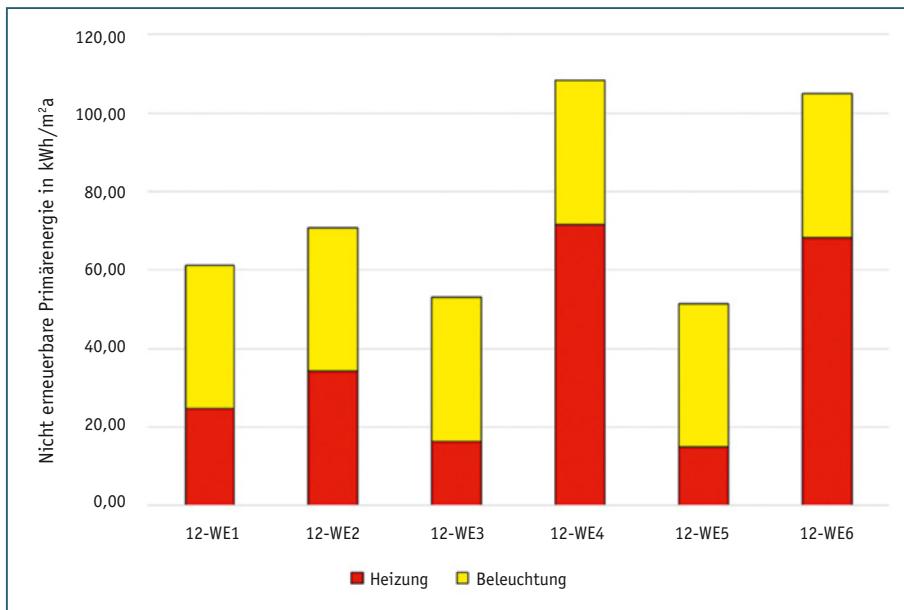


Abbildung 5-5: Einfluss der Wärmeerzeugung am Beispiel des sechsgeschossigen Winkelgebäudes

		12-WE1	12-WE2	12-WE3	12-WE4	12-WE5	12-WE6
	-	S-W-WP	L-W-WP	H-P-Kessel	G-BW-Kessel	H-P-Kessel	G-BW-Kessel
Erzeugernutzwärmeabgabe	$Q_{h,WE,a}$	288 856,41	288 856,41	304 247,25	288 856,41	282 993,88	268 140,09
Endenergie-Wärme	$Q_{E,WE,a}$	56 202,25	79 335,36	353 545,34	305 285,97	328 309,25	293 062,88
Arbeitszahl/ Nutzungsgrad	$\eta_{i,a}$	5,140	3,641	0,929	1,050	0,931	1,016
DIN 4701-10, C.3-4b, c		4,35	3,33	0,88	1,08	0,88	1,02
Recknagel/ Sprenger 2015		3,1–3,8	2,7–3,1	0,83	0,99	0,83	0,99

Tabelle 5-11: Nutzungsgrade der Wärmeerzeuger im Vergleich zu Literaturwerten

Bei den im Modell verwendeten Jahresnutzungsgraden (Tabelle 5-11) fällt auf, dass diese im Vergleich zu bekannten Werten aus der Literatur relativ hoch sind. In [Miara u. a., 2011, S. 22–32] wurden Arbeitszahlen im realen Betrieb gemessen, welche gut mit den Werten aus [Recknagel, Sprenger & Albers, 2015, S. 1372] korrespondieren:

- Erdreich-Wärmepumpen: 3,75–3,90
- Luft-Wärmepumpen: 2,87–3,03.

Für Gas-Brennwertkessel wurde vor einiger Zeit eine ähnliche Feldstudie durchgeführt [Wolff u.a., 2004, S.7]. Für ca. 60 untersuchte Anlagen (Heizleistung für Einfamilienhäuser) wurde ein mittlerer Jahresnutzungsgrad von ca. 0,96 festgestellt.

Würde man die Jahresnutzungsgrade im Wertebereich der genannten Erfahrungs-werte ansetzen, ergäbe sich ein Primärenergiebedarf nach Tabelle 5-12 und Abbil-dung 5-6: Primärenergiebedarf für die Heizung bei Nutzungsgraden im Realbetrieb. Die Varianten rücken näher zusammen, die Reihenfolge bleibt jedoch erhalten. So-mit kann man davon ausgehen, dass die dargestellten Varianten im EnEV-Verfahren entsprechend ihrer primärenergetischen Qualität richtig abgebildet werden. Bei Ver-gleichen zwischen berechnetem Energiebedarf und gemessenem Energieverbrauch ist jedoch von signifikanten Unterschieden auszugehen, welche allerdings auch mit einer Reihe weiterer Abweichungen (z.B. reales Nutzerverhalten, realer Betrieb im Gegensatz zu den Standard-Nutzungsprofilen) zu begründen sind.

		12-WE1	12-WE2	12-WE3	12-WE4	12-WE5	12-WE6
	–	S-W-WP	L-W-WP	H-P-Kessel	G-BW-Kessel	H-P-Kessel	G-BW-Kessel
Erzeugernutz-wärmeabgabe	$Q_{h,WE,a}$	288 856,41	288 856,41	304 247,25	288 856,41	282 993,88	268 140,09
Arbeitszahl/ Nutzungsgrad	$\eta_{i,a}$	3,100	2,700	0,830	0,990	0,830	0,990
Endenergie-Wärme	$Q_{E,W,a}$	93 179,49	106 983,86	395 887,99	323 869,31	368 233,00	300 641,92
Primärener-gie-Wärme	$Q_{p,WE,a}$	40,20	45,88	18,31	75,96	16,60	70,07
Mehrbedarf		63 %	34 %	11 %	6 %	12 %	3 %

Tabelle 5-12: Primärenergiebedarf für die Heizung bei Nutzungsgraden im Realbetrieb

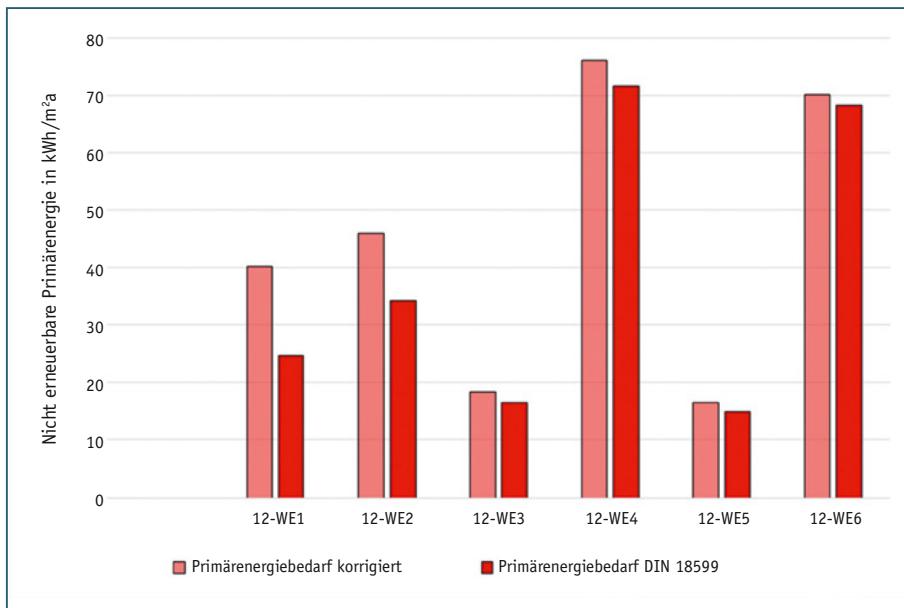


Abbildung 5-6: Primärenergiebedarf für die Heizung bei Nutzungsgraden im Realbetrieb

	12-WE 4	12-WE 6
Wärmeerzeugung	Gas-BW-Kessel	Gas-BW-Kessel
Heizung	Flächenheizung	Heizkörper
Temperatur °C/°C	35/28	70/55
Nutzenergie		
Nutzenergie Heizung	55,61	49,06
Nutzenergie Beleuchtung	20,33	20,33
Endenergie		
Endenergie Heizung	71,43	68,57
Hilfsenergie Heizung	0,48	0,20
Endenergie Beleuchtung	20,33	20,33
Nicht erneuerbare Primärenergie		
Primärenergie Heizung	71,65	68,31
Primärenergie Beleuchtung	36,59	36,59
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	108,24	104,91

Tabelle 5-13: Gas-Brennwertkessel mit Flächenheizung und mit Heizkörperheizung (alle Werte in kWh/m²a)

Interessant ist auch die Frage, warum bei den Kessel-Varianten die Systeme mit Heizkörpern gegenüber den Systemen mit Flächenheizung und demzufolge niedrigeren Systemtemperaturen primärenergetisch geringfügig besser abschneiden, was man so nicht erwartet hätte (Tabelle 5-13). Der geringere Nutzenergiebedarf für das Heizkörpersystem ergibt sich durch die größeren internen Wärmeverluste durch das Verteilsystem (bezeichnet als »ungeregelter Wärmeeintrag durch das Heizsystem«). Dieser Ansatz in der DIN 18599-5 ist als kritisch anzusehen, da der Wärmebedarf des Raumes (Nutzenergie) aus der an der Heizeinrichtung (Heizkörper oder Flächenheizung) übergebenen Wärme und den Verlusten der innenliegenden Heizverteilung gedeckt wird (Abbildung 5-7). Die Summe beider Beträge ist die Wärme, welche der Wärmeerzeuger in das thermisch konditionierte Volumen einspeist. Sie hängt allein von der bauphysikalischen Beschaffenheit der Raumkonstruktion (U-Werte, transpa-

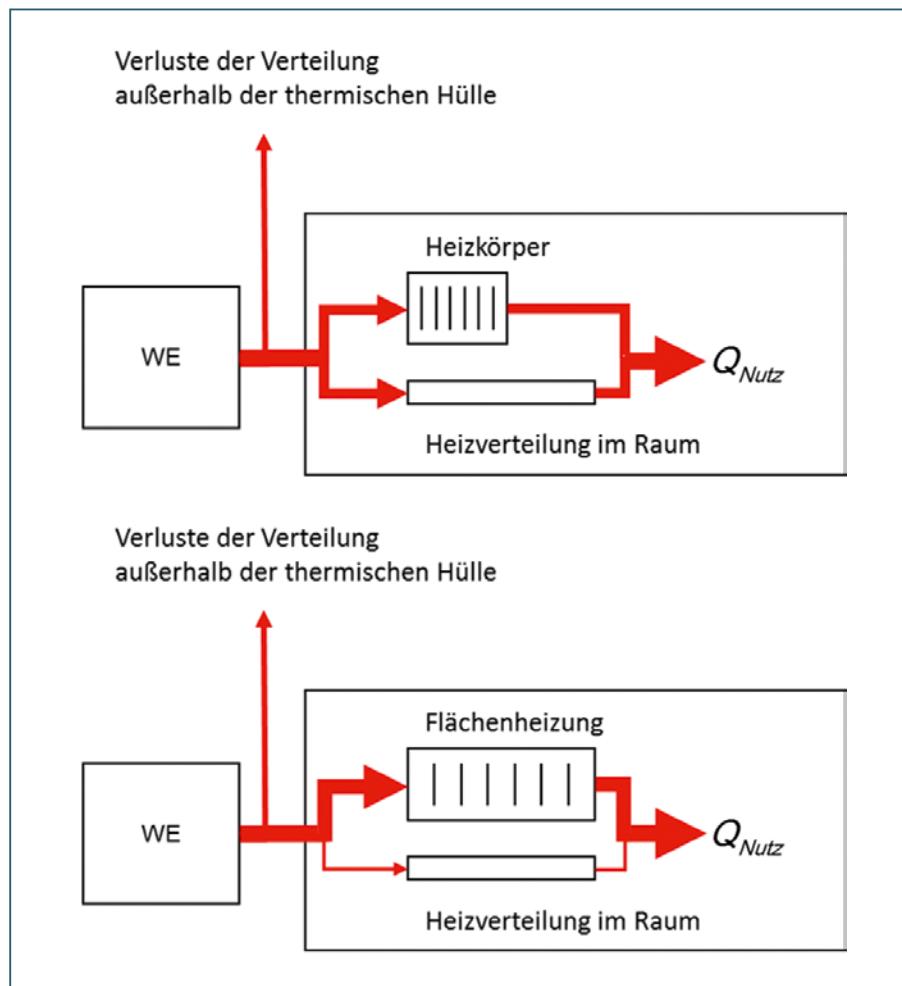


Abbildung 5-7: Wärmebilanz eines Raumes (oben System mit Heizkörpern, unten System mit Flächenheizung)

rente Flächen, Undichtheiten) sowie von internen Quellen ab, welche jedoch nicht vom Wärmeerzeuger gedeckt werden (Abwärme von Personen und Technik im Raum).

Eher wäre zu erwarten, dass das System mit den größeren Verteilungsverlusten (Heizkörpersystem) schlechter abschneidet, also einen größeren Nutzwärmebedarf hat. Dieser würde sich in höheren Raumtemperaturen äußern, welche nicht vermieden werden können, da die Regeleinrichtung bereits geschlossen ist, die Verteilung aber immer noch mehr Wärme abgibt, als der Raum benötigt. Die Raumregeleinrichtung (z. B. Thermostatventile) drosselt die Energiezufuhr bei Erreichen der Solltemperatur. Dadurch wird die Energiezufuhr am Heizkörper zusätzlich um den Betrag der Verteilungsverluste im Raum reduziert. Wenn das Regelventil geschlossen ist, würde der Raum überheizt werden. Möglich wäre es aber auch, dass die Fußbodenheizsysteme aufgrund ihrer größeren Trägheit höhere Regelverluste haben.

Der Jahresnutzungsgrad des Gas-Brennwertkessels (Erzeugerwärmeabgabe/Endenergie) ist dagegen bei dem System mit Flächenheizung mit geringeren Systemtemperaturen (35/28 °C) etwas besser, als bei der Variante mit Heizkörpern (70/55 °C), was den Erwartungen entspricht (Vgl. Tabelle 5-11).

5.9 Vergleich mit dem Berechnungsansatz DIN 4701-10

Der Primärenergiebedarf für das Heizen kann derzeit noch mit dem Berechnungsansatz nach DIN 4701-10 bestimmt werden.³ Dieses Verfahren ist zwar im öffentlich-rechtlichen Genehmigungsverfahren nur für Wohngebäude anwendbar, die Norm gilt aber für alle Gebäude. Die Ergebnisse in Tabelle 5-14 liegen, abgesehen von der Variante 12-WE1 (Sole-Wasser-Wärmepumpe), unter denen, welche nach dem Verfahren der DIN V 18599 berechnet wurden.

³ Man muss davon ausgehen, dass die DIN 4701-10 demnächst zurückgezogen werden wird und nur noch das Verfahren nach DIN V 18599 angewendet werden kann.

		Her-kunft	Einheit	12-WE1	12-WE2	12-WE3	12-WE4	12-WE5	12-WE6
spezifische Nutzenergie	q_h	IPB	kWh/m ² a	55,61	55,61	55,61	55,61	49,06	49,06
Nutzenüber-gabe	$q_{H,ce}$	C.3-1	kWh/m ² a	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
Verteilungs-verlust	$q_{H,d}$	C.3-2a	kWh/m ² a	0,40	0,40	0,40	0,40	1,70	1,70
Hilfsenergie Verteilung	$q_{H,d,HE}$	C.3-2c	kWh/m ² a	0,53	0,53	0,53	0,53	0,22	0,22
Aufwandszahl Erzeugung	$e_{H,g}$	C.3-4b	kWh/m ² a	0,23	0,30	1,14	0,93	1,14	0,98
Hilfsenergie Erzeugung	$q_{H,g,HE}$	C.3-4b	kWh/m ² a	4,38	0,00	0,13	0,13	0,13	0,13
Primärenergie-faktor	f_p	DIN 18599		1,80	1,80	0,20	1,10	0,20	1,10
Primärenergie-faktor	$f_{p,elt}$	DIN 18599		1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Primärenergie, Heizenergie	$q_{H,WE,p}$		kWh/m ² a	23,64	30,84	13,02	58,42	11,82	55,91
Primärenergie, Hilfsenergie	$q_{H,HE,p}$		kWh/m ² a	8,84	0,95	1,19	1,19	0,63	0,63
Primärenergie, Heizen	$q_{H,p}$		kWh/m ² a	32,49	31,79	14,21	59,61	12,45	56,54
Primärenergie, IPB			kWh/m ² a	24,62	34,24	16,47	71,65	14,87	68,31
Veränderung gegenüber DIN 18599				-32 %	7 %	14 %	17 %	16 %	17 %

Tabelle 5-14: Primärenergiebedarf für das Heizen nach DIN 4701-10

Für die Wärmepumpe wird ein deutlich höherer Hilfsenergiebedarf veranschlagt, welcher sich in der DIN 4701-10 nach der folgenden empirischen Formel berechnet:

$$q_{g,HE} = 1,9 \cdot A_N^{-0,1} \quad F\ 5-1$$

$q_{g,HE}$ flächenspezifischer Hilfsenergiebedarf für eine Sole-Wasser-Wärmepumpe
 A_N Bezugsfläche; hier: NGF

In der DIN V 18599-5 wird die Hilfsenergie der Wärmepumpe direkt über den Druckverlust und den Volumenstrom im Solekreislauf ermittelt:

$$q_{WP,HE} = \frac{\Delta p \cdot \dot{V}}{\eta} \cdot \Delta \tau \quad F\ 5-2$$

$q_{WP,HE}$ flächenspezifischer Hilfsenergiebedarf für eine Sole-Wasser-Wärmepumpe
 Δp Druckverlust im Solekreislauf
 \dot{V} Volumenstrom im Solekreislauf
 η Wirkungsgrad der Solepumpe
 $\Delta \tau$ Laufzeit der Solepumpe

5.10 Gas-Brennwertkessel mit Solarthermie

Damit die Varianten mit Gas-Brennwertkessel die Energieeinsparverordnung und das Erneuerbare Energien-Wärme-Gesetz einhalten, sind folgende Veränderungen notwendig (Tabelle 5-15):

- Veränderung des Dämmstandards von 1 auf 2
- Direktes Beleuchtungssystem anstelle des direkt/indirekten
- Installation einer thermischen Solaranlage zur Heizungsunterstützung.

	Variante 12-WE-6	Variante 12-WE-6-1	Variante 12-WE-6-2
Dämmstandard	1	2	2
Wärmeerzeugung	Gas-BW-Kessel	Gas-BW-Kessel	Gas-BW-Kessel
Heizung	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper
Temperatur °C/°C	70/55	70/55	70/55
Beleuchtung	direkt/indirekt	direkt	direkt
Solaranlage	-	-	ja
Nutzenergie			
Nutzenergie Heizung	49,06	28,87	28,87
Nutzenergie Beleuchtung	20,33	14,87	14,87
Endenergie			
Endenergie Heizung	68,57	44,07	36,21
Hilfsenergie Heizung	0,20	0,15	0,51
Endenergie Beleuchtung	20,33	14,87	14,87
Nicht erneuerbare Primärenergie			
Primärenergie Heizung	68,31	43,94	36,80
Primärenergie Beleuchtung	36,59	26,77	26,77
Summe	104,91	70,71	63,56
Bedarfswert Referenzgebäude	84,30	84,30	84,30

Tabelle 5-15: Reduzierung des Primärenergiebedarfs für das Gebäude mit Gas-Brennwertkessel (Dämmstandard siehe Tabelle 3-2).

Der Ertrag der Solaranlage wurde überschlägig abgeschätzt, da das Berechnungsverfahren nur thermische Solaranlagen zur Trinkwarmwasserbereitung bzw. Kombianlagen zur Trinkwarmwasserbereitung und Heizungsunterstützung vorsieht. Es wurde eine Anlage mit Flachkollektoren, welche auf dem Dach nach Süden ausgerichtet werden, vorgesehen:

Bezugsfläche (NGF)		4274,00	m ²
Dachfläche	A _{Dach}	864,00	m ²
wirksame Kollektorfläche	A _{Koll}	400,00	m ²
System-Nutzungsgrad	η _{sys}	30	%

Tabelle 5-16:
Daten der Solaranlage

Das Solarwärmeangebot der Kollektoren wurde mit Hilfe der Strahlungswerte aus der DIN 4108-6 monatsweise berechnet:

$$Q_{\text{Solar},i} = N_{\text{Mon}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{d} \cdot \dot{I}_{\text{Solar}} \cdot A_{\text{Koll}} \cdot \eta_{\text{Sys,a}} \cdot \frac{1}{1000} \quad \text{F 5-3}$$

Q_{Solar,i} Solarwärmeangebot im Monat i in kWh

N_{Mon} Anzahl der Tage pro Monat

dot{I}_{Solar} Strahlungsintensität (DIN 4108-6, Süd, 45°) in W/m²

A_{Koll} wirksame Kollektorfläche in m²

η_{sys,a} System-Nutzungsgrad

Die reale Solarwärmennutzung wurde empirisch folgendermaßen abgeschätzt:

$$Q_{\text{Solar,Nutz},i} = 0,7 \cdot \min(Q_{\text{Bedarf}}, Q_{\text{Solar},i}) \quad \text{F 5-4}$$

Q_{Solar,Nutz,i} real genutzte Solarwärme im Monat i in kWh

Q_{Bedarf} Wärmebedarf (= Erzeugernutzwärmeabgabe ohne Solaranlage) im Monat i in kWh

	Anzahl Tage im Monat	Strahlungsintensität Süd, 45°	Energieintensität Süd, 45°	theoretisches Solarwärmemangebot	Wärmebedarf System	reale Solarwärmennutzung
Monat	d/Mon	W/m²	kWh/m²	kWh	kWh	kWh
1	31	48,00	35,71	4 285,44	37 140,47	2 999,81
2	28	90,00	60,48	7 257,60	30 854,76	5 080,32
3	31	118,00	87,79	10 535,04	20 854,76	7 374,53
4	30	170,00	122,40	14 688,00	4 120,78	2 884,55
5	31	205,00	152,52	18 302,40	0,00	0,00
6	30	188,00	135,36	16 243,20	0,00	0,00
7	31	196,00	145,82	17 498,88	0,00	0,00
8	31	186,00	138,38	16 606,08	0,00	0,00
9	30	137,00	98,64	11 836,80	501,91	351,34
10	31	100,00	74,40	8 928,00	9 743,61	6 249,60
11	30	59,00	42,48	5 097,60	28 218,84	3 568,32
12	31	30,00	22,32	2 678,40	38 988,40	1 874,88
	365		1 116,31	133 957,44	170 423,53	30 383,34

Tabelle 5-17: Ertragsabschätzung für die thermische Solaranlage

Schließlich kann ein solarer Deckungsanteil festgestellt werden, mit welchem diese Entwurfsvariante ebenfalls das EEGWärmeG erfüllt.

Erforderlicher Anteil der Solarwärmennutzung (15 %)	25 563,53	kWh/a
erreichte Solarwärmennutzung	30 383,34	kWh/a
erreichter Deckungsanteil	18	%

5.11 Kälteerzeuger

Der Einfluss des Kälteerzeugers wurde zunächst für eine Konstellation untersucht, bei welcher die Lüftung über die Fenster erfolgt und im Raum eine Flächenkühlung installiert ist. In der Basisvariante 12-KE1 kommt eine elektrische Kompressions-Kältemaschine zum Einsatz. Diese hat folgende Konfiguration:

- indirektes System mit 16/18 °C
- wassergekühlt, Trockenkühler, keine freie Kühlung.

Ersetzt man den Trockenkühler durch einen Verdunstungsrückkühler, verringert sich der Endenergiebedarf (Tabelle 5-19) um ca. 20 %. Allerdings sind Verdunstungskühler teurer und unter Umständen kann es hygienische Probleme im Zusammenhang mit dem Auftreten von Legionellen geben.

Ein etwas geringerer Bedarf ergibt sich, wenn zusätzlich ein System zur Freikühlung installiert wird, bei welchem mit Hilfe des Kältepottenzials der Außenluft gekühlt wird. Die hier nur geringe Energieeinsparung steht im Widerspruch z. B. zu [Recknagel, Sprenger & Albers, 2015, S. 1638], wo von signifikanten Anteilen der freien Kühlung bei Kühldecken ausgegangen wird.

Bei der vierten Variante wurde ein Sondenfeld mit vertikalen Erdsonden (Doppel-U-Rohr, 100 m Tiefe) zur Kühlung eingesetzt, was den Primärenergiebedarf für die Kältebereitstellung auf etwa ein Drittel verringert.

		12-KE1	12-KE2	12-KE3	12-KE4
Wärmeerzeuger	–	S-W-WP	S-W-WP	S-W-WP	S-W-WP
Kälteerzeuger	–	KKM	KKM	KKM + freie Kühlung	Erdsonden
Rückkühler		Trocken-rückkühler	Verdunstungsrück-kühler	Verdunstungsrück-kühler	–
Kühlleinrichtung	–	Flächen-kühlung	Flächen-kühlung	Flächen-kühlung	Flächen-kühlung
Heizung	kWh/m ² a	22,12	22,12	22,12	22,12
Kühlung	kWh/m ² a	11,61	10,17	9,90	4,37
Beleuchtung	kWh/m ² a	37,37	37,37	37,37	37,37
Gesamt	kWh/m ² a	71,10	69,66	69,39	63,86

Tabelle 5-18: Primärenergiebedarf des sechsgeschossigen Winkelgebäudes bei verschiedenen Kälteerzeugern

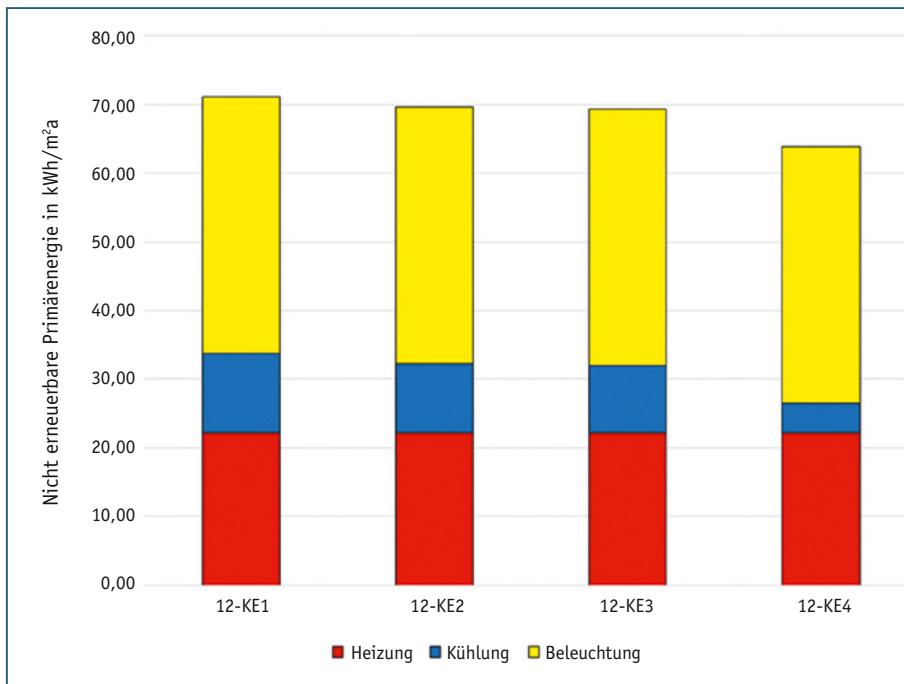


Abbildung 5-8: Primärenergiebedarf des sechsgeschossigen Winkelgebäudes bei verschiedenen Kälteerzeugern

Die Tabelle 5-19 verdeutlicht den Vorteil der Kühlung über die Erdsonden. Die Arbeitszahl der Kälteerzeugung erhöht sich signifikant. Inwieweit der Kältebedarf des Gebäudes vollständig abgedeckt werden kann, muss hier offen bleiben. Möglicherweise muss eine zusätzliche Kompressionskältemaschine vorgesehen werden.

		12-KE1	12-KE2	12-KE3	12-KE4
		KKM + TK	KKM + VK	KKM + VK + freie Kühlung	Erdsonden
Erzeugernutzkälteabgabe	$Q_{k,KE,a}$	62 182,98	62 182,98	62 182,98	62 182,98
Endenergie-Kälte	$Q_{E,KE,a}$	18 267,62	14 693,52	14 060,79	1828,91
Arbeitszahl	$\eta_{i,a}$	3,40	4,23	4,42	34,00

Tabelle 5-19: Jahresarbeitszahlen der Kälteerzeuger

5.12 Lüftung und Klimatisierung

Weit verbreitet sind luftgestützte Klimaanlagen. Der klassische Vertreter dieses Anlagentyps ist die Nur-Luft-Anlage mit konstantem Volumenstrom (vgl. Abschnitt 3.4.2). Der Volumenstrom muss in Abhängigkeit der Kälteleistung bemessen werden.

Analog zum Beispiel 4-1 kann der erforderliche Volumenstrom für das sechsgeschossige Winkelgebäude abgeschätzt werden:

$$\dot{V}_{\text{Kühl}} = \frac{\dot{q}_{\text{Kühl}} \cdot A}{\rho_L \cdot c_p \cdot \Delta t} \quad \text{F 5-5}$$

- $\dot{q}_{\text{Kühl}}$ flächenspezifische Kühllast
- A Bezugsfläche (hier NGF)
- ρ_L Dichte der Luft
- c_p spezifische Wärmekapazität der Luft
- Δt Temperaturdifferenz Zuluft – Raumtemperatur

Bezugsfläche	A	3 419,20	m^2
flächenspezifische spezifische Kühllast	$q_{\text{Kühl}}$	40	W/m^2
Temperaturdifferenz	Δt	5,5	K
Dichte der Luft	ρ_L	1,2	kg/m^3
spezifische Wärmekapazität der Luft	c_p	1	$\text{kJ}/\text{kg K}$
kühlbedingter Volumenstrom	$V_{\text{kühl}}$	74 600,73	m^3/h

Tabelle 5-20: Jahresarbeitszahlen der Kälteerzeuger

Das Ergebnis entspricht in etwa dem im Berechnungsalgorithmus nach DIN 18599 verwendeten Volumenstrom der Variante 12-RLT1-Pellet in Tabelle 5-21. Durch den hohen konstanten Volumenstrom ergibt sich ein hoher Energiebedarf für den Lufttransport. Beim System mit variablem Volumenstrom, bei welchem der Volumenstrom der jeweils erforderlichen Kühllast angepasst wird, reduziert sich der Aufwand für den Lufttransport deutlich.

Mit der Variante 12-RLT3-Pellet wird ein Luft-Wasser-System abgebildet. Der Luftvolumenstrom wird jetzt nach dem hygienisch notwendigen Luftbedarf (auch als physiologischer Luftbedarf bezeichnet) bemessen. Dieser ist im Standard-Nutzungsprofil nach DIN 18599-10 für das Einzelbüro mit $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ bezogen auf NGF festgelegt. Das Verhältnis von hygienisch erforderlichem Luftvolumenstrom zum kühlbedingten, konstanten Volumenstrom beträgt hier etwa 1:5 (vgl. Abschnitt 4.2).

		12-RLT 1-Pellet	12-RLT 2-Pellet	12-RLT 3-Pellet
Wärmeerzeuger	–	Holzpelletkessel	Holzpelletkessel	Holzpelletkessel
Kälteerzeuger	–	KKM-wasser-gekühlt	KKM-wasser-gekühlt	KKM-wasser-gekühlt
statische Kühlleinrichtung	–	–	–	Flächenkühlung
RLT und Volumenstromregelung	–	konstant-Kühlen	variabel-Kühlen	konstant-physiologisch
charakteristischer Volumenstrom	m^3/h	75 771,82	–	13 676,80
Luftwechsel	1/h	6,11	–	1,10
Heizung	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	17,99	11,46	10,48
Kühlung	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	19,46	9,83	15,19
Lüftung	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	93,64	18,54	16,90
Beleuchtung	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	37,37	37,37	37,37
Gesamt	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	168,45	77,20	79,95

Tabelle 5-21: Primärenergiebedarf des sechsgeschossigen Winkelgebäudes bei verschiedenen Klimasystemen (Holzpelletkessel, Kühlung mit KKM)

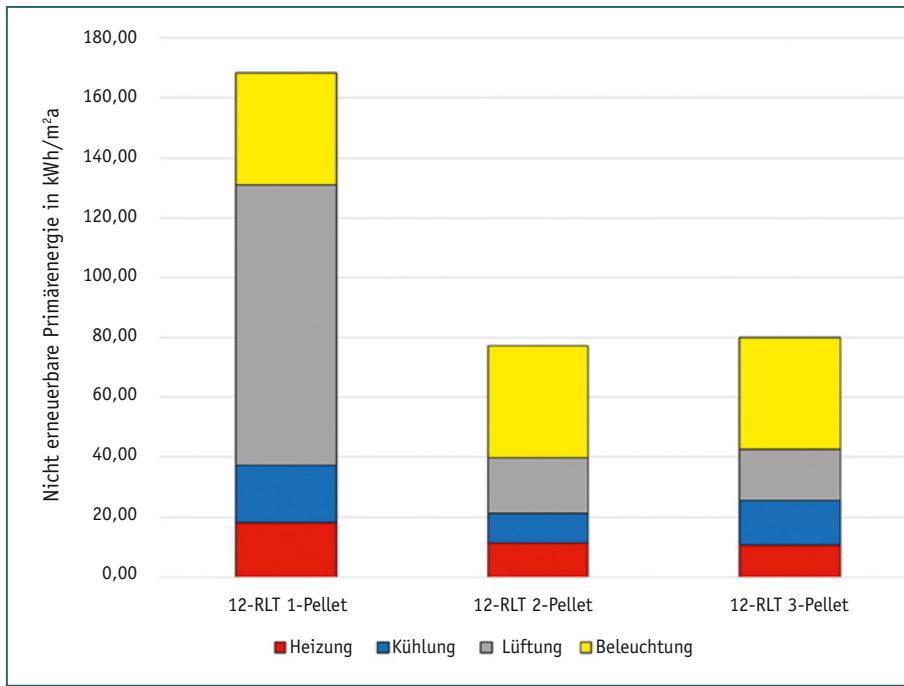


Abbildung 5-9: Primärenergiebedarf des sechsgeschossigen Winkelgebäudes bei verschiedenen Klimasystemen (Holzpelletkessel, Kühlung mit KKM)

Die Variante 12-RLT 1-Pellet in Tabelle 5-21 bzw. Abbildung 5-9 würde nicht die EnEV 2016 erfüllen. Diese Variante würde in dieser Konstellation auch mit Änderung des Dämmstandards und des Beleuchtungssystems nicht genehmigungsfähig werden.

Wählt man für das zu klimatisierende Gebäude als Wärmeerzeuger eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit vertikalen Erdsonden aus, über welche gleichzeitig gekühlt werden kann, ergeben sich merkbar geringere Energiebedarfe für die drei Klimatisierungsvarianten (Tabelle 5-22 und Abbildung 5-10). Auch hier erreicht man nur mit der VVS-Anlage (VVS ... Variabler Volumenstrom, d. h. hier kühllastabhängig geregelter Volumenstrom) bzw. der Luft-Wasser-Anlage die EnEV-Anforderungen (Varianten 12-RLT 2-WP und 12-RLT 3-WP). Allerdings muss hier bei sehr hohen Komfortanforderungen der Einsatz eines redundanten Kälteerzeugers (in der Regel eine KKM) vorgesehen werden.

		12-RLT 1-WP	12-RLT 2-WP	12-RLT 3-WP
Wärmeerzeuger	–	S-W-WP	S-W-WP	S-W-WP
Kälteerzeuger	–	Erdsonden	Erdsonden	Erdsonden
statische Kühleinrichtung	–	–	–	Flächenkühlung
RLT und Volumenstromregelung	–	konstant-Kühlen	variabel-Kühlen	konstant-physiologisch
charakteristischer Volumenstrom	m^3/h	75 771,82	–	13 676,80
Luftwechsel	1/h	6,11	–	1,10
Heizung	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	24,77	15,01	22,30
Kühlung	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	3,82	2,14	2,83
Lüftung	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	93,64	18,07	16,90
Beleuchtung	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	37,37	37,37	37,37
Gesamt	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	159,59	72,59	79,40

Tabelle 5-22: Primärenergiebedarf des sechsgeschossigen Winkelgebäudes bei verschiedenen Klimasystemen (Sole-Wasser-Wärmepumpe, Kühlung mit Erdsonden)

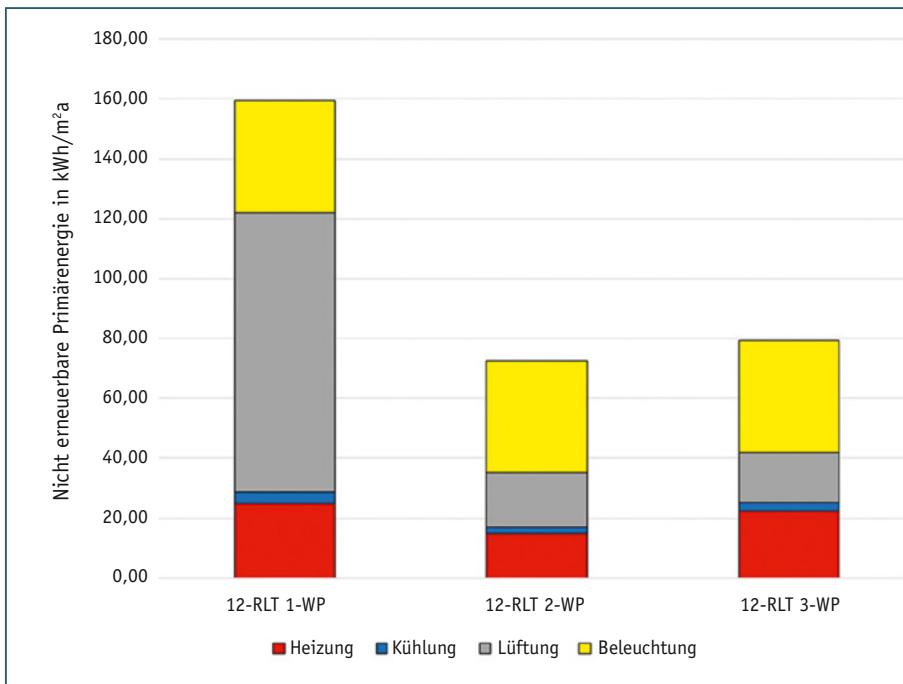


Abbildung 5-10: Primärenergiebedarf des sechsgeschossigen Winkelgebäudes bei verschiedenen Klimasystemen (Sole-Wasser-Wärmepumpe, Kühlung mit Erdsonden)

5.13 Indirekte Verdunstungskühlung

Durch die indirekte Verdunstungskühlung (vgl. Abbildung 3-17) kann der Energiebedarf für die Kältebereitstellung reduziert werden. Wird zusätzlich zur Kompressions-Kältemaschine die Verdunstungskühlung vorgesehen, dann verringert sich der Primärenergiebedarf um ca. 7 %. Geht man noch einen Schritt weiter und verzichtet auf den Kälteerzeuger, reduziert sich der Energiebedarf um 12–13 %, allerdings kann dann der Kältebedarf nicht mehr vollständig gedeckt werden (Abbildung 5-11, Tabelle 5-23 bzw. Abbildung 5-12, Tabelle 5-24). Zu beachten ist noch, dass alle Varianten mit dem konstanten, kühlbedingten Volumenstrom nicht die EnEV erfüllen.

		12-RLT 1-Pellet	12-RLT 1-Pellet-VK	12-RLT 1-Pellet-nur VK
Wärmeerzeuger	-	Holzpelletkessel	Holzpelletkessel	Holzpelletkessel
Kälteerzeuger	-	KKM-wasser-gekühlt	KKM-wasser-gekühlt	-
statische Kühleinrichtung	-	-	-	-
RLT und Volumenstromregelung	-	konstant-Kühlen	variabel-Kühlen	konstant-physiologisch
indirekte Verdunstungskühlung		nein	ja	ja
charakteristischer Volumenstrom	m^3/h	75 771,82	75 771,82	75 771,82
Luftwechsel	1/h	6,11	6,11	6,11
Heizung	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	17,99	18,00	18,00
Kühlung	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	19,46	7,31	0,00
Lüftung	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	93,64	93,64	93,64
Beleuchtung	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	37,37	37,37	37,37
Gesamt	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	168,45	156,32	149,01
Reduzierung gegenüber 12-RLT 1-Pellet			7 %	12 %

Tabelle 5-23: Einfluss der indirekten Verdunstungskühlung (konstanter, kühlbedingter Volumenstrom)

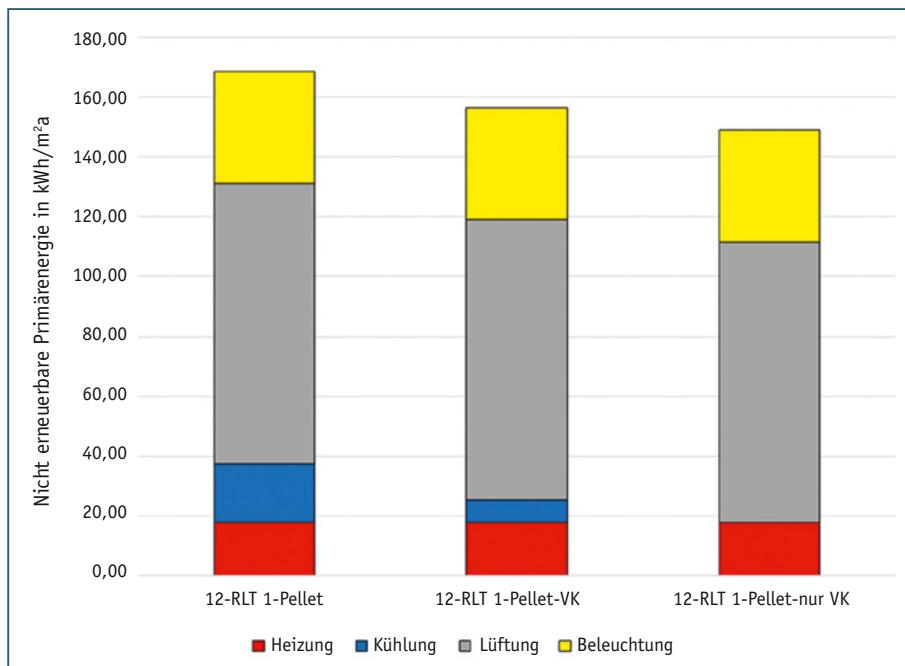


Abbildung 5-11: Einfluss der indirekten Verdunstungskühlung (konstanter, kühlbedingter Volumenstrom)

		12-RLT 2-Pellet	12-RLT 2-Pellet-VK	12-RLT 2-Pellet-nur VK
Wärmeerzeuger	-	Holzpelletkessel	Holzpelletkessel	Holzpelletkessel
Kälteerzeuger	-	KKM-wasser-gekühlt	KKM-wasser-gekühlt	-
statische Kühleinrichtung	-	-	-	-
RLT und Volumenstromregelung	-	variabel-Kühlen	variabel-Kühlen	variabel-Kühlen
indirekte Verdunstungskühlung		nein	ja	ja
charakteristischer Volumenstrom	m^3/h	-	-	-
Luftwechsel	1/h	-	-	-
Heizung	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	11,46	11,46	11,46
Kühlung	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	9,83	4,36	0,00
Lüftung	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	18,54	18,54	18,54
Beleuchtung	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	37,37	37,37	37,37
Gesamt	$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$	77,20	71,73	67,37
Reduzierung gegenüber 12-RLT 1-Pellet			7 %	13 %

Tabelle 5-24: Einfluss der indirekten Verdunstungskühlung (variabler, kühlbedingter Volumenstrom)

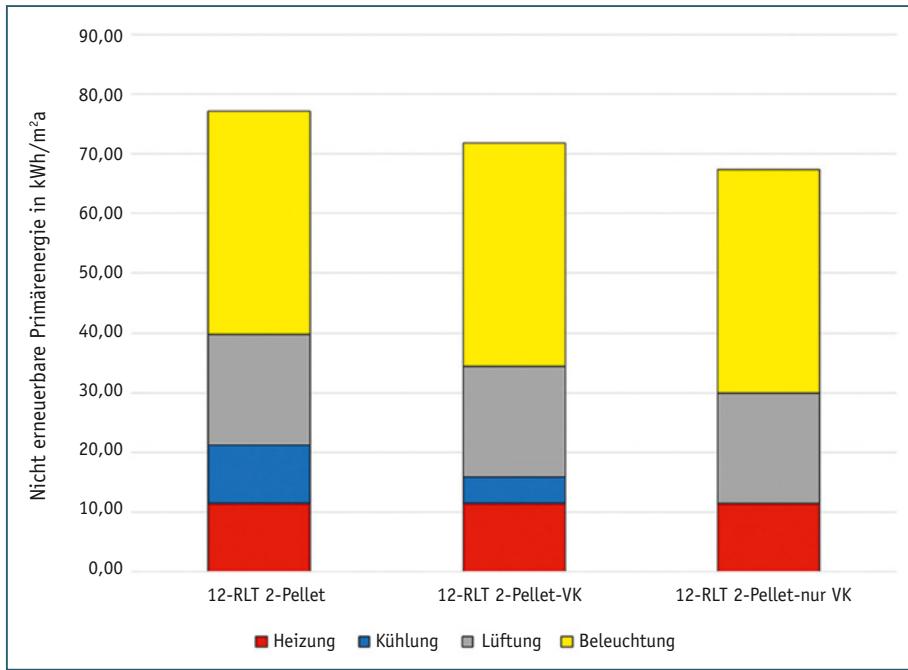


Abbildung 5-12: Einfluss der indirekten Verdunstungskühlung (variabler, kühlbedingter Volumenstrom)

5.14 Beleuchtung

Die Art des Beleuchtungssystems hat einen signifikanten Einfluss auf den Primärenergiebedarf, was auch auf den Primärenergiefaktor für Elektroenergie zurückzuführen ist (Tabelle 5-25 und Abbildung 5-13). Die Beleuchtungsart wurde nur in der Bürozone variiert. Im Flur wurde durchgängig ein direktes Beleuchtungssystem vorgesehen.

		12-BEL1-2Z	12-BEL2-2Z	12-BEL3-2Z	12-BEL4-2Z
Wärmeerzeuger	-	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel
Beleuchtungsart	-	direkt/ indirekt	direkt	indirekt	direkt/ indirekt
Beleuchtungssteuerung	-	Manuell	Manuell	Manuell	Automatisch
Heizung	kWh/m ² a	13,86	14,58	12,39	14,55
Beleuchtung	kWh/m ² a	36,61	26,78	58,25	29,75
Gesamt	kWh/m ² a	50,47	41,37	70,64	44,30
Reduzierung zu 12-BEL1-2Z		18 %	-40 %	12 %	

Tabelle 5-25: Primärenergiebedarf des sechsgeschossigen Winkelgebäudes bei verschiedenen Beleuchtungssystemen)

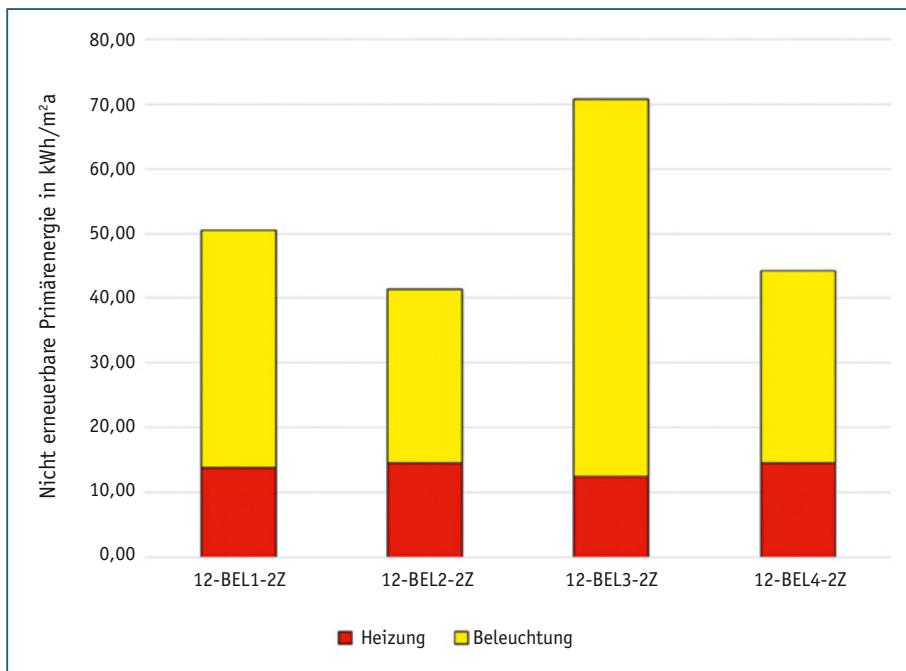


Abbildung 5-13: Primärenergiebedarf des sechsgeschossigen Winkelgebäudes bei verschiedenen Beleuchtungssystemen

5.15 Zusammenfassung

Die Abbildung 5-14 zeigt die Ergebnisse aller Varianten, welche im Kapitel 5 analysiert wurden. Der Primärenergiebedarf reicht von ca. 40 kWh/m²a bis zu ca. 170 kWh/m²a. Lässt man die Varianten, welche nicht die aktuelle Energieeinsparverordnung erfüllen außer Acht, bleibt der Primärenergiebedarf unter 100 kWh/m²a. Die Größe des Gebäudes hat keinen wesentlichen Einfluss (siehe dazu Variante 19–21 im Vergleich zu Variante 1–18). Dagegen hat die Geschossigkeit einen deutlichen Einfluss (z. B. Variante 1–3). Die Kompaktheit hat ebenfalls kaum einen nachweisbaren Einfluss auf den Primärenergiebedarf, weil Heizbedarf und Beleuchtungsbedarf gegenseitig sind.

Betrachtet man nur das sechsgeschossige Winkelgebäude (Abbildung 5-15) fällt auf, dass sich bauliche Aspekte (zusätzliches TG-Geschoss, Dämmstandard, Transparenzanteil) nur marginal auf den Bedarf des unklimatisierten Gebäudes auswirken. Dagegen hat die Art des Beleuchtungssystems bzw. der Beleuchtungssteuerung einen deutlichen Einfluss.

Durch eine wie auch immer gestaltete Klimatisierung erhöht sich der Energiebedarf ebenfalls merkbar. Einen extremen Bedarf würden KVS-Anlagen verursachen, allerdings sind sie in der untersuchten Form nicht genehmigungsfähig. Deutlich besser schneiden VVS-Anlagen bzw. Luft-Wasser-Anlagen ab.

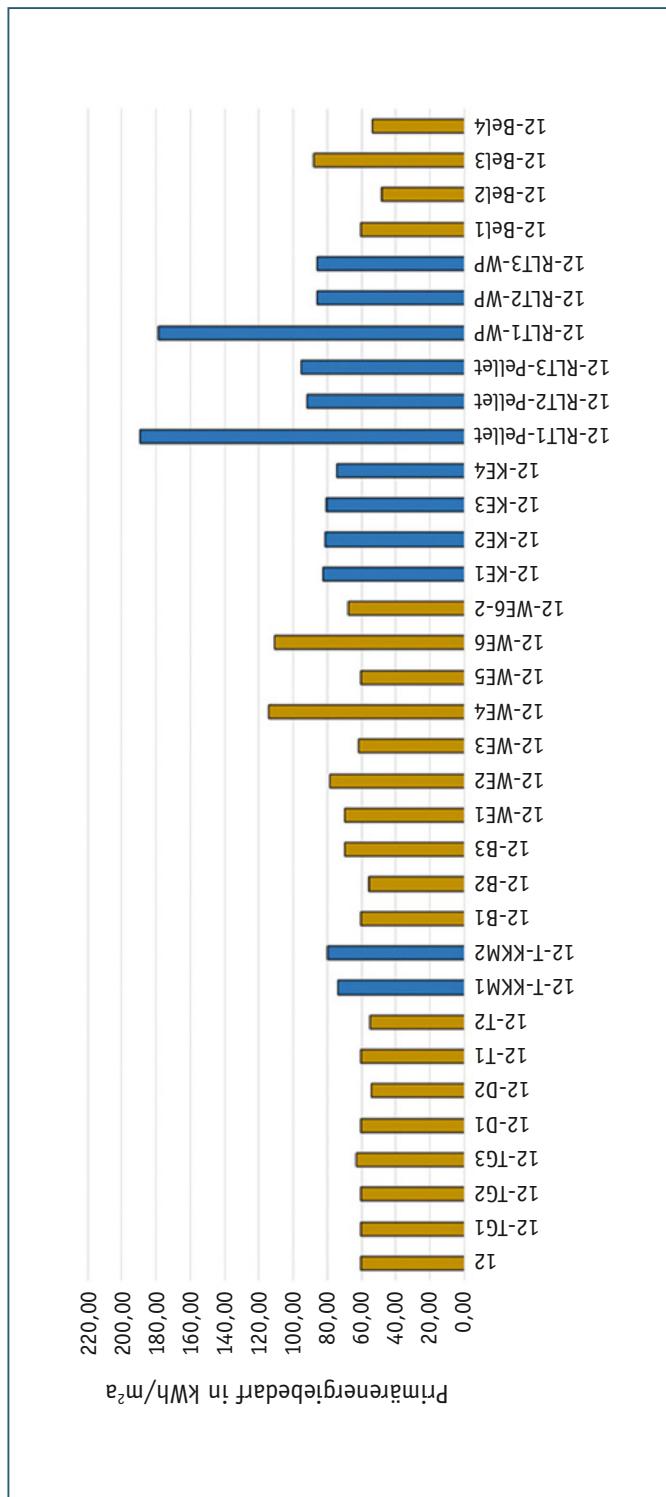


Abbildung 5-14: Primärenergiebedarf für das Winkelgebäude (alle Varianten des Kapitels 5, die blauen Säulen kennzeichnen Varianten mit Klimatisierung)

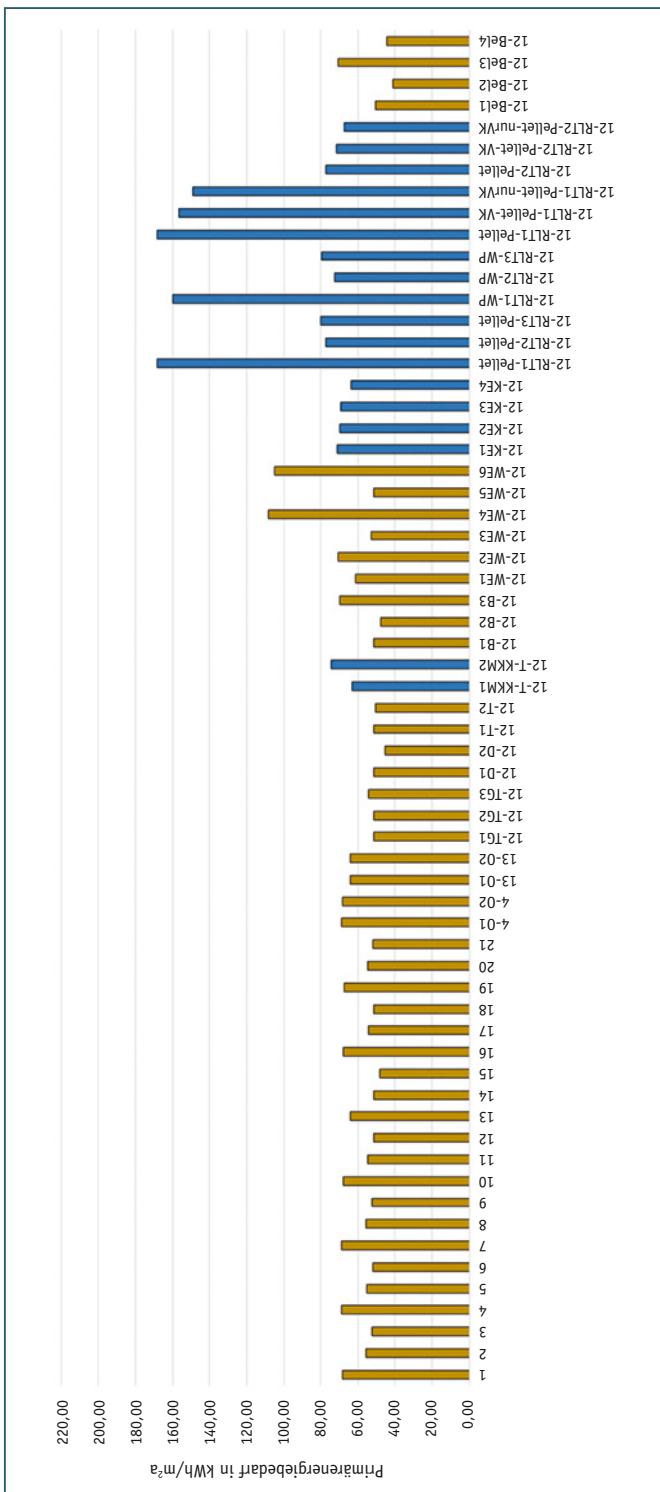


Abbildung 5-15: Primärenergiebedarf für alle Gebäude (alle Varianten des Kapitels 5; die blauen Säulen kennzeichnen Varianten mit Klärtisierung)

6 Null-Energie-Gebäude

Kann das sechsgeschossige Winkelgebäude als Null-Energie-Gebäude konzipiert werden?

Diese Frage stellt sich praktisch, da es sich bei den meisten bisher gebauten Null-Energie-Gebäuden um Einfamilienhäuser in einer sehr speziellen Bauweise handelt. Für das Null-Energie-Gebäude soll der bilanzielle Ansatz gelten, bei welchem das Gebäude den gleichen Energiebetrag, welchen es ggf. aus dem Netz bezieht, im Rahmen eines Jahres wieder einspeist.

Ausgangspunkt der Überlegung ist die Variante 12-WE1 in Tabelle 5-10 mit folgender Konfiguration:

- Transparenzanteil (Tabelle 3-1)
- Dämmstandard 1 (Tabelle 3-2)
- elektrische Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Flächenheizung (Temperaturniveau: 35/28 °C)
- direktes/indirekte Beleuchtung mit manueller Steuerung.

Die ausgeglichene Bilanz kann mit zwei Ansätzen erreicht werden:

- weitestgehende Reduzierung des Energiebedarfs
- zusätzliche Installation einer PV-Anlage auf dem Dach des Gebäudes.

Die Reduzierung des Bedarfes erreicht man hier durch (Tabelle 6-1):

- Verbesserung der Dämmung
- direktes Beleuchtungssystem
- automatische Beleuchtungssteuerung.

Die Variante 12-WE1-2 steht für das nicht klimatisierte Gebäude, für welches sich im vorliegenden Fall ein Deckungsgrad von ca. 64 % erreichen lässt.

Für das klimatisierte Gebäude in 12-WE1-2K wurden folgende Parameter angesetzt:

- Transparenzanteil (Tabelle 3-1)
- Dämmstandard 2 (Tabelle 3-2)
- elektrische Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Flächenheizung (Temperaturniveau: 35/28 °C)
- direkte Beleuchtung mit automatischer Steuerung
- Luft-Wasser-System mit Flächenkühlssystem.

In der Tabelle 6-1 wird die Reduzierung des Energiebedarfs durch verschiedene Maßnahmen dargestellt. Die Variante 12-WE1-2K repräsentiert dann den verbleibenden Bedarf, welcher durch den Energieertrag der PV-Anlage kompensiert werden muss.

		12-WE1-1	12-WE1-2	12-WE1-2K
Dämmstandard		1	2	2
Transparenzanteil Fassade		1	1	1
Wärmeerzeugung		Sole-Wasser-WP	Sole-Wasser-WP	Sole-Wasser-WP
Heizung		Flächenheizung	Flächenheizung	Flächenheizung
Lüftung		Fenster	Fenster	RLT-Anlage
Beleuchtungsart		direkt/indirekt	direkt	direkt
Beleuchtungssteuerung		manuell	automatisch	automatisch
Heizung	kWh/m ² a	22,21	14,09	7,70
Kühlung	kWh/m ² a	0,00	0,00	1,12
Lüftung	kWh/m ² a	0,00	0,00	16,90
Beleuchtung	kWh/m ² a	36,61	21,47	21,47
Gesamt	kWh/m ² a	58,82	35,57	47,20
solarer Deckungsgrad		39 %	64 %	46 %

Tabelle 6-1: Reduzierung des Primärenergiebedarfs

Die Berechnung in der Tabelle 6-2 zeigt, welcher Solarertrag mit dem Gebäude erzielt wird. Es wird deutlich, dass es nicht so ohne weiteres möglich ist, mehrgeschossige Gebäude in Null-Energie-Bauweise zu errichten.

Größe	Einheit	Wert
Jahresnutzungsgrad der Module		12 %
Jahresnutzungsgrad des Wechselrichters		90 %
Ausrichtung		Süden
Anstellwinkel		30°
Jährliches Strahlungsangebot	kWh/m ² a	1 127,00
Modulfläche	m ²	446,00
Solarertrag je m ² Modulfläche	kWh/m ² a	121,72
Solarertrag absolut	kWh/a	54 285,34
Solarertrag bezogen auf NGF	kWh/m ² a	12,70
Solarertrag bezogen auf NGF-Primärenergie	kWh/m ² a	22,86
Primärenergiebedarf des optimierten Gebäudes	kWh/m ² a	35,57
erreichter Deckungsgrad		64 %

Tabelle 6-2: Berechnung des Solarstromertrags

7 Energiebedarf im Lebenszyklus

Angesichts der fortschreitenden Verbesserung der energetischen Standards stellt sich die Frage, in welcher Größenordnung der Energiebedarf für die Herstellung des Gebäudes im Verhältnis zu jenem bisher betrachteten in der Nutzungsphase liegt.

Den Lebenszyklus kann man grob in drei Phasen strukturieren:

- Herstellung (Konzept, Planung, Errichtung)
- Nutzung
- Abriss/Verwertung (auch als »End of life« bezeichnet bzw. EoL).

Der fossile Primärenergiebedarf wird über den gesamten Lebenszyklus bilanziert und dann zweckmäßigerweise auf die Zeitspanne des Lebenszyklus bezogen, sodass sich ein durchschnittlicher, jährlicher Primärenergiebedarf ergibt:

$$Q_{P,ges} = Q_{P,H} + Q_{P,E} + Q_{P,N} + Q_{P,R}$$

F 7-1

- $Q_{P,ges}$ durchschnittlicher jährlicher, fossiler Primärenergiebedarf im Lebenszyklus
 $Q_{P,H}$ durchschnittlicher jährlicher, fossiler Primärenergiebedarf bei der Herstellung
 $Q_{P,E}$ durchschnittlicher jährlicher, fossiler Primärenergiebedarf bei der Erneuerung
 $Q_{P,N}$ durchschnittlicher jährlicher, fossiler Primärenergiebedarf bei der Nutzung
 $Q_{P,R}$ durchschnittlicher jährlicher, fossiler Primärenergiebedarf beim Rückbau

Der gesamte Primärenergiebedarf kann abschließend auf die Nettogrundfläche des Gebäudes bezogen werden:

$$q_{P,ges} = \frac{Q_{P,ges}}{A_{NGF}} \quad F 7-2$$

- $q_{P,ges}$ flächenspezifischer Wert des Primärenergiebedarfs
 NGF Nettogrundfläche des Gebäudes

Der Primärenergiebedarf bei der Herstellung wird auf den Betrachtungszeitraum bezogen:

$$q_{P,H} = \frac{\sum_j Q_{P,H,j}}{\Delta t} \quad F 7-3$$

- $\sum_j Q_{P,H,j}$ Primärenergiebedarf bei der Herstellung, welcher sich als Summe über alle j zu bilanzierenden Bauteilbestandteile des Gebäudes ergibt.
 Δt Zeitspanne des Lebenszyklus

Der Primärenergiebedarf der Erneuerung hängt von der Anzahl der Erneuerungen im Lebenszyklus ab. Dabei wird der gleiche Energiebedarf wie bei der Herstellung angesetzt. Erneuert werden müssen die Bauteile, deren Lebensdauer geringer als der Lebenszyklus ist:

$$Q_{P,E} = \frac{\sum_m n_{E,m} \cdot Q_{P,H,m}}{\Delta t} \quad F 7-4$$

$\sum_m n_{E,m} \cdot Q_{P,H,m}$ Primärenergiebedarf für die Erneuerung, welcher sich als Summe über alle m zu bilanzierenden Bauteilbestandteile des Gebäudes mit Erneuerungen ergibt.
 Δt Zeitspanne des Lebenszyklus

Der durchschnittliche, jährliche Primärenergiebedarf der Nutzungsphase ergibt sich summarisch über alle für die Gebäudekonditionierung während der Nutzung eingesetzten Endenergieträger:

$$Q_{P,N} = \sum_k Q_{P,N,k} \quad F 7-5$$

$\sum_k Q_{P,N,k}$ durchschnittlicher jährliche Umweltwirkung durch den Energiebedarf in der Nutzungsphase als Summe über alle eingesetzten Endenergieträger

Die Umweltwirkung der einzelnen Energieträger $Q_{P,N,k}$ ergibt sich so:

$$Q_{P,N,k} = f_{\text{öko},k} \cdot Q_{E,k} \quad F 7-6$$

$f_{\text{öko},k}$ spezifischer Faktor für den Primärenergiebedarf des Endenergieträgers k
(kann z. B. aus www.ökbau.dat entnommen werden)

Der Primärenergiebedarf für den Abriss bzw. den Rückbau und die Entsorgung ergibt sich analog:

$$P_{P,R} = \frac{\sum_j Q_{P,R,j}}{\Delta t} \quad F 7-7$$

$\sum_j Q_{P,R,j}$ Primärenergiebedarf beim Rückbau, welcher sich als Summe über alle j zu bilanzierenden Bauteilbestandteile des Gebäudes ergibt.

Der Primärenergiebedarf, welcher für den Abriss bzw. den Rückbau und die Entsorgung erforderlich ist, muss auch bei der Erneuerung von Bauteilen bilanziert werden.

Beispiel 7-1: Bestimmung des Primärenergiebedarfs im Lebenszyklus für das Winkelgebäude

Für das Bürogebäude mit winkelförmigem Grundriss (Variante 12 in Tabelle 5-2 soll der fossile Primärenergiebedarf im Lebenszyklus für zwei Konstruktionsvarianten abgeschätzt werden:

- V1 tragende Konstruktion Stahlbeton-Bauweise
 Innenwände im Trockenbau mit Gipskarton
 Aluminiumfenster
- V2 tragende Konstruktion aus Holz (teilweise Stahlbeton)
 Innenwände aus Holz
 Holzfenster
- V1 und V2 Holzpelletkessel, keine Kühlung.

Die spezifischen Energiebedarfswerte wurden der Ökobau.dat-Version 2013 entnommen.

Nr.	Bezeichnung	Fläche m ²	Dicke m	Bezugs-einheit
Bodenplatte				
1	Estrich		0,06	kg
2	Stahlbeton		0,20	m ³
3	Dämmung		0,08	m ³
4	Unterbeton		0,10	m ³
5	Kies		0,10	kg
Außenwand				
1	Putz		0,02	kg
2	Dämmung		0,15	m ³
3	Stahlbeton		0,30	m ³
4	Silikonharzputz		0,01	kg
Dach				
1	Putz		0,02	kg
2	Stahlbeton		0,20	m ³
3	Dämmung		0,20	m ³
4	Kies		0,10	kg
Geschosdecken				
1	Estrich		0,06	kg
2	Trittschalldämmung		0,03	m ³
3	Stahlbeton		0,20	m ³
4	Putz		0,01	kg
Nichttragende Innenwände				
1	Gipskartonplatten (4 Stk.)		0,05	kg
2	Mineralwolle		0,06	kg
Tragende Innenwände				
1	Putz		0,02	kg
2	Stahlbeton		0,18	m ³
Sonstige				
1	Fenster (Alu, 3-fach)			m ²
2	Innentüren (Holz, 31 Stk.)			m ²
3	Wärmeerzeuger			St.
fossiler Primärenergiebedarf für H+E+EoL in kWh				
Energiebedarf in der Nutzungsphase				
1	Endenergiebedarf Holzpellet			kWh
2	Endenergiebedarf Strom – Heizung			kWh
3	Endenergiebedarf Strom – Beleuchtung			kWh
Energiebedarf im Lebenszyklus				
1	Gesamt im Lebenszyklus in kWh			
2	Gesamt im Lebenszyklus in kWh pro Jahr			
Energiebedarf im Lebenszyklus in kWh pro Jahr und NGF				

Tabelle 7-1: Fossiler Primärenergiebedarf im Lebenszyklus bei Stahlbeton-Bauweise

Bezugsgröße	Ersatz im LC	f_H MJ/Einheit	f_{EoL} MJ/Einheit	$Q_{P,H+E+EoL}$ kWh
98 496,00	0	1,599	0,196	49 113,60
172,80	0	5 948,092	105,627	290 578,51
69,12	0	2 853,194	-830,190	38 841,68
86,40	0	906,000	-251,250	15 714,00
164 160,00	0	0,033	0,000	1 504,80
54 614,25	0	1,512	0,196	25 919,80
404,55	0	1 382,950	-459,372	103 787,10
809,10	0	5 948,092	105,627	1 360 573,35
20 901,75	0	24,882	0,196	145 605,08
17 496,00	0	1,512	0,196	8 303,56
172,80	0	5 948,092	105,627	290 578,51
172,80	0	1 382,950	-459,372	44 331,75
142 560,00	0	0,033	0,000	1 306,80
445 170,00	0	1,599	0,196	221 977,55
97,63	0	1 382,950	-459,372	25 045,64
781,00	0	5 948,092	105,627	1 313 320,71
52 717,50	0	1,512	0,196	25 019,61
251 708,40	1	37,260	0,196	5 237 772,13
6 544,42	1	507,945	2,670	1 856 487,89
21 798,72	0	1,512	0,196	10 345,62
145,32	0	5 948,092	105,627	244 376,53
1 108,08	1	2 253,000	-1 252,000	616 215,60
62,00	1	1 898,700	-1 008,930	30 647,63
1,00	1	30 520,449	-10 494,566	11 125,49
				11 968 492,95
f_N MJ/Einheit · a				$Q_{P,N}$ kWh
328 309,25		0,42854		1 954 085,53
1 546,59		9,65199		207 328,84
86 875,59		9,65199		11 646 147,42
				25 776 054,74
				515 521,09
				120,62

Nr.	Bezeichnung	Fläche m ²	Dicke m	Bezugs-einheit
Bodenplatte				
1	Estrich		0,06	kg
2	Stahlbeton		0,20	m ³
3	Dämmung		0,08	m ³
4	Unterbeton		0,10	m ³
5	Kies		0,10	kg
Außenwand				
1	Putz		0,02	kg
2	Dämmung		0,15	m ³
3	Holz		0,30	m ³
4	Silikonharzputz		0,01	kg
Dach				
1	Putz		0,02	kg
2	Holz		0,20	m ³
3	Dämmung		0,20	m ³
4	Kies		0,10	kg
Geschosdecken				
1	Estrich		0,06	kg
2	Trittschalldämmung		0,03	m ³
3	Holz		0,20	m ³
4	Putz		0,01	kg
Nichttragende Innenwände				
1	Trennwände Holz		0,05	kg
2	Mineralwolle		0,06	kg
Tragende Innenwände				
1	Putz		0,02	kg
2	Holz		0,18	m ³
Sonstige				
1	Fenster (Holz, 3fach)			m ²
2	Innentüren (Holz, 31 Stk.)			m ²
3	Wärmeerzeuger			St.
fossiler Primärenergiebedarf für H+E+EoL in kWh				
Energiebedarf in der Nutzungsphase				
1	Endenergiebedarf Holzpellet			kWh
2	Endenergiebedarf Strom – Heizung			kWh
3	Endenergiebedarf Strom – Beleuchtung			kWh
Energiebedarf im Lebenszyklus				
1	Gesamt im Lebenszyklus in kWh			
2	Gesamt im Lebenszyklus in kWh pro Jahr			
Energiebedarf im Lebenszyklus in kWh pro Jahr und NGF				

Tabelle 7-2: Fossiler Primärenergiebedarf im Lebenszyklus bei Holz-Bauweise

Bezugsgröße absolut	Ersatz im LC	f_H MJ/Einheit	f_{EoL} MJ/Einheit	$Q_{P,H+E+EoL}$ kWh
98 496,000	0	1,599	0,196	49 113,60
172,800	0	5 948,092	105,627	290 578,51
69,120	0	2 853,194	-830,190	38 841,68
86,400	0	906,000	-251,250	15 714,00
164 160,000	0	0,033	0,000	1 504,80
54 614,250	0	1,512	0,196	25 919,80
404,550	0	1 382,950	-459,372	103 787,10
809,100	0	4 271,031	-6 282,404	-452 056,08
20 901,750	0	24,882	0,196	145 605,08
17 496,000	0	1,512	0,196	8 303,56
172,800	0	4 271,031	-6 282,404	-96 545,90
172,800	0	1 382,950	-459,372	44 331,75
142 560,000	0	0,033	0,000	1 306,80
445 170,000	0	1,599	0,196	221 977,55
97,625	0	1 382,950	-459,372	25 045,64
781,000	0	4 271,031	-6 282,404	-436 356,20
52 717,500	0	1,512	0,196	25 019,61
209,757	1	6 465,086	-12 893,299	-749 090,28
6 544,420	1	507,945	2,670	1 856 487,89
21 798,720	0	1,512	0,196	10 345,62
145,325	0	4 271,031	-6 282,404	-81 195,11
1 108,080	1	1 089,000	-498,000	363 819,60
62,000	1	1 898,700	-1 008,930	30 647,63
1,000	1	30 520,449	-10 494,566	11 125,49
				1 454 232,16
f_N MJ/Einheit · a				$Q_{P,N}$ kWh
328 309,250		0,42854		1 954 085,53
1 546,590		9,65199		207 328,84
86 875,590		9,65199		11 646 147,42
				15 261 793,95
				305 235,88
				71,42

Es wird deutlich, dass durch die Holzbauweise der Primärenergiebedarf deutlich verringert werden kann. Die baukonstruktive Ausgestaltung muss allerdings im Detail auf ihre Realisierbarkeit geprüft werden.

8 Lebenszykluskosten und Wirtschaftlichkeit

Durch das Nachhaltige Bauen, welches sich mittlerweile in weiten Bereichen der Immobilienwirtschaft und insbesondere beim Neubau von Bürogebäuden etabliert hat, erfahren die Lebenszykluskosten signifikante Aufmerksamkeit. Auch hier geht es um die Frage, welches Verhältnis die Nutzungskosten zu den Herstellkosten (Investition) haben. Die Thematik ist nicht grundsätzlich neu, da sie schon immer im Rahmen klassischer Wirtschaftlichkeitsanalysen mit finanzmathematischen Verfahren (Kapitalwertverfahren, Annuitätenverfahren) behandelt wurde. Neu ist die Definition der ökonomischen Qualität von Gebäuden bei definierten Randbedingungen, welche in den einschlägigen Zertifizierungsverfahren (DGNB, BNB) mit Hilfe der Barwertmethode beschrieben wird. Dabei werden alle Zahlungen im Lebenszyklus auf den Zeitpunkt der Erstellung des Gebäudes abgezinst, d. h. es wird der heutige Wert aller zukünftigen Zahlungen bestimmt. Der Wert der abgezinsten Zahlung wird in der Betriebswirtschaft allgemein als Barwert bezeichnet. Bei DGNB und BNB wird die Summe aller abgezinsten Zahlungen (Summe der Barwerte) gebildet und dann wiederum als Barwert bezeichnet. Der so gebildete Barwert soll minimiert werden, was auf eine höhere ökonomische Qualität führt. Das Prinzip der Bestimmung der Lebenszykluskosten soll an Hand eines Beispiels demonstriert werden, wobei aufgrund der öffentlichen Verfügbarkeit das BNB-System als Grundlage dienen soll. Zu beachten ist noch, dass die Phase »Abriss/Verwertung« i. A. nicht mit betrachtet wird, da kaum belastbare Kostenansätze vorliegen.

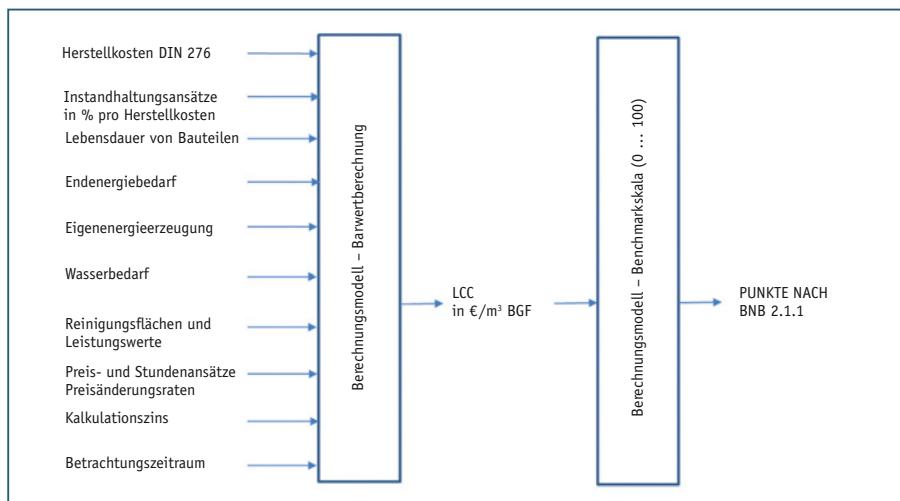


Abbildung 8-1: Berechnungs- und Bewertungsmodell für die Lebenszykluskosten nach BNB

Das Modell der LCC-Bewertung nach BNB (Steckbrief 2.1.1) umfasst entsprechend Abbildung 8-1 zwei Teilmodelle:

- Berechnungsmodell
- Bewertungsmodell.

Mit dem Berechnungsmodell wird der erwähnte Barwert berechnet und auf die Bruttogrundfläche bezogen:

$$B = A_0 + \sum_{t=1}^T \left(\left(\sum_k A_{k,t-1} \cdot (1 + j_k) \right) \cdot (1 + i)^{-t} \right) + \sum_{m=1}^n A_m \quad F 8-1$$

$$b = \frac{B}{BGF}$$

B Summe der Barwerte der Zahlungen im Lebenszyklus (wird hier als Barwert bezeichnet)

A_0 Investition (Auszahlung bei $t = 0$)

$A_{k,t}$ Auszahlung k (Kosten für Energie, Instandhaltung, Reinigung usw.) in der Periode t

j_k Preissteigerungsrate für die Auszahlung k (hier: Energie 4% p. a. alle anderen 2% p. a.)

i Kalkulationszins

t Laufvariable für die Zeit

T Dauer des Lebenszyklus (hier 50 Jahre)

$\sum_{m=1}^n A_m$ Summe der Barwerte der Ersatzbeschaffung nach F 8-8

b spezifischer Barwert in $\text{€}/\text{m}^2_{BGF}$

BGF Bruttogrundfläche

Mit dem berechneten Wert der spezifischen Lebenszykluskosten b wird dann im Bewertungsmodell des Systems eine Wertung an Hand einer Skala von 0 bis 100 Punkten vorgenommen.

Bei der Integration der Lebenszykluskosten in das BNB-Zertifizierungssystem bestand das Ziel darin, für bestimmte strategische Bauteile eine möglichst wirtschaftliche Lösung zu erreichen. Insbesondere bei der Energieversorgung geht es darum, dass nicht nur die Investitionskosten in die Entscheidungsfindung einfließen, sondern eben auch die Energiekosten während des Lebenszyklus des Gebäudes, sodass in der Anschaffung kostenintensive Technologien wie Wärmepumpen oder BHKW aufgrund geringerer Energiekosten bzw. der Vergütung für den selbst erzeugten Strom auch eingesetzt werden.

Das dargestellte Prinzip des Berechnungsmodells kann für zwei Fälle angewandt werden:

- für Investitionsentscheidungen
- für die Bewertung der ökonomischen Qualität im Rahmen von Nachhaltigkeitsbewertungssystemen.

Im Beispiel 8-1 wird das Berechnungsprinzip für Winkelgebäude mit Holzpelletkessel demonstriert.

Beispiel 8-1: Berechnung der Lebenszykluskosten für die Variante 12-WE-5 (Tabelle 5-10)

Folgende Ausgangsdaten wurden auf der Basis des BNB-Bewertungssystems für Bürogebäude (Version BNB BN 2011 bzw. BNB BN 2015, siehe www.nachhaltigesbauen.de) ermittelt:

Investition KG 300	4 782 913,92 €
Investition KG 400	1 786 016,24 €
Kosten Wartung	25 795,85 €
Kosten Instandsetzung	12 550,90 €
Kosten Wasser/Abwasser	8 862,00 €
Kosten Energie	28 461,58 €
Kosten Reinigung	26 973,55 €
Ersatzbeschaffung im 16. Jahr	471 785,47 €
Ersatzbeschaffung im 26. Jahr	1 319 508,08 €
Ersatzbeschaffung im 31. Jahr	471 785,47 €
Ersatzbeschaffung im 46. Jahr	471 785,47 €

Tabelle 8-1:
Ausgangswerte für die Berechnung der Lebenszykluskosten

Außerdem werden folgende Parameter benötigt:

jährliche Preissteigerung für Energiekosten	4,0 %
jährliche Preissteigerung für die übrigen Nutzungskosten	2,0 %
Kalkulationszins	5,5 %
Betrachtungszeitraum (Lebenszyklus) in Jahren	50

t	A _{NK-Energie}	A _{NK-Andere}	A _t · (1+j _k) ^{TN}	1/(1+i) ^t	B _t
0	- €	6 568 930,16 €	- €	1,000	6 568 930,16 €
1	28 461,58 €	74 182,31 €	- €	0,948	97 292,79 €
2	29 600,05 €	75 665,95 €	- €	0,898	94 576,49 €
3	30 784,05 €	77 179,27 €	- €	0,852	91 943,04 €
4	32 015,41 €	78 722,86 €	- €	0,807	89 389,78 €
5	33 296,03 €	80 297,31 €	- €	0,765	86 914,17 €
6	34 627,87 €	81 903,26 €	- €	0,725	84 513,71 €
7	36 012,98 €	83 541,33 €	- €	0,687	82 186,03 €
8	37 453,50 €	85 212,15 €	- €	0,652	79 928,80 €
9	38 951,64 €	86 916,39 €	- €	0,618	77 739,78 €
10	40 509,71 €	88 654,72 €	- €	0,585	75 616,81 €
11	42 130,10 €	90 427,82 €	- €	0,555	73 557,78 €
12	43 815,30 €	92 236,37 €	- €	0,526	71 560,67 €
13	45 567,91 €	94 081,10 €	- €	0,499	69 623,51 €
14	47 390,63 €	95 962,72 €	- €	0,473	67 744,40 €
15	49 286,25 €	97 881,98 €	- €	0,448	65 921,51 €
16	51 257,70 €	99 839,62 €	647 660,35 €	0,425	339 137,40 €
17	53 308,01 €	101 836,41 €	- €	0,402	62 437,33 €
18	55 440,33 €	103 873,14 €	- €	0,381	60 772,66 €
19	57 657,95 €	105 950,60 €	- €	0,362	59 157,42 €
20	59 964,26 €	108 069,61 €	- €	0,343	57 590,08 €
21	62 362,83 €	110 231,00 €	- €	0,325	56 069,11 €
22	64 857,35 €	112 435,62 €	- €	0,308	54 593,06 €
23	67 451,64 €	114 684,34 €	- €	0,292	53 160,51 €
24	70 149,71 €	116 978,02 €	- €	0,277	51 770,11 €
25	72 955,69 €	119 317,58 €	- €	0,262	50 420,53 €
26	75 873,92 €	121 703,94 €	2 208 088,72 €	0,249	597 959,11 €
27	78 908,88 €	124 138,01 €	- €	0,236	47 838,76 €
28	82 065,23 €	126 620,77 €	- €	0,223	46 604,14 €
29	85 347,84 €	129 153,19 €	- €	0,212	45 405,46 €

– Fortsetzung auf nächster Seite –

– Fortsetzung von vorheriger Seite –

t	A _{NK-Energie}	A _{NK-Andere}	A _t · (1+j _k) ^{TN}	1/(1+i) ^t	B _t
30	88 761,76 €	131 736,25 €	– €	0,201	44 241,61 €
31	92 312,23 €	134 370,98 €	871 665,56 €	0,190	208 888,25 €
32	96 004,72 €	137 058,40 €	– €	0,180	42 014,08 €
33	99 844,91 €	139 799,57 €	– €	0,171	40 948,34 €
34	103 838,70 €	142 595,56 €	– €	0,162	39 913,28 €
35	107 992,25 €	145 447,47 €	– €	0,154	38 907,97 €
36	112 311,94 €	148 356,42 €	– €	0,146	37 931,48 €
37	116 804,42 €	151 323,55 €	– €	0,138	36 982,91 €
38	121 476,59 €	154 350,02 €	– €	0,131	36 061,41 €
39	126 335,66 €	157 437,02 €	– €	0,124	35 166,14 €
40	131 389,08 €	160 585,76 €	– €	0,117	34 296,28 €
41	136 644,65 €	163 797,47 €	– €	0,111	33 451,07 €
42	142 110,43 €	167 073,42 €	– €	0,106	32 629,73 €
43	147 794,85 €	170 414,89 €	– €	0,100	31 831,54 €
44	153 706,65 €	173 823,19 €	– €	0,095	31 055,79 €
45	159 854,91 €	177 299,65 €	– €	0,090	30 301,80 €
46	166 249,11 €	180 845,65 €	1173 147,08 €	0,085	129 508,88 €
47	172 899,07 €	184 462,56 €	– €	0,081	28 856,41 €
48	179 815,03 €	188 151,81 €	– €	0,077	28 163,76 €
49	187 007,64 €	191 914,85 €	– €	0,073	27 490,32 €
50	194 487,94 €	195 753,14 €	– €	0,069	26 835,52 €
B = 10 355 831,68 €					

Tabelle 8-2: Berechnung der Lebenszykluskosten (A_{NK-Energie} Energiekosten, A_{NK-Andere} Summe der Nutzungskosten ohne die Energiekosten und ohne die Ersatzbeschaffungen)

Die Lebenszykluskosten betragen absolut 10 355 831,68 € (Tabelle 8-2) und bezogen auf die Bruttogrundfläche 1 997,65 €/m²_{BGF}.

Interessant ist noch die Frage, wie sich die Investition zur Summe der Nutzungskosten (bzw. exakt dem Barwert der Nutzungskosten) verhält. Aus der Abbildung 8-2 geht hervor, dass die Investition mit ca. 64 % einen dominierenden Anteil an den Lebenszykluskosten hat. Das würde man so zunächst nicht erwarten, beruht aber auf der Wirkung des Zinses. Durch die Abzinsung auf t = 0 werden Auszahlungen, welche weit hinten im Lebenszyklus liegen, signifikant abgewertet.

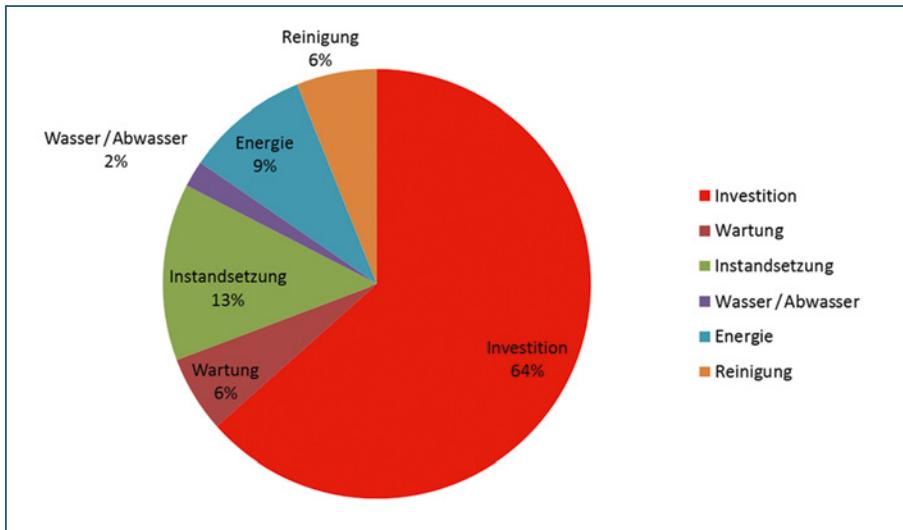


Abbildung 8-2: Zusammensetzung der Lebenszykluskosten für das Beispiel 8-1 (Kalkulationszins 5,5 %)

Setzt man den Kalkulationszins auf null, verringert sich der Anteil der Investition deutlich auf 30% (Abbildung 8-3). Dies kommt der beabsichtigten Lenkungswirkung der Methode zugute, da dann z. B. energieeffiziente Varianten sich ggf. günstiger darstellen. Im BNB-Bewertungssystem wurde dem bei der letzten Systemaktualisierung Rechnung getragen und der Zins auf 1,5% abgesenkt sowie die Preisänderungsrate bei den Energiekosten von 4 auf 5 % erhöht.

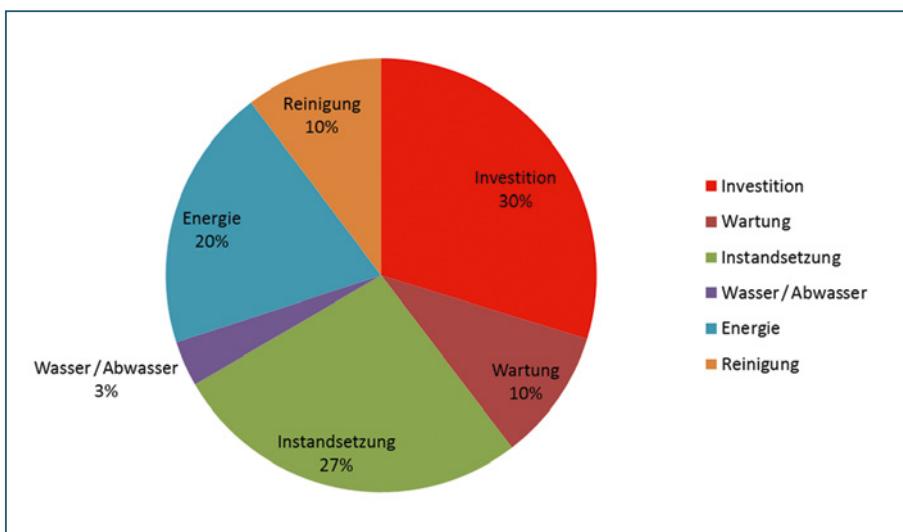


Abbildung 8-3: Zusammensetzung der Lebenszykluskosten für das Beispiel 8-1 (Kalkulationszins 0 %)

Auf die Frage, welcher Zinssatz denn nun anzuwenden sei, gibt es zwei Antworten:

1. Wenn Investitionsentscheidungen für ein Objekt zu treffen sind, dann muss der Zinssatz des Investors⁴ verwendet werden. Darüber hinaus müssen alle Preisansätze auf die Verhältnisse des konkreten Objektes angepasst werden.
2. Wenn die ökonomische Qualität eines Gebäudes im Rahmen einer Nachhaltigkeitsbewertung ermittelt werden soll, sind der Zinssatz und alle übrigen Preisansätze nach den Maßgaben des Bewertungssystems festzulegen.

Abschließend kann man die Frage stellen, inwieweit die im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung verwendete Barwertmethode mit den klassischen Investitionsbewertungsverfahren korrespondiert. Dieser Aspekt soll an Hand des Kapitalwert- und des Annuitätenverfahrens analysiert werden. Der Kapitalwert einer Investition ist folgendermaßen definiert:

$$K = \sum_{t=0}^T (Z_t \cdot (1 + i)^{-t}) \quad F 8-2$$

$$Z_t = E_t - A_t$$

- K Kapitalwert
 Z_t Saldo Einzahlungen (E_t) – Auszahlungen (A_t) in der Periode t
 i Kalkulationszins
 t Laufvariable für die Zeit
 T Dauer des Lebenszyklus

Für eine Investition, in welcher es nur Auszahlungen gibt, würde F 8-2 in folgende Form übergehen:

$$K = -A_0 + \sum_{t=1}^T \left(\left(\sum_k -A_{k,t-1} \cdot (1 + j_k) \right) \cdot (1 + i)^{-t} \right) - \sum_{m=1}^n A_m \quad F 8-3$$

- K Kapitalwert
 Z_t Saldo Einzahlungen (E_t) – Auszahlungen (A_t) in der Periode t
 i Kalkulationszins
 t Laufvariable für die Zeit
 T Dauer des Lebenszyklus

Der Kapitalwert würde für diesen Spezialfall betragsmäßig dem Barwert entsprechen, hätte aber definitionsgemäß ein negatives Vorzeichen. Also kann man schlussfolgern, dass die Barwertmethode sich weitgehend an das Kapitalwertverfahren anlehnt.

⁴ In der Betriebswirtschaft drückt der Kalkulationszinssatz des Investors dessen Verzinsungserwartung an die Investition aus.

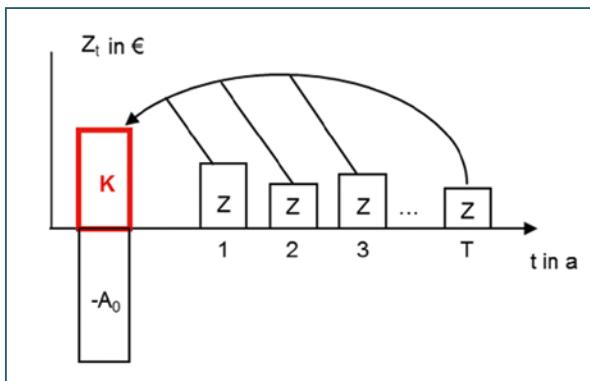


Abbildung 8-4: Kapitalwert

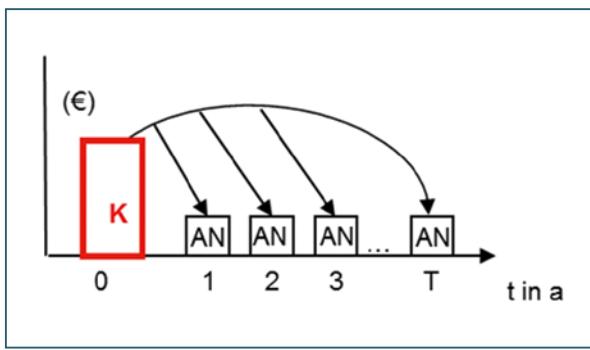


Abbildung 8-5: Annuität

Die Annuität lässt sich direkt aus dem Kapitalwert ableiten. Nimmt man den Kapitalwert einer Investition, welcher sich durch Summation aller abgezinsten Zahlungssalden ergibt (Abbildung 8-4), und verteilt diesen wieder zurück auf die Perioden $t = 1 \dots T$ und zwar so, dass der jährliche Saldo immer gleich ist (Abbildung 8-5), erhält man die Annuität. Obwohl die Annuität für einen jährlichen Saldo einschließlich Kapital und Verzinsung steht, ist sie dennoch ein Ausdruck für die Lebenszykluskosten der Investition (genauer gesagt: für die Ein- und Auszahlungen im Lebenszyklus).

Zwischen dem Kapitalwert und der Annuität besteht demzufolge dieser Zusammenhang:

$$AN = K \cdot a$$

F 8-4

AN Annuität

K Kapitalwert

a Annuitätsfaktor mit $a = \frac{(1+i)^T \cdot i}{(1+i)^T - 1}$

Die Annuität berechnet sich nach dem allgemein bekannten Ansatz der VDI 2067-1 aus fünf Summanden:

$$AN = E - (A_K + A_V + A_B + A_S)$$

F 8-5

AN	Annuität
E	Einzahlungen
A_K	kapitalgebundene Auszahlungen
A_V	verbrauchsgebundene Auszahlungen
A_B	betriebsgebundene Auszahlungen
A_S	sonstige Auszahlungen

Für den hier betrachteten Fall der Investition in ein Gebäude, bei welcher es nur Auszahlungen gibt, kann man den Ansatz etwas reduzieren:

$$AN = -A_K - A_V - A_S$$

F 8-6

Der eigentliche finanzmathematische Kern steckt in A_K :

$$A_K = \left(A_0 + \sum_{m=1}^n A_m - R \right) \cdot a \quad F 8-7$$

A_0	Investition
A_m	Barwert der Ersatzbeschaffung m
R	Barwert des Restwertes

Der Barwert der Ersatzbeschaffung im jeweiligen Jahr wird hier folgendermaßen berechnet:

$$A_m = A_t \cdot \frac{(1 + j_k)^{T_N}}{(1 + i)^{T_N}} \quad F 8-8$$

A_m	Barwert der Ersatzbeschaffung m
A_t	Ersatzbeschaffung in der Periode t
j_k	Preisänderungsfaktor
T_N	Zeitraum der Ersatzbeschaffung

Da bei den Lebenszykluskosten nach BNB keine Restwerte betrachtet werden, sollen sie auch hier außer Acht gelassen werden. Außerdem muss man noch die Preisänderung der Nutzungskosten in den Berechnungsansatz integrieren:

$$A_V = A_{V,1} \cdot \frac{1 - \left(\frac{(1 + j_V)^T}{(1 + i)^T} \right)}{(i - j_V)} \cdot a \quad F 8-9$$

$$A_S = A_{S,1} \cdot \frac{1 - \left(\frac{(1 + j_S)^T}{(1 + i)^T} \right)}{(i - j_S)} \cdot a$$

A_v	verbrauchsgebundene Auszahlungen mit Berücksichtigung der Preisänderung
$A_{v,1}$	verbrauchsgebundene Auszahlungen im ersten Jahr
j_v	Preisänderungsfaktor der verbrauchsgebundenen Auszahlungen
A_s	sonstige Auszahlungen mit Berücksichtigung der Preisänderung
$A_{s,1}$	sonstige Auszahlungen im ersten Jahr
j_s	Preisänderungsfaktor der sonstigen Auszahlungen

Um festzustellen, ob auch die Annuität dem Barwertansatz entspricht, kann man für ein Beispiel die Annuität berechnen und dann mit dem über F 8-4 bestimmten Wert vergleichen. Dies soll im folgenden Beispiel demonstriert werden.

Beispiel 8-2: Bestimmung der Annuität für ein Gebäude (Beispiel 8-1)

	T_N	Nominalwert A_t	Barwert A_m
Investition	0	6 568 930,16 €	6 568 930,16 €
Ersatzbeschaffung im 16. Jahr	16	471 785,47 €	274 984,34 €
Ersatzbeschaffung im 26. Jahr	26	1 319 508,08 €	548 848,61 €
Ersatzbeschaffung im 31. Jahr	31	471 785,47 €	165 776,76 €
Ersatzbeschaffung im 46. Jahr	46	471 785,47 €	99 939,99 €

Kapitalgebundene Auszahlungen A_k	452 320,93 €
Verbrauchsgebundene Auszahlungen A_v	57 298,88 €
Sonstige Auszahlungen A_s	102 010,63 €
Annuität AN	611 630,44 €
Kapitalwert über $K = AN/a$	10 355 831,68 €
Kapitalwert (Barwert) in Tabelle 8-2	10 355 831,68 €

Tabelle 8-3:
Ergebnisse der Annuitätenrechnung

Da die Barwertmethode und die Investitionsbewertungsverfahren (Kapitalwert- und Annuitätenverfahren) finanzmathematisch identisch sind, kann die wirtschaftliche Optimierung mit den klassischen Verfahren durchgeführt werden. Außerdem sind dafür die konkreten, projektspezifischen Randbedingungen des Investors einzubeziehen. Dies soll an einem Beispiel demonstriert werden.

Beispiel 8-3: Wirtschaftlichster Wärmeerzeuger

Für das Bürogebäude mit winkelförmigem Grundriss ist der wirtschaftlichste Wärmeerzeuger gesucht. Dabei stehen zwei Varianten zur Auswahl:

- Erd-Wärmepumpe (Sole-Wasser-Wärmepumpe; abgekürzt: S-W-WP)
- Gas-Brennwertkessel mit solarer Unterstützung (Gas-BW-Kessel + Solar)

Für das Projekt sind folgende Ausgangswerte maßgeblich:

Energetische Basisdaten				
Nutzwärme (Erzeugernutzwärmeabgabe)	$Q_{h,E}$	288 856,00	kWh/a	
Jahresnutzungsgrad des BW-Kessels	$\eta_{a,BW}$	0,99		
Jahresarbeitszahl der elektrischen Wärmepumpe	$\eta_{a,WP}$	3,10		
Wirtschaftliche Basisdaten				
Kalkulationszins	i	3,0	%	
Zinsfaktor ($q = 1 + i$)	q	1,03		
Laufzeit	T	20	a	
Annuitätsfaktor	a	0,0672		
Energiepreise und Steigerungsraten				
Erdgaspreis	k_{EG}	0,06	€/kWh	
Preisseigerung Erdgas	j_{EG}	5	%	
Preisänderungsfaktor Erdgas ($r_{EG} = 1 + j_{EG}$)	r_{EG}	1,05		
Faktor b_i für Erdgas	b_{EG}	23,4533		
Preisdynamischer Annuitätsfaktor Erdgas	b_{aEG}	1,5764		
Elektroenergiepreis, Wärmepumpen-Tarif	$k_{Elt,WP}$	0,15	€/kWh	
Preisseigerung Elektroenergie	j_{Elt}	5	%	
Preisänderungsfaktor Elektroenergie ($r_{elt} = 1 + j_{elt}$)	r_{Elt}	1,0500		
Faktor b_i für Elektroenergie	b_{Elt}	23,4533		
Preisdynamischer Annuitätsfaktor Elektroenergie	b_{aElt}	1,5764		
Basisdaten für die Wärmepumpe				
Investition	$A_{0,WP}$	490 000,00	€	
Instandsetzung	$f_{IN,WP}$	1,0	% von A_0 nach VDI 2067-1	
Wartung	$f_{W,WP}$	1,5	% von A_0 nach VDI 2067-1	
Basisdaten für den Brennwertkessel				
Investition Kessel	$A_{0,BW}$	150 000,00	€	
Instandsetzung	$f_{IN,BW}$	1,5	% von A_0 nach VDI 2067-1	
Wartung	$f_{W,BW}$	1,5	% von A_0 nach VDI 2067-1	
Basisdaten für die Solarthermische Anlage				
erreichte Solarwärmennutzung	$Q_{h,S}$	30 383,3	kWh/a	
Investition Solarthermie	$A_{0,Sol}$	50 000,00	€	
Instandsetzung	$f_{IN,Sol}$	0,5	% von A_0 nach VDI 2067-1	
Wartung	$f_{W,Sol}$	1,0	% von A_0 nach VDI 2067-1	

Es ergibt sich folgendes Ergebnis:

			Gas-BW-Kessel + Solar-Anlage	S-W-Wärmepumpe
Kapitalgebundene Auszahlungen	A_K	in €/a	13 443,14	32 935,70
Verbrauchsgebundene Auszahlungen	A_V	in €/a	24 694,88	22 033,64
Betriebsgebundene Auszahlungen	A_B	in €/a	5 250,00	12 250,00
Summe aller Auszahlungen	$\sum_i A_i$	in €/a	43 387,97	67 219,34

Tabelle 8-4: Wirtschaftlichkeitsvergleich nach dem Annuitätenverfahren

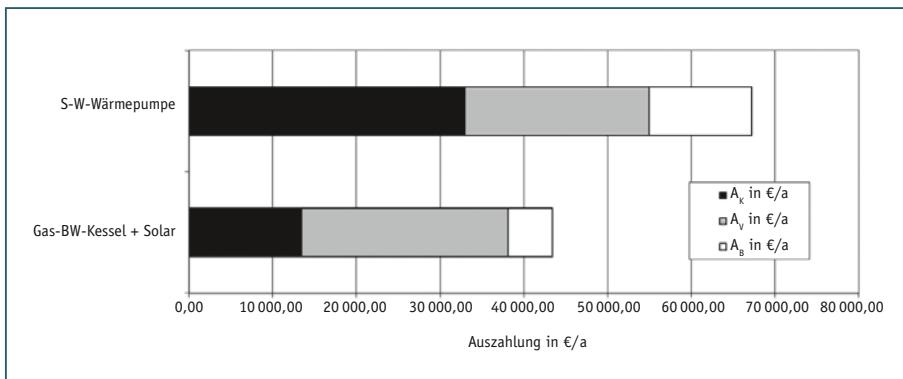


Abbildung 8-6: Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen Sole-Wasser-Wärmepumpe und Gas-Brennwertkessel mit solarer Unterstützung

Es zeigt sich, dass der Gas-Brennwertkessel in Kombination mit der Solaranlage wirtschaftlicher im Vergleich zur Erd-Wärmepumpe ist.

Das demonstrierte Prinzip des Wirtschaftlichkeitsvergleiches mit dem Annuitätenverfahren kann nun sinngemäß auf ähnliche Problemstellungen übertragen werden:

- Wirtschaftlichster Kälteerzeuger
- wirtschaftlichstes Klima-Anlagen-System
- U. a.

9 Anhang

9.1 U-Werte für die verwendeten Dämmstandards

Die den U-Wert-Berechnungen zugrunde gelegten Bauteilaufbauten sind als Beispiele zu verstehen. Ähnliche U-Werte können auch mit gänzlich anderen Materialien erreicht werden. Die dadurch möglicherweise veränderte Dicke der Bauteile hat allenfalls nur marginalen Einfluss auf den Energiebedarf des Gebäudes. Teilweise wurden die dargestellten Bauteile auch für die beispielhafte Ökobilanz der Gebäude verwendet.

9.1.1 Dämmstandard 1 (D1)

Außenwand

Schicht	d in m	λ in W/mK	R in m ² K/W
R_{si}	–	–	0,130
Kalkzementputz	0,015	0,700	0,021
WDVS	0,150	0,040	3,750
Stahlbeton	0,300	2,400	0,125
Silikonharzputz	0,005	0,800	0,006
R_{se}	–	–	0,040
Bauteildicke in m	0,470	$R_{Bauteil}$	4,073
berechneter U-Wert in W/m ² K		$U_{Bauteil}$	0,246
gewählter U-Wert in W/m²K		$U_{Bauteil}$	0,280

Tabelle 9-1

Bodenplatte

Schicht	d in m	λ in W/mK	R in m ² K/W
R_{si}	–	–	0,170
Estrich	0,060	1,400	0,043
Stahlbeton	0,200	2,400	0,083
Dämmung	0,080	0,030	2,667
Unterbeton	0,100	1,000	0,100
Kies	0,100	2,000	0,050
R_{se}	–	–	0,000
Bauteildicke in m	0,540	$R_{Bauteil}$	3,113
berechneter U-Wert in W/m ² K		$U_{Bauteil}$	0,321
gewählter U-Wert in W/m²K		$U_{Bauteil}$	0,350

Tabelle 9-2

Dach

Schicht	d in m	λ in W/mK	R in m ² K/W
R_{si}	–	–	0,100
Stahlbeton	0,200	2,400	0,083
Dämmung	0,200	0,040	5,000
Kies	0,100	0,800	0,125
R_{se}	–	–	0,040
Bauteildicke in m	0,500	$R_{Bauteil}$	5,348
berechneter U-Wert in W/m ² K		$U_{Bauteil}$	0,187
gewählter U-Wert in W/m²K		$U_{Bauteil}$	0,200

Tabelle 9-3**9.1.2 Dämmstandard 2 (D2)****Außenwand**

Schicht	d in m	λ in W/mK	R in m ² K/W
R_{si}	–	–	0,130
Kalkzementputz	0,015	0,700	0,021
WDVS	0,340	0,028	12,143
Stahlbeton	0,200	2,400	0,083
Silikonharzputz	0,005	0,800	0,006
R_{se}	–	–	0,040
Bauteildicke in m	0,560	$R_{Bauteil}$	12,424
berechneter U-Wert in W/m ² K		$U_{Bauteil}$	0,080
gewählter U-Wert in W/m²K		$U_{Bauteil}$	0,080

Tabelle 9-4

Bodenplatte

Schicht	d in m	λ in W/mK	R in m ² K/W
R_{si}	–	–	0,170
Estrich	0,060	1,400	0,043
Stahlbeton	0,200	2,400	0,083
Dämmung	0,300	0,028	10,714
Unterbeton	0,100	1,000	0,100
Kies	0,100	2,000	0,050
R_{se}	–	–	0,000
Bauteildicke in m	0,760	$R_{Bauteil}$	11,160
berechneter U-Wert in W/m ² K		$U_{Bauteil}$	0,090
gewählter U-Wert in W/m²K		$U_{Bauteil}$	0,090

Tabelle 9-5

Dach

Schicht	d in m	λ in W/mK	R in m ² K/W
R_{si}	–	–	0,100
Stahlbeton	0,200	2,400	0,083
Dämmung	0,340	0,028	12,143
Kies	0,050	0,800	0,063
R_{se}	–	–	0,040
Bauteildicke in m	0,509	$R_{Bauteil}$	12,429
berechneter U-Wert in W/m ² K		$U_{Bauteil}$	0,080
gewählter U-Wert in W/m²K		$U_{Bauteil}$	0,080

Tabelle 9-6

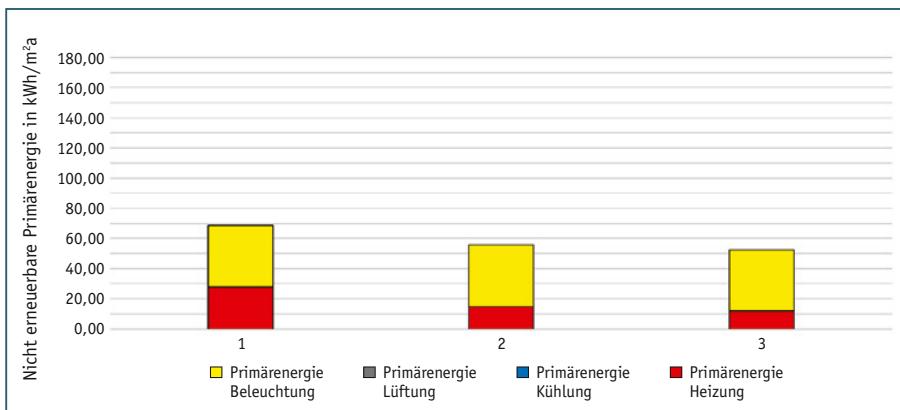
9.2 Ergebnisse der im Buch berechneten Beispiele

Die nachfolgenden Tabellen dokumentieren alle im Kapitel 5 im Rahmen der Parameterstudie berechneten Beispiele.

Einfluss der Geometrie – Grundrissform: Quadrat (Variante 1–3)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)			
Strommix Deutschland	1,8		
Holz	0,2		
Erdgas	1,1		
Gebäudedaten			
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	734,36	2 203,08	4 277,16
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	734,36	2 203,08	4 277,16
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro	Einzelbüro	Einzelbüro
Energetische Parameter			
Variantenbezeichnung im Textteil	1	2	3
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper
Kälteerzeugung	–	–	–
Rückkühlung	–	–	–
Raumkühleinrichtung	–	–	–
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster
Beleuchtungssystem	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell

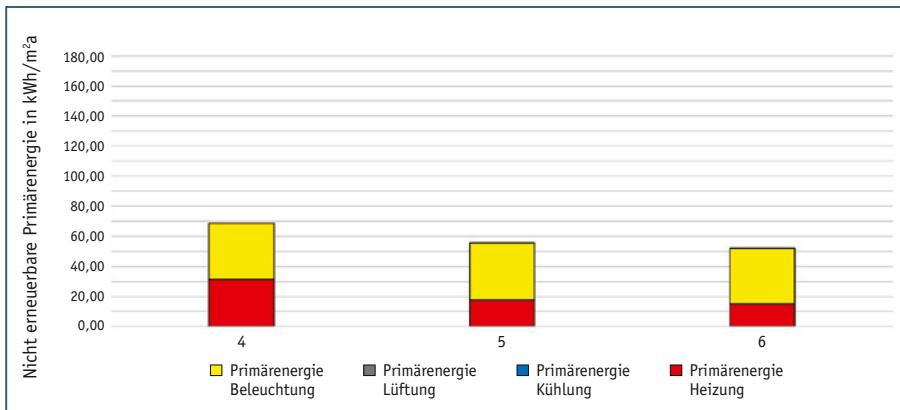
Nutzenergie (in kWh/m²a)			
Nutzenergie Heizung	92,07	47,81	38,31
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Nutzenergie Beleuchtung	22,68	22,68	22,51
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)			
Endenergie Heizung	140,66	75,89	62,35
Hilfsenergie Heizung	0,89	0,40	0,28
Endenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Beleuchtung	22,68	22,68	22,51
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)			
Primärenergie Heizung	27,65	14,77	12,05
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Beleuchtung	40,82	40,82	40,52
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	68,47	55,60	52,57
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	133,50	87,00	76,80
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	48,71 %	36,09 %	31,55 %

Tabelle 9-7: Energiebedarf der Varianten 1–3**Abbildung 9-1:** Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 1–3

Einfluss der Geometrie – Grundrissform: Rechteck-schlank (Variante 4–6)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)			
Strommix Deutschland	1,8		
Holz	0,2		
Erdgas	1,1		
Gebäudedaten			
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	734,00	2 202,00	4 275,00
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	734,00	2 202,00	4 275,00
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro	Einzelbüro	Einzelbüro
Energetische Parameter			
Variantenbezeichnung im Textteil	4	5	6
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper
Kälteerzeugung	–	–	–
Rückkühlung	–	–	–
Raumkühleinrichtung	–	–	–
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster
Beleuchtungssystem	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell

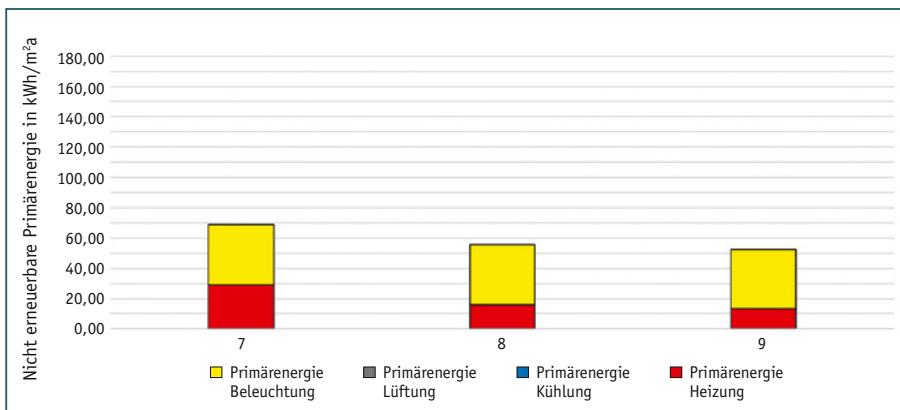
Nutzenergie (in kWh/m²a)			
Nutzenergie Heizung	105,22	59,16	49,25
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Nutzenergie Beleuchtung	20,90	20,90	20,68
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)			
Endenergie Heizung	157,94	91,44	77,08
Hilfsenergie Heizung	1,03	0,48	0,37
Endenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Beleuchtung	20,90	20,90	20,68
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)			
Primärenergie Heizung	31,10	17,80	14,94
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Beleuchtung	37,62	37,62	37,22
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	68,72	55,42	52,16
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	143,80	95,70	85,10
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	52,21 %	42,09 %	38,70 %

Tabelle 9-8: Energiebedarf der Varianten 4–6**Abbildung 9-2:** Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 4–6

Einfluss der Geometrie – Grundrissform: Rechteck-kompakt (Variante 7–9)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)			
Strommix Deutschland	1,8		
Holz	0,2		
Erdgas	1,1		
Gebäudedaten			
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	734,20	2 202,60	4 275,20
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	734,20	2 202,60	4 275,20
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro	Einzelbüro	Einzelbüro
Energetische Parameter			
Variantenbezeichnung im Textteil	7	8	9
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper
Kälteerzeugung	–	–	–
Rückkühlung	–	–	–
Raumkühleinrichtung	–	–	–
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster
Beleuchtungssystem	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell

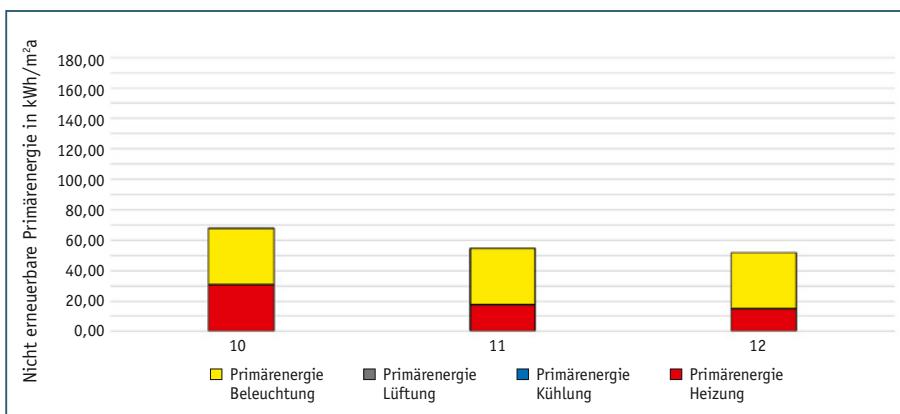
Nutzenergie (in kWh/m²a)			
Nutzenergie Heizung	97,29	52,29	42,62
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Nutzenergie Beleuchtung	22,00	22,00	21,81
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)			
Endenergie Heizung	147,56	82,35	68,22
Hilfsenergie Heizung	0,95	0,43	0,32
Endenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Beleuchtung	22,00	22,00	21,81
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)			
Primärenergie Heizung	29,04	16,02	13,21
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Beleuchtung	39,60	39,60	39,26
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	68,64	55,62	52,47
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	137,60	90,50	80,10
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	50,12 %	38,54 %	34,50 %

Tabelle 9-9: Energiebedarf der Varianten 7–9**Abbildung 9-3:** Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 7–9

Einfluss der Geometrie – Grundrissform: Winkel (Variante 10–12)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)			
Strommix Deutschland	1,8		
Holz	0,2		
Erdgas	1,1		
Gebäudedaten			
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	734,00	2 202,00	4 274,00
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	734,00	2 202,00	4 274,00
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro	Einzelbüro	Einzelbüro
Energetische Parameter			
Variantenbezeichnung im Textteil	10	11	12
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper
Kälteerzeugung	–	–	–
Rückkühlung	–	–	–
Raumkühleinrichtung	–	–	–
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster
Beleuchtungssystem	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell

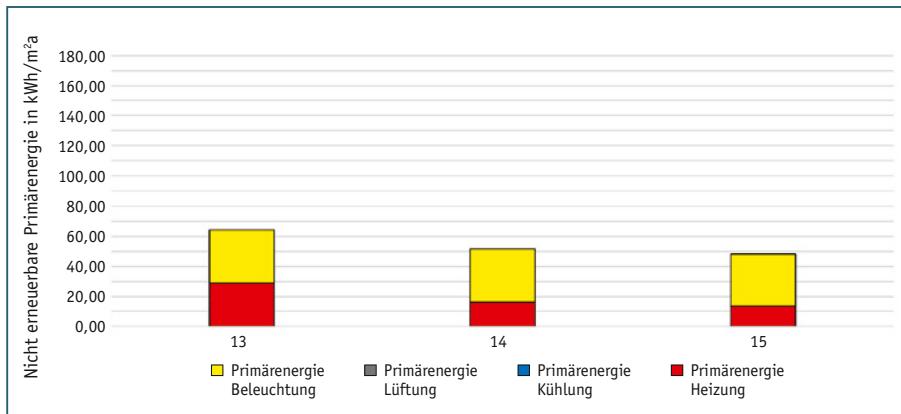
Nutzenergie (in kWh/m²a)			
Nutzenergie Heizung	104,32	58,76	49,06
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Nutzenergie Beleuchtung	20,56	20,56	20,33
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)			
Endenergie Heizung	156,64	90,71	76,82
Hilfsenergie Heizung	1,02	0,48	0,36
Endenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Beleuchtung	20,56	20,56	20,33
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)			
Primärenergie Heizung	30,84	17,66	14,87
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Beleuchtung	37,01	37,01	36,59
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	67,85	54,67	51,47
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	142,20	94,60	84,20
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	52,28 %	42,21 %	38,87 %

Tabelle 9-10: Energiebedarf der Varianten 10–12**Abbildung 9-4:** Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 10–12

Einfluss der Geometrie – Grundrissform: U-Form (Variante 13–15)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)			
Strommix Deutschland	1,8		
Holz	0,2		
Erdgas	1,1		
Gebäudedaten			
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	734,00	2 202,00	4 274,00
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	734,00	2 202,00	4 274,00
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro	Einzelbüro	Einzelbüro
Energetische Parameter			
Variantenbezeichnung im Textteil	13	14	15
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper
Kälteerzeugung	–	–	–
Rückkühlung	–	–	–
Raumkühleinrichtung	–	–	–
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster
Beleuchtungssystem	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell

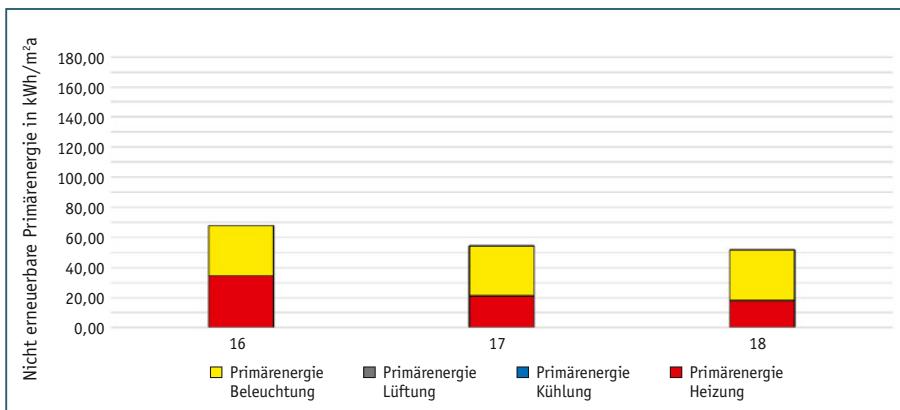
Nutzenergie (in kWh/m²a)			
Nutzenergie Heizung	97,62	53,76	44,56
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Nutzenergie Beleuchtung	19,56	19,56	19,30
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)			
Endenergie Heizung	146,67	83,21	70,33
Hilfsenergie Heizung	0,97	0,45	0,33
Endenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Beleuchtung	19,56	19,56	19,30
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)			
Primärenergie Heizung	28,91	16,22	13,62
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Beleuchtung	35,21	35,21	34,74
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	64,12	51,43	48,36
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	133,70	87,60	77,60
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	52,05 %	41,29 %	37,68 %

Tabelle 9-11: Energiebedarf der Varianten 13–15**Abbildung 9-5:** Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 13–15

Einfluss der Geometrie –Grundrissform: Quadrat mit Atrium (Variante 16–18)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)			
Strommix Deutschland	1,8		
Holz	0,2		
Erdgas	1,1		
Gebäudedaten			
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	733,36	2 200,08	4 274,16
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	733,36	2 200,08	4 274,16
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro	Einzelbüro	Einzelbüro
Energetische Parameter			
Variantenbezeichnung im Textteil	16	17	18
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper
Kälteerzeugung	–	–	–
Rückkühlung	–	–	–
Raumkühleinrichtung	–	–	–
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster
Beleuchtungssystem	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell

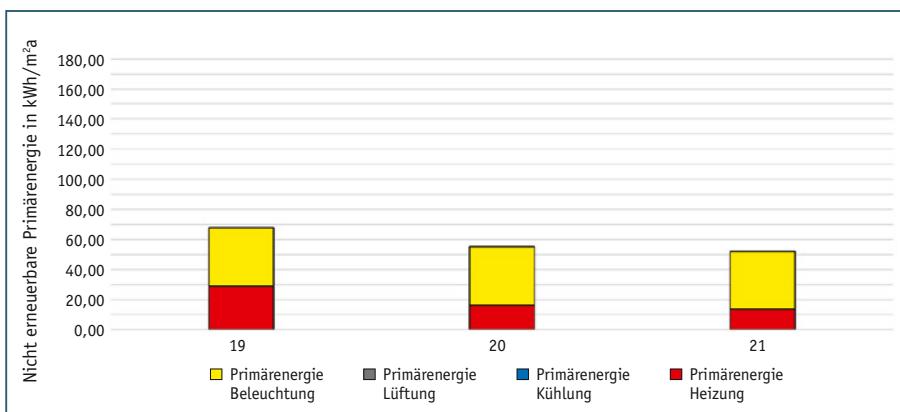
Nutzenergie (in kWh/m²a)			
Nutzenergie Heizung	118,69	71,67	61,71
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Nutzenergie Beleuchtung	18,49	18,49	18,49
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)			
Endenergie Heizung	175,21	108,24	93,61
Hilfsenergie Heizung	1,17	0,59	0,46
Endenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Beleuchtung	18,49	18,49	18,49
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)			
Primärenergie Heizung	34,55	21,11	18,16
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Beleuchtung	33,28	33,28	33,28
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	67,83	54,39	51,45
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	153,10	104,20	93,80
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	55,69 %	47,80 %	45,15 %

Tabelle 9-12: Energiebedarf der Varianten 16–18**Abbildung 9-6:** Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 16–18

Einfluss der Geometrie – Grundrissform: Doppel-E (Variante 19–21)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)			
Strommix Deutschland	1,8		
Holz	0,2		
Erdgas	1,1		
Gebäudedaten			
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	2 326,00	6 978,00	16 543,00
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	2 326,00	6 978,00	16 543,00
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro	Einzelbüro	Einzelbüro
Energetische Parameter			
Variantenbezeichnung im Textteil	19	20	21
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper
Kälteerzeugung	–	–	–
Rückkühlung	–	–	–
Raumkühleinrichtung	–	–	–
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster
Beleuchtungssystem	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell

Nutzenergie (in kWh/m²a)			
Nutzenergie Heizung	98,30	53,42	43,86
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Nutzenergie Beleuchtung	21,46	21,46	21,26
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)			
Endenergie Heizung	147,90	83,79	70,48
Hilfsenergie Heizung	0,87	0,44	0,35
Endenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Beleuchtung	21,46	21,46	21,26
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)			
Primärenergie Heizung	28,95	16,31	13,68
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Beleuchtung	38,63	38,63	38,27
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	67,58	54,94	51,95
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	137,60	91,20	81,10
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	50,88 %	39,76 %	35,94 %

Tabelle 9-13: Energiebedarf der Varianten 19–21**Abbildung 9-7:** Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 19–21

Einfluss der Orientierung – Grundrissform: Rechteck-schlank (Variante 4-01 und 4-02)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)		
Strommix Deutschland	1,8	
Holz	0,2	
Erdgas	1,1	
Gebäudedaten		
1 Geschoss		1 Geschoss
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	734,00	734,00
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	734,00	734,00
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro	Einzelbüro
Energetische Parameter		
Variantenbezeichnung im Textteil	4-01	4-02
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holzpelletkessel	Holzpelletkessel
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Heizkörper
Kälteerzeugung	–	–
Rückkühlung	–	–
Raumkühleinrichtung	–	–
Lüftung	Fenster	Fenster
Beleuchtungssystem	direkt / indirekt	direkt / indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell

Nutzenergie (in kWh/m²a)		
Nutzenergie Heizung	105,22	102,30
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00
Nutzenergie Beleuchtung	20,90	21,07
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)		
Endenergie Heizung	157,94	153,96
Hilfsenergie Heizung	1,03	1,00
Endenergie Kühlung	0,00	0,00
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00
Endenergie Lüftung	0,00	0,00
Endenergie Beleuchtung	20,90	21,07
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)		
Primärenergie Heizung	31,10	30,32
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00
Primärenergie Beleuchtung	37,62	37,92
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	68,72	68,24
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	143,80	141,00
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	52,21 %	51,60 %

Tabelle 9-14: Energiebedarf der Varianten 4-01 und 4-02

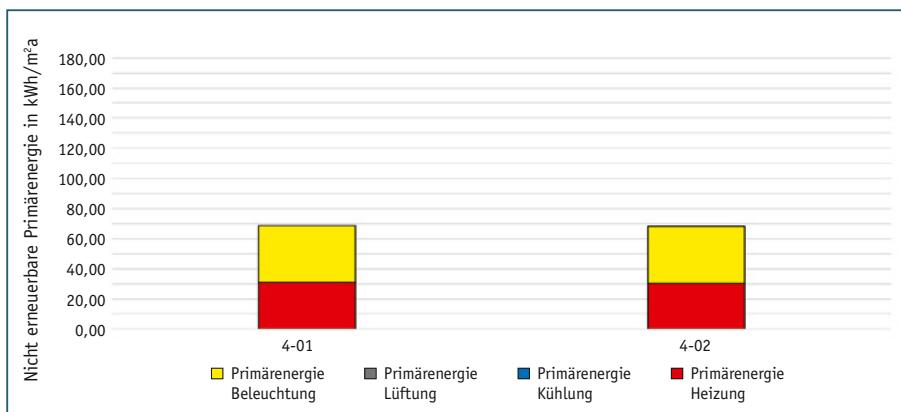


Abbildung 9-8: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 4-01 und 4-02

Einfluss der Orientierung – Grundrissform: U-Form (Variante 13-01 und 13-02)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)		
Strommix Deutschland	1,8	
Holz	0,2	
Erdgas	1,1	
Gebäudedaten		
1 Geschoss		1 Geschoss
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	734,00	734,00
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	734,00	734,00
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro	Einzelbüro
Energetische Parameter		
Variantenbezeichnung im Textteil	13-01	13-02
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holzpelletkessel	Holzpelletkessel
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Heizkörper
Kälteerzeugung	–	–
Rückkühlung	–	–
Raumkühleinrichtung	–	–
Lüftung	Fenster	Fenster
Beleuchtungssystem	direkt / indirekt	direkt / indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell

Nutzenergie (in kWh/m²a)		
Nutzenergie Heizung	97,62	97,28
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00
Nutzenergie Beleuchtung	19,56	19,56
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)		
Endenergie Heizung	146,67	146,24
Hilfsenergie Heizung	0,97	0,97
Endenergie Kühlung	0,00	0,00
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00
Endenergie Lüftung	0,00	0,00
Endenergie Beleuchtung	19,56	19,56
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)		
Primärenergie Heizung	28,91	28,83
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00
Primärenergie Beleuchtung	35,21	35,21
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	64,12	64,04
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	133,70	133,30
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	52,05 %	51,96 %

Tabelle 9-15: Energiebedarf der Varianten 13-01 und 13-02

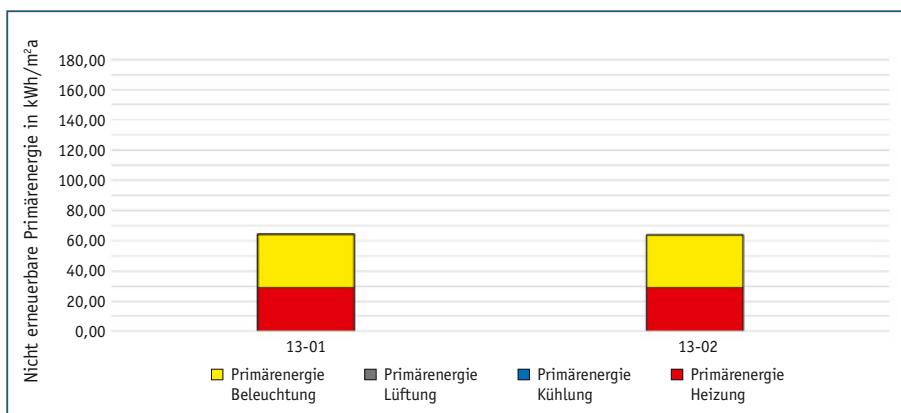
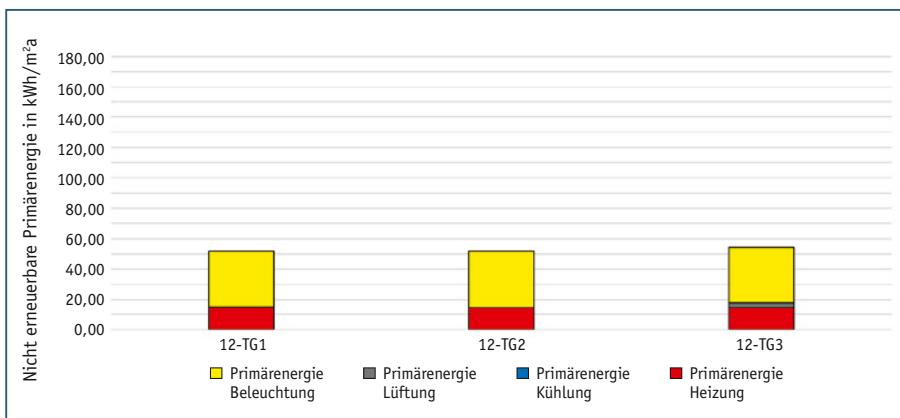


Abbildung 9-9: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 13-01 und 13-02

Einfluss der Tiefgarage – Grundrissform: Winkel (Variante 12-TG1, 12-TG2, 12-TG3)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)			
Strommix Deutschland	1,8		
Holz	0,2		
Erdgas	1,1		
Gebäudedaten			
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	4 274,00	5 008,00	5 008,00
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	4 274,00	4 274,00	4 274,00
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro	Einzelbüro	Einzelbüro
		Parkhaus	Parkhaus
Energetische Parameter			
Variantenbezeichnung im Textteil	12-TG1	12-TG2	12-TG3
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper
Kälteerzeugung	–	–	–
Rückkühlung	–	–	–
Raumkühleinrichtung	–	–	–
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster / Abluft in TG
Beleuchtungssystem	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell

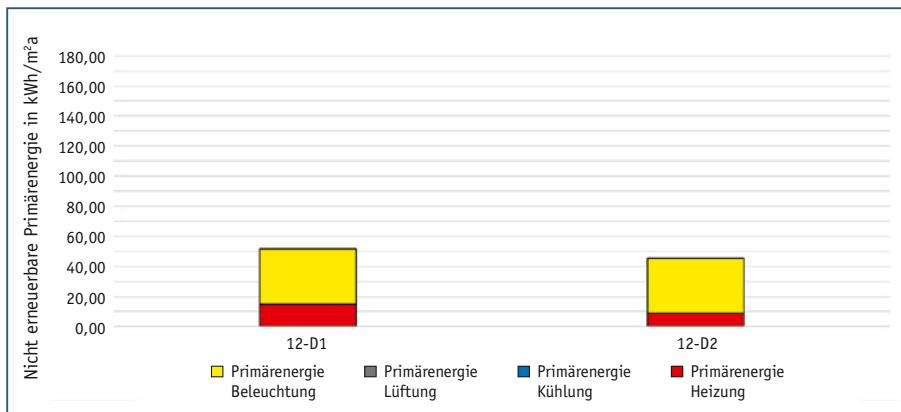
Nutzenergie (in kWh/m²a)			
Nutzenergie Heizung	49,06	48,45	48,45
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Nutzenergie Beleuchtung	20,33	20,44	20,44
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)			
Endenergie Heizung	76,82	75,82	75,82
Hilfsenergie Heizung	0,36	0,36	0,36
Endenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	1,55
Endenergie Beleuchtung	20,33	20,44	20,44
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)			
Primärenergie Heizung	14,87	14,69	14,69
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	2,79
Primärenergie Beleuchtung	36,59	36,79	36,79
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	51,47	51,48	54,27
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	84,20	83,70	85,40
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	38,87 %	38,49 %	36,45 %

Tabelle 9-16: Energiebedarf der Varianten 12-TG1, 12-TG2, 12-TG3**Abbildung 9-10:** Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 12-TG1, 12-TG2, 12-TG3

Einfluss des Dämmstandards – Grundrissform: Winkel (Variante 12-D1, 12-D2)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)		
Strommix Deutschland	1,8	
Holz	0,2	
Erdgas	1,1	
Gebäudedaten		
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	4 274,00	4 274,00
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	4 274,00	4 274,00
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro	Einzelbüro
Energetische Parameter		
Variantenbezeichnung im Textteil	12-D1	12-D2
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1
Dämmstandard	D1	D2
Wärmeerzeugung	Holzpelletkessel	Holzpelletkessel
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Heizkörper
Kälteerzeugung	–	–
Rückkühlung	–	–
Raumkühleinrichtung	–	–
Lüftung	Fenster	Fenster
Beleuchtungssystem	direkt / indirekt	direkt / indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell

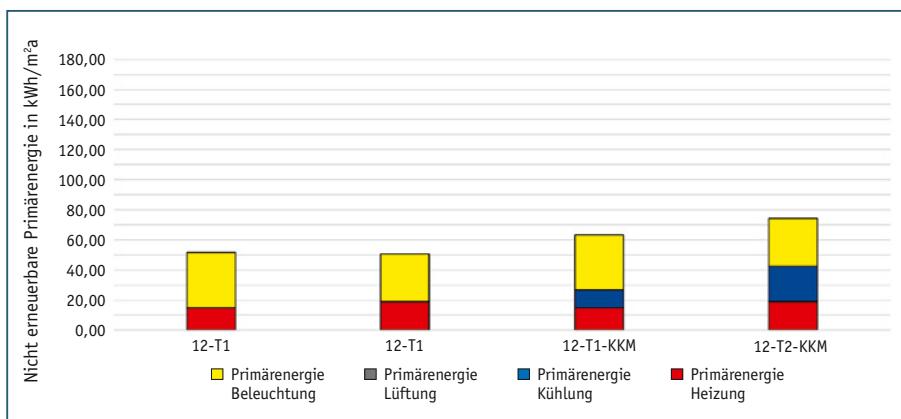
Nutzenergie (in kWh/m²a)		
Nutzenergie Heizung	49,06	26,54
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00
Nutzenergie Beleuchtung	20,33	20,33
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)		
Endenergie Heizung	76,82	45,49
Hilfsenergie Heizung	0,36	0,22
Endenergie Kühlung	0,00	0,00
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00
Endenergie Lüftung	0,00	0,00
Endenergie Beleuchtung	20,33	20,33
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)		
Primärenergie Heizung	14,87	8,82
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00
Primärenergie Beleuchtung	36,59	36,59
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	51,47	45,41
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	84,20	84,30
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	38,87 %	46,13 %

Tabelle 9-17: Energiebedarf der Varianten 12-D1, 12-D2**Abbildung 9-11:** Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 12-D1, 12-D2

Einfluss des Transparenzanteils der Fassade – Grundrissform: Winkel (Variante 12-T1, 12-T2, 12-T1-KKM, 12-T2-KKM)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)				
Strommix Deutschland	1,8			
Holz	0,2			
Erdgas	1,1			
Gebäudedaten				
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro	Einzelbüro	Einzelbüro	Einzelbüro
Energetische Parameter				
Variantenbezeichnung im Textteil	12-T1	12-T2	12-T1-KKM	12-T2-KKM
Transparenzanteil der Fassade	T1	T2	T1	T2
Dämmstandard	D1	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper
Kälteerzeugung	–	–	Kompres-sions-KM	Kompres-sions-KM
Rückkühlung	–	–	Trocken-kühler	Trocken-kühler
Raumkühleinrichtung	–	–	Flächen-kühlung	Flächen-kühlung
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster
Beleuchtungssystem	direkt/ indirekt	direkt/ indirekt	direkt/ indirekt	direkt/ indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell	manuell

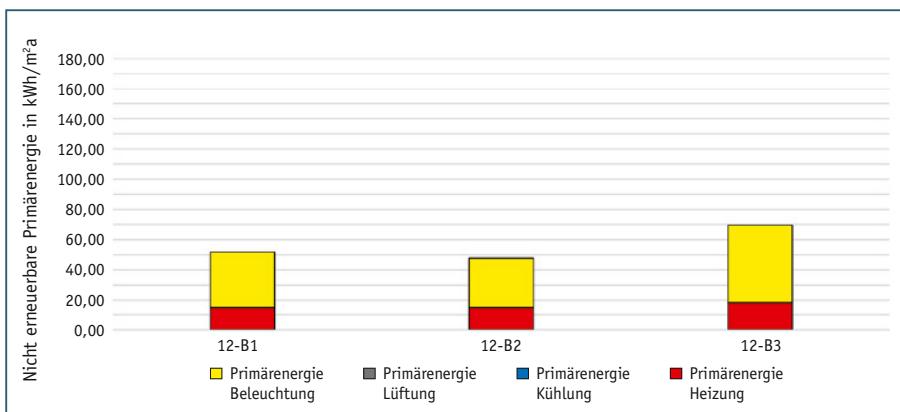
Nutzenergie (in kWh/m²a)				
Nutzenergie Heizung	49,06	65,09	49,07	65,09
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00	14,79	30,75
Nutzenergie Beleuchtung	20,33	17,65	20,33	17,65
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)				
Endenergie Heizung	76,82	97,35	76,80	97,33
Hilfsenergie Heizung	0,36	0,45	0,36	0,45
Endenergie Kühlung	0,00	0,00	4,35	9,03
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00	2,20	4,15
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00	0,00
Endenergie Beleuchtung	20,33	17,65	20,33	17,65
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)				
Primärenergie Heizung	14,87	18,84	14,87	18,83
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00	11,79	23,72
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Beleuchtung	36,59	31,77	36,59	31,77
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	51,47	50,61	63,25	74,33
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	84,20	94,90	87,90	102,40
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	38,87 %	46,67 %	28,04 %	27,41 %

Tabelle 9-18: Energiebedarf der Varianten 12-T1, 12-T2, 12-T1-KKM, 12-T2-KKM**Abbildung 9-12:** Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 12-T1, 12-T2, 12-T1-KKM, 12-T2-KKM

Einfluss der Büroform – Grundrissform: Winkel (Variante 12-B1, 12-B2, 12-B3)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)			
Strommix Deutschland	1,8		
Holz	0,2		
Erdgas	1,1		
Gebäudedaten			
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	4 274,00	4 274,00	4 274,00
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	4 274,00	4 274,00	4 274,00
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro	Gruppenbüro	Großraumbüro
Energetische Parameter			
Variantenbezeichnung im Textteil	12-B1	12-B2	12-B3
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holzpellet- kessel	Holzpellet- kessel	Holzpellet- kessel
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper
Kälteerzeugung	–	–	–
Rückkühlung	–	–	–
Raumkühleinrichtung	–	–	–
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster
Beleuchtungssystem	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell

Nutzenergie (in kWh/m²a)			
Nutzenergie Heizung	49,06	50,22	61,60
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Nutzenergie Beleuchtung	20,33	18,06	28,64
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)			
Endenergie Heizung	76,82	78,48	93,84
Hilfsenergie Heizung	0,36	0,37	0,43
Endenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00
Endenergie Beleuchtung	20,33	18,06	28,64
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)			
Primärenergie Heizung	14,87	15,20	18,15
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Beleuchtung	36,59	32,51	51,55
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	51,47	47,71	69,70
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	84,20	82,20	103,00
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	38,87 %	41,96 %	32,33 %

Tabelle 9-19: Energiebedarf der Varianten 12-B1, 12-B2, 12-B3**Abbildung 9-13:** Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 12-B1, 12-B2, 12-B3

Einfluss des Wärmeerzeugers – Grundrissform: Winkel (Variante 12-W1 bis 12-W6)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)						
Strommix Deutschland	1,8					
Holz	0,2					
Erdgas	1,1					
Gebäudedaten						
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00
konditionierte Netto-grundfläche (Bezugsfläche) in m ²	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzel-büro	Einzel-büro	Einzel-büro	Einzel-büro	Einzel-büro	Einzel-büro
Energetische Parameter						
Variantenbezeichnung im Textteil	12-WE1	12-WE2	12-WE3	12-WE4	12-WE5	12-WE6
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1	T1	T1	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1	D1	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Sole-Wasser-WP	Luft-Wasser-WP	Holz-pellet-kessel	Gas-BW-Kessel	Holz-pellet-kessel	Gas-BW-Kessel
Raumheizeinrichtung	Flächen-heizung	Flächen-heizung	Flächen-heizung	Flächen-heizung	Heiz-körper	Heiz-körper
Kälteerzeugung	–	–	–	–	–	–
Rückkühlung	–	–	–	–	–	–
Raumkühleinrichtung	–	–	–	–	–	–
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster
Beleuchtungssystem	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell	manuell	manuell	manuell

Nutzenergie (in kWh/m²a)						
Nutzenergie Heizung	55,61	55,61	55,61	55,61	49,06	49,06
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nutzenergie Beleuchtung	20,33	20,33	20,33	20,33	20,33	20,33
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)						
Endenergie Heizung	13,15	18,56	87,72	71,43	76,82	68,57
Hilfsenergie Heizung	0,53	0,46	0,64	0,48	0,36	0,20
Endenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Endenergie Beleuchtung	20,33	20,33	20,33	20,33	20,33	20,33
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)						
Primärenergie Heizung	24,62	34,24	16,47	71,65	14,87	68,31
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Beleuchtung	36,59	36,59	36,59	36,59	36,59	36,59
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	61,22	70,83	53,06	108,24	51,47	104,91
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	84,20	84,20	84,20	84,20	84,20	84,20
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	27,29 %	15,88 %	36,98 %	-28,56 %	38,87 %	-24,59 %

Tabelle 9-20: Energiebedarf der Varianten 12-W1 bis 12-W6

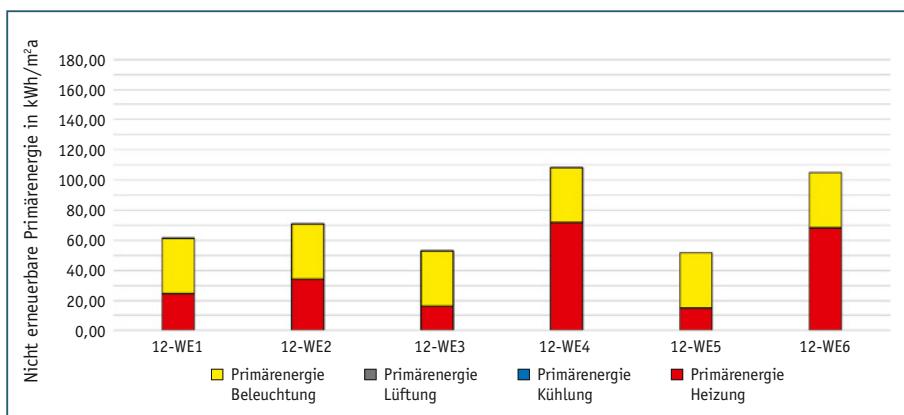
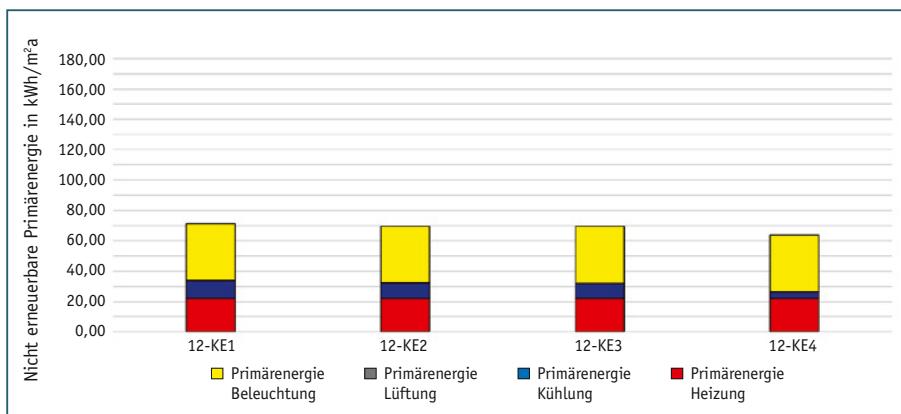


Abbildung 9-14: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 12-W1 bis 12-W6

Einfluss des Kälteerzeugers – Grundrissform: Winkel (Variante 12-KE1 bis 12-KE4)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)				
Strommix Deutschland	1,8			
Holz	0,2			
Erdgas	1,1			
Gebäudedaten				
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro	Einzelbüro	Einzelbüro	Einzelbüro
Energetische Parameter				
Variantenbezeichnung im Textteil	12-KE1	12-KE2	12-KE3	12-KE4
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Sole-Wasser-WP	Sole-Wasser-WP	Sole-Wasser-WP	Sole-Wasser-WP
Raumheizeinrichtung	Flächenheizung	Flächenheizung	Flächenheizung	Flächenheizung
Kälteerzeugung	Kompressions-KM	Kompressions-KM	Kompressions-KM	Erdsondenfeld
Rückkühlung	Trockenkühler	Verdunstungskühler	Verdunstungskühler zusätzlich Freikühler	-
Raumkühleinrichtung	Flächenkühlung	Flächenkühlung	Flächenkühlung	Flächenkühlung
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster
Beleuchtungssystem	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell	manuell

Nutzenergie (in kWh/m²a)				
Nutzenergie Heizung	49,78	49,78	49,78	49,78
Nutzenergie Kühlung	14,55	14,55	14,55	14,55
Nutzenergie Beleuchtung	20,76	20,76	20,76	20,76
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)				
Endenergie Heizung	11,77	11,77	11,77	11,77
Hilfsenergie Heizung	0,52	0,52	0,52	0,52
Endenergie Kühlung	4,27	3,44	3,29	0,43
Hilfsenergie Kühlung	2,18	2,21	2,21	2,00
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00	0,00
Endenergie Beleuchtung	20,76	20,76	20,76	20,76
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)				
Primärenergie Heizung	22,12	22,12	22,12	22,12
Primärenergie Kühlung	11,61	10,17	9,90	4,37
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Beleuchtung	37,37	37,37	37,37	37,37
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	71,10	69,66	69,39	63,86
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	78,00	78,00	78,00	78,00
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	8,85 %	10,69 %	11,04 %	18,12 %

Tabelle 9-21: Energiebedarf der Varianten 12-KE1 bis 12-KE4**Abbildung 9-15:** Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 12-KE1 bis 12-KE4

Einfluss der Lüftung – Grundrissform: Winkel (Variante 12-RLT1-Pellet bis 12-RLT3-Pellet und 12-RLT1-WP bis 12-RLT3-WP)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)						
Strommix Deutschland	1,8					
Holz	0,2					
Erdgas	1,1					
Gebäudedaten						
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00
konditionierte Netto-grundfläche (Bezugsfläche) in m ²	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzel-büro	Einzel-büro	Einzel-büro	Einzel-büro	Einzel-büro	Einzel-büro
Energetische Parameter						
Variantenbezeichnung im Textteil	12-RLT1-Pellet	12-RLT2-Pellet	12-RLT3-Pellet	12-RLT1-WP	12-RLT2-WP	12-RLT3-WP
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1	T1	T1	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1	D1	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holz-pellet-kessel	Holz-pellet-kessel	Holz-pellet-kessel	Sole-Wasser-WP	Sole-Wasser-WP	Sole-Wasser-WP
Raumheizeinrichtung	Heiz-körper	Heiz-körper	Heiz-körper	Flächen-heizung	Flächen-heizung	Flächen-heizung
Kälteerzeugung	Kompressi-ons-KM	Kompressi-ons-KM	Kompressi-ons-KM	Erd-sonden-feld	Erd-sonden-feld	Erd-sonden-feld
Rückkühlung	Trocken-kühler	Trocken-kühler	Trocken-kühler	Trocken-kühler	Trocken-kühler	Trocken-kühler
Raumkühleinrichtung	-	-	Flächen-kühlung	-	-	Flächen-kühlung
Lüftung	Maschi-nelle Lüftung KVS-kühl-bedingt	Maschi-nelle Lüftung VVS-kühl-bedingt	Maschi-nelle Lüftung KVS-physio-logisch	Maschi-nelle Lüftung KVS-kühl-bedingt	Maschi-nelle Lüftung VVS-kühl-bedingt	Maschi-nelle Lüftung KVS-physio-logisch
Beleuchtungssystem	direkt/ indirekt	direkt/ indirekt	direkt/ indirekt	direkt/ indirekt	direkt/ indirekt	direkt/ indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell	manuell	manuell	manuell

Nutzenergie (in kWh/m²a)						
Nutzenergie Heizung	54,14	30,79	30,57	60,01	35,16	51,47
Nutzenergie Kühlung	27,28	27,86	20,47	27,28	26,91	19,23
Nutzenergie Beleuchtung	20,76	20,76	20,76	20,76	20,76	20,76
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)						
Endenergie Heizung	92,07	58,50	53,31	13,19	7,94	11,82
Hilfsenergie Heizung	0,52	0,35	0,34	0,57	0,40	0,57
Endenergie Kühlung	8,34	3,76	6,07	1,18	0,53	0,73
Hilfsenergie Kühlung	2,47	1,70	2,37	0,94	0,66	0,84
Endenergie Lüftung	52,02	10,30	9,39	52,02	10,04	9,39
Endenergie Beleuchtung	20,76	20,76	20,76	20,76	20,76	20,76
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)						
Primärenergie Heizung	17,99	11,46	10,48	24,77	15,01	22,30
Primärenergie Kühlung	19,46	9,83	15,19	3,82	2,14	2,83
Primärenergie Lüftung	93,64	18,54	16,90	93,64	18,07	16,90
Primärenergie Beleuchtung	37,37	37,37	37,37	37,37	37,37	37,37
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	168,45	77,20	79,95	159,59	72,59	79,40
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	77,40	77,40	75,90	77,40	77,40	91,90
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	-117,63 %	0,26 %	-5,33 %	-106,19 %	6,21 %	13,60 %

Tabelle 9-22: Energiebedarf der Varianten 12-RLT1-Pellet bis 12-RLT3-Pellet und 12-RLT1-WP bis 12-RLT3-WP

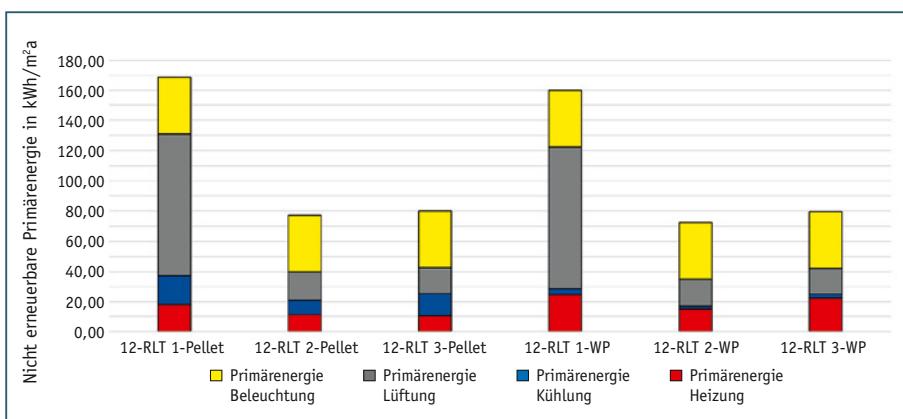


Abbildung 9-16: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 12-RLT1-Pellet bis 12-RLT3-Pellet und 12-RLT1-WP bis 12-RLT3-WP

Einfluss der Verdunstungskühlung – Grundrissform: Winkel (Variante 12-RLT1-Pellet bis 12-RLT2-Pellet jeweils ohne und mit VK)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)						
Strommix Deutschland	1,8					
Holz	0,2					
Erdgas	1,1					
Gebäudedaten						
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00
konditionierte Netto-grundfläche (Bezugsfläche) in m ²	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzel-büro	Einzel-büro	Einzel-büro	Einzel-büro	Einzel-büro	Einzel-büro
Energetische Parameter						
Variantenbezeichnung im Textteil	12-RLT1-Pellet	12-RLT1-Pellet-VK	12-RLT1-Pellet-nur VK	12-RLT2-Pellet	12-RLT2-Pellet-VK	12-RLT2-Pellet-nur VK
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1	T1	T1	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1	D1	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holz-pellet-kessel	Holz-pellet-kessel	Holz-pellet-kessel	Holz-pellet-kessel	Holz-pellet-kessel	Holz-pellet-kessel
Raumheizeinrichtung	Heiz-körper	Heiz-körper	Heiz-körper	Heiz-körper	Heiz-körper	Heiz-körper
Kälteerzeugung	Kompressi-ons-KM	Kompressi-ons-KM Verdunstungs-kühlung	Verdunstungs-kühlung	Kompressi-ons-KM	Kompressi-ons-KM Verdunstungs-kühlung	Verdunstungs-kühlung
Rückkühlung	Trocken-kühler	Trocken-kühler	Trocken-kühler	Trocken-kühler	Trocken-kühler	Trocken-kühler
Raumkühleinrichtung	-	-	-	-	-	-
Lüftung	Maschi-nelle Lüftung KVS-kühl-bedingt	Maschi-nelle Lüftung KVS-kühl-bedingt	Maschi-nelle Lüftung KVS-kühl-bedingt	Maschi-nelle Lüftung VVS-lastab-hängig	Maschi-nelle Lüftung VVS-lastab-hängig	Maschi-nelle Lüftung VVS-lastab-hängig
Beleuchtungssystem	direkt/ indirekt	direkt/ indirekt	direkt/ indirekt	direkt/ indirekt	direkt/ indirekt	direkt/ indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell	manuell	manuell	manuell

Nutzenergie (in kWh/m²a)						
Nutzenergie Heizung	54,14	54,14	54,14	30,57	30,79	30,79
Nutzenergie Kühlung	27,28	5,54	5,54	16,55	18,07	0,00
Nutzenergie Beleuchtung	20,76	20,76	20,76	20,76	20,76	20,76
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)						
Endenergie Heizung	92,07	92,17	92,17	53,31	58,50	58,50
Hilfsenergie Heizung	0,52	0,52	0,52	0,34	0,35	0,35
Endenergie Kühlung	8,34	1,69	0,00	4,88	0,77	0,00
Hilfsenergie Kühlung	2,47	2,37	0,00	2,35	1,65	0,00
Endenergie Lüftung	52,02	52,02	52,02	9,39	10,30	10,30
Endenergie Beleuchtung	20,76	20,76	20,76	20,76	20,76	20,76
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)						
Primärenergie Heizung	17,99	18,00	18,00	10,48	11,46	11,46
Primärenergie Kühlung	19,46	7,31	0,00	13,01	4,36	0,00
Primärenergie Lüftung	93,64	93,64	93,64	16,90	18,54	18,54
Primärenergie Beleuchtung	37,37	37,37	37,37	37,37	37,37	37,37
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	168,45	156,32	149,01	77,77	71,73	67,37
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	77,40	75,60	74,50	75,10	75,60	75,60
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	-117,63 %	-106,77 %	-100,01 %	-3,55 %	5,12 %	10,89 %

Tabelle 9-23: Energiebedarf der Varianten 12-RLT1-Pellet bis 12-RLT2-Pellet jeweils ohne und mit VK

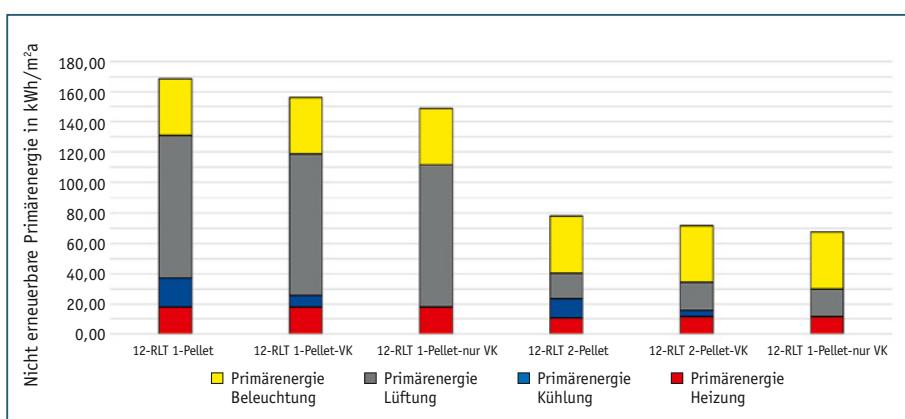
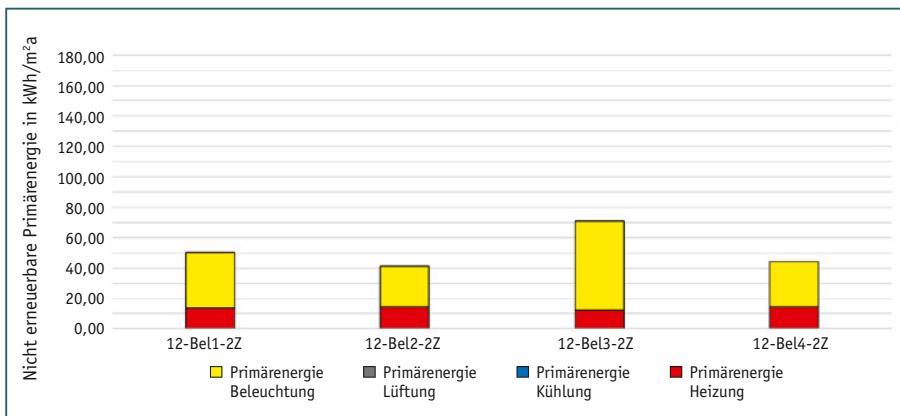


Abbildung 9-17: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 12-RLT1-Pellet bis 12-RLT2-Pellet jeweils ohne und mit VK

Einfluss der Beleuchtung – Grundrissform: Winkel (Variante 12-Bel1-2Z bis 12-Bel4-2Z)

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)				
Strommix Deutschland	1,8			
Holz	0,2			
Erdgas	1,1			
Gebäudedaten				
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	4 274,00	4 274,00	4 274,00	4 274,00
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro	Einzelbüro	Einzelbüro	Einzelbüro
Energetische Parameter				
Variantenbezeichnung im Textteil	12-Bel1-2Z	12-Bel2-2Z	12-Bel3-2Z	12-Bel4-2Z
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel	Holzpellet-kessel
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper
Kälteerzeugung	–	–	–	–
Rückkühlung	–	–	–	–
Raumkühleinrichtung	–	–	–	–
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster
Beleuchtungssystem	direkt/indirekt	direkt	indirekt	direkt/indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell	automatisch

Nutzenergie (in kWh/m²a)				
Nutzenergie Heizung	43,70	46,38	38,21	45,61
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00	0,00
Nutzenergie Beleuchtung	20,34	14,88	32,36	16,53
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)				
Endenergie Heizung	71,32	75,16	63,49	74,76
Hilfsenergie Heizung	0,36	0,37	0,35	0,39
Endenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00	0,00
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00	0,00
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00	0,00
Endenergie Beleuchtung	20,34	14,88	32,36	16,53
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)				
Primärenergie Heizung	13,86	14,58	12,39	14,55
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00	0,00
Primärenergie Beleuchtung	36,61	26,78	58,25	29,75
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt				
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	50,47	41,37	70,64	44,30
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	32,53 %	44,69 %	5,57 %	40,77 %

Tabelle 9-24: Energiebedarf der Varianten 12-Bel1-2Z bis 12-Bel4-2Z**Abbildung 9-18:** Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Varianten 12-Bel1-2Z bis 12-Bel4-2Z

9.3 Ergebnisse für das sechsgeschossige Winkel-Gebäude (Variante 12)

Für das Winkelgebäude wurde der Energiebedarf jeweils für folgende Kombinationen des Dämmstandards (D1 und D2) und des Transparenzanteils (T1 und T2) für jeweils 6 Gebäudetechnikvarianten berechnet:

- T1/D1
- T1/D2
- T2/D1
- T2/D2

Variantengruppe T1/D1 – Grundrissform: Winkel

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)						
Strommix Deutschland	1,8					
Holz	0,2					
Erdgas	1,1					
Gebäudedaten						
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	4 274,00					
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	4 274,00					
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro					
Energetische Parameter						
Variantenbezeichnung	Winkel-1-T1-D1	Winkel-2-T1-D1	Winkel-3-T1-D1	Winkel-4-T1-D1	Winkel-5-T1-D1	Winkel-6-T1-D1
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1	T1	T1	T1	T1
Dämmstandard	D1	D1	D1	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holz-pellet-kessel	Sole-Wasser-WP	Holz-pellet-kessel	Sole-Wasser-WP	Holz-pellet-kessel	Sole-Wasser-WP
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Flächenheizung	Heizkörper	Flächenheizung	Heizkörper	Flächenheizung
Kälteerzeugung	–	–	Kompressi-ons-KM	Erdsondenfeld	Kompressi-ons-KM	Erdsondenfeld
Rückkühlung	–	–	Trockenkühler	–	Trockenkühler	–
Raumkühleinrichtung	–	–	Flächenkühlung	Flächenkühlung	Flächenkühlung	Flächenkühlung
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster	physiologischer LW	physiologischer LW
Beleuchtungssystem	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell	manuell	manuell	manuell

Nutzenergie (in kWh/m²a)						
Nutzenergie Heizung	49,06	55,61	49,07	55,61	32,35	36,86
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00	14,79	14,58	21,34	20,62
Nutzenergie Beleuchtung	20,33	20,33	20,33	20,33	20,33	20,33
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)						
Endenergie Heizung	76,82	13,15	76,80	13,15	54,49	8,48
Hilfsenergie Heizung	0,36	0,53	0,36	0,53	0,37	0,39
Endenergie Kühlung	0,00	0,00	4,35	0,43	6,35	0,64
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00	2,14	1,97	2,35	2,16
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00	0,00	11,74	11,74
Endenergie Beleuchtung	20,33	20,33	20,33	20,33	20,33	20,33
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)						
Primärenergie Heizung	14,87	24,62	14,87	24,61	10,70	15,98
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00	11,68	4,33	15,64	5,05
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00	0,00	21,12	21,12
Primärenergie Beleuchtung	36,59	36,59	36,59	36,59	36,59	36,59
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	51,46	61,22	63,14	65,53	84,05	78,74
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	84,20	84,20	87,90	87,90	85,90	85,90
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	38,88 %	27,29 %	28,17 %	25,45 %	2,15 %	8,34 %

Tabelle 9-25: Energiebedarf für die Variantengruppe T1/D1

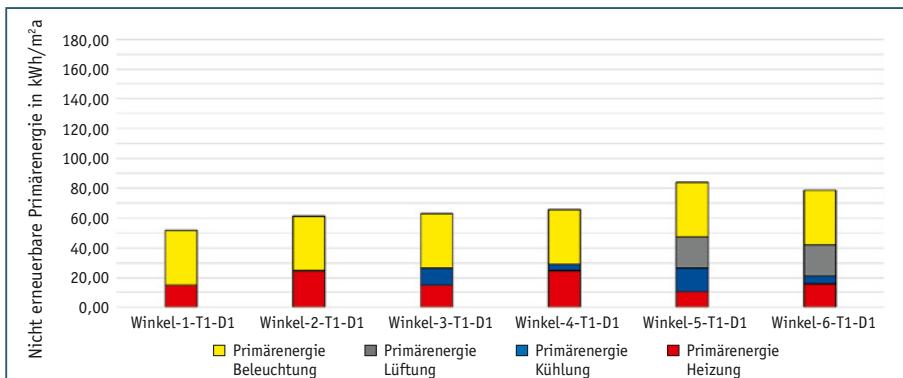


Abbildung 9-19: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf für die Variantengruppe T1/D1

Variantengruppe T1/D2 – Grundrissform: Winkel

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)						
Strommix Deutschland	1,8					
Holz	0,2					
Erdgas	1,1					
Gebäudedaten						
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	4 274,00					
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	4 274,00					
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro					
Energetische Parameter						
Variantenbezeichnung	Winkel-1-T1-D2	Winkel-2-T1-D2	Winkel-3-T1-D2	Winkel-4-T1-D2	Winkel-5-T1-D2	Winkel-6-T1-D2
Transparenzanteil der Fassade	T1	T1	T1	T1	T1	T1
Dämmstandard	D2	D2	D2	D2	D2	D2
Wärmeerzeugung	Holz-pellet-kessel	Sole-Wasser-WP	Holz-pellet-kessel	Sole-Wasser-WP	Holz-pellet-kessel	Sole-Wasser-WP
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Flächenheizung	Heizkörper	Flächenheizung	Heizkörper	Flächenheizung
Kälteerzeugung	–	–	Kompressi-ons-KM	Erdsondenfeld	Kompressi-ons-KM	Erdsondenfeld
Rückkühlung	–	–	Trockenkühler	–	Trockenkühler	–
Raumkühleinrichtung	–	–	Flächenkühlung	Flächenkühlung	Flächenkühlung	Flächenkühlung
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster	physiologischer LW	physiologischer LW
Beleuchtungssystem	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell	manuell	manuell	manuell

Nutzenergie (in kWh/m²a)						
Nutzenergie Heizung	26,54	31,72	26,54	31,72	12,94	15,32
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00	18,11	17,81	25,92	25,21
Nutzenergie Beleuchtung	20,33	20,33	20,33	20,33	20,33	20,33
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)						
Endenergie Heizung	45,49	7,78	45,49	7,78	26,33	3,59
Hilfsenergie Heizung	0,22	0,35	0,22	0,35	0,19	0,20
Endenergie Kühlung	0,00	0,00	5,32	0,52	7,69	0,78
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00	2,29	2,10	2,57	2,36
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00	0,00	11,74	11,74
Endenergie Beleuchtung	20,33	20,33	20,33	20,33	20,33	20,33
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)						
Primärenergie Heizung	8,83	14,63	8,83	14,63	5,21	6,82
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00	13,70	4,73	18,46	5,65
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00	0,00	21,12	21,12
Primärenergie Beleuchtung	36,59	36,59	36,59	36,59	36,59	36,59
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	45,42	51,22	59,12	55,95	81,38	70,18
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	84,30	84,30	88,00	88,00	86,00	86,00
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	46,12 %	39,24 %	32,82 %	36,42 %	5,37 %	18,40 %

Tabelle 9-26: Energiebedarf für die Variantengruppe T1/D2

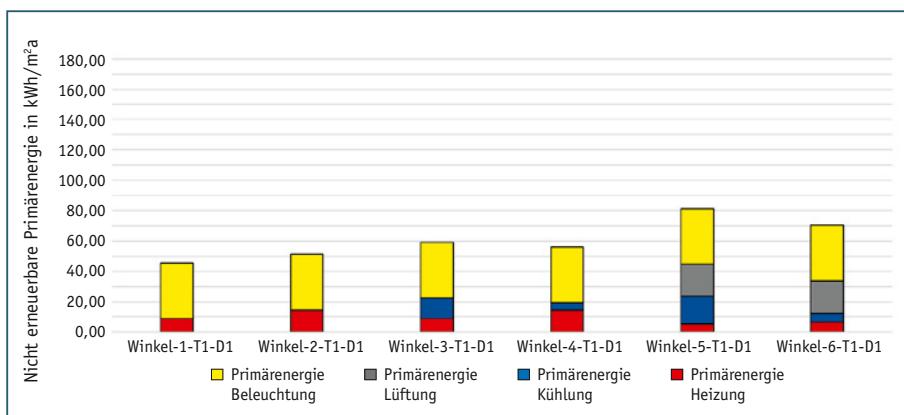


Abbildung 9-20: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf für die Variantengruppe T1/D2

Variantengruppe T2/D1 – Grundrissform: Winkel

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)						
Strommix Deutschland	1,8					
Holz	0,2					
Erdgas	1,1					
Gebäudedaten						
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	4 274,00					
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	4 274,00					
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro					
Energetische Parameter						
Variantenbezeichnung	Winkel-1-T2-D1	Winkel-2-T2-D1	Winkel-3-T2-D1	Winkel-4-T2-D1	Winkel-5-T2-D1	Winkel-6-T2-D1
Transparenzanteil der Fassade	T2	T2	T2	T2	T2	T2
Dämmstandard	D1	D1	D1	D1	D1	D1
Wärmeerzeugung	Holz-pellet-kessel	Sole-Wasser-WP	Holz-pellet-kessel	Sole-Wasser-WP	Holz-pellet-kessel	Sole-Wasser-WP
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Flächenheizung	Heizkörper	Flächenheizung	Heizkörper	Flächenheizung
Kälteerzeugung	–	–	Kompressi-ons-KM	Erdsondenfeld	Kompressi-ons-KM	Erdsondenfeld
Rückkühlung	–	–	Trockenkühler	–	Trockenkühler	–
Raumkühleinrichtung	–	–	Flächenkühlung	Flächenkühlung	Flächenkühlung	Flächenkühlung
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster	physiologischer LW	physiologischer LW
Beleuchtungssystem	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell	manuell	manuell	manuell

Nutzenergie (in kWh/m²a)						
Nutzenergie Heizung	65,09	71,37	65,09	71,37	48,41	53,24
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00	30,75	30,42	37,59	36,95
Nutzenergie Beleuchtung	17,65	17,65	17,65	17,65	17,65	17,65
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)						
Endenergie Heizung	97,35	16,63	97,33	16,63	75,81	12,18
Hilfsenergie Heizung	0,45	0,62	0,45	0,62	0,43	0,50
Endenergie Kühlung	0,00	0,00	9,03	0,89	11,12	1,13
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00	4,03	3,73	3,89	3,62
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00	0,00	11,74	11,74
Endenergie Beleuchtung	17,65	17,65	17,65	17,65	17,65	17,65
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)						
Primärenergie Heizung	18,84	31,04	18,83	31,04	14,82	22,83
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00	23,52	8,32	27,02	8,54
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00	0,00	21,12	21,12
Primärenergie Beleuchtung	31,77	31,77	31,77	31,77	31,77	31,77
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	50,61	62,81	74,12	71,13	94,73	84,26
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	94,90	94,90	102,40	102,40	101,10	101,10
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	46,67 %	33,81 %	27,62 %	30,54 %	6,30 %	16,66 %

Tabelle 9-27: Energiebedarf für die Variantengruppe T2/D1

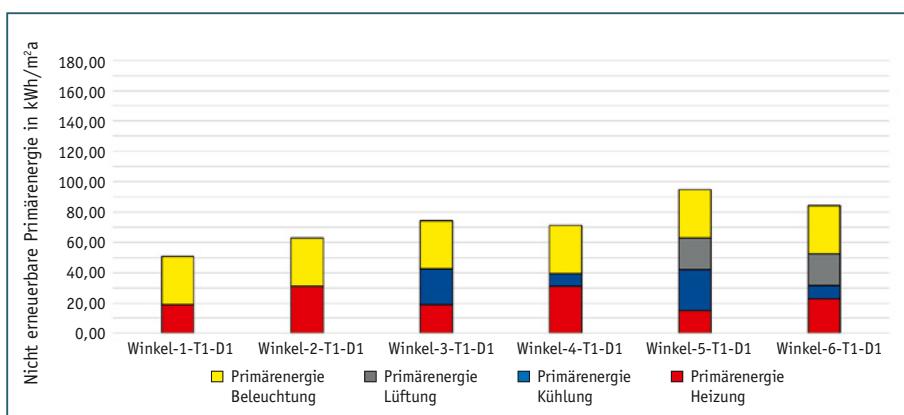


Abbildung 9-21: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf für die Variantengruppe T2/D1

Variantengruppe T2/D2 – Grundrissform: Winkel

Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar)						
Strommix Deutschland	1,8					
Holz	0,2					
Erdgas	1,1					
Gebäudedaten						
Nettogrundfläche (NGF) in m ²	4 274,00					
konditionierte Nettogrundfläche (Bezugsfläche) in m ²	4 274,00					
Nutzungsprofil nach DIN 18599-10	Einzelbüro					
Energetische Parameter						
Variantenbezeichnung im Textteil	Winkel-1-T2-D2	Winkel-2-T2-D2	Winkel-3-T2-D2	Winkel-4-T2-D2	Winkel-5-T2-D2	Winkel-6-T2-D2
Transparenzanteil der Fassade	T2	T2	T2	T2	T2	T2
Dämmstandard	D2	D2	D2	D2	D2	D2
Wärmeerzeugung	Holz-pellet-kessel	Sole-Wasser-WP	Holz-pellet-kessel	Sole-Wasser-WP	Holz-pellet-kessel	Sole-Wasser-WP
Raumheizeinrichtung	Heizkörper	Flächenheizung	Heizkörper	Flächenheizung	Heizkörper	Flächenheizung
Kälteerzeugung	–	–	Kompressi-ons-KM	Erdsondenfeld	Kompressi-ons-KM	Erdsondenfeld
Rückkühlung	–	–	Trockenkühler	–	Trockenkühler	–
Raumkühleinrichtung	–	–	Flächenkühlung	Flächenkühlung	Flächenkühlung	Flächenkühlung
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster	physiologischer LW	physiologischer LW
Beleuchtungssystem	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt	direkt/indirekt
Beleuchtungssteuerung	manuell	manuell	manuell	manuell	manuell	manuell

Nutzenergie (in kWh/m²a)						
Nutzenergie Heizung	35,48	40,62	35,48	40,62	21,56	24,69
Nutzenergie Kühlung	0,00	0,00	36,63	36,37	44,95	44,24
Nutzenergie Beleuchtung	17,65	17,65	17,65	17,65	17,65	17,65
Endenergie (in kWh/m²a; Bezug Brennwert H₀)						
Endenergie Heizung	57,05	9,61	57,05	9,61	39,26	5,69
Hilfsenergie Heizung	0,29	0,40	0,29	0,40	0,26	0,29
Endenergie Kühlung	0,00	0,00	10,76	1,07	13,28	1,34
Hilfsenergie Kühlung	0,00	0,00	4,34	4,03	4,21	3,92
Endenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00	0,00	11,74	11,74
Endenergie Beleuchtung	17,65	17,65	17,65	17,65	17,65	17,65
Nicht erneuerbare Primärenergie (in kWh/m²a)						
Primärenergie Heizung	11,09	18,02	11,09	18,02	7,73	10,76
Primärenergie Kühlung	0,00	0,00	27,18	9,18	31,49	9,47
Primärenergie Lüftung	0,00	0,00	0,00	0,00	21,12	21,12
Primärenergie Beleuchtung	31,77	31,77	31,77	31,77	31,77	31,77
Nicht erneuerbare Primärenergie gesamt	42,86	49,79	70,04	58,97	92,11	73,12
Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes (in kWh/m ² a)	95,00	95,00	102,50	102,50	101,20	101,20
Unterschreitung des Referenzgebäudebedarfes	54,88 %	47,59 %	31,67 %	42,47 %	8,98 %	27,75 %

Tabelle 9-28: Energiebedarf für die Variantengruppe T2/D2

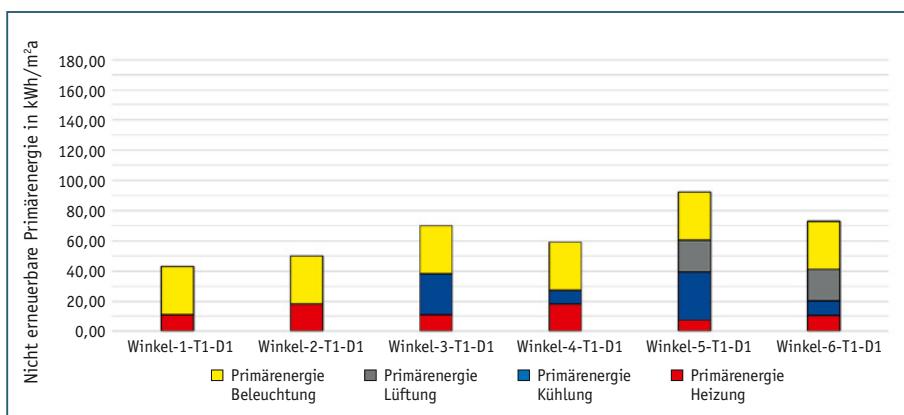


Abbildung 9-22: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf für die Variantengruppe T2/D2

9.4 Verwendete Quellen

- [AGEB, 2015]** Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB): Energieflussbild 2014 für die Bundesrepublik Deutschland in Petajoule. August 2015
- [BMWi & BMUB, 2015]** Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi); Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand. Gemeinsame Bekanntmachung des BMWi und BMUB, 7. April 2015
- [dena, 2016]** Deutsche Energieagentur GmbH (dena): Energieeffizienz bei Büroimmobilien. dena-Analyse über den Gebäudebestand und seine energetische Situation. Berlin/Köln, März 2016
- [Fitzner & Finke, 2012]** Fitzner, Klaus; Finke, Ulrich: Lüftungsregeln für freie Lüftung. Projekt F2072. Dortmund/Berlin/Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2012
- [Hube, 2005]** Hube, Gerhard: Beitrag zur Beschreibung und Analyse von Wissensarbeit. Dissertation. Universität Stuttgart, 2005
- [IVD, 2014]** Immobilienverband Deutschland IVD Bundesverband der Immobilienberater, Makler, Verwalter und Sachverständigen e.V.: Hohe Nachfrage nach Büroflächen in Städten über 300 000 Einwohner. URL: <http://ivd.net/hohe-nachfrage-nach-bueroeflaechen-in-staedten-ueber-300-000-einwohner/> [Abruf am: 28.10.2015]
- [Jochum u.a., 2015]** Jochum, Patrick u.a.: Dämmbarkeit des deutschen Gebäudebestandes. Endbericht. Beuth Hochschule für Technik Berlin; ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Juli 2015
- [Kahnt, Krimmling & Schiffner 2010]** Kahnt, Lothar; Krimmling, Jörn; Schiffner, Peter: Untersuchung von Wärmetransportvorgängen von vertikalen Erdsonden von Wärme-pumpen. Teil 1: HLH Lüftung/Klima, Heizung/Sanitär, Gebäudetechnik 61 (2010), Nr. 11, S. 26–30; Teil 2: HLH Lüftung/Klima, Heizung/Sanitär, Gebäudetechnik 61 (2010), Nr. 12, S. 26–30
- [Kaufmann & Feist, 2004]** Kaufmann, Berthold; Feist, Wolfgang u.a.: Passivhäuser erfolgreich planen und bauen. Ein Leitfaden zur Qualitätssicherung. Aachen: Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen, 2004
- [Krimmling u.a., 2014]** Krimmling, Jörn u.a.: Atlas Gebäudetechnik. Grundlagen – Konstruktionen – Details. Köln: Rudolf Müller Verlag, 2014
- [Miara u.a., 2011]** Miara, Marek u.a.: Wärmepumpeneffizienz. Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb. Kurzfassung. Freiburg: Fraunhofer ISE, 2011
- [Recknagel, Sprenger & Albers, 2015]** Recknagel, Hermann; Sprenger, Eduard; Albers, Karl-Josef: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. 77. Ausg. München: Deutscher Industrieverlag GmbH, 2015
- [Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2012]** Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Hrsg.): Arbeitsmärkte im Wandel. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2012
- [Wolff u.a., 2004]** Wolff, Dieter: Felduntersuchung: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln. Institut für Heizungs- und Klimatechnik, Fachhochschule Braunschweig Wolfenbüttel, 2004

9.5 Normen und Richtlinien

- [DIN V 18599]** Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Normenreihe
- [DIN V 18599-1:2011-12]** Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger
- [DIN V 18599-4:2011-12]** Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung
- [DIN V 18599-5:2011-12]** Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen
- [DIN V 18599-7:2011-12]** Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau
- [DIN V 18599-10:2011-12]** Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten
- [DIN V 4108-6:2003-06]** Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs
- [DIN EN ISO 7730:2006-05]** Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005); Deutsche Fassung EN ISO 7730:2005
- [DIN V 4701-10:2003-08]** Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung

9.6 Glossar

Abluftvolumenstrom

Beim Abluftvolumenstrom handelt es sich um die verbrauchte Luft, welche aus den Räumen abgesaugt und entweder nach draußen gefördert (Fortluftvolumenstrom) oder als Umluft wieder den Räumen zugeführt wird.

Absorptions-Kältemaschine

Kältemaschine, welche mit Wärme angetrieben wird (z.B. mit Fernwärme oder Solarwärme). Die Wärme versorgt einen sogenannten thermischen Verdichter, welcher nach dem Absorptionsprinzip funktioniert.

Be- und Entfeuchtung

Die Be- und Entfeuchtung sind neben dem Heizen und Kühlen die sogenannten Luftbehandlungsfunktionen von Klimaanlagen. Vollklimaanlagen verfügen über alle vier Luftbehandlungsfunktionen. Außerdem gibt es Teilklimaanlagen, welche nur über einen Teil der Funktionen verfügen.

Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke ist die maßgebliche Größe für die Bemessung von Beleuchtungsanlagen in Räumen. Die Beleuchtungsstärke ist der auf einer Fläche auftreffende Lichtstrom. Sie wird in Lux angegeben. In Büroräumen liegt die Beleuchtungsstärke in einer Größenordnung von 300 bis 500 Lux, in Verkaufsräumen kann sie deutlich höher, z. B. bei 900 ... 1000 Lux liegen.

Blockheizkraftwerk

Anlage mit Kraft-Wärme-Kopplung, welche aus einem Verbrennungsmotor und einem Generator besteht. Der Generator erzeugt Elektroenergie, die Kühl- und Abgasabwärme des Motors wird zum Heizen verwendet.

Brennwertkessel

Ein Brennwertkessel ist der Heizkessel mit der höchsten Energieeffizienz. Demzufolge hat er im Vergleich zum Niedertemperaturkessel einen höheren Jahresnutzungsgrad. Der namensgebende Brennwerteffekt besteht in der zusätzlichen Ausnutzung der Verdampfungsenergie des bei der Verbrennung entstehenden Wassers. Er ist demzufolge am höchsten bei Brennstoffen mit hohem Wasserstoffgehalt (z. B. Erdgas).

Direkte Beleuchtung

Weit verbreitetes Beleuchtungskonzept, bei welchem das gesamte Licht der Beleuchtungsanlage in den Sehbereich gestrahlten wird.

Direkte/indirekte Beleuchtung

Hierbei handelt es sich um Beleuchtungsanlagen, bei welchen das Prinzip der direkten mit dem der indirekten Beleuchtung gekoppelt wird. Ein Beispiel sind abgehängte Leuchten, die einerseits direkt nach unten strahlen und andererseits einen Teil des Lichtes an die Decke abgeben, von wo aus es in den Raum reflektiert wird.

Endenergie

Endenergie sind die gehandelten Energieträger. Bei der vom Versorger an der Grenze Gebäude übergebene Energie (z. B. Erdgas, Fernwärme, Elektroenergie) handelt es sich um Endenergie (siehe auch »Energieumwandlungskette«).

Energiebedarf

Der Energiebedarf eines Gebäudes wird mit einem normierten Verfahren bei standardisierten Randbedingungen berechnet. Man kann den Energiebedarf für neu zu errichtende und/oder für vorhandene Gebäude bestimmen.

Energieumwandlungskette

Der Energiefloss in der Volkswirtschaft durchläuft drei Stufen:

- Primärenergie
- Endenergie
- Nutzenergie.

Energieverbrauch

Der Energieverbrauch eines Gebäudes kann durch Messungen festgestellt werden. Demzufolge kann der Energieverbrauch nur für vorhandene Gebäude bestimmt werden.

Hilfsenergie

In der Regel Elektroenergie, mit deren Hilfe Pumpen, Lüfter u.ä. angetrieben werden.

Indirekte Beleuchtung

Bei diesem Beleuchtungskonzept strahlen die Leuchten gegen eine Reflexionsfläche (Wand, Decke) und von dort aus in den Raum.

Instandhaltung

Komplex von Maßnahmen, welche dem Erhalt oder der Wiederherstellung des betriebsfähigen Zustandes einer Anlage (z. B. Heizungsanlage) oder einzelner Komponenten (z. B. Umwälzpumpe) dienen.

Jahresarbeitszahl

Gilt für Wärmepumpen: Verhältnis von jährlich genutzter Energie (i. d. R. Heizwärme) zu jährlich zugeführter Antriebsenergie am Verdichter.

Jahres-Heizwärme

Jährliche Nutzenergie, welche zum Heizen verwendet wird.

Jahresnutzungsgrad

Verhältnis von jährlich genutzter Energie (Heizwärme oder Kälte) zu jährlich zugeführter Antriebs- bzw. Brennstoffenergie, beschreibt die Energieeffizienz von Kesseln, BHKW oder Kälteerzeugern.

Kaltwassersatz

Kältemaschine mit indirekter Kühlung, d. h. es wird Kälte für ein Kaltwassernetz bereitgestellt.

Kälte

Nutzenergie, welche zum Kühlen verwendet wird.

Kältemaschine

Maschine, mit deren Hilfe Kälte bereitgestellt werden kann. Im Gebäudebereich gibt es Kompressions- oder Absorptions-Kältemaschinen.

Kesselwirkungsgrad

Verhältnis von Nutzleistung zu Brennstoffleistung im Nennlastpunkt eines Heizkessels. Es handelt sich um eine zeitpunktbezogene Größe. Für die wirtschaftliche und energetische Bewertung von Prozessen ist der Wirkungsgrad nicht geeignet. In diesen Fällen sind der Jahresnutzungsgrad bzw. die Jahresarbeitszahl maßgeblich.

Klimaanlage

Anlage, mit welcher definierte Raumluftzustände erzeugt werden können. Mit Hilfe von Klimaanlagen können je nach Konfiguration verschiedene Funktionen im Raum realisiert werden: Heizen, Kühlen, Befeuchten, Entfeuchten, Lüften.

Kraft-Wärme-Kopplung

Gleichzeitige Erzeugung von Elektroenergie (Kraft) und Wärme in einer Anlage. Im Gebäudebereich werden überwiegend verbrennungsmotorische Blockheizkraftwerke (BHKW) eingesetzt.

Lampe

Teil einer Leuchte, in welchem die Umwandlung von Elektroenergie in Licht erfolgt.

Leistungszahl

Gilt für Wärmepumpen: Verhältnis von Nutzleistung zu Antriebsleistung. Die Leistungszahl im Nennlastpunkt einer Wärmepumpe ist oft deutlich größer, als die erreichbare Jahresarbeitszahl.

Leuchte

Vorrichtung, welche ein Leuchtmittel (Lampe) enthält und die zur Beleuchtung z. B. von Räumen dient.

Luft-Luft-Wärmepumpe

Die Verdampferfläche entzieht der Außenluft die Wärme. Die Kondensatorheizfläche erwärmt Luft einer Lüftungsanlage

Luft-Wasser-Wärmepumpe

Die Verdampferfläche entzieht der Außenluft die Wärme. Die Kondensatorheizfläche versorgt ein Heizwassersystem (i. d. R. eine Pumpenwarmwasserheizung).

Luftkanalsystem

Einrichtung, mit deren Hilfe die in der Klimaanlage aufbereitete Luft zu den Räumen bzw. Abluft transportiert wird.

Multisplit-Anlage

Besondere Form einer Klimaanlage, bei der eine Außeneinheit mit mehreren Inneneinheiten kombiniert wird.

Nennleistung

Die höchste Leistung eines Wärme- oder Kälteerzeugers.

Niedertemperatkessel

Heizkessel mit außentemperaturgeführter Kesselwassertemperaturregelung. Dabei wird die Kesselwassertemperatur nur bis zu einer bestimmten Grenze abgesenkt, um rauchgasseitige Korrosion zu verhindern.

Nutzenergie

Dritte Stufe der Energieumwandlungskette, für Gebäude werden folgende Nutzenergieformen benötigt: Wärme, Licht, mechanische Arbeit bzw. Elektroenergie.

Primärenergie

Energie in ihrer primären Erscheinungsform. Man unterscheidet nicht erneuerbare PE (Erdöl, Erdgas, Kohle, Uran) und erneuerbare PE (Solarstrahlung etc.).

Primärenergiefaktor

Verhältnis von benötigter Primärenergie zu Endenergie für einen bestimmten Endenergeträger. Werte für PEF findet man in der DIN 18599-1 und in der EnEV.

Raumluftechnische Anlage (RLT-Anlage)

Luftgestützte Klimaanlage, d. h. Luft wird erwärmt, gekühlt, be- oder entfeuchtet und dann den Räumen zugeführt.

Rückkühlwerk

Einrichtung, mit deren Hilfe die am Kondensator einer Kältemaschine entstehende Wärme an die Umgebung abgegeben werden kann.

Sole-Wasser-Wärmepumpe

Dabei handelt sich um eine Erd-Wärmepumpe. Die Verdampferfläche ist mit dem Solekreislauf der Erdsonden verbunden. Die Kondensatorheizfläche versorgt ein Heizwassersystem (i. d. R. eine Pumpenwarmwasserheizung).

Spezifischer Transmissionswärmeverlust

Auf die Hüllfläche und die Temperaturdifferenz bezogener Transmissionswärmeverlust (siehe auch EnEV).

Splitgerät

Gerät, welches zur Kühlung einzelner Räume verwendet wird. Es handelt sich um eine elektrische Kompressionskältemaschine, welche in eine Außen- und eine Inneneinheit aufgesplittet ist (siehe auch Multisplit-Anlage).

Tageslichtabhängige Kunstlichtregelung

Die Beleuchtungsstärke im Raum wird gemessen und je nach Tageslichteinstrahl wird die Kunstlichtanlage geregelt.

Variables-Volumenstrom-System

Spezielle Form von luftgestützten Klimaanlagen. Die Volumenstromregler werden lastabhängig geregelt. Dadurch kann über eine Drehzahlregelung am Ventilator Energie für den Lufttransport gespart werden.

Wärmepumpe

Wärmeerzeuger, bei welchem Umweltenergie auf niedrigem Temperaturniveau genutzt wird. Umweltenergiequellen: Erdreich, Grundwasser, Außenluft. Möglich ist auch die Nutzung von Niedertemperaturabwärme

Wärmerückgewinnung

Bei Lüftung- bzw. Klimaanlagen: Wärmeübertragung zwischen der Abluft aus den Räumen und der Außenluft. Bei Anlagen in Gebäuden erreicht man Rückgewinngrade im Bereich von 50 ... 80 %.

Wirkungsgrad

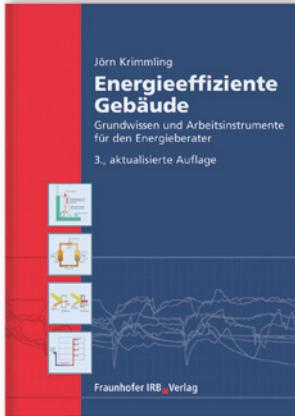
Verhältnis von abgegebener (Nutz-)Leistung zu zugeführter (Antriebs- / Brennstoff-)Leistung für einen Energiewandler (z. B. Heizkessel oder Pumpe), wird bei Wärmepumpen als Leistungszahl bezeichnet.

9.7 Sachregister

A	J	Sole-Wasser-Wärme-
Absorptionskältemaschine 38	Jahresnutzungsgrad 27	pumpe 65
Annuität 104		Splittgerät 33
Annuitätsfaktor 104		Stahlbeton-Bauweise 91
Aufwand, energetischer 13		Standard-Nutzungsprofil 63
A/V-Verhältnis 24		Systematik der Klimaanlagen 30
B	K	T
Barwert 97	Kalkulationszins 103	Transmissionswärmeverlust 48
Barwertmethode 97	Kälteerzeuger 74	Transparenzanteil der Fassade 25
Baukörperform 17	Kältepotenzial des Erdreichs 39	Trockenkühler 37, 75
Beleuchtung 83	Kaltwasserkreislauf 41	
– direkte 55	Kaltwassernetz 41	
– direkte/indirekte 55	Kaltwassersatz 37	
– indirekte 55	Kapitalwert 103	
Bilanzierungsmodell 47	Kompaktheit 24	
Blockheizkraftwerk (BHKW) 28, 29	Kompressionskältemaschine, elektrische 35	
Büroform 63	Kühlbedarf des Gebäudes 50	
D	Kühldecke 32	
Dämmeigenschaft 25	Kühlung, freie 40	
E	Kunstlicht 42	
Einzelbüro 63	KVS-Anlage 32	
Energiebilanz des Gebäudes 15	L	W
Energieeffizienz 13	Lebenszyklus 89	Wärmeerzeugung 27
Erdgas-Brennwertkessel 28	Lebenszykluskosten 97	Wärmegewinn
Erd-Wärmepumpe 28	Leistungszahl 35	– äußerer 48
Erzeugernutzwärmeabgabe 49	Lüftungsanlage, mechanische 31	– innerer 48
F	Lüftungssystem 31	Wärmeübergabe 29
Fensterlüftung 31	Lüftungswärmeverlust 48	Wärmeverschiebung, saisonale 40
Flächenheizung 69	Luft-Wasser-Wärme-	Wärmeverteilung 29
Freikühlung 75	pumpe 65	Wasserkühlmaschine 37
G	N	Z
Großraumbüro 63	Nasskühler 37	Zonenbilanzverfahren 47
Grundrissform 17	Null-Energie-Gebäude 87	
Gruppenbüro 63	Nutzen, energetischer 13	
H	Nutzungsqualität 14	
Heizung 26	O	
Heizwärmebedarf 48	Orientierung 60	
Hilfsenergiebedarf 71	Q	
Holzpelletkessel 28	Qualität von Gebäuden, energetische 16	
I	R	
Induktionsklimaanlage 33	Raumheizeinrichtung 29	
S	Raumklima, thermisches 14	
Solarthermie 72		

Energieeffiziente Gebäude

Jörn Krimmling



3., akt. Aufl. 2010, 302 Seiten, zahlr. Grafiken, 180 Tabellen, Kartoniert

ISBN 978-3-8167-8150-9

Das Buch bietet alle wichtigen Informationen für die Praxis der Energieberatung, vom Inhalt der wichtigsten Normen und Richtlinien bis hin zur Kostenkalkulation und Struktur eines Beratungsberichts. Grundlagen der wirtschaftlichen Bewertung von Varianten und Sanierungsstrategien, ein aktueller Überblick über den Stand der Technik und die neu hinzugekommenen Gesetze, Verordnungen und Normen machen es zu einem Muss für jeden, der sich mit Energieberatung, energetischer Sanierung und Planung beschäftigt.

»Das Buch gibt für Fachleute, die Bauherren und Gebäudebetreiber bei der Entscheidungsfindung beraten, kompetentes Grundwissen.«

In: Gesundheitsingenieur (2011), Nr. 4, S. 209

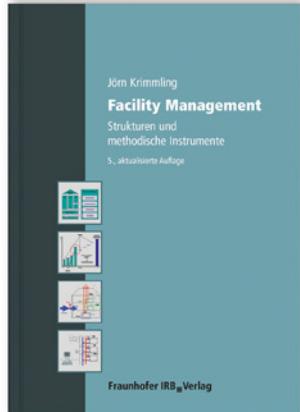
Fraunhofer IRB Verlag

Der Fachverlag zum Planen und Bauen

Nobelstraße 12 ■ 70569 Stuttgart ■ irb@irb.fraunhofer.de ■ www.baufachinformation.de

Facility Management

Jörn Krimmling



5. aktual. Auflage
2017, 304 Seiten, 98
Abbildungen und 67
Tabellen, Kartoniert

ISBN 978-3-8167-9812-5

Das Buch fasst den Stand der Dinge zum Tätigkeitsfeld Facility Management zusammen und gibt durch eine geschlossene systematische Darstellung des Gesamtthemas vor allem Neueinsteigern einen detaillierten Überblick.

Ausgehend von einer Analyse der verbreiteten Definitionen des Facility Managements werden inhaltliche Strukturen dargestellt, methodische Instrumente erläutert und gezeigt, wie praktische Aufgabenstellungen unter einem ganzheitlichen und lebenszyklusorientierten Ansatz gelöst werden können. Durch konkrete, nachvollziehbare Beispiele eignet sich das Buch auch für das Studium an Hochschulen oder in der beruflichen Weiterbildung.

Fraunhofer IRB Verlag

Der Fachverlag zum Planen und Bauen

Nobelstraße 12 ■ 70569 Stuttgart ■ irb@irb.fraunhofer.de ■ www.baufachinformation.de

Energiebedarf von Bürogebäuden

Richtwerte und Einflussparameter für die Planung

Die Energieeffizienz von Gebäuden kann als das Verhältnis von »energetischem Nutzen« zu »energetischem Aufwand« verstanden werden. Sie ist eines der wichtigsten Themen in der Bau- und Immobilienwirtschaft und das Interesse an hochwertigen klimatisierten Flächen steigt.

In den Ballungsgebieten gibt es eine signifikante Nachfrage nach Nachhaltigen Bürogebäuden, und da man bei Bürogebäuden von deutlich höheren Neubau- und Modernisierungsraten als bei Wohngebäuden ausgehen kann, werden energieeffiziente Gebäudekonzepte zunehmend wichtiger. Dabei steht die Bewertung der Energieeffizienz Nachhaltiger Gebäude in Konkurrenz zu ökonomischen bzw. funktionalen und soziokulturellen Aspekten.

Aus diesem Grund sind Systematiken von großer Bedeutung, mit deren Hilfe die Akteure im Planungs- und Bauprozess Gebäudekonzepte entwickeln können.

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 mit vielfältigen Techniksystemen gegangen werden soll. Orientierung geben dafür die in diesem Buch veröffentlichten Berechnungsergebnisse für den Energiebedarf der unterschiedlichen Systemkonfigurationen.

Ebenso könnten erste Wirtschaftlichkeitsanalysen mit Hilfe der Berechnungsergebnisse vorgenommen werden, womit das Buch in jedem Planungsprozess für Nichtwohngebäude verwendet werden kann. Neben der möglichst anschaulichen Darstellung der Berechnungsergebnisse sind alle untersuchten Haustechnik-Systeme in ihrer Funktionalität beschrieben, sodass sich auch der Ungeübte zurecht finden wird.

Die Zielgruppe sind Architekten, Bauingenieure und Immobilienwirtschaftler, es kann aber auch in der einschlägigen Hochschulausbildung bzw. der Weiterbildung von Energieberatern und TGA-Planern verwendet werden.

Prof. Dr.-Ing. Jörn Krimmling ist seit 2015 Professor für Technisches Gebäudemanagement an der Hochschule für Technik und Wirtschaft in Dresden. Zuvor vertrat er viele Jahre die gleichnamige Professur an der Hochschule Zittau/Görlitz. Neben seiner Lehrtätigkeit ist er in verschiedenen Forschungsprojekten aktiv und beschäftigt sich dabei mit der energieeffizienten Gestaltung von Gebäuden. Seit 2013 ist er Sachverständiger für Nachhaltiges Bauen. Außerdem ist er intensiv im Bereich der Weiterbildung von Energieberatern, Energie- und Gebäudemanagern sowie Nachhaltigkeitskoordinatoren tätig.

Ondřej Flanderka absolvierte im Zeitraum 2007 bis 2011 an der Hochschule Zittau/Görlitz ein Studium der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft. In einer Reihe von Forschungsprojekten beschäftigte er sich intensiv mit der Energiebedarfsberechnung von Gebäuden und war als Sachverständiger für Nachhaltiges Bauen sowohl bei Gebäudezertifizierungen als auch bei der Entwicklung von Zertifizierungssystemen in Tschechien tätig. Zurzeit ist er in einem großen Bauunternehmen in Tschechien tätig.

ISBN 978-3-8167-9769-2



9 783816 797692