

Kay Michael Hirt

Schrittweise Entwicklung eines
energieoptimierten Einfamilienhauses auf
Grundlage der aktuellen
Energieeinsparverordnung

Diplomarbeit

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2001 Diplom.de
ISBN: 9783832454111

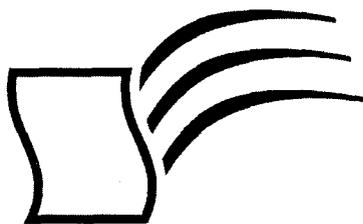
Kay Michael Hirt

**Schrittweise Entwicklung eines energieoptimierten
Einfamilienhauses auf Grundlage der aktuellen Energie-
einsparverordnung**

Kay Michael Hirt

Schrittweise Entwicklung eines energieoptimierten Einfamilienhauses auf Grundlage der aktuellen Energieeinsparverordnung

**Diplomarbeit
an der Fachhochschule Magdeburg
Dezember 2001 Abgabe**



Diplom.de

Diplomica GmbH _____
Hermannstal 119k _____
22119 Hamburg _____

Fon: 040 / 655 99 20 _____
Fax: 040 / 655 99 222 _____

agentur@diplom.de _____
www.diplom.de _____

ID 5411

Hirt, Kay Michael: Schrittweise Entwicklung eines energieoptimierten Einfamilienhauses auf Grundlage der aktuellen Energieeinsparverordnung / Kay Michael Hirt - Hamburg: Diplomica GmbH, 2002
Zugl.: Magdeburg, Fachhochschule, Diplomarbeit, 2001

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 Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Diplomica GmbH
<http://www.diplom.de>, Hamburg 2002
Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	7
Abbildungsverzeichnis	8
Tabellen- und Diagrammverzeichnis	9
Einleitung	10
Zielstellung der Diplomarbeit	10
Durchführung der Themenbearbeitung	10
Ansichten des gewählten Einfamilienhauses	
Ansicht West	12
Ansicht Ost	13
Ansicht Süd	14
Ansicht Nord	15
Kapitel I : Theoretische Grundlagen	16
1. Die neue Energieeinsparverordnung (EnEV)	16
1.2. Sinn der Energieeinsparverordnung	16
1.3. Grundgedanken der neuen EnEV	17
2. Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_P	21
2.1. Allgemeine Grundlagen	21
2.2. Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_P nach DIN V 4108 – 6	22
2.2.1. Ermittlung des Jahres-Heizwärmebedarfs Q_H	22
2.2.1.1. Das Monatsbilanzverfahren zur Ermittlung von Q_H	23
2.2.1.2. Das vereinfachte Verfahren zur Ermittlung von Q_H	30

2.2.2.	Ermittlung des Nutzwärmebedarfs zur Trinkwassererwärmung Q_W	33
2.2.3.	Ermittlung der Jahres-Wärmegewinne durch die Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung Q_{WR}	33
2.2.4.	Ermittlung der Anlagenaufwandszahl e_P	33
2.3.	Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_P nach DIN V 4701 – 10	34
2.3.1.	Allgemeine Grundlagen	34
2.3.2.	Rechenverfahren nach DIN V 4701 – 10 zur Ermittlung des Primärenergiebedarfs Q_P	36
2.3.2.1.	Methodik der Berechnung des Primärenergiebedarfs zur Trinkwassererwärmung $Q_{TW,P}$	38
2.3.2.2.	Methodik der Berechnung des Primärenergiebedarfs $Q_{L,P}$ von Lüftungsanlagen	40
2.3.2.3.	Methodik der Berechnung des Primärenergiebedarfs $Q_{H,P}$ von Heizungsanlagen	41
2.3.3.	Ermittlung der Anlagenaufwandszahl e_P	42
3.	Begrenzung des Transmissionswärmeverlustes H_T	43
3.1.	Ziel der Begrenzung der Transmissionswärmeverluste H_T	43
3.2.	Erläuterung der Berechnungsgrößen	45
3.2.1.	Transmissionswärmeverluste durch Bauteile zur Außenluft	45
3.2.1.1.	Kompaktheit des Gebäudes (A / V – Verhältnis)	45
3.2.1.2.	Wärmeleitfähigkeit der Gebäudehülle	46
3.2.2.	Thermischer Leitwert über das Erdreich	48
3.2.3.	Spezifischer Wärmeverlust infolge Wärmebrücken	48
3.2.4.	Spezifischer Wärmeverlust für Bauteile mit Flächenheizung	50

Kapitel II : Praktische Anwendung am Beispiel eines	
Einfamilienhauses	51
Allgemeine Ausführungen	51
4. Das energiesparende Haus nach EnEV	
mit $Q_p'' \approx 110 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	69
4.1. Projektunterlagen	69
4.2. Kenngrößen der verwendeten Baustoffe	74
4.3. Ermittlung des Jahres-Heizwärmebedarfs Q_H'' nach dem Monatsbilanzverfahren und des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_P'' nach dem Tabellenverfahren	76
4.3.1. Berechnung der erforderlichen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte)	77
4.3.2. Ermittlung der wärmeübertragenden Umfassungsflächen	82
4.3.3. Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_P''	84
4.3.4. Nachweis der Anforderungen für Q_P'' und H_T nach EnEV	87
4.4. Bewertung der gewählten Konstruktion und der gewählten technischen Anlage	92
5. Abstufung des Jahres-Primärenergiebedarfs	
auf $Q_p'' \approx 95 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	93
5.1. Projektunterlagen	93
5.2. Kenngrößen der verwendeten Baustoffe	99
5.3. Ermittlung des Jahres-Heizwärmebedarfs Q_H'' nach dem Monatsbilanzverfahren und des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_P'' nach dem Tabellenverfahren	100

5.3.1.	Berechnung der erforderlichen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte)	100
5.3.2.	Ermittlung der wärmeübertragenden Umfassungsflächen	104
5.3.3.	Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs Q^*_P	106
5.3.4.	Nachweis der Anforderungen für Q^*_P und H_T nach EnEV	109
5.4.	Bewertung der gewählten Konstruktion und der gewählten technischen Anlage	114
6.	Abstufung des Jahres-Primärenergiebedarfs auf $Q^*_p \approx 75 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	115
6.1.	Projektunterlagen	115
6.2.	Kenngößen der verwendeten Baustoffe	120
6.3.	Ermittlung des Jahres-Heizwärmebedarfs Q^*_H nach dem Monatsbilanzverfahren und des Jahres-Primärenergiebedarfs Q^*_P nach dem Tabellenverfahren	122
6.3.1.	Berechnung der erforderlichen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte)	122
6.3.2.	Ermittlung der wärmeübertragenden Umfassungsflächen	126
6.3.3.	Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs Q^*_P	128
6.3.4.	Nachweis der Anforderungen für Q^*_P und H_T nach EnEV	136
6.4.	Bewertung der gewählten Konstruktion und der gewählten technischen Anlage	141

7.	Abstufung des Jahres-Primärenergiebedarfs auf $Q_p'' \approx 55 \text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	142
7.1.	Projektunterlagen	142
7.2.	Kenngößen der verwendeten Baustoffe	147
7.3.	Ermittlung des Jahres-Heizwärmebedarfs Q_H'' nach dem Monatsbilanzverfahren und des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_P'' nach dem Tabellenverfahren	149
7.3.1.	Berechnung der erforderlichen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte)	149
7.3.2.	Ermittlung der wärmeübertragenden Umfassungsflächen	153
7.3.3.	Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_P''	155
7.3.4.	Nachweis der Anforderungen für Q_P'' und H_T nach EnEV	158
7.4.	Bewertung der gewählten Konstruktion und der gewählten technischen Anlage	163
8.	Das Passivhaus mit $Q_p'' \approx 40 \text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und $Q_H'' < 15 \text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$	164
8.1.	Projektunterlagen	164
8.2.	Kenngößen der verwendeten Baustoffe	169
8.3.	Ermittlung des Jahres-Heizwärmebedarfs Q_H'' nach dem Monatsbilanzverfahren und des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_P'' nach dem Tabellenverfahren	171
8.3.1.	Berechnung der erforderlichen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte)	171
8.3.2.	Ermittlung der wärmeübertragenden Umfassungsflächen	175
8.3.3.	Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_P''	177

8.3.4.	Nachweis der Anforderungen für Q_P und H_T nach EnEV	187
8.3.5.	Nachweis der Anforderungen mit Hilfe des Passivhausprojektierungspakets	192
8.4.	Bewertung der gewählten Konstruktion und der gewählten technischen Anlage	195
Kapitel III : Auswertung		197
9.	Variantenvergleich	197
9.1.	Darstellung der Varianten	197
9.2.	Konstruktionsanalyse	201
9.3.	Bewertung der gewählten Anlagentechnik zur Gebäudebeheizung und Trinkwassererwärmung	206
9.4.	Kostenvergleich	210
Zusammenfassung		213
Schlussfolgerungen		214
Literaturverzeichnis		216
Anhang A	Berechnungsblätter für das Monatsbilanzverfahren und zur Ermittlung der Anlagenaufwandszahl	218
Anhang B	Berechnungsblätter für das Vereinfachtes Verfahren	228
Anhang C	Konstruktionsdetails nach DIN 4108 Beiblatt 2	231
Anhang D	Nachweis für Elektroheizung	234
Anhang E	Antragsformulare	237
Erklärung zur Urheberschaft		242

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1 : Endenergieverbrauch in Deutschland 1995 nach Verbrauchergruppen	20
Abbildung 2 : Energieverluste	22
Abbildung 3 : Wärmegewinne und Wärmeverluste am Haus	28
Abbildung 4 : Berechnung des Energiebedarfs in Richtung der Entwicklung	39
Abbildung 5 : Erläuterung des Berechnungsschemas für die Trinkwassererwärmung	43
Abbildung 6 : Erläuterung des Berechnungsschemas für die Lüftung	44
Abbildung 7 : Erläuterung des Berechnungsschemas für die Raumheizung	46
Abbildung 8 : Kompaktheit der Baukörper	49
Abbildung 9 : A/V-Verhältnis	49
Abbildung 10 : Wärmeleitfähigkeit	50
Abbildung 11 : Behaglichkeit	51
Abbildung 12 : Wärmebrücken	53

Tabellen- und Diagrammverzeichnis

	Seite
Tabelle 1 : Jahres-Primärenergiebedarf	53
Diagramm 1 : Jahres-Primärenergiebedarf	54
Tabelle 2 : Jahres-Endenergiebedarf	56
Diagramm 2 : Jahres-Endenergiebedarf	57
Tabelle 3 : Jahres-Hilfsenergiebedarf	59
Diagramm 3 : Jahres-Hilfsenergiebedarf	60
Tabelle 4 : Jährliche Betriebskosten	62
Diagramm 4 : Jährliche Betriebskosten	63
Tabelle 5 : Jährliche Gesamtkosten	65
Diagramm 5 : Jährliche Gesamtkosten	66
Tabelle 6 : Mehrkosten	67
Tabelle 7 : Ergebnisse für die gewählten Varianten	198
Diagramm 6 : Ergebnisse für die gewählten Varianten in Prozent	199

Einleitung

Zielstellung

Durch die vorliegende Diplomarbeit wird das Thema des energiesparenden Bauen auf Grundlage der neuen Energieeinsparverordnung aufgegriffen. Zielstellung soll es sein, ein „normales“ Einfamilienhaus, das nach heutigen Maßstäben dem Niedrigenergiehausstandard ($Q''_H \leq 75 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) entsprechen würde, schrittweise bis zum Passivhausstandard ($Q''_H \leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) weiterzuentwickeln.

Die Ausrichtung der entsprechenden Varianten erfolgt auf Grundlage des flächenbezogenen Jahres-Primärenergiebedarfs Q''_P , da dieser die Grundlage für die Bewertung nach der Energieeinsparverordnung ist. Die dabei herausgearbeiteten Varianten sind hinsichtlich ihrer baukonstruktiven und ihrer anlagentechnischen Maßnahmen darzustellen und zu bewerten.

Durchführung der Themenbearbeitung

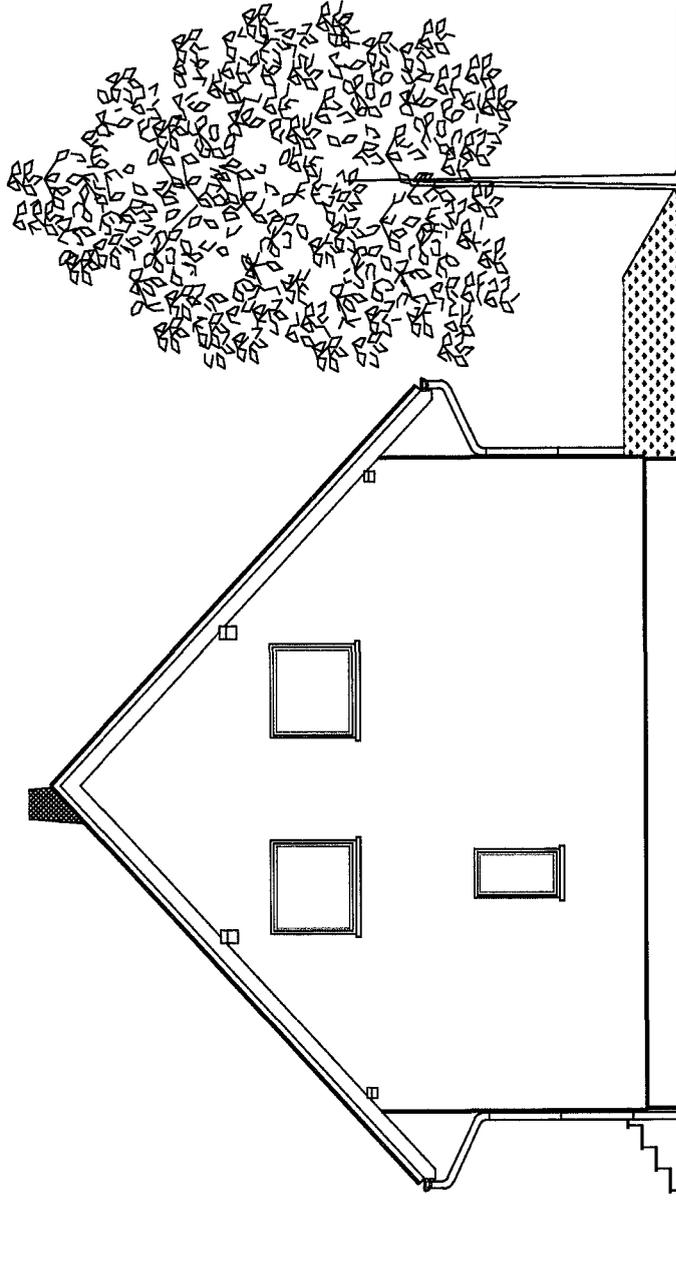
Die nachfolgende Diplomarbeit gliedert sich in einen theoretischen Teil und in einen Teil zur praktischen Umsetzung. Der theoretische Teil soll dazu dienen, dem Leser die Grundlagen der Energieeinsparverordnung und der Bewertung von Gebäuden nach der Energieeinsparverordnung zu vermitteln. Im praktischen Teil werden die Gesetzmäßigkeiten der Energieeinsparverordnung anhand verschiedener Beispiele angewendet. Um eine größere Auswahlmöglichkeit zu erhalten, sind Hausvarianten mit unterschiedlichen Wandkonstruktionen und verschiedene technischen Anlagen zur Beheizung und Trinkwassererwärmung miteinander kombiniert worden. Die daraus resultierenden Ergebnisse für den flächenbezogenen Jahres-Primärenergiebedarf Q''_P , den flächen-

bezogenen Endenergiebedarf $Q''_{WE,E}$, den flächenbezogenen Hilfsenergiebedarf $Q''_{HE,E}$, die jährlichen Betriebskosten und die jährlichen Gesamtkosten aus den Investitions- und den Betriebskosten sind in Tabellen- und Diagrammform zusammengefasst worden, um eine bessere Vergleichsmöglichkeit der Kombinationen aus Baukonstruktion und Anlagentechnik zu erreichen.

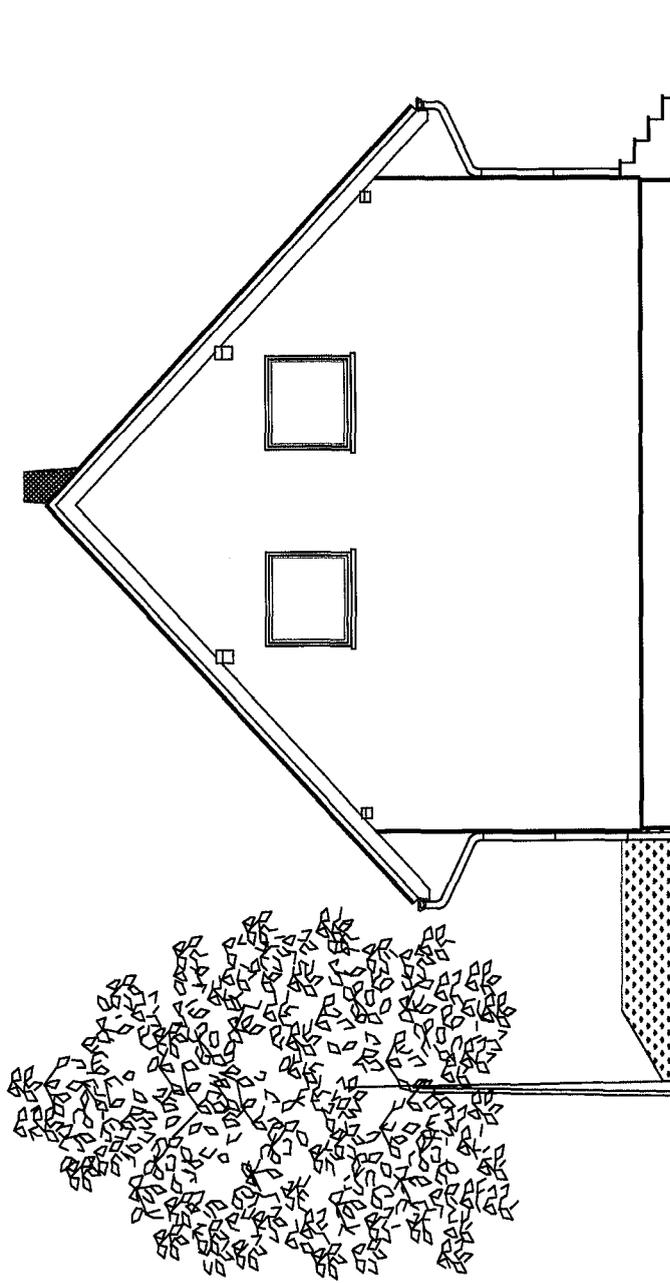
Aus den gewonnenen Ergebnissen sind die, für die weitere Bearbeitung notwendigen Varianten zur Abstufung des Jahres-Primärenergiebedarfs gewählt worden.

Für die fünf ausgewählten Kombinationen erfolgte eine Erstellung der notwendigen Projektunterlagen, eine Berechnung der erforderlichen Wärmedurchgangskoeffizienten (heute U-Werte, früher k-Werte) sowie eine ausführliche Bewertung der haustechnischen Anlagen.

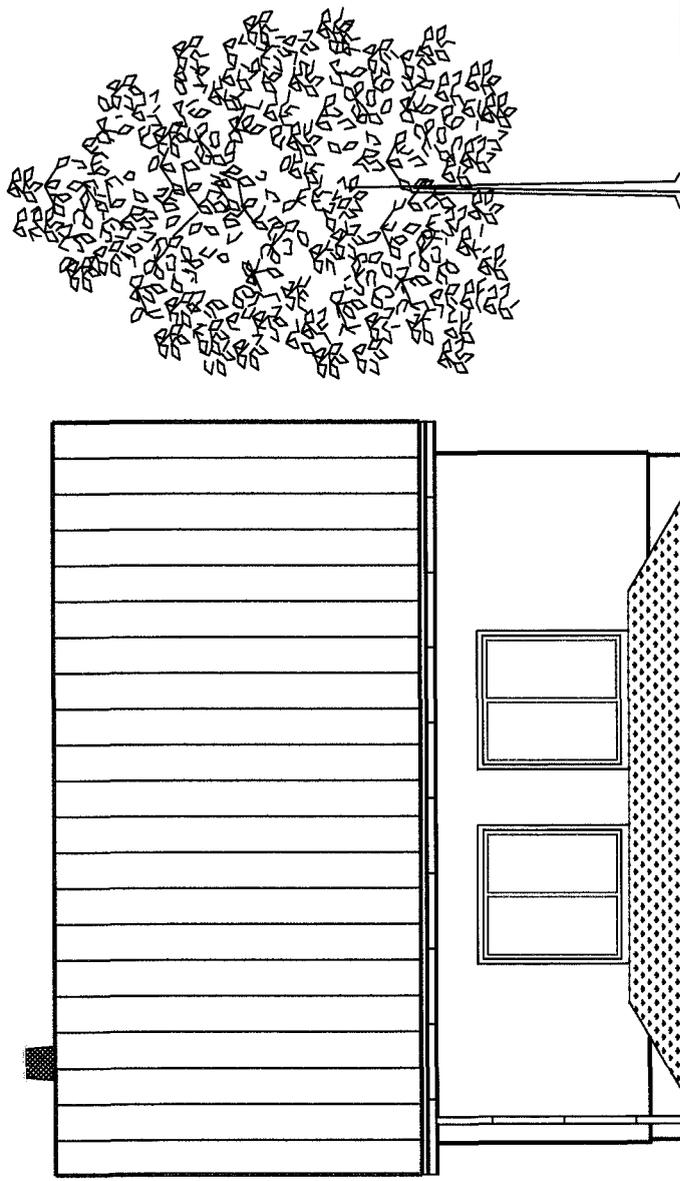
Abschließend wurden die gewählten Varianten hinsichtlich ihrer Baukonstruktion, Anlagentechnik, Betriebs- und Herstellungskosten, miteinander verglichen, um eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit zu machen zu können.



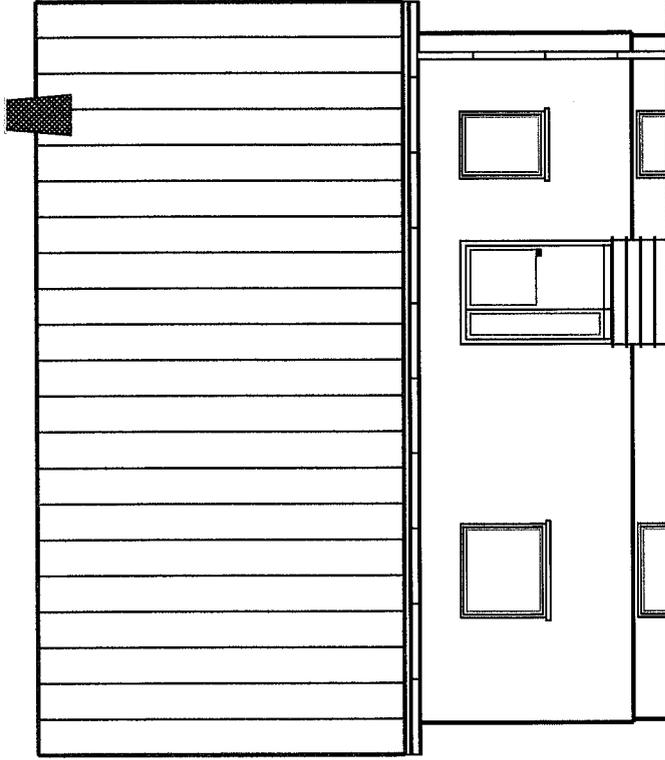
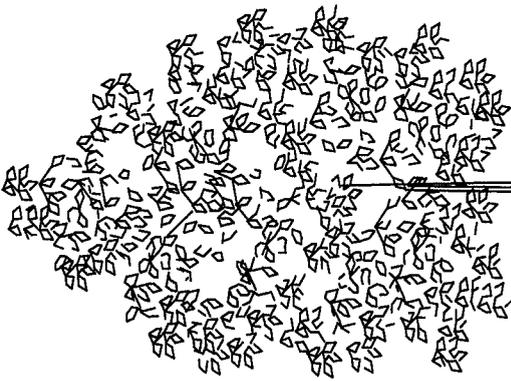
Projektbezeichnung	Neubau eines energiesparenden Einfamilienhauses		
Ausführungsvariante			
Darstellung	Ansicht		
Ebene	West		
gezeichnet	Kay Hirt - 972080	MASSSTAB 1 : 100	ZEICHENBLATT 000-1-001
geprüft		ZEITUM 06.11.2001	BLATT 12
geprüft			



Projektbezeichnung	Neubau eines energiesparenden Einfamilienhauses		
Ausführungsvariante			
Darstellung	Ansicht		
Ebene	Ost		
gezeichnet	Kay Hirt - 972080	VERSTÄRKER	000-1-002
geprüft		1 : 100	Blatt
geprüft		06.11.2001	13



Projektbezeichnung	Neubau eines energiesparenden Einfamilienhauses		
Ausführungsvariante			
Darstellung	Ansicht		
Ebene	Süd		
gezeichnet	Kay Hirt - 972080	MASSSTAB	1 : 100
geprüft		VERMÄSSIGER	000-1-003
geprüft		ZEITPUNKT	06.11.2001
		BLATT	14



Projektbezeichnung	Neubau eines energiesparenden Einfamilienhauses			
Ausführungsvariante				
Darstellung	Ansicht			
Ebene	Nord			
gezeichnet	Kay Hirt - 972080	MASSSTAB	1 : 100	PLANNUMMER 000-1-004
geprüft		datum	06.11.2001	Blatt 15
geprüft				

Kapitel I : Theoretische Grundlagen

1. Die Energieeinsparverordnung (EnEV)

1.1. Sinn der Energieeinsparverordnung

Bei der Verringerung des Treibhauseffektes spielt die Energieeinsparung für Haushalte und Kleinverbraucher eine wichtige Rolle. In der Bundesrepublik Deutschland werden für die Heizung und Warmwasserbereitung etwa ein Drittel der Endenergie verbraucht und somit auch ein Drittel der CO₂-Emissionen verursacht. Durch die neue Energieeinsparverordnung soll die Reduzierung des Ausstoßes des Treibhausgases CO₂ eine verbesserte gesetzliche Grundlage erhalten.

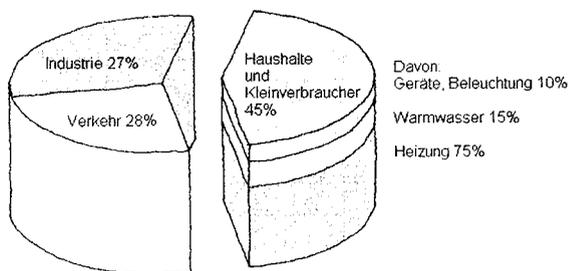


Abb. 1: Endenergieverbrauch in Deutschland 1995 nach Verbrauchergruppen

Quelle: BUND-Fachgruppe Bauen und Energie

Daher kommt der Energieeinsparung bei Alt- und Neubauten eine zentrale Rolle zu, da solche Gebäude erfahrungsgemäß eine hohe Lebensdauer besitzen und somit auch den zukünftigen Prozess der Vermeidung von Treibhausgasen entscheidend mit beeinflussen.

Obwohl das Neubauvolumen jährlich nur etwa ein Prozent des Bestandes ausmacht, wird bei einer längeren Betrachtungsweise über einen klimapolitisch relevanten Zeitraum (z.B. 50 Jahre) deutlich, dass Neubauten dann mengenmäßig ins Gewicht fallen. Würde dieser Trend fortgesetzt, ohne zusätzliche Maßnahmen zur Energieeinsparung zu veranlassen, so ist die verursachte Menge an CO₂ durch die hinzukommenden Neubauten deutlich höher, als es zum gegenwärtigen Zeitpunkt beabsichtigt ist. Versäumnisse, die bei heutigen Neubauten

gemacht werden, wiegen schwer, da eine Korrektur in den meisten Fällen erst zu einem sehr späten Zeitpunkt im Rahmen einer „Altbausanierung“ kostengünstig erfolgen kann. Der Verbesserung der Energieeffizienz im Neubau muss daher die größte Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Während die Wärmeschutzverordnung von 1995 nur die Gebäudedaten berücksichtigte, werden in der Energieeinsparverordnung die Wärmeschutzverordnung und die Heizungsanlagenverordnung miteinander kombiniert und somit der Gedanke eines ganzheitlichen Energieeinsparkonzeptes verwirklicht.

Ziel ist es, den Energiebedarf im Gebäude zu verringern und Anlagen mit hohem Wirkungsgrad zur Beheizung und Warmwasserbereitung einzusetzen. Die Energieeinsparverordnung bildet einen wichtigen Beitrag in der Klimaschutzpolitik der Bundesrepublik Deutschland. Die festgelegten Forderungen zur Senkung des Primärenergieeinsatzes für die Errichtung und Nutzung von Gebäuden sind deshalb auch ein wesentlicher Bestandteil der Initiative der Bundesregierung zur Senkung der CO₂-Emissionen um 25 % bis zum Jahre 2005 gegenüber dem Jahr 1990.

1.2. Grundgedanken der Energieeinsparverordnung

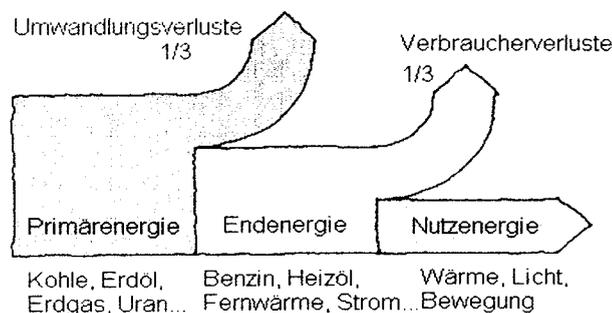
Mit der Energieeinsparverordnung soll vor allem der Energiebedarf für die Beheizung von Gebäuden und die Warmwasserbereitung nachhaltig begrenzt werden. Zu diesem Zweck wurden die Wärmeschutzverordnung und die Heizungsanlagenverordnung in einer Verordnung zusammenfasst.

Die neue Zielgröße ist nun der Jahres-Primärenergiebedarfs Q_P . In der Wärmeschutzverordnung 95 war der Jahres-Heizwärmebedarfs Q_H die wichtigste Bezugsgröße für das Gebäude. Der Vorteil der Umstellung auf den Jahres-Primärenergiebedarf liegt darin, dass nun nicht nur der

Verbrauch des Endnutzers betrachtet wird, sondern auch der Energieverbrauch zur Herstellung der notwendigen Energien mit Beachtung findet. Damit werden auch die Verluste, die bei der Förderung, der Aufbereitung, der Umwandlung, des Transportes und der Verteilung der Energie entstehen, mit berücksichtigt.

Wie aus der nachstehenden Grafik ersichtlich ist, fallen auf diesem Wege schon zwei Drittel der Gesamtverluste der eingesetzten Energie an.

Abb.2: Energieverluste



Quelle: BUND-Fachgruppe Bauen und Energie

Die Ausrichtung der Anforderungen auf den Primärenergiebedarf soll dem Bauherren die Möglichkeit geben, durch eine bestimmte Gebäude- und Anlagenauswahl für eine langfristige Verringerung des mit den Gebäudenutzung verbundenen Energieverbrauchs zu sorgen und somit zur Vermeidung des Treibhausgases CO₂ beizutragen. In Abhängigkeit von dem gewählten Beheizungssystem und der Art der Warmwasserbereitung kann der Primärenergiebedarf für Gebäude mit dem gleichen Bedarf an Nutzenergie auf Grund der Wahl des Energieträgers (Öl, Gas, Strom u.a.) um mehr als den Faktor drei differieren.

Für den Energieträger Strom sind z.B. sämtliche Faktoren der Primärenergieerzeugung mit den Vorketten für Förderung, Aufbereitung, Umwandlung, den Transport und die Verteilung für den dreimal höher, als z.B. für den Energieträger Erdgas.