

Ricardo Pawlick

Wirtschaftlichkeitsvergleich verschiedener Energieeinspar- möglichkeiten an Gebäuden

Beispiele mit Berechnungen der EnEV 2004



Diplomica

Ricardo Pawlick

Wirtschaftlichkeitsvergleich verschiedener Energieeinsparmöglichkeiten an Gebäuden

Beispiele mit Berechnungen der EnEV 2004

Pawlick, Ricardo: Wirtschaftlichkeitsvergleich verschiedener Energieeinsparmöglichkeiten an Gebäuden. Beispiele mit Berechnungen der EnEV 2004, Hamburg, Diplomatica GmbH

Umschlaggestaltung: Elisabeth Lutz, Hamburg

ISBN: 978-3-8366-5367-1

© Diplomatica GmbH, Hamburg 2007

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Diplomatica GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Der Autor

Ricardo Pawlick, Diplom-Ingenieur (FH)

- Studium Bauingenieurwesen an der FH Erfurt mit Auszeichnung als Jahrgangsbester
- beruflich tätig als Kalkulationsadministrator bei einem Massivhaus-Anbieter

Vorwort

Vorrangig werden beim Neubau von Einfamilienhäusern in Hinsicht auf Energieeinsparmöglichkeiten nur die Erst- bzw. Investitionskosten des Materials betrachtet. In dieser Untersuchung werden Standardbauweisen in Bezug auf ihren Energiebedarf verbessert. Die daraus resultierenden Mehrkosten werden mit dem entsprechenden Einsparpotential verglichen. Diese Analyse der Erst- und Folgekosten soll Aufschluss über Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen beim Neubau aufzeigen.

Für die Unterstützung bei der Erstellung dieser Studie will ich Herrn LBA Dipl.-Ing. Hauschild und Prof. Dr.-Ing. Haenes danken. Weiterhin danke ich der Firma Al Massivhaus GmbH, deren Mitarbeiter mir mit Rat und Tat zu Seite standen.

Diese Studie möchte ich Evi widmen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	13
2	Allgemeines	15
2.1	Wichtige Begriffe	16
3	Wahl eines repräsentativen Beispielgebäudes	19
3.1	Ansichten	20
3.2	Zusammenstellung der Grundflächen und Rauminhalte nach DIN 277	21
3.3	Zusammenstellung der Wohnflächen	21
4	Wärmetechnische Untersuchung der Grundvarianten	23
4.1	Schichtenaufbau und Kennwerte der Standardbauteile	24
4.1.1	Fenster (W)	24
4.1.2	Haustür (T)	25
4.1.3	Dachschrägen (D 1)	26
4.1.4	Decke zum Spitzboden (D 3)	28
4.1.5	Außenwand Keller (G 1)	30
4.1.6	Bodenplatte Keller (G 3)	31
4.2	Schichtenaufbau und Kennwerte verschiedener Wandaufbauten	32
4.2.1	Kernhaus Systembauweise (KH)	32
4.2.2	Wienerberger Poroton-Planziegel (T 14)	33
4.2.3	Hebel Porenbeton Planstein W (PB 14)	34
4.3	EnEV-Nachweis KH	35
4.3.1	Gebäudevolumen	35
4.3.2	Umfassungsfläche	35
4.3.3	Gebäudedaten	36
4.3.4	Übersicht Bauteile	36
4.3.5	Anlagentechnik	37
4.3.6	Wärmeverluste	37
4.3.7	Wärmegewinne	38
4.3.8	Jahresheizwärmebedarf	38
4.3.9	Jahresprimärenergiebedarf	38
4.3.10	EnEV Nachweis	39
4.3.11	Zusammenstellung der Berechnungsgrößen	39
4.4	EnEV-Nachweis T 14	40
4.4.1	Gebäudevolumen	40
4.4.2	Umfassungsfläche	40
4.4.3	Gebäudedaten	41
4.4.4	Übersicht Bauteile	41
4.4.5	Anlagentechnik	42
4.4.6	Wärmeverluste	42
4.4.7	Wärmegewinne	43
4.4.8	Jahresheizwärmebedarf	43

4.4.9	Jahresprimärenergiebedarf	43
4.4.10	EnEV Nachweis	44
4.4.11	Zusammenstellung der Berechnungsgrößen	44
4.5	EnEV-Nachweis PB 14	44
5	Wärmetechnische Untersuchungen der Energiesparvarianten.....	45
5.1	KfW 60 - Haus	46
5.1.1	Kernhaus Systembauweise (KH 60) – Änderungen und Ergebnisse	46
5.1.2	Wienerberger Poroton-Planziegel (T 09/60) – Änderungen und Ergebnisse...48	
5.1.3	Hebel Porenbeton Planstein W (PB 12/60) – Änderungen und Ergebnisse...49	
5.2	KfW 40 - Haus	51
5.2.1	Kernhaus Systembauweise (KH 40) – Änderungen und Ergebnisse	51
5.2.2	Wienerberger Poroton-Planziegel (T 09/40) – Änderungen und Ergebnisse...53	
5.2.3	Hebel Porenbeton Planstein W (PB 12/40) – Änderungen und Ergebnisse....54	
5.3	3-Liter-Haus	56
6	Kostenberechnung	59
6.1	Leistungsverzeichnis	60
6.2	Leistungsverzeichnis - Abänderung infolge Varianten.....	70
6.3	Übersicht der Kosten.....	73
6.3.1	KH	73
6.3.2	T 14	74
6.3.3	PB 14	75
6.3.4	KH 60	76
6.3.5	T 09/60	77
6.3.6	PB 12/60.....	78
6.3.7	KH 40	79
6.3.8	T 09/40	80
6.3.9	PB 12/40.....	81
6.4	Gesamtübersicht der Kosten aller Varianten	82
7	Wirtschaftlichkeitsberechnungen.....	83
7.1	Eingangswerte	85
7.2	Kapitalwertberechnung	89
8	Auswertung.....	91
8.1	Bauteile	91
8.2	Wärmetechnische Gebäudekennwerte	95
8.3	Erst- und Folgekosten	99
8.4	Wirtschaftlichkeit.....	104
8.5	Ökologie.....	109
9	Zusammenfassung.....	111

Verzeichnisse	113
Literatur	113
Abbildungen.....	116
Tabellen	117
Diagramme.....	122
Anlagen	123
A - Grundflächen und Rauminhalte nach DIN 277	126
B - Feuchteschutz.....	128
C - Schallschutz	137
D - Wärmetechnische Berechnungen KfW 60 – Haus KH 60.....	144
E - Wärmetechnische Berechnungen KfW 60 – Haus T 09/60.....	148
F - Wärmetechnische Berechnungen KfW 60 – Haus PB 12/60	152
G - Wärmetechnische Berechnungen KfW 40 Haus - KH 40	156
H - Wärmetechnische Berechnungen KfW 40 Haus – T 09/40.....	160
I - Wärmetechnische Berechnungen KfW 40 Haus – PB 12/40	164
J - Kostenberechnung	168
K - Muster Energiebedarfsausweis	200
L - Zeichnungen.....	202
M -Vortrag zur Studie (Präsentation)	207

1 Einleitung

„Der Anteil der Raumheizung am Primärenergiebedarf Deutschlands beträgt 30%, dieser Sektor bietet noch immer große relativ leicht zu erschließende Potenziale für Einsparungen.“¹ Energie einsparen bedeutet aber nicht automatisch Kosten einsparen.

Diese Studie soll Planern und Bauherren Aufschluss über die Wirtschaftlichkeit von verschiedenen Möglichkeiten zur Energieeinsparung geben.

Dies geschieht anhand eines frei gewählten Einfamilienhauses. Es wird über den Nutzungszeitraum bis zur vollständigen Bezahlung betrachtet. Neben dem Vergleich über drei Standardbauweisen als Grundvarianten, werden verschiedene weitere Möglichkeiten, die den Primärenergiebedarf senken, aufgeführt. Das Gebäude entspricht dem Stand der Technik 2006, womit besonderer Wert auf die Anforderungen der EnEV 2004 gelegt werden muss

Der wichtigste Aspekt in Bezug auf die Energieeinsparung ist für den Normalverbraucher die Wirtschaftlichkeit. Dies spielt im gesamten für die meisten Bauherren eines Einfamilienhauses zunächst eine untergeordnete Rolle. Meistens sind die Erstkosten in Bezug auf die Finanzierung dem Bauherren wichtiger. Umso fragwürdiger sind also auch, ob für den Bauherren Klimaschutz, Ozonloch oder Umweltschutz dann noch eine Rolle spielen. Diese werden aber zwangsläufig durch Energieeinsparungen verbessert. Auch sollten Preissprünge wie zu den Ölkrisen bedacht werden. Normalerweise setzten die meisten Verbraucher generell ein preisbewusstes Denken an den Tag – wieso also auch nicht im Hausbau. Es obliegt also dem Planer seine Bauherren auf Möglichkeiten, Energie einzusparen, aufmerksam zu machen.

¹ Fachverband für Energie-Marketing und -Anwendung (HEA) e.V. beim WDEW: Handbuch Niedrigenergiehaus, GED Verlag, 3. Auflage, Frankfurt/M März 2003, S. 5

2 Allgemeines

Die Energieeinsparverordnung bildet die Grundlage aller folgenden Berechnungen, Annahmen und schließlich Bewertungen. Aus diesem Grund soll sie kurz vorgestellt werden.

Die EnEV wurde am 21. November 2001 veröffentlicht und ist seit dem 01. Februar 2002 Gesetz. Ständig veränderte, gestiegene technische und wirtschaftliche Anforderungen an Gebäude machten eine Novellierung bis zum aktuellen Stand (EnEV 2004) erforderlich.

Die Energieeinsparverordnung basiert auf der Grundlage des Energieeinspargesetzes von 1976. Mit diesem Gesetz zur „Einsparung von Energie an Gebäuden“ ist erstmals eine Rechtsverordnung für den energiesparenden Wärmeschutz vom Bundestag und Bundesrat erlassen worden. Darauf folgten die Wärmeschutzverordnung und Heizungsanlagenverordnung, welche später die EnEV vereinte und ablöste. Ein Gebäude muss in der Gesamtheit, im Zusammenwirken von Anlagentechnik und Bauphysikalischen Kriterien betrachtet werden. Wichtige Detailpunkte sind genau beschrieben und folglich die Anforderungen für die Ausführung exakt festgelegt. Wärmebrücken, Anlagentechnik und Luftdichtheit sind nur einige Kriterien, die die EnEV genau durchleuchtet.

Hauptziel der Energieeinsparverordnung ist die Verringerung der CO₂-Emission um 30 Prozent gegenüber der Wärmeschutzverordnung von 1995. Und dies lässt sich aufgrund des hohen Energieeinsparpotentials an Gebäuden relativ leicht verbessern. Denn fast ein Drittel der CO₂-Emissionen wird dem Energieverbrauch im Gebäudebereich nur den Haushalten zugeordnet (Stand 1999).²

Am 07.12.2004 folgte eine erneute Novellierung der EnEV, welche die alte Version vollständig ersetzte. Hauptsächlich wurden Aktualisierungen und Klarstellungen der zugehörigen DIN-Normen vorgenommen, wobei die energetischen Anforderungen sich gegenüber der EnEV 2002 nicht verändert haben.

Der Jahres-Primärenergiebedarf Q_P ist die Hauptanforderungsgröße. Der Nachweis kann mittels Monatsbilanzverfahren oder Heizperiodenbilanzverfahren erfolgen. In dieser Studie wird der Nachweis mit dem vereinfachten Heizperiodenbilanzverfahren geführt. Welches für den Wohnungsbau bei einem Fensterflächenanteil kleiner 30% zulässig ist.

Die Energiebilanz eines Gebäudes wird durch die Abbildung 2 -1: Energiebilanz von Gebäuden verdeutlicht³.

Nach § 13 der EnEV 2004 ist ein Energiebedarfsausweis für zu errichtende Gebäude mit normalen Innentemperaturen zu erstellen. Er muß die wesentlichsten Ergebnisse der Berechnung enthalten. Der Energiesparausweis kann nur zur groben, vergleichenden Beurteilung von Gebäuden herangezogen werden. Grund hierfür sind die normierten

² vgl.: Liersch, Klaus; Langner, Normen: Bauphysik Kompakt, Bauwerk Verlag, 2. Auflage, Berlin 2006, S.115

³ vgl.: DIN EN 832: Berechnung des Heizenergiebedarfs für Wohngebäude, Juni 2003

Randbedingungen der EnEV. Es wird im Weiteren noch darauf eingegangen. Ein Muster für diesen Ausweis ist unter Anlage K – Muster Energiebedarfsausweis zu finden.

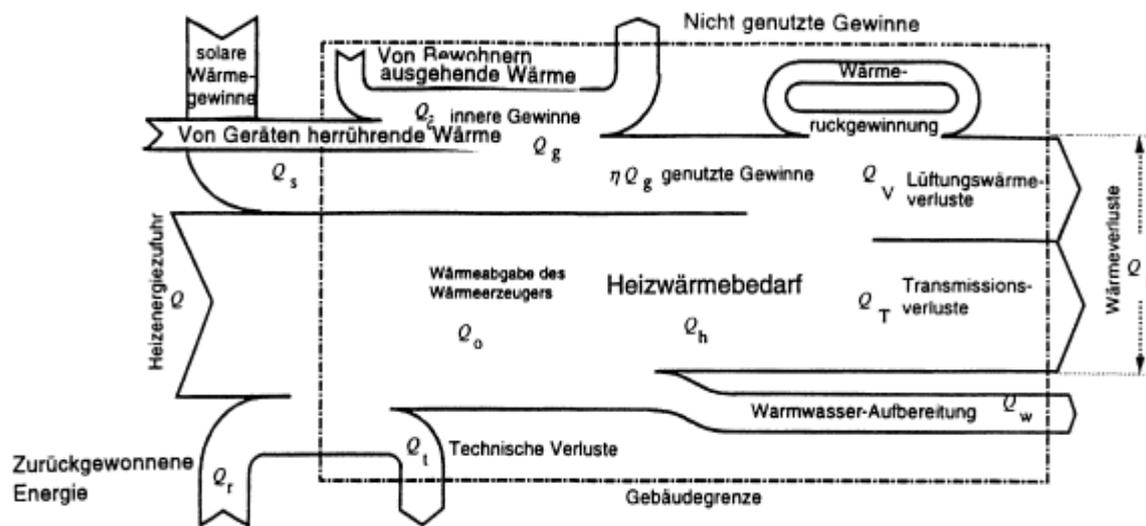


Abbildung 2 - 1: Energiebilanz von Gebäuden

Nach § 13 der EnEV 2004 ist ein Energiebedarfsausweis für zu errichtende Gebäude mit normalen Innentemperaturen zu erstellen. Er muß die wesentlichsten Ergebnisse der Berechnung enthalten. Der Energiesparausweis kann nur zur groben, vergleichenden Beurteilung von Gebäuden herangezogen werden. Grund hierfür sind die normierten Randbedingungen der EnEV. Es wird im Weiteren noch darauf eingegangen. Ein Muster für diesen Ausweis ist unter Anlage K – Muster Energiebedarfsausweis zu finden.

2.1 Wichtige Begriffe

Jahres-Heizwärmebedarf Q_h

Energiemenge, die unter genormten Bedingungen (z.B. mittlere Klimadaten, definiertes Nutzerverhalten, zu erreichende Innentemperatur, angenommene innere Wärmequellen) für Beheizung von Wohngebäuden zu erwarten ist. Eine Aufwandszahl der Heizungsanlage und auch die Warmwasserbereitung sind hierin nicht berücksichtigt. Der tatsächliche Verbrauch weicht in der Regel wegen der realen Bedingungen vor Ort (z.B. örtliche Klimabedingungen, abweichendes Nutzerverhalten) vom berechneten Bedarf ab.

Jahres-Primärenergiebedarf Q_p

Ist die Jährliche Energiemenge, die zum Energieinhalt des Brennstoffes die Hilfsenergien für die Anlagentechnik und die Energiemenge für Gewinnung, Umwandlung und Verteilung des jeweils eingesetzten Brennstoffs einbezieht. (vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes). Der Jahres-Primärenergiebedarf ist die Hauptanforderung der EnEV.

Spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T

Ist der Wärmestrom von einem beheizten Raum zur Umgebung. Die Größe dieser Verluste ist direkt abhängig von der Dämmwirkung der Bauteile und wird durch den U-Wert angegeben. Darin berücksichtigt sind Wärmebrücken.

Aufwandszahl e_p

Ist der Faktor der die Anlagenverluste zur Trinkwassererwärmung, Heizungstechnik und Lüftungstechnik berücksichtigt

3 Wahl eines repräsentativen Beispielgebäudes

Um ein vergleichbares Ergebnis zwischen Kosten und Nutzen zu erzielen, bedarf es eines grundlegend gleich bleibenden Gebäudetyps. Gewählt wird ein Einfamilienwohnhaus als Neubau. Es sind keine besonderen Baumaßnahmen geplant. Das Haus hat eine klare und einfache Anordnung der Räume. Planerisch wurde von vornherein kein Optimum in Bezug auf Energieeinsparmöglichkeiten gesucht. So ist z.B. die Größe der Fensterflächen, besonders in Bezug auf die Süd-Richtung nicht überdurchschnittlich groß oder klein gewählt worden.

Die Kausalität für dieses relativ einfache Gebäude liegt in der besseren Vergleichbarkeit der Zielgrößen begründet. Auch ähnliche Gebäude können somit verglichen werden. Es entspricht ungefähr den Maßen und Anforderungen, die die meisten Bauherren stellen. Das Wohnhaus hat einen relativ einfachen Standard. Um dies jedoch nicht zu sehr einzuschränken wurde ein Keller eingeplant. Dieser wird bei allen Varianten als Betonfertigteilkeller ausgeführt. Er soll das Gebäude repräsentativer darstellen.

Ein Leistungsverzeichnis für alle erforderlichen Leistungen und Teile des Gebäudes sind unter Abschnitt „6.1 Leistungsverzeichnis“ zu finden. Das Gebäude wird schlüsselfertig ausgeführt.

Zur Veranschaulichung sind auf der folgenden Seite die Ansichten dargestellt. Die Grundrisszeichnungen und ein Schnitt sind in der Anlage „L – Zeichnungen“ zu finden. Die Zeichnungen zeigen eine 25,00 cm dicke Rohbauwand. Dickere Wandaufbauten der Varianten erfolgen nach außen. Die Zeichnungen sind dann dementsprechend zu interpretieren. Sie wurden mit Unterstützung von Frau Dipl.-Ing. (FH) Martina Krause aus 01468 Moritzburg OT Friedewald, August-Bebel-Str. 1 erstellt.

3.1 Ansichten

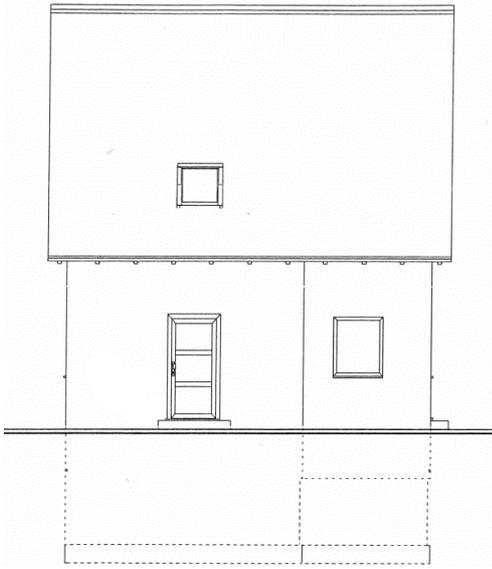


Abbildung 3 - 1: Ansicht Nord

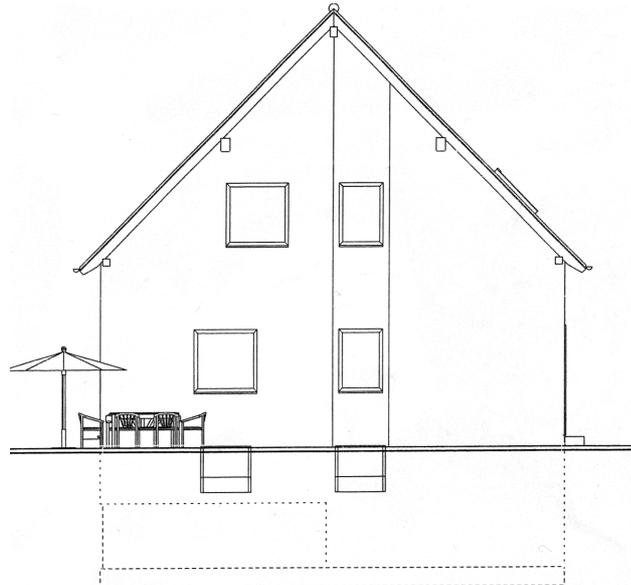


Abbildung 3 - 2: Ansicht Ost

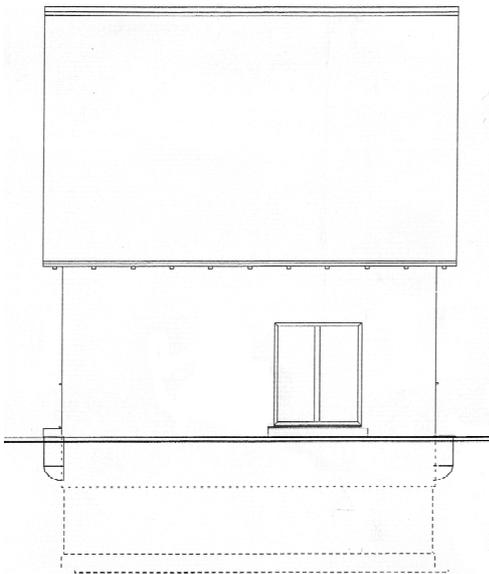


Abbildung 3 - 3: Ansicht Süd

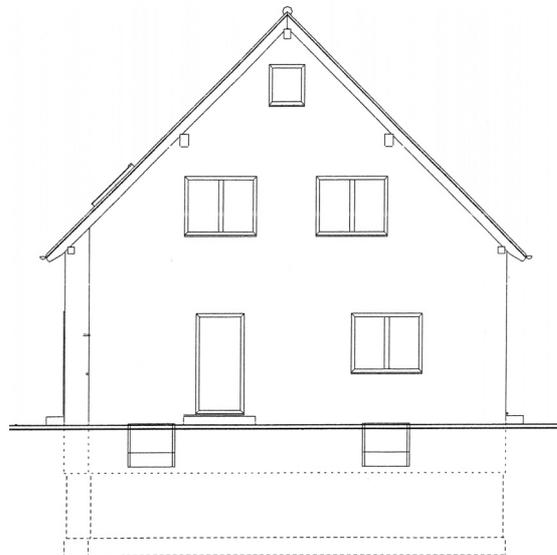


Abbildung 3 - 4: Ansicht West

3.2 Zusammenstellung der Grundflächen und Rauminhalte nach DIN 277

Die Grundflächen und Rauminhalte ergeben sich wie folgt. Für spätere Abänderungen des Aufbaus der Bauteile erfolgt eine Dickenerhöhung nach außen. Somit bleiben die Inneren Räume gleich groß.

		Kellergeschoss	Erdgeschoss	Dachgeschoss	Spitzboden	Summe
NF	(a)	27,91 m ²	45,29 m ²	46,71 m ²	29,06 m ²	148,97 m ²
VF	(a)	11,80 m ²	11,09 m ²	9,41 m ²	0,00 m ²	32,30 m ²
TF	(a)	17,83 m ²	0,00 m ²	0,34 m ²	0,00 m ²	18,17 m ²
NGF	(a)	57,53 m ²	56,38 m ²	56,46 m ²	29,06 m ²	199,43 m ²
BGF	(a)	68,05 m ²	68,57 m ²	68,57 m ²	40,36 m ²	245,54 m ²
KGF	(a)	10,52 m ²	12,19 m ²	12,10 m ²	11,30 m ²	46,11 m ²
BRI	(a)	191,23 m ²	195,75 m ²	161,80 m ²	52,08 m ²	600,86 m ²

Tabelle 3 - 1: Zusammenstellung der Grundflächen und Rauminhalte nach DIN 277

Die Berechnung der einzelnen Flächen ist in der Anlage „A – Grundflächen und Rauminhalte nach DIN 277“ zu finden.

3.3 Zusammenstellung der Wohnflächen

Auch hier sind die angegebenen Flächen bei allen Varianten gleich.

Wohnen	: $7 \cdot 4 + 1,75 \cdot 0,135 \cdot 3\%$	=	27,39 m ²
WC	: $1,375 \cdot 1,25 \cdot 3\%$	=	1,67 m ²
Küche	: $1,25 \cdot 4,5 + 2,625 \cdot 4 + 1 \cdot 0,135 \cdot 3\%$	=	15,77 m ²
Diele	: $1,625 \cdot 4,5 \cdot 3\%$	=	7,09 m ²
Eltern	: $3,435 \cdot 0,5 + 2,94 \cdot 3,435 \cdot 3\%$	=	11,46 m ²
Kind 1	: $3,065 \cdot 2 + 1,125 \cdot 1,845 + 0,77 \cdot 0,77 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 0,82 \cdot 3,125 \cdot 3\%$	=	9,49 m ²
Kind 2	: $3,44 \cdot 0,5 + 2,94 \cdot 3,44 \cdot 3\%$	=	11,48 m ²
Flur	: $1,375 \cdot 1,00 + 1,10 \cdot 4,875 - 0,697 \cdot 0,697 \cdot 0,5 \cdot 3\%$	=	6,30 m ²
Bad	: $1,845 \cdot 2,625 + 0,82 \cdot 0,5 \cdot 2,625 \cdot 3\%$	=	5,74 m ²
		Wohnfläche gesamt	= 96,39 m²

Tabelle 3 - 2: Zusammenstellung der Wohnflächen

