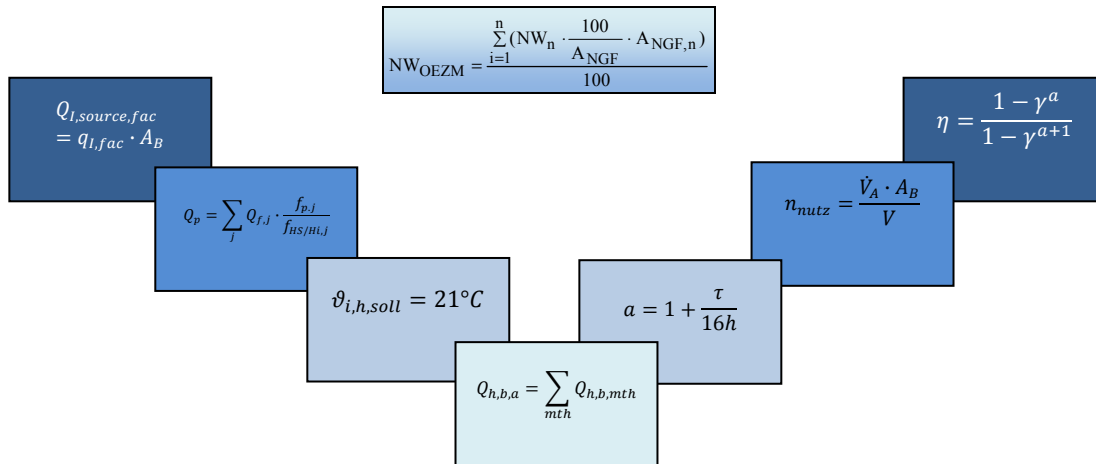


Verbessertes Modell zur Berechnung des Energiebedarfs zur energetischen Bewertung von Nichtwohngebäuden



Zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Ingenieurwissenschaften

(Dr.-Ing.)

Vom Fachbereich Bauingenieurwesen der Universität Siegen genehmigten

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Heike Kempf

Referent: **Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Schmidt**
Universität Siegen

Korreferent: **Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang M. Willems**
Technische Universität Dortmund

Tag der Einreichung: 14.12.2010

Tag der mündlichen Prüfung: 29.06.2011

gedruckt auf alterungsbeständigem holz-und säurefreiem Papier

Kurzfassung

Bei der DIN V 18599, die im Zusammenhang der Energieeinsparverordnung steht, handelt es sich um eine Norm zur energetischen Bewertung von Nichtwohngebäuden. Die DIN V 18599 ist mit ihren über 800 Seiten sehr umfangreich und komplex. Durch die komplexe Thematik der DIN V 18599 sind Abweichungen mit nicht zu unterschätzenden Differenzen im Gesamtergebnis möglich. Ein weiterer Schwachpunkt liegt im Bearbeitungsaufwand, der sich durch die Beschaffung und Ermittlung von Werten ergibt, die zur Berechnung notwendig sind. Der größte Bearbeitungsaufwand bei der energetischen Bewertung von Nichtwohngebäuden im Bestand, liegt in der Zonierung und der damit verbundenen Datenermittlung. Bevor ein Nichtwohngebäude energetisch bewertet werden kann, muss der Gebäudekörper in Bereiche gleicher Randbedingungen eingeteilt werden (Zonierung).

Die Zonierung ist ein elementarer Baustein innerhalb der Bilanzierung nach der DIN V 18599. Sie bildet, neben der Ermittlung der geometrischen Daten, die Basis für die weiteren Berechnungen. Die energetische Bewertung von Nichtwohngebäuden erfolgt somit auf Grundlage des sogenannten Mehr-Zonen-Modells (MZMs) nach DIN V 18599. Die Zonierung, insbesondere die damit verbundenen Datenermittlungen, sind eine sehr aufwendige Aufgabe, da für jede einzelne Zone die entsprechenden Flächen und Volumina ermittelt werden müssen. Jedoch ist die Zonierung mit Blick auf die oft völlig unterschiedlich bereitzustellenden Nutzenergien unumgänglich. Um den Zeitaufwand zu reduzieren, wurde das Ein-Zonen-Modell (EZM) in die Energieeinsparverordnung eingeführt, welches unter gewissen Voraussetzungen Anwendung finden kann. Jedoch kommt es dort, im Vergleich zum Mehr-Zonen-Modell (MZM), zu Abweichungen im Ergebnis.

Der Ansatz zur Behebung der Schwachstellen, d.h. der Zeit- und Ergebnisdifferenz, wird durch die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs auf Grundlage eines Verbesserten-Ein-Zonen-Modells (VEZMs) erreicht. Das Verbesserte-Ein-Zonen-Modell (VEZM) arbeitet mit gewichteten Nutzungswerten und bindet sowohl Berechnungen des EZMs als auch das MZM mit ein. Der Vorteil des VEZMs gegenüber dem MZM liegt in der vereinfachten Datenermittlung im Bereich der Zonierung. Der Vorteil des VEZM gegenüber dem EZM liegt in einer verringerten Abweichung in den Ergebnissen für den Jahres-Primärenergiebedarf.

Das Grundprinzip des VEZMs beruht auf einer prozentualen Aufteilung der einzelnen Nutzungswerte bezüglich der Nettogrundfläche je Zone. Durch diese gewichteten Nutzungswerte wird die Bilanzierung nicht mehr anhand von verallgemeinerten Werten durch die Annahme einer vorrangig vorhandenen Zone bestimmt, sondern es ergibt sich ein ermittelter Durchschnittswert aller vorhandenen Zonen. Die vorliegende Arbeit stellt das Verbesserte-Ein-Zonen-Modell für Schulgebäude im Bestand, unter Berücksichtigung der Zonierung, dar. Mit diesem Verfahren wird, mittels optimierter Nutzungswerte, ein relativ genaues Ergebnis bei geringem Zeitaufwand erreicht.

Abstract

The German Industrial Norm DIN V 18599, which is related to the German Energieeinsparverordnung (EnEV), addresses the energetic evaluation of non-residential buildings. With its more than 800 pages it is very voluminous and complex. Due to the complex subject of DIN V 18599, discrepancies causing considerable differences in the overall result are possible. A further weak point in the current procedure for energetic evaluation is the composition of individual zones within the considered buildings and the subsequent effort for acquisition and determination of values needed during computation.

Before a non-residential building can be evaluated energetically, the building has to be divided into individual areas with identical boundary conditions (zoning). The process of zoning is an elementary step within the balancing according to DIN V 18599. It provides, beside the determination of geometrical data, the basis for further computations. Thus, the energetic evaluation of non-residential buildings is based on the so-called Multiple-Zone-Model as described in DIN V 18599.

Zoning, especially the gathering of data connected to it, is a very time-consuming task, because the building areas and volumes have to be determined for each zone individually. Nevertheless, zoning is mandatory because of the often completely different net energies to be provided.

In order to reduce this effort, a Single-Zone-Model was added to the Energieeinsparverordnung, which may be used under certain preconditions. However, in comparison to the Multi-Zone-Model, differences in the evaluation results are possible.

The elimination of weak points, that is to say the difference in time and result, is reached by the computation of the annual primary energy demand on the basis of an Improved-Single-Zone-Model. The Improved-Single-Zone-Model works with improved use values and includes computations of the Single-Zone-Model as well as the Multiple-Zone-Model. The advantage of the Improved-Single-Zone-Model in comparison to the Multiple-Zone-Model is the simplified data evaluation in the field of zoning. The advantage of the Improved-Single-Zone-Model in comparison to the Single-Zone-Model is the reduced difference in the results of the annual primary energy demand.

The basic principle of the Improved-Single-Zone-Model depends on a percentage division of each use value concerning the net building area. Due to this improved use values the balancing is no longer determined on the basis of general values by acceptance of a prior existing zone, but there is a calculated average value of all existing zones.

This thesis introduces an Improved-Single-Zone-Model for school buildings with regard to zoning. This procedure obtains a relatively exact result with low expenditure of time by utilization of improved use values. Generally, this procedure can be easily applied for other types of non-residential buildings.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	3
Abstract	4
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung.....	8
1.1 Anlass der Arbeit	12
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	15
1.3 Bearbeitungsschwerpunkt.....	18
1.4 Aufbau der Arbeit	19
2 Grundlagen der energetischen Bewertung.....	20
2.1 Definitionen und Begriffe.....	20
2.2 Gesetze, Normen, Richtlinien und Vorschriften.....	23
3 Berechnungsmethode nach EnEV und DIN V 18599	28
3.1 Grundsätze Energiebilanzierung (Monatsbilanzverfahren).....	29
3.2 Voraussetzungen der Bilanzierung.....	30
3.3 Randbedingungen für das Bilanzierungsverfahren.....	31
3.3.1 Randbedingungen nach EnEV	32
3.3.2 Randbedingungen nach DIN V 18599	33
3.4 Berechnung Jahres-Primärenergiebedarf nach DIN V 18599	37
3.4.1 Vorgehensweise	37
3.4.2 Bilanzierung eines Gebäudes	39
4 Zonierung und Datenermittlung	41
4.1 Zonierung.....	42
4.2 Datenermittlung	46
4.3 Nutzungsrandbedingungen	49
4.3.1 Nutzungsprofil	49
4.3.2 Verwendete Nutzungsprofile	53
5 Analyse, Bewertung und Verbesserung.....	57
5.1 Ausgangssituation.....	57
5.1.1 Untersuchung und Auswertung der Ausgangssituation.....	59
5.2 Lösungsansätze	72
5.2.1 Zusatzbereich für die Bewertung.....	73
5.3 Lösungsansatz Faktor f.....	74
5.4 Lösungsansatz Faktor δ	76

5.5	Lösungsansatz Verbessertes-Ein-Zonen-Modell (VEZM).....	80
5.5.1	Prinzip und Vorgehensweise	81
5.5.2	Voraussetzungen.....	91
5.5.3	Auswertung und Ergebnisse	93
5.6	Überblick Ergebnisse	101
5.7	Fehlerquellen und Auswirkungen	102
5.7.1	Fehlerquellen	102
5.7.2	Auswirkungen.....	103
6	Beispielberechnungen	105
6.1	Beispielgebäude 1	105
6.1.1	Ein-Zonen-Modell	109
6.1.2	Mehr-Zonen-Modell	110
6.1.3	Verbessertes-Ein-Zonen-Modell	117
6.2	Beispielgebäude 2	119
6.2.1	Ein-Zonen-Modell	122
6.2.2	Mehr-Zonen-Modell	123
6.2.3	Verbessertes-Ein-Zonen-Modell	129
6.3	Beispielgebäude	131
7	Zusammenfassung, Fazit und Ausblick.....	133
8	Literaturverzeichnis.....	137
8.1	Gesetze, Normen, Vorschriften und Regelwerke.....	139
9	Anhang	141

Abkürzungsverzeichnis

EZM	Ein-Zonen-Modell
MZM	Mehr-Zonen-Modell
VEZM	Verbessertes-Ein-Zonen-Modell
RLT	Raumluftechnische Geräte
EnEV	Energieeinsparverordnung
WSchV	Wärmeschutzverordnung
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
IEKP	Integriertes Energie- und Klimaprogramm
HeizAnlV	Heizungsanlagenverordnung
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
NWG	Nichtwohngebäude
A	Wärmeübertragende Umfassungsfläche
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Q _p	Jahres-Primärenergiebedarf
CO ₂	Kohlendioxid
EnEG	Energieeinsparungsgesetz
kWh/(m ² a)	Kilowattstunde pro Quadratmeter und Jahr
K	Kelvin
W/(m ² K)	Watt pro Quadratmeter und Kelvin
VSP	Vollnutzungsstunden der internen Wärmequellen aus den Personen
VSA	Vollnutzungsstunden der internen Wärmequellen aus Arbeitshilfen

1 Einleitung

Ein weltweiter Anstieg der Energienachfrage und die zunehmende Herausforderung des Klimawandels haben die Bundesregierung dazu bewegt, ein ambitioniertes Energie- und Klimaprogramm zu beschließen [25]. In den letzten Jahren sind die Preise für Strom, Heizöl, Erdgas und Kraftstoffe stark angestiegen. Die Gründe hierfür liegen einerseits in der stark gestiegenen Nachfrage nach Öl und Gas und andererseits in der begrenzten Förderkapazität fossiler Brennstoffe. Sicherlich kann an dieser Stelle auch der Gesichtspunkt der Besteuerung mit einbezogen werden. Vor diesem Hintergrund werden der sparsame und bewusste Umgang mit Energie, sowie die Steigerung der Energieeffizienz [26] in Zukunft immer wichtiger.

Diese Entwicklung hat zur Folge, dass Verbraucher immer höhere Betriebskosten für die Heizung, Warmwasserbereitung und elektrische Energieversorgung aufbringen müssen. Somit werden private aber auch öffentliche Haushalte zunehmend belastet. Auswege aus dieser Problematik werden in der Realisierung der Nutzung von Energieeinsparpotenzialen und in der Umstellung auf regenerative Energieträger gesehen.

Einen Schwerpunkt bildet die energetische Modernisierung von Bestandsgebäuden, durch die sich der Gesamtenergieverbrauch alleine in Deutschland nachhaltig reduzieren lässt [25]. Für die energetische Bewertung von Bestandsgebäuden ist es von Bedeutung, in welchem Jahr diese errichtet wurden bzw. wann die letzte umfassende energetische Modernisierung durchgeführt wurde. Sehr viele Gebäude die zwischen 1960 bis 1980 oder auch früher errichtet wurden, d.h. vor Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung (WSchV), haben ein enormes Einsparpotenzial. Bei diesem Gebäudebestand besteht Handlungsbedarf, da der Energieverbrauch im Vergleich zu Gebäuden jüngerer Datums extrem hoch ist (Bild 1-1). Mit Hilfe von Modernisierungsmaßnahmen kann man in diesem Bereich erhebliche Einsparungen bei den Betriebskosten erreichen.

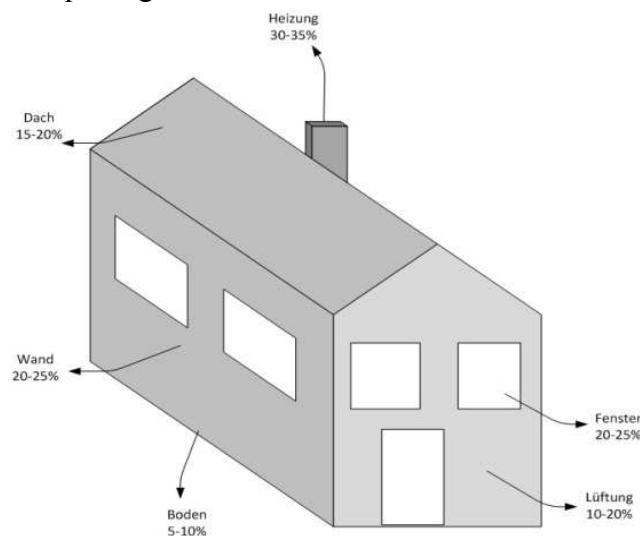


Bild 1-1: Typische Problemzonen von Gebäuden die vor der ersten WSchV errichtet wurden

Nicht nur die Einsparung an Betriebskosten ist ein wichtiger Aspekt, sondern gerade die Reduzierung der CO₂-Emission. Bei der Verbrennung fossiler Energieträger wie Öl, Gas und Kohle entsteht Kohlendioxid (CO₂). Dieses Gas wird in immer größeren Mengen, durch den weltweiten Anstieg der Energienachfrage, an die Atmosphäre abgegeben und ist somit auch für den Klimawandel verantwortlich [25]. Die Folgen des Klimawandels sind bereits überall auf der Welt spürbar. In Deutschland macht sich der Klimawandel durch wärmere Sommer, feuchtere Winter und durch das Auftreten extremer Wetterereignisse bemerkbar [B].

Bei dem von der Bundesregierung beschlossenen, so genannten integrierten Energie- und Klimaprogramm (IEKP) handelt es sich weltweit um das umfassendste Maßnahmenpaket zur Energie- und Klimapolitik. Die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Umsetzung des integrierten Energie- und Klimaprogramms der Bundesregierung werden durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), die Energieeinsparverordnung (EnEV) sowie das neue Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) geschaffen [5].

Die Energieeinsparverordnung ist eine mehrfach novellierte Verordnung über den energieeinsparenden Wärmeschutz und die energieeinsparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Die Energieeinsparverordnung hat ihren Ursprung in der Wärmeschutzverordnung (WSchV) und in der Heizungsanlagenverordnung (HeizAnV) (Bild 1-2) [12].

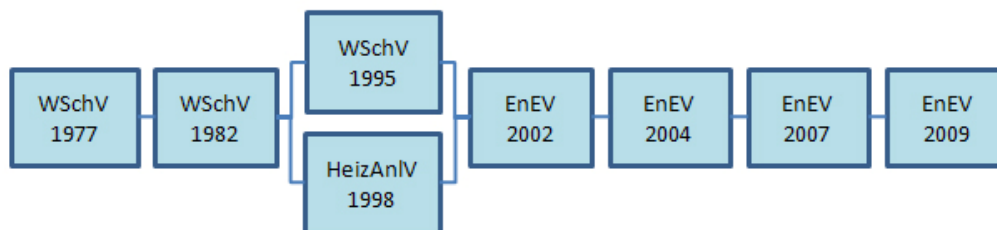


Bild 1-2: Von der Wärmeschutzverordnung zur Energieeinsparverordnung

Mit Hilfe der EnEV wird eine Gesamtbilanz eines Gebäudes erstellt, die den baulichen Wärmeschutz und auch die Anlagentechnik umfasst. Das wesentliche Ziel der EnEV liegt in der Senkung des Heizenergiebedarfs, wobei gleichzeitig die CO₂-Emissionen im Gebäudebereich reduziert werden. Die EnEV enthält verbindliche Anforderungen um das Ziel der Senkung des Heizenergiebedarfs zu erreichen und somit einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Die wesentlichen Anforderungen betreffen die Gebäudehülle und die Anlagentechnik, womit eine Bewertung von Gebäuden vorgenommen werden kann. Der Energieausweis dient zur besseren Vergleichbarkeit und Transparenz der Gebäude. Gleichzeitig gibt der Energieausweis bei Bestandsgebäuden dem Käufer bzw. dem Vermieter Anreize zur Modernisierung, welche durch die Modernisierungsempfehlungen gegeben werden, die dem Ausweis beizufügen sind.

Eine der Anforderungsgrößen der EnEV ist der Jahres-Primärenergiebedarf. Der Jahres-Primärenergiebedarf ist die berechnete Energiemenge, die zusätzlich zum Energiegehalt des notwendigen Brennstoffs und der Hilfsenergien für die Anlagentechnik, auch die Energiemengen mit einbezieht, die durch vorgelagerte Pro-

zessketten außerhalb des Gebäudes bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung des jeweils eingesetzten Brennstoffs entsteht.

Diese Bedarfsgröße für Nichtwohngebäude wird bestimmt, unter Einsatz von bestimmten Randbedingungen, nach dem Berechnungsverfahren der DIN V 18599 vom Februar 2007: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Bei der DIN V 18599 handelt es sich um eine Vornorm zur energetischen Bewertung von Gebäuden. Diese Vornorm enthält derzeit 11 Teile und ein Beiblatt und umfasst weit mehr als 800 Seiten.

Tabelle 1-1: Aufbau der DIN V 18599 zur energetischen Bewertung von Gebäuden

Teil	Jahr	Titel des Normenteils
Teil 1	2007-02	Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger
Teil 2	2007-02	Nutzenergiebedarf Heizen u. Kühlen von Gebäudezonen
Teil 3	2007-02	Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung
Teil 4	2007-02	Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung
Teil 5	2007-02	Endenergiebedarf von Heizsystemen
Teil 6	2007-02	Endenergiebedarf von Wohnungslüftungsanlagen und Luftheizungsanlagen für den Wohnungsbau
Teil 7	2007-02	Endenergiebedarf von Raumluftechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau
Teil 8	2007-02	Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen
Teil 9	2007-02	End- und Primärenergiebedarf von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen
Teil 10	2007-02	Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten
Teil 100	2009-10	Änderungen zu DIN V 18599-1 bis DIN V 18599-10
Beiblatt 1	2010-01	Bedarfs-/Verbrauchsabgleich

Die Grundlage dieser Arbeit bilden die Energieeinsparverordnung 2009 und die in der Tabelle 1-1 aufgeführten Teile der DIN V 18599 aus dem entsprechendem Jahr.

Internationaler Bezug der Arbeit

Nicht nur in Deutschland steht Energieeinsparung ganz oben. Die Europäische Union (EU) hat das Ziel festgesetzt, dass bis zum Jahr 2012 die Treibhausgase wie beispielsweise das CO₂ um 8 % gesenkt werden [5]. Aus diesem Grund wurde die europäische Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)) am 4. Januar 2003 veröffentlicht, die wiederum mit einer Übergangsfrist von 3 Jahren in nationales Recht zu überführen war.

Diese Richtlinie wurde novelliert und ist am 8. July 2010 in Kraft getreten, um das Ziel bis 2020 die Energieeffizienz von Gebäuden zu steigern und den Einsatz von erneuerbaren Energien zu erhöhen. Diese soll innerhalb von 3 Jahren in nationales Recht umgesetzt werden (daher auch die Novellierung der EnEV).

Auch in anderen Ländern wie beispielsweise China wird Energieeinsparung in Gebäuden gefördert. In China sollen eine Reihe von Maßnahmen getroffen werden um den Energieverbrauch pro Quadratmeter in öffentlichen Gebäuden um 10% bis 15% zu reduzieren. Zu diesen Maßnahmen gehört eine verstärkte Kontrolle des Energieverbrauchs sowohl im Neubau als auch bei der energetischen Modernisierung [30].

Desweiteren wird durch die DEinternational [31] eine Übersicht zum Thema Energieeffizienz/ Energieeinsparung in entsprechenden Ländern (z.B. Nordamerika, Südamerika, Europa, Eurasien, Asien, Türkei) gegeben. *Durch die Bundesregierung unter Federführung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie und Partnern und einer Dachmarke "Energieeffizienz – Made in Germany" wurde die Exportinitiative Energieeffizienz eingerichtet. Sie unterstützt dabei deutsche Anbieter von energieeffizienten Technologien und Dienstleistungen bei der Etablierung von Geschäftskontakten mit potenziellen Partnerunternehmen im Ausland [31].*

1.1 Anlass der Arbeit

Diese Arbeit soll dazu beitragen, dass das in der EnEV in Verbindung mit der DIN V 18599 geregelte Bilanzierungsverfahren zur energetischen Bewertung von Gebäuden in der Weise zu verbessern, dass genauere Berechnungsergebnisse für die energetischen Kenngrößen (Jahres-Primärenergiebedarf) bei Anwendung einer optimierten Zonierung erzielt werden. Hierzu wird auf Grundlage umfangreicher Berechnungen und Untersuchungen, die im Rahmen dieser Arbeit an 45 Schulgebäuden durchgeführt wurden, ein Modell für die Zonierung entwickelt, mit dem eine Ergebnis-Genauigkeit wie beim Rechenverfahren nach DIN V 18599 unter Verwendung des Mehrzonen-Modells erreicht wird, unter der Voraussetzung, dass dieses das genaue Verfahren darstellt.

Eine der Anforderungsgrößen für die energetische Bewertung eines Nichtwohngebäudes nach der Energieeinsparverordnung ist der Jahres-Primärenergiebedarf. Der Jahres-Primärenergiebedarf wird nach dem Berechnungsverfahren der DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden bestimmt.

Bei der DIN V 18599 handelt es sich um eine sehr umfangreiche Norm. Die Komplexität macht einen enormen Bearbeitungsaufwand [18] für die Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfes notwendig. Durch die vielfältigen Möglichkeiten, die sich im Zusammenhang der Berechnungen ergeben, sind Abweichungen mit nicht zu unterschätzenden Differenzen im Gesamtergebnis möglich. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Problematik der Differenzen in den Ergebnissen, zeigt alternative Rechenwege auf und stellt den Versuch dar diese Differenzen zu minimieren, wobei der Zeitfaktor eine wichtige Rolle spielt.

Ursachen für diese Differenzen haben den unterschiedlichsten Ursprung. Erhebliche Fehler und Mängel in den Normen, Rundungsfehler, Fehler in der Software, unvollständige bzw. nicht schlüssige Normen, Fehlinterpretationen und Interpretationsspielräume der Normen und Verordnungen oder aber auch mangelnde Sachkenntnisse des Anwenders über die Norm und/oder über die Software sind als Ursache für die Differenzen zu sehen [2, 4, 5, 6, 14, 21].

Eine weitere und sehr wichtige Ursache liegt in dem Eingabespielraum den die EnEV 2009 mit der DIN V 18599 offen lässt. Durch die Variationsmöglichkeiten der Eingabe von Daten können Ergebnisse zum Teil erhebliche Differenzen aufweisen. Beim berechnen ein und desselben Gebäudes kann es aufgrund der oben genannten Eingabe-Möglichkeiten zu erheblichen Abweichungen beim Ergebnis kommen.

In der nachfolgenden Tabelle (Tabelle 1.1-1) ist eine kurze Übersicht der sich ergebenden Vereinfachungen aufgezeigt.

Tabelle 1.1-1: Eingabemöglichkeiten – Vereinfachungen und Reale Daten

Kürzel	Benennung der Größen	Hinweise
ΔU_{WB}	pauschaler außen-flächenbezogener Wärmebrückenzuschlag	Vereinfachte Ansätze oder Genauere Berechnung
l_j	Länge (einer linienförmigen Wärmebrücke)	Aus Plänen oder Aufmaß vor Ort
ψ_i	längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient (auch: Wärmebrückenverlustkoeffizient) der Wärmebrücke j	Auswahl aus Katalogen oder Simulation der Bauteilsituation
F_F	Abminderungsfaktor für den Rahmenanteil	Vereinfachter Wert nach EnEV oder Bestimmung aus Fenstergeometrie
n_{50}	Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz	Tabellenwerte oder Durchführung einer Gebäudemessung
V	Nettovolumen (belüftetes Volumen)	Vereinfachte Berechnung oder Aufmaß vor Ort
C_{Wirk}	Wirksame Wärmekapazität der Gebäudezone	Tabellenwerte oder Bestimmung über die spezifischen Massen der Raumumschließungsflächen
E_m	Wartungswert der Beleuchtung	Nutzungsprofile oder Installierte Leistung

Weitere wichtige Eingabemöglichkeiten bei Nichtwohngebäuden werden von den folgenden Angaben bestimmt:

- Ein-Zonen-Modell (Vereinfachter Ansatz des genaueren Verfahrens, des Mehr-Zonen-Modells).
- Nutzungsrandbedingungen/ Randbedingungen (DIN V 18599-10 und EnEV).
- Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand vom 30. Juli 2009 (vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung).

Aus diesen Gründen sollten feste Bedingungen geschaffen werden, um einem Ergebnisspielraum entgegen zu wirken.

Zum heutigen Stand lässt sich die DIN V 18599 eigentlich nur als eine Art Hilfsmittel mit hohem Bearbeitungsaufwand in der energetischen Modernisierung sehen, da die Ergebnisse durch verschiedenste Ursachen zu ungenau sind.

Man kann Modernisierungsempfehlungen aus den Berechnungen der DIN V 18599 ableiten, wenn man nicht nur alleine den Jahres-Primärenergiebedarf betrachtet sondern zusätzlich dazu auch die Endenergie und die CO₂-Einsparungen sieht. Vorteile bringt die DIN V 18599 durch ihre Abstimmung auf die EnEV und die aus der EnEV abgeleiteten Energieniveaus bzw. prozentualen Unterschreitungen des Neubau-Niveaus, die bei einer Modernisierung als Zielvorgabe angestrebt werden können.

Die energetische Bewertung von Nichtwohngebäuden auf Basis der DIN V 18599 ist Voraussetzung für die Beantragung zinsgünstiger Kredite z.B. der KfW und daher unumgänglich.

Der größte Bearbeitungsaufwand bei der energetischen Bewertung von Nichtwohngebäuden im Bestand liegt immer noch in der Zonierung, der Datenaufnahme und der Ermittlung der Daten bezüglich der Gebäudehülle (Bild 1.1-1). Es wird in etwa 50% [1] [23] der Zeit für die Zonierung und die Ermittlung der dazugehörigen Flächen und Daten benötigt.

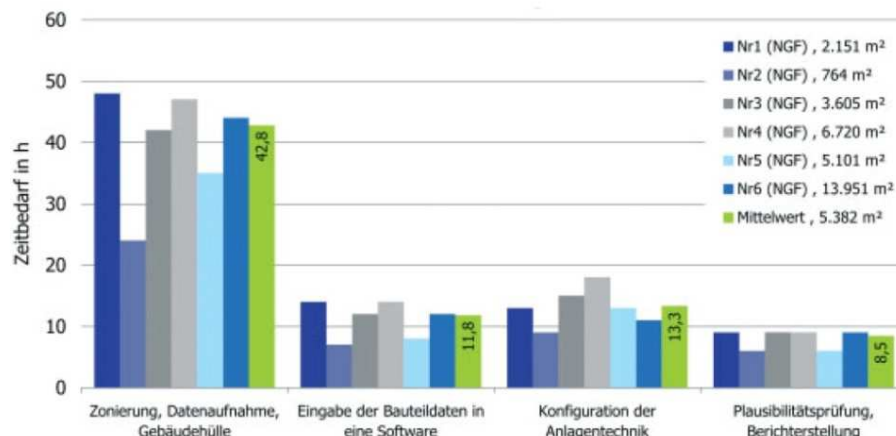


Bild 1.1-1: Zeitaufwand für die energetische Bewertung [1]

Der Zeitaufwand für die energetische Bewertung eines Nichtwohngebäudes ist in Abhängigkeit von der Anzahl der Zonen und von der Größe des Gebäudes zu sehen. Um den Zeitaufwand zu reduzieren, wurde das Ein-Zonen-Modell (EZM) eingeführt, welches unter gewissen Voraussetzungen bzw. Randbedingungen nach der EnEV Anwendung findet [22]. Eigene Untersuchungen haben ergeben, dass die Einsparungen in der Zeit bei der Anwendung eines EZMs im Gegensatz zum Mehr-Zonen-Modell (MZM) bei bis zu 50%, je nach Art des Gebäudes und Anzahl der Zonen, liegen. Jedoch kann es bei der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs auf Grundlage des EZMs gegenüber dem MZM zu größeren Abweichungen im Ergebnis kommen. Der ideale Verlauf (grüne Linie) wäre, dass der Jahres-Primärenergiebedarf vom EZM identisch ist mit dem des MZMs (Bild 1.1-2).

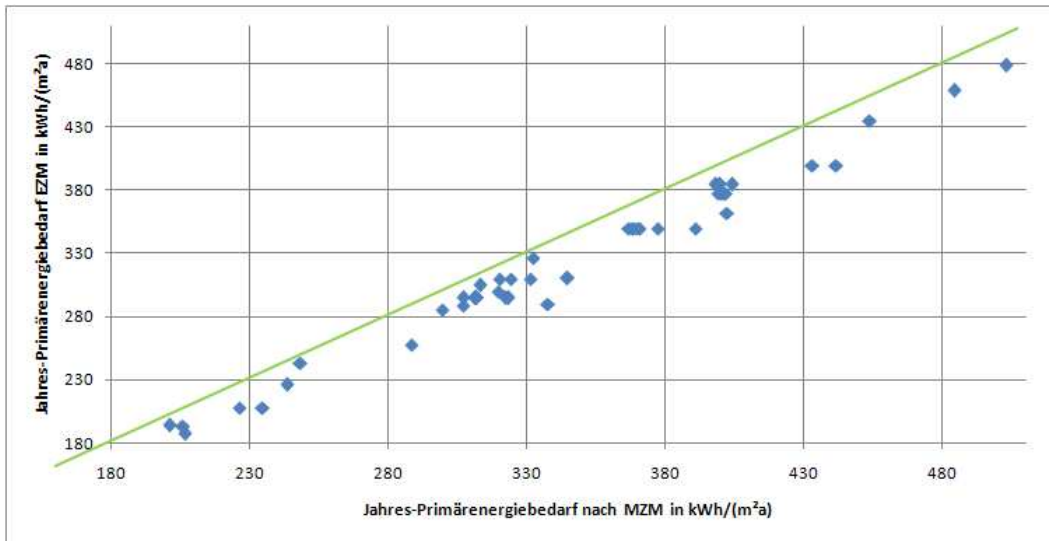


Bild 1.1-2: Differenzen bei der Anwendung EZM und MZM

Eigene Untersuchungen haben ergeben, dass die Abweichungen zwischen dem EZM und dem MZM sich in einem Rahmen von etwa 1,7% bis hin zu 14% bewegen können. Im Schnitt ergibt das eine Differenz von 6,7%. Solche Abweichungen im Ergebnis können Einfluss auf die Modernisierungsempfehlungen haben. Dieses wiederum hat Konsequenzen sowohl bei den Kosten, als auch bei der Einsparung an Energie.

1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Ziel der Arbeit ist es, den Zeitaufwand bei der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs gegenüber dem MZM zu reduzieren, ein genaueres Ergebnis bezüglich des Jahres-Primärenergiebedarfs gegenüber dem EZM zu erzielen und somit ein Verfahren zu erarbeiten mit dem eine verbesserte Datenermittlung bezüglich der Zonierung erfolgen kann, bei gleichzeitig annähernden Jahres-Primärenergiebedarf an das MZM.

Diese Ziele werden durch die Entwicklung eines Verbesserten-Ein-Zonen-Modells (VEZMs), das auf den Berechnungsverfahren nach der DIN V 18599 beruht, erreicht. Den Ansatz für eine Vereinfachung in der Zonierung bzw. der Datenermittlung stellen in diesem Zusammenhang verbesserte Nutzungswerte dar. Diese Nutzungswerte ergeben sich aus dem in der DIN V 18599-10 gegebenen Nutzungsprofilen und Nutzungsrandbedingungen in Abhängigkeit von der Nettogrundfläche des Gebäudes. Nachfolgend soll ein kurzer Überblick über den Ablauf einer Bilanzierung sowie den entstehenden Aufwand gegenüber den Vergleichsmodellen gegeben werden (Tabelle 1.2-1 und Tabelle 1.2-2). Eine ausführliche Erläuterung erfolgt an entsprechenden Stellen in dieser Arbeit.

Tabelle 1.2-1: Ablauf der Bilanzierung auf Grundlage EZM, MZM und VEZM

Ablauf	EZM	MZM	VEZM
Zonierung: Einteilung in Zonen	Entfällt, da nur eine Zone	Einteilung in verschiedene Zonen	Einteilung in verschiedene Zonen
Bestimmung der Nettogrundfläche A_{NGF}	Nettogrundfläche für das Gebäude	Nettogrundfläche je Zone	Nettogrundfläche je Zone
Ermittlung der wärmeübertragenden Umfassungsfläche A	Gebäude als eine Zone	Für jede einzelne Zone	Gebäude als eine Zone
Eingabe in eine entsprechende Software	Eingabe von Daten einer Zone	Eingabe von Daten mehrerer Zonen	Eingabe von Daten einer Zone
Bilanzierung nach DIN V 18599	Für die eine Zone	Für jede Zone	Für die eine Zone

Aus dem oben angegebenen Ablauf in der Tabelle lässt sich der Aufwand des jeweiligen Modells abbilden und wie folgt darstellen, wobei das VEZM die Ausgangslage bildet.

Tabelle 1.2-2: Übersicht über den Aufwand des VEZM gegenüber EZM, MZM

Aufwand	VEZM gegenüber EZM	VEZM gegenüber MZM
Zonierung: Einteilung in Zonen - Nutzungsrandbedingungen	etwas höherer Aufwand	viel geringerer Aufwand
Bestimmung der Nettogrundfläche A_{NGF}	minimaler Mehraufwand	gleicher Aufwand
Ermittlung der wärmeübertragenden Umfassungsfläche A	gleicher Aufwand	viel geringerer Aufwand
Eingabe in eine entsprechende Software	etwas höherer Aufwand	viel geringerer Aufwand
Bilanzierung nach DIN V 18599	gleicher Aufwand	viel geringerer Aufwand

Im nachfolgenden Bild 1.2-1 ist das Prinzip des neuen Ansatzes (VEZM) für die Datenermittlung bezüglich der Zonierung, am Beispiel des Nutzungswertes für den Wartungswert der Beleuchtungsstärke, dargestellt.

Klassenzimmer 1 300 lx	Technik 100 lx	Klassenzimmer 2 300 lx	WC 1 100 lx	WC 2 100 lx	Küche 300 lx
Büro 500 lx	Flur 100 lx				
Klassenzimmer 3 300 lx	Klassenzimmer 4 300 lx	Klassenzimmer 5 300 lx	Besprechungs- zimmer 500 lx	Lager 100 lx	

MZM

WC 1 - 100 lx
 WC 2 - 100 lx
 Technik - 100 lx
 Lager - 100 lx
 Küche - 300 lx
 Klassenzimmer 1 - 300 lx
 Klassenzimmer 2 - 300 lx
 Klassenzimmer 3 - 300 lx
 Klassenzimmer 4 - 300 lx
 Klassenzimmer 5 - 300 lx
 Büro - 500 lx
 Besprechungszimmer – 500 lx

300 lx	100 lx	300 lx	100 lx	100 lx	300 lx
Klassenzimmer 381 lx	Technik 381 lx	Klassenzimmer 381 lx	WC 381 lx	WC 381 lx	Küche 381 lx
500 lx	100 lx				
Büro 381 lx	Flur 381 lx				
300 lx	300 lx	300 lx	500 lx	100 lx	
Klassenzimmer 381 lx	Klassenzimmer 381 lx	Klassenzimmer 381 lx	Besprechungs- zimmer 381 lx	Lager 381 lx	

VEZM

100 lx
 100 lx
 100 lx
 100 lx
 300 lx
 300 lx
 300 lx
 300 lx
 300 lx
 300 lx
 300 lx
 500 lx
 500 lx

≡ 381 lx

Klassenzimmer 300 lx					
-------------------------	--	--	--	--	--

EZM

Klassenzimmer - 300 lx

Bild 1.2-1: Prinzip des Modells VEZM

Aus Bild 1.2-1 wird ersichtlich, dass auf Grundlage des MZMs ein Gebäude in Zonen unterteilt wird (in der Grafik oben dargestellt), wobei jede Zonen einen bestimmten Nutzungswert für die Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit seiner Nutzung aufweist. Beim EZM (in der Grafik unten dargestellt) erhält das gesamt betrachtete Schulgebäude, aufgrund der Nutzung Klassenzimmer, einen Nutzungswert für die Beleuchtungsstärke von 300 lx. Beim VEZM erfolgt auch eine Zonierung, wobei sich hier jedoch nicht für jede Zone ein Nutzungswert ergibt,

sondern es wird nur ein „neu“ ermittelter Nutzungswert für das gesamte Gebäude angesetzt, wie hier in dem Beispiel 381 lx.

Als Grundlage für die durchgeführten Berechnungsüberprüfungen dienen 45 Gebäude, wobei es sich hier um fiktive und reale Schulgebäude handelt. Einen Einblick in die Tendenz der Ergebnisse bezüglich des Jahres-Primärenergiebedarfs lässt sich im nachfolgenden Diagramm (Bild 1.2-2) aufzeigen, wobei hier 5 fiktive Schulgebäude die Grundlage bilden. Es ist eine Annäherung der Ergebnisse zu erwarten.

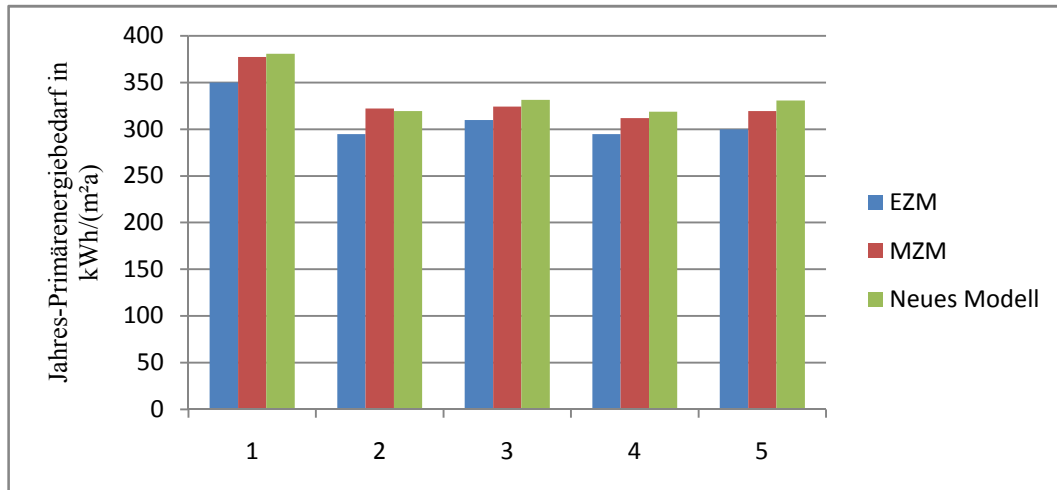


Bild 1.2-2: Jahres-Primärenergiebedarf nach dem EZM, MZM und VEZM

1.3 Bearbeitungsschwerpunkt

Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit sind Nichtwohngebäude im Bestand, wobei der Bearbeitungsschwerpunkt auf den Gebäudetyp „Schule“ gelegt wird. Diese Abgrenzung wurde vorgenommen, da die DIN V 18599 sehr komplex und umfangreich ist und alle Gebäudetypen und somit auch alle jeweils dazugehörigen Berechnungen berücksichtigt. Das Vorgehen sowie die Ergebnisse lassen sich aber auf viele Nichtwohngebäudetypen (Bürogebäude, Kindergarten usw.) abwandeln, was aber noch genauer zu überprüfen gilt. Aufgrund der vielfältigen Möglichkeiten wurde die Arbeit auf den Kern reduziert und nicht alle Varianten der Berechnung in den Modellen berücksichtigt.

Alleine in Deutschland gibt es etwa 40.000 Schulen [3], wobei etwa die Hälfte der Schulen einen hohen Sanierungsbedarf aufweist, vor allem die Schulgebäude aus den 60er und 70er Jahren (Boomzeit des Schulbaus [13]). Die bis heute unsanierten bzw. nur teilsanierten Gebäude kommen nun in ein Alter, wo eine Sanierung unumgänglich ist, da jetzt an mehreren Bauteilen Bauschäden auftreten. Mit den ohnehin anstehenden Sanierungen sollte eine energetische Modernisierung verbunden werden, denn schlecht gedämmte Wände, alte Fenster und eine veraltete Heizungsanlage sorgen bei vielen Altbauten für einen zu hohen Energieverbrauch.

Gerade in öffentlichen Gebäuden, dazu gehören auch viele Schulen, sind die Heiz- und Stromkosten ein wesentlicher Belastungsfaktor, der durch fachgerechte Modernisierung gesenkt werden kann. Hier ist von entscheidender Bedeutung, dass die Modernisierungsempfehlungen möglichst realitätsnah am IST-Zustand der Gebäude orientiert sind. Möglichst exakte Werte bei den Berechnungen verbessern hier die Einschätzung zur Modernisierungsempfehlung und den erzielten Effekt. Doch das für eine Sanierung notwendige Geld fehlt/ fehlte vielerorts. Diese Situation hat sich mit den auf die globale Wirtschaftskrise folgenden Konjunkturprogrammen schlagartig geändert. Es kam zu einem allgemeinen Sanierungsboom, wobei durch entsprechende Konjunkturpakete auch der Bestandsgebäudetyp „Schule“ mit einbezogen wurde [19].

In Deutschland, wie auch in zahlreichen weiteren Ländern werden und wurden Milliardenbeträge bereitgestellt, um unter anderem flächendeckend Ausbildungseinrichtungen zu modernisieren. Bei der Modernisierung sind die Auftraggeber nicht nur an die notwendigen bautechnischen, funktionalen oder ästhetischen Optimierungen gebunden, sondern meist auch an eine maßgebliche Verbesserung der Energieeffizienz [9]. Zum einen um eventuelle Fördergelder zu erhalten, zum anderen um gesetzliche Rahmenbedingungen einzuhalten.

Nachfolgende werden einige dieser Konjunkturprogramme/ Pakete aufgeführt:

- Investitionspaket zur energetischen Sanierung kommunaler Infrastruktur in von Schulen, Kindergärten, Sportstätten und sonstiger sozialer Infrastruktur in den Kommunen 2009
- Konjunkturpaket II der Bundesregierung
- Niedrigenergiehaus im Bestand für Schulen: Start 2007 (Zukunft Haus de-na) [21]
- Niedrigenergiehaus im Bestand für Schulen und andere Nichtwohngebäude: Start

1.4 Aufbau der Arbeit

Zunächst werden die wichtigsten Grundlagen der energetischen Bewertung eines Gebäudes mit den wichtigsten Begriffen aufgezeigt und erläutert. Im Folgenden werden die Berechnungsgrundlagen und die Berechnungsmethoden, die sich nach EnEV und somit nach DIN V 18599 ergeben, dargestellt. Anschließend werden die sich daraus ergebenden Probleme herausgearbeitet und zusammengestellt. Dem eigentlichen Kern der Arbeit, der Ermittlung vereinfachter Ansätze zur Behebung der herausgearbeiteten Problemstellung widmet sich die Arbeit im Hauptteil, dem Kapitel 4, 5 und 6. Dort werden diese ausführlich beschrieben und erläutert. Zum Abschluss der Arbeit soll ein kurzer Ausblick auf die sich ergebenden Möglichkeiten, die die Arbeit offen lassen gegeben werden und abschließend eine Zusammenfassung der Arbeit mit den wichtigsten Ergebnissen dargestellt werden.

2 Grundlagen der energetischen Bewertung

In diesem Kapitel sollen zunächst die wichtigsten Definitionen und Begriffe, die im Zusammenhang mit der energetischen Bewertung auftreten, dargestellt und erläutert werden. Danach erfolgt ein Überblick über die zur energetischen Bewertung gehörenden Normen, Vorschriften, Richtlinien und Regelwerke.

2.1 Definitionen und Begriffe

Nachfolgend werden die wichtigsten Begriffe, die im Zusammenhang der energetischen Modernisierung von Nichtwohngebäuden im Bestand stehen, erläutert.

Nichtwohngebäude

Nichtwohngebäude sind Gebäude, die überwiegend für Nichtwohnzwecke bestimmt sind. Hierzu gehören u.a. Büro- und Verwaltungsgebäude, Schulen und landwirtschaftliche Betriebsgebäude.

Energetische Modernisierung

Der Begriff energetische Modernisierung bezeichnet Maßnahmen, um die nicht mehr zeitgemäßen energetischen Ausführungen eines Gebäudes durch zeitgemäße energiesparende Ausführungen zu ersetzen und zu ergänzen (z.B. Austausch der veralteten Fenster).

Nutzenergiebedarf

Der Nutzenergiebedarf ist der Oberbegriff für Nutzwärmebedarf, Nutzkältebedarf, Nutzenergiebedarf für Trinkwarmwasser, Beleuchtung und Befeuchtung und ist die Grundlage für die Berechnung der Nutzenergieabgabe des Erzeugers und der Endenergie.

Nutzwärmebedarf (Heizwärmebedarf)

Beschreibt die Menge an Wärme die vom Heizsystem, dem Raum bzw. Gebäude (ohne Berücksichtigung der Verluste des Heizsystems selbst) zur Verfügung gestellt werden muss, um die gewünschte Raumtemperatur aufrecht zu erhalten.

Endenergiebedarf

Der Endenergiebedarf ist die berechnete Energiemenge, die der Anlagentechnik (Heizungsanlage, raumluftechnische Anlage, Warmwasserbereitungsanlage, Beleuchtungsanlage) zur Verfügung gestellt wird, um die festgelegte Rauminnentemperatur, die Erwärmung des Warmwassers und die gewünschte Beleuchtungsqualität über das ganze Jahr sicherzustellen.

Primärenergiebedarf

Der Primärenergiebedarf ist die berechnete Energiemenge, die zusätzlich zum Energieinhalt des notwendigen Brennstoffs und der Hilfsenergien für die Anlagentechnik auch die Energiemengen einbezieht, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe entstehen.

Zone

Eine Zone umfasst die Räume eines Gebäudes, die durch einheitliche Nutzungsanforderungen (Beheizung, Kühlung, Belüftung, Befeuchtung, Trinkwarmwasser, Beleuchtung) bei gleichartigen Randbedingungen gekennzeichnet sind. Räume, die mindestens eine Anforderung an die Konditionierung haben, gehören zu einer "konditionierten Zone".

Konditionierte Zonen

Konditionierte Zonen (einzelne Räume oder ganze Raumgruppen) werden durch haustechnische Anlagen auf einem gewissen Temperaturniveau gehalten. Sie sind von Bauteilen umschlossen die das zu konditionierende Volumen bilden. An einer konditionierten Zone können weiter konditionierte oder auch unkonditionierte Zonen angeschlossen sein.

Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Die wärmeübertragende Umfassungsfläche A eines Nichtwohngebäudes in m^2 ist nach DIN V 18599-1: 2007-02 zu ermitteln. Die zu berücksichtigenden Flächen sind die äußeren Begrenzungen mindestens aller beheizten und/ oder gekühlten Zonen nach DIN V 18599-1: 2007-02 (Bild 2.1-1).

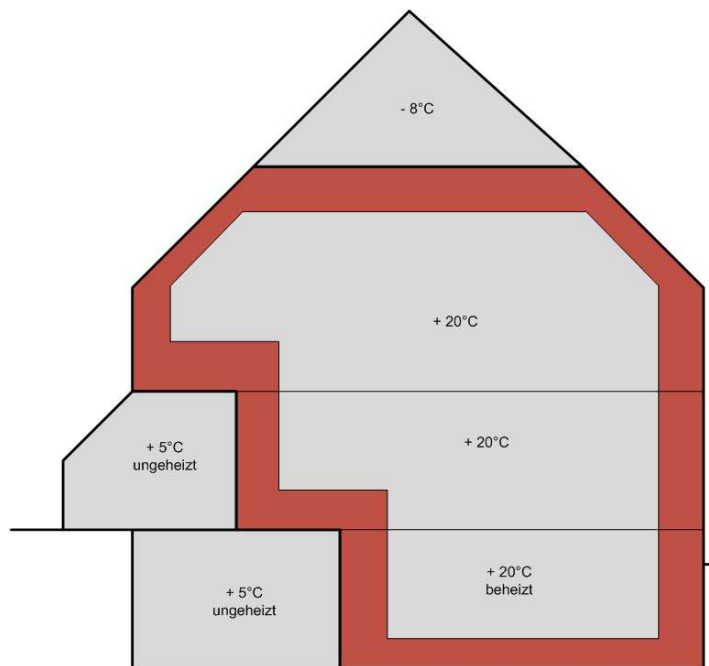


Bild 2.1-1: Darstellung der wärmeübertragenden Umfassungsfläche

Beheiztes Gebäudevolumen

Das beheizte Gebäudevolumen ist das Volumen welches von der wärmeübertragenden Umfassungsfläche umschlossen wird.

Systemgrenze

Als Systemgrenze wird die äußere Begrenzung einer Zone bezeichnet.

Wärmesenke

Eine Wärmesenke stellt einen Wärmestrom dar der aus der Zone austritt.

Wärmequelle

Eine Wärmequelle stellt einen Wärmestrom dar der in die Zone eintritt.

Nettogrundfläche

Die Nettogrundfläche ist die Fläche die im konditionierten Gebäudevolumen zur Verfügung steht. Die Nettogrundfläche wird bei einem Nichtwohngebäude als Bezugsfläche verwendet.

Raum-Solltemperatur

Die Raum-Solltemperatur ist die, je nach Nutzungsprofil vorgegebene empfundene Temperatur im Innern eines Gebäudes bzw. einer Zone, die den Sollwert der Raumtemperatur bei Heiz- bzw. Kühlbetrieb repräsentiert [DIN V 18599-1].

Bilanzinnentemperatur

Die Bilanzinnentemperatur ist die mittlere Innentemperatur eines Gebäudes bzw. einer Zone unter Berücksichtigung von räumlich oder zeitlich eingeschränktem Heizbetrieb und im Falle der Kühlbedarfsermittlung unter Berücksichtigung von zugelassenen Temperaturschwankungen, die der Ermittlung des Heizwärme- und Kühlbedarfs zugrunde gelegt wird [DIN V 18599-1].

Monatsbilanzverfahren

Die Berechnungen für den Nutzenergiebedarf werden monatsweise durchgeführt. Hierbei wird für jeden Monat ein durchschnittlicher Tag angesetzt. Bei Nichtwohngebäuden, wie das Schulgebäude, ist eine Differenzierung in Nichtnutzungstagen (Wochenende und Ferien) und Nutzungstagen notwendig. [22].

Primärenergiefaktor

Der Primärenergiefaktor gibt das Verhältnis von eingesetzter Primärenergie zu abgegebener Endenergie wieder.

Hilfsenergien

Hilfsenergie ist Energie (Strom), die nicht zur unmittelbaren Deckung des Heizwärmebedarfs eingesetzt wird [DIN V 18599 - 5].

2.2 Gesetze, Normen, Richtlinien und Vorschriften

Nachfolgend wird ein kurzer Überblick über wichtige Gesetze, Normen, Richtlinien und Vorschriften, die im Zusammenhang mit der energetischen Bewertung von Gebäuden stehen, gegeben.

Energie-Einsparungsgesetz (EnEG 2009)

Das Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (EnEG) wurde 2009 zum dritten Mal seit 1976 geändert. Das EnEG bildet die Grundlage für die Energieeinsparverordnung. Bei diesem handelt es sich um ein Gesetz der Bundesregierung, welches zur Umsetzung der Richtlinie des Europäischen Parlaments über die Gesamtenergie-Effizienz von Gebäuden dient.

Das EnEG hat zum Ziel, dass in Gebäuden nur so viel Energie verbraucht wird, wie jeweils notwendig ist, um das Gebäude zweckdienlich zu nutzen. Das EnEG ermächtigt die Bundesregierung, Verordnungen mit Zustimmung des Bundesrates zu erlassen, wie beispielsweise die Energieeinsparverordnung (EnEV). Nach den Vorgaben des EnEG wurden somit die Anforderungen festgelegt, die in der EnEV als maßgebende Bauvorschrift stehen.

Der Schwerpunkt des EnEG liegt insbesondere auf dem Wärmeschutz der Gebäudehülle sowie der effizienten Anlagentechnik und deren Betrieb. Desweiteren umfasst das EnEG die Verteilung der Heizkosten und die Anforderungen an Bestandsbauten sowie die Überwachung und Bußgelder. So bezieht sich die EnEV im §27 Ordnungswidrigkeiten direkt auf die Bußgeldvorschriften des EnEG.

Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG 2009)

Das Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG 2009) ist am 01.09.2009 in Kraft getreten. Das EEWärmeG dient dem Schutz der Umwelt und soll dazu beitragen, den Ausstoß klimaschädlicher Treibhausgase, wie CO₂, zu verringern.

Ziel des Gesetzes ist es, einerseits Ressourcen zu schonen, andererseits aber eine sichere und nachhaltige Energieversorgung zu gewährleisten, um so die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Wärme aus erneuerbaren Energien zu fördern.

Erneuerbare Energien im Sinne der EEWärmeG sind die nachfolgend aufgeführten:

- Geothermie
- Umweltwärme
- solare Strahlungsenergie
- feste, flüssige und gasförmige Biomasse.

Das Gesetz hat zum Ziel, dass bis zum Jahr 2020 mindestens 14% des Wärme- und Kälteenergiebedarfs von Gebäuden durch erneuerbare Energien gedeckt wer-

den. Deshalb verpflichtete das Gesetz, dass Neubauten in Höhe eines vorgeschriebenen Prozentsatzes mit erneuerbaren Energien zu versorgen sind. Bei Bestandsgebäuden sieht das Gesetz eine Förderung bei einer entsprechenden Nachrüstung vor.

Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energie-Einsparverordnung – EnEV 2009)

Die EnEV löste die WSchV und die HeizAnV ab und fasste diese zusammen. Sie trat in ihrer ersten Fassung am 1. Februar 2002 in Kraft. Eine erste Novellierung erfolgte 2004 und eine weitere 2007. Derzeit gültig ist die EnEV in ihrer Fassung vom 1.10.2009 (EnEV 2009).

Die Verordnung gilt in Deutschland für nachfolgend aufgeführte Bereiche:

- für Gebäude mit normalen Innentemperaturen (Gebäude, die nach ihrem Verwendungszweck auf eine Innentemperatur von 19 C und jährlich mehr als vier Monate beheizt werden, sowie für Wohngebäude, die ganz oder deutlich überwiegend zum Wohnen genutzt werden),
- für Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen (Gebäude, die nach ihrem Verwendungszweck auf eine Innentemperatur von mehr als 12°C und weniger als 19°C und jährlich mehr als vier Monate beheizt werden) einschließlich ihrer Heizungs-, raumluftechnischen und zur Trinkwarmwasserbereitung dienenden Anlagen.

In der EnEV werden verbindliche Grenzwerte und Berechnungsvorschriften für den Energieverbrauch von Gebäuden definiert, um so die energetische Qualität von Gebäuden (Neubauten und Bestandsgebäude) zu verbessern.

Grundsätzlich wird in der EnEV unterschieden in

- Anforderungen an zu errichtende Gebäude (Neubau) und
- Anforderungen an bestehende Gebäude (Bestand).

Nachfolgend wird nur auf die Anforderungen im Gebäudebestand eingegangen, da diese den Schwerpunkt der Arbeit bilden.

Anforderungen an bestehende Gebäude [24]

Anforderungen an bestehende Gebäude sind nur bei Änderungen, Erweiterung und Ausbau von Gebäuden nach EnEV 2009 §9 zu beachten.

Änderungen von Gebäuden im Sinne der EnEV liegen vor, wenn Bauteile ersetzt oder erstmalig eingebaut werden (EnEV 2009, Anlage 3). Bei Änderungen von Gebäuden sind, gemäß EnEV, bestimmte Anforderungen zu erfüllen. Der Nachweis kann auf zwei unterschiedliche Arten erbracht werden:

1. Referenzgebäudeverfahren oder
2. Bauteilverfahren.

Ein Nachweis ist nicht erforderlich, wenn die geänderte Fläche bei Außenbauteilen weniger als 10% der betrachteten Fläche ausmacht (Bagatellregelung). Bei dem Referenzgebäudeverfahren muss nachgewiesen werden, dass das geänderte Gebäude insgesamt den Höchstwert des Jahres-Primärenergiebedarfs für das Referenzgebäude um nicht mehr als 40% überschreitet.

Weiterhin ist nachzuweisen, dass bei Nichtwohngebäuden der Maximalwert der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten um nicht mehr als 40% überschritten wird. Die Ausführung des Referenzgebäudes entspricht derjenigen die auch für zu errichtende Gebäude zu Grunde gelegt wird. Soweit beim Referenzgebäudeverfahren Angaben zu geometrischen Abmessungen von Gebäuden fehlen, können diese durch vereinfachtes Aufmaß ermittelt werden. Falls energetische Kennwerte für bestehende Bauteile und Anlagenkomponenten nicht vorliegen, können gesicherte Erfahrungswerte für Bauteile und Anlagenkomponenten vergleichbarer Altersklassen verwendet werden. Bei diesem Nachweis können anerkannte Regeln der Technik verwendet werden. Die Einhaltung solcher Regeln wird vermutet, soweit Vereinfachungen für die Datenaufnahme und die Ermittlung der energetischen Eigenschaften sowie gesicherte Erfahrungswerte verwendet werden. Vereinfachungen für die Datenaufnahme und die Ermittlung der energetischen Eigenschaften sind vom Bundesministerium für Verkehr, Bauen und Stadtentwicklung im Bundesanzeiger bekannt gemacht worden.

Alternativ zum oben beschriebenen Referenzgebäudeverfahren kann der Nachweis auch über die Einhaltung festgelegter Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte der betroffenen Außenbauteile) erbracht werden. Der Nachweis ist erfüllt, wenn die in der EnEV, Anlage 3 Tabelle 1, festgelegten Wärmedurchgangskoeffizienten der betroffenen Außenbauteile nicht überschritten werden.

Bei der Erweiterung und beim Ausbau von Gebäuden sind die Anforderungen abhängig von der Größe der hinzukommenden zusammenhängenden Nutzfläche. Es gelten folgende Regelungen:

Tabelle 2.2-1: Anforderungen bei Erweiterung und Ausbau von Gebäuden

Hinzukommende zusammenhängende Nutzfläche	Nachweis
15 bis 50 m ²	Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten nach EnEV, Anlage 3 dürfen nicht überschritten werden
über 50 m ²	Der hinzukommende neue Gebäudeteil hat die Anforderungen an zu neu errichtende Gebäude (§3 und §4 EnEV) zu erfüllen.

Für die oben dargestellten Anforderungen an Nichtwohngebäude ist in der EnEV das Bilanzierungsverfahren nach DIN V 18599 vorgegeben.

Mit geltende Normen in der Energieeinsparverordnung (EnEV) [7]

Nachfolgend werden einige der wichtigsten mit geltenden Normen der EnEV dargestellt.

- DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- DIN V 4108-4: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte
- DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahres-Heizwärme- und Heizenergiebedarfs
- DIN V 4108-7: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele
- DIN 4108 Beiblatt 2: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele
- DIN V 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung
- DIN V 4701-10 Beiblatt 1: Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Beiblatt 1: Anlagenbeispiele
- DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden. Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung
- DIN EN 410: Glas im Bauwesen. Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen
- DIN EN 673: Glas im Bauwesen. Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten von Verglasungen
- DIN EN 832: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden. Berechnung des Heizenergiebedarfs
- DIN EN 13829: Anforderungen an die Dichtheit des Gebäudes
- DIN EN ISO 6946: Bauteile. Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten opaker Bauteile
- DIN EN ISO 7345: Wärmeschutz. Physikalische Größen und Definitionen.
- DIN EN ISO 10077: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen, Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern
- DIN EN ISO 10211-1: Wärmebrücken im Hochbau.

Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren

- DIN EN ISO 13370: Wärmeübertragung über das Erdreich, Berechnungsverfahren
- DIN EN ISO 13789-10: Spezifischer Transmissionswärmeverlust (Wärmeübertragende Umfassungsfläche A und Gebäudevolumen V_e)

Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand vom 30.07.2009

Diese Bekanntmachung ist vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) veröffentlicht worden und darf nach EnEV für die Erstellung von Energiebedarfsausweisen angewendet werden.

Die enthaltenen zulässigen Vereinfachungen betreffen das geometrische Aufmaß sowie die Bewertung von Bauteilen und Komponenten der Gebäudetechnik und dürfen angewandt werden, wenn Kennwerte nicht verfügbar sind oder wenn Anlagenteile nicht zugeordnet werden können.

Die Bekanntmachung enthält unter anderem die nachfolgend genannten Punkte:

- Anwendungsbereich der Bekanntmachung
- Vereinfachungen beim geometrischen Aufmaß
- Vereinfachte Ermittlung der energetischen Qualität bestehender Bauteile
 - Wärmedurchgangskoeffizienten von nachträglich gedämmten und nicht nachträglich gedämmten Bauteilen
- Vereinfachte Ermittlung der energetischen Qualität der Anlagentechnik
- Bewertung der Anlagentechnik eines bestehenden Gebäudes
- Nichtberücksichtigung von sicherheitstechnischen Lüftungseinrichtungen

3 Berechnungsmethode nach EnEV und DIN V 18599

Die EnEV ist ein Ansatz zur Beurteilung der Energieeffizienz von Gebäuden. Die Charakterisierung des Begriffes Energieeffizienz wird im Zusammenhang mit der EnEV, vor allem in Verbindung eines gewünschten Nutzens, mit möglichst wenig Energieeinsatz gesehen [26]. Mit Einführung der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden wurde der Begriff Energieeffizienz auch im deutschen Sprachraum bekannt und wird heute für die energetische Bewertung von Gebäuden verwendet. Die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes kann durch die berechnete oder gemessene gesamte Energiemenge in kWh/(m²a), durch den Jahres-Primärenergiebedarf, ausgedrückt werden.

Die EnEV enthält Anforderungsgrößen für zu errichtende und bestehende Gebäude. Eine der Anforderungsgrößen ist der Jahres-Primärenergiebedarf (Q_p) der eine berechnete oder auch eine gemessene Energiemenge in kWh/(m²a) angibt. Nach der EnEV erfolgt die energetische Bewertung von Nichtwohngebäuden grundsätzlich nach dem dort angegebenen Verfahren, dem Bilanzierungsverfahren nach DIN V 18599.

Durch die Vornorm DIN V 18599 wird ein Verfahren zur Verfügung gestellt, mit dem die Gesamtenergiebilanz von Gebäuden nach einem ganzheitlichen Ansatz bewertet werden kann. Es werden die gegenseitigen Wechselwirkungen der Gebäudehülle, der Anlagentechnik und der Gebäudenutzung berücksichtigt. Die Energieaufwendungen für Heizung, Kühlung, Klimatisierung, Trinkwarmwasserbereitung und Beleuchtung, einschließlich der benötigten Hilfsenergien werden hiermit erfasst.

Durch die Vornorm wird die EU-Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden umgesetzt. Mit der Richtlinie werden Anforderungen an den Energieverbrauch EU-weit harmonisiert und einheitliche Beurteilungskriterien für die Energieeffizienz von neuen und bestehenden Gebäuden festgelegt.

Das Verfahren der DIN V 18599 basiert auf verschiedenen bewährten Ansätzen [27]. Nachfolgend werden einige dieser Ansätze aufgezählt:

- DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs
DIN V 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung
- DIN V 4701-12: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen im Bestand – Teil 12: Wärmeerzeuger und Trinkwassererwärmung
- DIN EN 832: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs; Wohngebäude

- DIN EN ISO 13790: Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung

Die Vorgehensweise der Bilanzierung nach der DIN V 18599 ist unter anderem geeignet für:

- eine Energiebedarfsbilanzierung von Gebäuden mit teilweise festgelegten Randbedingungen im Rahmen des öffentlich-rechtlichen Nachweises und für
- eine allgemeine ingenieurmäßige Energiebilanzierung von Gebäuden mit dem Ziel des Abgleichs zwischen Energiebedarf und Energieverbrauch (Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich) mit frei wählbaren Randbedingungen.

Die Energiebilanz eines Gebäudes kann, je nach Aufgabenstellung, einen unterschiedlichen Umfang aufweisen. Es kommt drauf an, ob ein öffentlich-rechtlicher Nachweis geführt werden muss oder ob beispielsweise eine Energieberatung durchgeführt werden soll. Bei einer Energieberatung kann die Bilanzierung z.B. auf die Heizung beschränkt werden. Hingegen ist bei einem öffentlich-rechtlichen Nachweis die Gesamt-Bilanzierung vorgeschrieben.

Das Rechenverfahren der DIN V 18599 ist demnach für den öffentlich-rechtlichen Nachweis und für die Erstellung von Energieausweise gemäß EnEV für Nichtwohngebäude vorgeschrieben. Probleme können durch die einheitlich festgelegten Randbedingungen (Referenzklima, Nutzerverhalten) für den öffentlich-rechtlichen Nachweis entstehen. Hierdurch wird der Vergleich zwischen Verbrauchs- und Bedarfsberechnungen erschwert.

3.1 Grundsätze Energiebilanzierung (Monatsbilanzverfahren)

Der energetische Nachweis eines Nichtwohngebäudes wird in Form einer Bilanzierung nach dem Verfahren der DIN V 18599 geführt. Die Grundlage hierfür bildet der Nutzen des Energieaufwandes, z.B. die Aufrechterhaltung der gewünschten Raum-Solltemperatur. Die Energie, die hierzu notwendig ist, ist die Nutzenergie. Des Weiteren sind zusätzliche Energieaufwendungen notwendig um diesen Zustand sicherzustellen, z.B. für den Betrieb einer Pumpe. Diese werden unter dem Begriff der Hilfsenergien zusammengefasst. Hinzu kommen Wärmeverluste, z.B. Verluste beim Transport durch die Rohrleitungen. Die Summe aus der Nutzenergie, der Hilfsenergie und den auftretenden Verlusten wird als Endenergie bezeichnet. Durch Berücksichtigung der Umweltschädlichkeit der Energieträger wird der Primärenergiebedarf ermittelt. Die Berücksichtigung findet durch den sogenannten Primärenergiefaktor statt. Je umweltschonender die eingesetzte Energieform und ihre Umwandlung, desto niedriger der Primärenergiefaktor. Der Primärenergiefaktor stellt somit eine Rechengröße bei der Ermittlung des Energiebedarfs dar (Bild 3.1-1).

Bei der Energiebilanzierung liegt, hinsichtlich des Heiz- bzw. Kühlbedarfs der betrachteten Zone, zunächst die Betrachtung auf jeweils einem Tag des jeweiligen Monats. Bei Nichtwohngebäuden muss in den meisten Fällen zwischen Werktagen und Wochenend-/Ferientagen unterschieden werden, da hier die Nutzungsbedingungen stark von einander abweichen können. Der für einen einzelnen Werktag und Wochenend-/Ferientag ermittelte Energiebedarf wird dann, unter Berücksichtigung der monatlich auftretenden Häufigkeit, in die Berechnung mit einbezogen und auf den jeweiligen Monat hochgerechnet. Die Summe über die Monate eines Jahres bildet dann den Jahres-Primärenergiebedarf.

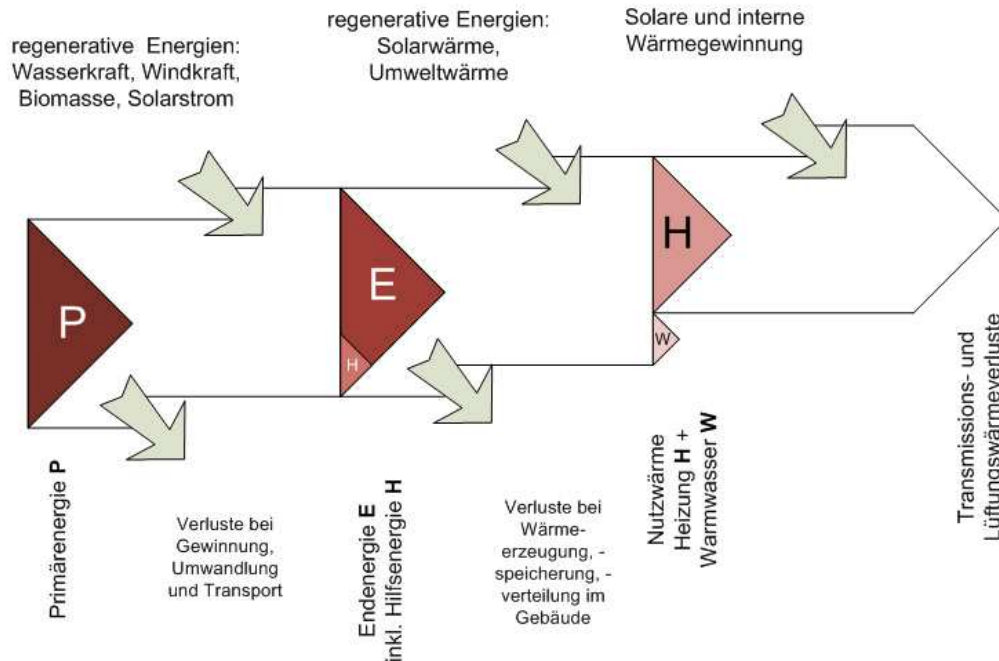


Bild 3.1-1: Aufbau der Primärenergie

3.2 Voraussetzungen der Bilanzierung

Ein wichtiger grundsätzlicher Bestandteil für die Bilanzierung auf Grundlage der EnEV ist der Energiebedarf der aufgebracht werden muss, um ein Gebäude entweder zu kühlen oder zu beheizen. Die Verordnung findet auch Anwendung für alle Anlagen und Einrichtungen und deren Bestandteile, die unter Einsatz von Energie beheizt oder gekühlt werden. Hierbei handelt es sich z.B. um Heizungs-, Kühl-, Raumluft- und Beleuchtungstechnik sowie die Warmwasserversorgung von Gebäuden. Dabei macht man keine Unterschiede, ob es sich um ein bestehendes Gebäude oder ein zu errichtendes Gebäude handelt. Nach EnEV brauchen nur Energiebedarfsanteile in die Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs einer Zone einbezogen zu werden, wenn die folgenden Voraussetzungen gegeben sind:

- *Der Primärenergiebedarf für das Heizungssystem und die Heizfunktion der raumluftechnischen Anlage ist zu bilanzieren, wenn die Raum-Solltemperatur des Gebäudes oder einer Gebäudezone für den Heizfall mindestens 12 Grad Celsius beträgt und eine durchschnittliche Nutzungs-*

dauer für die Gebäudebeheizung auf Raum-Solltemperatur von mindestens vier Monaten pro Jahr vorgesehen ist.

- *Der Primärenergiebedarf für das Kühlsystem und die Kühlfunktion der raumluftechnischen Anlage ist zu bilanzieren, wenn für das Gebäude oder eine Gebäudezone für den Kühlfall der Einsatz von Kühltechnik und eine durchschnittliche Nutzungsdauer für Gebäudekühlung auf Raum-Solltemperatur von mehr als zwei Monaten pro Jahr und mehr als zwei Stunden pro Tag vorgesehen sind.*
- *Der Primärenergiebedarf für die Dampfversorgung ist zu bilanzieren, wenn für das Gebäude oder eine Gebäudezone eine solche Versorgung wegen des Einsatzes einer raumluftechnischen Anlage nach Buchstabe b für durchschnittlich mehr als zwei Monate pro Jahr und mehr als zwei Stunden pro Tag vorgesehen ist.*
- *Der Primärenergiebedarf für Warmwasser ist zu bilanzieren, wenn ein Nutzenergiebedarf für Warmwasser in Ansatz zu bringen ist und der durchschnittliche tägliche Nutzenergiebedarf für Warmwasser wenigstens 0,2 kWh pro Person und Tag oder 0,2 kWh pro Beschäftigtem und Tag beträgt.*
- *Der Primärenergiebedarf für Beleuchtung ist zu bilanzieren, wenn in einem Gebäude oder einer Gebäudezone eine Beleuchtungsstärke von mindestens 75 lx erforderlich ist und eine durchschnittliche Nutzungsdauer von mehr als zwei Monaten pro Jahr und mehr als zwei Stunden pro Tag vorgesehen ist.*
- *Der Primärenergiebedarf für Hilfsenergien ist zu bilanzieren, wenn er beim Heizungssystem und der Heizfunktion der raumluftechnischen Anlage, beim Kühlsystem und der Kühlfunktion der raumluftechnischen Anlage, bei der Dampfversorgung, bei der Warmwasseranlage und der Beleuchtung auftritt. Der Anteil des Primärenergiebedarfs für Hilfsenergien für Lüftung ist zu bilanzieren, wenn eine durchschnittliche Nutzungsdauer der Lüftungsanlage von mehr als zwei Monaten pro Jahr und mehr als zwei Stunden pro Tag vorgesehen ist [EnEV].*

3.3 Randbedingungen für das Bilanzierungsverfahren

Die EnEV sowie die DIN V 18599 legen bestimmte Randbedingungen zur Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs fest. In diesem Kapitel werden die sich ergebenden Randbedingungen nach der EnEV sowie der DIN V 18599 aufgezeigt, unter Abgrenzung von Bearbeitungsschwerpunkten, wie beispielsweise das keine Klimatisierung der Räume erfolgt. Auf diese werden an den jeweiligen Stellen drauf hingewiesen bzw. nicht darauf hingewiesen, wenn dadurch keine geforderten Randbedingungen entstehen.

3.3.1 Randbedingungen nach EnEV

Nach EnEV sind bei der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs eines Nichtwohngebäudes die nachfolgend genannten Randbedingungen zu verwenden.

Tabelle 3.3.1-1: Randbedingungen für Berechnungen des Jahres-Primärenergiebedarfs (EnEV Anlage 2 Tabelle 3)

Kenngrößen	Randbedingungen
Verschattungsfaktor F_s	Soweit die baulichen Bedingungen nicht genau berücksichtigt werden, kann der Faktor zu 0,9 angesetzt werden.
Verbauungsindex I_v	Dieser ist mit 0,9 anzusetzen, eine genaue Ermittlung nach DIN V 18599-4 ist jedoch zulässig.
Heizunterbrechung	Hier wird unterschieden in Heizsystemen in Räumen die kleiner, gleich oder größer als 4 m sind. <ul style="list-style-type: none"> • Heizsysteme in Raumhöhen ≤ 4 m: Absenkbetrieb mit Dauer gemäß den Nutzungsrandbedingungen in Tabelle 4 der DIN V 18599-10 : 2007-02 • Heizsysteme in Raumhöhen > 4 m: Abschalbetrieb mit Dauer gemäß den Nutzungsrandbedingungen in Tabelle 4 der DIN V 18599-10 : 2007-02
Solare Wärmege- winne über opake Bauteile	Der Emissionsgrad ε der Außenfläche für Wärmestrahlung ist mit 0,8 anzusetzen.
	Der Strahlungsabsorptionsgrad an opaken Oberflächen ist mit $\alpha = 0,5$ anzusetzen. Abweichend hierzu kann für dunkle Dächern dieser mit 0,8 angesetzt werden.
Wartungsfaktor der Beleuchtung WF	Der Wartungsfaktor WF ist wie folgt anzusetzen: <ul style="list-style-type: none"> • in Zonen der Nutzungen 14, 15 und 22 mit 0,6 • ansonsten mit 0,8. <p>Dementsprechend ist der Energiebedarf für einen Berechnungsbereich im Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4 : 2007-02, Nr. 5.4.1 Gleichung (10) mit dem folgenden Faktor zu multiplizieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • für die Nutzungen 14, 15 und 22 mit 1,12 • ansonsten mit 0,84.
Berücksichtigung von Konstantlichtregelung	Wird eine Konstantlichtregelung eingesetzt, so ist der Energiebedarf für einen Beleuchtungsbereich nach Gleichung 2 Nr. 5.1 aus Teil 4 der DIN V 18599 mit den folgenden Faktoren zu multiplizieren: <ul style="list-style-type: none"> • mit 0,8 für Nutzungen 14, 15 und 22 • ansonsten mit 0,9

Zusätzlich zu den in der Tabelle 3.3.1-1 angegebenen Randbedingungen, weist die EnEV auf Randbedingungen nach der DIN V 18599 hin. Diese sind zur Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs beim öffentlich rechtlichen Nachweis und für die Ausstellung von Energieausweisen zu verwenden. Dabei handelt es sich um die in den Tabellen 4 bis 8 aufgeführten Nutzungsrandbedingungen und Klimadaten, sowie den Anhang A der DIN V 18599-10. Nachfolgend wird auf diese Randbedingungen nach DIN V 18599 näher eingegangen (siehe Kapitel 3.3.2).

Die EnEV legt gewisse Ausnahmen fest die nachfolgend aufgelistet sind:

- *Die Nutzungen 1 und 2 nach der Tabelle 4 aus DIN 18599-10 dürfen zu einer Nutzung mit der Nutzungsklasse 1 zusammengefasst werden.*
- *Bei Zonen der Nutzung 6 und 7 dürfen die tatsächlich auszuführenden Beleuchtungsstärken angesetzt werden. Jedoch sind diese bei der Nutzung 6 mit nicht mehr als 1.500 lx und für die Nutzung 7 mit nicht mehr als 1 000 lx anzusetzen.*
- *Für opake Bauteile die an die Außenluft grenzen, darf ein flächengewichteter Wärmedurchgangskoeffizient für das ganze Gebäude gebildet und bei der zonenweisen Berechnung nach DIN V 18599-02 : 2007-02 verwendet werden.*
- *Werden in Nichtwohngebäude bauliche oder anlagentechnische Komponenten eingesetzt, für deren energetische Bewertung keine anerkannten Regeln der Technik oder gemäß § 9 Absatz 2 Satz 2 Halbsatz 3 bekannt gemachte gesicherte Erfahrungswerte vorliegen, so sind hierfür Komponenten anzusetzen, die ähnliche energetische Eigenschaften aufweisen [EnEV].*

3.3.2 Randbedingungen nach DIN V 18599

In der DIN V 18599-10 werden in den Tabellen 4 bis 8 einschließlich Anhang A gewisse Nutzungsrandbedingungen für Nichtwohngebäude aufgeführt, die als Richtwerte bei der energetischen Bewertung von Gebäuden zugrunde gelegt werden können, sofern keine genaueren Angaben bekannt sind.

Die Tabelle 4 dieses Normenteils enthält Richtwerte zu den Nutzungs- und Betriebszeiten, zur Beleuchtung, dem Raumklima und den Wärmequellen. Diese Richtwerte sind abhängig von der jeweiligen Nutzung des Gebäudes. In der nachfolgend aufgeführten Tabelle werden die Richtwerte anhand einer Nutzung (Nutzungswert entspricht dem eines Einzelbüros) aufgezeigt.

Tabelle 3.3.2-1: Richtwerte nach Tabelle 4 DIN V 18599-10 für die Nutzung Einzelbüro

	Nutzungs- und Betriebszeiten
Beginn	7:00 Uhr
Ende	18:00 Uhr
tägliche Nutzungsstunden $t_{\text{nutz,d}}$	11 h/d
jährliche Nutzungstage $d_{\text{nutz,a}}$	250 d/a
jährliche Nutzungsstunden zur Tageszeit t_{Tag}	2543 h/a
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	207 h/a
tägliche Betriebsstunden RLT und Kühlung $t_{\text{v,op,d}}$	13 h/d
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{\text{op,a}}$	250 d/a
tägliche Betriebsstunden Heizung $t_{\text{h,op,d}}$	13 h/d
	Beleuchtung
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	500 lx
Höhe der Nutzebene h_{Ne}	0,8 m
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe k_A	0,84
relative Abwesenheit C_A	0,3
Raumindex k	0,9
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung F_t	0,7
	Raumklima
Feuchteanforderung	m.T.
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A	4 m ³ /(h m ²)
	Wärmequellen
Personen $q_{\text{I,p}}$	30 Wh/(m ² d)
Arbeitshilfen $q_{\text{I,fac}}$	42 Wh/(m ² d)

In Tabelle 5 der DIN V 18599-10 werden Richtwerte aufgelistet, die für alle in Tabelle 4 des gleichen Normenteils aufgelisteten Nutzungen gelten.

So beträgt z.B. die Raum-Solltemperatur Heizung 21 °C. Sollte bei einer Nutzung wie etwa einer Werkstatt die Raum-Solltemperatur weniger als 19°C aufweisen so ist hier ein Wert von 17°C anzusetzen. Für alle Nutzungen ist eine Temperaturabsenkung für den reduzierten Betrieb von 4K vorzusehen. Die Raum-

Solltemperatur für Kühlung ist mit 24°C, die Minimaltemperatur für die Auslegung der Heizung mit 20°C und die Maximaltemperatur für die Auslegung der Heizung mit 26°C anzusetzen. Bei allen Nutzungen liegt der Abminderungswert infolge von Verschmutzungen bzw. der Verschmutzungsfaktor bei 0,9.

Tabelle 6 aus DIN V 18599-10 enthält Richtwerte für den Nutzenergiebedarf von Trinkwarmwasser bei Nichtwohngebäuden.

Tabelle 3.3.2-2: Richtwerte für den Nutzenergiebedarf von Trinkwarmwasser nach DIN V 18599-10 Tabelle 6 am Beispiel Nutzung Bürogebäude

Nutzenergiebedarf Trinkwarmwasser	Nutzungsbezogen: 0,4 kWh je Person und Tag
	Flächenbezogen: 30 Wh/(m ² d)
Bezugsfläche	Bürofläche
Anzahl der Spitzenzapfungen am Tag	1

Die Tabelle 7 der Norm enthält Werte der Strahlungsintensitäten und der Außentemperaturen für das Referenzklima Deutschland. In dieser Tabelle sind die durchschnittlichen Außentemperaturen je Monat sowie die Anzahl der Tage in einem entsprechenden Monat angegeben. Die mittleren monatlichen Strahlungsintensitäten werden hier in Abhängigkeit der Bauteilorientierung und deren Neigung je Monat dargestellt.

Tabelle 8 der DIN 18599-10 enthält Werte der Strahlungsintensitäten und der Außentemperaturen zur Berechnung der erforderlichen Heiz- und Kühlleistungen für das Referenzklima Deutschland. Die Tabelle berücksichtigt die maximale stündliche Strahlungsintensität am Auslegungstag in W/m² sowie ein Tagesmittel der Außentemperatur am Auslegungstag in °C. Auch hier steht die Ermittlung der Werte in Abhängigkeit der Orientierung sowie der Neigung des Bauteils.

Im Anhang A des Normenteils werden ausführlichere Nutzungsrandbedingungen für die Nutzungen in Tabelle 4 bereitgestellt. Nachfolgend wird ein Nutzungsprofil, wie sie die Norm darstellt, anhand eines Einzelbüros aufgezeigt (Bild 3.3.2-1). Nähere Angaben zu den Nutzungsprofilen werden im Kapitel 4 aufgeführt.

Einzelbüro				Nr. 1		
Nutzungszeiten			von	bis		
tägliche Nutzungszeit	Uhr		7:00	18:00		
jährliche Nutzungstage $d_{nutz,a}$	d/a		250			
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a		2543			
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a		207			
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr		5:00	18:00		
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a		250			
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr		5:00	18:00		
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)						
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C		21			
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,c,soll}$	°C		24			
Minimaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C		20			
Maximaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C		26			
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{i,NA}$	K		4			
Feuchteanforderung	-		mit Toleranz			
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A						
personenbezogen	m^3 je Stunde und Person		40			
flächenbezogen	$m^3/(h \times m^2)$		4			
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			von	bis		
Luftwechsel (allgemein)	h^{-1}		2	3		
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h^{-1}		4	8		
Beleuchtung						
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx		500			
Höhe der Nutzebene h_{Ne}	m		0,8			
Minderungsfaktor k_A	-		0,84			
relative Abwesenheit C_A	-		0,3			
Raumindex k	-		0,9			
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_t	-		0,7			
Personenbelegung						
maximale Belegungsichte	m^2 je Person		gering	mittel	hoch	
			18	14	10	
Interne Wärmequellen						
			Vollnutzungsstunden (h/d)	max. spezifische Leistung (W/m ²)		
				tief	mittel	hoch
Personen (70 W je Person)			6	4	5	7
Arbeitshilfen ^a			6	3	7	15
Wärmezufuhr je Tag ($q_{1,p} + q_{1,fae}$)	Wh/(m ² ×d)			42	72	132
^a tief/mittel/hoch entspricht 50/100/7150 W je Person für Arbeitshilfen						

Bild 3.3.2-1: Darstellung eines Nutzungsprofils der DIN V 18599-10 (Nutzung Einzelbüro)

Bei der Angabe von Berechnungsergebnissen nach dem Berechnungsverfahren der Vornormenreihe DIN V 18599 sind die verwendeten Randbedingungen immer zu dokumentieren.

In der EnEV wird das Berechnungsverfahren zur Bestimmung des Jahres-Primärenergiebedarfs nach DIN V 18599 vorgegeben. Grundsätzlich gilt, dass als Primärenergiefaktoren die Werte für den nicht erneuerbaren Anteil nach DIN 18599-1 anzunehmen sind, da der CO₂-Ausstoss nur mit diesem Anteil verbunden ist.

3.4 Berechnung Jahres-Primärenergiebedarf nach DIN V 18599

Nachfolgend wird zunächst die grundsätzliche Vorgehensweise bei der energetischen Bilanzierung beschrieben. Darauf folgt die eigentliche Vorgehensweise bei der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs im Überblick.

3.4.1 Vorgehensweise

Die energetische Berechnung für Nichtwohngebäude nach DIN V 18599 lässt sich in mehrere, teilweise iterative Schritte unterteilen, die nachfolgend kurz aufgezeigt werden (Bild 3.4.1-1 und Bild 3.4.1-2).

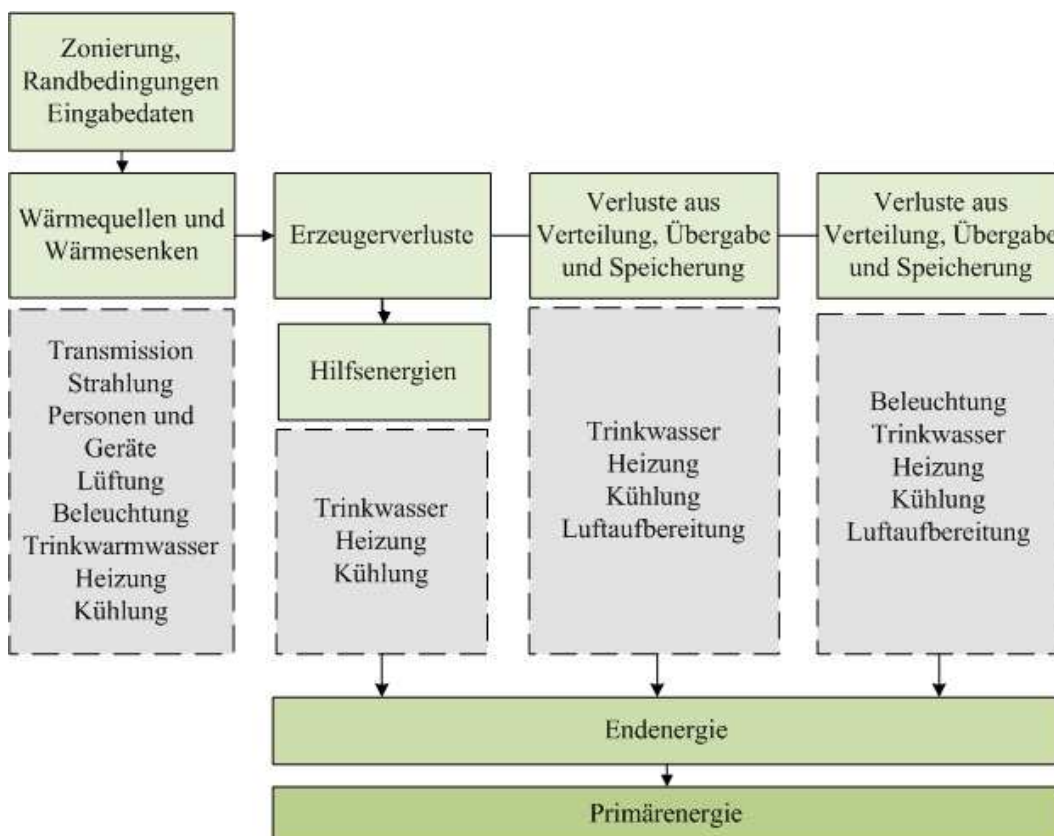
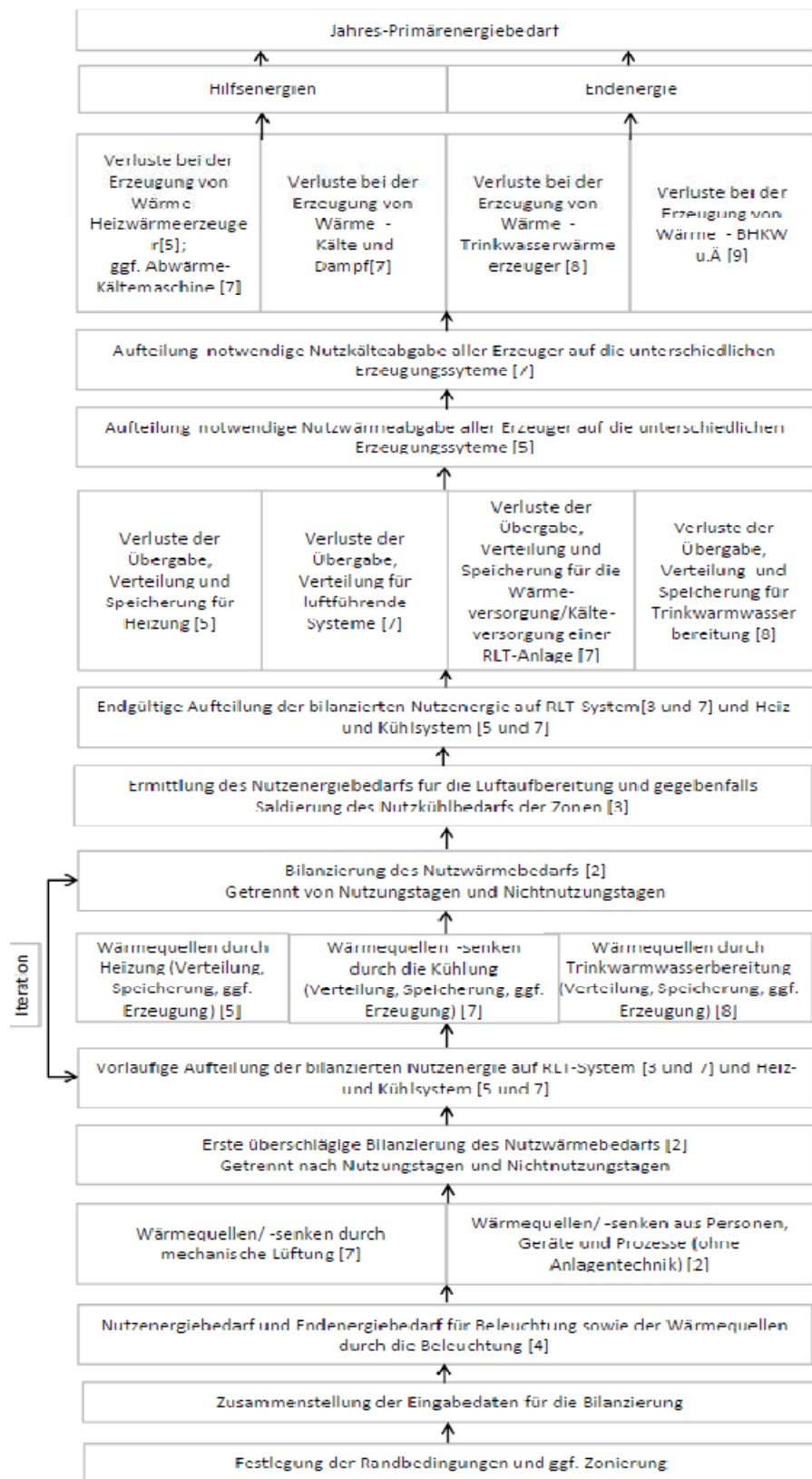


Bild 3.4.1-1: Berechnungsablauf der energetischen Berechnung nach DIN V 18599 im allgemeinem Fall



[...] Normenteil

Bild 3.4.1-2: Bilanzierungsverfahren nach DIN V 18599

Im Einzelnen lassen sich die Berechnungsschritte aus Bild 3.4.1-1 und Bild 3.4.1-2 wie folgt darstellen:

1. Feststellung der Nutzungsrandbedingungen des Gebäudes, Zonierung des Gebäudes.
2. Zusammenstellung aller Eingangsdaten für die Bilanzierung (U-Werte, Anlagenkennwerte usw.).
3. Berechnung des Nutzenergiebedarfs für die Beleuchtung und die sich daraus ergebenden Wärmequellen.
4. Ermittlung der Wärmequellen/-senken aus dem Lüftungssystem sowie aus Personen, Geräten und Prozessen im Gebäude.
5. Erste überschlägige Ermittlung des Nutzwärmebedarfs (Bilanzierung).
6. Aufteilung der überschlägig ermittelten Ergebnisse auf die Versorgungssysteme für Heizung, Kühlung und Lüftung.
7. Berechnung der Wärmequellen aus Heizung und Trinkwarmwasserbereitung (Erzeugung, Speicherung und Verteilung), sowie Berechnung der Wärmequellen/ -senken durch die Kühlung.
8. Bilanzierung des Nutzwärme/-kältebedarfs durch Iteration. Die Iterationen mit den Schritten 6 bis 8 werden solange wiederholt, bis das zuletzt ermittelte Ergebnis nicht mehr als 0,1% vom vorherigen abweicht bzw. die Iteration ist nach 10 Iterationsschritten zu beenden.
9. Ermittlung des Nutzenergiebedarfs für die Luftaufbereitung.
10. Aufteilung der bilanzierten Nutzenergie auf die Versorgungssysteme.
11. Berechnung der Verluste aus Übergabe, Verteilung und Speicherung.
12. Berechnung der Hilfsenergien für Heizung, Wärmeversorgung der RLT-Anlagen, Trinkwasserbereitung und Anlagen für die Kälteversorgung.
13. Aufteilung der notwendigen Nutzwärme-/ Nutzkälteabgabe aller Erzeuger auf die unterschiedlichen Erzeugersysteme.
14. Berechnung der Verluste bei der Erzeugung von Kälte inklusive des Aufwandes der Rückkühlung bei der Erzeugung und Bereitstellung von Dampf für die Luftaufbereitung sowie der erforderlichen Hilfsenergien.
15. Berechnung der Verluste bei der Erzeugung der Wärme in Heiz- und Trinkwasserwärmeerzeugern, in Lüftungsanlagen und ggf. Abwärme der Kältemaschine sowie der erforderlichen Hilfsenergien.
16. Zusammenstellung aller erforderlichen Endenergien.
17. Primärenergetische Bewertung aller Energieträger bezogenen Endenergieaufwendungen.

3.4.2 Bilanzierung eines Gebäudes

In diesem Abschnitt sollen die zwei wichtigsten Kenngrößen für die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs dargestellt werden. Dabei handelt es sich um den Endenergiebedarf und den Primärenergiebedarf

Primärenergie

Die Primärenergie wird wie nachfolgend gezeigt ermittelt. Dabei wird die nach Energieträgern getrennt summierte Endenergie zusätzlich mit einem Primärenergiefaktor bewertet. Aufgrund der auf den Brennwert bezogenen Endenergie wird die Endenergie gleichzeitig auf den Heizwert umgerechnet. Die Primärenergiebewertung erfolgt nach der folgenden Gleichung:

$$Q_p = \sum_j Q_{f,j} \cdot \frac{f_{p,j}}{f_{HS/Hi,j}} \quad (1)$$

Darin bedeutet:

Q_{pj}	Heizwertbezogene Primärenergie
Q_{fj}	Endenergie je nach Energieträger
f_{Pj}	Primärenergiefaktor
$f_{HS/Hi,j}$	Umrechnungsfaktor für die Endenergie

Endenergie

Die Endenergien eines Gebäudes oder einer Gebäudezone, welche brennwertbezogen angegeben sind, werden getrennt nach Energieträgern wie folgt ermittelt:

$$Q_{fj} = Q_{h,fj} + Q_{h^*,fj} + Q_{c,fj} + Q_{c^*,fj} + Q_{m^*,fj} + Q_{rv,fj} + Q_{w,fj} + Q_{l,fj} + Q_{fj,aux} \pm Q_{fj,x} \quad (2)$$

Q_{fj}	Endenergie eines Energieträgers j
$Q_{h,ff}$	Endenergie für das Heizsystem versorgt über den Energieträger j
$Q_{h^*,fj}$	Endenergie für die RLT-Heizfunktion, versorgt über den Energieträger j
$Q_{c,ff}$	Endenergie für das Kühlsystem, versorgt über den Energieträger j
$Q_{c^*,fj}$	Endenergie für die RLT-Kühlfunktion, versorgt über den Energieträger j
$Q_{m^*,fj}$	Endenergie für die Befeuchtung, versorgt über den Energieträger j
$Q_{w,ff}$	Endenergie für Trinkwarmwasser, versorgt über den Energieträger j
$Q_{rv,ff}$	Endenergie für Wohnungslüftung, versorgt über den Energieträger j
$Q_{l,ff}$	Endenergie für Beleuchtung, versorgt über den Energieträger j
$Q_{fj,aux}$	Endenergie für Hilfsenergien, versorgt über den Energieträger j
$Q_{fj,x}$	Endenergie für andere Prozesse, die als Aufwand angesetzt wird (+) oder im Gebäude erzeugt wird und abgezogen wird (-), je nach Energieträgern

4 Zonierung und Datenermittlung

Im Gegensatz zu den Wohngebäuden liegen bei Nichtwohngebäuden unterschiedliche Nutzungen vor, die innerhalb des Gebäudes zu unterschiedlichen energetischen Auswirkungen führen. Daher ist es bei Nichtwohngebäuden erforderlich, dass die Gebäude in unterschiedliche Zonen unterteilt werden, wenn sich die vorhandenen Flächen bezüglich ihrer Nutzung wesentlich von einander unterscheiden. Die energetische Bewertung erfolgt somit nach der EnEV auf der Grundlage eines Mehr-Zonen-Modells. Das Mehr-Zonen-Modell (MZM) beruht auf der Berechnungsgrundlage nach DIN V 18599, welches ich als das genaue Verfahren zur Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs voraussetze. Nach diesem Verfahren wird für jede Zone eine Energiebilanzierung durchgeführt, wodurch die Energieströme zwischen den einzelnen Zonen berücksichtigt werden können. Anschließend werden die Ergebnisse für die Gesamtbetrachtung summiert.

Die Aufteilung in die unterschiedlichen Zonen hat zur Folge, dass für jede Zone eine Flächen- sowie ein Volumenermittlung erfolgen muss, womit sich der Arbeitsaufwand enorm erhöht. Bei einem Ein-Zonen-Modell erfolgt die Ermittlung der Fläche und des Volumens auf Basis der einen ermittelten Zone für das gesamte betrachtete Gebäude. Für die Zonierung, die Ermittlung der entsprechenden Flächen und für die Ermittlung der Bauteileigenschaften bei einem Mehr-Zonen-Modell wird etwa 50 % der Zeit bei der energetischen Bewertung eines Gebäudes benötigt (Bild 4-1). Bei einem Ein-Zonen-Modell erfolgt die Ermittlung in wesentlich kürzerer Zeit.

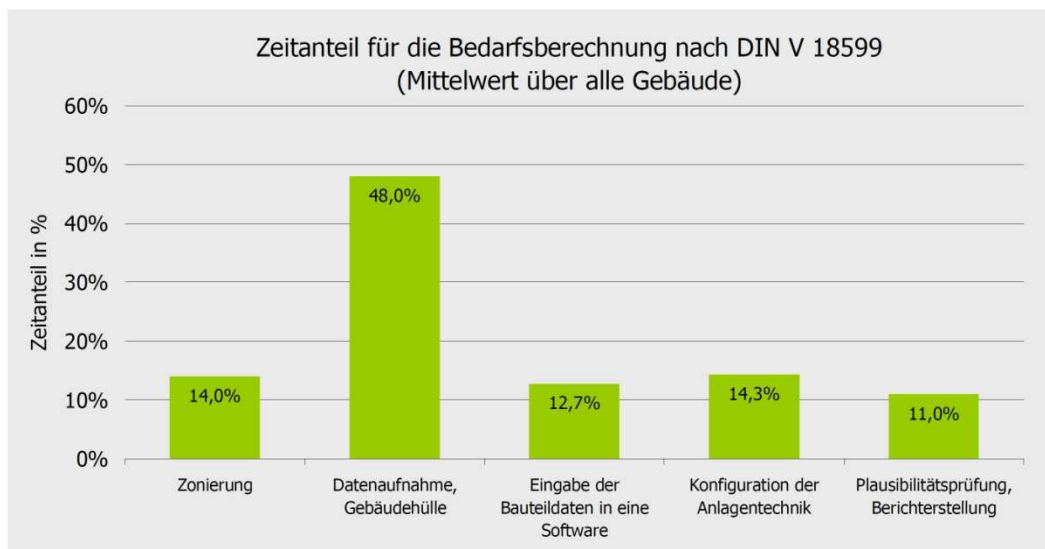


Bild 4-1: Zeitaufwand bei der Bedarfsermittlung [8]

In der Grafik Bild 4-1 ist der Zeitaufwand für die Zonierung eines Mehr-Zonen-Modells mit 14 % und für die Datenaufnahme mit 48 % des Gesamtzeitaufwandes berücksichtigt worden. Aufgrund des hohen Zeit- und Bearbeitungsaufwandes für ein Mehr-Zonen-Modell wird der Punkt der Zonierung und der Datenermittlung in dieser Arbeit näher dargestellt, analysiert und bewertet.

4.1 Zonierung

Die Zonierung ist ein wichtiger Punkt, der vor der eigentlichen energetischen Bewertung eines Nichtwohngebäudes steht und die Grundlage der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs bildet. Die Zonierung stellt, vor dem Hintergrund, dass bei Nichtwohngebäuden die Räume bzw. Nutzflächen in der Regel sehr unterschiedlich genutzt und/ oder konditioniert werden, eine sehr sinnvolle Vorgehensweise dar.

Durch unterschiedliche Nutzungen treten in den Räumen entsprechend unterschiedlichste Nutzungsbedingungen auf, was sich z.B. durch differierende Beleuchtungsstärken bemerkbar macht (Bild 4.1-1). Oftmals werden zudem unterschiedliche Anlagentechniken für die Konditionierung in einer Zone eingesetzt, es handelt sich hier um Heizung, Kühlung, Belüftung, Entlüftung, Befeuchtung, Beleuchtung und Trinkwarmwasserversorgung [11].

Somit lässt sich eine Zone als räumlich festgelegte Berechnungseinheit für die energetische Bilanzierung beschreiben. Durch eine Zone wird der Bereich eines Gebäudes zusammengefasst, der eine einheitliche Anlagentechnik aufweist und der durch gleiche Nutzungsrandbedingungen wie Nutzungszeiten, Nutzungsbedingter Mindestaußenluftwechsel, Befeuchtung, Internen Lasten, Raumlufttemperatur, Betriebszeit für Heizung Lüftung und Kühlung (Bild 4.1-1) gekennzeichnet ist. Allerdings ist es nicht zwingend notwendig, dass die Räume einer Zone zusammenhängend sein müssen. Eine Zone kann sich auch auf einen Grundflächenanteil eines Gebäudes beziehen oder die Zone besteht aus einem Raum im Kellergeschoss sowie einem weiteren Raum im 15. Obergeschoss.

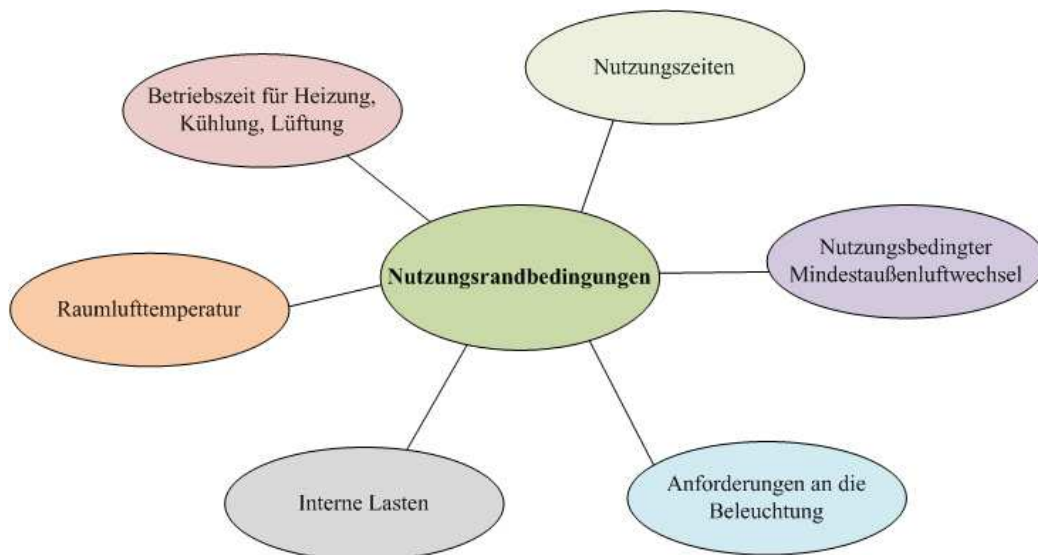


Bild 4.1-1: Einheitliche Nutzungsrandbedingungen

Für jede Zone wird eine Energiebilanzierung durchgeführt und für die Gesamtbeurteilung summiert. Dieser Gesamtwert des Gebäudes wird dann beispielsweise im Energiebedarfsausweis dargestellt.

Grundsätzliches Vorgehen bei der Zonierung

Räume werden zusammengefasst, wenn diese einem der Nutzungsprofile nach DIN V 18599-10 zugeordnet werden können. Jedoch kann es gegebenenfalls notwendig sein, einen einheitlichen Bereich zu unterteilen. Diese zusätzlichen Zoneneinteilungskriterien finden unter anderem Anwendung, wenn unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich der Konditionierung bestehen oder wenn unterschiedliche Systeme zur Be- und Entlüftung vorhanden sind.

Das allgemeine Vorgehen bei der Zonierung lässt sich kurz wie folgt darstellen:

1. Bildung von Bereichen gleicher Nutzung:

Zunächst wird eine grobe Einteilung in Zonen anhand der Nutzungsprofile nach DIN V 18599-10 vorgenommen. Die EnEV sowie die DIN V 18599 erlauben hierbei eine Optimierung der Zonenaufteilung.

- *Soweit sich bei einem Gebäude Flächen hinsichtlich ihrer Nutzung, ihrer technischen Ausstattung, ihrer inneren Lasten oder ihrer Versorgung mit Tageslicht wesentlich unterscheiden, ist das Gebäude nach Maßgabe der DIN V 18599-1:2007-02 in Verbindung mit DIN V 18599-10: 2007-02 und den Vorgaben in Nr.1 dieser Anlage in Zonen zu unterteilen. Die Nutzungen Nr. 1 und 2 nach Tabelle 4 der DIN V 18599-10: 2007-2 dürfen zur Nutzung Nr. 1 zusammengefasst werden [EnEV 2009].*
- *Bis zu einem Anteil von 3% der Gesamtfläche des Gebäudes dürfen Grundflächen anderer Zonen zugeschlagen werden, sofern sich die inneren Lasten der Zonen nicht erheblich voneinander unterscheiden [DIN 18599-10].*

Sollte für eine bestimmte Nutzung kein geeignetes Nutzungsprofil vorhanden sein, so ist nach EnEV:

- die Nutzung Nr. 17 aus der DIN V 18599-10 zu verwenden oder
- *eine Nutzung auf der Grundlage der DIN V 18599-10: 2007-02 unter Anwendung gesicherten allgemeinen Wissenstandes individuell bestimmt und verwendet werden [EnEV 2009].*

Hier sind die gewählten Angaben zu begründen und entsprechend dem Nachweis beizufügen.

2. Prüfung zusätzlicher Zonenkriterien:

Es ist zu Überprüfen, ob eine weitere Unterteilung hinsichtlich der Konditionierung (gleiche Anforderungen an thermische und beleuchtungstechnische Konditionierung) vorgenommen werden muss. Eine anlagentechnische Zuordnung wird beispielsweise über sogenannte Versorgungsbereiche realisiert.

3. Berechnung der Flächen und Volumina für die ermittelten Zonen:

Für jede Zone sind mindestens die wärmeübertragenden Umfassungsfächen so wie das entsprechende Volumen zu bestimmen.

4. Energetische Bewertung:

Nach der Zonierung und der Ermittlung der Daten wird die eigentliche Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs mit Hilfe einer entsprechenden profes-

sionellen Software durchgeführt. Der Jahres-Primärenergiebedarf bildet die Grundlage für die energetische Bewertung des Gebäudes.

Die Energieeinsparverordnung sagt, dass die Nutzung Nr. 1 (Einzelbüro) und die Nutzung Nr. 2 (Gruppenbüro) zu der Nutzung Nr. 1 zusammengefasst werden dürfen. Das wurde in der vorliegenden Arbeit nicht gemacht, da es im Bereich der Beleuchtung zu Differenzen in den einzelnen Nutzungswerten kommt und diese sich auf den Jahres-Primärenergiebedarf auswirken (Bild 4.1-2).

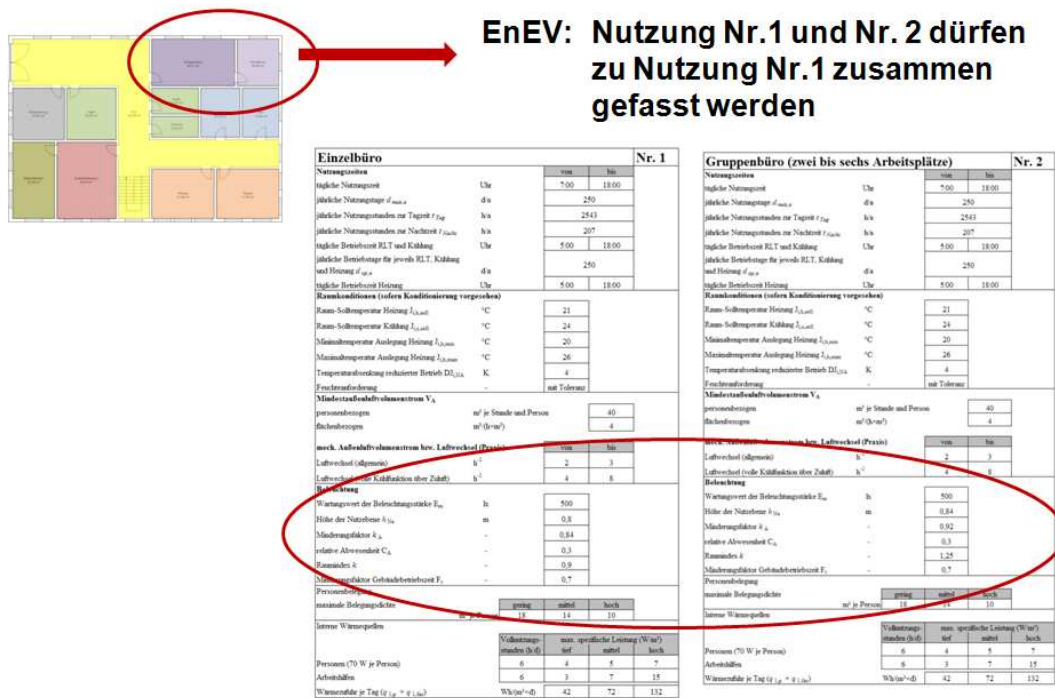


Bild 4.1-2: Einheitliche Nutzungsrandbedingungen

Modelle

Die EnEV schreibt zur Berechnung der Anforderungsgröße „Jahres-Primärenergiebedarf“ den Nachweis anhand eines Mehr-Zonen-Modells (MZMs) vor. Die Bilanzierung erfolgt dann im Rahmen des Verfahrens nach DIN V 18599 für jede Zone. Anstelle der allgemeinen Vorgehensweise - nach dem MZM darf, unter gewissen Voraussetzungen (Gebäudetyp, Flächenanteil Hauptnutzung, Wärmeerzeuger, Beleuchtung und Gebäudekühlung), eine vereinfachte Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs anhand eines Ein-Zonen-Modells (EZMs) durchgeführt werden, wobei alle Kriterien bzw. Voraussetzungen erfüllt sein müssen.

Eine der Voraussetzungen für die Anwendung des EZMs liegt im Gebäudetyp. Handelt es sich bei dem zu berechnenden Gebäude um einen der nachfolgend aufgeführten Gebäudetypen, so ist eine der Voraussetzungen gegeben.

Mögliche Gebäudetypen:

- Bürogebäude ggf. mit Verkaufseinrichtung, Gewerbebetrieb oder Gaststätte,
- Schulen, Turnhallen, Kindergärten und Kindertagesstätten sowie ähnliche Einrichtungen,
- Beherbergungsstätten ohne Schwimmhalle, Saunen oder Wellnessbereiche
- Bibliotheken,
- Groß- und Einzelhandel und Gewerbebetriebe mit maximal 1000 m² Nettogrundfläche, wenn neben der Hauptnutzung nur Büro-, Lager-, Sanitär- oder Verkehrsflächen vorhanden sind.

Eine weitere Voraussetzung für die Anwendbarkeit des EZMs liegt im Flächenanteil der Hauptnutzung. Die Hauptnutzung ergibt sich in Abhängigkeit des Gebäudetyps (Tabelle 4.1-1). Die Summe der Nettogrundfläche, die sich aus der entsprechenden Hauptnutzung und aus den vorhandenen Verkehrsflächen ergeben, muss mehr als zwei Drittel der vorhanden gesamten Nettogrundfläche betragen. In der Tabelle 4.1-1 werden Gebäudetyp, Hauptnutzung und Nutzungsprofil nach DIN V 18599-10 zugeordnet.

Tabelle 4.1-1: Hauptnutzung (Auszug aus Tabelle 4 Abs. 3.2.1 der EnEV)

Gebäudetyp	Hauptnutzung	Nutzungsprofil nach DIN V 18599-10
Bürogebäude	Einzelbüro Gruppenbüro Großraumbüro Besprechung, Sitzung, Seminar	Einzelbüro Nr.1
Bürogebäude mit Verkaufseinrichtung oder Gewerbebetrieb	Einzelbüro Gruppenbüro Großraumbüro Besprechung, Sitzung, Seminar	Einzelbüro Nr.1
Bürogebäude mit Gaststätte	Einzelbüro Gruppenbüro Großraumbüro Besprechung, Sitzung, Seminar	Einzelbüro Nr.1
Schule, Kindergarten und –tagesstätte, ähnliche Einrichtungen	Klassenzimmer Aufenthaltsraum	Klassenzimmer/ Gruppenraum Nr.8
Hotels ohne Schwimmbad, Sauna oder Wellnessbereich	Hotelzimmer	Hotelzimmer Nr.11

Um das EZM anwenden zu dürfen, gibt es klare Vorgaben bei den Wärmeerzeugern. Das zu betrachtende Gebäude darf nur mit je einer Anlage zur Beheizung

und Warmwasserbereitung ausgestattet sein. Wenn ein Gebäude beispielsweise einen zentralen Heizkessel zur Beheizung hat und die Trinkwarmwasserbereitung dezentral durch einen elektrischen Kleinspeicher erfolgt, so ist dieses Kriterium erfüllt.

Die Beleuchtung ist ebenso ein Kriterium. Die vorhandene Beleuchtung darf die spezifische elektrische Bewertungsleistung der Referenzgebäudetechnik (direkte Beleuchtung mit verlustarmem Vorschaltgerät und stabförmigen Leuchtstofflampen) hinsichtlich der Beleuchtung um nicht mehr als 10% überschreiten.

Das letzte Kriterium, welches zur Anwendung des EZMs erfüllt werden muss, ist die Gebäudekühlung. Es darf grundsätzlich in dem Gebäude nur ein Serverraum gekühlt werden, wobei die Nennleistung für den Kältebedarf 12 kW nicht übersteigen darf. Oder wenn in einem Bürogebäude eine Verkaufseinrichtung, ein Gewerbebetrieb oder eine Gaststätte gekühlt wird wobei die Nettogrundfläche der gekühlten Fläche 450 m² nicht übersteigen darf.

4.2 Datenermittlung

Für jede Zone sind die Nettogrundfläche (Energiebezugsfläche für Nichtwohngebäude nach EnEV), die Geschosshöhe, das Luftvolumen, die jeweilige wärmeübertragende Umfassungsfläche und die charakteristische Länge sowie die charakteristische Breite der Zone zu ermitteln. Für die Ermittlung der benötigten Kenngrößen werden Bezugsmaße nach DIN V 18599-1 festgesetzt.

Bezugsmaße

Zur Ermittlung der wärmeübertragenden Umfassungsfläche und dem Bruttovolumen bezüglich horizontaler Richtung, wird unterschieden in:

Außenbauteile:

Bei Außenbauteilen ist das Außenmaß, einschließlich eventuell außen liegender Wärmedämmung, einschließlich Putz anzunehmen (Bild 4.2-1).

Innenbauteile die zwischen einer temperierten und einer nicht temperierten Zone liegen:

Bei Innenbauteilen die sich zwischen einer temperierten und einer nicht temperierten Zone befinden ist das Außenmaß der temperierten Zone anzunehmen (Bild 4.2-1).

Innenbauteile die zwischen zwei temperierten Bauteilen liegen:

Bei einem Innenbauteil zwischen zwei temperierten Zonen ist das Achsmaß das anzunehmende Bezugsmaß (Bild 4.2-1).

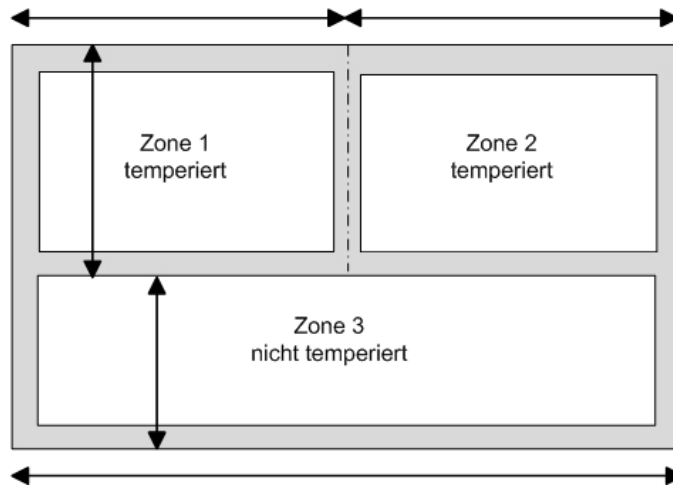


Bild 4.2-1: Bezugsmaße in horizontaler Richtung

Für die Ermittlung der wärmeübertragenden Umfassungsfläche sowie das Bruttovolumen sind zusätzlich zu der horizontalen Bezugsmaße noch die vertikalen Bezugsmaße zu beachten:

Beim oberen Gebäudeabschluss ist immer die Oberkante der obersten wärmetechnisch wirksamen Schicht als Außenmaß anzusetzen (Bild 4.2-2). Ansonsten zählt als Bezugspunkt die Oberkante der Rohdecke in allen Ebenen, das heißt alle Geschosse sowie der untere Gebäudeabschluss (Bild 4.2-2) unabhängig von der Lage der eventuell vorhandenen Dämmschicht.

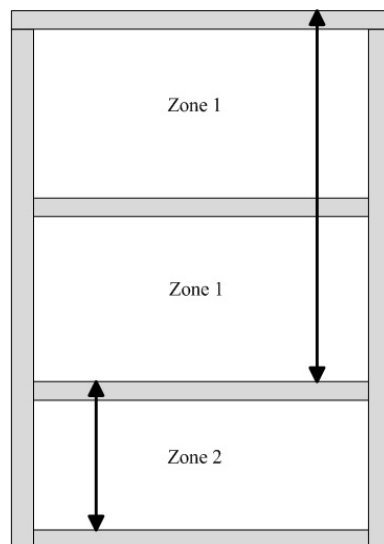


Bild 4.2-2: Bezugsmaße in vertikaler Richtung

Geschosshöhe

Entsprechend der Bezugsmaße ist die jeweilige Geschosshöhe der Zone zu bestimmen. Bezugsmaß ist somit das Maß von der Oberkante der Rohdecke bis zur Oberkante der darüber liegenden Rohdecke. Bei dem obersten Geschoss ist als Bezugsmaß das Höhenmaß bis zur Oberkante anzusetzen.

Luftvolumen

Das Luftvolumen eines Gebäudes kann, gemäß den inneren Abmessungen, genau bestimmt werden.

Vereinfacht kann es aus dem Bruttovolumen, welches nach Vorgaben der Bezugsmaße zu bestimmen ist, ermittelt werden. Hierbei wird das Bruttovolumen vereinfacht mit 0,8 multipliziert [12].

Charakteristische Länge und Breite

Bei der zu berechnenden charakteristischen Länge und Breite handelt es sich um die jeweils größte gestreckte Länge und Breite des Gebäudes. Diese beiden Größen finden Anwendung bei der Bestimmung der Rohrleitungslängen für das Heiz- und Trinkwarmwassersystem. Diese werden bestimmt, indem man den Grundriss des Gebäudes in Rechtecke aufteilt, falls dieser nicht nur aus einem Rechteck besteht. Die charakteristische Länge entspricht dann der Summe der einzelnen Längen der jeweiligen Rechtecke. Die Breite bestimmt sich aus dem Produkt der jeweiligen Längen und Breiten, welches dann durch die charakteristische Länge dividiert wird (DIN V 18599-5 Anhang C) [22].

Beispiel zur Ermittlung der charakteristischen Länge und Breite [16]:

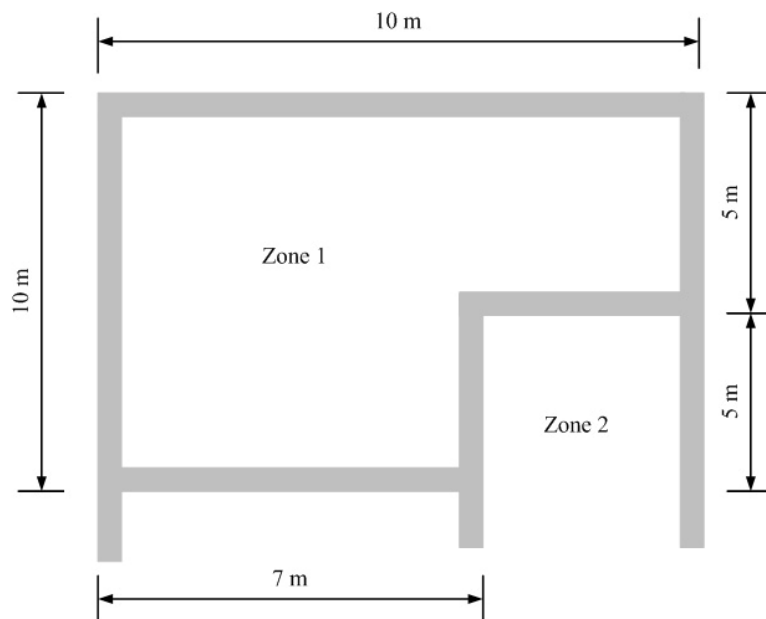


Bild 4.2-3: Beispiel zur Ermittlung der charakteristischen Breite und Länge

Ermittlung der charakteristischen Länge:

$$L_G = \sum L_i \quad (3)$$

$$L_G = 10 \text{ m} + 7 \text{ m} = 17 \text{ m}$$

charakteristische Breite:

$$B_G = (\sum L_i \cdot B_i) / L_G \quad (4)$$

$$B_G = (10 \text{ m} \cdot 5 \text{ m} + 7 \text{ m} \cdot 5 \text{ m}) / 17 \text{ m} = 5 \text{ m}$$

4.3 Nutzungsrandbedingungen

In der DIN V 18599-10 befinden sich Nutzungsrandbedingungen für Nichtwohngebäude, die als Richtwerte bei der energetischen Bewertung von Gebäuden dienen. Diese Nutzungswerte der DIN V 18599-10 Absatz 6 sind derzeit in insgesamt 41 Nutzungsprofilen definiert. Diese ergänzen die in der DIN V 18599-10 Tabelle 4 enthaltenen Werte. Sie enthalten vorgegebene Nutzungen für die Zonierung des Gebäudes. Ein Überblick über die Berechnung zur Verfügung stehenden Nutzungsprofile, die in dieser Arbeit verwendet werden, enthält die nachfolgende Tabelle 4.3-1 (siehe auch Kapitel 4.3.2).

Tabelle 4.3-1: Nutzungsprofile nach DIN V 18599

Nutzungsnummer	Nutzung nach DIN V 18599-10	Farbliche Darstellung
1	Einzelbüro	
2	Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)	
4	Besprechung/Sitzungszimmer/Seminar	
8	Klassenzimmer (Schule)	
16	WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	
17	Sonstige Aufenthaltsräume	
18	Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume	
19	Verkehrsfläche	
20	Lager, Technik und Archiv	

4.3.1 Nutzungsprofil

Ein Nutzungsprofil ist grundsätzlich eingeteilt in Nutzungszeiten (Bild 4.3.1-1), Raumkonditionen (Bild 4.3.1-2), Mindestaußenluftvolumenstrom (Bild 4.3.1-3), Beleuchtung (Bild 4.3.1-4), Personenbelegung (Bild 4.3.1-5) und internen Wärmequellen (Bild 4.3.1-6). Nachfolgend werden die oben aufgeführten Nutzungsrandbedingungen anhand einer Beispielnutzung gemäß Nutzungsprofil Nr. 8 (Klassenzimmer) erläutert. Das Nutzungsprofil Klassenzimmer aus der DIN V

18599-10 stellt die Hauptnutzung für Schulgebäude unter Anwendung des Ein-Zonen-Modells dar. In diesem Nutzungsprofil sind entsprechend Nutzungswerte für die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs festgesetzt.

Nutzungszeiten

Klassenzimmer (Schule)			Nr. 8		
Nutzungszeiten		von	bis		
tägliche Nutzungszeit	Uhr	8:00	15:00		
jährliche Nutzungstage $d_{Nutz,a}$	d/a	200			
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	1398			
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207			
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr	6:00	15:00		
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a	200			
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	6:00	15:00		

Bild 4.3.1-1: Nutzungszeiten

Tabelle 4.3.1-1: Nutzungszeiten

Nutzungszeiten	
tägliche Nutzungszeit	Die tägliche Nutzungszeit gibt die Zeitdifferenz zwischen Beginn und Ende der Nutzung an, wobei die Zeit i.d.R. die Zeit der Anwesenheit von Personen oder des Betriebes der Einrichtung darstellt.
jährliche Nutzungstage	Es wird je nach Nutzung zwischen einer Fünf-, Sechs- oder Siebentagewoche unterschieden. Für Schulen ergibt sich unter Beachtung der Ferien eine Dauer von 200 Tagen pro Jahr.
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit	Anzahl der Nutzungsstunden innerhalb der Nutzungszeit zur Tageszeit.
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit	Anzahl der Nutzungsstunden innerhalb der Nutzungszeit während derer kein Tageslicht vorhanden ist.
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Dauer der täglichen Betriebszeit von RLT und Kühlung (wird in dieser Arbeit nicht betrachtet)
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung	Anzahl der Tage im Jahr an denen die genannten Anlagen jeweils betrieben werden.
tägliche Betriebszeit Heizung	Dauer tägliche Betriebszeit Heizung während der nutzungsbedingte Sollwert realisiert wird.

Raumkonditionen

Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)		
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C	21
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,c,soll}$	°C	24
Minimaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C	20
Maximaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C	26
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{i,NA}$	K	4
Feuchteanforderung	-	mit Toleranz

Bild 4.3.1-2: Raumkonditionen

Tabelle 4.3.1-2: Raumkonditionen

Raumkondition	
Raum-Solltemperatur Heizung	Hier wird der Sollwert im Raum als Monatsmitteltemperatur angegeben, wobei räumliche und zeitliche Teilbeheizungen keine Berücksichtigung finden.
Raum-Solltemperatur Kühlung	Hier wird der Sollwert im Raum als Monatsmitteltemperatur angegeben.
Minimaltemperatur Auslegung Heizung	Für alle Nutzungen wird ein Wert von 20°C angenommen.
Maximaltemperatur Auslegung Heizung	Für alle Nutzungen wird ein Wert von 26°C angenommen.
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb	Die Temperaturabsenkung bei reduziertem Betrieb stellt eine Absenkung des Sollwertes dar.
Feuchteanforderung	Hier wird definiert ob die RLT-Anlage mit oder ohne Toleranz der Feuchteregelung beschrieben werden kann.

Mindestaußenluftvolumenstrom

Mindestaußenluftvolumenstrom V_A			
personenbezogen	m^3 je Stunde und Person	30	
flächenbezogen	$m^3/(h \times m^2)$	-	
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)		von	bis
Luftwechsel (allgemein)	h^{-1}	-	-
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h^{-1}	-	-

Bild 4.3.1-3: Mindestaußenluftvolumen

Je nach Nutzung wird der Luftwechsel personen- oder flächenbezogen angegeben. Die Umrechnung in die entsprechenden Werte kann über die Belegungsdichte erfolgen. In den Angaben zum Luftwechsel werden auftretende Luftvolumenströme bzw. Luftwechsel innerhalb von Gebäuden berücksichtigt.

Beleuchtung

Beleuchtung		
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	300
Höhe der Nutzebene h_{Ne}	m	0,8
Minderungsfaktor k_A	-	0,97
relative Abwesenheit C_A	-	0,25
Raumindex k	-	2
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_t	-	0,9

Bild 4.3.1-4: Beleuchtung

Tabelle 4.3.1-3: Beleuchtung

Beleuchtung	
Wartungswert der Beleuchtungsstärke	Hier wird der für den Bereich der Sehaufgabe geforderte Wert der Beleuchtungsstärke angegeben.
Höhe der Nutzebene	Bei der Höhe der Nutzebene handelt es sich um die Höhe der Nachweisebene für den Wert der Beleuchtungsstärke.
Minderungsfaktor	Der Minderungsfaktor für den Bereich der Sehaufgabe gibt an, um wie viel der Wert der Beleuchtungsstärke abgemindert werden darf.
Relative Abwesenheit	Durch den Faktor der relativen Abwesenheit wird der Anteil der Nutzungszeit angegeben, zu dem sich in einem Berechnungsbereich keine Person aufhält.
Raumindex	Bei dem Raumindex handelt es sich um eine geometrische Kenngröße zur Bestimmung des Raumwirkungsgrades.
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit	Der Minderungsfaktor für die Gebäudebetriebszeit gibt an, um wie viel die angegebene Nutzungszeit bei der Berechnung des Energiebedarfs für die Beleuchtung gemindert werden darf.

Personenbelegung

Personenbelegung				
maximale Belegungsichte	m ² je Person	gering	mittel	hoch
		3,5	3	2,5

Bild 4.3.1-5: Personenbelegung

Die in diesem Bild aufgeführte maximale Belegungsichte gibt an, wie viel Nettogrundfläche pro Person während der Vollbelegung zur Verfügung steht, wobei Unterschieden wird zwischen geringer, mittlerer und hoher Belegungsichte.

Interne Wärmequellen

Interne Wärmequellen				
	Vollnutzungs- stunden (h/d)	max. spezifische Leistung (W/m ²)		
		tief	mittel	hoch
Personen (70 W je Person)	5	17	20	24
Arbeitshilfen	5	2	4	6
Wärmezufuhr je Tag ($q_{1,p} + q_{1,fae}$)	Wh/(m ² ×d)	95	120	150

Bild 4.3.1-6: Interne Wärmequellen

Tabelle 4.3.1-4: Interne Wärmequellen

Interne Wärmequellen	
Personen	Die von den Personen ausgehende Wärme wird in Abhängigkeit vom Betätigungsgrad und der Belegungsichte angesetzt. Sie ergibt sich aus den Vollnutzungsstunden und einer sensiblen Wärmeabgabe von 70 W pro Person.
Arbeitshilfen	Hierunter fallen alle steckbaren elektrischen Geräte die einer bestimmten Nutzungszone zugeordnet werden können.

4.3.2 Verwendete Nutzungsprofile

Diese Arbeit betrachtet den Nichtwohngebäudetyp Schulgebäude. Für ein Schulgebäude ergeben sich in den meisten Fällen die nachfolgend aufgeführten Nutzungsprofile aufgrund eigener Recherchen sowie der angegebenen Literaturen [15] [A] [20] [22]. Hier bei werden Turnhallen, Bibliotheken, Kantinen, Küchen und Serverräume nicht in Betracht gezogen (Bilder 4.3.2-1 bis 4.3.2-9). Die aufgeführten Nutzungsprofile sind im Anhang A1 bis A9 großformatig dargestellt.

Einzelbüro		Nr. 1	
Nutzungszeiten			
tägliche Nutzungszeit	Uhr	von 7:00	bis 18:00
jährliche Nutzungstage $d_{Nutz,A}$	d/a	250	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207	
tägliche Betriebszeit RLТ und Kühlung	Uhr	5:00	18:00
jährliche Betriebstage für jeweils RLТ, Kühlung und Heizung $d_{op,A}$	d/a	250	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	5:00	18:00
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)			
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{h,soll}$	°C	21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{c,soll}$	°C	24	
Minimaletemperatur Auslegung Heizung $J_{h,min}$	°C	20	
Maximaletemperatur Auslegung Heizung $J_{h,max}$	°C	26	
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{h,KA}$	K	4	
Feuchteanforderung	-	mit Toleranz	
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A			
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	40	
flächenbezogen	m ³ /(h·m ²)	4	
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	von 2	bis 3
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹	4	8
Beleuchtung			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	500	
Höhe der Nutzenebene h_{NA}	m	0,8	
Minderungsfaktor k_A	-	0,84	
relative Abwesenheit C_A	-	0,3	
Raumindex k	-	0,9	
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_i	-	0,7	
Personenbelegung			
maximale Belegungsichte	m ² je Person	gering 18	mittel 14
interne Wärmequellen			
Personen (70 W je Person)			
Arbeitsflächen	Wh/(m ² ·d)	6	4
Wärmezufuhr je Tag $(q_{1,p} + q_{1,fl})$	Wh/(m ² ·d)	42	72

Bild 4.3.2-1: Nutzungsprofil Nr.1 [A1]

Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)		Nr. 2	
Nutzungszeiten			
tägliche Nutzungszeit	Uhr	7:00	18:00
jährliche Nutzungstage $d_{Nutz,A}$	d/a	250	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207	
tägliche Betriebszeit RLТ und Kühlung	Uhr	5:00	18:00
jährliche Betriebstage für jeweils RLТ, Kühlung und Heizung $d_{op,A}$	d/a	250	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	5:00	18:00
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)			
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{h,soll}$	°C	21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{c,soll}$	°C	24	
Minimaletemperatur Auslegung Heizung $J_{h,min}$	°C	20	
Maximaletemperatur Auslegung Heizung $J_{h,max}$	°C	26	
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{h,KA}$	K	4	
Feuchteanforderung	-	mit Toleranz	
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A			
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	40	
flächenbezogen	m ³ /(h·m ²)	4	
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	2	3
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹	4	8
Beleuchtung			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	500	
Höhe der Nutzenebene h_{NA}	m	0,84	
Minderungsfaktor k_A	-	0,92	
relative Abwesenheit C_A	-	0,3	
Raumindex k	-	1,25	
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_i	-	0,7	
Personenbelegung			
maximale Belegungsichte	m ² je Person	gering 18	mittel 14
interne Wärmequellen			
Personen (70 W je Person)			
Arbeitsflächen	Wh/(m ² ·d)	6	4
Wärmezufuhr je Tag $(q_{1,p} + q_{1,fl})$	Wh/(m ² ·d)	42	72

Bild 4.3.2-2: Nutzungsprofil Nr.2 [A2]

Besprechung/ Sitzungszimmer/ Seminar		Nr. 4	
Nutzungszeiten			
tägliche Nutzungszeit	Uhr	7:00	18:00
jährliche Nutzungstage $d_{Nutz,A}$	d/a	250	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207	
tägliche Betriebszeit RLТ und Kühlung	Uhr	5:00	18:00
jährliche Betriebstage für jeweils RLТ, Kühlung und Heizung $d_{op,A}$	d/a	250	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	5:00	18:00
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)			
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{h,soll}$	°C	21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{c,soll}$	°C	24	
Minimaletemperatur Auslegung Heizung $J_{h,min}$	°C	20	
Maximaletemperatur Auslegung Heizung $J_{h,max}$	°C	26	
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{h,KA}$	K	4	
Feuchteanforderung	-	mit Toleranz	
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A			
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	20	
flächenbezogen	m ³ /(h·m ²)	15	
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	5	7
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹	10	15
Beleuchtung			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	500	
Höhe der Nutzenebene h_{NA}	m	0,8	
Minderungsfaktor k_A	-	0,93	
relative Abwesenheit C_A	-	0,5	
Raumindex k	-	1,25	
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_i	-	1	
Personenbelegung			
maximale Belegungsichte	m ² je Person	gering 4	mittel 3
interne Wärmequellen			
Personen (70 W je Person)			
Arbeitsflächen	Wh/(m ² ·d)	4	18
Wärmezufuhr je Tag $(q_{1,p} + q_{1,fl})$	Wh/(m ² ·d)	76	104

Bild 4.3.2-3: Nutzungsprofil Nr.4 [A3]

Klassenzimmer (Schule)		Nr. 8	
Nutzungszeiten			
tägliche Nutzungszeit	Uhr	8:00	15:00
jährliche Nutzungstage $d_{Nutz,A}$	d/a	200	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	1398	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	2	
tägliche Betriebszeit RLТ und Kühlung	Uhr	6:00	15:00
jährliche Betriebstage für jeweils RLТ, Kühlung und Heizung $d_{op,A}$	d/a	200	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	6:00	15:00
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)			
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{h,soll}$	°C	21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{c,soll}$	°C	24	
Minimaletemperatur Auslegung Heizung $J_{h,min}$	°C	20	
Maximaletemperatur Auslegung Heizung $J_{h,max}$	°C	26	
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{h,KA}$	K	4	
Feuchteanforderung	-	mit Toleranz	
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A			
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	30	
flächenbezogen	m ³ /(h·m ²)	-	
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	-	-
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹	-	-
Beleuchtung			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	300	
Höhe der Nutzenebene h_{NA}	m	0,8	
Minderungsfaktor k_A	-	0,97	
relative Abwesenheit C_A	-	0,25	
Raumindex k	-	2	
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_i	-	0,9	
Personenbelegung			
maximale Belegungsichte	m ² je Person	gering 3,5	mittel 3
interne Wärmequellen			
Personen (70 W je Person)			
Arbeitsflächen	Wh/(m ² ·d)	5	17
Wärmezufuhr je Tag $(q_{1,p} + q_{1,fl})$	Wh/(m ² ·d)	95	120

Bild 4.3.2-4: Nutzungsprofil Nr.8 [A4]

WC und Sanitärräume		Nr. 16	
Nutzungszeiten			
tägliche Nutzungszeit	Uhr	von 7:00	bis 18:00
jährliche Nutzungstage $d_{Nutz,a}$	d/a	250	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207	
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr	von 5:00	bis 18:00
jährliche Betriebsstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a	250	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	von 5:00	bis 18:00
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)			
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C	21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,c,soll}$	°C	24	
Minimale Temperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C	20	
Maximale Temperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C	26	
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DI_{i,NA}$	K	4	
Feuchteanforderung	-	keine	
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A			
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	-	
flächenbezogen	m ³ /(h·m ²)	15	
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	von -	bis -
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹	von -	bis -
Beleuchtung			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	100	
Hohe der Nutzenebene h_{Ne}	m	0,8	
Minderungsfaktor k_A	-	1	
relative Abwesenheit C_A	-	0,9	
Raumindex k	-	0,8	
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_1	-	1	
Personenbelegung			
maximale Belegungsichte	m ² je Person	gering	mittel
		-	-
Interne Wärmequellen			
		Vollnutzungsstunden (h·d)	max. spezifische Leistung (W/m ²)
		tief	mittel
Personen (70 W je Person)	-	-	-
Arbeitsstätten	-	-	-
Wärmefuhr je Tag ($q_{1,p} + q_{1,fa}$)	Wh(m ² ·d)	-	-

Bild 4.3.2-5: Nutzungsprofil Nr.16 [A5]

Sonstige Aufenthaltsräume (Sammelzonen)		Nr. 17	
Nutzungszeiten			
tägliche Nutzungszeit	Uhr	von 7:00	bis 18:00
jährliche Nutzungstage $d_{Nutz,a}$	d/a	250	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207	
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr	von 5:00	bis 18:00
jährliche Betriebsstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a	250	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	von 5:00	bis 18:00
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)			
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C	21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,c,soll}$	°C	24	
Minimale Temperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C	20	
Maximale Temperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C	26	
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DI_{i,NA}$	K	4	
Feuchteanforderung	-	mit Toleranz	
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A			
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	-	
flächenbezogen	m ³ /(h·m ²)	7	
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	von -	bis -
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹	von -	bis -
Beleuchtung			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	300	
Hohe der Nutzenebene h_{Ne}	m	0,8	
Minderungsfaktor k_A	-	0,93	
relative Abwesenheit C_A	-	0,5	
Raumindex k	-	1,25	
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_1	-	1	
Personenbelegung			
maximale Belegungsichte	m ² je Person	gering	mittel
		4	3
Interne Wärmequellen			
		Vollnutzungsstunden (h·d)	max. spezifische Leistung (W/m ²)
		tief	mittel
Personen (70 W je Person)	-	4	18
Arbeitsstätten	-	4	1
Wärmefuhr je Tag ($q_{1,p} + q_{1,fa}$)	Wh(m ² ·d)	76	100

Bild 4.3.2-6: Nutzungsprofil Nr.17 [A6]

Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume		Nr. 18	
Nutzungszeiten			
tägliche Nutzungszeit	Uhr	von 7:00	bis 18:00
jährliche Nutzungstage $d_{Nutz,a}$	d/a	250	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207	
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr	von 5:00	bis 18:00
jährliche Betriebsstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a	250	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	von 5:00	bis 18:00
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)			
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C	21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,c,soll}$	°C	24	
Minimale Temperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C	20	
Maximale Temperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C	26	
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DI_{i,NA}$	K	4	
Feuchteanforderung	-	keine	
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A			
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	-	
flächenbezogen	m ³ /(h·m ²)	0,15	
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	von -	bis -
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹	von -	bis -
Beleuchtung			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	100	
Hohe der Nutzenebene h_{Ne}	m	0,8	
Minderungsfaktor k_A	-	1	
relative Abwesenheit C_A	-	0,9	
Raumindex k	-	1,5	
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_1	-	1	
Personenbelegung			
maximale Belegungsichte	m ² je Person	gering	mittel
		-	-
Interne Wärmequellen			
		Vollnutzungsstunden (h·d)	max. spezifische Leistung (W/m ²)
		tief	mittel
Personen (70 W je Person)	-	-	-
Arbeitsstätten	-	-	-
Wärmefuhr je Tag ($q_{1,p} + q_{1,fa}$)	Wh(m ² ·d)	-	-

Bild 4.3.2-7: Nutzungsprofil Nr.18 [A7]

Verkehrsfläche Flur		Nr. 19	
Nutzungszeiten			
tägliche Nutzungszeit	Uhr	von 7:00	bis 18:00
jährliche Nutzungstage $d_{Nutz,a}$	d/a	250	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207	
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr	von 5:00	bis 18:00
jährliche Betriebsstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a	250	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	von 5:00	bis 18:00
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)			
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C	21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,c,soll}$	°C	24	
Minimale Temperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C	20	
Maximale Temperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C	26	
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DI_{i,NA}$	K	4	
Feuchteanforderung	-	keine	
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A			
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	-	
flächenbezogen	m ³ /(h·m ²)	0	
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	von -	bis -
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹	von -	bis -
Beleuchtung			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	100	
Hohe der Nutzenebene h_{Ne}	m	0	
Minderungsfaktor k_A	-	1	
relative Abwesenheit C_A	-	0,8	
Raumindex k	-	0,8	
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_1	-	1	
Personenbelegung			
maximale Belegungsichte	m ² je Person	gering	mittel
		-	-
Interne Wärmequellen			
		Vollnutzungsstunden (h·d)	max. spezifische Leistung (W/m ²)
		tief	mittel
Personen (70 W je Person)	-	-	-
Arbeitsstätten	-	-	-
Wärmefuhr je Tag ($q_{1,p} + q_{1,fa}$)	Wh(m ² ·d)	0	0

Bild 4.3.2-8: Nutzungsprofil Nr.19 [A8]

Lager Technik, Archiv		Nr. 20	
Nutzungszeiten			
tägliche Nutzungszeit	Uhr	von 7:00	bis 18:00
jährliche Nutzungstage $d_{Nutz,a}$	d/a	250	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207	
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr	5:00	18:00
jährliche Betriebsstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a	250	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	5:00	18:00
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)			
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C	21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,c,soll}$	°C	24	
Minimale Temperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C	20	
Maximale Temperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C	26	
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{i,c,RA}$	K	4	
Feuchteanforderung	-	keine	
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A			
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	-	
flächenbezogen	m ³ (h·m ²)	0,15	
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	von	bis
Luftwechsel (volle Kühlung über Zuluft)	h ⁻¹	-	-
Beleuchtung			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	100	
Höhe der Nutzenebene $h_{z,ta}$	m	0,8	
Minderungsfaktor k_A	-	1	
relative Abwesenheit C_A	-	0,98	
Raumindex k	-	1,5	
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_i	-	1	
Personenbelegung			
maximale Belegungsdichte	m ² je Person	gering	mittel
		-	-
Interne Wärmequellen			
		Vollnutzungsstufen (h·d)	max. spezifische Leistung (W/m ²)
		tief	mittel
Personen (70 W je Person)		-	-
Arbeitsflächen		-	-
Wärmezufuhr je Tag ($q_{i,p} + q_{i,ba}$)	Wh/(m ² ·d)	-	-

Bild 4.3.2-9: Nutzungsprofil Nr.20 [A9]

5 Analyse, Bewertung und Verbesserung

Nichtwohngebäude zeichnen sich durch eine unterschiedliche Nutzung und/ oder Klimatisierung innerhalb des Gebäudes aus. Daher sind für die energetische Bilanzierung Zonen gleicher Nutzung zu bilden. Die Grundlage der energetischen Bewertung von Nichtwohngebäuden bildet das Mehr-Zonen-Modell (MZM). Bei dem MZM wird für jede Zone eine eigene Wärmebilanz durchgeführt. Die Ergebnisse jeder Zone werden addiert und stellen das wärmetechnische Gesamtergebnis für das Gebäude zur energetischen Bewertung dar. Dieses Verfahren kann, unter schon genannten Voraussetzungen, durch das Ein-Zonen-Modell (EZM) ersetzt werden. Das EZM schließt mindestens alle beheizten Räume, bei bestimmten Voraussetzungen auch unbeheizte Räume des Gebäudes mit ein. Dem EZM wird für jeden Gebäudetyp in Abhängigkeit der Hauptnutzung ein festes Nutzungsprofil zugeordnet. Zum Beispiel definiert das Nutzungsprofil eines Klassenzimmers bei Schulgebäuden die Hauptnutzung.

5.1 Ausgangssituation

In der eigentlichen Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs nach DIN V 18599 ist die Zonierung eines Gebäudes einer der ersten Schritte. Das ohnehin komplexe Verfahren nach DIN V 18599 wird durch die Zonierung und die damit verbundene Datenermittlung sehr zeitaufwendig und berechnungsintensiv.

Bei Verwendung des MZMs erfolgt nach Festlegung der einzelnen Zonen gemäß den Zonierungskriterien die Datenermittlung der jeweiligen Zonen. Die Größen, wie die wärmeübertragende Umfassungsflächen und das entsprechende Volumen, müssen für jede einzelne Zone ermittelt werden. Der Zeitaufwand richtet sich nach der Anzahl der Zonen im Gebäude, aber auch nach dessen architektonische Kompaktheit. Für ein verwinkeltes Gebäude benötigt man wesentlich mehr Zeit bei der Datenermittlung als bei einem einfachen rechteckigen Gebäude.

Um den Zeitaufwand für die Datenermittlung und die Berechnungsintensität zu vereinfachen, hat die EnEV das EZM als alternative Berechnung zugelassen. Beim EZM wird das gesamt betrachtete Gebäude in nur eine Zone eingeteilt, wie in Bild 5.1-2 farblich dargestellt. Die Datenermittlung wird wesentlich vereinfacht und der Zeitaufwand reduziert. Im Vergleich dazu ist auf dem Bild 5.1-3 auf den ersten Blick erkennbar, dass der Bearbeitungsaufwand bei einem MZM um ein Vielfaches höher liegt. Vergleicht man darüberhinaus die Ergebnisse der beiden Berechnungsverfahren EZM und MZM, sind klare Differenzen in den Ergebnissen erkennbar. Diese Differenzen haben vielfältige Auswirkungen, unter anderem zum Beispiel auf die Modernisierungsempfehlungen. Eine Heizung die aufgrund der unterschiedlichen Ergebnisse anders ausgelegt wird beeinflusst zum Beispiel wesentlich den Energieverbrauch eines Gebäudes.

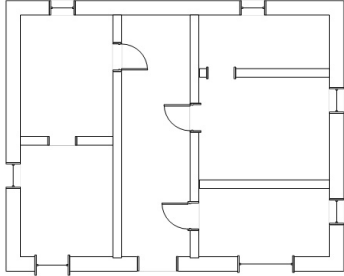
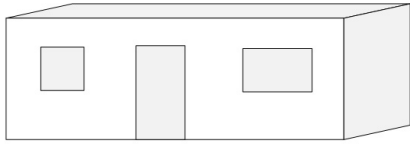


Bild 5.1-1: Beispielgebäude

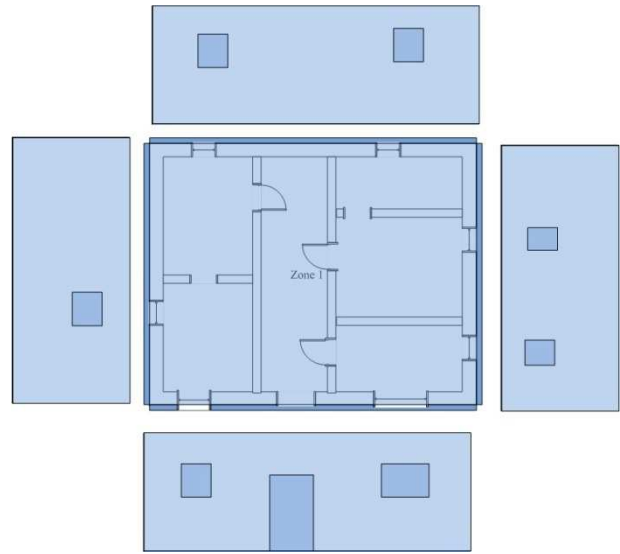


Bild 5.1-2: Flächenermittlung EZM



Bild 5.1-3: Flächenermittlung MZM

5.1.1 Untersuchung und Auswertung der Ausgangssituation

Dieser Arbeit liegen 45 sowohl fiktive als auch reale Schulgebäude als Berechnungsbasis zugrunde. Diese Beispielgebäude bilden die Grundlage der eigenen Untersuchungen. Mit Ihnen wird der Unterschied beim Zeitaufwand und der Berechnungsungenauigkeit verdeutlicht. Alle maßgebenden Berechnungen und Bewertung wurden anhand dieser 45 Schulgebäude eigens durchgeführt (Bilder 5.1.1-1 bis 5.1.1-3).

Bsp.	A	NGF	Ve	Anzahl Zonen	Jahres-Primärenergiebedarf		
					EZM	MZM	NEU
1	279,14	71	261,22	3	574,7	660	650
					85,3		10
2	441,2	123,04	455,22	4	479	503	509,2
					24		6,2
3	611,52	262,71	951,66	5	310	320,3	330,3
					10,3		10
4	611,52	262,71	951,66	7	310	324,2	331,6
					14,2		7,4
5	956,72	298,27	1090,62	5	434,9	453,7	461
					18,8		7,3
6	1091,98	555,32	1881,66	7	243,4	248,3	253,6
					4,9		5,3
7	888,88	276,79	968,26	4	299,8	319,6	330,8
					19,8		11,2
8	1389,38	965,82	3196,08	7	257,5	288,5	285,7
					31		2,8
9	1051	341,13	1202,97	8	288,9	307,2	314,2
					18,3		7
10	1925,14	1394,89	4894,73	9	187,2	206,6	214
					19,4		7,4
11	1005	288,65	1149,54	8	400	441,7	449,2
					41,7		7,5
12	926,6	373,38	1460,81	7	290,1	337,6	329,1
					47,5		8,5
13	1575,7	1066,86	3880,89	9	310,3	344,8	340,8
					34,5		4
14	1593,56	496,78	2012,84	8	384,6	397,9	404,6
					13,3		6,7
15	2162,42	596,04	2753,33	9	458,9	484,4	483,7
					25,5		0,7
16	1593,56	496,78	2012,84	8	384,6	404,2	411,7
					19,6		7,5

Bild 5.1.1-1: Schulgebäude für die Berechnung und Bewertung

Bsp.	A	NGF	Ve	Anzahl Zonen	Jahres-Primärenergiebedarf		
					EZM	MZM	NEU
17	1593,56	496,78	2012,84	9	384,6	399,7	403,7
					15,1		4
18	1005	288,65	1149,54	6	400	433	446,9
					33		13,9
19	1732,34	585,2	2457,84	7	309,5	331,3	331,2
					21,8		0,1
20	2244,86	1136,26	4707,38	7	362,1	402,2	409,2
					40,1		7
21	1975,98	1342,98	4913,18	7	193,4	205,9	214,1
					12,5		8,2
22	1648,6	895,32	3224,28	8	207,7	226,4	230,3
					18,7		3,9
23	1648,6	895,32	3224,28	8	207,7	234,6	236,2
					26,9		1,6
24	2323,78	751,43	2942,91	6	377,8	400,9	404,3
					23,1		3,4
25	2323,78	751,43	2942,91	6	377,8	399,9	400,9
					22,1		1
26	2323,78	751,43	2942,91	6	377,8	399	401,9
					21,2		2,9
27	2323,78	751,43	2942,91	6	377,8	401,8	404,9
					24		3,1
28	1099,7	554,25	1913,21	7	285,5	299,4	309
					13,9		9,6
A	1888,14	599,58	2780,92	4	349,9	368,2	366,9
					18,3		1,3
B	1888,14	599,58	2780,92	4	349,9	391	374
					41,1		17
C	1888,14	599,58	2780,92	5	349,9	368,5	374,5
					18,6		6

Bild 5.1.1-2: Schulgebäude für die Berechnung und Bewertung

Bsp.	A	NGF	Ve	Anzahl Zonen	Jahres-Primärenergiebedarf		
					EZM	MZM	NEU
D	1888,14	599,58	2780,92	5	349,9	377,4	380,9
					27,5		3,5
E	1888,14	599,58	2780,92	5	349,9	370,8	376,2
					20,9		5,4
F	1888,14	599,58	2780,92	5	349,9	366,9	374
					17		7,1
G	1888,14	599,58	2780,92	3	349,9	370	367,9
					20,1		2,1
1	2033,5	1145,66	4027,19	8	294,9	323,1	323,4
					28,2		0,3
2	2033,5	1145,66	4027,19	8	294,9	322,1	319,5
					27,2		2,6
3	2033,5	1145,66	4027,19	9	294,9	307,2	310
					12,3		2,8
4	2033,5	1145,66	4027,19	9	294,9	311	315,5
					16,1		4,5
5	2033,5	1145,66	4027,19	9	294,9	311,9	318,8
					17		6,9
6	2033,5	1145,66	4027,19	9	294,9	311,9	319,1
					17		7,2
1	4893,68	2262,64	10616,4	3	326,8	332,5	337,3
					5,7		4,8
2	2841,31	1408,6	5585,7	4	226,1	243,6	236,6
					17,5		7
3	3675,14	1705,33	6928	5	193,8	201	207
					7,2		6
4	8565,39	5140	23404,9	4	305	313,3	317,1
					8,3		3,8

Bild 5.1.1-3: Schulgebäude für die Berechnung und Bewertung

Problemstellung

Anhand eines hier beispielhaft dargestellten Schulgebäudes aus dem Baujahr 2003 (Bild 5.1.1-4), werden Problematiken, die sich bei der Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs bei Anwendung des MZMs und des EZMs ergeben, aufgezeigt und erläutert. Nähere Angaben zu diesem Schulgebäude siehe Kapitel 6 Beispielgebäude 1.

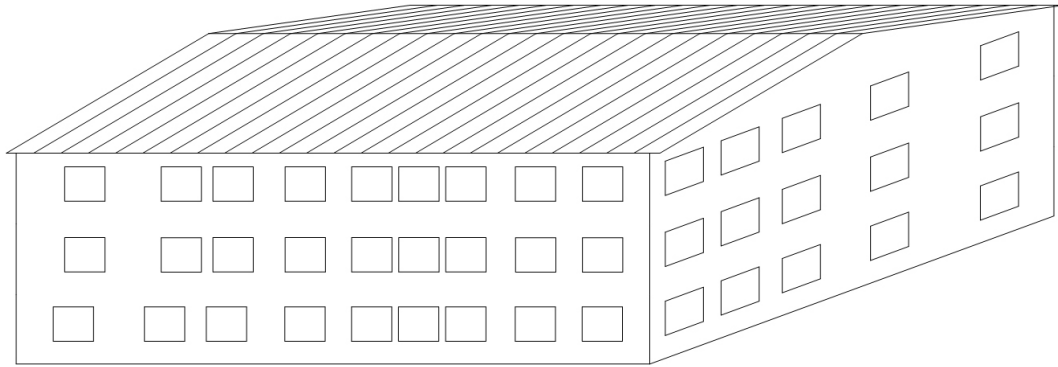


Bild 5.1.1-4: Beispielhaftes Schulgebäude zur Darstellung der Problematiken

Für dieses Schulgebäude ergeben sich aufgrund der vorliegenden Gegebenheiten bzw. Nutzungen 9 Zonen. Bei diesen Zonen handelt es sich um die 9 Zonen, die auch der Arbeit zu Grunde gelegt sind.

- Einzelbüro Nr. 1
- Gruppenbüro Nr. 2
- Besprechung Nr. 4
- Klassenzimmer Nr. 8
- WC Nr. 16
- Sonstige Aufenthaltsräume Nr. 17
- Nebenflächen Nr. 18
- Verkehrsflächen Nr. 19
- Lager, Archiv Nr. 20

Bei Anwendung des MZMs müssen für jede einzelne Zone entsprechend die Daten wie die wärmeübertragende Umfassungsfläche A , Gebäudevolumen V und die Nettogrundfläche A_{NGF} ermittelt werden. Es ergeben sich aufgrund der Anzahl der Zonen unter Anwendung des MZMs notwendige und aufwendige Berechnungen.

Nach der Zonierung und der entsprechenden Ermittlung der Daten, werden diese in eine entsprechende Software [C] eingegeben. Für das dargestellte Schulgebäude ergibt sich somit unter Anwendung des MZMs ein Jahres-Primärenergiebedarf von $206,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

Die EnEV sieht als Alternative zum MZM ein vereinfachtes Berechnungsverfahren für den Jahres-Primärenergiebedarf vor, das sogenannte Ein-Zonen-Modell (EZM). Das EZM ist jedoch nur unter den in Kapitel 4 aufgezeigten Voraussetzungen anwendbar.

Die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs, unter Anwendung des EZMs, erfolgt unter Verwendung der Hauptnutzung Klassenzimmer für das gesamt betrachtete Schulgebäude. Im Gegensatz zum MZM, wo die Ermittlung der Bezugsgrößen für jede einzelne Zone bestimmt werden muss, erfolgt beim EZM die Ermittlung der Bezugsgrößen anhand nur einer zusammengefassten Zone die sich auf das gesamt betrachtete Schulgebäude bezieht.

Nach der Datenermittlung und entsprechend der Eingabe in die Software [C] ergibt sich unter Anwendung des EZMs, für genau das gleiche Schulgebäude, ein Jahres-Primärenergiebedarf von 187,2 kWh/m²a.

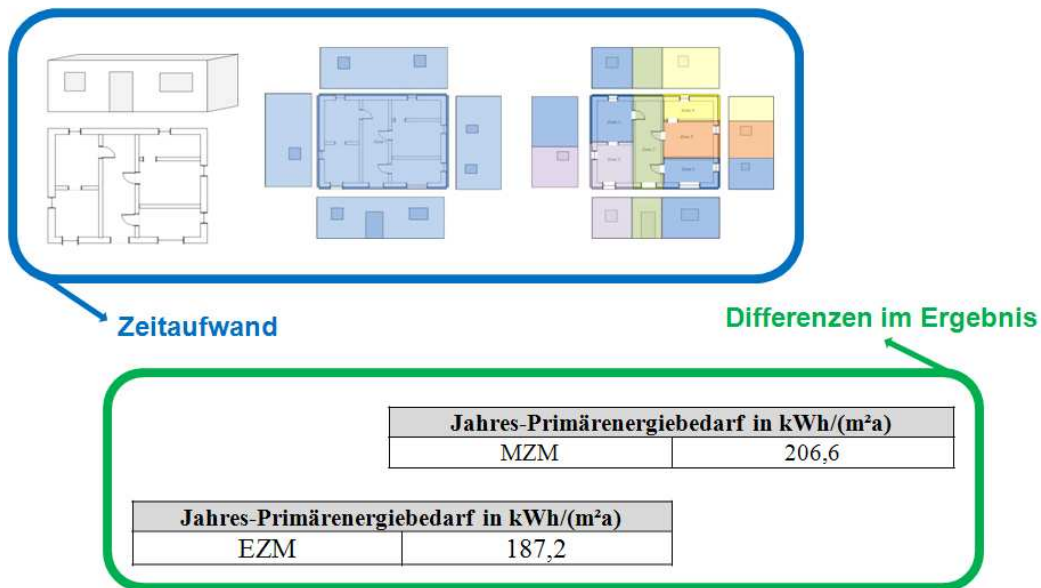


Bild 5.1.1-5: Problemstellung unter Anwendung des MZMs und des EZMs

Im Bild 5.1.1-5 sind die Ergebnisse, die sich für das beispielhafte Schulgebäude ergeben, übersichtlich dargestellt. Für ein und dasselbe Gebäude ergeben sich, unter Anwendung zweier Modelle (EZM und MZM), unterschiedliche Ergebnisse für den Jahres-Primärenergiebedarf (206,6 kWh/(m²a) zu 187,2 kWh/(m²a)). Zum einen werden durch das MZM genaue Ergebnisse erzielt. Dem gegenüber steht aber ein wesentlich höherer Zeitaufwand im Verhältnis zum EZM.

Damit lässt sich das Ziel der Arbeit formulieren: Ein Rechenverfahren bzw. ein Modell zu entwickeln, welches verhältnismäßig genaue Ergebnisse bei geringem Aufwand erreicht.

Untersuchung und Auswertung

Der Vorteil des EZMs ist ganz klar im verringerten Zeitaufwand bei der Datenermittlung zu sehen. Die durchschnittliche Zeit für die Ermittlung der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, der Nettogrundfläche und des entsprechenden Volumens beträgt bei Verwendung des EZMs im Schnitt 15 Minuten. Einzelne Werte können auch oberhalb oder unterhalb des Zeitbedarfs liegen, wie die blauen Balken im Bild 5.1.1-6 zeigen.

Sieht man im Vergleich zum EZM das MZM, kann man im Schnitt bei den zugrunde gelegten Beispielen 60 Minuten bezüglich der Ermittlung der oben genannten Daten ansetzen. (Vergleich rote Balken Bild 5.1.1-6). Dabei ist die benötigte Zeit beim MZM in Abhängigkeit von der Anzahl der Zonen und der

Gebäudegeometrie zu sehen. Im Einzelfall kann der zeitliche Mehraufwand bis zu 70% höher sein, als im Vergleich zum EZM.

In der nachfolgenden Grafik Bild 5.1.1-6 wird der zeitliche Aufwand des MZMs und des EZMs bezüglich des Aufwandes bei der Datenermittlung exemplarisch an 12 der 45 Schulgebäude dargestellt. Der Grund dafür liegt in einer übersichtlicheren Darstellung. Bei den nachfolgend aufgezeigten Ergebnissen, sowohl bei der Datenermittlung als auch bei der Programmeingabe, handelt es sich aber immer um Ergebnisse, die sich auf alle 45 Schulgebäude beziehen.

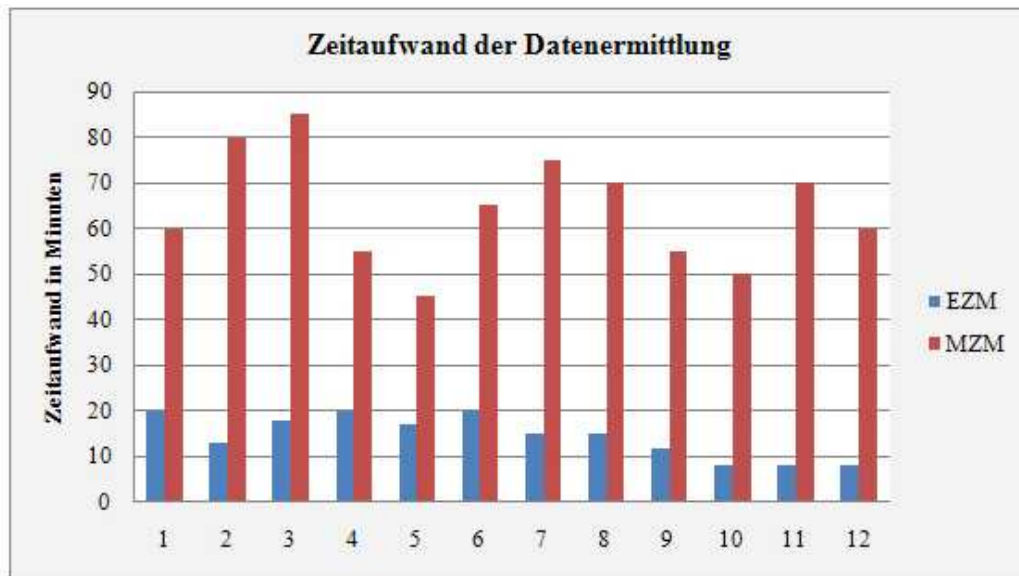


Bild 5.1.1-6: Zeitaufwand für die Datenermittlung beim EZM und MZM

Nicht nur bei der Datenermittlung im Zusammenhang mit der Zonierung spielt der Faktor Zeit eine entscheidende Rolle. Zu den zeitlichen Differenzen, die sich bei der Datenermittlung bezüglich der Zonierung ergeben, kommt der höhere Zeitaufwand durch Eingabe des größeren Datenvolumens beim MZM in die Software [C] hinzu.

Für die Eingabe der Daten unter Anwendung des EZMs, werden nach eigenen Ermittlungen ca. 7 Minuten benötigt. Sieht man im Vergleich das MZM, so wird ein Mittelwert von ungefähr 17 Minuten gebraucht. Dieser Mittelwert ist immer in Abhängigkeit der Gebäudekomplexität, der Anzahl der Zonen und in Abhängigkeit von der benutzten Software [C] zu sehen. Im Schnitt ist festzustellen, dass für die Eingabe der Daten des MZMs etwa 45% mehr Zeit benötigt wird als für die Eingabe der Daten nach dem EZM. Die nachfolgende Grafik 5.1.1-7 verdeutlicht den entsprechenden Zeitaufwand des EZMs und des MZMs bezüglich der Eingabe in eine Software [C].

Auch hier sind zur besseren Übersicht nur 12 von 45 Schulgebäuden dargestellt, wobei aber die Ergebnisse sich auf alle 45 Schulgebäude beziehen.

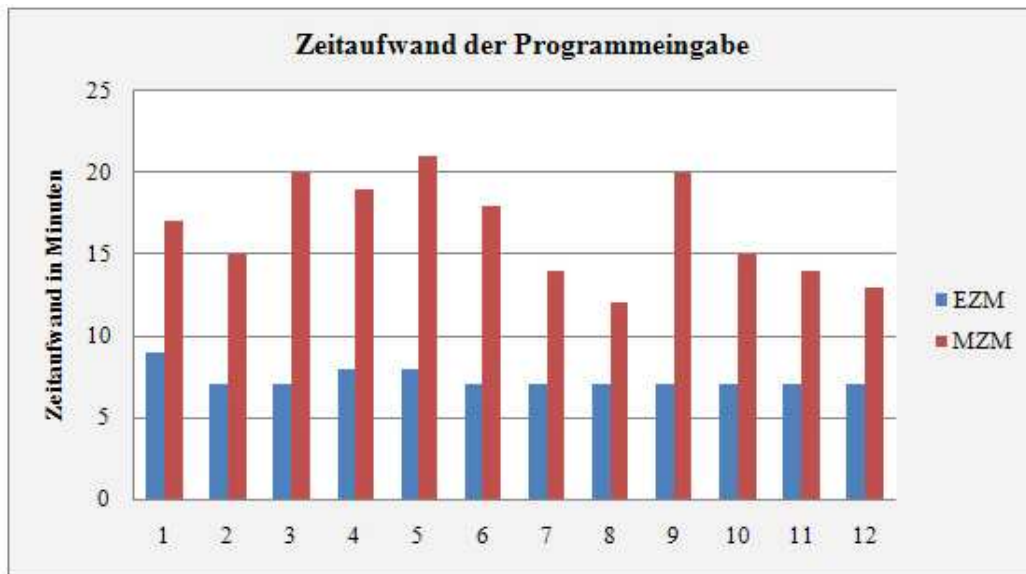


Bild 5.1.1-7: Zeitaufwand für die Eingabe der Daten in die Software

Betrachtet man die Zeit, die für die Datenermittlung benötigt wird und den zeitlichen Mehraufwand, der durch die Eingabe in die Software [C] zustande kommt, wird offensichtlich, wie groß die zeitlichen Differenzen zwischen dem EZM und dem MZM sind.

Sicherlich stellt die zeitliche Verbesserung, die durch die Vereinfachung der zu erhebenden Daten hervorgerufen wird, einen Vorteil beim EZM dar. Das wiegt aber den sich daraus ergebenden Nachteil, den differierenden Ergebnissen zwischen EZM und MZM, nicht auf.

Vergleicht man den Jahres-Primärenergiebedarf, der sich aus Berechnungen des EZMs ergibt mit dem Jahres-Primärenergiebedarf der unter Einsatz eines MZMs berechnet wurde, so sind Abweichungen in den Ergebnissen erkennbar. Im Bild 5.1.1-8 sowie in Bild 5.1.1-9 wird die Streuung der Ergebnisse grafisch dargestellt, wobei die 45 untersuchten Gebäude die Grundlage hierfür bilden. Die Ungenauigkeiten, die sich in den Ergebnissen durch die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs widerspiegeln, sind deutlich durch das Abweichen von der Ideallinie sichtbar gemacht.

In der Grafik im Bild 5.1.1-8 sind die Ergebnisse aller 45 Schulgebäude, die nach dem MZM sowie dem EZM berechnet wurden, durch jeweils einen Punkt dargestellt. Auf der horizontalen Achse wird der Jahres-Primärenergiebedarf nach dem MZM und auf der senkrechten Achse der Jahres-Primärenergiebedarf nach dem EZM aufgetragen. Zur Verdeutlichung der Grafik wurde ein Beispiel in Bild 5.1.1-8 eingefügt. Beispielsweise ergibt sich für ein Gebäude, welches nach dem MZM berechnet wurde, ein Jahres-Primärenergiebedarf von 450 kWh/(m²a). Dieser wird auf der horizontalen Achse aufgetragen. Für genau das gleiche Gebäude, wird unter Anwendung des EZMs, ein Jahres-Primärenergiebedarf von

435 kW/(m²a) berechnet und entsprechend auf der senkrechten Achse aufgetragen. Somit ergibt sich für das Gebäude der dargestellte Punkt.

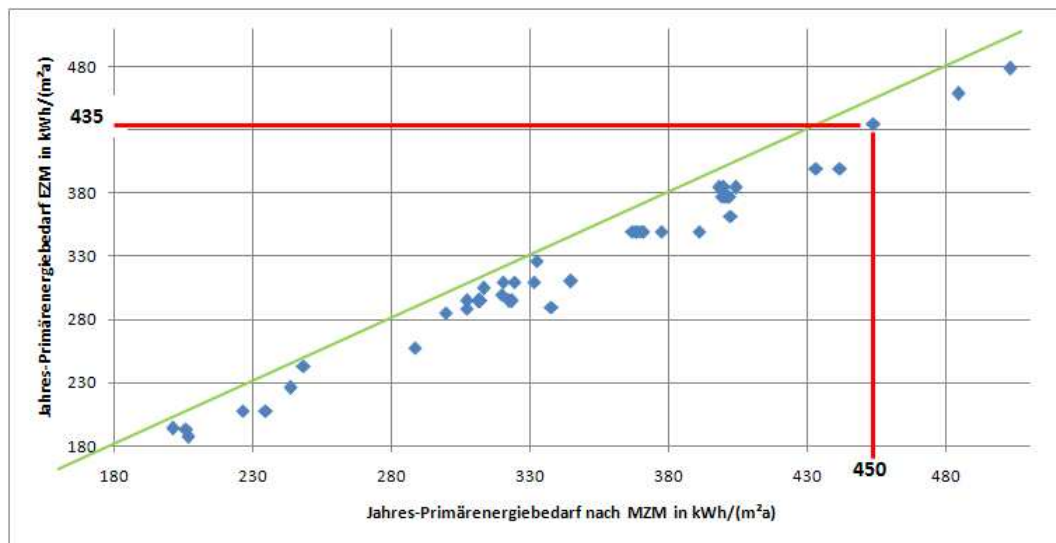


Bild 5.1.1-8 Abweichungen zur Ideallinie

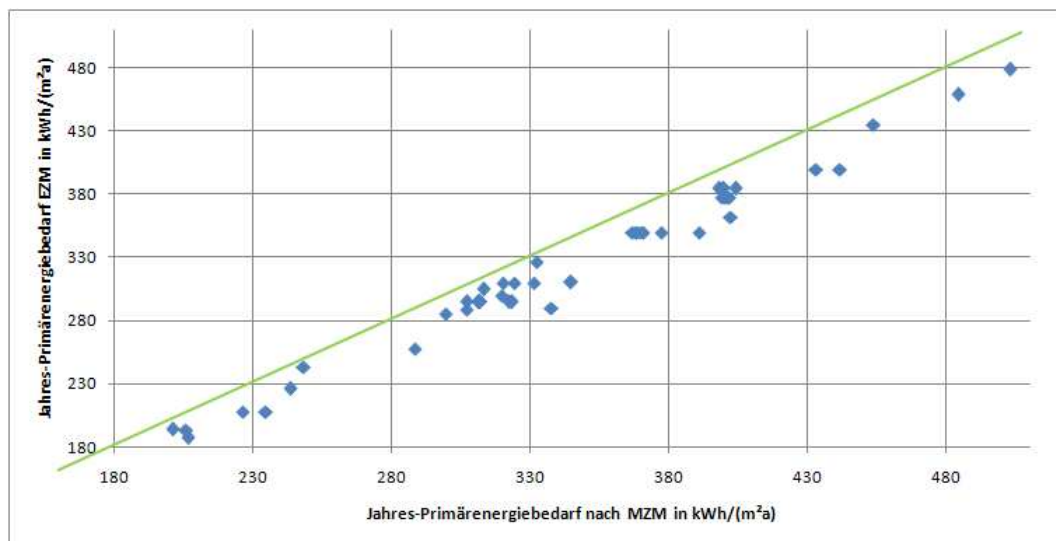


Bild 5.1.1-9 Abweichungen zur Ideallinie (2)

Normalerweise sollte der Jahres-Primärenergiebedarf, der auf Grundlage des EZMs berechnet wurde, identisch sein mit dem Jahres-Primärenergiebedarf der auf Grundlage des MZMs berechnet wurde. Dieser ideale Verlauf ist im Bild 5.1.1-9 als grüne Linie (Ideallinie) dargestellt. Deutlich erkennbar ist, dass der Jahres-Primärenergiebedarf auf Grundlage des EZMs immer von dem auf Grundlage des MZMs ermittelten Werte abweicht. Bei gleichen Werten müssten die Punkte alle auf der Ideallinie liegen. Der Jahres-Primärenergiebedarf auf Grundlage des EZMs, der in der Grafik auf der senkrechten Achse dargestellt ist, liegt immer unterhalb der Ideallinie. Dies lässt den Schluss zu, dass die Ergebnisse auf Grundlage des EZMs immer geringer ausfallen, als die auf Grundlage des MZMs.

Anhand der durchgeführten Berechnungen ergeben sich Abweichungen von der Ideallinie von 1,7% bis 14,1%.

Die EnEV versucht diese Abweichungen und die Tatsache, dass der Jahres-Primärenergiebedarf immer geringer ausfällt als der Jahres-Primärenergiebedarf nach dem MZM, durch einen Aufschlag von 10% auf den Jahres-Primärenergiebedarf nach dem EZM zu kompensieren. Durch eine Kompensation von 10% werden die im Bild 5.1.1-10 dargestellten Ergebnisse erzielt.

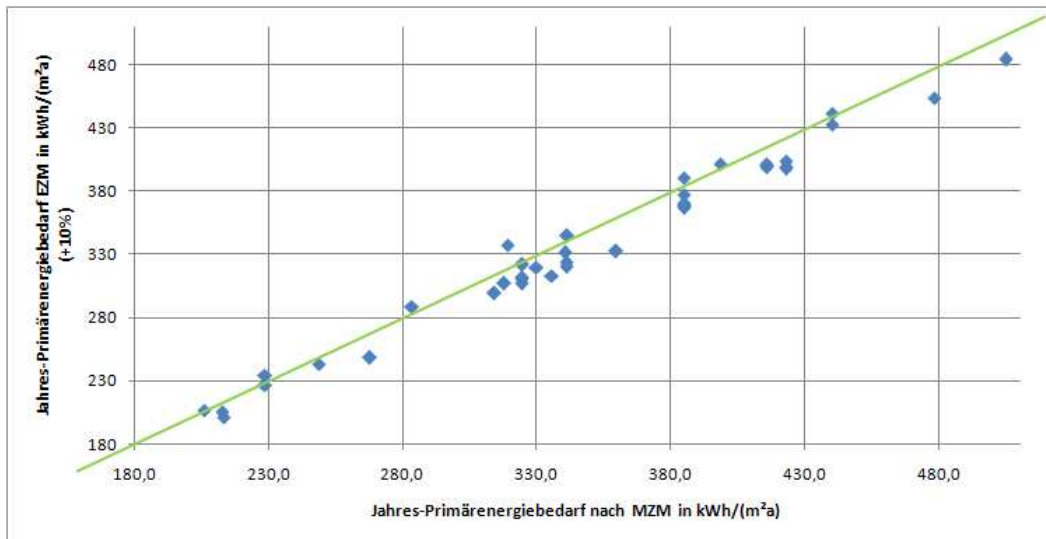


Bild 5.1.1-10 Kompensation von 10% durch EnEV

Die Abweichungen im Bild 5.1.1-10 durch einen 10% Aufschlag auf den Jahres-Primärenergiebedarf nach dem EZM betragen $\pm 0,3$ bis $\pm 8,1$ %. Solche Abweichungen können Einfluss auf die Vergleichbarkeit der Gebäude nehmen. Auch beim Bedarfs- Verbrauchsabgleich sind die Differenzen nicht zu unterschätzen.

Zum einen liegt ein höherer Zeitfaktor bzw. Bearbeitungsaufwand aufgrund der Zonierung beim MZM vor. Dem gegenüber stehen die Differenzen bzw. Abweichungen im Rechenergebnis (Jahres-Primärenergiebedarf). Es gibt viele verschiedene Ursachen für diese Differenzen z.B. durch Fehleranfälligkeiten, die durch die Komplexität der Norm bzw. der Berechnungen hervorgerufen werden oder durch die Bandbreite zulässiger Interpretationen der Norm selbst. Desweiteren kann es aufgrund der Verwendung von Standardwerten anstelle Herstellerangaben bzw. genauen Werten zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen.

Ein weiterer Grund für die Abweichungen liegt in der Verwendung eines verallgemeinerten Nutzungsprofils, welches dem EZM zu Grunde gelegt wird. Dieser Grund wird nachfolgend näher untersucht und bildet die Grundlage der vorliegenden Arbeit.

Bei einem Schulgebäude ergibt sich, bei Anwendung des EZMs durch die Hauptnutzung Klassenzimmer, das Nutzungsprofil Nr. 8 der DIN V 18599-10. Dieses Profil stellt das verallgemeinerte Nutzungsprofil darstellt (Bild 5.1.1-11).

Ein-Zonen-Modell Verallgemeinertes Nutzungsprofil

Klassenzimmer (Schule)		Nr. 8	
Nutzungszeiten			
tägliche Nutzungszeit	Uhr	8:00	15:00
tägliche Nutzungszeit $t_{Nutz,t}$	h/a	200	
tägliche Nutzungszeiten zu Tagzeit $t_{Nutz,t,Tag}$	h/a	1198	
tägliche Nutzungszeiten zu Nachtzeit $t_{Nutz,t,Nacht}$	h/a	2	
tägliche Betriebszeit ELT und Kühlung	Uhr	6:00	18:00
tägliche Betriebszeit für jeweils ELT, Kühlung und Lüftung $t_{Bet,t}$	h/a	200	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	8:00	15:00
Raumkonditionen (unter Konstantierung vorgegeben)			
Raum-Solltemperatur Heizung $t_{Soll,Heiz}$	°C	21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $t_{Soll,Kühl}$	°C	24	
Minimalsolltemperatur Auslegung Heizung $t_{Soll,Heiz,Min}$	°C	20	
Maximalsolltemperatur Auslegung Heizung $t_{Soll,Heiz,Max}$	°C	25	
Temperaturdifferenz reduzierter Bereich Δt_{Red}	K	2	
Energieleistungen			
Mindestanforderungsbaustrassen $V_{A,B}$			
personenzugehen	m ² je Stunde und Person	30	
Betriebsregeln	m ² (h/m ²)	-	
rech. Anforderungsbaustrassen bzw. Luftwechsel (Praxis)			
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	-	
Luftwechsel (siehe Kalkulation über Zahl)	h ⁻¹	-	
Betriebsregeln			
Wartungszeit der Betriebskategorie $E_{W,B}$	h/a	300	
Höhe der Nutzfläche f_{Nutz}	m	0,8	
Mischergebnis β_{M}	-	0,97	
relativer Absorptions C_{A}	-	0,28	
Raumhöhe h	-	2	
Mischergebnis für Gebäudewärme F_{G}	-	0,9	
Personen			
Personen (N) je Person			
	zweig	nahel	fern
	3,8	3	2,8
Personen (N) je Person			
	zweig	nahel	fern
	3	17	20
	3	3	4
	3	4	8
Wärmehöhen je Tag ($t_{p,Tag} = t_{p,Tag}$)			
	Wärmehöhe	93	120
		150	

Mehr-Zonen-Modell

Bild 5.1.1-11 Verallgemeinertes Nutzungsprofil bei Verwendung des EZMs

Stellt man nur mal zwei Nutzungsprofile (Hier beispielsweise Klassenzimmer und Verkehrsfläche) gegenüber, so lassen sich eindeutige Unterschiede in den einzelnen Nutzungswerten feststellen. Im Regelfall liegen nicht nur zwei unterschiedliche Nutzungsprofile vor, sondern in den meisten Fällen sind es mehrere Zonen mit mehreren Nutzungsprofilen [A]. Je nach Anzahl der zu verwendenden Nutzungsprofile, gibt es entsprechend unterschiedliche Nutzungswerte. Die Nutzungswerte haben immer einen gewissen Einfluss auf das Endergebnis.

In Bild 5.1.1-12 und Bild 5.1.1-13 wird anhand eines Beispiels (Nutzungsprofil Klassenzimmer, welches das verallgemeinerte Nutzungsprofil darstellt und das Nutzungsprofil Verkehrsfläche) dargestellt, wie sich so ein verallgemeinertes Nutzungsprofil auf den Jahres-Primärenergiebedarf auswirkt.

Betrachtet man nur mal einen Nutzungswert, beispielsweise die tägliche Nutzungszeit (Bild 5.1.1-12), so ergibt sich für das Klassenzimmer eine tägliche Nutzungszeit von sieben Stunden (von 8.00 Uhr bis 15.00 Uhr) und für die Verkehrsflächen eine Nutzungszeit von elf Stunden (von 7.00 Uhr bis 18.00 Uhr). Somit liegt hier für die tägliche Nutzungszeit eine Differenz von vier Stunden pro Tag vor. Diese 4 Stunden mehr Nutzungszeit an einem Tag, wirken sich auf den Jahres-Primärenergiebedarf aus. Welche Folgen dies hat wird in der Tabelle 5.1.1-1 dargestellt.

Klassenzimmer (Schule) Nr. 8			Verkehrsfläche Flur Nr. 19		
Nutzungszeiten			Nutzungszeiten		
tägliche Nutzungszeit	Uhr	8:00 bis 15:00	tägliche Nutzungszeit	Uhr	7:00 bis 18:00
jährliche Nutzungstage $d_{Nutz,a}$	d/a	200	jährliche Nutzungstage $d_{Nutz,a}$	d/a	250
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	1398	jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	2	jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207
jährliche Betriebszeit für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a	200	jährliche Betriebszeit für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a	250
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	6:00 bis 15:00	tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	6:00 bis 18:00
Raumkonditionen (Innenkonditionierung (Vorgabe))			Raumkonditionen (Innenkonditionierung (Vorgabe))		
Raum-Solltemperatur Heizung $t_{s,heiz}$	°C	21	Raum-Solltemperatur Heizung $t_{s,heiz}$	°C	21
Raum-Solltemperatur Kühlung $t_{s,kühl}$	°C	24	Raum-Solltemperatur Kühlung $t_{s,kühl}$	°C	24
Maximalsolltemperatur Anlageng Heizung $t_{s,max}$	°C	20	Maximalsolltemperatur Anlageng Heizung $t_{s,max}$	°C	20
Maximalsolltemperatur Anlageng Kühlung $t_{s,max}$	°C	26	Maximalsolltemperatur Anlageng Kühlung $t_{s,max}$	°C	26
Temperaturänderung reduzierter Bereich Δt_{red}	K	4	Temperaturänderung reduzierter Bereich Δt_{red}	K	4
Temperaturänderung	mit T-Zonen	-	Temperaturänderung	mit T-Zonen	-
Mindestluftvolumenstrom V_A			Mindestluftvolumenstrom V_A		
personendepende	m ³ je Stunde und Person	30	personendepende	m ³ je Stunde und Person	-
Bachendepende	m ³ (l/s/m ²)	-	Bachendepende	m ³ (l/s/m ²)	0
rech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			rech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)		
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	-	Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	-
Luftwechsel (oder Külfaktor über Zufuß)	h ⁻¹	-	Luftwechsel (oder Külfaktor über Zufuß)	h ⁻¹	-
Belastung			Belastung		
Wartungswert der Belastungspotentiale E_{in}	h	300	Wartungswert der Belastungspotentiale E_{in}	h	100
Höhe der Nutzfläche h_{Nutz}	m	0,8	Höhe der Nutzfläche h_{Nutz}	m	0
Nachfragefaktor β_A	-	0,97	Nachfragefaktor β_A	-	1
relativer Aktivwert C_A	-	0,29	relativer Aktivwert C_A	-	0,8
Personen k	-	2	Personen k	-	0,8
Nachfragefaktor Gebäudeflächenanteil F_A	-	0,9	Nachfragefaktor Gebäudeflächenanteil F_A	-	1
Personenbelegung			Personenbelegung		
maximale Belegungsfaktoren	m ² je Person	gering mittel hoch	maximale Belegungsfaktoren	m ² je Person	gering mittel hoch
Sinnvolle Wertungspunkte		3,5 3 2,5	Sinnvolle Wertungspunkte		- - -
Personen (70 % je Person)			Personen (70 % je Person)		
Arbeitsplätze	W/(m ² ·d)	9 17 20 24	Arbeitsplätze	W/(m ² ·d)	- - -
Wärmefuß je Tag ($Q_{1,2} = Q_{1,2,a}$)	W/(m ² ·d)	99 120 150	Wärmefuß je Tag ($Q_{1,2} = Q_{1,2,a}$)	W/(m ² ·d)	0 0 0

Nutzungszeiten	Klassenzimmer Nr. 8		Verkehrsflächenfläche Nr. 19		
	von	bis	von	bis	
tägliche Nutzungszeit	Uhr	8:00	15:00	7:00	18:00
jährliche Nutzungstage $d_{Nutz,a}$	d/a	200	250		
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	1398	2543		
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207	207		
jährliche Betriebsstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a	200	250		
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	6:00	15:00	5:00	18:00

Bild 5.1.1-12: Differenzen in den Nutzungsprofilen bezüglich der täglichen Nutzungszeit

Nachfolgend sind nur beispielhaft 7 der 45 Schulgebäude für die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs dargestellt. Grundlage ist jeweils das EZM. Bei den ausgewählten Schulgebäuden ergibt sich somit das Nutzungsprofil Klassenzimmer. Mit diesem Nutzungsprofil werden die Berechnungen durchgeführt. Für das Nutzungsprofil Klassenzimmer ist eine tägliche Nutzungszeit von 8.00 bis 15.00 Uhr festgesetzt. Um die Auswirkungen von unterschiedlichen Nutzungszeiten im Ergebnis darzustellen, wird die Nutzungszeit auf 7:00 bis 18:00 Uhr für die zweite Berechnung angepasst.

Tabelle 5.1.1-1: Jahres-Primärenergiebedarf bei unterschiedlichen Nutzungszeiten in kWh/(m²a)

Jahres-Primärenergiebedarf bei einer tägliche Nutzungszeit von 8.00 bis 15.00 Uhr	Jahres-Primärenergiebedarf bei einer tägliche Nutzungszeit von 7.00 bis 18.00 Uhr
479,0	512,7
310,0	343,5
434,9	468,0
243,4	275,8
299,8	322,6
362,1	394,2
207,7	239,4

Ein Ansteigen des Jahres-Primärenergiebedarfs durch die veränderte tägliche Nutzungszeit ist klar zu erkennen. Es ergeben sich Erhöhungen des Jahres-Primärenergiebedarfs von 7 % bis 15 %.

Vergleicht man die beiden Nutzungsprofile bezüglich des Nutzungswertes „relative Abwesenheit“ (Bild 5.1.1-13), ergibt sich für das Klassenzimmer eine relative Abwesenheit von 0,25 und für die Verkehrsfläche 0,8. Unter der relativen Abwesenheit ist der Anteil der Nutzungszeit zu verstehen, zu der sich keine Person im Berechnungsbereich aufhält. Hierbei bedeutet eine relative Abwesenheit von 0 einen permanenten Aufenthalt und eine relative Abwesenheit von 1 keinen Aufenthalt [17].

Klassenzimmer (Schule)		Nr. 8	
Nutzungszeiten			
täglich Nutzungszeit	Uhr	0:00	15:00
jährliche Nutzungszeit t_{Nutz}	da	200	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	1198	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	2	
täglich Betriebszeit RL.T und Kühlung	Uhr	6:00	15:00
jährliche Betriebszeit für jeweils RL.T, Kühlung und Heizung t_{op}	da	200	
täglich Betriebszeit Heizung	Uhr	6:00	15:00
Raumkonditionen (außer Konditionierung vorgegeben)			
Raum-Solltemperatur Heizung $t_{s,heiz}$	°C	21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $t_{s,kühl}$	°C	24	
Minimalsolltemperatur Auslegung Heizung $t_{s,min}$	°C	20	
Maximalsolltemperatur Auslegung Heizung $t_{s,max}$	°C	26	
Temperaturabweichung reduzierter Betrieb DU_{red}	K	8	
Fruchtanforderung	-	mit Teilertrag	
Mindestluftvolumenstrom V_A			
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	30	
flächenbezogen	m ³ /(h·m ²)	-	
mech. Aufsaugluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	-	
Luftwechsel (auf Basis von Daten über Zuluft)	h ⁻¹	-	
Beleuchtung			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	300	
Höhe der Nutzebene h_{Nutz}	m	0,8	
Minderungsfaktor k_A	-	0,97	
relative Abwesenheit C_A	-	0,25	
Raumindex k	-	2	
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_t	-	0,9	
Personenbelegung			
maximale Belegungsstärke	m ² je Person	mittel	hoch
		3,5	2,5
interne Wärmequellen			
		Vollestrahlungsleistung (W/m ²)	
		min	hoch
Personen (70 W je Person)		8	17
Arbeitsflächen		5	2
Wärmeabgabe je Tag ($Q_{p,24} = t_{Nutz}$)	Wh/(m ² ·d)	95	120

Verkehrsfläche Flur		Nr. 19	
Nutzungszeiten			
täglich Nutzungszeit	Uhr	7:00	18:00
jährliche Nutzungszeit t_{Nutz}	da	250	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207	
täglich Betriebszeit RL.T und Kühlung	Uhr	8:00	18:00
jährliche Betriebszeit für jeweils RL.T, Kühlung und Heizung t_{op}	da	250	
täglich Betriebszeit Heizung	Uhr	5:00	18:00
Raumkonditionen (außer Konditionierung vorgegeben)			
Raum-Solltemperatur Heizung $t_{s,heiz}$	°C	21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $t_{s,kühl}$	°C	24	
Minimalsolltemperatur Auslegung Heizung $t_{s,min}$	°C	20	
Maximalsolltemperatur Auslegung Heizung $t_{s,max}$	°C	26	
Temperaturabweichung reduzierter Betrieb DU_{red}	K	8	
Fruchtanforderung	-	keine	
Mindestluftvolumenstrom V_A			
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	-	
flächenbezogen	m ³ /(h·m ²)	0	
mech. Aufsaugluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	-	
Luftwechsel (auf Basis von Daten über Zuluft)	h ⁻¹	-	
Beleuchtung			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	100	
Höhe der Nutzebene h_{Nutz}	m	0	
Minderungsfaktor k_A	-	1	
relative Abwesenheit C_A	-	0,8	
Raumindex k	-	0,8	
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_t	-	1	
Personenbelegung			
maximale Belegungsstärke	m ² je Person	mittel	hoch
		-	-
interne Wärmequellen			
		Vollestrahlungsleistung (W/m ²)	
		min	hoch
Personen (70 W je Person)		-	-
Arbeitsflächen		-	-
Wärmeabgabe je Tag ($Q_{p,24} = t_{Nutz}$)	Wh/(m ² ·d)	0	0

		Klassenzimmer Nr. 8	Verkehrsflächenfläche Nr. 19
Beleuchtung			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	300	100
Höhe der Nutzebene h_{Nutz}	m	0,8	0
Minderungsfaktor k_A	-	0,97	1
relative Abwesenheit C_A	-	0,25	0,8
Raumindex k	-	2	0,8
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_t	-	0,9	1

Bild 5.1.1-13: Differenzen in den Nutzungsprofilen bezüglich der relativen Abwesenheit

In Tabelle 5.1.1-2 ist ein Vergleich zwischen dem Nutzungsprofil Klassenzimmer und dem Nutzungsprofil Verkehrsfläche dargestellt. Hier wird der Wert, der sich aus dem jeweiligen Jahres-Primärenergiebedarf im Verhältnis zur veränderten relativen Abwesenheit ergibt, dargestellt.

Tabelle 5.1.1-2: Jahres-Primärenergiebedarf bei unterschiedlichen relativen Abwesenheiten in kWh/(m²a)

Jahres-Primärenergiebedarf bei einer relativen Abwesenheit von 0,25	Jahres-Primärenergiebedarf bei einer relativen Abwesenheit von 0,8
479,0	471,5
310,0	303,6
434,9	428,6
243,4	237,6
299,8	293,4
362,1	356,8
207,7	202,5

Aus der Tabelle 5.1.1-2 ist ein Abfall des Jahres-Primärenergiebedarfs aufgrund der sinkenden relativen Abwesenheit vom Klassenzimmer zur Verkehrsfläche erkennbar. Durch die unterschiedlich auftretenden relativen Abwesenheiten ergeben sich im Durchschnitt Abweichungen bezüglich des Jahres-Primärenergiebedarfs von 1,4% bis 2,5%.

Problem: Ein Nutzungsprofil besteht nicht nur aus einem Nutzungswert!

Hier besteht dringender Handlungsbedarf. Es gilt diese Differenzen in den unterschiedlichen Ergebnissen beim Zugrundelegen eines MZMs oder EZMs zu verringern oder ganz zu beheben. Es sollte ein Berechnungsansatz erarbeitet werden der im günstigsten Fall eine Zeitersparnis mit sich bringt und gleichzeitig einen Wert für den Jahres-Primärenergiebedarf aufweist, der identisch mit dem berechneten Jahres-Primärenergiebedarf des MZMs ist oder eine Annäherung an diesen darstellt.

Damit lässt sich das Ziel der Arbeit wie folgt definieren:

- den Zeitaufwand gegenüber dem MZM zu reduzieren und ein
- genaueres Ergebnis in Hinsicht zum EZM zu erzielen.

5.2 Lösungsansätze

Auf Grundlage der zuvor dargestellten Probleme und des festgesetzten Zieles wurden 3 mögliche Lösungsansätze von mir erarbeitet. Eine Übersicht über die drei möglichen Lösungsansätze zeigt Tabelle 5.2-1.

Tabelle 5.2-1: Erarbeitete Lösungsansätze

Ziel	Vorgehensweise	Ergebnis
Verbesserung Ergebnis EZM	Ermittlung eines Faktors f über den arithmetischen Mittelwert	Angenäherter Jahres-Primärenergiebedarf zum MZM
Verbesserung Ergebnis EZM	Ermittlung eines Faktors δ mit Hilfe einer Geraden	Angenäherter Jahres-Primärenergiebedarf zum MZM
Vereinfachte Berechnung im Vergleich zum MZM + Verbesserte Berechnungen im Vergleich zum EZM	Ermittlung gewichteter Nutzungswerte	Verbessertes-Ein-Zonen-Modell (VEZM)

Der erste Lösungsansatz (in der Tabelle 5.2-1 blau hinterlegt) hat zum Ziel, ein verbessertes Ergebnis in Bezug zum EZM zu erreichen. Mit Hilfe eines ermittelten Faktors, der nachfolgend mit Faktor f bezeichnet wird, wurde ein angenäherter Jahres-Primärenergiebedarf zum MZM erreicht.

Der zweite Lösungsansatz (in der Tabelle grün hinterlegt) hat das gleiche Ziel wie Lösungsansatz 1. Mit der Ermittlung eines Faktors δ , der mit Hilfe einer Geraden ermittelt wird, wird ebenfalls ein angenäherter Jahres-Primärenergiebedarf zum MZM erreicht.

Der dritte Lösungsansatz (in der Tabelle rötlich hinterlegt), der den Schwerpunkt dieser Arbeit bildet, hat das Ziel die Berechnungen des Jahres-Primärenergiebedarfs in Bezug zum MZM vereinfacht zu berechnen und die Ergebnisse hinsichtlich des EZMs zu verbessern. Mit Hilfe gewichteter Faktoren in einem Verbesserten-Ein-Zonen-Modell (VEZM) wird das Ziel erreicht.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die drei Lösungsansätze näher erläutert, beschrieben und bewertet.

5.2.1 Zusatzbereich für die Bewertung

Zur weiteren Differenzierung und Beurteilung wurde ein zusätzlicher Bereich festgelegt. Der Bereich wurde wie folgt definiert: Alle Ergebnisse (Jahres-Primärenergiebedarf) die in einem Bereich $< 3\%$ liegen, befinden sich in einem Toleranzbereich und entsprechend die sich in einem Bereich $\geq 3\%$ befinden liegen außerhalb des Toleranzbereiches (Bild 5.2.1-1). Mit Hilfe dieses zusätzlich festgelegten Bereiches ist es Möglich zu beurteilen, in wieweit sich wie viele Ergebniss in der Nähe der Ideallinie befinden – also ein angepasstes Ergebnis darstellen.

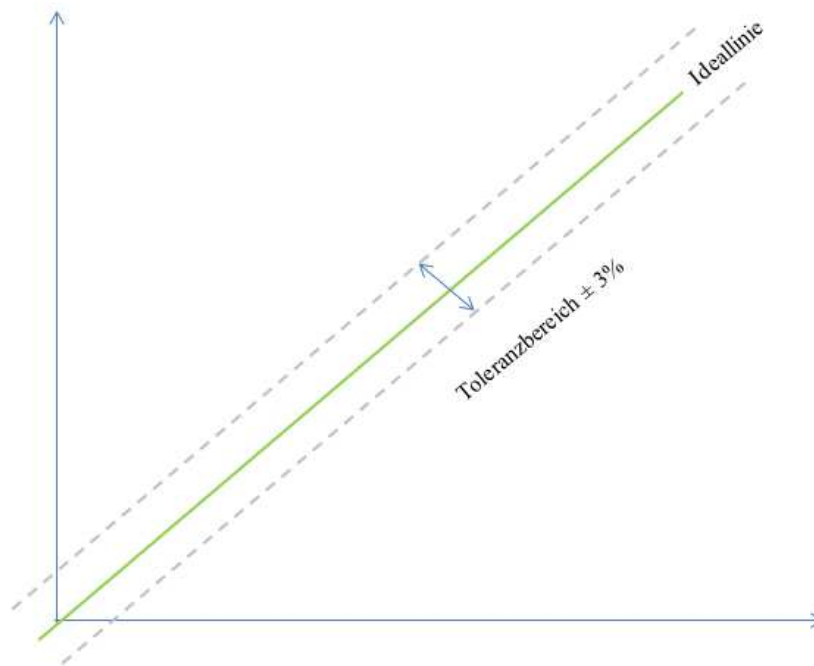


Bild 5.2.1-1: Festlegung Toleranzbereich von 3%

5.3 Lösungsansatz Faktor f

Die Ausgangssituation für diesen Lösungsansatz bildet der Zustand nach EnEV ohne einen 10% Aufschlag auf den Jahres-Primärenergiebedarf nach dem EZM (Bild 5.3-1).

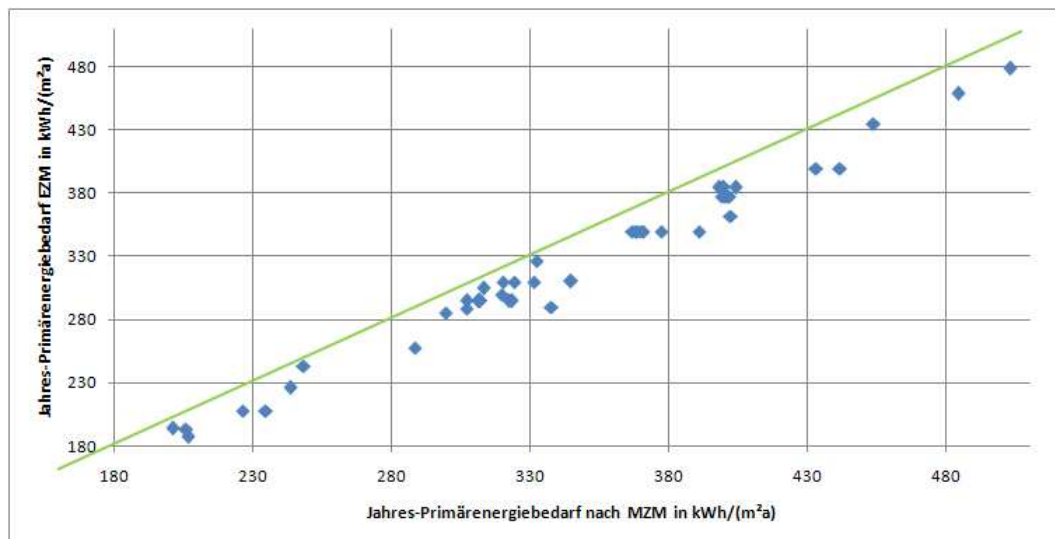


Bild 5.3-1: Jahres-Primärenergiebedarf nach dem EZM ohne Aufschlag

Für die dargestellte Situation ergeben sich Abweichungen von der Ideallinie von bis zu 14,1 %. Es liegen nur 6,7% in dem festgelegten Toleranzbereich (< 3%) und damit 93,3% außerhalb des Toleranzbereiches ($\geq 3\%$). Zudem kommt hinzu, dass das Ergebnis nach dem EZM immer geringer ausfällt als der Jahres-Primärenergiebedarf nach dem MZM. Das Ziel liegt hier darin, dass das Ergebnis nach dem EZM im Verhältnis zum MZM verbessert wird. Der Jahres-Primärenergiebedarf soll sich dem des MZMs annähern und zwar mehr als durch den Aufschlag von 10%, wie es die EnEV bei Verwendung des EZMs vorsieht.

Daraus ergibt sich folgende Gleichung bei diesem Lösungsansatz:

$$EZM \times f \approx MZM \quad (5)$$

Damit ergibt sich der Faktor f aus dem Verhältnis des Ergebnisses des MZMs zum EZM. Umgesetzt wird die Ermittlung des Faktors f über den arithmetischen Mittelwert.

Der arithmetische Mittelwert [28] ergibt sich wie folgt:

$$X = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N} \quad (6)$$

Darin beutete:

- X_i das Verhältnis des Jahres-Primärenergiebedarfs vom MZM zum EZM für das jeweilige Schulgebäude (insgesamt 45 Stück)
- N Anzahl der Schulgebäude (45 Stück)

Damit ergibt sich auf Grundlage der 45 Schulgebäude ein arithmetischer Mittelwert von 1,069, wobei dieser den Faktor f darstellt. Dieser Faktor f wird anschließend mit dem Jahres-Primärenergiebedarf nach dem EZM multipliziert.

In Bild 5.3-2 ist, dass daraus resultierende Ergebnis für die 45 Schulgebäude dargestellt.

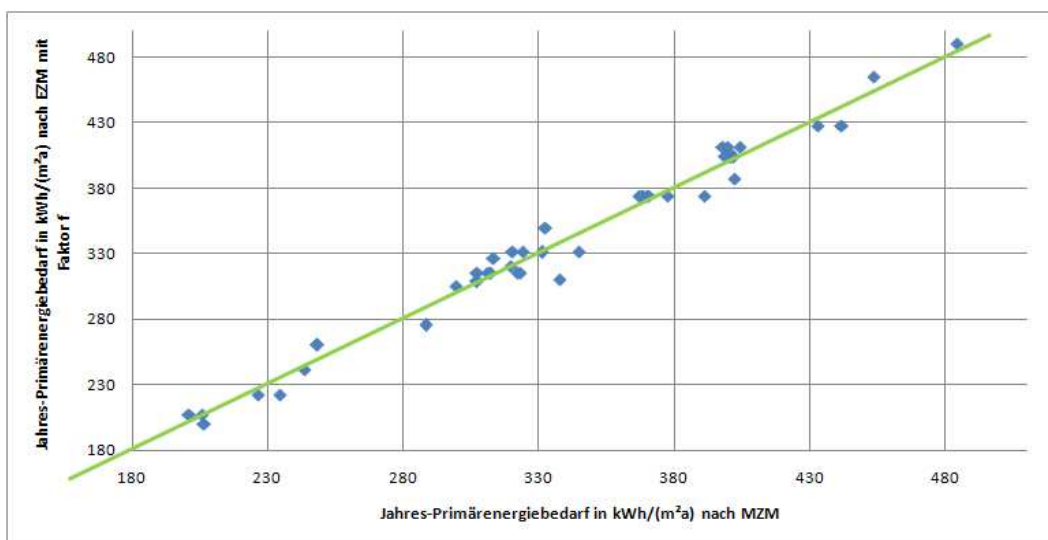


Bild 5.3-2: Jahres-Primärenergiebedarf durch den Einsatz des Faktors f

Aus der Grafik im Bild 5.3-2 kann eine Annäherung der Ergebnisse an die Ideallinie abgeleitet werden. Es ergeben sich, durch den Einsatz des Faktors f , Abweichungen von $\pm 0,1$ bis $\pm 8,1$ 5 von der Ideallinie. Es liegen in diesem Fall 66,7% im festgelegten Toleranzbereich und nur noch 33,3% außerhalb des Toleranzbereichs.

5.4 Lösungsansatz Faktor δ

Wie auch bei Lösungsansatz Faktor f , liegt hier die Ausgangssituation nach EnEV ohne den Aufschlag von 10% vor (Bild 5.4-1).

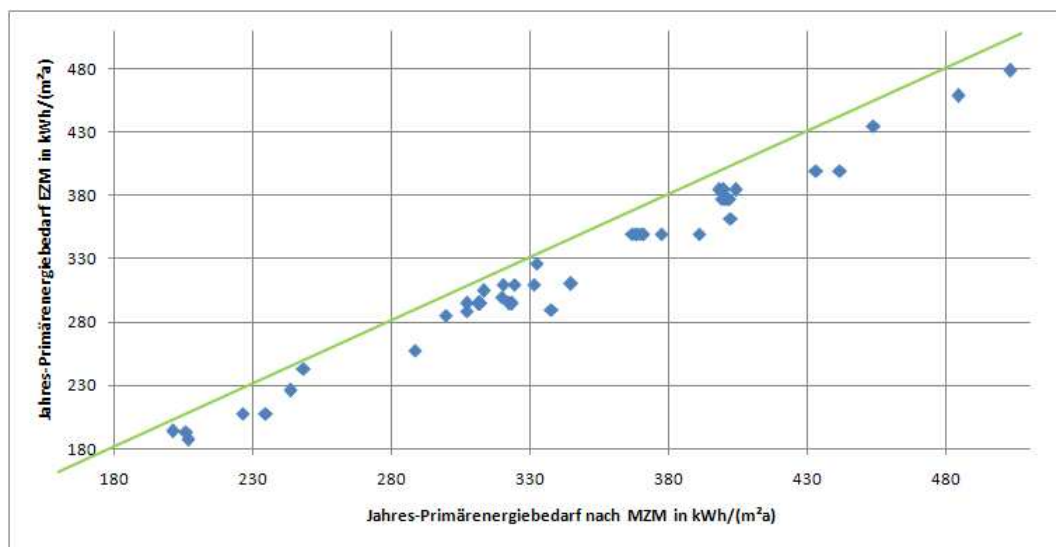


Bild 5.4-1: Jahres-Primärenergiebedarf der Ausgangssituation ohne einen Aufschlag von 10%

Bei der Ausgangssituation liegen Abweichungen von 1,7% bis 14,1% vor, wobei nur 6,7% im Toleranzbereich liegen.

Auf der horizontalen Achse ist der Jahres-Primärenergiebedarf nach dem MZM und auf der vertikalen Achse der nach dem EZM dargestellt. Um den Zusammenhang zwischen den x- und den y-Werten zu bekommen, also der Streuung der Punkte, wird eine lineare Funktion angesetzt, die diesen Zusammenhang optimal beschreiben kann. Mit Hilfe einer Regressionsgeraden wird die Gleichung ermittelt bei der die Summe der Abweichungen der Geraden vom Jahres-Primärenergiebedarf der einzelnen Gebäude minimal wird (Bild 5.4-2).

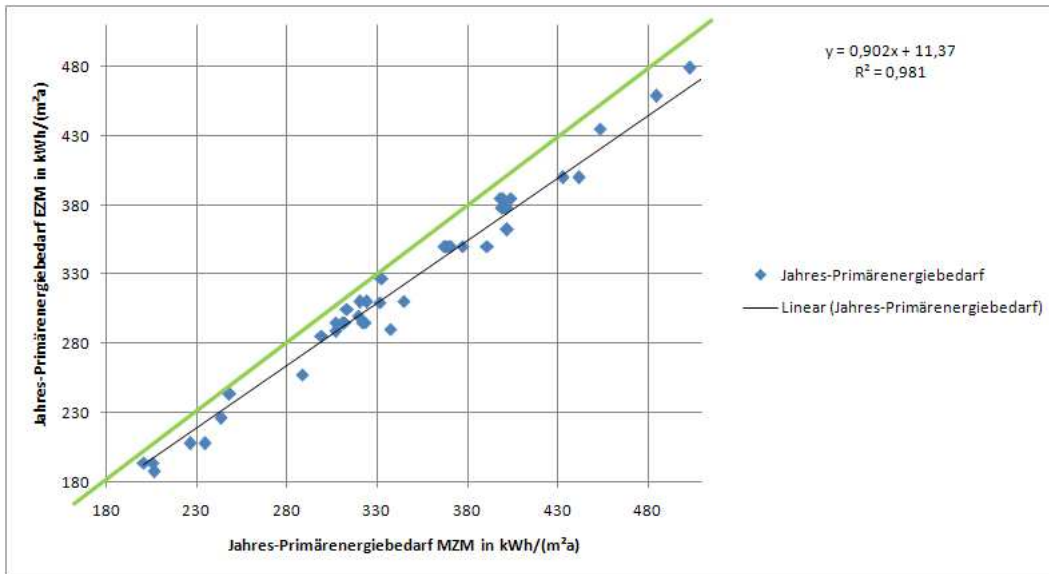


Bild 5.4-2: Regressionsgerade und Ideallinie für die Ausgangssituation ohne Aufschlag

Die Gleichung der Geraden, um der sich die Punkte Streuen, wurde festgelegt mit [D]:

$$y = 0,902 x + 11,37 \quad (5)$$

Die Verlässlichkeit einer solchen Geraden lässt sich mit Hilfe des Bestimmtheitsmaßes dargestellt. Das Bestimmtheitsmaß ist eine Zahl zwischen 0 und 1, wobei die Zahl 0 kein Zusammenhang und die Zahl 1 perfekter Zusammenhalt darstellt. Für die in Bild 5.4-2 dargestellte Situation ergibt sich das Bestimmtheitsmaß R^2 zu 0,981 [D]. Somit liegt ein annähernd perfekter Zusammenhang der Geraden zu der Streuung der Punkte vor.

In einem nächsten Schritt, mit Hilfe der Gleichung (7), werden mehrere verschiedenen Punkte auf der Geraden und damit der Abstand dieser Punkte zu der Ideallinie bestimmt (Bild 5.4-3).

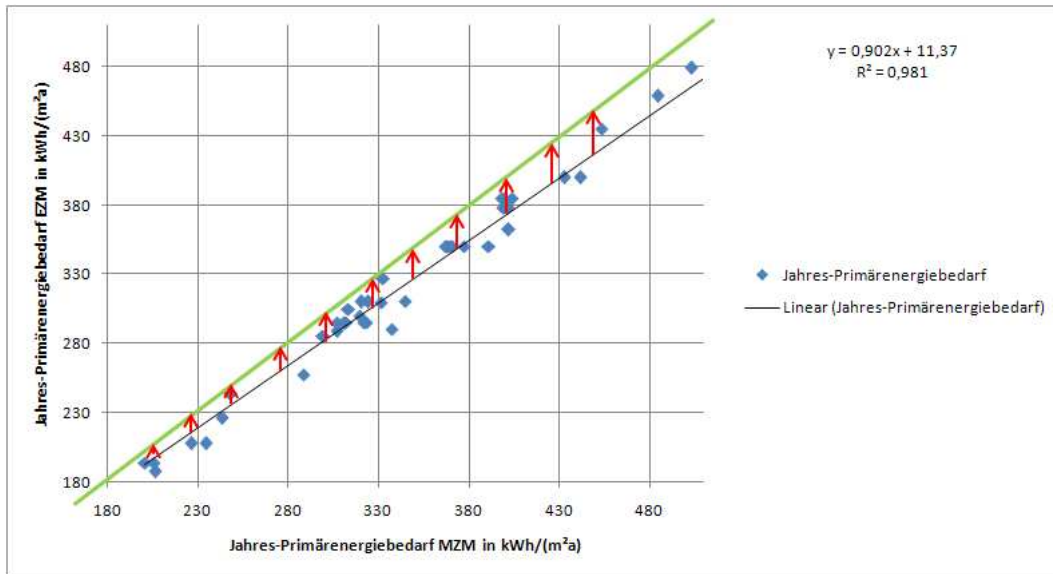


Bild 5.4-3: Abstand Regressionsgerade zur Ideallinie

Mit Hilfe der sich ergebenden Abstände von der Regressionsgeraden und der Ideallinie wird ein Diagramm zur Ableitung des Faktors δ erstellt. In diesem Auswertungendiagramm (Bild 5.4-4) kann man mit Hilfe des ermittelten Jahres-Primärenergiebedarfs nach dem EZM, der sich für diese Situation ergebenen Faktor δ ablesen.

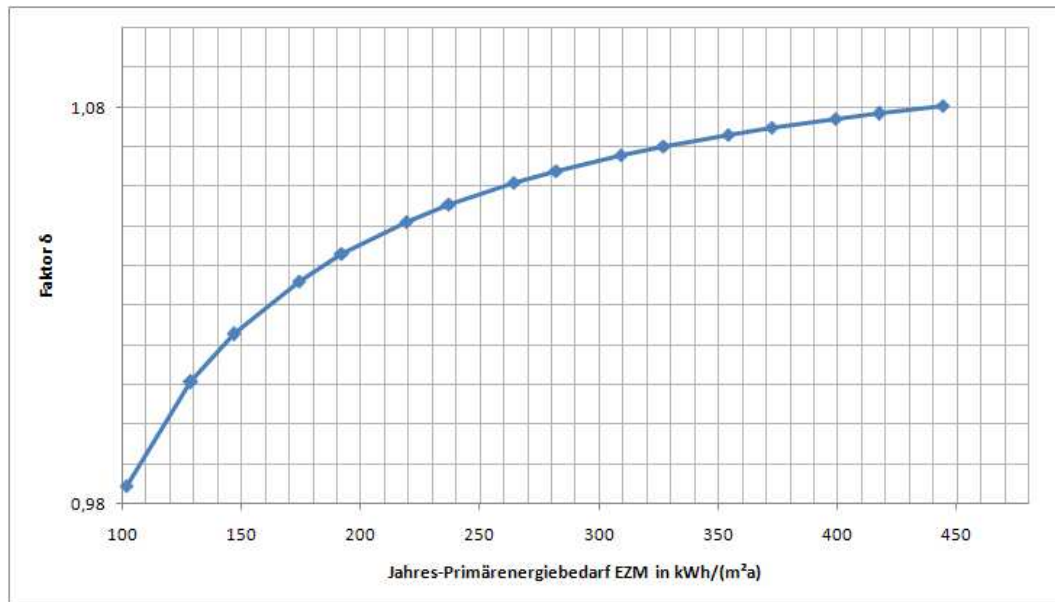


Bild 5.4-4: Auswertungendiagramm für den Faktor δ

Dieses Diagramm ist nur anzuwenden im Bereich von 128,8 kWh/(m²a) und 444,3 kWh/m²a). Hier gilt es, die anderen Bereiche noch näher zu untersuchen.

Mit Hilfe eines ermittelten Jahres-Primärenergiebedarfs nach dem EZM, beispielsweise $220 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ geht man in das Diagramm hinein, wobei der Jahres-Primärenergiebedarf nach dem EZM auf der horizontalen Achse anzufinden ist. Damit kann der Faktor δ , der sich auf der vertikalen Achse befindet, für diesen Jahres-Primärenergiebedarf abgelesen werden (Bild 5.4-5). Für $220 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ beträgt der Faktor δ 1,05.

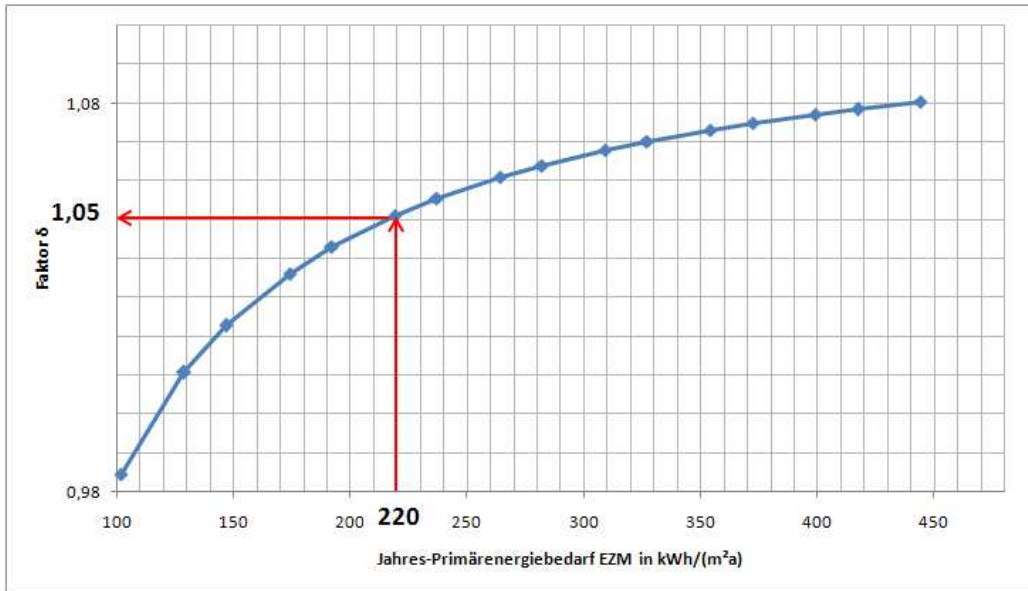


Bild 5.4-5: Beispiel Auswertungsdiagramm für den Faktor δ

Der jeweils abgelesene Faktor δ wird dann mit dem jeweils errechneten Jahres-Primärenergiebedarf multipliziert, wodurch sich die im Bild 5.4-6 dargestellten Ergebnisse für die 45 Schulgebäude ergeben.

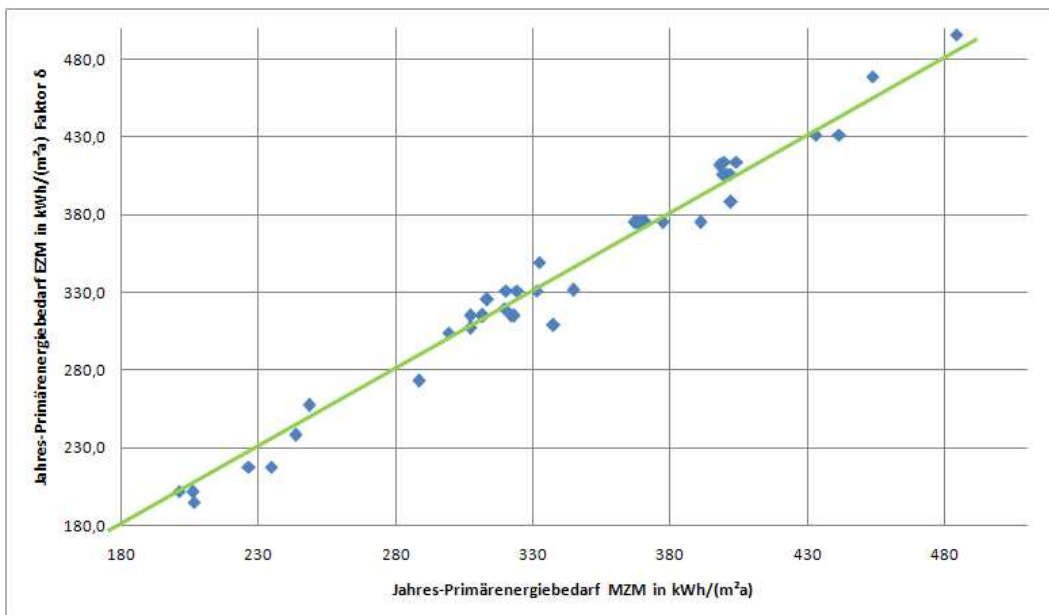


Bild 5.4-6: Beispiel Auswertungsdiagramm für den Faktor δ

Mit Anwendung des Faktor δ lässt sich ein angenäherter Jahres-Primärenergiebedarf an die Ideallinie erkennen. Es ergeben sich Abweichungen von 0,0% bis $\pm 8,5\%$. Es liegen 65% im Toleranzbereich und damit 35% außerhalb des Toleranzbereiches.

5.5 Lösungsansatz Verbessertes-Ein-Zonen-Modell (VEZM)

Der Grundgedanke des verbesserten Ansatzes beruht darauf genauere Ergebnisse gegenüber dem EZM zu erzielen und den Aufwand (Datenermittlung, Programm-eingabe) gegenüber dem MZM zu verbessern.

Aus diesem Grundgedanken heraus wurde das nachfolgend beschriebene Modell entwickelt. Das Modell trägt den Namen Verbessertes-Ein-Zonen-Modell (VEZM). Beim VEZM werden Werte, die sonst vereinfacht ermittelt werden (vorherrschende Zone), durch einen berechneten verbesserten Wert ersetzt. Mit diesen veränderten und verbesserten Werten, die sich auf Grundlage des MZMs beruhen, werden die Berechnungen auf der Berechnungsgrundlage des EZMs durchgeführt.

Der von mir festgelegte Grund für die Abweichungen im Rechenergebnis liegt in der Verwendung eines verallgemeinerten Nutzungsprofils. Daher bildet die Grundlage für das VEZM das Nutzungsprofil bzw. die einzelnen Nutzungswerte.

Die differierenden Werte bei den Ergebnissen eines MZMs und EZMs liegen, wie bereits festgestellt, in der Festlegung der Zonen. Als Nutzungsprofil wird im Beispiel ein Klassenzimmer als Berechnungsgrundlage für das EZM genutzt. Die vorherrschende Zone in einer Schule ist, wie bereits erläutert, das Klassenzimmer. Dies entspricht aber nicht den Daten mit denen in einem MZM gerechnet würde. Die Nutzungsbedingungen eines Klassenzimmers unterscheiden sich, stellenweise stark, von den einzeln ermittelten Nutzungsbedingungen im MZM. Die unterschiedlichen Werte sind der Grund für die Berechnungsdifferenzen in den Endergebnissen in dieser Arbeit.

Die Ausgangssituation bildet auch hier der Zustand nach EnEV ohne einen Aufschlag von 10% (Bild 5.5-1).

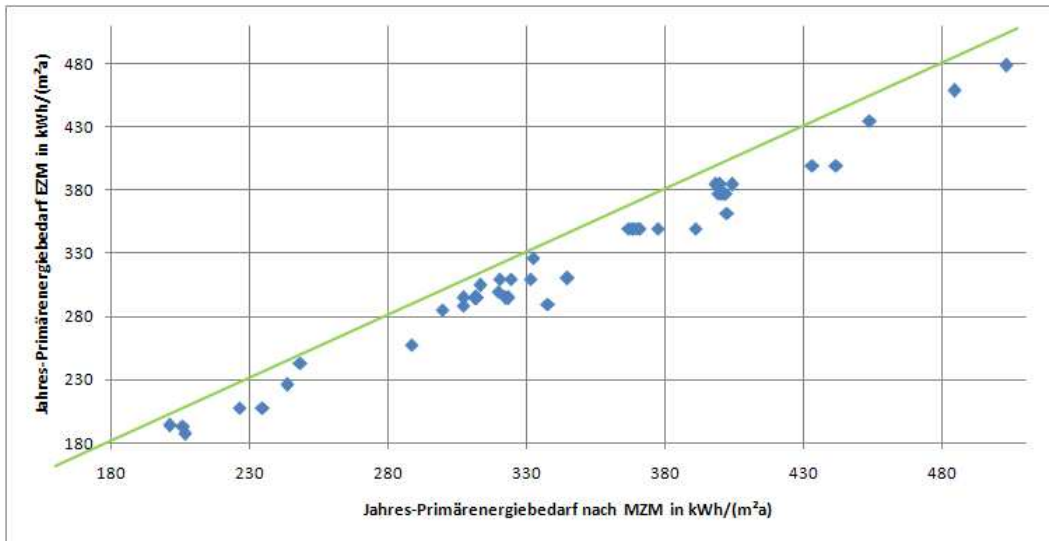


Bild 5.5-1: Ausgangssituation nach EnEV ohne Aufschlag

5.5.1 Prinzip und Vorgehensweise

In diesem Abschnitt soll zunächst das Prinzip des VEZMs dargestellt und danach die Vorgehensweise erläutert werden.

Das VEZM spiegelt sowohl das EZM als auch das MZM wieder. Die Faktoren Zeitaufwand und Berechnungsungenauigkeiten stehen bei der Verbesserung im Vordergrund.

Prinzip des VEZMs

Mit Hilfe der Grafik in Bild 5.5.1-1 soll das Prinzip des VEZMs anhand eines freigewählten Nutzungswertes und zwar der Wartungswert der Beleuchtungsstärke aufgezeigt werden.

Klassenzimmer 1 300 lx	Technik 100 lx	Klassenzimmer 2 300 lx	WC 1 100 lx	WC 2 100 lx	Küche 300 lx
Büro 500 lx	Flur 100 lx				
Klassenzimmer 3 300 lx	Klassenzimmer 4 300 lx	Klassenzimmer 5 300 lx	Besprechungszimmer 500 lx	Lager 100 lx	

MZM

WC 1 - 100 lx
 WC 2 - 100 lx
 Technik - 100 lx
 Lager - 100 lx
 Küche - 300 lx
 Klassenzimmer 1 - 300 lx
 Klassenzimmer 2 - 300 lx
 Klassenzimmer 3 - 300 lx
 Klassenzimmer 4 - 300 lx
 Klassenzimmer 5 - 300 lx
 Büro - 500 lx
 Besprechungszimmer - 500 lx

300 lx	100 lx	300 lx	100 lx	100 lx	300 lx
Klassenzimmer 381 lx	Technik 381 lx	Klassenzimmer 381 lx	WC 381 lx	WC 381 lx	Küche 381 lx
500 lx	100 lx				
Büro 381 lx	Flur 381 lx				
300 lx	300 lx	300 lx	500 lx	100 lx	
Klassenzimmer 381 lx	Klassenzimmer 381 lx	Klassenzimmer 381 lx	Besprechungszimmer 381 lx	Lager 381 lx	

VEZM

100 lx
 100 lx
 100 lx
 100 lx
 300 lx
 300 lx
 300 lx
 300 lx
 300 lx
 300 lx
 300 lx
 500 lx
 500 lx

≡ 381 lx

Klassenzimmer 300 lx

EZM

Klassenzimmer - 300 lx

Bild 5.5.1-1: Prinzip des VEZMs anhand eines Nutzungswertes

Bei Anwendung des MZMs wird das gesamt betrachtete Schulgebäude in entsprechenden Zonen unterteilt (Bild 5.5.1-1 Darstellung oben), wobei jede Zonen einen bestimmten Nutzungswert für die Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit seiner Nutzung aufweist. Also z.B. das Klassenzimmer 300 lx, der Flur 100 lx und das Büro 500 lx. Beim Anwendung des EZMs (Bild 5.5.1-1 Darstellung unten) erhält das gesamt betrachtete Schulgebäude, aufgrund der Nutzung Klassenzimmer, einen Nutzungswert für die Beleuchtungsstärke von 300 lx für das gesamt betrachtete Schulgebäude. Bei Anwendung des VEZMs (Bild 5.5.1-1 Darstellung in der Mitte) erfolgt auch eine Einteilung in Zonen, wobei sich hier jedoch nicht für jede Zone ein Nutzungswert ergibt, sondern es wird ein „neu“ ermittelter Nutzungswert für das gesamte Gebäude angesetzt, hier beispielsweise 381 lx. Dieser Nutzungswert wird gewichtet, in Abhängigkeit der Nettogrundfläche der jeweiligen Zone zu der Gesamtnettogrundfläche, ermittelt.

Vorgehensweise des VEZMs

Bei Berechnungen des Jahres-Primärenergiebedarfs für ein Nichtwohngebäude bildet die Nettogrundfläche (A_{NGF}) die Energiebezugsfläche. Die Energiebezugsfläche für Nichtwohngebäude, gemäß DIN 277, wird aus den Nettogrundflächen aller Geschosse errechnet. Für das VEZM wurde auch die Nettogrundfläche als Basisgröße eingesetzt. Hierbei entsteht, durch identisch verwendete Bezugsgrößen, kein Mehraufwand bei den Berechnungen, da diese bei Nichtwohngebäuden auf jedem Fall Anwendung finden.

Die Vorgehensweise bei Anwendung des VEZMs wird nachfolgend näher erläutert. Im Bild 5.5.1-2 ist eine Übersicht der Vorgehensweise dargestellt.

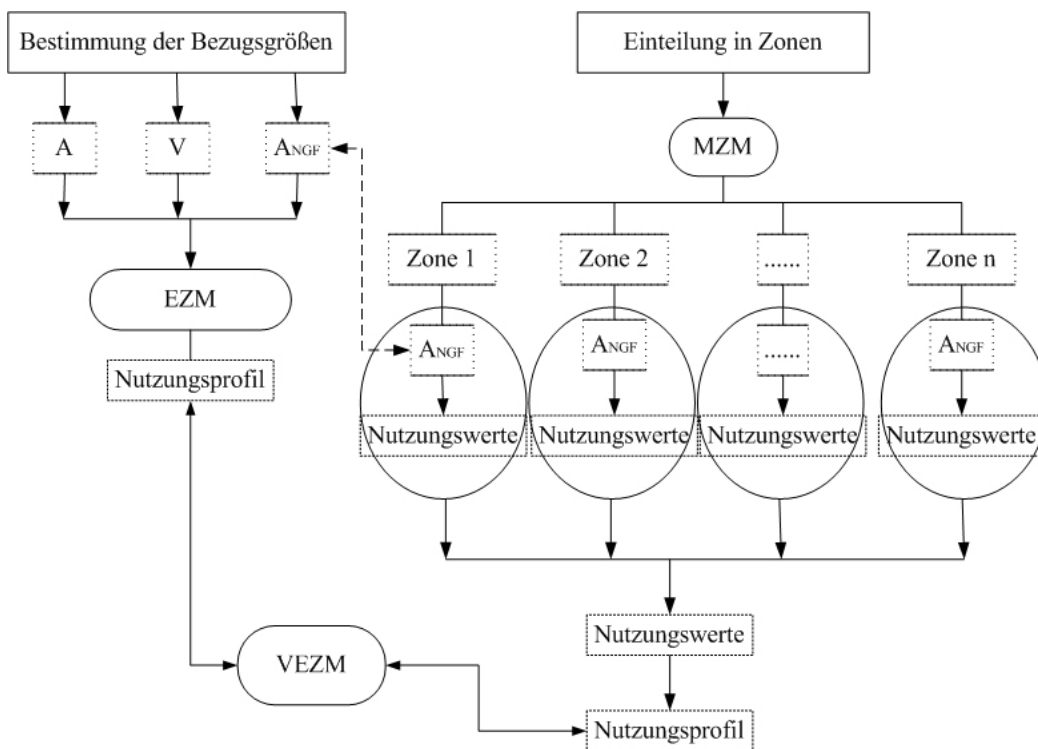


Bild 5.5.1-2: Vorgehensweise VEZM

Nach der Zusammenstellung aller erforderlichen Unterlagen erfolgen die Ermittlung der wärmeübertragenden Umfassungsfläche (A), des Gebäudevolumens (V) sowie der Nettogrundfläche (A_{NGF}). Die Ermittlung dieser Daten erfolgt nach den Vorgaben des EZMs (Bild 5.5.1-3).

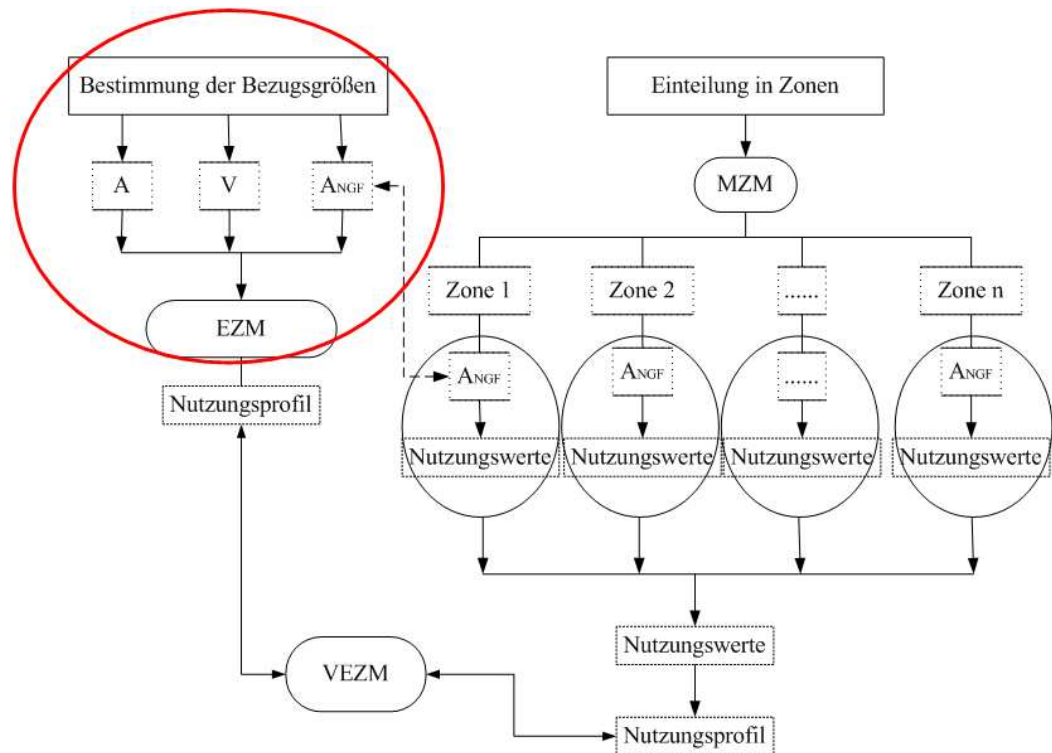


Bild 5.5.1-3: Vorgehensweise VEZM – Datenermittlung

Die Ermittlung nach dem EZM bedeutet, dass nur eine Zone vorliegt an der die Flächen und das Volumen für das gesamte zu betrachtende Gebäude bestimmt werden. Hierbei sollte auch auf die Wärmedurchgangskoeffizienten der jeweiligen Bauteile (U-Wert) und ihre Orientierung (Nord, Ost, Süd...) geachtet werden. Beispielsweise liegt der Sonne im Norden eine ganz andere Strahlungsintensität als im Süden zu Grunde, daher ist eine getrennte Betrachtung notwendig.

Nach der Ermittlung der Daten erfolgt, entgegen der normalen Berechnung bei einem EZM, jetzt eine Einteilung in die tatsächlichen Zonen nach den Vorgaben und Bedingungen des MZMs (Bild 5.5.1-4).

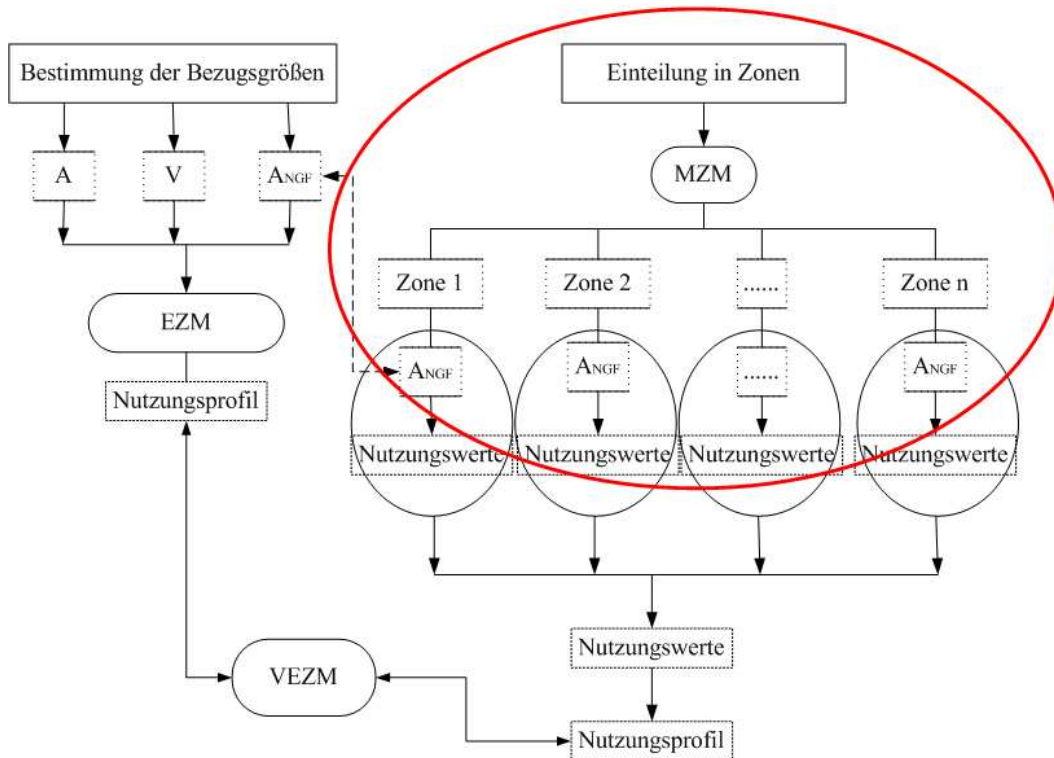


Bild 5.5.1-4: Vorgehensweise VEZM – Zonierung

Nach Festlegung der Zonen erfolgt die Bestimmung der Nettogrundfläche, die für jede Zone einzeln ermittelt wird. Die Nettogrundflächen der einzelnen Zonen ergeben in der Summe die Nettogrundfläche des gesamt betrachteten Gebäudes. Diese entspricht dann auch der Nettogrundfläche, die zum Berechnen des EZMs genutzt wird. Nach der Zonierung wird jeder Zone ein entsprechendes Nutzungsprofil mit den sich daraus ergebenden Nutzungswerten zugewiesen.

Damit liegen für jede Zone die ermittelte Nettogrundfläche und die sich für das gesamt betrachtete Gebäude ergebene Nettogrundfläche sowie die entsprechenden Nutzungswerte durch die Nutzungsprofile vor.

In einem nächsten Schritt erfolgt eine prozentuale Zuordnung der sich ergebenden Zonen. Die prozentuale Aufteilung erfolgt in Abhängigkeit der ermittelten Nettogrundfläche der einzelnen Zonen in Bezug zur Gesamtnettogrundfläche des betrachteten Gebäudes.

Beispiel:

Gegeben ist eine Zone z.B. Einzelbüro die eine Nettogrundfläche von 28,28 m² aufweist. Die Gesamtnettogrundfläche für das Gebäude beträgt 1394,89 m². Damit beträgt der prozentuale Anteil dieser Zone an das gesamt betrachtet Gebäude 1,45%.

Dieses Vorgehen wird für jede sich ergebende Zone, immer in Abhängigkeit der jeweiligen Nettogrundfläche der Zone zu der Gesamtnettogrundfläche, durchgeführt. Damit ergibt sich Insgesamt ein Wert von 100%.

In einem nächsten Schritt werden die Nutzungswerte für das VEZM ermittelt (Bild 5.5.1-5).

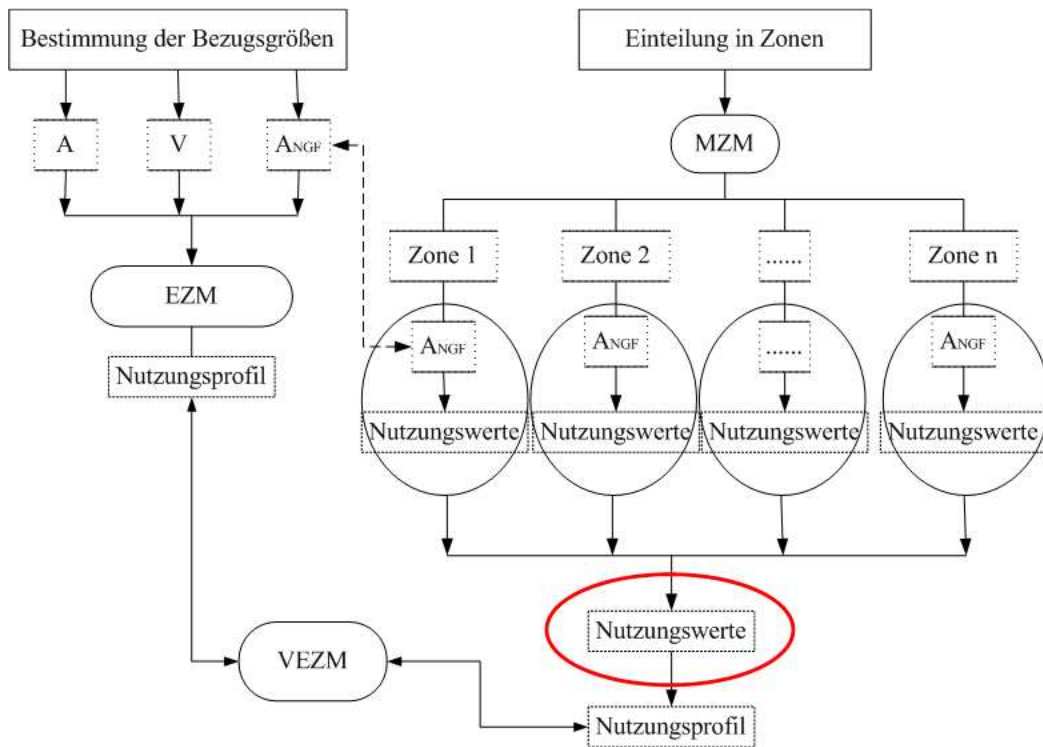


Bild 5.5.1-5: Vorgehensweise VEZM – Nutzungswerte

Die Nutzungswerte für das VEZM ergeben sich auf Grundlage der prozentualen Zuordnung der Zonen durch eine entsprechende Multiplikation mit dem zu bestimmenden Nutzungswert und welches für jede vorhandene Zone durch geführt wird.

Beispiel:

Nutzung	Zone	ANGF	%	Em	hNe	ka	CA	k	Ft
Einzelbüro	1	20,28	1,45	500	0,8	0,84	0,3	0,9	0,7
Gruppenbüro	2	40,51	2,90	500	0,84	0,92	0,3	1,25	0,7
Besprechung/ Sitzung	4	27,67	1,98	500	0,8	0,93	0,5	1,25	1
Klassenzimmer	8	509,82	36,55	300	0,8	0,97	0,25	2	0,9
WC	16	116,79	8,37	100	0,8	1	0,9	0,8	1
Aufenthalt	17	190,72	13,67	300	0,8	0,93	0,5	1,25	1
Nebenflächen	18	33,06	2,37	100	0,8	1	0,9	1,5	1
Verkehrsflächen	19	359,29	25,76	100	0	1	0,8	0,8	1
Lager/ Technik/ Archiv	20	96,75	6,94	100	0,8	1	0,98	1,5	1
		1394,85	100	225,81	0,60	0,97	0,55	1,39	0,95

Beispiel **Beleuchtungsstärke**:

$$NW_{OEZM} = (500 \times 1,45 + 500 \times 2,9 + 500 \times 1,98 + \dots) / 100 = 225,81 \text{ lx}$$

Bild 5.5.1-6: Nutzungswerte anhand der prozentualen Zuordnung

Der gewichtete Nutzungswert kann auch nach der folgenden, selbst definierten Gleichung, bestimmt werden:

$$NW_{OEZM} = \frac{\sum_{i=1}^n (NW_n \cdot \frac{100}{A_{NGF}} \cdot A_{NGF,n})}{100} \quad (6)$$

Darin bedeutet:

NW_{VEZM}	„Neuer“ Nutzungswert aus dem VEZM
NW_n	„Alter“ Nutzungswert der einzelnen Zonen
A_{NGF}	Nettogrundfläche des gesamten betrachteten Gebäudes
$A_{NGF,n}$	Nettogrundfläche der jeweiligen Zone

Diese Berechnung muss für alle sich ergebenden Nutzungswerte durchgeführt werden. Eine Ausnahme bildet der Nutzungswert für die Wärmezufuhr je Tag ($q_{I,p}$ und $q_{I, fac}$), da sich dieser aus den zuvor bestimmten Nutzungswerten (Vollnutzungsstunden der internen Wärmequellen aus Personen und Arbeitshilfen und aus der maximal spezifischen Leistung) ergibt. Hierbei ist die Gleichung (6) nicht anzuwenden, sondern die Gleichung (7). Grundsätzlich ist im Nachweisverfahren gemäß EnEV mit einer mittleren Belegungsdichte zu rechnen [12]. Die Wärmezufuhr je Tag ergibt sich somit entsprechend aus den Vollnutzungsstunden der internen Wärmequellen aus den Personen (VSP) und den Vollnutzungsstunden der internen Wärmequellen aus den Arbeitshilfen (VSA) je Tag, die mit der entsprechenden maximalen spezifischen Leistung (max. spez. L), die in W/m² angegeben wird, multipliziert.

$$(q_{I,p} + q_{I, fac}) = VSP \cdot max.spez.L + VSA \cdot max.spez.L \quad (7)$$

Zur programmtechnischen Umsetzung der Rechenregeln des VEZMs habe ich ein Tool auf Excelbasis erstellt, welches am Ende dieses Abschnittes näher erläutert wird.

Durch die sich ergebenden Nutzungswerte lässt sich ein neues Nutzungsprofil ermitteln, welche mit Hilfe des Excel-Tools erstellt wird (Bild 5.5.1-7).

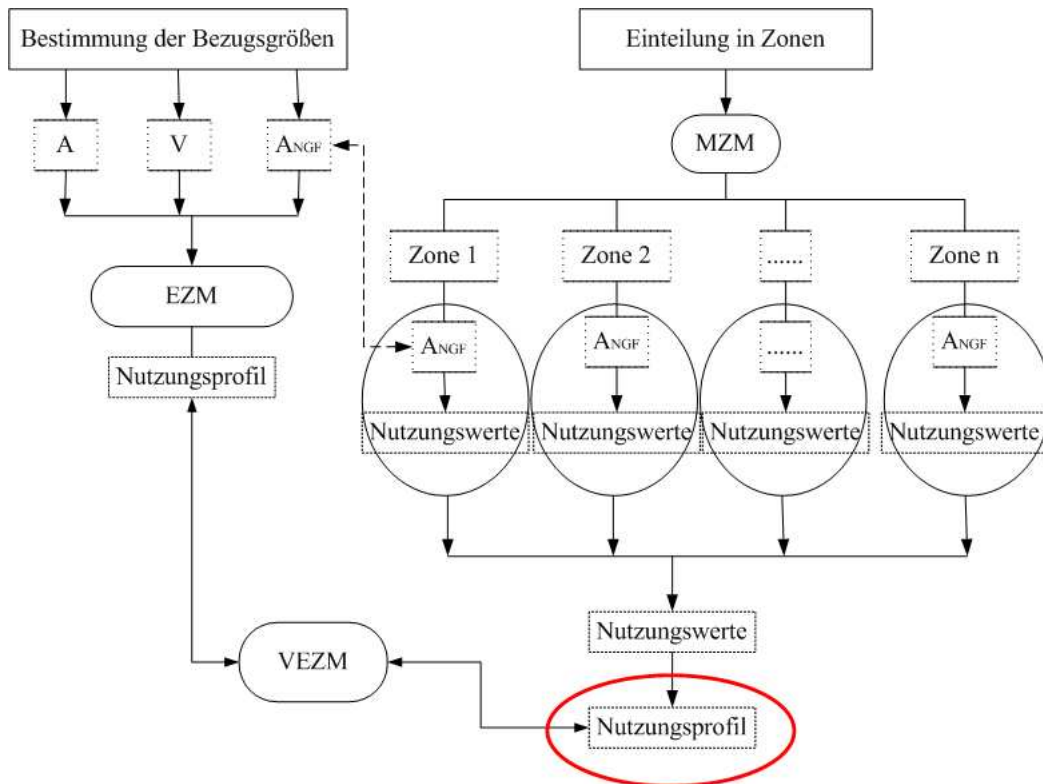


Bild 5.5.1-7: Nutzungswerte anhand der prozentualen Zuordnung

Für einen öffentlich rechtlichen Nachweis nach EnEV und für die Ausstellung eines Energieausweises liegen festgesetzt Nutzungsrandbedingungen vor. Dabei handelt es sich u.a. um die Nutzungswerte in den Nutzungsprofilen. Durch die festgelegten Randbedingungen ist eine Vergleichbarkeit der Gebäude gewährleistet. Nun könnte der Anschein erweckt werden, dass durch das „neue“ Nutzungsprofil diese Vergleichbarkeit nicht mehr gegeben ist. Es ist jedoch so, dass das „neue“ Nutzungsprofil auf den vorgegebenen Nutzungsprofilen basiert.

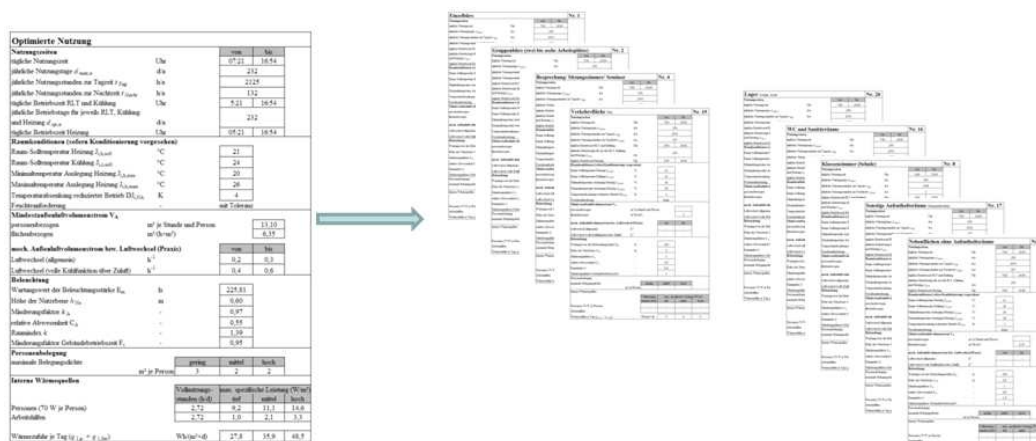


Bild 5.5.1-8: Neues Nutzungsprofil

Das soll nachfolgend anhand beispielsweise des Nutzungswertes der Beleuchtungsstärke konkretisiert werden (Bild 5.5.1-9).

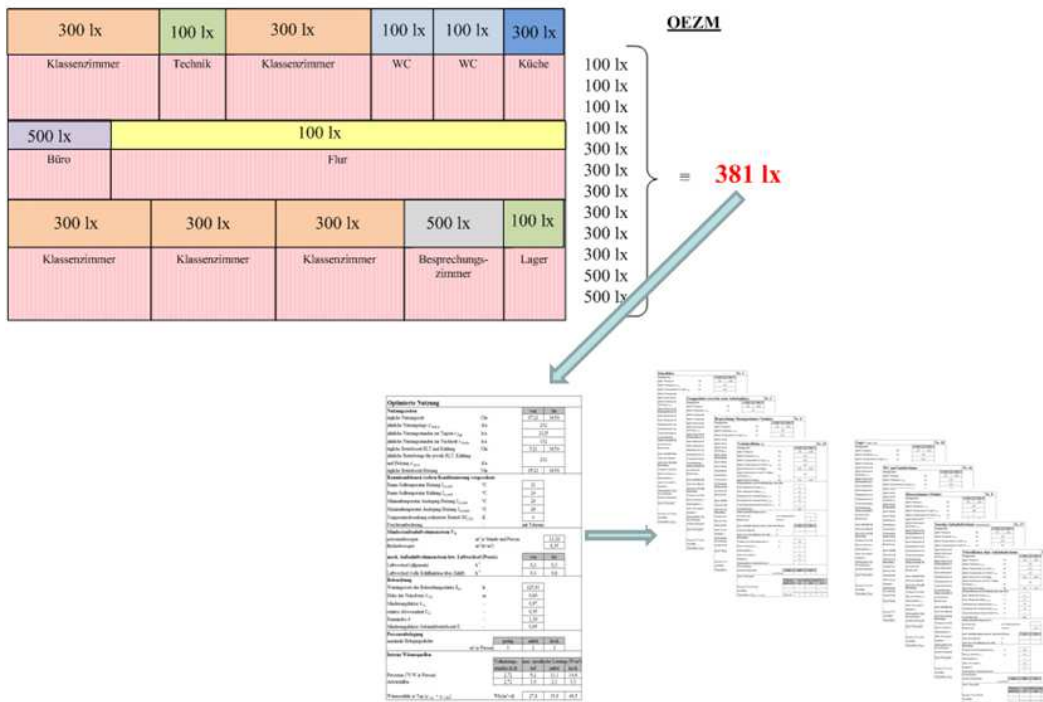


Bild 5.5.1-9: Nutzungswerte im „neuen“ Nutzungsprofil

Der ermittelte gewichtete Nutzungswert für die Beleuchtungsstärke von beispielsweise 381 lx wird in dem „neuen“ Nutzungsprofil dargestellt. Diesem Nutzungsprofil liegen aber immer noch die einzelnen Nutzungsprofile der sich ergebenden Zonen zu Grunde. Das bedeutet, dass das Klassenzimmer immer noch eine Beleuchtungsstärke von 300 lx und das Büro immer noch eine Beleuchtungsstärke von 500 lx usw. aufweisen. Damit bleibt die Vergleichbarkeit der Gebäude gewährleistet.

Dieses Nutzungsprofil stellt also nicht mehr ein verallgemeinertes Profil durch die Annahme einer vorrangig vorhandenen Zone auf der gesamten Fläche dar, sondern dieses enthält gewichtete Nutzungswerte aller vorhandenen Zonen. Dieses Nutzungsprofil bildet die Grundlage für die weiteren Berechnungen bei Anwendung des VEZMs.

Excel-Tool

In diesem Tool werden die Rechenregeln des VEZMs programmtechnisch umgesetzt. Die Umsetzung erfolgt als ein Tabellenkalkulationswerkzeug in Microsoft Excel [D]. Das Tool stellt nur einen eingeschränkten Rahmen zur Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs zur Verfügung. Es beschränkt sich auf Standardwerte und auf Abgrenzungen die in der Arbeit berücksichtigt sind. Damit sind z.Z. lediglich grundlegende Berechnungen ohne Berücksichtigung vieler Faktoren mit diesem Tool möglich.

Es soll verdeutlicht werden, dass man ein weiterentwickeltes Tool zu einem späteren Zeitpunkt als ergänzendes Werkzeug in umfangreiche Programme integrieren könnte bzw. dieses Tool entsprechend weiter ausbauen kann.

Durch einfügen dieses Tabellenkalkulationswerkzeuges in eine professionelle Software wird der verbleibende Zeitunterschied zwischen EZM und VEZM weiter verringert, da die Eingabe des neuen Nutzungsprofils entfällt.

Durch Eingabe der sich ergebenden Zonen in Abhängigkeit der Nutzung und durch Eingabe der jeweiligen Nettogrundfläche der Zone, erfolgt eine automatische Ermittlung jedes einzelnen Nutzungswertes (Bild 5.5.1-10).

Nutzungen	Nettogrundfläche in m²
<input checked="" type="checkbox"/> Einzelbüro	20,28
<input checked="" type="checkbox"/> Gruppenbüro	40,51
<input checked="" type="checkbox"/> Besprechung/ Sitzung	27,67
<input checked="" type="checkbox"/> Klassenzimmer	509,82
<input checked="" type="checkbox"/> WC	116,79
<input checked="" type="checkbox"/> Aufenthalt	190,72
<input checked="" type="checkbox"/> Nebenflächen	33,06
<input checked="" type="checkbox"/> Verkehrsflächen	359,29
<input checked="" type="checkbox"/> Lager/Technik/Archiv	96,75

Bild 5.5.1-10: Eingabe der Zonen und Nettogrundfläche in das Rechentool

Die ermittelten Nutzungswerte werden durch das Excel-Tool in einem Nutzungsprofil dargestellt (Bild 5.5.1-11).

Optimierte Nutzung					
Nutzungszeiten			von	bis	
tägliche Nutzungszeit	Uhr		07:21	16:54	
jährliche Nutzungstage $d_{nutz,a}$	d/a		232		
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a		2125		
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a		132		
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr		5:21	16:54	
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a		232		
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr		05:21	16:54	
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)					
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C		21		
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,c,soll}$	°C		24		
Minimaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C		20		
Maximaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C		26		
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{i,NA}$	K		4		
Feuchteanforderung	-		mit Toleranz		
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A					
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person		13,10		
flächenbezogen	m ³ /(h×m ²)		6,35		
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			von	bis	
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹		0,2	0,3	
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹		0,4	0,6	
Beleuchtung					
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx		225,81		
Höhe der Nutzebene h_{Ne}	m		0,60		
Minderungsfaktor k_A	-		0,97		
relative Abwesenheit C_A	-		0,55		
Raumindex k	-		1,39		
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_t	-		0,95		
Personenbelegung					
maximale Belegungsichte	m ² je Person		gering	mittel	hoch
			3	2	2
Interne Wärmequellen					
		Vollnutzungs-	max. spezifische Leistung (W/m²)		
		stunden (h/d)	tief	mittel	hoch
Personen (70 W je Person)		2,72	9,2	11,1	14,6
Arbeitshilfen		2,72	1,0	2,1	3,3
Wärmezufuhr je Tag ($q_{1,p} + q_{1,fae}$)	Wh/(m ² ×d)		27,8	35,9	48,5

Bild 5.5.1-11: Nutzungsprofil auf Grundlage des VEZMs

5.5.2 Voraussetzungen

Bevor nach EnEV das vereinfachte Modell als Berechnungsgrundlage zugelassen wird, sind für die konkrete Anwendung des EZMs gewisse Voraussetzungen zu erfüllen. Die Voraussetzungen wurden im Kapitel 4 bereits erläutert. Welche

Rahmenbedingungen eingehalten werden müssen, wird nachfolgend kurz dargestellt und entsprechend auf das verbesserte Modell ergänzt.

Bei den einzuhaltenden Kriterien handelt es sich um:

- den Gebäudetyp

Es ist davon auszugehen, dass der Gebäudetyp beim Berechnen mit dem VEZM nicht berücksichtigt werden muss, da in die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs mit dem VEZM im Gegensatz zum EZM wesentlich mehr Daten einfließen. Vom Prinzip müsste sich das optimierte Modell bei jedem Gebäudetyp, mit ähnlichen Randbedingungen, gleich verhalten und anwendbar sein. Dies ist aber noch nicht wissenschaftlich untersucht.

- den Flächenanteil der Hauptnutzung

Bei Anwendung des VEZM braucht das Verfahren nicht bezüglich der Hauptnutzung und der Verkehrsflächen überprüft zu werden. Es entfällt der Fall der 2/3 Anwendung (Die Summe der Nettogrundfläche, die sich aus der Hauptnutzung und aus den vorhandenen Verkehrsflächen ergibt, muss mehr als zwei Drittel der vorhanden gesamten Nettogrundfläche betragen). Die unterschiedlichen Flächentypen werden beim VEZM in der Ermittlung der Gesamtfläche berücksichtigt.

- die Anlagen zur Beheizung und Warmwasserbereitung

In den Beispielen sind in allen Berechnung die Anlagen zur Beheizung im Rahmen der Bedingungen der EnEV für ein EZM angenommen worden. Es kann keine Aussage getroffen werden, wie sich andere Anlagen auf die Ergebnisse beim Berechnen mit dem VEZM auswirken könnten. Die Warmwasserbereitung ist in den Beispielen nicht berücksichtigt worden.

- die Beleuchtung nach der Referenzgebäudetechnik

Die Voraussetzungen bezüglich der Beleuchtung gelten weiter wie bisher. Beim Einsatz von verschiedenen Leuchtmitteln (Glühlampen und Leuchtstofflampen) in einem Gebäude, sind gewisse Fehler zu erwarten. Hier muss nach den Vorgaben der EnEV verfahren werden.

- die Gebäudekühlung

Keinerlei Erkenntnisse hingegen liegen vor, wie sich das Verfahren bezüglich Lüftung, Kühlung und Klimatisierung verhält, da diese bei der Arbeit ausgeschlossen wurden. Hier können daher auch keine Annahmen getroffen werden und daher sollte dieses in weiteren Arbeiten weiter wissenschaftlich untersucht werden.

5.5.3 Auswertung und Ergebnisse

Für die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs nach EnEV ist, wie bereits festgestellt, beim MZM ein erheblicher Zeitaufwand notwendig. Betrachtet man den Problempunkt Zeitaufwand im direkten Vergleich zwischen MZM und VEZM, ist beim Berechnen des Jahres-Primärenergiebedarfs beim VEZM eine wesentliche Zeitersparnis gegenüber dem MZM erzielt worden. Beim VEZM werden die Flächen und Volumina anhand einer Zone ermittelt, dieses ist der Grund für den stark minimierten Zeitaufwand. Der Zeitaufwand ist vergleichbar mit dem Zeitaufwand eines EZMs.

Die Ergebnisse unter Anwendung des VEZMs im Vergleich zum MZM und EZM bezüglich des Zeitaufwandes bei der Datenermittlung sind in Bild 5.5.3-1 dargestellt.

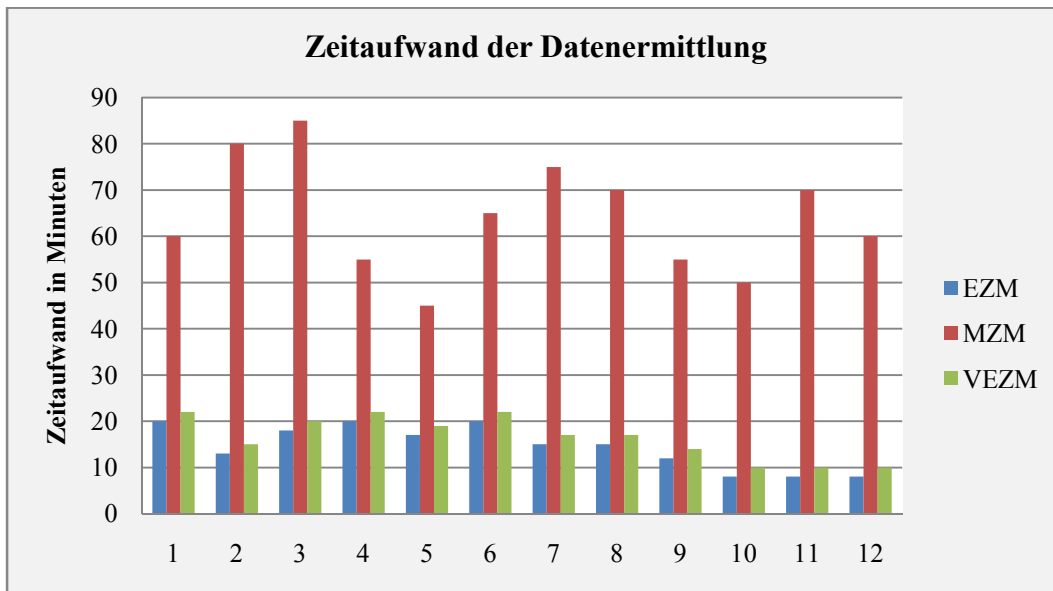


Bild 5.5.3-1: Zeitaufwand für die Datenermittlung

In dieser Grafik (im Bild 5.5.3-1) werden aus Gründen der Darstellung wieder nur 12 der 45 Schulgebäude abgebildet, wobei sich die Ergebnisse immer auf alle 45 Schulgebäude beziehen.

Die durchschnittlich benötigte Zeit für die Ermittlung der Daten (Flächen und Volumen) bei den Schulgebäuden, unter Anwendung des EZMs, liegt bei 15 Minuten (Darstellung als blauer Balken). Beim VEZM werden, im Vergleich zum EZM, durchschnittlich 3 Minuten mehr benötigt. Dieser Mehraufwand ergibt sich aus der Berechnung der neuen Nutzungswerte. Der Zeitaufwand liegt im Schnitt beim VEZM bei 18 Minuten (Darstellung als grüner Balken). Wird dasselbe Gebäude für ein MZM in Zonen eingeteilt und werden die dafür benötigten Daten ermittelt, so ergibt sich im Schnitt ein zeitlicher Aufwand von 60 Minuten (Darstellung als roter Balken). Dies ist ein ca. dreimal höherer Zeitwert als bei EZM und VEZM.

Das EZM weist im Schnitt eine Zeitersparnis von ca. 75% gegenüber dem MZM auf. Die Ersparnis durch das VEZM ist mit ungefähr 70% anzusetzen. Die Werte sind dabei immer in Abhängigkeit der Größe, den sich ergeben Zonen und der Kompaktheit des Gebäudes zu sehen.

Nicht nur die Ermittlung der Daten erfolgt beim VEZM wesentlich schneller, im Gegensatz zum MZM, auch die Eingabe der Daten in die entsprechende Software [C] ist beim VEZM als wesentlich geringer anzusetzen (Bild 5.5.3-2).

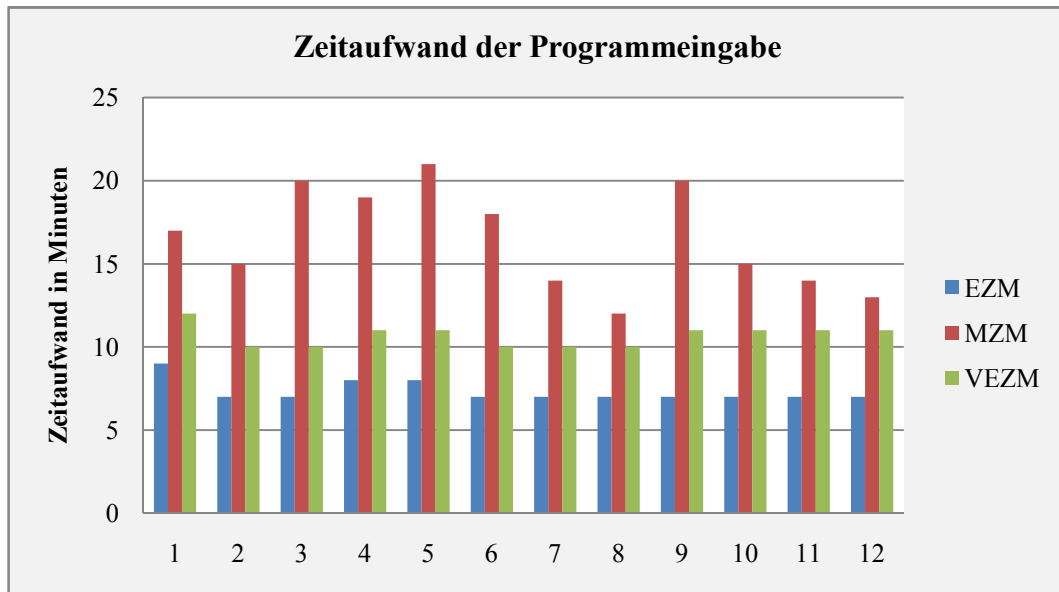


Bild 5.5.3-2: Zeitaufwand für die Programmeingabe

Für die Eingabe aller Daten, die für die weiteren Berechnungen benötigt werden (aus der Zonierung, den entsprechenden Bauteileigenschaften, den Daten zur Anlagentechnik usw.), ist ein weiterer Zeitaufwand in die entsprechende Software [C] notwendig.

Dieser, für die Programmeingabe benötigter Zeitaufwand, beträgt für das MZM (roter Balken) im Schnitt 17 Minuten, für das VEZM (grüner Balken) 10 Minuten und für das EZM (blauer Balken) 7 Minuten.

Für das VEZM ergibt sich eine Zeitersparnis von ungefähr 40% gegenüber dem MZM. Der höhere Aufwand beim VEZM von ca. 20% gegenüber dem EZMs rührt daher, dass das neue Nutzungsprofil bzw. die einzelnen Nutzungswerte per Hand in die Software [C] eingegeben werden muss. Durch das Einbringen des Excel-Tools zur Umsetzung der Rechenregeln des VEZMs in die Software [C], die die Eingabe vereinfacht, wird sich der Zeitaufwand weiter verringern und sich dem des EZMs angleichen.

Alles im allen ist der Zeitaufwand des VEZMs, aufgrund der durch die Zonierung entstehenden vorteilhafteren Datenermittlung, gegenüber dem MZM stark verringert. Beim VEZM, wie beim EZM, sind deutliche Vorteile in der Zeitersparnis bei

der Berechnung zu sehen. Im Gegensatz zum EZM ist aber beim VEZM durch den verbesserten Ansatz die Ergebnisgenauigkeit bei der Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs wesentlich genauer und das bei gleichzeitiger enormer Zeitersparnis.

Im weiteren Verlauf werden die Problematiken der Berechnungsungenauigkeiten anhand von grafischen Darstellungen gezeigt. Die Ungenauigkeiten beim EZM liegen bei der Datenermittlung im Bereich der Zonierung (Verwendung des verallgemeinerten Nutzungsprofils). Beim VEZM wird die Datenermittlung dem des MZMs angenähert. Dies wird erreicht indem die ermittelten Nutzungswerte auf die Fläche der sich ergebenden Zonen umgelegt werden.

In den nachfolgenden Diagrammen sind alle 45 berechneten Schulgebäude, die den Verlauf des Jahres-Primärenergiebedarf für alle drei Modelle im Vergleich zeigen, dargestellt (EZM, MZM, VEZM). Zur besseren Erkennbarkeit sind die Beispiele, angefangen vom kleinsten bis hin zum größten Wert des Jahres-Primärenergiebedarf in 5 Diagrammen, dargestellt. Der Jahres-Primärenergiebedarf liegt hierbei auf der Y-Achse und beginnt in der ersten Grafik bei einem Wert von 180 kWh/(m²a) bis 320 kWh/(m²a) und endet mit einem Wert von 340 kWh/(m²a) bis 650 kWh/(m²a) in der letzten Grafik. Dadurch ist der Linienverlauf der einzelnen Modelle besser erkennbar.

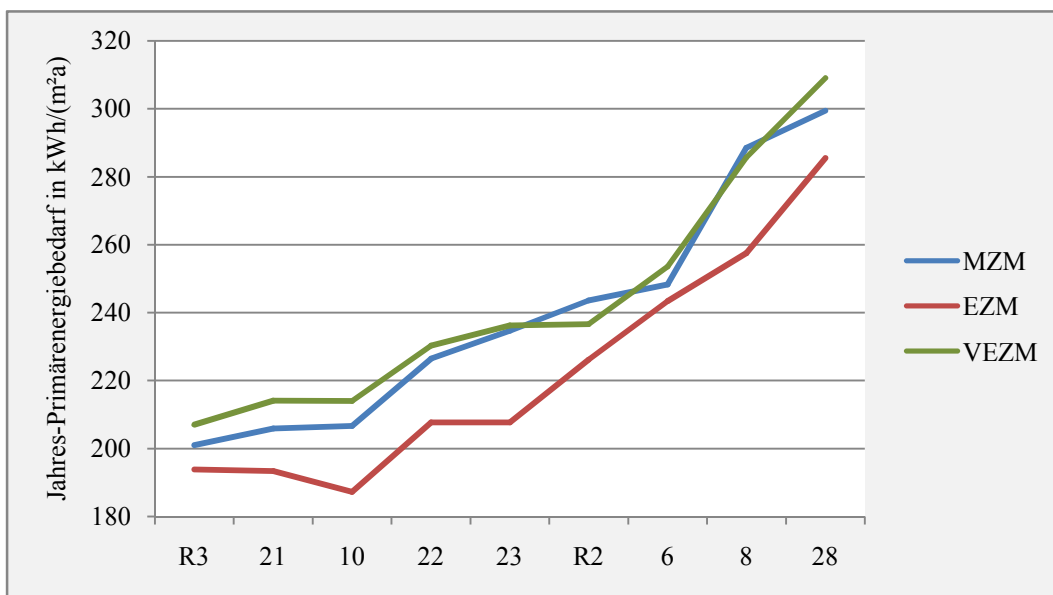


Bild 5.5.3-3: Jahres-Primärenergiebedarf beim MZM, EZM und VEZM

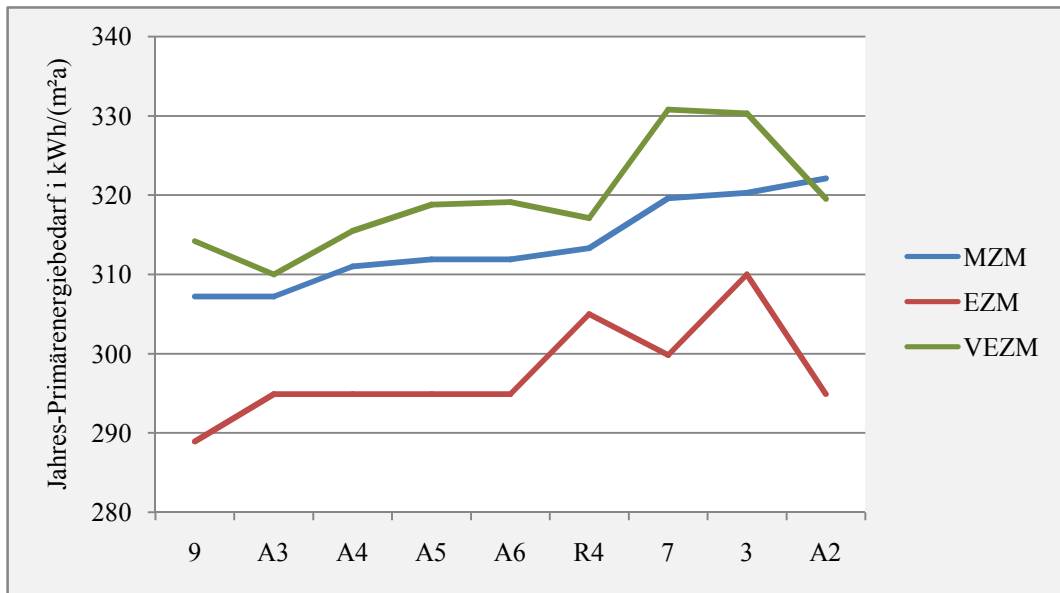


Bild 5.5.3-4: Jahres-Primärenergiebedarf beim MZM, EZM und VEZM

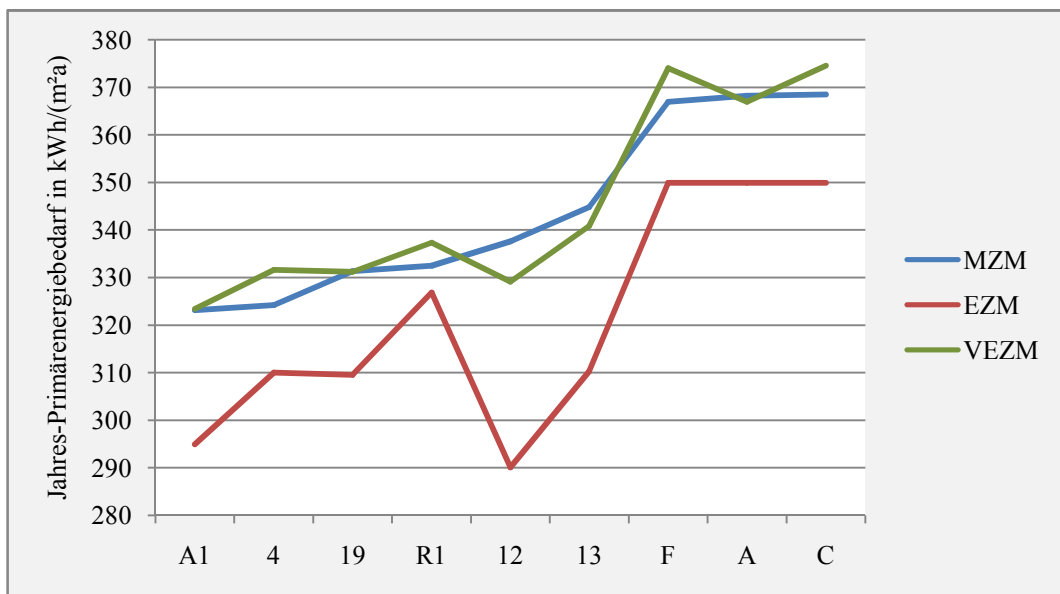


Bild 5.5.3-5: Jahres-Primärenergiebedarf beim MZM, EZM und VEZM

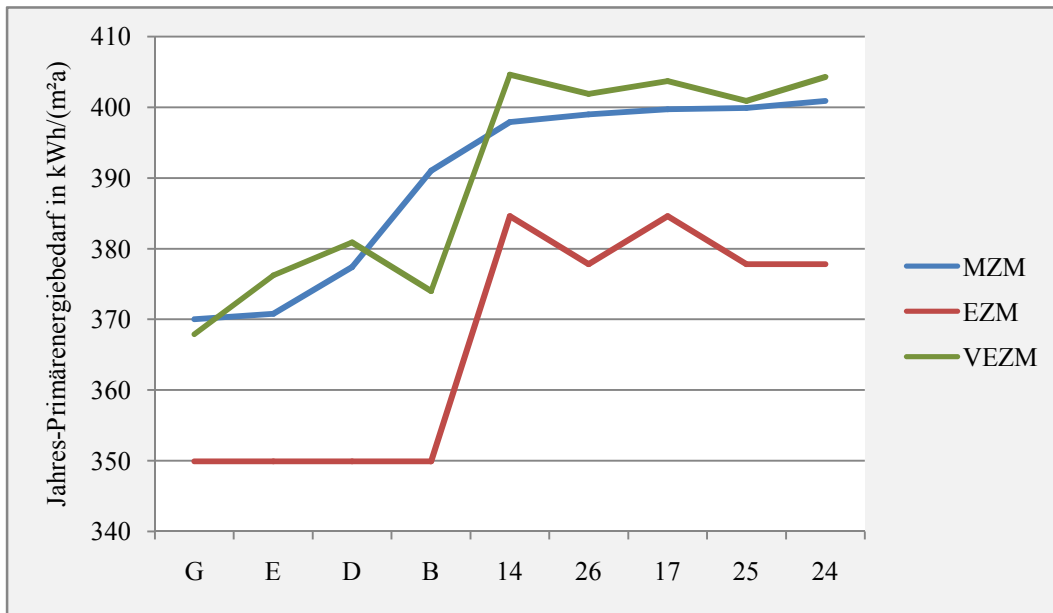


Bild 5.5.3-6: Jahres-Primärenergiebedarf beim MZM, EZM und VEZM

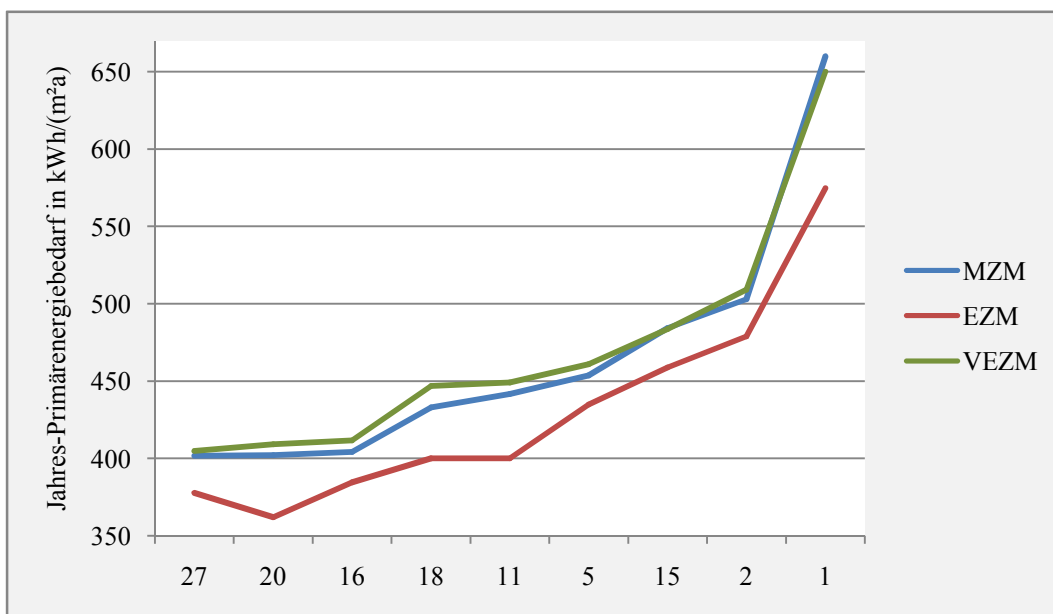


Bild 5.5.3-7: Jahres-Primärenergiebedarf beim MZM, EZM und VEZM

Anhand der drei farblich dargestellten Linien in den Bildern 5.5.3-3 bis 5.5.3-7 ist der jeweilige Jahres-Primärenergiebedarf auf Grundlage des EZMs (rote Linie), des MZMs (blaue Linie) und des VEZMs (grüne Linie) dargestellt. Anhand der Abstände der Linien ist deutlich zu erkennen, dass das VEZM näher an der blauen Ideallinie (MZM) liegt als das EZM. Die Linie des EZMs hat in der Grafik immer einen wesentlich größeren Abstand von der Linie des MZMs. Die Linie des VEZMs verläuft in den Grafiken 5.5.3-3, 5.5.3-5 und 5.5.3-7 nahezu parallel mit dem Verlauf der Linie des MZMs. Auch in den anderen Grafiken liegt diese im-

mer dichter an der Linie des MZMs. Das bedeutet, dass der Jahres-Primärenergiebedarf des VEZMs immer im Nahbereich des MZMs liegt.

Betrachtet man im Bild 5.5.3-8 den Jahres-Primärenergiebedarf auf Grundlage des VEZMs bezüglich der Abweichungen von der Ideallinie (hier die grüne Linie) ist deutlich erkennbar, dass es nur selten und in geringem Maße zu Abweichungen von der Ideallinie kommt. Es ist eine gleichmäßige Anpassung an die Ideallinie zu erkennen.

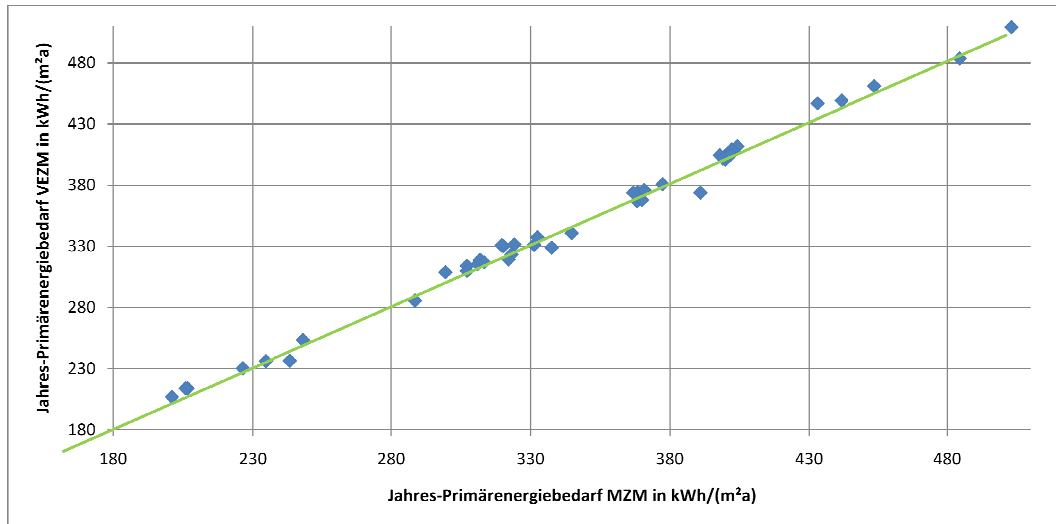


Bild 5.5.3-8: Abweichung VEZM/ MZM von der Ideallinie

Auf der horizontalen Achse ist der Jahres-Primärenergiebedarf auf Grundlage des MZMs und auf der vertikalen Achse der Jahres-Primärenergiebedarf auf Grundlage des VEZM aufgetragen.

Aus der grafischen Darstellung der VEZM-Linie zur MZM-Linie in den Bildern 5.5.3-4 bis 5.5.3-7 und der geringen Streuungen der Ergebnisse des Jahres-Primärenergiebedarf in Abweichung zur Ideallinie in Bild 5.5.3-8 lässt sich schließen, dass durch das VEZM ein Modell geschaffen wurde, dass sich dem genauen Ergebnis auf Grundlage des MZMs annähert. Die entstehenden Differenzen sind im Wesentlichen als sehr gering einzustufen.

Zum Vergleich sind in den Bildern 5.5.3.9 bis 5.5.3.11 die sich ergebenden Differenzen zwischen EZM/MZM und VEZM/MZM für alle 45 betrachtete Schulgebäude dargestellt. Auch hier ist deutlich zu erkennen wie sich durch die Verbesserungen im VEZM die Abweichungen verringern. Der Jahres-Primärenergiebedarf liegt ist auf der Y-Achse dargestellt und das jeweilige Schulgebäude mit seiner Bezeichnung auf der horizontalen Achse. Je höher der Ausschlag umso größer die Differenz im Ergebnis im Verhältnis zum MZM.

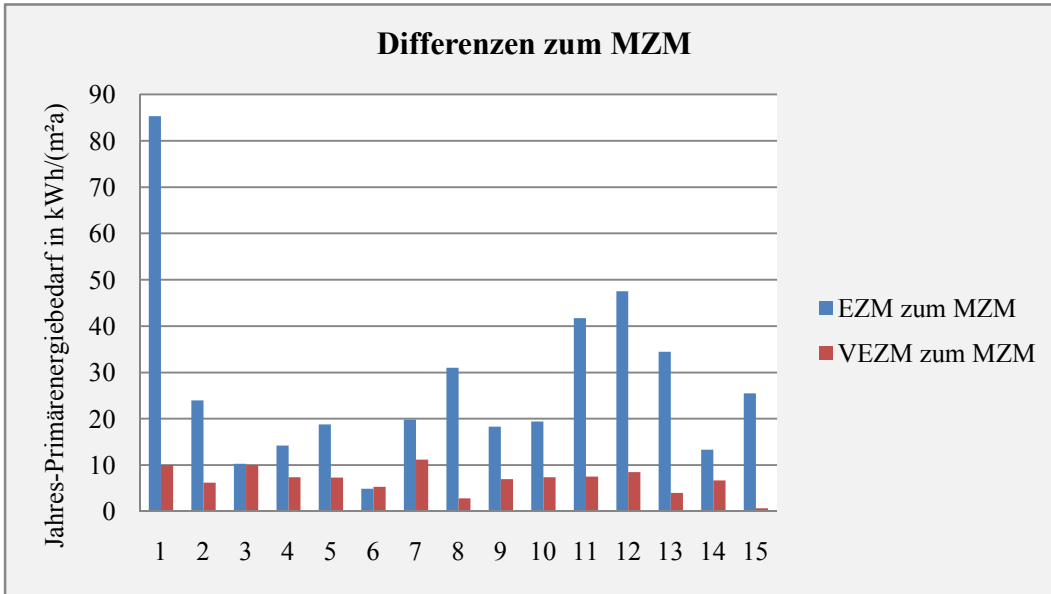


Bild 5.5.3-9: Abweichung Jahres-Primärenergiebedarf bezogen auf das MZM

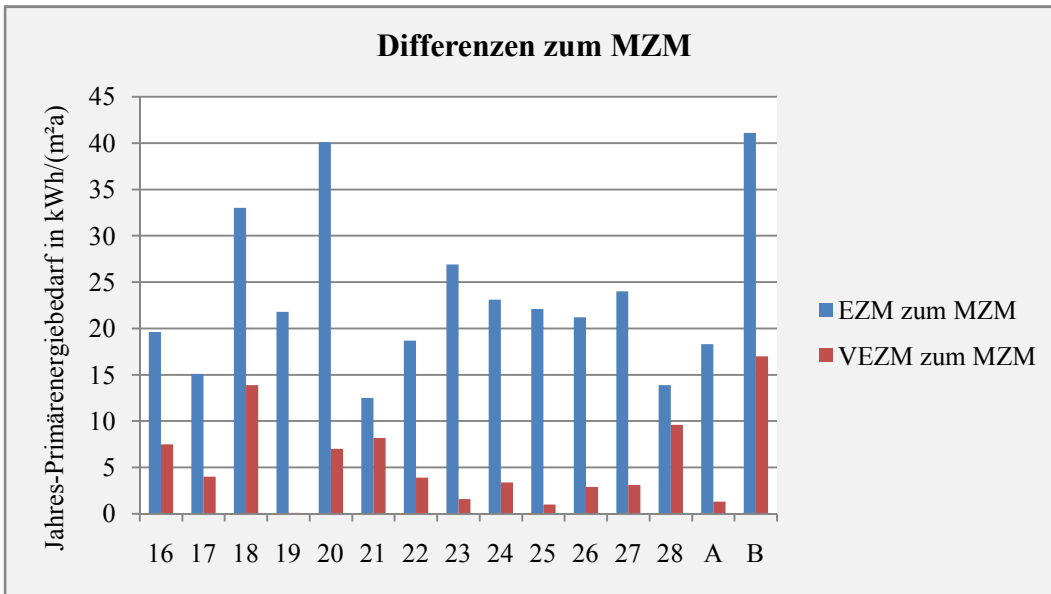


Bild 5.5.3-10: Abweichung Jahres-Primärenergiebedarf bezogen auf das MZM

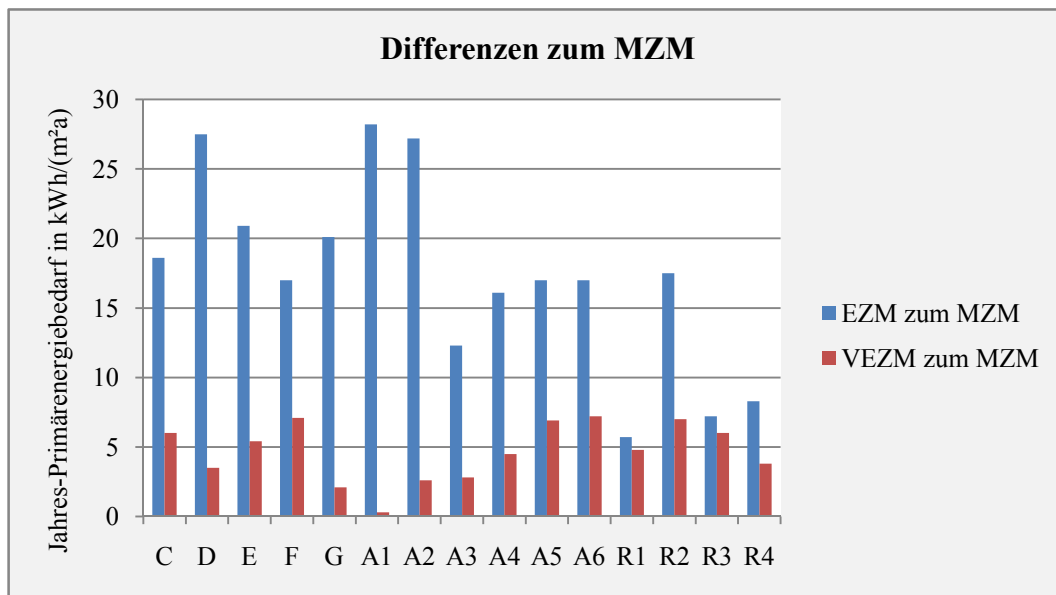


Bild 5.5.3-11: Abweichung Jahres-Primärenergiebedarf bezogen auf das MZM

Die sich ergebene Bandbreite der Differenzen des Jahres-Primärenergiebedarfs lassen sich wie folgt beziffern.

Beim VEZM zum MZM (rote Balken) lässt sich für alle Gebäude ein Rahmen von -3,2 % bis +4,3 % Abweichung vom MZM ermitteln. Der Jahres-Primärenergiebedarfs des VEZMs liegt sowohl über, als auch unter dem Wert des MZMs mit einer maximalen Abweichung von + 4,3 % und einer durchschnittlichen Abweichung von 1,7 %.

Beim EZM zum MZM (blaue Balken) liegt die Abweichung grundsätzlich im unterhalb der Werte für den Jahres-Primärenergiebedarf des MZMs. Der Rahmen ist hier von - 1,7 % bis - 14,1 % anzusetzen. Die Maximale Abweichung liegt hier bei -14,1 % die durchschnittliche Abweichung bei - 6,4%.

Die analysierten Daten haben gezeigt, dass für den Anwendungsfall VEZM eine gute Genauigkeit bei der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs erreicht werden kann, wobei der Zeitfaktor sich dem des auf Grundlage des EZM berechneten Jahres-Primärenergiebedarf anpasst.

Mit dem vorliegenden Konzept, der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs auf Grundlage des VEZMs, wird eine Möglichkeit aufgezeigt den Zeitaufwand für die Aufbereitung der Daten bezüglich der Gebäudehülle deutlich zu verringern bei gleichzeitiger Annäherung an das Ergebnis auf Grundlage des MZMs. Jedoch gilt zu bedenken, dass jede Rechenmethode die Realität nur bedingt genau abbilden kann. Die Möglichkeiten zur Steigerung der Genauigkeit steigen mit der Komplexität der Methode.

5.6 Überblick Ergebnisse

In der nachfolgend aufgeführten Tabelle (Tabelle 5.6-1) wird ein Überblick über die 3 erarbeiteten Lösungsansätze gegeben. Die Berechnungen der dargestellten Ergebnisse beruhen auf den 45 zu Grunde gelegten Schulgebäuden.

Tabelle 5.6-1: Überblick der Ergebnisse

	EnEV	EnEV mit Aufschlag	Faktor f	Faktor δ	VEZM
Abweichungen	1,7% - 14,1%	0,3% - 8,1%	0,1% - 8,1%	0,0% - 8,5%	0,0% - 4,3%
Im Toleranzbereich	6,7%	31,1%	66,7%	65%	82,2%
Außerhalb Toleranzbereich	93,3%	68,9%	33,3%	35%	17,8%

Bei Berechnungen des Jahres-Primärenergiebedarf auf Grundlage der EnEV, ohne den Aufschlag, kommt es zu Abweichungen bis zu 14,1%. Mit Hilfe des Aufschlags von 10% auf den Jahres-Primärenergiebedarf auf Grundlages des EZMs wurde erreicht, dass sich die Abweichungen nur noch in einem Rahmen von 0,3% bis 8,1% bewegen. Durch Anwendung des Faktors f ergeben sich Abweichungen von 0,1% bis 8,1% und durch den Faktor δ Abweichungen von 0,0% bis 8,5%. Bei Anwendung des VEZMs liegen die Abweichungen bei 0,0% bis 4,3%. Da die Abweichungen untereinander keine so großen Differenzen aufzeigen, betrachte ich an dieser Stelle noch den von mir festgelegten Toleranzbereich. Dieser ist so definiert, dass alle Ergebnisse die $< 3\%$ sind in dem Toleranzbereich liegen und entsprechend alles was $\geq 3\%$ ist liegt außerhalb dieses Toleranzbereiches. Durch diesen Bereich wird festgestellt, wie viele sich von den Ergebnissen in einem angenäherten Bereich an der Ideallinie befinden.

Durch das Grundmodell, ohne den Aufschlag, liegen nur 6,7% im Toleranzbereich. Durch einen Aufschlag von 10% bei Anwendung des EZMs liegen immer hin schon 31,1% in diesem Bereich. Mit Hilfe des Faktors f liegen 66,7% und durch den Faktor δ 65% innerhalb des Toleranzbereiches. Durch das VEZM habe ich erreicht, dass 82,2% im Toleranzbereich liegen und somit nur noch 17,8% außerhalb dieses Rahmens.

Tabelle 5.6-2: Ergebnisgenauigkeit im Vergleich bei 3% Toleranz

EZM mit 10% Aufschlag im Vergleich zum MZM	VEZM im Vergleich zum MZM
31,3% Übereinstimmung im Toleranzbereich	82,2% Übereinstimmung im Toleranzbereich

Durch Tabelle 5.6-2 ergibt sich, dass das VEZM eine 51%ig verbesserte Genauigkeit gegenüber dem EZM aufweist und das bei nur 5% mehr Zeitaufwand.

5.7 Fehlerquellen und Auswirkungen

In diesem Abschnitt soll ein Überblick über die möglichen Fehlerquellen und Auswirkungen gegeben werden. Für eine genaue Fehlerbetrachtung sind weitere Untersuchungen in anderen Arbeiten durchzuführen.

Die Ursache der Fehlerbetrachtung beginnt mit den möglichen Fehlerquellen. Mit jedem Berechnungsmodell kann man nur so genau gerechnet werden, wie exakt die Eingabeparameter sind. Ist in den Grunddaten schon ein Fehler enthalten, so wirkt sich dieser selbstverständlich auf die Fehlerbetrachtung des Berechnungsverfahrens aus.

5.7.1 Fehlerquellen

Nachfolgend sind einige der wichtigsten Fehlerquellen aufgezeigt:

- Geometrie
 - Bauteilflächen
 - Bauteilvolumen
 - Nettogrundfläche
 - Messungenauigkeiten
 - Nachkommastellen
- Orientierung
- Bauteileigenschaften
 - Wärmedurchgangskoeffizient
 - Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung
- Anlagentechnik
 - Länge der Rohrleitungen
 - Wärmedurchgangskoeffizient der Rohrleitungen
 - Baualterklasse der Anlagentechnik und der Bestandteile
 - Heizkesseltyp
 - Nennleistung Kessel, Pumpe oder von anderen Geräten
 - Energieträger

- Messungenauigkeiten
- Konditionierung
- Aufstellungsort Erzeuger
- Speicher
- Nutzung
 - Nutzereinflüsse
 - Zonierung
- Programmierung
 - Programmierfehler
 - Rundungsungenauigkeiten
 - Nachkommastellen
- Eingabefehler der Daten in die Software

5.7.2 Auswirkungen

Nachfolgend wird an einigen Fehlerquellen die Auswirkungen bzw. der Zusammenhang der Fehlerquellen mit dem Jahres-Primärenergiebedarf aufgezeigt (Bild 5.7.2-1 und Bild 5.7.2-2).

Geometrie:

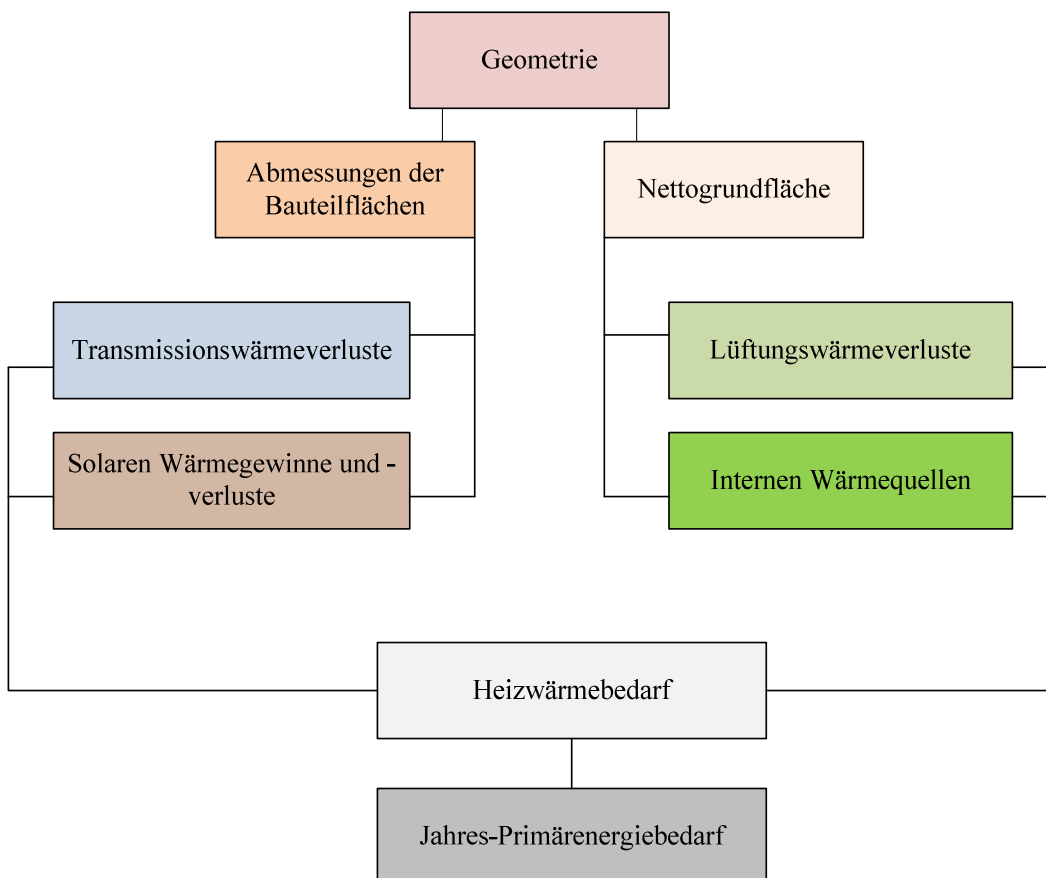


Bild 5.7.2-1: Zusammenhang Geometrie und Jahres-Primärenergiebedarf

Bauteileigenschaften:

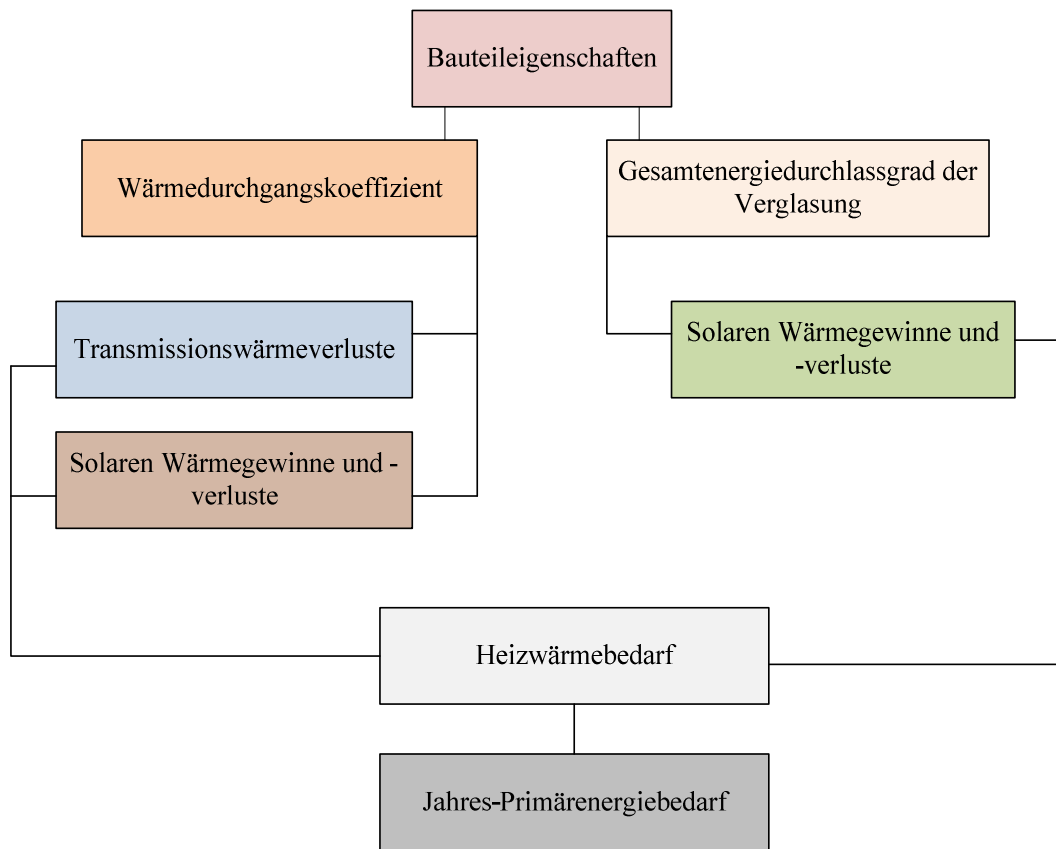


Bild 5.7.2-2: Zusammenhang Bauteileigenschaften und Jahres-Primärenergiebedarf

Genaue Angaben zu den Auswirkungen sind nicht exakt möglich, hierzu sind genauere Untersuchungen erforderlich. Tendenziell haben die beiden folgenden Größen einen größeren Einfluss auf den Jahres-Primärenergiebedarf:

- U-Wert (z.B. bei nicht bekannten Bauteilaufbauten und Verwendung von Standardwerten nach Baualtersklassen)
- Flächen

In Kombination dieser beiden Größen sind durchaus größere Fehler zu erwarten.

6 Beispielberechnungen

In diesem Kapitel soll anhand von zwei beispielhaften Schulgebäuden das zuvor beschriebene VEZM bezüglich der Datenermittlung die auf die Zonierung bezogen ist, dargestellt und erläutert werden. Zum Abschluss wird eine Übersicht über alle Gebäude gegen.

6.1 Beispielgebäude 1

Bei dem Beispielgebäude, welches in den Bildern 6.1-1 bis 6.1-9 dargestellt ist, handelt es sich um ein nicht unterkellertes Schulgebäude aus dem Jahr 2003. Das Gebäude besteht aus drei beheizten Vollgeschossen. Das Dachgeschoss ist unbeheizt und bleibt bei den weiteren Betrachtungen unberücksichtigt. Somit bildet die oberste Geschosdecke den Gebäudeabschluss.

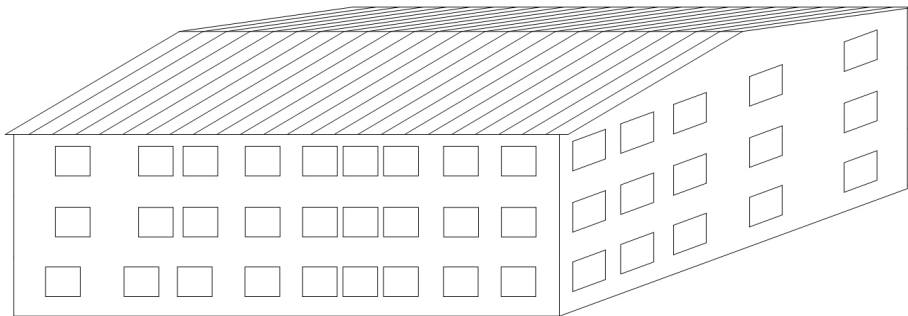


Bild 6.1-1: Ansicht Süd und West im 3D Modell

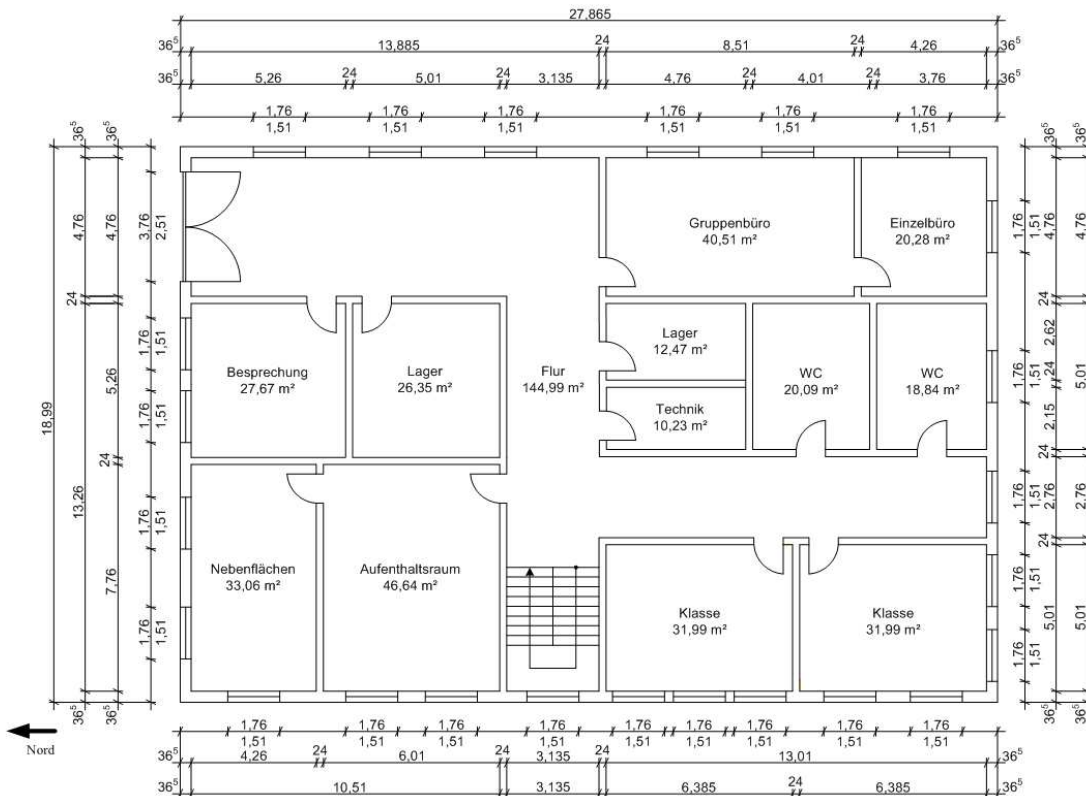


Bild 6.1-2: Grundriss Erdgeschoss [A10]

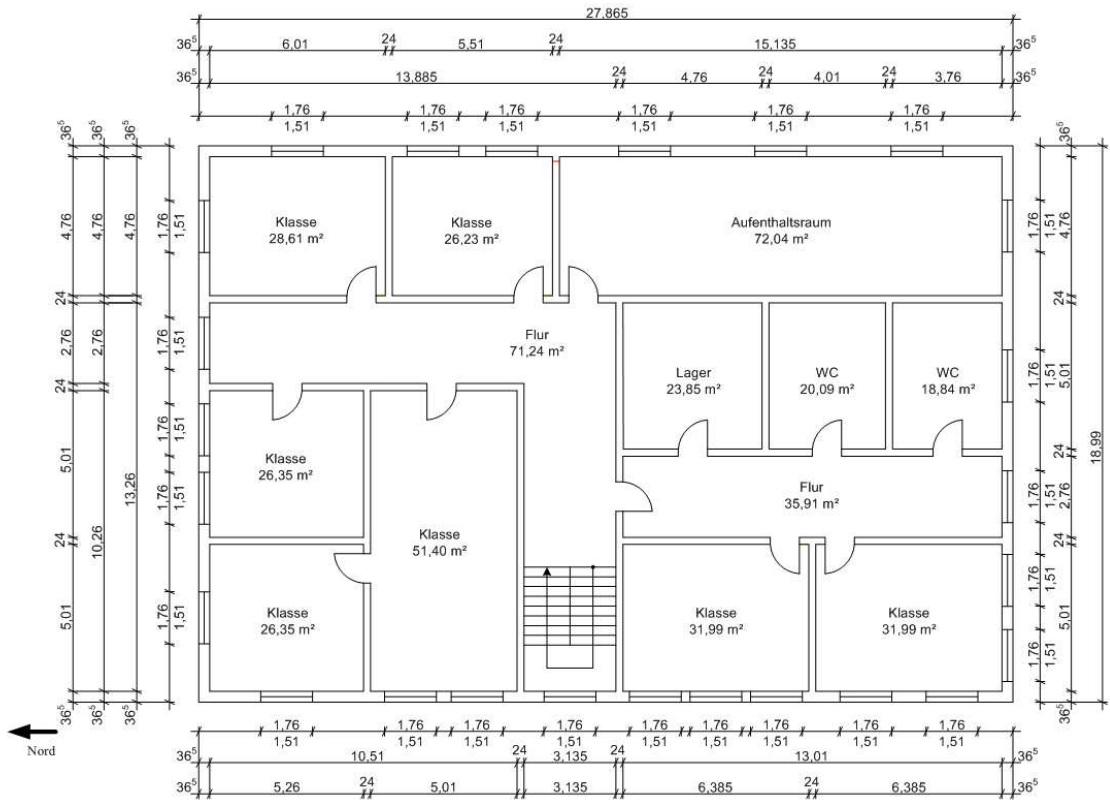


Bild 6.1-3: Grundriss 1. Obergeschoss [A11]

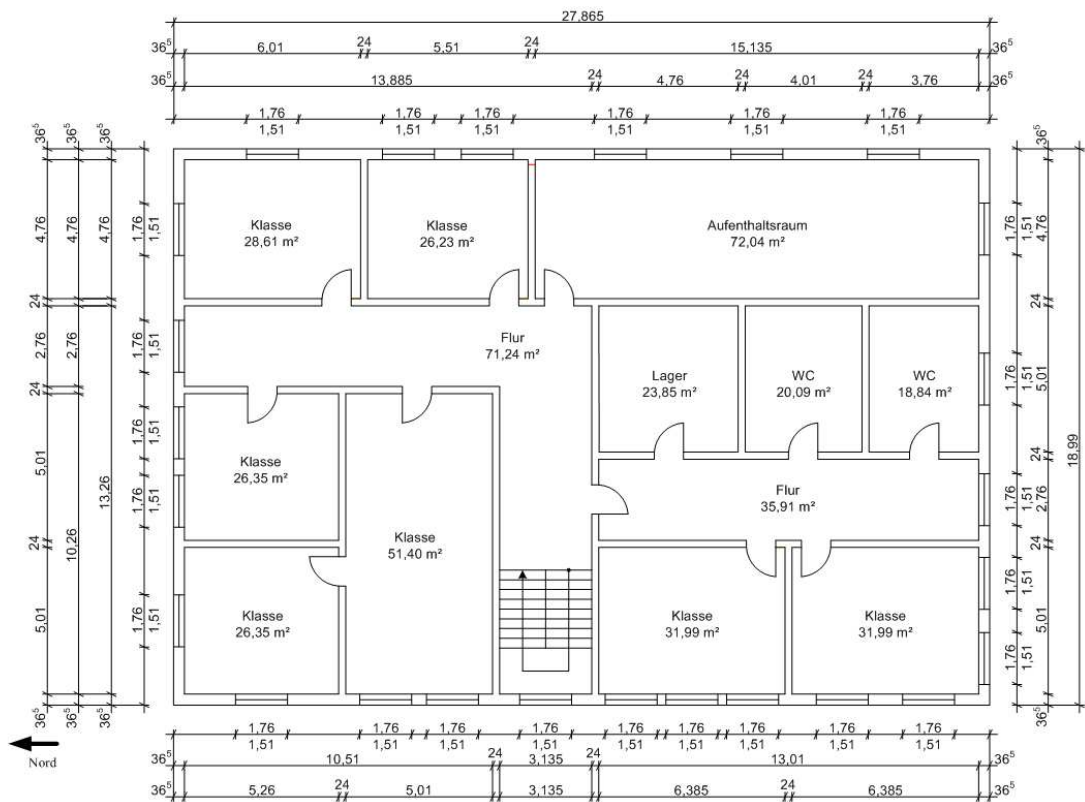


Bild 6.1-4: Grundriss 2. Obergeschoss [A12]

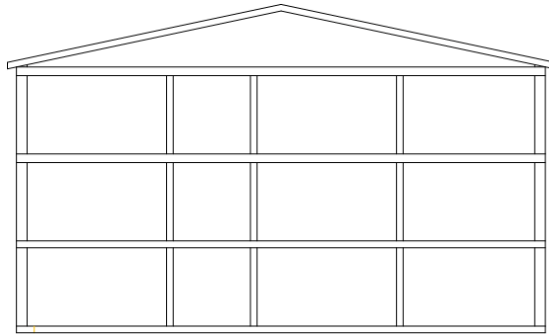


Bild 6.1-5: Schnitt von Süd nach Nord

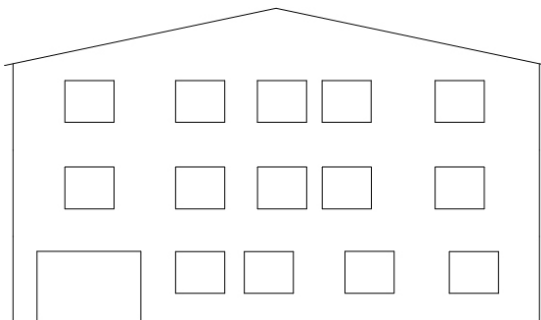


Bild 6.1-6: Ansicht Nord

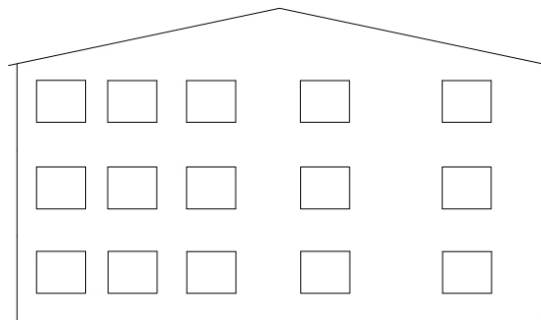


Bild 6.1-7: Ansicht Süd

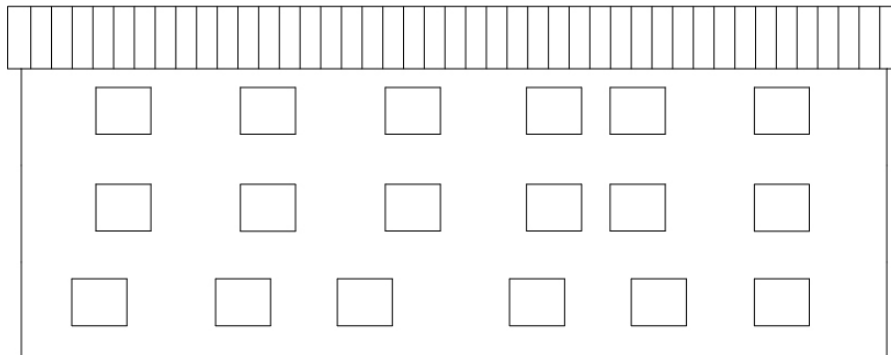


Bild 6.1-8: Ansicht Ost

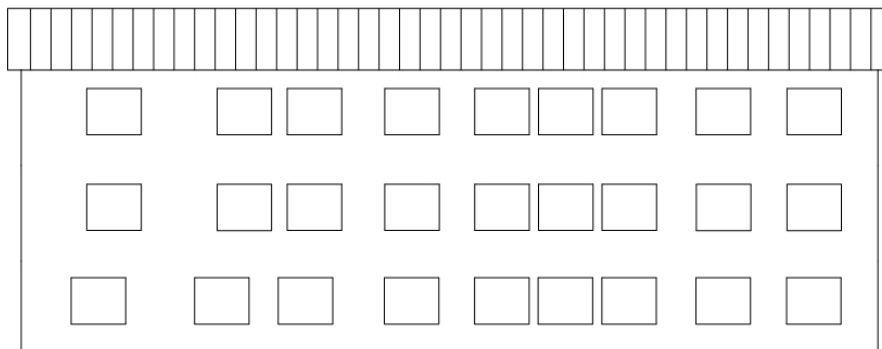


Bild 6.1-9: Ansicht West

Die sich für das Schulgebäude ergebenden Eingangsdaten, die für die Bilanzierung bzw. für die Eingabe in die Software [C] notwendig sind, werden nachfolgend tabellarisch erfasst.

Tabelle 6.1-1: Eingangsdaten Bauteile

Bauteil / System	Eigenschaft	Ausführung
Außenwände	Wärmedurchgangskoeffizient in $W/(m^2K)$	0,6
Fenster	Wärmedurchgangskoeffizient in $W/(m^2K)$	1,0
	Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung	0,5
	Lichttransmissionsgrad der Verglasung	0,69
	Sonnenschutzvorrichtung	keine
Geschossdecke zum unbeheiztem Dachgeschoss	Wärmedurchgangskoeffizient in $W/(m^2K)$	0,5
Bodenplatte gegen Erdreich	Wärmedurchgangskoeffizient in $W/(m^2K)$	0,5
Außentür	Wärmedurchgangskoeffizient in $W/(m^2K)$	3,5
Berücksichtigung von Wärmebrücken	Pauschaler Wärmebrückenzuschlag in $W/(m^2K)$	0,1
Gebäudedichtheit	Kategorie III nach DIN V 18599-2; n_{50} -Wert in h^{-1}	6
Bauart	Mittelschwere Gebäudezone in $Wh/(m^2K) / A_{NGF}$	90,00

Tabelle 6.1-2: Beleuchtung

Bauteil / System	Eigenschaft	Ausführung
Beleuchtungsart	Lampenart, Art des Vorschaltgerätes	stabförmige Leuchtstofflampen mit elektronischem Vorschaltgerät (KVG)
Beleuchtungsregelung	Art der Präsenzkontrolle	manuell ohne Präsenzmelder

Tabelle 6.1-3: Heizwärme

Bauteil / System	Eigenschaft	Ausführung
Heizwärme	Art und Lage der Erzeugung und des Rohrnetzes, Lage der Verteillleitungen, Steig- und Anbindeleitungen Systemtemperatur Hydraulischer Abgleich Pumpenauslegung, Speicher	Niedertemperaturkessel Gas-Spezial-Heizkessel innerhalb der beheizten Zone, Zweirohrnetz, Leitungen im beheiztem Bereich, VL/ RL = 70/ 55°C, hydraulischer Abgleich, Speicher in beheizter Umgebung, Pumpe ist ungeregelt und überdimensioniert
Heizungswärmeübergabe	Art der Übergabe Regelgüte	Heizkörper, Thermostatventile, Proportionalitätsregler mit 1 K Regelbereich

6.1.1 Ein-Zonen-Modell

Auf Grundlage des EZMs ergeben sich die nachfolgend aufgeführten Daten sowie der Jahres-Primärenergiebedarf für das dargestellte Schulgebäude.

Tabelle 6.1.1-1: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türflächen in m²
Nord	126,36	49,30
Ost	209,91	47,84
Süd	135,80	39,86
West	185,99	71,76

Tabelle 6.1.1-2: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	529,16
Oberste Geschosdecke	529,16

Tabelle 6.1.1-3: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	1.394,89 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	1.925,14 m ²
Bruttovolumen	4.894,7 m ³
Perimeter (Umfang)	93,71 m

Tabelle 6.1.1-4: Jahres-Primärenergiebedarf

Jahres-Primärenergiebedarf in kWh/(m ² a)	
EZM	187,2

6.1.2 Mehr-Zonen-Modell

Für das beispielhafte Schulgebäude ergeben sich, aufgrund der anzuwendenden Zoneneinteilungskriterien, neun verschiedene Zonen die sich nach Tabelle 4.3-1 farblich von einander differenzieren lassen (Bild 6.1.2-1 bis Bild 6.1.2-3).

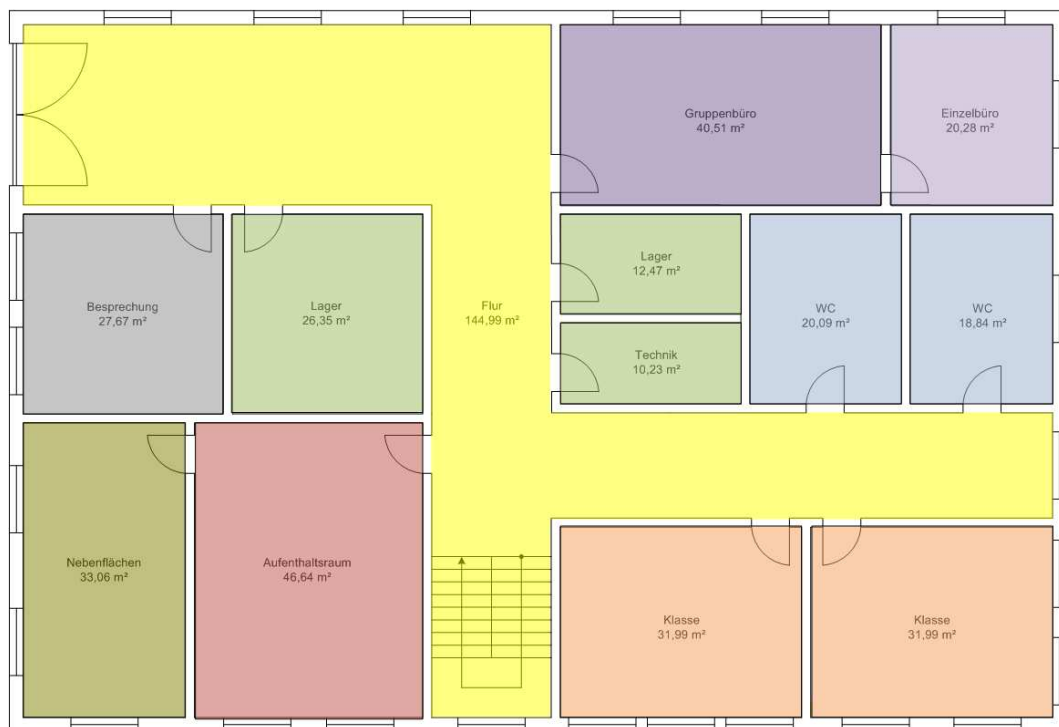


Bild 6.1.2-1: Zonierung Erdgeschoss

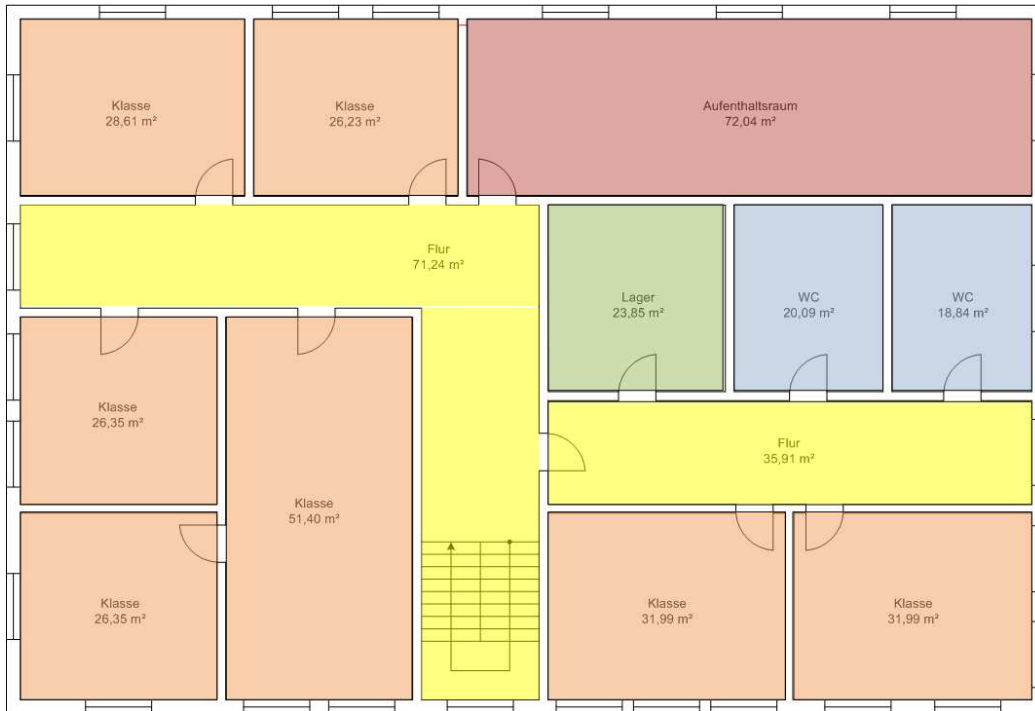


Bild 6.1.2-2: Zonierung 1.Obergeschoss

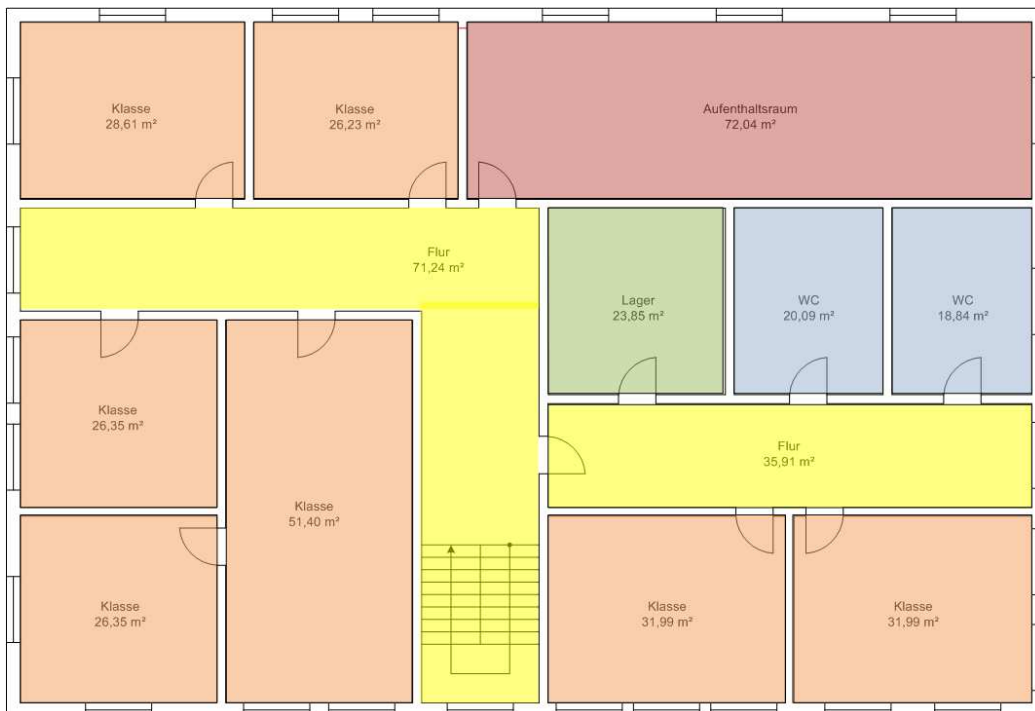


Bild 6.1.2-3: Zonierung 2.Obergeschoss

Die sich ergebenden Daten bezüglich der Zonierung werden nachfolgend für jede Zone tabellarisch aufgezeigt.

Zone 1: Einzelbüro

Tabelle 6.1.2-1: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Ost	11,81	2,66
Süd	13,34	2,66

Tabelle 6.1.2-2: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	24,89

Tabelle 6.1.2-3: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	20,28 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	55,36 m ²
Bruttovolumen	75,91 m ³
Perimeter (Umfang)	9,99 m

Zone 2: Gruppenbüro

Tabelle 6.1.2-4: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Ost	21,37	5,32

Tabelle 6.1.2-5: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	45,89

Tabelle 6.1.2-6: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	40,51 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	72,58 m ²
Bruttovolumen	139,96 m ³
Perimeter (Umfang)	8,75 m

Zone 4: Besprechung

Tabelle 6.1.2-7: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Nord	11,46	5,32

Tabelle 6.1.2-8: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	31,60

Tabelle 6.1.2-9: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	27,67 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	48,38 m ²
Bruttovolumen	96,38 m ³
Perimeter (Umfang)	5,50 m

Zone 8: Klassenzimmer

Tabelle 6.1.2-10: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Nord	77,88	21,26
Ost	59,97	15,95
Süd	34,88	15,95
West	137,19	55,81

Tabelle 6.1.2-11: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	74,16
Oberste Geschossdecke	256,52

Tabelle 6.1.2-12: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	509,82 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	749,57 m ²
Bruttovolumen	1816,61 m ³
Perimeter (Umfang)	18,99 m

Zone 16: WC

Tabelle 6.1.2-13: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Süd	40,59	7,97

Tabelle 6.1.2-14: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	44,60
Oberste Geschossdecke	44,60

Tabelle 6.1.2-15: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	116,79 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	137,76 m ²
Bruttovolumen	412,55 m ³
Perimeter (Umfang)	5,25 m

Zone 17: Sonstige Aufenthaltsräume

Tabelle 6.1.2-16: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Ost	80,89	15,95
Süd	27,2	5,32
West	13,74	5,32

Tabelle 6.1.2-17: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	51,53
Oberste Geschossdecke	81,93

Tabelle 6.1.2-18: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	190,72 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	281,88 m ²
Bruttovolumen	665,13 m ³
Perimeter (Umfang)	6,25 m

Zone 18: Nebenflächen

Tabelle 6.1.2-19: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Nord	19,83	5,32
West	11,81	2,66

Tabelle 6.1.2-20: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	39,12

Tabelle 6.1.2-21: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	33,06 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	78,74 m ²
Bruttovolumen	119,32 m ³
Perimeter (Umfang)	12,99 m

Zone 19: Verkehrsflächen

Tabelle 6.1.2-22: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Nord	17,19	17,41
Ost	35,86	7,97
Süd	19,78	7,97
West	23,25	7,97

Tabelle 6.1.2-23: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	126,25
Oberste Geschossdecke	119,86

Tabelle 6.1.2-24: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	359,29 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	419,51 m ²
Bruttovolumen	1238,00 m ³
Perimeter (Umfang)	25,99 m

Zone 20: Lager, Technik, Archiv

Tabelle 6.1.2-25: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	55,13
Oberste Geschossdecke	26,25

Tabelle 6.1.2-26: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	96,75 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	81,38 m ²
Bruttovolumen	330,90 m ³

Tabelle 6.1.2-27: Jahres-Primärenergiebedarf

Jahres-Primärenergiebedarf in kWh/(m²a)	
MZM	206,6

6.1.3 Verbessertes-Ein-Zonen-Modell

Für das verbesserte Modell ergeben sich die in den Tabellen 6.1.3-1 bis 6.1.3-3 ermittelten Daten. Diese Grunddaten sind identisch mit denen auf Grundlage des EZMs, da für das VEZM der Ansatz auf dem des EZMs beruht.

Tabelle 6.1.3-1: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Nord	126,36	49,30
Ost	209,91	47,84
Süd	135,80	39,86
West	185,99	71,76

Tabelle 6.1.3-2: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	529,16
Oberste Geschosdecke	529,16

Tabelle 6.1.3-3: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	1.394,89 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	1.925,14 m ²
Bruttovolumen	4.894,7 m ³
Perimeter (Umfang)	93,71 m

Nachdem die Grunddaten auf Grundlage des EZMs ermittelt wurden, erfolgt die Zonierung. Die sich ergebenden Zonen sind den Bildern 6.1.2-1 bis 6.1.2-3 zu entnehmen.

Für die neun Zonen sind, nach entsprechender prozentualer Aufteilung, die neuen Nutzungswerte nach Gleichung (128) bzw. Gleichung (129) zu ermitteln und ergeben sich dann wie folgt (Bild 6.1.3-1 bis Bild 6.1.3-3).

Nutzung	Zone	ANGF	%	tägliche Nutzungszeit			tägl. Betriebszeit RLT u. Kühl.					dop,a
				von	bis	dnutz,a	ttag	tNacht	von	bis		
Einzelbüro	1	20,28	1,45	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250	
Gruppenbüro	2	40,51	2,90	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250	
Besprechung/ Sitzung	4	27,67	1,98	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250	
Klassenzimmer	8	509,82	36,55	08:00	15:00	200	1398	2	06:00	15:00	200	
WC	16	116,79	8,37	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250	
Aufenthalt	17	190,72	13,67	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250	
Nebenflächen	18	33,06	2,37	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250	
Verkehrsflächen	19	359,29	25,76	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250	
Lager/ Technik/ Archiv	20	96,75	6,94	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250	
Neu		1394,89	100	07:21	16:54	232	2125	132	05:21	16:54	232	

09:32

11:32

Bild 6.1.3-1: Ermittlung der Nutzungswerte nach dem VEZM [A15]

tägliche Betriebszeit Heizung		m³/(hm²)		m³ je h und P.		Luftwechsel allgemein		Luftwechsel Kühlfunktion					
von	bis	VA	VA	von	bis	von	bis	Em	hNe	kA	CA	k	Ft
05:00	18:00	40	4	2	3	4	8	500	0,8	0,84	0,3	0,9	0,7
05:00	18:00	40	4	2	3	4	8	500	0,84	0,92	0,3	1,25	0,7
05:00	18:00	20	15	5	7	10	15	500	0,8	0,93	0,5	1,25	1
06:00	15:00	30	10	0	0	0	0	300	0,8	0,97	0,25	2	0,9
05:00	18:00	0	15	0	0	0	0	100	0,8	1	0,9	0,8	1
05:00	18:00	0	7	0	0	0	0	300	0,8	0,93	0,5	1,25	1
05:00	18:00	0	0,15	0	0	0	0	100	0,8	1	0,9	1,5	1
05:00	18:00	0	0	0	0	0	0	100	0	1	0,8	0,8	1
05:00	18:00	0	0,15	0	0	0	0	100	0,8	1	0,98	1,5	1
05:21	16:54	13,10	6,35	0,2	0,3	0,4	0,6	225,81	0,60	0,97	0,55	1,39	0,95

11:32

Bild 6.1.3-2: Ermittlung der Nutzungswerte nach dem VEZM [A16]

max. Belegungsdichte			Personen (interne Quellen)				Arbeitshilfen				Wärmezufuhr je Tag		
gering	mittel	hoch	h/d	tief	mittel	hoch	h/d	tief	mittel	hoch	tief	mittel	hoch
18	14	10	6	4	5	7	6	3	7	15	42	72	132
18	14	10	6	4	5	7	6	3	7	15	42	72	132
4	3	2	4	18	24	35	4	1	2	3	76	104	152
3,5	3	2,5	5	17	20	24	5	2	4	6	95	120	150
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	2	4	18	23	35	4	1	2	3	76	100	152
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	2	2,72	9,2	11,1	14,6	2,72	1,0	2,1	3,3	48,5	62,7	84,4

Bild 6.1.3-3: Ermittlung der Nutzungswerte nach dem VEZM [A17]

Tabelle 6.1.3-4: Jahres-Primärenergiebedarf auf Grundlage des VEZMs

Jahres-Primärenergiebedarf in kWh/(m²a)	
VEZM	214,0

6.2 Beispielgebäude 2

Bei dem vorliegenden Beispielgebäude 2, welches in den Bildern 6.2-1 bis 6.1-8 dargestellt ist, handelt es sich um ein nicht unterkellertes Schulgebäude aus dem Jahr 1990. Das Gebäude besteht aus zwei beheizten Vollgeschossen. Das Dachgeschoss ist unbeheizt und bleibt bei den weiteren Betrachtungen unberücksichtigt. Somit bildet die oberste Geschosdecke den Gebäudeabschluss.

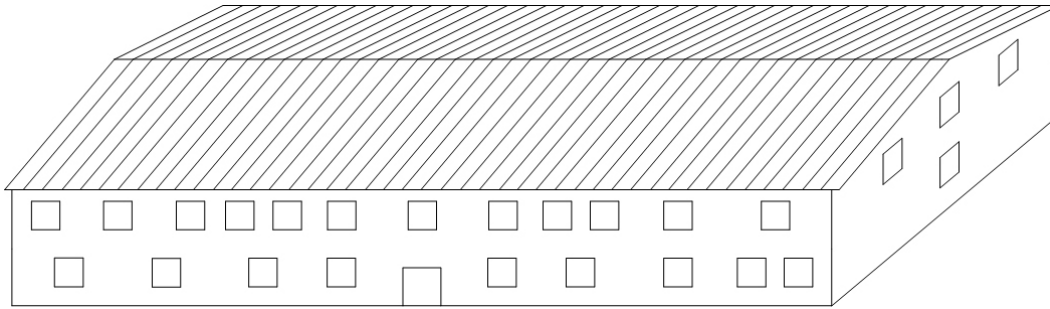


Bild 6.2-1: Ansicht Nord und West in einem 3D-Modell

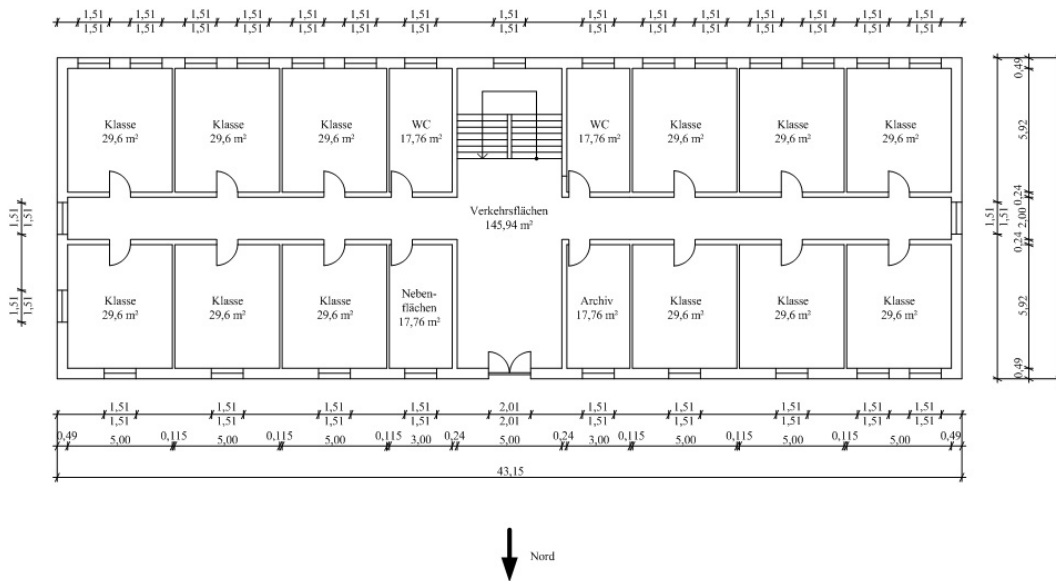


Bild 6.2-2: Grundriss Erdgeschoss [A13]

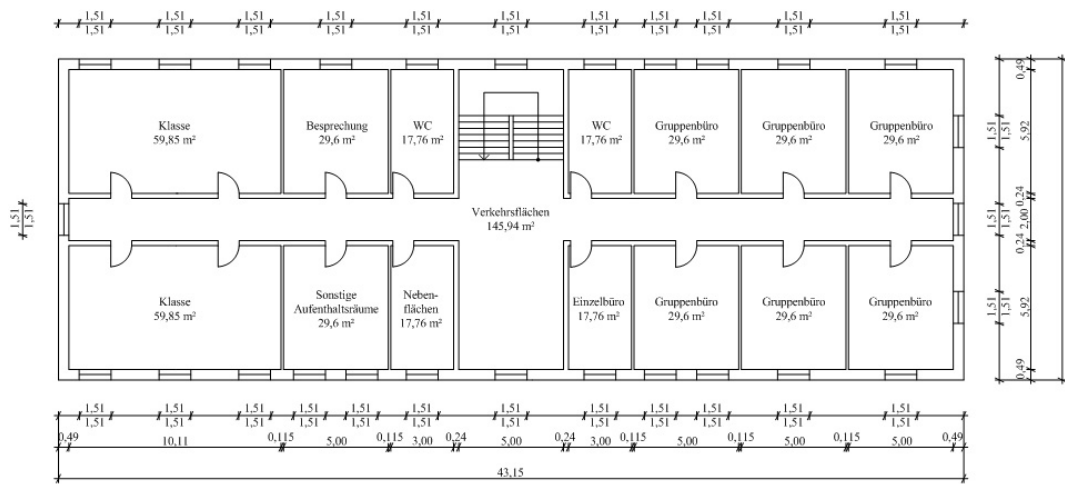


Bild 6.2-3: Grundriss Obergeschoss [A14]

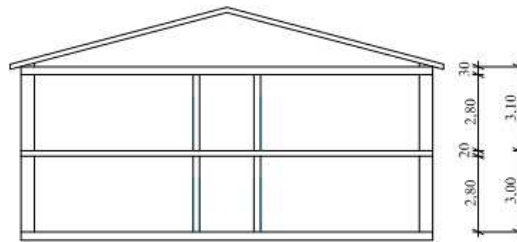


Bild 6.2-4: Schnitt

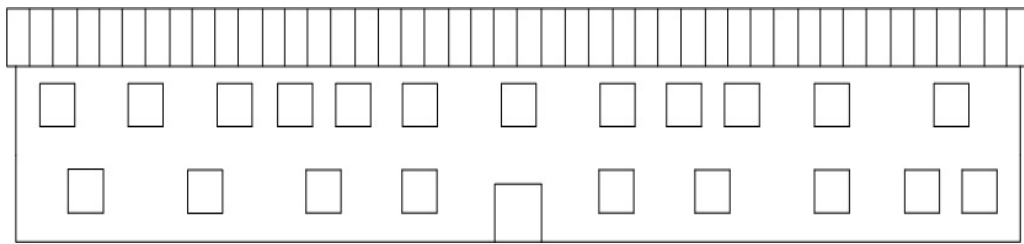


Bild 6.2-5: Nordansicht

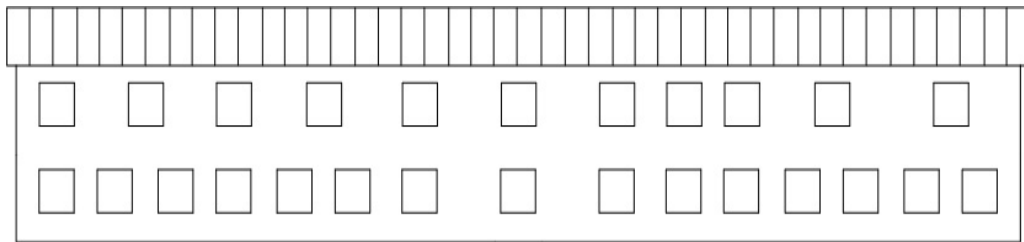


Bild 6.2-6: Südansicht

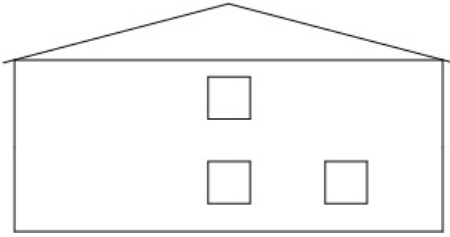


Bild 6.2-7: Ostansicht

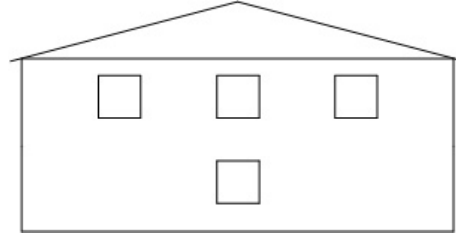


Bild 6.2-8: Westansicht

Die sich ergebenden Daten für die Bilanzierung bzw. für die Eingabe in die Software werden nachfolgend tabellarisch aufgeführt.

Tabelle 6.2-1: Eingangsdaten Bauteile

Bauteil / System	Eigenschaft	Ausführung
Außenwände	Wärmedurchgangskoeffizient in $W/(m^2K)$	1,0
Fenster	Wärmedurchgangskoeffizient in $W/(m^2K)$	3,3
	Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung	0,72
	Lichttransmissionsgrad der Verglasung	0,74
	Sonnenschutzvorrichtung	keine
Geschossdecke zum unbeheizten Dachgeschoss	Wärmedurchgangskoeffizient in $W/(m^2K)$	0,8
Bodenplatte gegen Erdreich	Wärmedurchgangskoeffizient in $W/(m^2K)$	0,8
Außentür	Wärmedurchgangskoeffizient in $W/(m^2K)$	3,5
Berücksichtigung von Wärmebrücken	Pauschaler Wärmebrückenzuschlag in $W/(m^2K)$	0,1
Gebäudedichtheit	Kategorie III nach DIN V 18599-2; n_{50} -Wert in h^{-1}	6
Bauart	Mittelschwere Gebäudezone in $Wh/(m^2K) / A_{NGF}$	90,00

Tabelle 6.1-2: Beleuchtung

Bauteil / System	Eigenschaft	Ausführung
Beleuchtungsart	Lampenart, Art des Vorschaltgerätes	stabförmige Leuchtstofflampen mit elektr. Vorschaltgerät (KVG)
Beleuchtungsregelung	Art der Präsenzkontrolle	manuell ohne Prä- senzmelder

Tabelle 6.1-3: Heizwärme

Bauteil / System	Eigenschaft	Ausführung
Heizwärme	Art und Lage der Erzeugung und des Rohrnetzes, Lage der Verteilleitungen, Steig- und Anbindeleitungen Systemtemperatur Hydraulischer Abgleich Pumpenauslegung, Speicher	Niedertemperaturkessel Gas-Spezial- Heizkessel innerhalb der beheizten Zone, Zweirohrnetz, Leitungen im beheiztem Bereich, VL/ RL - 70/ 55°C, kein hydraulischer Abgleich, elektr. Kesselregelung vorhanden, Speicher in beheizter Umgebung, Pumpe überdimensioniert und ungeregelt
Heizungswärmeübergabe	Art der Übergabe Regelgüte	Heizkörper, Thermostatventile, Proportionalitätsregler mit 1 K Regelbereich

6.2.1 Ein-Zonen-Modell

Auf Grundlage des EZMs ergeben sich die nachfolgend aufgeführten Daten sowie der Jahres-Primärenergiebedarf für das dargestellte Schulgebäude.

Tabelle 6.2.1-1: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m ²	Fensterflächen bzw. Türflächen in m ²
Nord	211,30	51,92
Ost	86,49	6,84
Süd	203,94	59,28
West	84,21	9,12

Tabelle 6.2.1-2: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m ²
Bodenplatte auf Erdreich	660,195
Oberste Geschosdecke	660,195

Tabelle 6.2.1-3: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	1145,66 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	2033,50 m ²
Bruttovolumen	4027,19 m ³
Perimeter (Umfang)	116,9 m

Tabelle 6.2.1-4: Jahres-Primärenergiebedarf

Jahres-Primärenergiebedarf in kWh/(m ² a)	
EZM	294,9

6.2.2 Mehr-Zonen-Modell

Für das beispielhafte Schulgebäude ergeben sich neun verschiedene Zonen die nachfolgend graphisch und farblich dargestellt sind (Bild 6.2.2-1 und Bild 6.2.2-2).

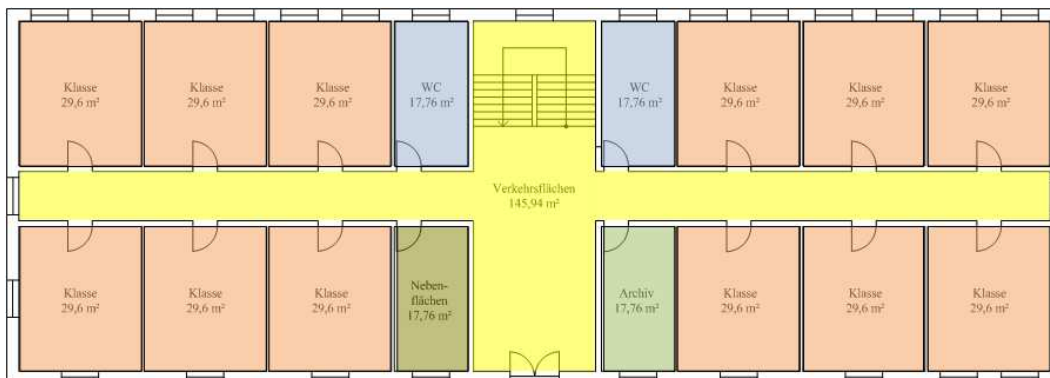


Bild 6.2.2-1: Zonierung Erdgeschoss

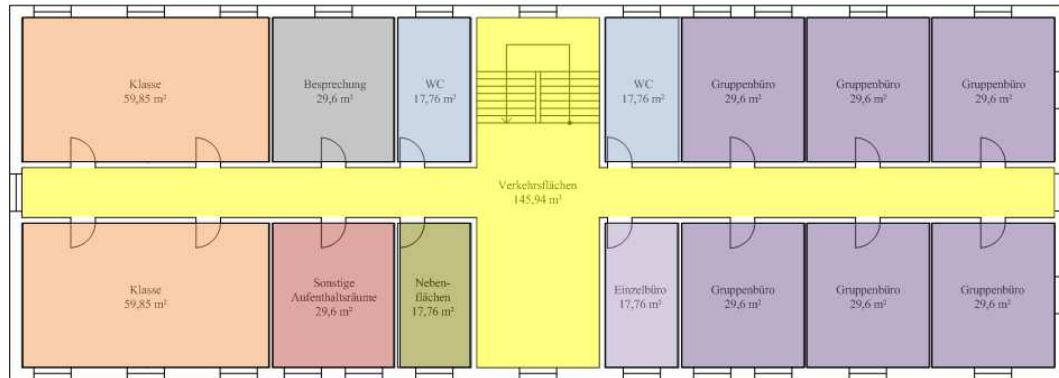


Bild 6.2.2-2: Zonierung Obergeschoss

Zone 1: Einzelbüro

Tabelle 6.2.2-1: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m ²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m ²
Nord	7,57	2,28

Tabelle 6.2.2-2: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m ²
Oberste Geschossdecke	20,75

Tabelle 6.2.2-3: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	17,76 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	30,60 m ²
Bruttovolumen	64,33 m ³

Zone 2: Gruppenbüro

Tabelle 6.2.2-4: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m ²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m ²
Nord	39,79	9,12
Süd	39,79	9,12
West	35,93	4,56

Tabelle 6.2.2-5: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Oberste Geschossdecke	206,05

Tabelle 6.2.2-6: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	177,60 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	344,36 m ²
Bruttovolumen	638,76 m ³

Zone 4: Besprechung

Tabelle 6.2.2-7: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Süd	13,58	2,28

Tabelle 6.2.2-8: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Oberste Geschossdecke	33,40

Tabelle 6.2.2-9: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	29,60 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	49,26 m ²
Bruttovolumen	103,54 m ³

Zone 8: Klassenzimmer

Tabelle 6.2.2-10: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Nord	104,9	22,80
Ost	77,39	2,28
Süd	93,50	34,20
West	39,18	-

Tabelle 6.2.2-11: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	412,11
Oberste Geschossdecke	139,19

Tabelle 6.2.2-12: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	474,90 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	925,55 m ²
Bruttovolumen	1667,82 m ³
Perimeter (Umfang)	89,23 m

Zone 16: WC

Tabelle 6.2.2-13: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Süd	29,65	9,12

Tabelle 6.2.2-14: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	41,50
Oberste Geschossdecke	41,50

Tabelle 6.2.2-15: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	71,04 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	121,77 m ²
Bruttovolumen	253,15 m ³
Perimeter (Umfang)	6,36 m

Zone 17: Sonstige Aufenthaltsräume

Tabelle 6.2.2-16: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Nord	11,30	4,56

Tabelle 6.2.2-17: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Oberste Geschossdecke	33,40

Tabelle 6.2.2-18: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	29,60 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	49,26 m ²
Bruttovolumen	103,54 m ³

Zone 18: Nebenflächen

Tabelle 6.2.2-23: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Nord	14,82	4,56

Tabelle 6.2.2-19: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	20,75
Oberste Geschossdecke	20,75

Tabelle 6.2.2-20: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	35,52 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	60,88 m ²
Bruttovolumen	126,58 m ³
Perimeter (Umfang)	3,18 m

Zone 19: Verkehrsflächen

Tabelle 6.2.2-21: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Nord	25,64	6,32
Ost	9,10	4,56
Süd	27,40	4,56
West	9,10	4,56

Tabelle 6.2.2-22: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	165,09
Oberste Geschossdecke	165,09

Tabelle 6.2.2-23: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	291,88 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	421,42 m ²
Bruttovolumen	1007,05 m ³
Perimeter (Umfang)	14,96 m

Zone 20: Lager, Technik, Archiv

Tabelle 6.2.2-24: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Nord	7,25	2,28

Tabelle 6.2.2-25: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	20,75

Tabelle 6.2.2-26: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	17,76 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	30,28m ²
Bruttovolumen	62,25 m ³
Perimeter (Umfang)	3,18 m

Tabelle 6.2.2-27: Jahres-Primärenergiebedarf

Jahres-Primärenergiebedarf in kWh/(m²a)	
MZM	311,0

6.2.3 Verbessertes-Ein-Zonen-Modell

Für das verbesserte Modell ergeben sich die nachfolgend tabellierten Daten, die sich bezüglich der Zonierung ergeben. Die Ermittlung dieser Grunddaten beruhen auf den Grundlagen des EZMs.

Tabelle 6.2.3-1: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Orientierung	Außenwandfläche in m²	Fensterflächen bzw. Türfläche in m²
Nord	211,30	51,92
Ost	86,49	6,84
Süd	203,94	59,28
West	84,21	9,12

Tabelle 6.2.3-2: Wärmeübertragende Umfassungsfläche

Bauteil	Fläche in m²
Bodenplatte auf Erdreich	660,195
Oberste Geschosdecke	660,195

Tabelle 6.2.3-3: Grunddaten

Grunddaten	
Nettogrundfläche	1145,66 m ²
Wärmeübertragende Umfassungsfläche	2033,50 m ²
Bruttovolumen	4027,19 m ³
Perimeter (Umfang)	116,9 m

Nutzung	Zone	ANGF	%	tägliche Nutzungszeit			täg. Betriebszeit RLT u. Kühl.				
				von	bis	d _{nutz,a}	t _{Tag}	t _{Nacht}	von	bis	d _{op,a}
Einzelbüro	1	17,76	1,55	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Gruppenbüro	2	177,6	15,50	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Besprechung/ Sitzung	4	29,6	2,58	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Klassenzimmer	8	474,9	41,45	08:00	15:00	200	1398	2	06:00	15:00	200
WC	16	71,04	6,20	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Aufenthalt	17	29,6	2,58	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Nebenflächen	18	35,52	3,10	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Verkehrsflächen	19	291,88	25,48	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Lager/ Technik/ Archiv	20	17,76	1,55	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Neu		1145,66	100	07:24	16:45	229	2068	122	05:24	16:45	229

Bild 6.2.3-1: Ermittlung der Nutzungswerte nach dem VEZM [A18]

tägliche Betriebszeit Heizung		m³/(hm²)	m³ je h und P	Luftwechsel allgemein		Luftwechsel Kühlfunktion							
von	bis	VA	VA	von	bis	von	bis	Em	hNe	ka	CA	k	Ft
05:00	18:00	40	4	2	3	4	8	500	0,8	0,84	0,3	0,9	0,7
05:00	18:00	40	4	2	3	4	8	500	0,84	0,92	0,3	1,25	0,7
05:00	18:00	20	15	5	7	10	15	500	0,8	0,93	0,5	1,25	1
06:00	15:00	30	10	0	0	0	0	300	0,8	0,97	0,25	2	0,9
05:00	18:00	0	15	0	0	0	0	100	0,8	1	0,9	0,8	1
05:00	18:00	0	7	0	0	0	0	300	0,8	0,93	0,5	1,25	1
05:00	18:00	0	0,15	0	0	0	0	100	0,8	1	0,9	1,5	1
05:00	18:00	0	0	0	0	0	0	100	0	1	0,8	0,8	1
05:00	18:00	0	0,15	0	0	0	0	100	0,8	1	0,98	1,5	1
05:24	16:45	19,77	6,33	0,5	0,7	0,9	1,8	266,61	0,60	0,97	0,48	1,42	0,91

Bild 6.2.3-2: Ermittlung der Nutzungswerte nach dem VEZM [A19]

max. Belegungsdichte			Personen (interne Quellen)				Arbeitshilfen				Wärmezufuhr je Tag		
gering	mittel	hoch	h/d	tief	mittel	hoch	h/d	tief	mittel	hoch	tief	mittel	hoch
18	14	10	6	4	5	7	6	3	7	15	42	72	132
18	14	10	6	4	5	7	6	3	7	15	42	72	132
4	3	2	4	18	24	35	4	1	2	3	76	104	152
3,5	3	2,5	5	17	20	24	5	2	4	6	95	120	150
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	2	4	18	23	35	4	1	2	3	76	100	152
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	4	3	3,30	8,7	10,4	13,0	3,30	1,4	3,0	5,2	50,5	67,3	92,5

Bild 6.2.3-3: Ermittlung der Nutzungswerte nach dem VEZM [A20]

Tabelle 6.2.3-4: Jahres-Primärenergiebedarf

Jahres-Primärenergiebedarf in kWh/(m²a)	
VEZM	315,5

6.3 Beispielgebäude

In den nachfolgenden Übersichten sind alle, der Arbeit zu Grunde gelegten 45 Schulgebäuden, hinsichtlich der wichtigsten Daten dargestellt.

Bsp.	A	NGF	Ve	Anzahl Zonen	Anzahl n	2 / 3	Zeit			Zeit Eingabe PC			Jahres-Primärenergiebedarf		
							EZM	MZM	NEU	EZM	MZM	NEU	EZM	MZM	NEU
1	279,14	71	261,22	3	1	ja	4	8	6				574,7	660	650
													85,3		10
2	441,2	123,04	455,22	4	1	ja	4	9	6				479	503	509,2
													24		6,2
3	611,52	262,71	951,66	5	2	ja	5	17	7				310	320,3	330,3
													10,3		10
4	611,52	262,71	951,66	7	2	ja	5	17	7				310	324,2	331,6
													14,2		7,4
5	956,72	298,27	1090,62	5	1	ja	4	12	6				434,9	453,7	461
													18,8		7,3
6	1091,98	555,32	1881,66	7	2	ja							243,4	248,3	253,6
													4,9		5,3
7	888,88	276,79	968,26	4	1	ja							299,8	319,6	330,8
													19,8		11,2
8	1389,38	965,82	3196,08	7	3	nein	5	18	7	9	17	3	257,5	288,5	285,7
													31		2,8
9	1051	341,13	1202,97	8	1		5	15	7	7	15	3	288,9	307,2	314,2
													18,3		7
10	1925,14	1394,89	4894,73	9	3		25	85	27	8	21	3	187,2	206,6	214
													19,4		7,4
11	1005	288,65	1149,54	8	1		20	55	22	7	20	3	400	441,7	449,2
													41,7		7,5
12	926,6	373,38	1460,81	7	2		20	60	22	7	20	3	290,1	337,6	329,1
													47,5		8,5
13	1575,7	1066,86	3880,89	9	3		13	80	15	8	19	3	310,3	344,8	340,8
													34,5		4
14	1593,56	496,78	2012,84	8	1		18	85	20	7	18	3	384,6	397,9	404,6
													13,3		6,7
15	2162,42	596,04	2753,33	9	1		26	95	28	8	21	3	458,9	484,4	483,7
													25,5		0,7
16	1593,56	496,78	2012,84	8	1		18	85	20	7	18	3	384,6	404,2	411,7
													19,6		7,5

Bsp.	A	NGF	Ve	Anzahl Zonen	Anzahl n	2 / 3	Zeit			Zeit Eingabe PC			Jahres-Primärenergiebedarf		
							EZM	MZM	NEU	EZM	MZM	NEU	EZM	MZM	NEU
1	4893,68	2262,64	10616,4	3	2	ja							326,8	332,5	337,3
													5,7		4,8
2	2841,31	1408,6	5585,7	4	2	ja							226,1	243,6	236,6
													17,5		7
3	3675,14	1705,33	6928	5	2	ja							193,8	201	207
													7,2		6
4	8565,39	5140	23404,9	4	4								305	313,3	317,1
													8,3		3,8

Bsp.	A	NGF	Ve	Anzahl Zonen	Anzahl n	2 / 3	Zeit			Zeit Eingabe PC			Jahres-Primärenergiebedarf		
							EZM	MZM	NEU	EZM	MZM	NEU	EZM	MZM	NEU
17	1593,56	496,78	2012,84	9	1		18	85	20	7	18	3	384,6	399,7	403,7
													15,1		4
18	1005	288,65	1149,54	6	1		20	55	22	7	20	3	400	433	446,9
													33		13,9
19	1732,34	585,2	2457,84	7	1		17	45	19	7	14	3	309,5	331,3	331,2
													21,8		0,1
20	2244,86	1136,26	4707,38	7	2		20	65	22	7	12	3	362,1	402,2	409,2
													40,1		7
21	1975,98	1342,98	4913,18	7	3		15	75	17				193,4	205,9	214,1
													12,5		8,2
22	1648,6	895,32	3224,28	8	2		15	70	17				207,7	226,4	230,3
													18,7		3,9
23	1648,6	895,32	3224,28	8	2		15	70	17				207,7	234,6	236,2
													26,9		1,6
24	2323,78	751,43	2942,91	6	1		12	55	14				377,8	400,9	404,3
													23,1		3,4
25	2323,78	751,43	2942,91	6	1		12	55	14				377,8	399,9	400,9
													22,1		1
26	2323,78	751,43	2942,91	6	1		12	55	14				377,8	399	401,9
													21,2		2,9
27	2323,78	751,43	2942,91	6	1		12	55	14				377,8	401,8	404,9
													24		3,1
28	1099,7	554,25	1913,21	7	2		20	55	22				285,5	299,4	309
													13,9		9,6

Bsp.	A	NGF	Ve	Anzahl Zonen	Anzahl n	2 / 3	Zeit			Zeit Eingabe PC			Jahres-Primärenergiebedarf		
							EZM	MZM	NEU	EZM	MZM	NEU	EZM	MZM	NEU
A	1888,14	599,58	2780,92	4	1								349,9	368,2	366,9
													18,3		1,3
B	1888,14	599,58	2780,92	4	1								349,9	391	374
													41,1		17
C	1888,14	599,58	2780,92	5	1								349,9	368,5	374,5
													18,6		6
D	1888,14	599,58	2780,92	5	1								349,9	377,4	380,9
													27,5		3,5
E	1888,14	599,58	2780,92	5	1								349,9	370,8	376,2
													20,9		5,4
F	1888,14	599,58	2780,92	5	1								349,9	366,9	374
													17		7,1
G	1888,14	599,58	2780,92	3	1								349,9	370	367,9
													20,1		2,1
1	2033,5	1145,66	4027,19	8	2		8	80	10	7	20	4	294,9	323,1	323,4
													28,2		0,3
2	2033,5	1145,66	4027,19	8	2		8	85	10	7	15	4	294,9	322,1	319,5
													27,2		2,6
3	2033,5	1145,66	4027,19	9	2		8	50	10	7	14	4	294,9	307,2	310
													12,3		2,8
4	2033,5	1145,66	4027,19	9	2		8	45	10	7	13	4	294,9	311	315,5
													16,1		4,5
5	2033,5	1145,66	4027,19	9	2		8	70	10	7	15	4	294,9	311,9	318,8
													17		6,9
6	2033,5	1145,66	4027,19	9	2		8	60	10	7	15	4	294,9	311,9	319,1
													17		7,2

7 Zusammenfassung, Fazit und Ausblick

Bei der energetischen Modernisierung von Gebäuden bilden Bestandsgebäude (gerade ältere Gebäude) einen Schwerpunkt. Durch die Modernisierung von Bestandsgebäuden kann der Gesamtenergieverbrauch stark reduziert werden, das trifft vor allem auf Gebäude aus dem Zeitraum vor Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung (WSchV) zu. Diese Gebäude weisen meist einen schlechten energetischen Zustand auf. Hieraus ergibt sich ein enormes Einsparpotenzial an Heizenergie und somit auch an CO₂-Ausstoß, wodurch ein Beitrag zum Klimaschutzziel geleistet werden würde.

Die schon mehrfach novellierte Energieeinsparverordnung (EnEV) enthält verbindliche Anforderungen, um das Ziel der Senkung des Heizenergiebedarfs (CO₂-Emissionsminderung) zu erreichen und somit einen Beitrag zum Klimaschutz zu geben. Eine der Anforderungsgrößen der EnEV ist der Jahres-Primärenergiebedarf. Der Jahres-Primärenergiebedarf ist die berechnete Energiemenge, die zusätzlich zum Energiegehalt des notwendigen Brennstoffs und der Hilfsenergien für die Anlagentechnik auch die Energiemengen mit einbezieht, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung des jeweils eingesetzten Brennstoffs entstehen.

Diese Bedarfsgröße für Nichtwohngebäude wird unter Einsatz von bestimmten Randbedingungen nach dem Berechnungsverfahren der DIN V 18599 bestimmt. Durch das Berechnungsverfahren nach DIN V 18599 wird die Gesamtbilanz eines Gebäudes erstellt, die den baulichen Wärmeschutz (Gebäudehülle) und auch die Anlagentechnik umfasst.

Bei der DIN V 18599 handelt es sich um eine Vornorm zur energetischen Bewertung von Nichtwohngebäuden. Die DIN V 18599 ist mit ihren über 800 Seiten sehr umfangreich und komplex. Durch diese komplexe Thematik der DIN V 18599 entstehen unweigerlich Probleme in verschiedenen Bereichen. Beispielsweise ergeben sich größere Unterschiede in den Berechnungsergebnissen für die energetische Kenngröße Jahres-Primärenergiebedarf, wenn die Berechnung nach unterschiedlichen Verfahren, die die DIN V 18599 vorsieht, durchgeführt wird.

In vielen Fällen liegen bei Nichtwohngebäuden verschiedene Nutzungen vor, die zu unterschiedlichen energetischen Auswirkungen führen können. Um die unterschiedlichen energetischen Auswirkungen in einem Nichtwohngebäude realitäts-gener erfassen zu können, wird das Gebäude in Zonen mit gleichen Nutzungs-Randbedingungen eingeteilt, d. h. zoniert. Die DIN V 18599 sieht für den Regelfall ein sogenanntes Mehr-Zonen-Modell (MZM) vor, bei dem das betrachtete Nichtwohngebäude in verschiedene Zonen eingeteilt wird. Auf Grundlage des Mehr-Zonen-Modells wird der Jahres-Primärenergiebedarf mit dem in der DIN V 18599 angegebenen Bilanzierungsverfahren berechnet. Der Vorteil bei der Anwendung des MZMs liegt in der genaueren Erfassung der Nutzungs-Randbedingungen, wodurch sich die energetische Kenngröße Jahres-Primärenergiebedarf relativ genau berechnen lässt. Der wesentliche Nachteil des MZMs besteht allerdings darin, dass der Aufwand für die Zonierung und die da-

mit verbundenen Datenermittlungen sowie die nachfolgende Berechnung unverhältnismäßig hoch ist.

Aus diesem Grund gestattet es die EnEV, das für bestimmte Gebäudetypen (z.B. Schulgebäude, Bürogebäude) vereinfachend ein Ein-Zonen-Modell (EZM) als Grundlage für die Bilanzierung und Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs verwendet werden darf. Durch die vereinfachte Zonierung (nur eine Zone beim EZM im Vergleich zu vielen Zonen beim MZM) werden der Bearbeitungsaufwand und damit der Zeitfaktor deutlich reduziert.

Allerdings ergeben sich beim direkten Vergleich zwischen dem EZM und MZM deutliche Unterschiede in den Berechnungsergebnissen (Jahres-Primärenergiebedarf). Die Abweichungen bezüglich des Jahres-Primärenergiebedarfs auf Grundlage des EZMs zu dem des MZMs können rund 15% betragen, wie eigene Untersuchungen ergeben haben.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dieser Problematik und zeigt Lösungswege auf. Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines geeigneten Modells, mit dem einerseits genaue Ergebnisse erzielt werden und andererseits der Bearbeitungsaufwand gegenüber dem MZM spürbar reduziert wird.

Der differierende Jahres-Primärenergiebedarf bei der Berechnung nach einem MZM im Vergleich zu einem EZM liegt vor allem im Bereich der Zonierung. Beim MZM wird jede Zone ermittelt, beim EZM bildet quasi die am stärksten vertretende Zone die Berechnungsgrundlage für den Jahres-Primärenergiebedarf (Hauptnutzung). Bei den in dieser Arbeit genutzten Beispielen handelt es sich um Schulgebäude. Das Nutzungsprofil für Schulgebäude ist das Klassenzimmer. Das Nutzungsprofil Klassenzimmer wird als Berechnungsgrundlage für die Ermittlung der Werte auf Grundlage des EZMs eingesetzt. Dies entspricht nicht den Daten, mit denen in einem MZM gerechnet wird. Die Nutzungsbedingungen eines Klassenzimmers unterscheiden sich stellenweise erheblich von den einzeln ermittelten Nutzungsbedingungen im MZM.

Als Haupt-Lösungsansatz wird eine Verbesserung bei der Zonierung vorgenommen und ein Verbessertes-Ein-Zonen-Modell (VEZM) eingeführt. Das VEZM arbeitet mit gewichteten Nutzungswerten und bindet sowohl Berechnungen des EZMs als auch das MZM mit ein. Der Vorteil des VEZMs gegenüber dem MZM ist die vereinfachte Datenermittlung im Bereich der Zonierung. Der wesentliche Vorteil besteht in der größeren Genauigkeit gegenüber dem EZM, d. h. die Berechnungsergebnisse (Jahres-Primärenergiebedarf) stimmen gut mit denen des MZMs überein.

Das Grund-Prinzip des VEZMs beruht auf einer prozentualen Aufteilung der einzelnen Nutzungswerte bezüglich der Nettogrundfläche je Zone. Durch diese verbesserten Nutzungswerte wird die Bilanzierung nicht mehr anhand von verallgemeinerten Werten (verallgemeinertes Nutzungsprofil) durch die Annahme einer vorrangig vorhandenen Zone bestimmt, sondern es ergibt sich ein ermittelter Durchschnittswert aller vorhandenen Zonen.

Durch die ermittelten Nutzungswerte wird ein neues Nutzungsprofil gebildet, das die Grundlage für weitere Berechnungen bildet. Beim VEZM wird durch den optimierter Ansatz eine hohe Ergebnisgenauigkeit bei der Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs, bei gleichzeitiger signifikanter Zeitersparnis, erreicht.

Beim VEZM lässt sich im Vergleich zum MZM für alle 45 Schulgebäude, die im Laufe der Arbeit untersucht und berechnet wurden, eine durchschnittliche Differenz des Jahres-Primärenergiebedarfs von nur 1,7 % erzielen. Sieht man dagegen die Abweichungen bezüglich des Jahres-Primärenergiebedarfs auf Grundlage des EZMs zum MZM, so liegen diese im Durchschnitt bei 6,4%.

Durch Analyse der Daten, die die Grundlage dieser Arbeit bilden, kann man folgende Aussagen treffen. Für den Anwendungsfall Schulgebäude, das mit Hilfe des VEZMs berechnet wird, kann im Durchschnitt ein genaueres Ergebnis bei der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs als beim EZM erreicht werden. Die Arbeit zeigt klar Tendenzen zu genaueren Ergebnissen und deutlicher Zeiteinsparung aufgrund der veränderten Ermittlung der Daten für die Zonierung.

In den genutzten Fallbeispielen zur Energiebilanzierung gibt es nicht berücksichtigte Daten wie Kühlung, Lüftung usw. Die Auswirkungen der nicht berücksichtigten Parameter auf die vorgestellten Verbesserungen durch das VEZM sind noch zu überprüfen. Hier müssen weiterführende Parameterstudien durchgeführt werden.

Nicht nur die Zonierung ist ein Faktor bei dem es zu Ergebnisabweichungen kommt. Die Ursachen für weitere Differenzen liegen vor allem im Bereich der Eingabe-Möglichkeiten, die die EnEV und auch die DIN V 18599 nicht klar regeln.

So besteht zum Beispiel die Möglichkeit den Jahres-Primärenergiebedarf mit unterschiedlichen Werten zu berechnen. Man hat die Wahl zwischen „Realen-Werten“ oder „Alternativen-Werten“ einsetzen. Bei den „Realen-Werten“ handelt es sich um Herstellerangaben, Produktwerte, gemessene Werte oder auch um genau berechnete Werte. Bei den „Alternativ-Werten“ handelt es sich um sogenannte Standard-Werte und um vereinfacht berechnete Werte. Die EnEV und auch die DIN V 18599 lassen darüberhinaus weitere Möglichkeiten zu, die das Berechnen flexibler machen sollen. Hiermit soll erreicht werden, dass bei nicht vorhandenen genau berechneten Werten angenommene Werte eingesetzt werden könnten.

Diese „Flexibilität“ kann ungewollte, nicht zu unterschätzende differierende Ergebnisse als Folge haben. Um weiterhin große Abweichungen in den Ergebnissen beim Jahres-Primärenergiebedarf zu vermeiden müssen dieser „Flexibilität“ Grenzen gesetzt werden. Wo genau die größten Differenzen auftreten, muss durch weitere Untersuchungen geklärt werden. Nach Möglichkeit müssen Optimierungen geschaffen werden, die wie beim VEZM eine Ergebnisannäherung und eine Vereinfachung in der Handhabung als Grundlage haben.

Realitätsnahe Werte bei einer Energiebilanzierung zu erreichen ist nicht ohne einen gewissen Aufwand bei der Ermittlung der tatsächlichen Daten möglich. Die Rechenverfahren zur Ermittlung der Werte lassen sich aber verbessern und vereinfachen. Dem Ziel, die Senkung des Jahres-Primärenergiebedarf mit Hilfe effizienter Modernisierungsmaßnahmen, kommt man mit dem VEZM ein Stück weit näher.

Als Fazit gebe ich eine Empfehlung für die nächste Novellierung der Energieeinsparverordnung. Nach weiteren Untersuchungen, wie die Übertragbarkeit auf andere Gebäudetypen und beim Auftreten von Klima- und/ oder Lüftungsanlagen, sollte das Verbesserte-Ein-Zonen-Modell anstelle des derzeitigen Ein-Zonen-Modells aufgenommen werden. Dadurch ist ein wesentlich genaueres Ergebnis zu erzielen bei einem relativ geringen Zeitaufwand. Desweiteren wäre der Einsatz des VEZMs in der Energieberatung denkbar um beispielsweise einen schnellen, aber doch schon genaueren Wert für den Jahres-Primärenergiebedarf (überschlägiger Jahres-Primärenergiebedarf) zu erhalten.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Lichtmeß M.: Vereinfachtes Flächenerfassungsmodell für Mehrzonenbilanzen; In Bauphysik 31 (2009), Heft 3, S.139-148
- [2] Buschbacher P.; Horschler S.: Ergebnis: erschreckend – Sechs Rechenprogramme für die DIN V 18599 kommen zu völlig verschiedenen Ergebnissen; Im Deutsches Ingenieurblatt 10/08, S. 28-32
- [3] Klima M.; Reiß J.; Erhorn H.; Fluch M.: Gebäude sanieren – Schulen; Im BINE Informationsdienst I/06,; S. 1-20
- [4] NN: Ein Fehler und seine Folgen; Im Deutschen Ingenieurblatt 04/07; S. 26-30
- [5] Schoch T.: EnEV 2009 und die DIN V 18599 – Nichtwohnbau ; Bauwerkverlag, 2. Auflage 2009
- [6] BMVBS/ BBR (Hrsg.): Monitoring der Verfahren für die Bewertung von Nichtwohngebäuden nach EnEV 2007; Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, BBR-Online-Publikation, Nr. 17/2008
- [7] Lohmeyer G.C.O., Post M., Bergmann H.: Praktische Bauphysik – Eine Einführung mit Berechnungsbeispielen; Vieweg Teubner Verlag, 7. Auflage 2010
- [8] Lichtmeß M.: Vereinfachtes Flächenerfassungsmodell für Mehrzonenbilanzen – Vereinfachungen bei der Berechnung von Nichtwohngebäuden. Konzeptpapier im Rahmen einer Dissertation vom 22.12.2008
- [9] Schittich C.: Schulen modernisieren – Eine Investition in die Zukunft; In: DETAIL 49, Serie 2009, 9 Schulen modernisieren, S. 858
- [10] de Boer J.: Nutz-und Endenergiebedarf für Beleuchtung (DIN 18599-4); Im Bauphysik-Kalender 2007, Ernst & Sohn Verlag, S. 323-363
- [11] Dorsch L.: Zonierung von Nichtwohngebäuden nach DIN V 18599 - Beispielhaftes Vorgehen. Beuth Verlag; Herausgeber: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2. bearbeitete Auflage 2009
- [12] Schild K., Brück H.: Energie-Effizienzbewertung von Gebäuden – Anforderungen und Nachweisverfahren gemäß EnEV 2009; Vieweg Teubner Verlag, 1.Auflage 2010
- [13] DETAIL Konzept: 9 Schulen modernisieren; 49. Serie 2009, In DETAIL Konzept

- [14] Horschler S.; B. Eng. Buschbacher P.: Software zur DIN V 18599 untersucht – Werkzeug oder Zerrspiegel ?; In Gebäudeenergieberater 09/2008,; S.10-14
- [15] Klima M.; BährCasa R.(Inco, Ingenieurbüro); Contor für Architektur und Stadtplanung , Ranft F.: Energetische Sanierung der Käthe Kollwitz Schule in Aachen – Förderung Energetische Verbesserung der Bausubstanz; TK3 0329750E, Schlussbericht Oktober 2006
- [16] Wichtermann K.-H.: Praxis der Gebäude-Energieberatung EnEV 2009. Wuth Independent Publishing Verlag, 1. Auflage 2009
- [17] Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): Fortschreibung der Nutzungsrandbedingungen für die Berechnung von Nichtwohngebäuden vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung sowie vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung; BBSR-Online-Publikation, Nr. 18/2009
- [18] Bienhüls J.: Abschlussbericht der Stadt Lörrach zum Projekt: Einsatz der DIN V 18599 für die Sanierungsplanung an 9 Schulen in Lörrach und in Zell i. W.; Projektnummer: 2008/19, Lörrach, den15.September2009
- [19] Hellwig R.T.: Raumklimatische Planungsgrundlagen für Klassenräume; Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, In: Bauphysik 32 (2010), Heft 4
- [20] Kurzbericht / Auswertung Staatl. Realschule Neufahrn Realschule mit Turn.- u. Schwimmhalle; Energiezentrum Deggendorf Heinze & Amberger GmbH; August 2009
- [21] Himburg S.: Energetische Sanierung von Schulgebäuden in den neuen Bundesländern - Sanierungsprojekt Förderschule Rathenow; Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, In: Bauphysik 30 (2008), Heft 2
- [22] Schmidt R.: Leitfaden für Energiebedarfsausweise im Nichtwohnungsbau; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Dezember 2007
- [23] Markfort D.: Arbeitshilfen bei der Erstellung von Energieausweisen; Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR); DEUBAU, Essen, 14.01.2010
- [24] Schmidt P., Kempf H.: EnEV 2009 – So setzen Sie die neuen Anforderungen sicher in der Praxis um. Im PraxisCheck Architektur, Ausgabe III/ 2009; WEKA MEDIA GmbH & Co KG

- [25] Institut für Bauforschung e.V. (Hrsg.): Energetische Gebäudemodernisierung; 2. erweiterte Auflage 2010, Fraunhofer IRB Verlag
- [26] Schmidt P.; Kempf H.: Nachhaltiges Bauen und Sanieren - Energieeffizienz. Im PraxisCheck Architektur, Ausgabe 04/ 2010; WEKA MEDIA GmbH & Co KG
- [27] NN: Die Vornormenreihe DIN V 18599; In: tab das Fachmedium der TGA-Branche, 1/2009
- [28] Spiegler M.R.: Statistik -975 ausführliche Beispiele; 2. Auflage 1990, McGraw-Hill Book
- [29] www.web.neuestatistik.de
Bestimmtheitsmass
aufgerufen am 6.07.2011
- [30] <http://german.cri.cn/1833/2011/06/13/15158344.htm>
aufgerufen am 5.07.2011
- [31] <http://www.deinternational.de/themen-branchen/energieeffizienz-energieeinsparung>
aufgerufen am 5.07.2011

8.1 Gesetze, Normen, Vorschriften und Regelwerke

Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV 2009) vom 24. Juli 2009

DIN V 18599:2007-02: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwasser und Beleuchtung, Teil 1-10, Berlin, Wien, Zürich, 2007

Energieeinsparungsgesetz vom 2. April 2009: Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (EnEG 2009).

Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG) vom 23.04.2009

Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand vom 30.07.2009

DIN 277:2005-02: Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau
Richtlinie 2010/31/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden

- [A] Unterlagen der Städte – Berechnungen des Jahres-Primärenergiebedarfs und Zonierung von Schulgebäuden
- [B] Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt: „Klimaschutz Klimafolgen und Anpassung“; In einem Beitrag vom 3.11.2020; <http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/klimafolgen/index.htm>
- [C] Verwendete Software: Als Software zur Bilanzierung nach DIN V 18599 wurde das Programm IBP:18599 benutzt. Kernelversion: IBP 18599 Kernel for DIN V18599; Fraunhofer Institut für Bauphysik; Programmversion ab 3.2.20.208
- [D] Microsoft Office Excel 2007

9 Anhang

[A1] Nutzungsprofil Einzelbüro

Einzelbüro		Nr. 1			
Nutzungszeiten		von	bis		
tägliche Nutzungszeit	Uhr	7:00	18:00		
jährliche Nutzungstage $d_{nutz,a}$	d/a	250			
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543			
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207			
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr	5:00	18:00		
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a	250			
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	5:00	18:00		
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)					
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C	21			
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,c,soll}$	°C	24			
Minimaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C	20			
Maximaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C	26			
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{i,NA}$	K	4			
Feuchteanforderung	-	mit Toleranz			
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A					
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	40			
flächenbezogen	m ³ /(h×m ²)	4			
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)		von	bis		
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	2	3		
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹	4	8		
Beleuchtung					
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	500			
Höhe der Nutzebene h_{Ne}	m	0,8			
Minderungsfaktor k_A	-	0,84			
relative Abwesenheit C_A	-	0,3			
Raumindex k	-	0,9			
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_t	-	0,7			
Personenbelegung					
maximale Belegungsdichte	m ² je Person	gering	mittel	hoch	
		18	14	10	
Interne Wärmequellen					
		Vollnutzungsstunden (h/d)	max. spezifische Leistung (W/m ²)		
			tief	mittel	hoch
Personen (70 W je Person)		6	4	5	7
Arbeitshilfen		6	3	7	15
Wärmezufuhr je Tag ($q_{1,p} + q_{1,fae}$)	Wh/(m ² ×d)	42	72	132	

[A2] Nutzungsprofil Gruppenbüro

Gruppenbüro (zwei bis sechs Arbeitsplätze)			Nr. 2		
Nutzungszeiten			von	bis	
tägliche Nutzungszeit	Uhr		7:00	18:00	
jährliche Nutzungstage $d_{nutz,a}$	d/a		250		
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a		2543		
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a		207		
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr		5:00	18:00	
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a		250		
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr		5:00	18:00	
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)					
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C		21		
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,c,soll}$	°C		24		
Minimaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C		20		
Maximaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C		26		
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{i,NA}$	K		4		
Feuchteanforderung	-		mit Toleranz		
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A					
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person		40		
flächenbezogen	m ³ /(h×m ²)		4		
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			von	bis	
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹		2	3	
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹		4	8	
Beleuchtung					
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx		500		
Höhe der Nutzebene h_{Ne}	m		0,84		
Minderungsfaktor k_A	-		0,92		
relative Abwesenheit C_A	-		0,3		
Raumindex k	-		1,25		
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_t	-		0,7		
Personenbelegung					
maximale Belegungsichte	m ² je Person		gering	mittel	hoch
		18	14	10	
Interne Wärmequellen					
		Vollnutzungs- stunden (h/d)	max. spezifische Leistung (W/m ²)		
			tief	mittel	hoch
Personen (70 W je Person)		6	4	5	7
Arbeitshilfen		6	3	7	15
Wärmezufuhr je Tag ($q_{1,p} + q_{1,fac}$)	Wh/(m ² ×d)		42	72	132

[A3] Nutzungsprofil Besprechung, Sitzungszimmer, Seminar

Besprechung/ Sitzungszimmer/ Seminar			Nr. 4			
Nutzungszeiten			von	bis		
tägliche Nutzungszeit	Uhr		7:00	18:00		
jährliche Nutzungstage $d_{nutz,a}$	d/a		250			
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a		2543			
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a		207			
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr		5:00	18:00		
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a		250			
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr		5:00	18:00		
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)						
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C		21			
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,e,soll}$	°C		24			
Minimaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C		20			
Maximaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C		26			
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{i,NA}$	K		4			
Feuchteanforderung	-		mit Toleranz			
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A						
personenbezogen	m^3 je Stunde und Person		20			
flächenbezogen	$m^3/(h \times m^2)$		15			
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			von	bis		
Luftwechsel (allgemein)	h^{-1}		5	7		
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h^{-1}		10	15		
Beleuchtung						
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx		500			
Höhe der Nutzebene h_{Ne}	m		0,8			
Minderungsfaktor k_A	-		0,93			
relative Abwesenheit C_A	-		0,5			
Raumindex k	-		1,25			
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_t	-		1			
Personenbelegung						
maximale Belegungsichte	m^2 je Person		gering	mittel	hoch	
			4	3	2	
Interne Wärmequellen						
			Vollnutzungs- stunden (h/d)	max. spezifische Leistung (W/m^2)		
				tief	mittel	hoch
Personen (70 W je Person)			4	18	24	35
Arbeitshilfen			4	1	2	3
Wärmezufuhr je Tag ($q_{1,p} + q_{1,fae}$)	$Wh/(m^2 \times d)$			76	104	152

[A4] Nutzungsprofil Klassenzimmer

Klassenzimmer (Schule)			Nr. 8	
Nutzungszeiten			von	bis
tägliche Nutzungszeit	Uhr		8:00	15:00
jährliche Nutzungstage $d_{nutz,a}$	d/a		200	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a		1398	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a		2	
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr		6:00	15:00
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{ep,a}$	d/a		200	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr		6:00	15:00
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)				
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C		21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,c,soll}$	°C		24	
Minimaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C		20	
Maximaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C		26	
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{i,NA}$	K		4	
Feuchteanforderung	-		mit Toleranz	
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A				
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person		30	
flächenbezogen	m ³ /(h×m ²)		-	
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			von	bis
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹		-	-
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹		-	-
Beleuchtung				
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx		300	
Höhe der Nutzebene h_{Ne}	m		0,8	
Minderungsfaktor k_A	-		0,97	
relative Abwesenheit C_A	-		0,25	
Raumindex k	-		2	
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_t	-		0,9	
Personenbelegung				
maximale Belegungsdichte	m ² je Person		gering	mittel
			3,5	3
				hoch
				2,5
Interne Wärmequellen				
			Vollnutzungs-	max. spezifische Leistung (W/m²)
			stunden (h/d)	tief
				mittel
				hoch
Personen (70 W je Person)		5	17	20
Arbeitshilfen		5	2	4
Wärmezufuhr je Tag ($q_{1,p} + q_{1,fae}$)	Wh/(m ² ×d)		95	120
				150

[A5] Nutzungsprofil WC und Sanitärräume

WC und Sanitärräume		Nr. 16	
Nutzungszeiten		von	bis
tägliche Nutzungszeit	Uhr	7:00	18:00
jährliche Nutzungstage $d_{nutz,a}$	d/a	250	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207	
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr	5:00	18:00
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a	250	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	5:00	18:00
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)			
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C	21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,c,soll}$	°C	24	
Minimaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C	20	
Maximaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C	26	
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{i,NA}$	K	4	
Feuchteanforderung	-	keine	
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A			
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	-	
flächenbezogen	m ³ /(h×m ²)	15	
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)		von	bis
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	-	-
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹	-	-
Beleuchtung			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	100	
Höhe der Nutzebene h_{Ne}	m	0,8	
Minderungsfaktor k_A	-	1	
relative Abwesenheit C_A	-	0,9	
Raumindex k	-	0,8	
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_t	-	1	
Personenbelegung			
maximale Belegungsichte	m ² je Person	gering	mittel
		-	-
Interne Wärmequellen			
		Vollnutzungsstunden (h/d)	max. spezifische Leistung (W/m ²)
			tief
			mittel
			hoch
Personen (70 W je Person)		-	-
Arbeitshilfen		-	-
Wärmezufuhr je Tag ($q_{1,p} + q_{1,fae}$)	Wh/(m ² ×d)	-	-

[A6] Nutzungsprofil Sonstige Aufenthaltsräume

Sonstige Aufenthaltsräume (Sammelzonen)		Nr. 17			
Nutzungszeiten		von	bis		
tägliche Nutzungszeit	Uhr	7:00	18:00		
jährliche Nutzungstage $d_{nutz,a}$	d/a	250			
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543			
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207			
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr	5:00	18:00		
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a	250			
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	5:00	18:00		
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)					
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C	21			
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,c,soll}$	°C	24			
Minimaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C	20			
Maximaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C	26			
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{i,NA}$	K	4			
Feuchteanforderung	-	mit Toleranz			
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A					
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	-			
flächenbezogen	m ³ /(h×m ²)	7			
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)		von	bis		
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	-	-		
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹	-	-		
Beleuchtung					
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	300			
Höhe der Nutzebene h_{Ne}	m	0,8			
Minderungsfaktor k_A	-	0,93			
relative Abwesenheit C_A	-	0,5			
Raumindex k	-	1,25			
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_t	-	1			
Personenbelegung					
maximale Belegungsichte	m ² je Person	gering	mittel	hoch	
		4	3	2	
Interne Wärmequellen					
		Vollnutzungs- stunden (h/d)	max. spezifische Leistung (W/m ²)		
			tief	mittel	hoch
Personen (70 W je Person)		4	18	23	35
Arbeitshilfen		4	1	2	3
Wärmezufuhr je Tag ($q_{1,p} + q_{1,fac}$)	Wh/(m ² ×d)		76	100	152

[A7] Nutzungsprofil Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume

Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume		Nr. 18	
Nutzungszeiten		von	bis
tägliche Nutzungszeit	Uhr	7:00	18:00
jährliche Nutzungstage $d_{nutz,a}$	d/a	250	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207	
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr	5:00	18:00
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a	250	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	5:00	18:00
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)			
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C	21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,c,soll}$	°C	24	
Minimaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C	20	
Maximaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C	26	
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{i,NA}$	K	4	
Feuchteanforderung	-	keine	
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A			
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	-	
flächenbezogen	m ³ /(h×m ²)	0,15	
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)		von	bis
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	-	-
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹	-	-
Beleuchtung			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	100	
Höhe der Nutzebene h_{Ne}	m	0,8	
Minderungsfaktor k_A	-	1	
relative Abwesenheit C_A	-	0,9	
Raumindex k	-	1,5	
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_t	-	1	
Personenbelegung			
maximale Belegungsdichte	m ² je Person	gering	mittel
		-	-
Interne Wärmequellen			
		Vollnutzungsstunden (h/d)	max. spezifische Leistung (W/m ²)
			tief
Personen (70 W je Person)		-	-
Arbeitshilfen		-	-
Wärmezufuhr je Tag ($q_{1,p} + q_{1,fac}$)	Wh/(m ² ×d)	-	-

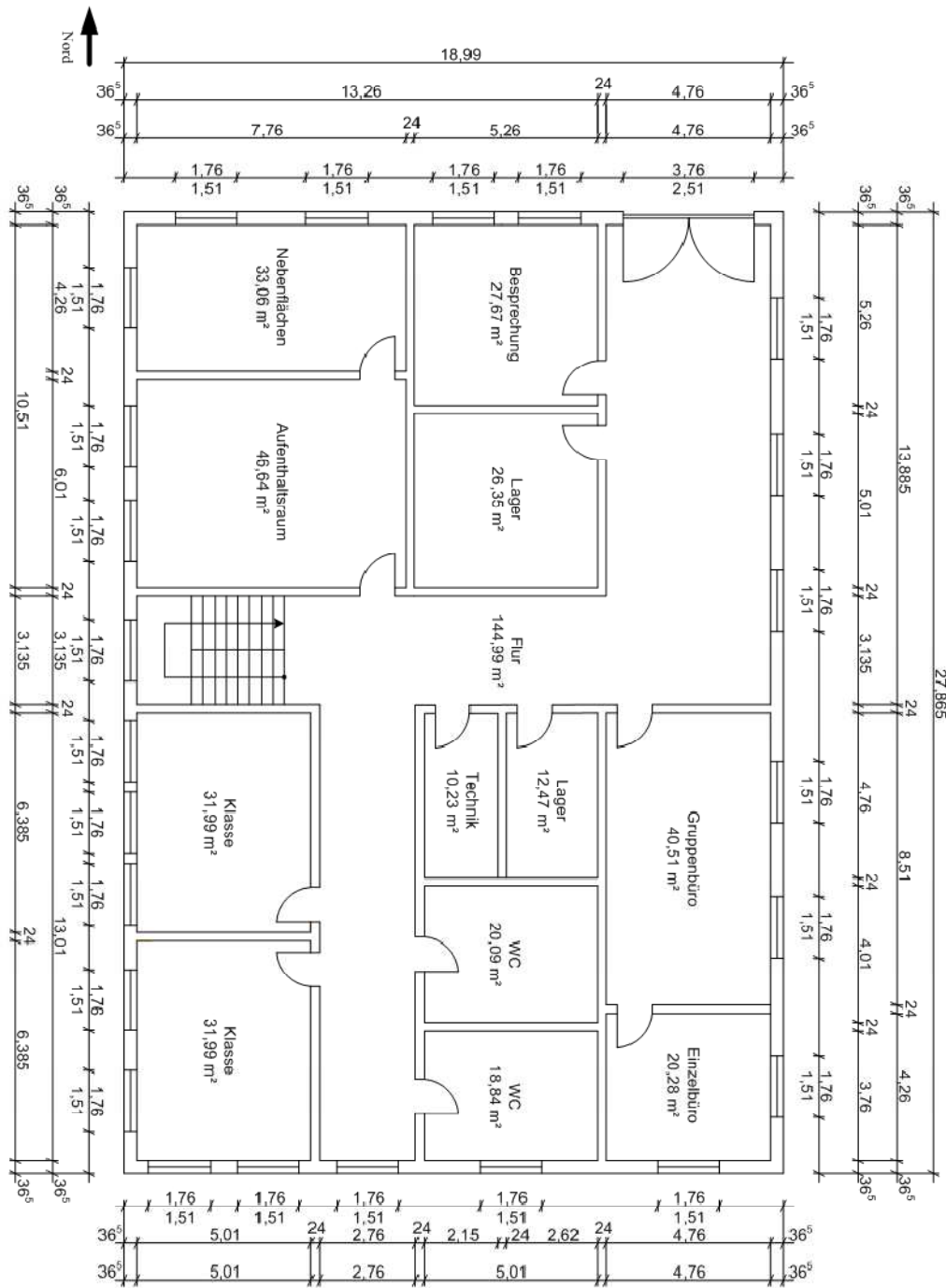
[A8] Nutzungsprofil Verkehrsfläche

Verkehrsfläche Flur		Nr. 19			
Nutzungszeiten		von	bis		
tägliche Nutzungszeit	Uhr	7:00	18:00		
jährliche Nutzungstage $d_{nutz,a}$	d/a	250			
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543			
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207			
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr	5:00	18:00		
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a	250			
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	5:00	18:00		
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)					
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C	21			
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,c,soll}$	°C	24			
Minimaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C	20			
Maximaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C	26			
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{i,NA}$	K	4			
Feuchteanforderung	-	keine			
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A					
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	-			
flächenbezogen	m ³ /(h×m ²)	0			
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)		von	bis		
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	-	-		
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹	-	-		
Beleuchtung					
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	100			
Höhe der Nutzebene h_{Ne}	m	0			
Minderungsfaktor k_A	-	1			
relative Abwesenheit C_A	-	0,8			
Raumindex k	-	0,8			
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_t	-	1			
Personenbelegung					
maximale Belegungsichte	m ² je Person	gering	mittel	hoch	
		-	-	-	
Interne Wärmequellen					
		Vollnutzungsstunden (h/d)	max. spezifische Leistung (W/m ²)		
			tief	mittel	hoch
Personen (70 W je Person)		-	-	-	-
Arbeitshilfen		-	-	-	-
Wärmezufuhr je Tag ($q_{1,p} + q_{1,fac}$)	Wh/(m ² ×d)	0	0	0	0

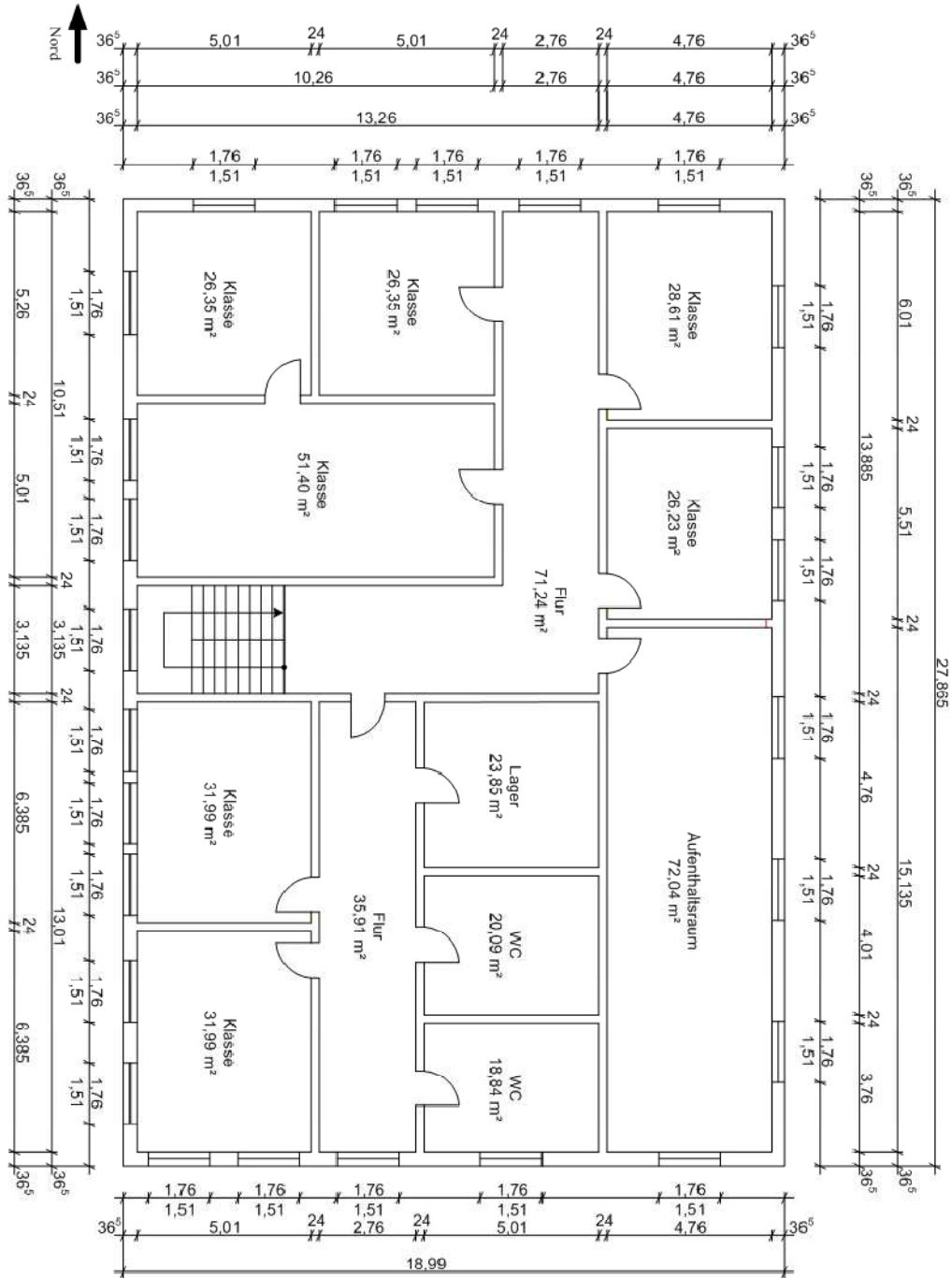
[A9] Nutzungsprofil Lager

Lager Technik, Archiv		Nr. 20	
Nutzungszeiten		von	bis
tägliche Nutzungszeit	Uhr	7:00	18:00
jährliche Nutzungstage $d_{nutz,a}$	d/a	250	
jährliche Nutzungsstunden zur Tagzeit t_{Tag}	h/a	2543	
jährliche Nutzungsstunden zur Nachtzeit t_{Nacht}	h/a	207	
tägliche Betriebszeit RLT und Kühlung	Uhr	5:00	18:00
jährliche Betriebstage für jeweils RLT, Kühlung und Heizung $d_{op,a}$	d/a	250	
tägliche Betriebszeit Heizung	Uhr	5:00	18:00
Raumkonditionen (sofern Konditionierung vorgesehen)			
Raum-Solltemperatur Heizung $J_{i,h,soll}$	°C	21	
Raum-Solltemperatur Kühlung $J_{i,e,soll}$	°C	24	
Minimaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,min}$	°C	20	
Maximaltemperatur Auslegung Heizung $J_{i,h,max}$	°C	26	
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb $DJ_{i,NA}$	K	4	
Feuchteanforderung	-	keine	
Mindestaußenluftvolumenstrom V_A			
personenbezogen	m ³ je Stunde und Person	-	
flächenbezogen	m ³ /(h×m ²)	0,15	
mech. Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel (Praxis)			
		von	bis
Luftwechsel (allgemein)	h ⁻¹	-	-
Luftwechsel (volle Kühlfunktion über Zuluft)	h ⁻¹	-	-
Beleuchtung			
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m	lx	100	
Höhe der Nutzebene h_{Ne}	m	0,8	
Minderungsfaktor k_A	-	1	
relative Abwesenheit C_A	-	0,98	
Raumindex k	-	1,5	
Minderungsfaktor Gebäudebetriebszeit F_t	-	1	
Personenbelegung			
maximale Belegungsdichte	m ² je Person	gering	mittel
		-	-
Interne Wärmequellen			
		max. spezifische Leistung (W/m ²)	
		tief	mittel
Personen (70 W je Person)	Vollnutzungsstunden (h/d)	-	-
Arbeitshilfen		-	-
Wärmezufuhr je Tag ($q_{1,p} + q_{1,fae}$)	Wh/(m ² ×d)	-	-

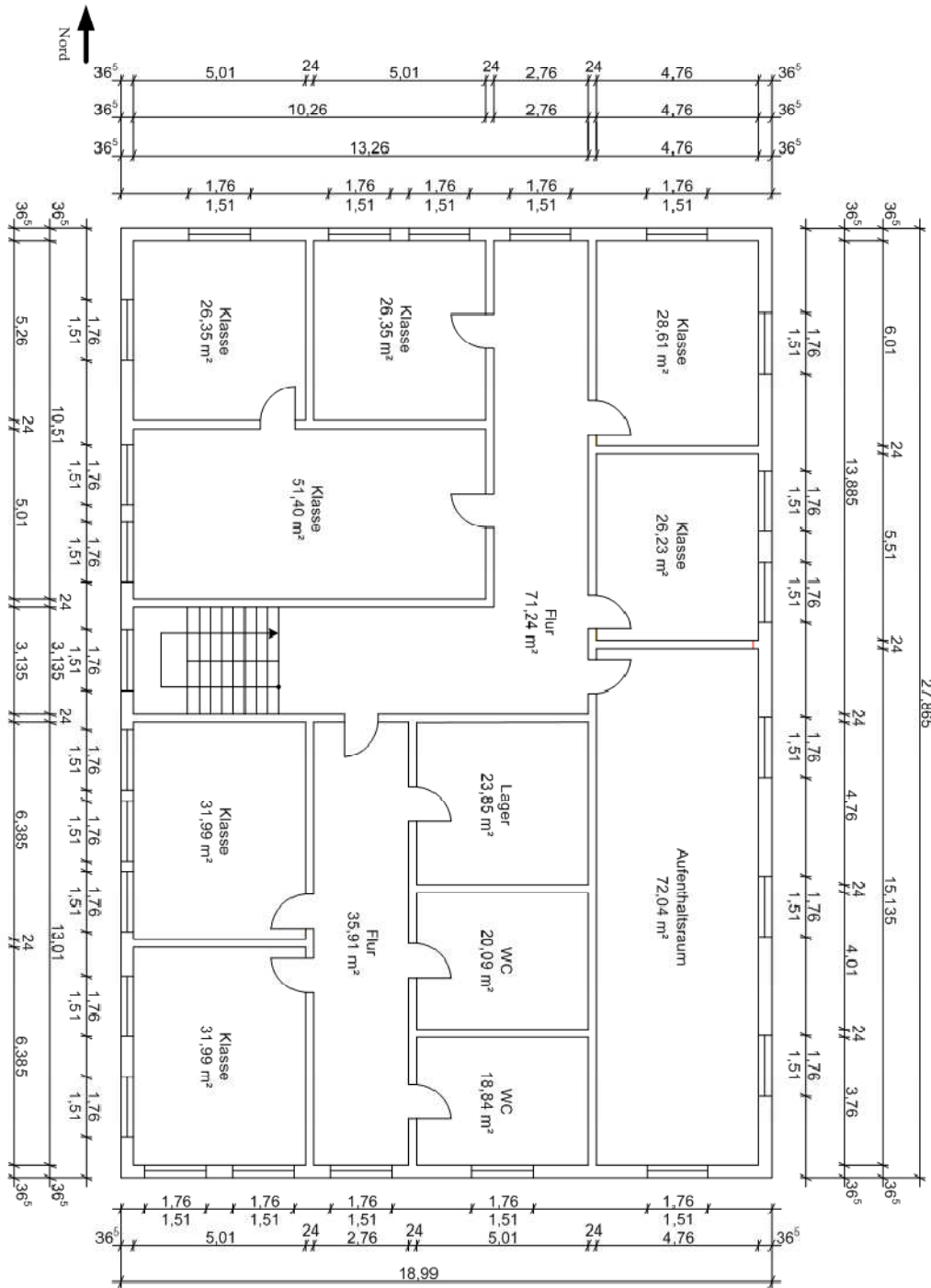
[A10] Grundriss Erdgeschoss Beispiel 1



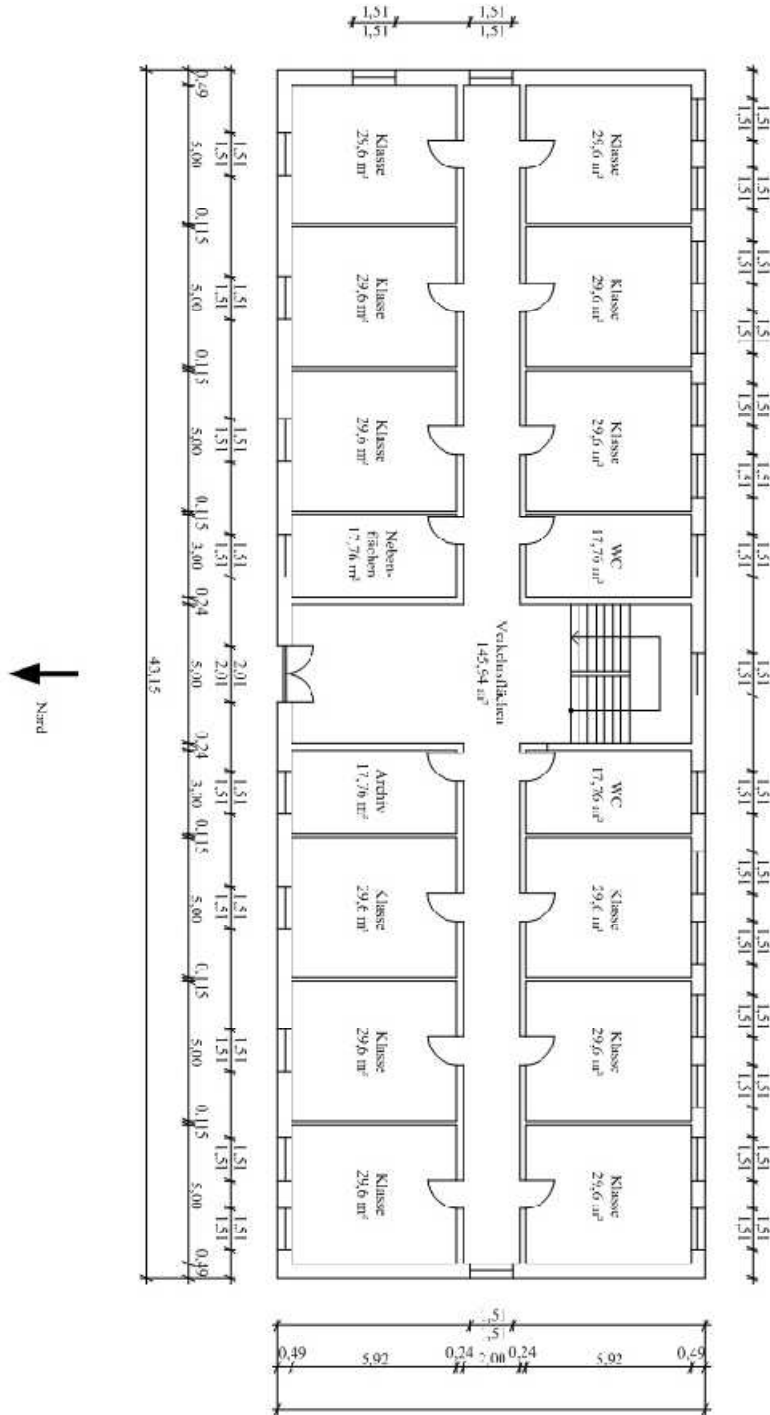
[A11] Grundriss 1. Obergeschoss Beispiel 1



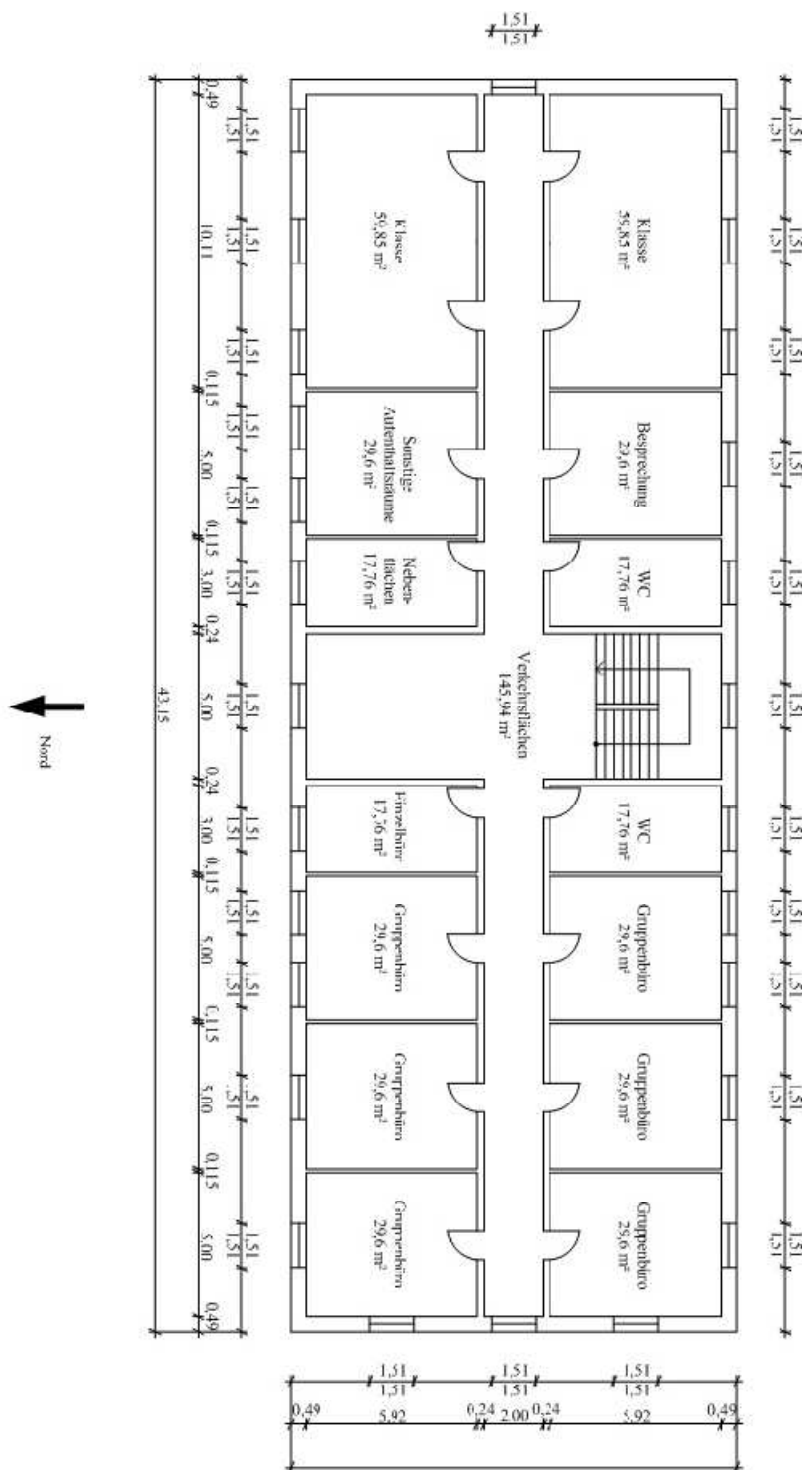
[A12] Grundriss 2. Obergeschoss Beispiel 1



[A13] Grundriss Erdgeschoss Beispiel 2



[A14] Grundriss Obergeschoss Beispiel 2



[A15] Ermittlung der neuen Nutzungswerte für Beispiel 1

Nutzung	Zone	ANGF	%	tägliche Nutzungszeit				tägl. Betriebszeit RLT u. Kühl.			
				von	bis	dnutz,a	tTag	tNacht	von	bis	dop,a
Einzelbüro	1	20,28	1,45	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Gruppenbüro	2	40,51	2,90	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Besprechung/ Sitzung	4	27,67	1,98	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Klassenzimmer	8	509,82	36,55	08:00	15:00	200	1398	2	06:00	15:00	200
WC	16	116,79	8,37	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Aufenthalt	17	190,72	13,67	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Nebenflächen	18	33,06	2,37	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Verkehrsflächen	19	359,29	25,76	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Lager/ Technik/ Archiv	20	96,75	6,94	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Neu		1394,89	100	07:21	16:54	232	2125	132	05:21	16:54	232

09:32

11:32

[A16] Ermittlung der neuen Nutzungswerte für Beispiel 1

Zone	tägliche Betriebszeit Heizung		m ³ /(hm ²)		m ³ je h und P.		Luftwechsel allgemein		Luftwechsel Kühlfunktion		Em	hNe	ka	CA	k	Ft
	von	bis	VA	VA	VA	VA	von	bis	von	bis						
1	05:00	18:00	40	4	4	2	2	3	4	8	500	0,8	0,84	0,3	0,9	0,7
2	05:00	18:00	40	4	4	2	2	3	4	8	500	0,84	0,92	0,3	1,25	0,7
4	05:00	18:00	20	15	15	5	7	10	15	15	500	0,8	0,93	0,5	1,25	1
8	06:00	15:00	30	10	10	0	0	0	0	0	300	0,8	0,97	0,25	2	0,9
16	05:00	18:00	0	15	15	0	0	0	0	0	100	0,8	1	0,9	0,8	1
17	05:00	18:00	0	7	7	0	0	0	0	0	300	0,8	0,93	0,5	1,25	1
18	05:00	18:00	0	0,15	0,15	0	0	0	0	0	100	0,8	1	0,9	1,5	1
19	05:00	18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	1	0,8	0,8	1
20	05:00	18:00	0	0,15	0,15	0	0	0	0	0	100	0,8	1	0,98	1,5	1
Neu	05:21	16:54	13,10	6,35	6,35	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6	225,81	0,60	0,97	0,55	1,39	0,95

11:32

[A17] Ermittlung der neuen Nutzungswerte für Beispiel 1

Zone	max. Belegungsdichte			Personen (interne Quellen)			Arbeitshilfen			Wärmezufuhr je Tag				
	gering	mittel	hoch	h/d	tief	mittel	hoch	h/d	tief	mittel	hoch	tief	mittel	hoch
1	18	14	10	6	4	5	7	6	3	7	15	42	72	132
2	18	14	10	6	4	5	7	6	3	7	15	42	72	132
4	4	3	2	4	18	24	35	4	1	2	3	76	104	152
8	3,5	3	2,5	5	17	20	24	5	2	4	6	95	120	150
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	4	3	2	4	18	23	35	4	1	2	3	76	100	152
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Neu	3	2	2	2,72	9,2	11,1	14,6	2,72	1,0	2,1	3,3	48,5	62,7	84,4

[A18] Ermittlung der neuen Nutzungswerte für Beispiel 2

Nutzung	Zone	ANCF	%	tägliche Nutzungszeit			tag. Betriebszeit RLI u. Kühl.				
				von	bis	dnutz.a	tTag	tNacht	von	bis	dop.a
Einzelbüro	1	17,76	1,55	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Gruppenbüro	2	177,5	15,50	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Besprechung/ Sitzung	4	29,6	2,58	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Klassenzimmer	8	474,9	41,45	08:00	15:00	200	1398	2	06:00	15:00	200
WC	16	71,04	6,20	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Aufenthalt	17	29,6	2,58	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Nebenflächen	18	35,52	3,10	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Verkehrsflächen	19	291,88	25,48	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Lager/ Technik/ Archiv	20	17,76	1,55	07:00	18:00	250	2543	207	05:00	18:00	250
Neu		1145,66	100	07:24	16:45	229	2068	122	05:24	16:45	229

09:20

11:20

[A19] Ermittlung der neuen Nutzungswerte für Beispiel 2

tägliche Betriebszeit Heizung		$m^3/(hm^2)$		m^3 je h und P		Luftwechsel allgemein		Luftwechsel Kühlfunktion		Em	hNe	ka	CA	k	Ft	
von	bis	VA	VA	V _A	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis
05:00	18:00	40	40	4	2	3	4	8	500	0,8	0,84	0,3	0,9	0,7		
05:00	18:00	40	40	4	2	3	4	8	500	0,84	0,92	0,3	1,25	0,7		
05:00	18:00	20	30	15	5	7	10	15	500	0,8	0,93	0,5	1,25	1		
06:00	15:00	30	30	10	0	0	0	0	300	0,8	0,97	0,25	2	0,9		
05:00	18:00	0	0	15	0	0	0	0	100	0,8	1	0,9	0,8	1		
05:00	18:00	0	0	7	0	0	0	0	300	0,8	0,93	0,5	1,25	1		
05:00	18:00	0	0	0,15	0	0	0	0	100	0,8	1	0,9	1,5	1		
05:00	18:00	0	0	0	0	0	0	0	100	0	1	0,8	0,8	1		
05:00	18:00	0	0	0,15	0	0	0	0	100	0,8	1	0,98	1,5	1		
05:24	16:45	19,77	6,33	0,5	0,7	1,8	0,9	1,8	266,61	0,60	0,97	0,48	1,42	0,91		

1120

[A20] Ermittlung der neuen Nutzungswerte für Beispiel 2

max. Belegungsdichte	Personen (interne Quellen)			Arbeitshilfen				Wärmezufuhr je Tag						
	gering	mittel	hoch	h/d	tief	mittel	hoch	tief	mittel	hoch				
18	14	10	10	6	4	5	7	6	3	7	15	42	72	132
18	14	10	10	6	4	5	7	6	3	7	15	42	72	132
4	3	2	2	4	18	24	35	4	1	2	3	76	104	152
3,5	3	2,5	2,5	5	17	20	24	5	2	4	6	95	120	150
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	2	2	4	18	23	35	4	1	2	3	76	100	152
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	4	3	3	3,30	8,7	10,4	13,0	3,30	1,4	3,0	5,2	50,5	67,3	92,5