

Daniel Scherz

Zur energetischen Optimierung von gründerzeitlichen Etagenhäusern

Anlagen- und bautechnische Potentiale eines Hamburger Referenzobjektes



Cuvillier Verlag

Zur energetischen Optimierung von gründerzeitlichen Etagenhäusern

Anlagen- und bautechnische Potentiale
eines Hamburger Referenzobjektes

Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg-Harburg
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Ing. Daniel Scherz

aus München

2006

Bibliografische 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.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2006

Zugl.: (TU) Hamburg-Harburg, Univ., Diss., 2006

ISBN 10: 3-86727-082-1

ISBN 13: 978-3-86727-082-3

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Holle

2. Gutachter: Prof. Irene Peters, Ph.D.

Prüfungsvorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Günter Rombach

Weitere Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dittmar Machule

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Schmitz

Tag der mündlichen Prüfung: 20. November 2006

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2006

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2006

Gedruckt auf säurefreiem Papier

ISBN 10: 3-86727-082-1

ISBN 13: 978-3-86727-082-3

Vorwort

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Energieproblematik und der damit verbundenen Suche nach Lösungsstrategien entstand die vorliegende Arbeit als Dissertation an der Technischen Universität Hamburg-Harburg. Sie untersucht im Bereich der Altbausanierung unterschiedliche anlagen- und bautechnische Maßnahmen zur energetischen Optimierung von gründerzeitlichen Etagenhäusern in Hamburg.

Gegenstand des ersten Teils ist eine im Hinblick auf die Auswahl des Untersuchungsobjektes durchgeführte typologische Betrachtung des Bestandes. Sie dient der Analyse der energetisch relevanten typologischen Gemeinsamkeiten und der möglichen Übertragbarkeit von Ergebnissen innerhalb des gründerzeitlichen Etagenhausbestandes.

Im zweiten Untersuchungsteil werden die an einem auf dieser Grundlage ausgewählten Referenzobjekt berechneten ökonomisch-ökologischen Auswirkungen verschiedener energetischer Optimierungsmaßnahmen und Maßnahmenkombinationen dargestellt und vergleichend bewertet.

Herzlich danken möchte ich an dieser Stelle allen, die mich während der Entstehung der Arbeit unterstützt haben. Dieser Dank gilt zunächst meinem wissenschaftlichen Betreuer Prof. Dr.-Ing. habil. Hans-Jürgen Holle von der Technischen Universität Hamburg-Harburg und Prof. Irene Peters, Ph.D. von der HafenCity Universität für die anregende Begleitung und die Begutachtung der Arbeit.

Bei den Mitarbeitern und studentischen Hilfskräften des Institutes für Angewandte Bautechnik bedanke ich mich gerne für die vielen hilfreichen Hinweise, interessanten Diskussionen und die Mithilfe bei der Grundlagenermittlung und dem Lektorat.

Außerdem möchte ich mich herzlich bei der Energiestiftung Schleswig-Holstein bedanken, die die Entstehung der Arbeit durch ein Stipendium maßgeblich gefördert hat.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern und meiner Familie für ihr reges Interesse und vor allem für die vielfältige Unterstützung bei der Erstellung der Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis.....	11
Verzeichnis der Formelzeichen	13
Kapitel 1 Einleitung	15
1.1 Ausgangslage.....	15
1.1.1 Die Energiefrage im 21. Jahrhundert.....	15
1.1.2 Folgen des hohen Energieverbrauchs und der Rohstoffknappheit...	16
1.1.3 Energieverbrauchsstruktur.....	18
1.2 Stand der Forschung.....	21
1.3 Ziel der Arbeit	23
1.4 Methodik und Gliederung	24
Kapitel 2 Das gründerzeitliche Etagenhaus in Hamburg	25
2.1 Geschichtliche und kulturhistorische Einordnung.....	25
2.1.1 Gründerzeit	25
2.1.2 Stilentwicklung	29
2.2 Entwicklung und Merkmale des gründerzeitlichen Etagenhauses	32
2.2.1 Abschnitt I 1871-1881	34
2.2.2 Abschnitt II 1882-1992.....	35
2.2.3 Abschnitt III 1893-1901	37
2.2.4 Abschnitt IV 1902-1914.....	38
2.2.5 Baukonstruktion und Materialien.....	40
2.2.6 Zusammenfassung der Unterschiede und Gemeinsamkeiten	42
2.3 Statistische Untersuchung zu Bautätigkeit und Bestand	44
2.3.1 Bautätigkeit und Baualtersklasse.....	46
2.3.2 Heutige Bestandssituation	48
2.3.3 Merkmale des gründerzeitlichen Etagenhausbestandes	50
2.4 Bewertung der Untersuchungsergebnisse	51

Kapitel 3 Auswahl des Untersuchungsgegenstandes	53
3.1 Das Gebäude „Kleine Freiheit 46-52“	53
3.1.1 Lage	54
3.1.2 Gebäudekonzeption	55
3.1.3 Konstruktion	59
3.1.4 Haustechnik	61
3.1.5 Bauschäden	63
3.1.6 Typologische Einordnung	64
Kapitel 4 Untersuchungsgang	67
4.1 Verfahrensschritte	68
4.2 Energetische Bilanz	70
4.2.1 Berechnungsmöglichkeiten	71
4.2.2 Auswahl des Berechnungsverfahrens	75
4.2.3 Berechnungsablauf und verwendete Software	77
4.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung	78
4.3.1 Formen der Wirtschaftlichkeitsberechnung	79
4.3.2 Beschreibung des verwendeten Berechnungsverfahrens	82
4.3.3 Berechnungsmethodik	82
4.4 Ökologische Bilanz	87
4.4.1 Methodik der Ökobilanzierung	88
4.4.2 Verfahren zur Bewertung von Ökobilanzen	92
4.4.3 Datenbanken und Software zur Ökobilanzerstellung	96
4.4.4 Vorgehensweise im Rahmen des Untersuchungsganges	97
4.5 Kombination von Wirtschaftlichkeit und Ökologie	101
Kapitel 5 Berechnung des Ist-Zustands	103
5.1 Eingabedaten	103
5.1.1 Bautechnik	103
5.1.2 Anlagentechnik	107
5.1.3 Datenvalidierung	108
5.2 Randbedingungen	110
5.2.1 Heizwärmebedarfsberechnung	110
5.2.2 Endenergiebedarfsberechnung	111
5.2.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung	112
5.2.4 Ökologische Bilanz	115
5.3 Berechnungsergebnisse	117
5.3.1 Vergleich von realem Verbrauch und berechnetem Bedarf	118
5.3.2 Energetische Bilanz	120
5.3.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung	123
5.3.4 Ökologische Bilanz	124

Kapitel 6 Anlagentechnik	127
6.1 Übersicht	127
6.2 Untersuchte Heiz- und Warmwassersysteme	131
6.2.1 Referenzanlage Gas-Etagenheizung	131
6.2.2 Referenzanlage Öl-Zentralheizung	131
6.2.3 Basisvariante Gas-Brennwert-Zentralheizung	131
6.2.4 Basisvariante Öl-Brennwert-Zentralheizung	132
6.2.5 Basisvariante Pellet-Zentralheizung	132
6.2.6 Basisvariante Wärmepumpen-Zentralheizung	132
6.2.7 Kombination Wärmepumpe und Gas-Brennwert-Zentralheizung ...	133
6.2.8 Kombination Wärmepumpe und Pellet-Zentralheizung	133
6.2.9 Kombination Wärmepumpe regenerativ und Pellet-Zentralheizung	133
6.2.10 Basisvariante Fernwärme-Zentralheizung	133
6.3 Solarthermische Anlagen	133
6.4 Lüftungsanlage	135
6.5 Fotovoltaik	135
6.6 Investitionskosten	136
6.7 Berechnungsergebnisse	137
6.7.1 Kosten	137
6.7.2 KEA	140
6.7.3 GWP und AP	142
6.7.4 Bewertung	143
6.7.5 Fotovoltaikanlage	145
6.7.6 Fazit und Systemauswahl	146
6.7.7 Sensitivitätsanalyse	148
Kapitel 7 Bautechnik	151
7.1 Übersicht	151
7.2 Untersuchte bautechnische Optimierungslösungen	153
7.2.1 Hofseitige Außenwände	153
7.2.2 Straßenseitige Außenwände	155
7.2.3 Fenster	157
7.2.4 Erdgeschossfußboden	158
7.2.5 Oberste Geschossdecke	159
7.2.6 Lichtschacht	160
7.2.7 Treppenhaus	160
7.3 Investitionskosten	161
7.4 Berechnungsergebnisse	163
7.4.1 Kosten	163
7.4.2 KEA	166
7.4.3 GWP und AP	167

7.4.4	Bewertung.....	169
7.4.5	Aufwandszahlentwicklung nach 20 Jahren.....	172
7.4.6	Fazit.....	175
Kapitel 8	Maßnahmenkombinationen	177
8.1	Ausgewählte Varianten.....	177
8.2	Berechnungsergebnisse.....	179
8.2.1	Kosten.....	179
8.2.2	KEA.....	180
8.2.3	GWP und AP.....	181
8.2.4	Bewertung.....	183
8.2.5	Vergleich mit verschiedenen Energiestandards.....	184
8.2.6	Fazit.....	186
Kapitel 9	Zusammenfassung und Schlussbetrachtung.....	189
9.1	Typologische Untersuchung.....	189
9.2	Potential der Optimierungsmaßnahmen.....	190
9.2.1	Anlagentechnik.....	190
9.2.2	Bautechnik.....	192
9.2.3	Maßnahmenkombinationen.....	193
Quellenverzeichnis	195	
Anhang	209	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung und Prognose des weltweiten Primärenergieverbrauchs ..	16
Abbildung 2: Entwicklung und Prognose der weltweiten Erdölförderung	16
Abbildung 3: Temperaturveränderungen nach IPCC SRES-Szenarien	17
Abbildung 4: Anteil der Verbrauchssparten am Endenergieverbrauch	19
Abbildung 5: Endenergieverbrauch in privaten Haushalten nach Anwendung	19
Abbildung 6: Anzahl der Wohneinheiten nach Baujahr	20
Abbildung 7: Bevölkerungsentwicklung des Deutschen Reiches	26
Abbildung 8: Neorenaissance-Fassade	30
Abbildung 9: Jugendstil-Hauseingang	31
Abbildung 10: Grundrissbeispiel H-Grundriss	37
Abbildung 11: Grundrissbeispiel T-Grundriss	37
Abbildung 12: Grundrissbeispiel 3-Spänner	39
Abbildung 13: Grundrissbeispiel 4-Spänner	39
Abbildung 14: Hamburg um 1866	45
Abbildung 15: Hamburg um 1909	46
Abbildung 16: Anzahl gründerzeitlicher Neubauten pro Zeitabschnitt	48
Abbildung 17: Straßenansicht „Kleine Freiheit 46-52“	53
Abbildung 18: Lage „Kleine Freiheit 46-52“ im Stadtgebiet von 1909	54
Abbildung 19: Lageplan „Kleine Freiheit 46-52“ heutige Situation	54
Abbildung 20: Grundriss Erdgeschoss, Nr. 46-52	55
Abbildung 21: Grundrisse Obergeschosse, Nr. 46-48, Plan von 1907	56
Abbildung 22: Grundrisse Obergeschosse, Nr. 46-48, heutiger Bestand	56
Abbildung 23: Stuckverzierter Giebel	57
Abbildung 24: Hoffassade	57
Abbildung 25: Schnitt, Nr. 46-48	58
Abbildung 26: Lichtschlitz zum Hof	58
Abbildung 27: Straßenseitige Balkone	61
Abbildung 28: Treppenhaus	61
Abbildung 29: Kohleofen, Nr. 46-48	62
Abbildung 30: Einbaudusche, Nr. 46-48	62
Abbildung 31: Schimmelpilzbefall	64
Abbildung 32: Feuchteschaden am Fenster	64

Abbildung 33: Verfahrensschritte.....	69
Abbildung 34: Bestandteile einer Ökobilanz	89
Abbildung 35: Materialprobenentnahme straßenseitige Außenwand	104
Abbildung 36: Strukturanalyse straßenseitiger Fries	104
Abbildung 37: Materialdatentabelle	104
Abbildung 38: Thermografieaufnahme der straßenseitigen Fassade.....	105
Abbildung 39: Thermografieaufnahme des Mittelrisalits.....	105
Abbildung 40: Beispiel Außenwandmodellierung EG	105
Abbildung 41: Beispiel Aufnahmedaten Treppenhausfenster.....	105
Abbildung 42: Grundriss EG mit Systemgrenzen, Flächen und Bauteilzuordnungen	106
Abbildung 43: Wärmestrommessung an der straßenseitigen Außenwand.....	109
Abbildung 44: Wärmestrom straßenseitige Außenwand	109
Abbildung 45: Energiebedarf im Vergleich	120
Abbildung 46: Wärmebilanz.....	121
Abbildung 47: Transmissionswärmeverluste Ist-Zustand	122
Abbildung 48: Energie- und Wartungskosten im Bestand	124
Abbildung 49: Wärme-, End- und Primärenergiebedarf im Vergleich.....	125
Abbildung 50: Übersicht der anlagentechnischen Systeme	129
Abbildung 51: Kostenvergleich Anlagentechnik bei EKS 1.....	138
Abbildung 52: Kostenvergleich Anlagentechnik bei EKS 2.....	138
Abbildung 53: KEA-Vergleich Anlagentechnik.....	141
Abbildung 54: GWP-Vergleich Anlagentechnik	142
Abbildung 55: AP-Vergleich Anlagentechnik	143
Abbildung 56: Bewertung Anlagentechnik bei EKS 1	144
Abbildung 57: Bewertung Anlagentechnik bei EKS 2	145
Abbildung 58: Übersicht der bautechnischen Optimierungsmaßnahmen.....	152
Abbildung 59: Kostenvergleich Bautechnik bei EKS 1	163
Abbildung 60: Kostenvergleich Bautechnik bei EKS 2	165
Abbildung 61: KEA-Vergleich Bautechnik.....	166
Abbildung 62: GWP-Vergleich Bautechnik	168
Abbildung 63: AP-Vergleich Bautechnik	168
Abbildung 64: Bewertung Bautechnik bei EKS 1	170
Abbildung 65: Bewertung Bautechnik bei EKS 2.....	171
Abbildung 66: Aufwandszahlentwicklung bei EKS 1.....	173
Abbildung 67: Aufwandszahlentwicklung bei EKS 2.....	174
Abbildung 68: Kostenvergleich Maßnahmenkombinationen.....	180
Abbildung 69: KEA-Vergleich Maßnahmenkombinationen.....	181
Abbildung 70: GWP-Vergleich Maßnahmenkombinationen	182
Abbildung 71: AP-Vergleich Maßnahmenkombinationen	183
Abbildung 72: Bewertung Maßnahmenkombinationen	184
Abbildung 73: Vergleich des maßnahmenbezogenen Heizwärmebedarfs	185

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Daten zur Wirtschaftsentwicklung Deutschlands	26
Tabelle 2: Erwerbstätige in Landwirtschaft und Industrie	27
Tabelle 3: Entwicklung deutscher Großstädte	28
Tabelle 4: Häufigkeit typologischer Merkmale	43
Tabelle 5: Bautätigkeit 1871-1914	47
Tabelle 6: Bestandssituation: Gründerzeitliche Wohnfläche und Wohneinheiten	49
Tabelle 7: Typologische Einordnung des Untersuchungsgegenstandes	65
Tabelle 8: Energiepreise und Kostensteigerungsraten	115
Tabelle 9: Endenergieverbrauch 2001	118
Tabelle 10: Vergleich Endenergieverbrauch und Bedarf	119
Tabelle 11: U-Werte der Bauteilgruppen	123
Tabelle 12: Bis 1918 in Hamburg errichtete Wohneinheiten nach Beheizungsart	128
Tabelle 13: Gesamtkosten der anlagentechnischen Systeme	137
Tabelle 14: Wirtschaftlichkeitsberechnung Fotovoltaikanlage	146
Tabelle 15: Bewertungsrangfolge Anlagentechnik nach Aufwandszahl	147
Tabelle 16: Sensitivität der Bewertung	148
Tabelle 17: Gesamtkosten der bautechnischen Optimierungsmaßnahmen	162
Tabelle 18: Maßnahmenkombinationen	178

Verzeichnis der Formelzeichen

Zeichen	Bezeichnung	Einheit
A	Gebäudehüllfläche	m ²
A _N	Gebäudenutzfläche nach EnEV	m ²
AP	Acidification Potential (Versauerungspotential)	kg SO ₂ -Äquiv.
a _{p,n}	Annuitätsfaktor zum Kalkulationszins p und Betrachtungszeitraum n	1/a
C ₀	Kapitalwert einer Investition	€
c _p	Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	J/kgK
C _{wirk}	Wirksame Speicherfähigkeit	Wh/m ³ K
e	Abschirmungsklasse	-
f _{p,s,m,n}	Faktor für Ersatzbeschaffung	-
g	Gesamtenergiedurchlassgrad	-
GWP	Global Warming Potential (Treibhauspotential)	kg CO ₂ -Äquiv.
G10	Gradtagszahl bei 10°C Heizgrenztemperatur	Kd/a
H _T '	Spezifischer, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogener Transmissionswärmeverlust	W/m ² K
I ₀	Investition zum Anfangszeitpunkt t = 0	€
K _a	Jahreskosten	€/a
KEA	Kumulierter Energieaufwand	kWh
K _{e,m}	Durchschnittliche jährliche Energiekosten	€/a
k _{e,0}	Gegenwärtiger spezifischer Energiepreis für den Energieträger	€/kWh
K _{g,n}	Gesamtkosten zum Betrachtungszeitraum n	€
K _i	Jährliche Kapitalkosten (annuitätisch)	€/a
K _{u,m}	Durchschnittliche jährliche Wartungs- und Unterhaltskosten	€/a
m	Nutzungsdauer der Komponente	a
m _e	Mittelwert der Verteuerung der Energie	-
MIPS	Material-Intensität pro Serviceeinheit	t/t
m _u	Mittelwertfaktor der Verteuerung der Wartungs- und Unterhaltskosten	-

Zeichen	Bezeichnung	Einheit
n	Betrachtungszeitraum	a
NP	Nutriphication Potential (Überdüngungspotential)	kg PO ₄ -Äquiv.
n _{Inf}	Infiltrationsrate	h ⁻¹
n ₅₀	Luftwechselrate bei 50 Pa Prüfdruckdifferenz	h ⁻¹
ODP	Ozone Depletion Potential (Ozonzerstörungspotential)	kg R11-Äquiv.
p	Kalkulationszins für Fremdkapital	1/a
POCP	Photochemical Ozone Creation Potential (Ozonbildungspotential)	kg C ₂ H ₄ -Äquiv.
R	Wärmedurchlasswiderstand	m ² k/W
s _a	Jährliche Preissteigerung für die betrachtete Anlage	1/a
s _e	Jährliche Teuerungsrate der Energie	1/a
s _u	Jährliche Teuerungsrate für Wartungs- und Unterhaltskosten	1/a
Q _E	Endenergiebedarf	kWh/a
Q _h	Heizwärmebedarf	kWh/a
Q _P	Primärenergiebedarf	kWh/a
U	Wärmedurchgangskoeffizient opakes Bauteil	W/m ² K
U _f	Wärmedurchgangskoeffizient Fensterrahmen	W/m ² K
U _g	Wärmedurchgangskoeffizient Fensterverglasung	W/m ² K
U _w	Wärmedurchgangskoeffizient Fenster	W/m ² K
V	Bruttogebäudevolumen	m ³
w	Wasseraufnahmekoeffizient	kg/m ² √h
λ	Wärmeleitfähigkeit	W/mK
μ	Diffusionswiderstandszahl	-
ρ	Rohdichte	kg/m ³
Φ	Porosität	m ³ /m ³
ψ _g	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient für den Glasrand	W/mK

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Ausgangslage

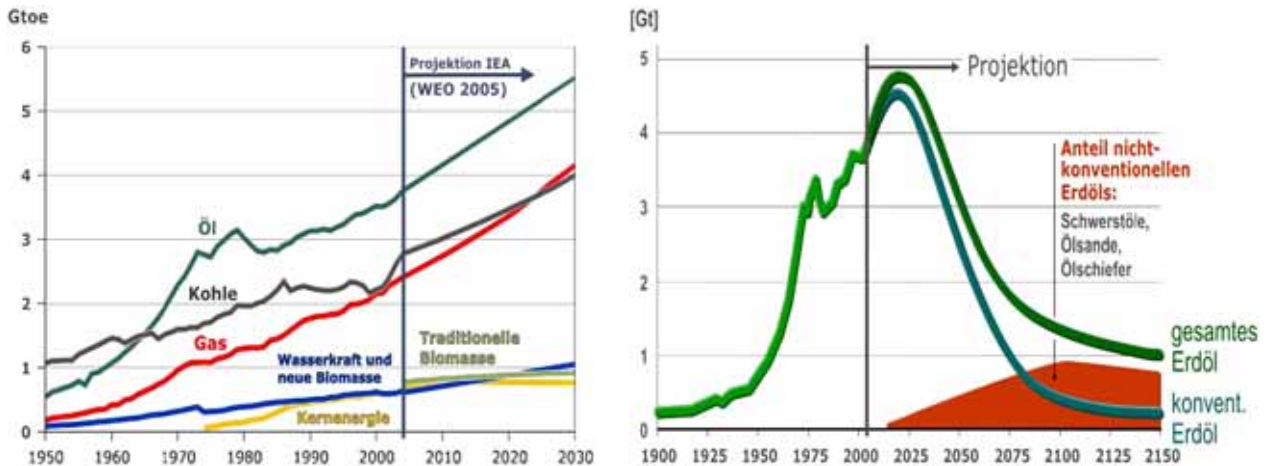
1.1.1 Die Energiefrage im 21. Jahrhundert

Eines der bestimmenden Themen im 21. Jahrhundert wird die Energiefrage und die Suche nach Antworten auf die damit verbundenen Probleme sein. Da insbesondere für die hoch technisierten Industrienationen zur Aufrechthaltung ihrer wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit und des hohen Lebensstandards große Mengen an Energie notwendig sind, andererseits aber die damit verbundenen Umweltbelastungen sowie die Verknappung der Ressourcen weit reichende Folgen haben, kommt der Entwicklung von diesbezüglichen Lösungsstrategien eine besondere Bedeutung zu.

Der Weltenergiebedarf steigt seit Jahrzehnten kontinuierlich an und wird zu 87 % mit fossilen Energieträgern gedeckt. In den letzten Jahren ist eine starke Zunahme des Verbrauchs insbesondere im asiatisch-pazifischen Raum zu verzeichnen gewesen, und es ist zu erwarten, dass sich dieser Trend mit der schnellen wirtschaftlichen Entwicklung in dieser Region fortsetzen und in Zukunft entscheidend zu einem weiteren Anstieg der weltweiten Verbrauchszahlen beitragen wird [vgl. 106].

Dem steigenden Energiebedarf steht die Begrenztheit der Energierohstoffvorkommen gegenüber. Auch wenn sich hier die Prognosen zum Teil deutlich unterscheiden, ist offensichtlich, dass in absehbarer Zeit bei ungebremster Nachfrage diese das Angebot übersteigen wird. Bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe geht man davon aus, dass für das Rohöl, welches mit 34 % den größten Anteil des Weltenergiebedarfs deckt, der depletion mid-point¹ in den nächsten 10 bis 15 Jahren erreicht sein wird [90, S.30-32]. Spätestens ab diesem Zeitpunkt entsteht bei weiter steigendem Bedarf ein nicht mehr auf bisherige Weise auszugleichendes Defizit.

¹ Zeitpunkt, an dem die Fördermenge nicht mehr gesteigert werden kann und abzunehmen beginnt.



Aus [90, S. 4, S. 32].

Abbildung 1: Entwicklung und Prognose des weltweiten Primärenergieverbrauchs

Abbildung 2: Entwicklung und Prognose der weltweiten Erdölförderung

Aus dem hohen Energieverbrauch und der Ressourcenknappheit ergibt sich eine Reihe von Problemen, die bedeutende ökologische und sozioökonomische Folgen haben können.

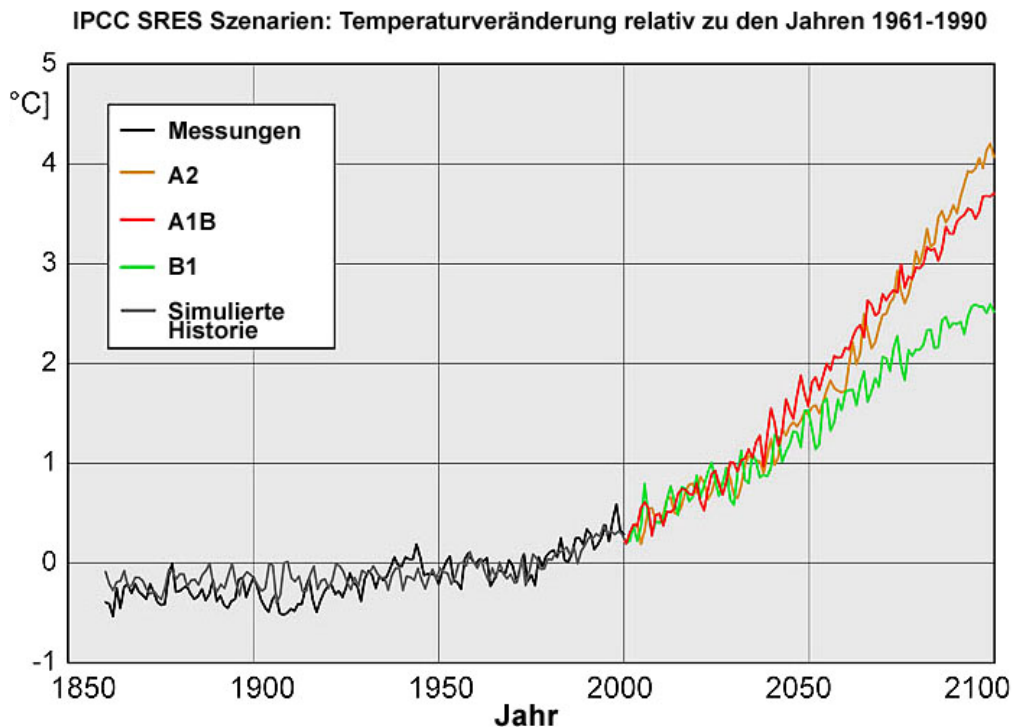
1.1.2 Folgen des hohen Energieverbrauchs und der Rohstoffknappheit

Durch den Verbrauch an fossilen Energieträgern hat sich die Menge der freigesetzten und in der Atmosphäre kumulierten Treibhausgase in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich erhöht. Gleichzeitig ist ein Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur um 0,6 °C im letzten Jahrhundert zu verzeichnen [102, S. 2]. In der wissenschaftlichen Diskussion besteht ein breiter Konsens darüber, dass ein direkter Zusammenhang zwischen diesen beiden Faktoren besteht und die globale Erderwärmung nicht alleine auf natürliche Ursachen zurückzuführen, sondern zu einem entscheidenden Teil anthropogenen Ursprunges ist [123, S. 21].

Mit Hilfe verschiedener Prognosemodelle ist ermittelt worden, mit welchen weiteren Temperaturanstiegen bei unterschiedlichen Energieverbrauchsszenarien in den nächsten Jahrzehnten gerechnet werden muss. Das Deutsche Klimarechenzentrum hat in einer Simulation zu dem für 2007 geplanten Assessment Report 4 des International Panel Of Climate Change (IPCC) je nach verwendetem SRES-Szenario², einen An-

² Das IPCC hat 40 verschiedene „Second Report on Emission Scenarios“ erstellt, die die mögliche wirtschaftliche, technologische und soziale Entwicklung bis zum Jahr 2100 abbilden und in 4 Hauptgruppen unterteilt sind. Während die A-Szenarien eher eine ökonomisch ausgerichtete Entwicklung annehmen, wird den B-Szenarien eine deutlich ökologischere Ausrichtung zu Grunde gelegt.

stieg der durchschnittlichen Oberflächentemperatur bis zum Jahr 2100 um 2,5 bis 4,1 °C berechnet (siehe Abbildung 3). Andere Studien gehen davon aus, dass damit der Temperaturanstieg auf Grund von nicht hinreichend berücksichtigten Rückkopplungseffekten noch unterschätzt sein könnte [vgl. 138].



Nach [48].

Abbildung 3: Temperaturveränderungen nach IPCC SRES-Szenarien

Bei diesen prognostizierten Temperatursteigerungen sind einschneidende Folgen für das Ökosystem zu erwarten. Von der Verringerung der Landeismassen über den Anstieg der Meeresspiegel bis hin zur Zunahme von extremen Wetterereignissen sind bereits heute die Auswirkungen einer klimatischen Veränderung zu beobachten [vgl. auch [98; 102, S. 2-5]. Die möglichen ökonomischen Schäden lassen sich dabei nur schwer abschätzen, werden aber nach verschiedenen Studien bedeutende volkswirtschaftliche Auswirkungen haben [158, S. 1-3].

Eine weitere Verknappung der Ressourcen bei gleichzeitig steigendem Bedarf ist auch aus strategischer Sicht von besonderer Wichtigkeit. Da eine langfristig gesicherte Energieversorgung eine wichtige Grundlage für jede hoch technisierte Gesellschaft ist, wird eine Kontrolle der verfügbaren Reserven zu einer globalen Kernfrage, die bei einem Mangel an Alternativlösungen zu ernststen zwischenstaatlichen Konflikten führen kann. So fordert der Vorsitz des Europäischen Rates beispielsweise, die „...Arbeiten

zur Entwicklung und Durchführung einer externen Energiepolitik unter Einsatz aller verfügbaren Instrumente einschließlich der GASP³ und der ESVP⁴ voranzubringen...“ [134, S. 10], was die Aktualität dieser Problematik unterstreicht.

Diese Ressourcenverknappung macht sich nicht zuletzt bei den Energiepreisen deutlich bemerkbar, die in den letzten Jahren zum Teil im zweistelligen Prozentbereich pro Jahr gestiegen sind [vgl. 149]. Für den Endverbraucher führt das auf vielen Gebieten zu höheren Kosten, und es stellt sich die Frage, wie einschneidend die zukünftigen finanziellen Belastungen, insbesondere in energieintensiven Bereichen, sein werden.

Aus all diesen Gründen ist es von besonderer Bedeutung, kurzfristig Antworten auf die Energiefragen zu finden und Lösungsmöglichkeiten zu entwickeln. Dabei stehen zwei Strategien im Vordergrund. Zum einen ist es notwendig, die Energieversorgung langfristig auf alternative Energieträger umzustellen, und zum anderen muss parallel dazu der hohe Energieverbrauch reduziert werden.

Bei der Suche nach Energieeinsparmöglichkeiten sind im Hinblick auf eine möglichst große Effektivität der Maßnahmen dabei zunächst einmal diejenigen Bereiche mit dem größten Anteil am Gesamtenergieverbrauch von besonderem Interesse. Die Analyse der Energieverbrauchsstruktur ist demnach eine Voraussetzung zur Präzisierung der diesbezüglich wichtigsten Handlungsfelder.

1.1.3 Energieverbrauchsstruktur

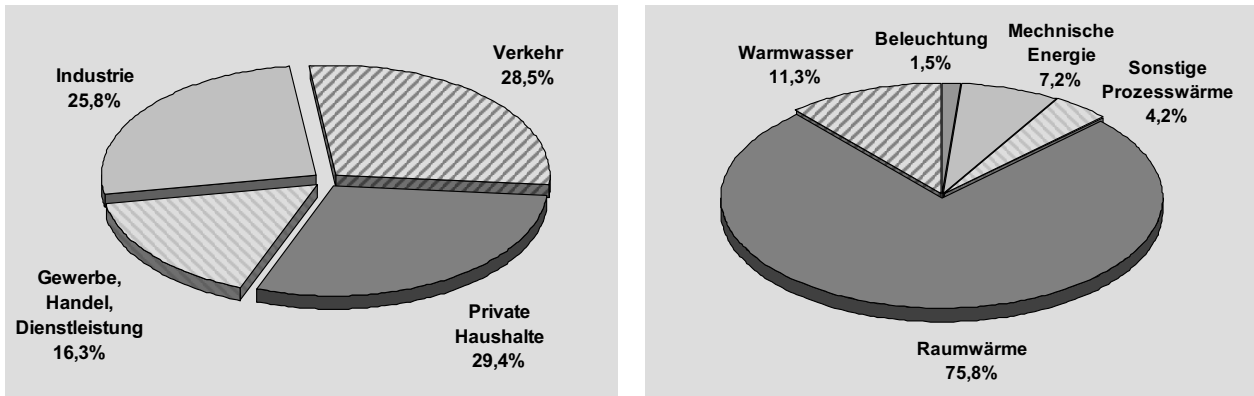
Abbildung 4 zeigt die Aufteilung des Primärenergieverbrauchs in Deutschland nach einzelnen Sparten. Die privaten Haushalte weisen hierbei mit über 29 % den größten Einzelanteil auf und tragen mehr zum Gesamtenergieverbrauch bei als die Bereiche Verkehr oder Industrie.

Die Aufteilung dieser energieintensivsten Sparte in einzelne Anwendungsfelder ist in Abbildung 5 dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Raumheizung mit knapp 76 % hierbei den größten Anteil aufweist. Zusammen mit der Warmwasserbereitung werden in diesem Bereich fast 90 % der Gesamtenergie benötigt.

Einer energetischen Optimierung der Bau- und Anlagentechnik bei Wohngebäuden kommt daher hinsichtlich des Ziels einer Energieverbrauchsreduzierung in Deutschland eine entscheidende Bedeutung zu.

³ Gemeinsame Außen- und Sicherheitspolitik.

⁴ Europäische Sicherheits- und Verteidigungspolitik.



In Deutschland, nach [45, Tabellen 5 und 7].

Abbildung 4: Anteil der Verbrauchssparten am Endenergieverbrauch

Abbildung 5: Endenergieverbrauch in privaten Haushalten nach Anwendung

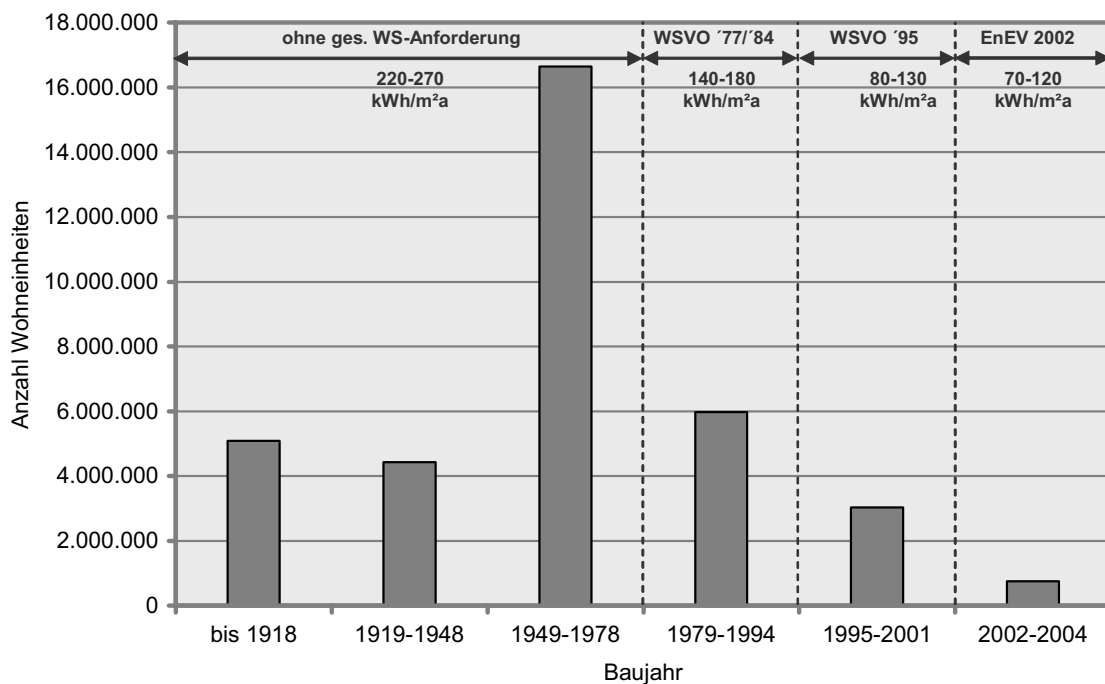
Dabei sind deutliche Unterschiede bezüglich des energetischen Ist-Zustandes festzustellen, je nachdem zu welcher Zeit und nach welchem Standard ein Objekt errichtet bzw. optimiert worden ist. In Abbildung 6 ist die Anzahl der Wohneinheiten in Deutschland nach Errichtungsjahr dargestellt und die wichtigsten Zeitmarken bezüglich der jeweils gesetzlich vorgeschriebenen Wärmeschutzstandards aufgetragen. Zusätzlich ist der für den jeweiligen Abschnitt typische durchschnittliche Heizwärmebedarf in kWh/m²a Wohnfläche angegeben.

Es ist ersichtlich, dass 73 % aller Bestandswohneinheiten zu einer Zeit errichtet worden sind, als noch keine Wärmeschutzmaßnahmen gesetzlich vorgeschrieben waren⁵. Damit weisen fast drei Viertel des Bestandes sehr hohe Heizwärmebedarfskennzahlen auf. Der Anteil von Wohneinheiten, die auf Grundlage der Energieeinsparverordnung 2002 mit einem dementsprechend niedrigeren Heizwärmebedarf errichtet worden sind, beträgt dagegen nur 2 %. Wenn man zusätzlich berücksichtigt, dass die jährliche auf den Gesamtbestand bezogene Neubaurate bei unter einem Prozent liegt, wird deutlich, dass eine nachhaltige und zeitnahe Senkung des Gesamtenergieverbrauches in erster Linie durch eine Reduzierung des Energiebedarfs der bis 1978 errichteten Wohngebäude erreicht werden kann.

Auch wenn allen Bauwerken dieser Gruppe gemeinsam ist, dass zu ihrer Erbauungszeit keine speziellen Wärmeschutzmaßnahmen ausgeführt wurden, ist hier aus energetischer Sicht dennoch eine Unterteilung in weitere Gebäudeklassen notwendig. Die

⁵ Die erste Wärmeschutzverordnung trat am 01.11.1977 in Kraft und wurde knapp ein Jahr später durch die erste Heizungsanlagenverordnung ergänzt. Bis dahin waren lediglich in der DIN 4108 Regelungen zum Mindestwärmeschutz enthalten.

verschiedenen typologischen und bautechnischen Unterschiede zwischen den einzelnen Baustilen führen zu jeweils spezifischen energetischen Merkmalen, so dass eine Grobgliederung nach dem Errichtungsdatum in drei Kategorien erfolgt [vgl. auch 150]. Es zeigt sich, dass die überwiegende Zahl der vor 1978 errichteten Wohneinheiten in dem Zeitraum zwischen 1949 und 1978, die zweitgrößte Anzahl vor dem Jahr 1919 und der kleinste Anteil zwischen 1919 und 1949 entstanden ist. In dieser Reihenfolge ist dementsprechend auch die jeweilige Relevanz in Bezug auf die Verringerung des Gesamtenergieverbrauchs zu sehen.



In Deutschland, nach [150; 151, S. 328].

Abbildung 6: Anzahl der Wohneinheiten nach Baujahr

Neben der Energieverbrauchsreduzierung kann die energetische Gebäudesanierung dabei weitere positive Effekte aufweisen. Hier sind insbesondere die Komfortsteigerung auf Grund eines verbesserten baulichen Wärmeschutzes oder einer anlagentechnischen Modernisierung sowie die Bauschadensvermeidung durch eine bauphysikalische Optimierung zu nennen.

Aus all diesen Gründen stellt die energetische Sanierung, und hier insbesondere die des vor 1978 errichteten Altbaubestandes, ein wichtiges Handlungsfeld und dementsprechend umfassendes Aufgabengebiet für die Bauforschung dar.

1.2 Stand der Forschung

Auf dem Gebiet der energetischen Optimierung von Bestandsgebäuden ist in den letzten Jahren in den unterschiedlichsten Bereichen intensiv geforscht worden, wobei auch zahlreiche Demonstrations- und Beispielvorhaben umgesetzt wurden. Die Themenschwerpunkte reichen dabei von der Untersuchung einzelner bauphysikalischer Fragestellungen über Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und ökologische Analysen bis hin zur Entwicklung von Gebäude- oder Stadtsanierungsstrategien. Im Folgenden werden die diesbezüglich wichtigsten Forschungseinrichtungen und besonders relevante Publikationen aufgeführt.

- Im Bereich der bauphysikalischen Forschung hat das Fraunhofer-Institut für Bauphysik in seinem Institutsteil Holzkirchen zahlreiche Forschungsvorhaben, insbesondere auf dem Gebiet des hygrothermischen Bauteilverhaltens, bearbeitet. Dabei sind die Projekte unter anderem in einer Freilandversuchsstelle durchgeführt worden, in der Baukonstruktionen unter realen Bedingungen messtechnisch erfasst werden können [51].
- Das Passivhaus-Institut hat ebenfalls umfassende bauphysikalische Analysen zu verschiedenen Problemstellungen bei der Altbausanierung erstellt. So sind bezüglich des Themas „Altbau und Passivhauskomponenten“ mehrere Forschungsberichte erschienen, in denen schwerpunktmäßig die Bereiche Luftdichtheit, Innendämmung und Wärmebrücken detailliert behandelt werden [110; 141].
- An dem Institut für Bauklimatik der Technischen Universität Dresden ist insbesondere auf dem Gebiet der Simulation hygrothermischer Vorgänge in Bauteilen und der Innendämmung geforscht worden. Zur Zeit wird in Kooperation mit anderen Instituten auch ein Forschungsvorhaben bearbeitet, bei dem Materialdaten für die Gebäudesimulation erfasst und aufbereitet werden [54].
- Die Holzbalkenkopfproblematik in historischen Gebäuden ist Thema einer am Institut für Angewandte Bautechnik der TU Hamburg-Harburg durchgeführten Forschungsarbeit. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Entwicklung von thermisch optimierten Lösungen zum Austausch feuchtegeschädigter Balkenköpfe [53].
- Mit der Thematik der Nachhaltigkeit von Bestandssanierungsstrategien beschäftigt sich das Öko-Institut in seinem Arbeitsgebiet Umwelthandlungsfelder. Hier werden auch Stoff- und Energieflussanalysen zu verschiedenen Themen aus dem Bereich Bauen und Wohnen durchgeführt [62].
- Im Bereich der energetischen Optimierung von Gesamtgebäuden und der Entwicklung von entsprechenden Sanierungsstrategien hat die Abteilung Wärmetechnik des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik anhand verschiedener Demonstrationsvor-

haben Maßnahmen zur energetischen Sanierung untersucht, messtechnisch evaluiert und daraus übertragbare Konzeptionen entwickelt [52].

- Auf diesem Gebiet ist auch das Institut Wohnen und Umwelt tätig, wobei unter anderem auch verschiedene Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von energetischen Sanierungsmaßnahmen durchgeführt worden sind [55].
- In der Forschungsarbeit „Energetische Gebäudesanierung Faktor 10“ werden die Rahmenbedingungen von verschiedenen energetischen Sanierungsmaßnahmen analysiert und daraus Umsetzungsstrategien entwickelt [143].
- Die Deutsche Energie Agentur dena führt mit dem Modellvorhaben „Niedrigenergiehaus im Bestand“ in Kooperation mit dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung ein Projekt durch, bei dem unterschiedliche Bestandsbauten umfassend energetisch saniert und die Erkenntnisse anschließend ausgewertet und dokumentiert werden [47].
- Im Forschungs- und Demonstrationsprogramm EnSan werden im Rahmen eines vom Bundeswirtschaftsministerium aufgelegten Förderkonzeptes ebenfalls unterschiedliche Bestandsgebäude energetisch optimiert, wobei jedes Vorhaben wissenschaftlich begleitet und messtechnisch erfasst wird [50].

Dieser Blick auf die aktuelle Forschungslandschaft zeigt, dass derzeit eine große Bandbreite unterschiedlicher Themen auf dem Gebiet der energetischen Altbausanierung bearbeitet wird. Dabei liegt der Fokus sowohl bei der Entwicklung von Gebäudeoptimierungsstrategien als auch bei deren praktischer Umsetzung auf den nach 1919 errichteten Gebäuden. So ist beispielsweise bei dem dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“ und der EnSan-Objektliste eine klare Gewichtung hin zu diesen Gebäudekategorien zu erkennen.

Für die Klasse der bis einschließlich 1918 erstellten Bauten sind dagegen bisher nur wenige Untersuchungen durchgeführt worden. Bei den diesbezüglich bisher bearbeiteten Forschungsvorhaben stand entweder die Betrachtung eines besonderen Teilaspektes [99] oder die praktische Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen an einem Beispielgebäude mit anschließender messtechnischer Auswertung im Vordergrund [50, Demonstrationsgebäude in Zittau; 122]. Umfassende Analysen hinsichtlich des wirtschaftlichen und ökologischen Gebäudeoptimierungspotentials und der gebäudespezifischen Effizienz verschiedener Maßnahmen oder Maßnahmenkombinationen sind für diese Gebäudeklasse bisher nicht durchgeführt worden, so dass hier noch Forschungsbedarf besteht.

1.3 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, verschiedene energetische Optimierungsmaßnahmen im Bereich der Anlagen- und Bautechnik für gründerzeitliche Etagenhäuser zu untersuchen und diese anhand von ökonomischen und ökologischen Kriterien zu analysieren und zu bewerten. Es soll so das Potential der jeweiligen Varianten dargestellt werden, wobei eine möglichst große Übertragbarkeit der Ergebnisse angestrebt wird.

Mit den gründerzeitlichen Etagenhäusern wird dabei eine Gebäudeklasse⁶ untersucht, die das Bild vieler europäischer Innenstädte entscheidend prägt und ein wichtiger Vertreter der vor 1919 errichteten Gebäude ist. Die Beschränkung auf Hamburg erfolgt dabei, da sich bestimmte typologische Merkmale von Stadt zu Stadt unterscheiden [vgl. 161, S. 79-101] und diese städtetypischen Besonderheiten ein unterschiedliches energetisches Verhalten erwarten lassen. Im Sinne einer Übertragbarkeit der Ergebnisse ist daher eine regionale Betrachtung notwendig.

In diesem Zusammenhang ist es von besonderer Bedeutung festzustellen, in wie weit bei den einzelnen Bestandsgebäuden Gemeinsamkeiten hinsichtlich der energetisch relevanten Merkmale bestehen. Auf Grund einer Vielzahl typologischer Ähnlichkeiten zwischen den Gebäuden dieser Klasse, die sie klar erkennbar von dem übrigen Gebäudebestand abgrenzen, scheint es möglich, an einem einzelnen Gebäude ermittelte Untersuchungsergebnisse auf den übrigen Bestand zu übertragen. Daher ist zunächst zu klären, in wie weit diese Annahme zutreffend ist. Die erste Forschungsleitfrage stellt sich folglich nach Art und Umfang der typologischen Übereinstimmungen gründerzeitlicher Etagenhäuser in Hamburg und damit nach der Übertragbarkeit der Berechnungsergebnisse.

Auf Grundlage der typologischen Untersuchung lässt sich dann ein Referenzobjekt bestimmen, dessen energetische Merkmale möglichst repräsentativ für den gründerzeitlichen Gebäudebestand in Hamburg sein müssen und an dem dann die weiteren Untersuchungen durchgeführt werden können. Hier sind zwei Bereiche von besonderem Interesse. Zum einen die Optimierung der Anlagentechnik im Bereich der Raumwärme- und Warmwassererzeugung und zum anderen die bautechnische Verbesserung der wärmeübertragenden Hüllflächen. Dabei dienen die Werte für das unsanierte Referenzobjekt als Vergleichsmaßstab hinsichtlich der Analyse der verschiedenen Lösungen. Dazu sind Kriterien zu entwickeln, nach denen eine vergleichende Maßnahmenbewertung vorgenommen werden kann. Die zweite Forschungsleitfrage stellt

⁶ Hier: Zusammenfassung von Gebäuden, die in einem bestimmten Zeitraum erstellt wurden und sich auf Grund spezifischer typologischer Merkmale gegen die übrigen Gebäude abgrenzen lassen.

sich daher nach dem Potential der einzelnen anlagen- und bautechnischen Optimierungsmaßnahmen und Maßnahmenkombinationen.

1.4 Methodik und Gliederung

Entsprechend diesen beiden Forschungsleitfragen gliedert sich die Arbeit in zwei thematische Hauptabschnitte.

Der erste Teil umfasst die Untersuchungen des gründerzeitlichen Etagenhausbestandes in Hamburg. In Kapitel 2 wird dabei nach einem kurzen geschichtlichen Überblick und einer kulturhistorischen Einordnung zunächst eine typologische Untersuchung durchgeführt, um die relevanten Merkmale dieser Gebäudeklasse zu bestimmen. Es folgen statistische Analysen bezüglich der Bestandszahlen, um anschließend die wichtigen Leitmerkmale herauszustellen. Dabei wird im Wesentlichen auf die Mittel der Literaturrecherche und die Auswertung vorhandener statistischer Daten zurückgegriffen. Es folgt die Bewertung der typologischen Untersuchung im Hinblick auf die energetisch relevanten Gemeinsamkeiten und die Übertragbarkeit der Ergebnisse innerhalb des gründerzeitlichen Etagenhausbestandes in Hamburg. Die Beschreibung und typologische Einordnung des auf dieser Grundlage ausgewählten Referenzobjektes ist Gegenstand von Kapitel 3.

Der zweite thematische Abschnitt, der die Untersuchung der energetischen Optimierungslösungen umfasst und dabei auf bauphysikalischen Berechnungen basiert, beginnt mit Kapitel 4. Hier werden zunächst der Untersuchungsgang und die verwendeten Berechnungsverfahren dargestellt, und anschließend wird das Maßnahmenbewertungsverfahren definiert.

Die Berechnungen der als Referenz dienenden energetischen Kennwerte des Untersuchungsobjektes werden in Kapitel 5 erläutert und anschließend die Ergebnisse analysiert. Außerdem erfolgt eine Beschreibung der verwendeten Randbedingungen und Eingabedaten.

Das Kapitel 6 umfasst die Untersuchungen der anlagentechnischen Optimierungslösungen. Zunächst werden die ausgewählten Anlagensysteme und spezifischen Berechnungsparameter dargestellt und nachfolgend die Berechnungsergebnisse analysiert. In Kapitel 7 folgt adäquat dazu eine Betrachtung der bautechnischen Varianten. Die Berechnung und Analyse verschiedener Maßnahmenkombinationen ist dann Gegenstand von Kapitel 8.

Den Abschluss der Arbeit bildet eine zusammenfassende Analyse und Bewertung der Ergebnisse in Kapitel 9.

Kapitel 2

Das gründerzeitliche Etagenhaus in Hamburg

Zur Einordnung der gründerzeitlichen Etagenhausbauweise in den geschichtlichen und kulturhistorischen Zusammenhang wird im Folgenden zunächst ein Überblick über den betreffenden Zeitabschnitt und die Stilentwicklung dieser Epoche gegeben.

Danach werden die besonderen Merkmale des gründerzeitlichen Etagenhauses in Hamburg und die heutige Bestandssituation dargestellt und analysiert. Auf Grundlage der diesbezüglichen Ergebnisse werden anschließend die Gemeinsamkeiten hinsichtlich der energetisch relevanten Merkmale innerhalb dieser Gebäudeklasse dargestellt, wonach eine Bewertung im Hinblick auf die Übertragbarkeit von Untersuchungsergebnissen und die Auswahl des Untersuchungsgegenstandes vorgenommen wird.

2.1 Geschichtliche und kulturhistorische Einordnung

2.1.1 Gründerzeit

„Unter Gründerzeit wird die Periode zwischen 1870 und 1890 in Deutschland verstanden, die durch die Gründung des Kaiserreiches 1871 eingeleitet wurde und durch sprunghaften Übergang zur industriellen Produktionsweise und die Herausbildung des Industriekapitalismus gekennzeichnet war [108, S.107].“

Die Gründung des Deutschen Reiches verbunden mit den französischen Reparationszahlungen führte ab den 70er Jahren des 19. Jahrhunderts zu einem wirtschaftlichen Aufschwung, innerhalb dessen sich die bis dahin in Deutschland zurückgebliebene Industrialisierung in hohem Tempo entwickeln konnte⁷. Waren die ersten zwei Drittel des 19. Jahrhunderts, nicht zuletzt aufgrund der instabilen politischen Situation, noch

⁷ Die Industrialisierung begann in England bereits um 1780 und auf dem Europäischen Kontinent zunächst in Frankreich und Belgien um 1830.

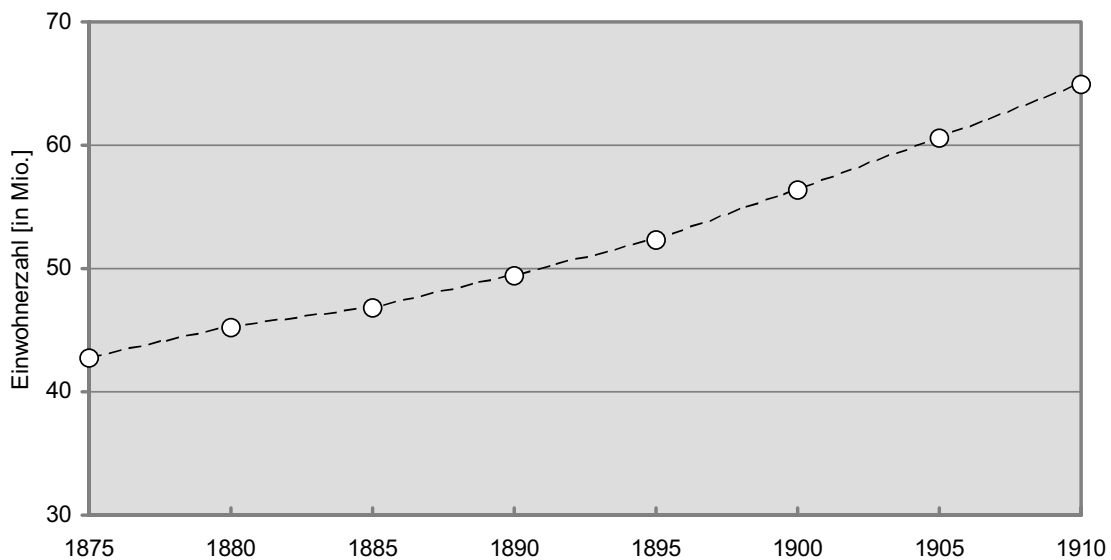
von großen wirtschaftlichen Problemen geprägt, so bildete die politische Konstituierung und wirtschaftliche Stabilisierung den Rahmen für eine umfassende Umbildung in allen Produktionsbereichen.

	1850	1910 / 14	Steigerung [%]
Eisenbahnstreckennetz [km]	5.000	61.000	1.220
Roheisenproduktion [Mio. t]	0,24	14,8	6.170
Kohleförderung [Mio. t]	1,9	114¹	6.000

¹ 1914; nach [131, S. 243 ff.].

Tabelle 1: Daten zur Wirtschaftsentwicklung Deutschlands

Die neuen politischen Verhältnisse begünstigten die weitgreifende wirtschaftliche Umstrukturierung, die sich in Deutschland zwar schon seit einigen Jahrzehnten abgezeichnet und seit der Mitte des Jahrhunderts auch an Dynamik gewonnen hatte, aber sich bis dahin noch nicht großflächig durchsetzen konnte. Neue Errungenschaften in Forschung und Technik fanden nun landesweit Verbreitung und führten zu einer Veränderung des gesamten Produktionsgefüges. In der Stimmung der allgemeinen Euphorie kam es zu zahlreichen Unternehmensneugründungen, die vor allem in den ersten drei Jahre der Gründerzeit, den Gründerjahren, einen beispiellosen Boom an der Börse auslösten. Die Struktur vieler Betriebe veränderte sich von kleinen Unternehmen zu groß angelegten kapitalistischen Industriebetrieben.



Nach [116, S. 84].

Abbildung 7: Bevölkerungsentwicklung des Deutschen Reiches

Die technischen, medizinischen und wirtschaftlichen Verbesserungen des 19. Jahrhunderts führten zu einer deutlichen Erhöhung der durchschnittlichen Lebenserwartung, was zu einem starken Anstieg der Bevölkerungszahlen beitrug. Lag die Lebenserwartung von Männern 1816 in Deutschland noch bei durchschnittlich 26,5 Jahren, so verdoppelte sie sich bis 1901 fast auf 44,8 Jahre [112, S.131].

Innerhalb kurzer Zeit vollzog sich der Wandel von einer Agrar- in eine Industriegesellschaft. Die Agrarrevolution bedeutete den Wechsel des Schwerpunktes von der Eigenproduktion zu einer Produktion für den Markt, unter Einsatz neuer Technologien und bei Bewirtschaftung möglichst großer Flächen, was für viele Kleinbauern und Familienbetriebe, die mit dieser Entwicklung nicht Schritt halten konnten, die drohende Verarmung bedeutete. Hier boten die vor allem in den Städten entstehenden und schnell expandierenden Industriebetriebe mit ihrem ständig steigenden Bedarf an Arbeitskräften eine Alternative. Die folgende Landflucht führte, verbunden mit dem allgemeinen Bevölkerungswachstum, zu einem schnellen Anstieg der städtischen Bevölkerungszahlen.

	1882		1895		1907	
	in Tsdn	in %	in Tsdn	in %	in Tsdn	in %
Land- / Forstwirtschaft	5.702	42,7	5.540	35,7	5.284	28,4
Bergbau und Industrie	5.269	39,5	6.760	43,6	9.152	49,3
Erwerbstätige insgesamt ¹	13.373	100,0	15.505	100,0	18.584	100,0

¹ In allen Wirtschaftsabteilungen; nach [116, S. 86].

Tabelle 2: Erwerbstätige in Landwirtschaft und Industrie

Für die schnell wachsende Stadtbevölkerung musste kurzfristig und in großem Umfang neuer Wohnraum geschaffen werden. Die vorhandenen Stadtstrukturen in ihren meist noch mittelalterlichen Grenzen waren nicht in der Lage, diesen Bevölkerungszuwachs zu verkraften. Durch das Schleifen der ehemaligen Stadtbefestigungsanlagen und die Aufhebung der Torsperren waren bereits in vielen Städten zwei große Hemmnisse der Stadterweiterung beseitigt worden, so dass in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts angrenzende Ländereien als neues Stadtgebiet erschlossen und bebaut werden konnten.

	1850	1880	1900	1910
Berlin	419	1.122	1.889	2.071
Hamburg	132	290	706	932
München	110	230	500	595
Leipzig	63	149	456	588
Köln	97	145	373	516
Hannover	29	123	236	302
Essen	9	57	119	295
Stuttgart	48	117	177	286

Angabe in Tausend Einwohner; nach [116, S. 92 ff.].

Tabelle 3: Entwicklung deutscher Großstädte

Mit dem nun einsetzenden Massenwohnungsbau kam es zu einer radikalen Veränderung im Wohnungs- und Städtebau. Wurde vor der Industrialisierung das Erscheinungsbild deutscher Städte durch den Typ und die bauliche Struktur des Bürgerhauses und der „Buden“ bestimmt, die auf Grund des Mangels an Bau- und Wohnfläche häufig von mehreren Haushalten und unter äußerst problematischen hygienischen und sanitären Bedingungen bewohnt wurden, so versprach der Etagenhausbau in den Stadterweiterungsgebieten eine Antwort auf die drängende Wohnungsfrage. Als neue Wohnform nach französischem Vorbild bot die Etagenwohnung dem bürgerlichen Familienmodell des 19. Jahrhunderts mit seinen neuen Bestrebungen nach familiärer Privatsphäre und abgeschlossenen Wohnbereichen eine Alternative zu den bestehenden Wohnformen und gleichzeitig die Möglichkeit, eine große Anzahl von Wohneinheiten platzsparend zu errichten. Die „Etage“ wurde innerhalb weniger Jahre zum Standard im Wohnungsneubau, und fast der gesamte Zuwachs an Wohnungen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entfiel auf diesen Wohnungstyp [s. C. Wischermann in 135, S. 347 ff.].

Die Errichtung der Etagenhäuser wurde dabei überwiegend von privaten Bauunternehmern und Spekulanten übernommen, die häufig schon aus wirtschaftlichen Gründen bestrebt waren, viel Wohnraum auf möglichst kleiner Fläche zu errichten. Je nach Klientel konnte das Gebäude mit mehr oder weniger repräsentativen Straßenfronten und kleineren oder größeren Wohnungszuschnitten ausgestattet werden. Im dritten Drittel des 19. Jahrhunderts entstanden ganze Stadtviertel in kurzer Zeit in dieser Bauweise, wobei häufig komplette Straßenzüge mit dem gleichen Haustyp bebaut wurden. Innerhalb weniger Jahre wuchsen in Deutschland viele Städte, die noch bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts von mittelalterlichen Strukturen geprägt waren, zu Groß-

städten⁸ mit teilweise mehr als einer halben Million Einwohnern heran.

Nach gängiger Definition [124, S. 205] endet die eigentliche Gründerzeit um 1890, etwa mit dem Beginn der Regierungszeit⁹ von Kaiser Wilhelm II., wobei die industrielle Entwicklung, die Bautätigkeit und das Städtewachstum sich aber unvermindert fortsetzten und auch die folgenden zwei Jahrzehnte prägten.

2.1.2 Stilentwicklung

Der Begriff Gründerzeit in seiner ursprünglichen Bedeutung bezeichnet also einen geschichtlichen Zeitabschnitt von ca. 20 Jahren des wirtschaftlichen Aufschwunges in Deutschland ab 1871 mit seinen vielfältigen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Veränderungen, auf den bis 1914 ein weiterer Zeitabschnitt fortgesetzter Industrialisierung folgte.

Aus kunsthistorischer Sicht fällt die Gründerzeit in die Stilepoche des Historismus, die in weiten Teilen Europas um 1820 begann, bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts dauerte und durch formale Rückgriffe auf künstlerische Leistungen der Vergangenheit geprägt war. Wichtige Strömungen des Historismus waren die Neogotik, die Neorenaissance, die Neoromanik, der Neobarock und der Neoklassizismus. Dabei reichte im Bereich der Architektur das Spektrum der Bauformen von exakten Kopien der zitierten Bauweise bis zu neuen Kompositionen mit historisierenden Elementen, wobei auch unterschiedliche Stilrichtungen kombiniert werden konnten. Die während der Industrialisierung entwickelten neuen Bautechniken¹⁰ ermöglichten die Konzeption von Bauwerken, die den Anforderungen einer wachsenden Industriegesellschaft entsprachen. Dabei war man in der Regel bestrebt, die neuen Techniken mit einem bekannten Formenkatalog zu verbinden. Häufig wurden Ingenieurbauwerke mit einer in historischem Stil gehaltenen Fassade verkleidet, obgleich sie in ihrer Gesamtkonzeption und auf Grund ihrer Funktion keine Bezüge zu historischen Vorbildern mehr aufwiesen. Es entsprach durchaus dem Zeitgeist, ein Bauwerk losgelöst von der Funktion gleichzeitig in verschiedenen Stilen zu entwerfen, um im Vergleich dann die zu bauende Variante zu bestimmen¹¹. „Architektur war nicht mehr wie im alten klassischen Sinne die Kunst, Dekor zu bauen, sondern die Kunst, Gebautes mit Dekor zu versehen [118, S. 595].“ Dies trifft insbesondere für die Etagenhäuser zu, deren innere Organisation sich aus

⁸ Nach [125, S. 274] Stadt mit über 100 000 Einwohnern.

⁹ 1888-1918.

¹⁰ Verwendung von Guss-, Schmiede- und Walzeisen sowie Aufkommen des Eisenbetons.

¹¹ Schon 1824 bei Karl Friedrich Schinkel: Für den Bau der Friedrich-Werderschen Kirche in Berlin legte er Entwürfe in 3 verschiedenen historischen Stilen vor, von denen dann die neugotische Variante verwirklicht wurde.

der Notwendigkeit ergab, möglichst preiswert ausreichend Wohnraum zu schaffen, und deren Straßenfassade die Aufgabe der Repräsentation und des Dekors übernahm, welcher in verschiedenen Stilen ausgeführt werden konnte.



Foto aus [161, S. 50].

Abbildung 8: Neorenaissance-Fassade

Ab 1890 entwickelte sich als Reaktion auf den Historismus der Jugendstil parallel als neue und eigenständige Stilrichtung. Als Ausweg aus dem Historismus gedacht, versuchte der neue Stil die Einheit von Baukunst, Malerei, Plastik und Kunstgewerbe im Sinne eines Gesamtkunstwerkes herzustellen. Pflanzliche Motive mit rankender Linienführung oder geometrisch-abstrakte Ornamente wurden häufig als Gestaltungselemente verwendet. Der neue Stil erwies sich aber, in seinem universellen Anspruch ausgeführt, als zu teuer und zu esoterisch für eine breite Umsetzung, so dass, bis auf wenige Ausnahmen¹², in größerem Umfang lediglich Jugendstilelemente als Dekoration und nicht Gesamtkunstwerke ausgeführt wurden [vgl. 115, S. 380]. Ab Beginn des 20. Jahrhunderts wurden auch Etagen Häuser immer häufiger mit Fassaden errichtet, die mehr oder weniger stark vom Jugendstil geprägt waren. Doch obwohl in engem zeitlichen Zusammenhang damit eine Strukturveränderung in der Gebäudekonzeption

¹² Ein Beispiel für ein in seiner ganzen Konzeption, von der Fassade bis zur Grundrissgestaltung stilistisch einheitlich geplantes Etagenwohnhaus ist die Casa Milà in Barcelona, welches Antonio Gaudi 1906-1910 realisierte.

auftrat, sind hier ursächliche Zusammenhänge zwischen Stil- und Konzeptionsveränderung nicht anzunehmen [vgl. 161, S.25].



Foto aus [161, S. 47].

Abbildung 9: Jugendstil-Hauseingang

Bis auf wenige Ausnahmen sind Etagenhäuser also nicht durchgängig in einem bestimmten kunsthistorischen Stil errichtet worden, da sich die Gestaltung hinter der Fassade unabhängig von dem in der Fassade zitierten Stil nach funktionalen Erfordernissen und nicht nach stilistischen Vorgaben richtete. Die Bezeichnungen „Jugendstilhaus“ oder „Neorenaissance-Etagenhaus“ können sich daher in der Regel nur auf den verwendeten Fassadentypus beziehen und nicht den gesamten neuen Baustil beschreiben, der sich ab 1871 wie dargelegt entwickelt hat¹³. Daher wird im allgemeinen Sprachgebrauch der Begriff Gründerzeit häufig nicht zur Bezeichnung des Zeitabschnittes von 1871 bis 1890, sondern als Beschreibung dieser Bauform und eines Stils, der insbesondere die Architektur und Wohnkultur prägte, benutzt¹⁴.

Über diese Verwendung des Begriffes Gründerzeit zur Abgrenzung eines speziellen Baustils existieren unterschiedliche Auffassungen. So wird in der „Baustilkunde“ der

¹³ Kapitel 2.1.1 Gründerzeit.

¹⁴ Siehe auch Pilotstudie zur Verwendung des Begriffes „Gründerzeit“ [94, S.10 ff] und [146, S. 262].

„Gründerstil“ für den deutschen und französischen Raum als eigenständige Epoche innerhalb des Historismus in dem zeitlichen Rahmen zwischen 1870 und 1920 angeben, wobei der Jugendstil bzw. die Art Nouveau ab 1890 hinzutreten [115, Zeittafel]. Wiek definiert die Zeit von 1870 bis zum Ausgang des 19. Jahrhunderts bezogen auf das Etagenhaus als „Gründerzeitlichen Historismus“ und ordnet die anschließende Stilepoche bis 1914 weitgehend dem Jugendstil zu. Trotz dieser Stilunterscheidung sieht er aber diese beiden Abschnitte als gemeinsame Epoche von 1870 bis 1914: „Beide Phasen zeigen indessen immer noch so viele gemeinsame Merkmale, dass man für den Zeitraum von etwa 1870 bis etwa 1914 von einer zusammenhängenden baugeschichtlichen Epoche sprechen muss, die sich gegen das Voraufgehende wie gegen das Nachfolgende weit schärfer absetzt, als es bei den verschiedenen Abschnitten innerhalb dieses Zeitraumes der Fall wäre [161, S.25].“

Die Bauweise dieses baugeschichtlichen Abschnitts, also des gesamten Zeitraums von 1871 bis 1914, wird daher im Folgenden in Bezug auf das Etagenhaus als gründerzeitliche Bauweise bezeichnet, da mit dem Beginn der Gründerzeit die einschneidenden Veränderungen in der Etagenhausbauweise auftraten, die den Wohnungsbau bis 1914 trotz einigen Veränderungen und dem Hinzutreten von Jugendstilelementen entscheidend prägten und eine Vielzahl von gemeinsamen Merkmalen hervorbrachten, die über die eigentliche Gründerzeit hinaus bis in das 20. Jahrhundert hinein Bestand hatten.

2.2 Entwicklung und Merkmale des gründerzeitlichen Etagenhauses

Die folgenden Betrachtungen beziehen sich auf die Entwicklung von gründerzeitlichen Etagenhäusern in Hamburg und Altona im Zeitraum von 1871 bis 1914. Da Altona während dieses Zeitraumes eine von Hamburg unabhängige Stadt war, kam es auch bei der Entwicklung der Etagenhäuser trotz der räumlichen Nähe und der starken Beeinflussung der Altonaer Bauweise durch den größeren Nachbarn stellenweise zu Unterschieden im Etagenhausbau. Dennoch schließt im Folgenden der Begriff Hamburger Etagenhaus die Altonaer Bauten mit ein, da bestimmte typische Merkmale, die die Bauweise in Hamburg von der anderer Städte abgrenzt, auf beiden ehemaligen Stadtgebieten weit verbreitet sind. Auf die regionalen Besonderheiten wird dann im Einzelfall gesondert hingewiesen.

Die Entwicklung des Hamburger Etagenhausbaus folgte im Wesentlichen den bereits dargestellten geschichtlichen Abläufen¹⁵. Ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts

¹⁵ Kapitel 2.1.1 Gründerzeit und 2.1.2 Stilentwicklung.

setzte in den Vorortgebieten eine rege Bautätigkeit ein, für die durch die Aufhebung der Torsperre 1860/61 eine wichtige Voraussetzung geschaffen worden war. Eine Besonderheit stellte die Situation innerhalb der ehemaligen Stadtmauern dar. Durch den großen Brand von 1842 war mehr als ein Viertel des damaligen Stadtareals zerstört worden. Der Wiederaufbau erfolgte nach Vorgaben einer Technischen Kommission, die Straßenbegradigungen und großzügigere Parzellierungen vorsah und feuerschutztechnische Verordnungen erließ, die unter anderem die Verwendung von Holz in Außenwänden untersagten. In der Folge entstanden in erster Linie Mietshäuser, die in ihrer Form und Gestaltung das Gesicht der Stadt deutlich veränderten und bereits Merkmale der späteren gründerzeitlichen Etagenhausbauweise aufwiesen. So wurden bereits in der Wiederaufbauerauflage Lichtschächte für die Treppenhäuser vorgesehen, die auch ab 1870 ein typisches Merkmal der Hamburger Etagenhäuser darstellten. Auch die Küche wurde schon als abgeschlossener Raum und nicht mehr, wie bis dahin üblich, als offener Herdbereich in der Diele konzipiert [88, S.26]. Der Wiederaufbau war bis 1850 allerdings im wesentlichen abgeschlossen, so dass sich die neu entstandene Bauweise nicht weiter entwickelte und trotz einiger Bezüge zum gründerzeitlichen Etagenhaus im baugeschichtlichen Kontinuum weitgehend isoliert dasteht [161, S.20].

Mit der Erschließung der Vorortgebiete setzte dann die großflächige Bebauung mit gründerzeitlichen Etagenhäusern ein und bestimmte in den folgenden Jahrzehnten maßgeblich die bauliche Entwicklung der Stadt. Dabei spielten die periodisch überarbeiteten Baupolizeigesetzgebungen und Verordnungen, die seit 1865 in zunehmendem Maße den Etagenhausbau reglementierten, eine entscheidende Rolle. So folgten wichtige charakteristische Entwicklungsstufen des gründerzeitlichen Etagenhauses jeweils auf Veränderungen und Erweiterungen der Baugesetzgebung, deren für die Etagenhausentwicklung entscheidende Überarbeitungen oder Ergänzungen ab 1872 jeweils im Abstand von ungefähr 10 Jahren erfolgten. Daher wird die Entwicklung des Hamburger Etagenhauses zwischen 1871 und 1914 im Folgenden mit Bezug auf diese wichtigen Änderungen in der Baugesetzgebung in vier Zeitabschnitte eingeteilt, in denen sich jeweils bestimmte charakteristische Merkmale in der Bauweise herausbildeten.

Die aufgelisteten Merkmale stellen dabei Eigenschaften von Etagenvorderhäusern¹⁶ dar, von denen anzunehmen ist, dass sie bei der Mehrzahl der im betreffenden Zeitabschnitt errichteten Gebäude vorzufinden waren, wobei es in fast allen Bereichen mehr oder weniger häufig realisierte Ausnahmen gab. Es werden dabei weiterhin lediglich

¹⁶ Das Vorderhaus bezeichnet das an der Straße gelegene Gebäude. Gründerzeitliche Hinterhäuser in Hamburg finden sich als funktional vom Vorderhaus getrennte, meist rechtwinklig zur Straße hinter dem Vorderhaus frei stehende Gebäude mit geringerer Stockwerkszahl.

diejenigen typologischen Veränderungen betrachtet, von denen zusätzlich angenommen werden kann, dass sie einen entscheidenden Einfluss auf die energetische Bilanz des Gebäudes haben. Hierzu zählen vor allem die generelle Grundrissform mit Treppenhaus- und Lichtschachtlage sowie die Aufrissdisposition mit Geschossigkeit und Ausbildung des Souterrain- und Dachbereiches. Energetisch weniger relevante Eigenschaften wie die Stilentwicklung der straßenseitigen Stuckverzierung sowie Merkmale, bei denen in bestimmten Zeitabschnitten keine deutliche Standardbildung festzustellen ist (zum Beispiel die Entwicklung des Treppenhauses) werden nicht berücksichtigt.

Die folgenden Betrachtungen der Grundriss- und Aufrissmerkmale beziehen sich auf die ausführlichen Recherchen von Peter Wiek in „Das Hamburger Etagenhaus 1870-1914“ [vgl. 161, S. 26 ff.] und die Ausführungen „zur Geschichte des Mietshauses in Hamburg“ von Hermann Funke [vgl. 88, S. 33 ff.].

2.2.1 Abschnitt I 1871-1881

Die Gültigkeit des ersten Hamburger Baupolizeigesetzes vom 03. Juli 1865 für die innere Stadt und die beiden Vorstädte St. Georg und St. Pauli wurde im Baupolizeigesetz vom 31. Januar 1872 auf die Vororte ausgedehnt [vgl. 95; 96]. Es enthielt kaum Festsetzungen, die einer optimalen Ausnutzung der Grundstücksfläche durch eine möglichst hohe, breite und tiefe Bebauung mit mehreren Wohnungen pro Geschoss entgegenstanden. Für gegenüberstehende Wände wurde lediglich festgelegt, dass diese nur Fenster aufweisen durften, wenn der Abstand der Wände mindestens 2 Fuß (61 cm) betrug. Die zulässige Höhe der Bebauung richtete sich nach der Straßenbreite zuzüglich 20 Fuß (6,1 m), was bei den üblichen Straßenbreiten und Raumhöhen eine 5- bis 6-geschossige Bauweise ermöglichte. Als Folge wurden die Grundstücke im Allgemeinen ohne Beschränkung in der Fläche fast komplett überbaut und lediglich enge Lichtschächte zur Belichtung und Belüftung der inneren Räume vorgesehen.

Grundriss

Wenn auch die Gebäude nach Größe und Status sehr verschieden konzipiert sein konnten, lassen sich dennoch in der Mehrzahl gewisse gemeinsame Merkmale hinsichtlich der Grundrissdisposition erkennen:

- Überwiegend H-Grundrisse mit kleinen seitlichen Lichtschächten zur Nachbarbebauung¹⁷.

¹⁷ Die Bezeichnung resultiert aus der Umrissform dieses Grundrisses, die einem liegenden H ähnelt.

- Auf der Mittelachse hinter der ersten Zimmertiefe zentral gelegenes Treppenhaus, häufig mit Lichtschacht. Zugang über zimmertiefen Flur.
- Spiegelbildliche Zwei-Zimmer-Anordnung auf der Straßenseite mit Korridor zum Hinterflügel und Nebenräumen am Treppenhaus.
- In der Regel 2, seltener auch 4 Wohnungen pro Etage. Bei Zweispännern immer Längs-, nie Querteilung des Gebäudes. Bei 2-Spännern Küche und ein weiteres Zimmer auf der Hofseite. Bei 4-Spännern gleiche Raumaufteilung mit geteiltem Zimmer am Lichthof und pro Wohnung nur 3 Zimmer.

Aufriss

- Überwiegend Souterrain-Hochparterre-Sockel als typische Hamburger Bauweise bei tiefer Souterrainlage mit geringer Anhebung des Hochparterres. Seltener reguläres Erdgeschoss. Souterrain als Laden oder Wohnung.
- Sondertyp Altona: Souterrain als Nebenfläche. Der über dem Erdreich liegende Außenwandteil als Sockelzone.
- Überwiegend 5 Geschosse inklusive Hochparterre oder Erdgeschoss zuzüglich Souterrain. Seltener auch 6 Geschosse zuzüglich Souterrain.
- Geschossübergreifende Hauseingänge (Souterrain und Hochparterre), als Einschnitt in die Fassade mit Außen- und Innentreppe zum Hochparterre.
- Kaum Staffelung der Etagenhöhen außer bei dem oft niedrigeren obersten Geschoss.
- Antikisierender Dekor auf der Straßenseite und schmucklose Putzfassade auf der Hofseite. Häufig die für Hamburg typische Mischbauweise aus Ziegelverblendflächen (Schlesischer Blender) und Putzdekor.
- Gleiche Fensterbreiten pro Gebäude im Hochformat, meist abnehmende Höhe in den oberen Geschossen.
- Drei-Zonen-Aufriss mit gequaderter Souterrain- und Hochparterrezone, Mittelzone mit Ziegelflächen und Putzdekor, abgesetztes Obergeschoss.
- In der Regel durch ein Gesims von den Geschossen klar getrenntes Satteldach mit straßenparallelem First und Ziegeldeckung.
- Periodischer Treppenaufgang ab dem Parterre- bzw. Hochparterre mit Holztreppe. Treppenschacht nicht bis in den Keller geführt, mit offenem Zugang zum Keller.

2.2.2 Abschnitt II 1882-1992

Das Baupolizeigesetz vom 23. Juni 1882 beinhaltete zwei neue Anforderungen, die sich entscheidend auf die typologische Entwicklung der Etagenhäuser auswirkten [vgl. 129,

§§ 34, 36, 37, 43]. Zum einen wurde festgelegt, dass vor Aufenthalts- und Arbeitsräumen von Gebäuden in der Stadt eine Fläche von mindestens $1/3$ (Vorstadt $2/3$) der Gebäudehöhe unbebaut zu lassen war. Eine Ausnahme war für Küchen, die an mindestens 20 m^2 große Lichthöfe grenzten, oder für Räume, die eine lichte Höhe von mindestens $3,50 \text{ m}$ aufwiesen, vorgesehen. Diese Forderung konnte mit dem H-Grundriss nicht erfüllt werden, weshalb dieser im Folgenden nicht mehr umgesetzt wurde. Anstelle des H-Grundrisses trat eine daraus abgeleitete Form, der T-Grundriss¹⁸, der bis 1914 die vorherrschende Grundrissvariante blieb und ein typisches Merkmal der gründerzeitlichen Hamburger Bauweise darstellt. Zum anderen wurde die Zahl der Geschosse auf maximal 5 zuzüglich Keller begrenzt, wobei das Kellergeschoss mit seinen Fensterstürzen und Decken mindestens 1 m über dem Erdreich liegen musste. Damit begann die sukzessive Anhebung des Souterrains, die durch die folgenden Gesetzgebung fortgesetzt wurde¹⁹. Insgesamt können folgende typologischen Änderungen gegenüber der bisherigen Bauweise als charakteristisch angesehen werden:

Grundriss

- T-Grundrisse mit zum Hof geöffneten Belichtungsschlitzen.
- Spiegelbildliche Drei-Zimmer Anordnung auf der Straßenseite (je zwei Zimmer zur Strasse, eines zum Schlitz) mit Korridor zum Hinterflügel und Nebenräumen am Treppenhaus.
- Häufig 4-Zimmer Typus mit Belichtung des in zweiter Reihe gelegenen straßenseitigen Zimmers über die Schmalseite des Belichtungsschlitzes bei kurzem, zimmer-tiefem Hinterflügel. Auf Grund der Ausnahmeregelung auch tiefere Hinterflügel mit einem zum Belichtungsschlitz hin gelegenen zusätzlichen Zimmer.
- In der Regel 2 Wohnungen pro Etage.

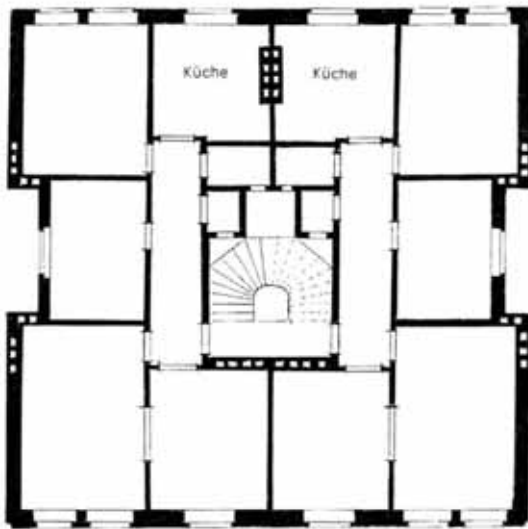
Aufriss

- Anhebung des Hochparterres. Kellerdecke und Fenstersturz des Souterrains mindestens 1 m oberhalb des Erdreiches.
- 5 Geschosse inklusive Hochparterre oder Erdgeschoss.
- In der Regel durch ein Gesims von den Geschossen klar getrenntes, leicht geneigtes Flachdach mit Abschrägung zur Straßenseite (Nasendach).

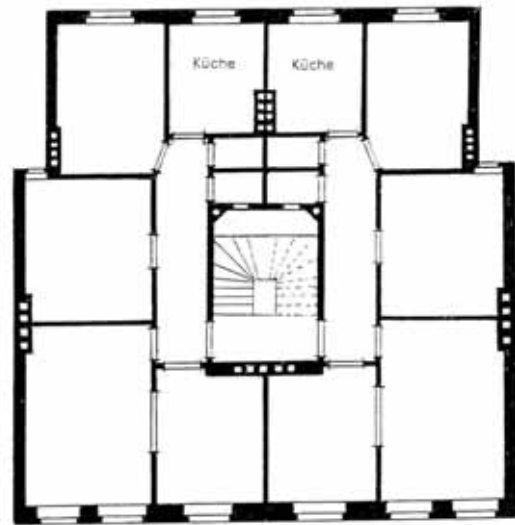
¹⁸ Die Umrissform des Grundrisses, mit dem breiteren Strassen- und dem schmaleren Hinterflügel, erinnert an ein T. Wegen der offenen Seitenhöfe auch als Schlitzbauweise bezeichnet.

¹⁹ Vgl. Kapitel 2.2.3.

- Massive Steintreppe im Treppenhaus.



H-Grundriss um 1875; aus [161, S. 26].



T-Grundriss um 1888; aus [161, S. 28].

Abbildung 10: Grundrissbeispiel H-Grundriss**Abbildung 11:** Grundrissbeispiel T-Grundriss

2.2.3 Abschnitt III 1893-1901

Die Novelle des Baupolizeigesetzes vom 28. April 1893 [vgl. 129, S. 89-91] enthielt eine weitere Verschärfung bezüglich der Anforderungen an die vor Fenstern von Wohn- und Aufenthaltsräumen von Bebauung freizuhalten Fläche. Diese musste eine Größe von mindestens 20 m² aufweisen und in Stadt und Vorstadt mindestens 2,50 m, in den Vororten mindestens 4 m breit sein. Im § 3 wurde aber gleichzeitig eine umfassende Ausnahmeregelung festgeschrieben, die es gestattete, vor Fenstern einzelner Räume geringere Abstände zuzulassen, sofern die übrigen Räume der Wohnung den Anforderungen entsprachen. Dies führte zu der Ausbildung von lang gestreckten, engen Schlitzfenstern und einer daraus resultierenden Verlängerung der Hinterflügel mit einem Zimmer oder mehreren zur Längsseite des Schlitzes gelegenen Räumen, für die wiederum die Ausnahmeregelung in Anspruch genommen werden konnte. Der 4-Zimmertypus war mit der Konzeption tieferer Hinterflügel nicht vereinbar und wurde ab 1893 nicht mehr umgesetzt.

§ 7 der Verordnung legte außerdem fest, dass der Fußboden des Souterrains maximal 1 m unterhalb des Terrains liegen durfte und führte damit zu einer weiteren Anhebung des Souterrainbereiches.

Diese beiden wichtigen gesetzlichen Veränderungen beeinflussten die typologische

Entwicklung insbesondere in folgenden Punkten:

Grundriss

- T-Grundriss mit tieferem Hinterflügel und zusätzlichen Zimmern zum Belichtungsschlitz wird zur Regel.
- Häufig zwei Wohnungen pro Etage, seltener Dreispänner.

Aufriss

- Weitere Anhebung des Hochparterres. Fußboden des Souterrains maximal 1 m unterhalb des Terrains.

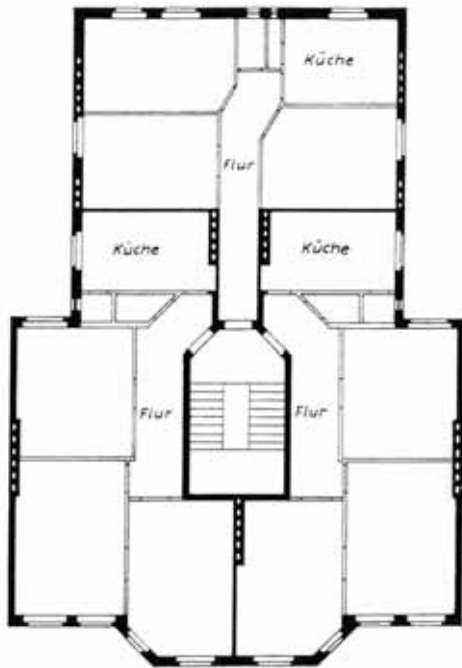
2.2.4 Abschnitt IV 1902-1914

Während eine weitere Novelle zum Baupolizeigesetz vom 15. April 1896 im Wesentlichen veränderte Anforderungen bezüglich der Sicherheit, der Verfahrensfragen und Verantwortlichkeiten enthielt [vgl. 129, S. 92-98], beeinflusste das Gesetz vom 21. Mai 1902, betreffend die Förderung des Baues kleiner Wohnungen [vgl. 129, S. 108-111], die Entwicklung des Etagenhausbaus entscheidend. Es war nun zulässig, zusätzlich zu den Erdgeschosswohnungen bis zu 16 Wohnungen von einem Treppenhaus aus zu erschließen (bisher waren nur 12 Wohnungen pro Treppenhaus erlaubt), womit die rentable Umsetzung von Drei- und Vierspännern ermöglicht und in der Folgezeit zum Standard wurde.

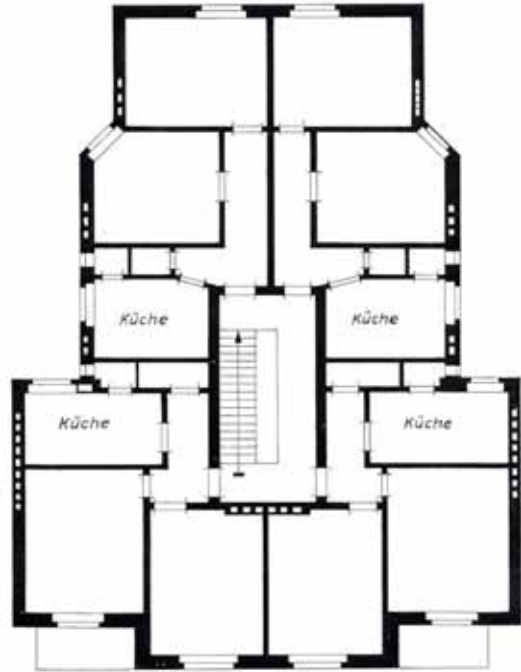
Folgende prägenden, nach der Jahrhundertwende auftretende Veränderungen sind zu beobachten:

Grundriss

- Dreispänner oder Vierspänner als typisch Hamburger Bautypus mit in der Regel 3 Zimmern pro Wohnung.
- Wegfall des Lichtschachtes am Treppenhaus und Anordnung der Nebenräume zum Hof.
- Vorspringen der mittleren straßenseitigen Zimmer als Erker.
- Sondertyp Altona: Kurzer Hinterflügel mit hakenförmigen Einschnitten in den Schlitzfenstern und breiter kehrläufiger Treppe.



T-Grundriss um 1908; aus [161, S. 26].



T-Grundriss Spätform um 1909; aus [161, S. 35].

Abbildung 12: Grundrissbeispiel 3-Spanner

Abbildung 13: Grundrissbeispiel 4-Spanner

Aufriss

- Souterrain häufig nur noch 1 Stufe im Erdreich gelegen.
- Zweigeschossiger Eingang zum Hochparterre mit periodischer²⁰ Treppe ab dem Hochparterre oder eingeschossiger Eingang mit periodischer Treppe ab dem Erdgeschoss. Ab 1910²¹ reguläres Erdgeschoss mit eingeschossigem Eingang ohne Souterrain die Regel.
- Souterrain (als fast vollwertiges Geschoss), ab 1910 vollwertiges Erdgeschoss, und 5 Obergeschosse.
- Häufig reiner Putzbau.
- Überhöhter Mittelgiebel als Verbindung von Wand- und Dachbereich.
- Breitfenster, häufig Sturzausbildung als Flachbogen.

²⁰ Gleiche Form über mehrere Geschosse.

²¹ Durch Abänderung der §§ 34 und 36 des Baupolizeigesetzes war nun eine sechsgeschossige Bebauung zulässig.

- Treppenhaus zählt zum öffentlichen Bereich bei Verkleidung oder Verschalung des Kellerabgangs.

2.2.5 Baukonstruktion und Materialien

Ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden in den Staaten und größeren Städten des späteren Deutschen Reiches jeweils eigene Vorschriften und Baugesetzgebungen erlassen, was auch für den betrachteten Zeitraum von 1870 – 1914 zutraf. Erst ab dem 25. April 1919 wurden mit dem preußischen Entwurf zu einer Bauordnung [145, S. 225, 241, 560], die als Vorlage für alle regionalen Bauordnungen dienen sollte, erste Bestrebungen zu einer Vereinheitlichung des Baurechts sichtbar. Die Baugesetzgebung des ausgehenden 19. und frühen 20. Jahrhunderts enthielt dabei in erster Linie Hinweise und Anforderungen bezüglich der Nutzung und Maße von zu errichtenden Gebäuden, zu Sielen, Fußwegen und Straßen sowie Verfahrens- und Verwaltungsvorschriften. Zu Baustoffen und Baukonstruktionen waren nur wenige Anforderungen enthalten. So stellt das Hamburger Baupolizeigesetz von 1882 an die Umfassungswände lediglich folgende Anforderung: „Die Umfassungswände der Gebäude müssen massiv ausgeführt werden; die nicht grundfesten Teile derselben dürfen nur auf Stein- oder Eisenkonstruktionen ruhen“ [129, S. 18]. Bezüglich der Konstruktion und Materialien richtete man sich weitestgehend nach den Regeln der Baukunst, die in Fachbüchern und Fachzeitschriften diskutiert und beschrieben wurden. Im Folgenden sind die typischen Baukonstruktionen und Materialien aufgelistet, die für den Etagenhausbau verwendet wurden [vgl. auch 69; 70; 71].

Gründungen

In der Regel wurden unter tragenden Wänden Streifenfundamente in frostfreier Tiefe erstellt, wobei im 19. Jahrhundert überwiegend gemauerte Ziegel- oder Bruchsteinfundamente zur Anwendung kamen. Ab ca. 1890 wurden außerdem Stampfbetonfundamente oder Fundamentplatten aus Eisenbeton ausgeführt. Die Abdichtung gegen Bodenfeuchtigkeit übernahmen dabei häufig eine zwischen Mauerwerk und Fundament eingebrachte Lage aus Asphalt und innen- oder außenseitige Anstriche aus Asphaltlack oder eine Zementputzschicht.

Tragende Wände

Die tragenden Wände wurden in Hamburg üblicher Weise aus Ziegeln im Hamburger²² oder Reichsformat²³ gemauert und verputzt. Als Mörtel kamen Kalk-, Kalkzement- oder

²² Hamburger Format (L/B/H in cm): 22 / 10,5 / 5,6 (1885) 6,5 (1898).

²³ Reichsformat (L/B/H in cm): 25 / 12 / 6,5 (1870).

Zementmörtel in Frage. In Hamburg wurden die straßenseitigen Außenflächen häufig in einer Kombination aus verputzten und mit Schlesischen Blendern verkleideten Flächen ausgeführt²⁴.

Fenster- und Türöffnungen

Fenster- und Türöffnungen konnten entweder als Bogen oder Flachbogen gemauert oder, was für den Etagenhausbau die Regel war, als ausgemauerte Eisenträgerkonstruktion ausgeführt werden. Hierbei wurden meistens Walzeisenprofile in I-Trägerform verwendet und häufig mit einer auf einem Putzträger aufgetragenen Putzschicht verkleidet. Ab ca. 1890 wurden auch Eisenbetonstürze ausgeführt.

Stuck und Gesimse

Gesimse wurden häufig aufgemauert und erhielten entweder abschließende sichtbare Formsteine oder dienten als Rohform für eine abschließende Putzschicht. Seltener und für den Etagenhausbau in der Regel zu teuer waren Werksteingesimse, die im Mauerwerk verankert wurden. Stuckverzierungen konnten auch kostengünstig aus Gips hergestellt und über Drähte oder Nägel mit dem Mauerwerk verbunden werden. Vor allem bei weit ausladenden Gesimsen wurde ab ca. 1890 auch Eisenbeton eingesetzt, der in dem Bereich des Gesimses meistens über die gesamte Außenwandstärke in das Mauerwerk einband. Holz wurde lediglich bei den Dachgesimsen als Auskragung des unteren Dachabschlusses eingesetzt.

Decken

Die Holzbalkendecke war die übliche Konstruktionsform für Erd- und Obergeschossdecken in Etagenhäusern. Dabei wurden die Balken in einem Achsabstand von 75 cm – 105 cm meistens orthogonal zur straßenseitigen Außenwand verlegt. Die Balkenköpfe lagen in der Regel im Mauerwerk auf gemauerten Auflagern oder auf Mauerlatten auf. Häufig wurden Einschubdecken realisiert, bei denen im Balkenzwischenraum Bretter auf längs an den Balken angebrachten Leisten lagen und eine Füllung aus Bauschutt, Kohlenasche oder Sand zur Verbesserung des Schallschutzes trugen. Die Oberseite der Decken bestand meistens aus einem direkt auf die Balken aufgenagelten Holzdielenboden als Laufschiene oder einem Blindboden mit darauf verlegtem Parkett, während die Unterseite mit Putz auf Rohrgewebe und Brettverschalung verkleidet war.

Als Kellerdecke wurde im 19. Jahrhundert häufig die Preußische Kappendecke eingebaut, bei der ein flach geneigtes Gewölbe aus Vollziegeln seitlich auf gemauerten Widerlagern oder Eisenträgern auflag. Ab ca. 1890 wurden massive Decken auch als

²⁴ Vgl. Kapitel 2.2.1.

Beton- oder Eisenbetondecken in gewölbter Form oder später auch als bewehrte Vollplatten ausgeführt.

Balkone

Eine häufige Konstruktionsform für Balkone im Etagenhausbau waren Eisenträgerbalkone mit Kragträgern aus Walzeisenprofilen, in der Regel I-Profile, die entweder in der Außenmauer eingespannt waren, oder durch sie hindurch bis in die Holzbalkenlage reichten, um dort entweder mit Wechseln angeschlossen zu werden oder auf Innenwänden mit einem zweiten Auflager aufzuliegen. Die eingespannten Träger lagen dabei auf ihrer straßenseitigen Unterseite meist auf Last verteilenden Platten oder Trägern aus Eisen auf. Bei eingespannten Trägern war eine solche Last verteilende Konstruktion auch auf der raumseitigen Oberseite notwendig. Alternativ wurden hier auch in das darunter liegende Mauerwerk reichende Stabverankerungen eingebaut.

Seltener verwendete man Eisenkonsolen oder Zugbänder zur Abhängung der Balkonplatten. Diese konnten im einfachsten Fall aus Riffelblech bestehen, wurden aber meistens dadurch erstellt, dass der Zwischenraum zwischen den Eisenträgern ausgemauert und mit einem darauf liegenden Estrich überdeckt wurde.

Eine weitere Möglichkeit war die Erstellung von Balkonen mit auskragenden Natursteinplatten, die häufig auf Konsolen auflagen. Ab etwa 1890 wurden auch bewehrte und in die Außenwand eingespannte Eisenbetonbalkone gebaut, wobei die Betonplatte gleichzeitig die Aufgabe der Last verteilenden Schichten übernahm.

Dachkonstruktion

Dachstühle wurden überwiegend als Holzkonstruktion ausgeführt. Dabei wurde sowohl für die Ausführungen als Sattel- als auch als Nasendach (unsymmetrisches Mansardendach) die Pfettendachkonstruktion bevorzugt. Das Satteldach erhielt in der Regel eine Ziegeldeckung, während das Nasendach in seinen steilen straßen- und hofseitigen Dachteilen mit Schieferplatten oder Ziegeln gedeckt und in seinen flach geneigten Abschnitten mit einer Teerpappenschicht auf einer Sparschalung versehen wurde.

2.2.6 Zusammenfassung der Unterschiede und Gemeinsamkeiten

Aus der Einteilung der Etagenhausentwicklung in vier Zeitabschnitte mit ihren jeweils charakteristischen Merkmalen lassen sich Unterschiede und Gemeinsamkeiten hinsichtlich der Bauweise zwischen den betreffenden Zeitabschnitten aufzeigen. Tabelle 4 fasst die Ergebnisse aus den vorherigen typologischen Betrachtungen zusammen.

Typologische Merkmale	1871-1881	1882-1892	1893-1901	1902-1914
1. Grundriss				
1.1 Grundrissform				
1.1.1 H-Grundriss				
1.1.2 T-Grundriss				
1.2 Aufteilung				
1.2.1 2-Spänner				
1.2.2 3-Spänner				
1.2.3 4-Spänner				
1.3 Erkerbildung				
1.3.1 Vorspringen der Fassade				
1.4 Zimmerdisposition				
1.4.1 Straßenseitige 2-Zimmer-Anordnung				
1.4.2 Straßenseitige 3-Zimmer-Anordnung				
1.5 Hinterflügel				
1.5.1 4-Zimmer-Typus, kurzer Hinterflügel				
1.5.2 Langer Hinterflügel				
1.6 Flurbereich				
1.6.1 Korridor zu den hinteren Räumen				
1.7 Treppenhaus				
1.7.1 Zentral hinter zimmertiefem Flur				
1.8 Lichtschacht				
1.8.1 Lichtschacht am Treppenhaus				
2. Aufriss				
2.1 Souterrain / Erdgeschoss				
2.1.1 Decke bis 1 m oberhalb Terrain				
2.1.2 Boden max. 1 m unterhalb Terrain				
2.1.3 Boden 1 Stufe unterhalb Terrain				
2.1.4 Reguläres Erdgeschoss				
2.2 Geschossigkeit				
2.2.1 (Hoch-)parterre/3 Geschosse				
2.2.2 (Hoch-)parterre/4 Geschosse				
2.2.3 Parterre/5 Geschosse				
2.3 Hauseingang				
2.3.1 Geschossübergreifend				
2.3.2 Eingeschossig				
2.4 Fassade Strasse				
2.4.1 Stuckelemente + Verblender				
2.4.2 Reine Putzfassade mit Stuckelementen				
2.5 Fassade Hof				
2.5.1 Ohne Stuckelemente				
2.6 Fensterform				
2.6.1 Fenster hochkant				
2.6.2 Fenster Breitform				
2.7 Übergang Fassade / Dach				
2.7.1 Trennung durch Gesims				
2.7.2 Überhöhter Mittelgiebel				
2.8 Dachform				
2.8.1 Satteldach				
2.8.2 Nasendach				
2.9 Treppe				
2.9.1 Holztreppe				
2.9.2 Steintreppe				
2.10 Kellerabgang				
2.10.1 Unverkleidet				
2.10.2 Verkleidet				

Merkmalsfrequenz bezogen auf die Gesamtzahl der Gebäude:

= nie / sehr selten
 = selten
 = häufig
 = sehr häufig / immer

Nach den Ausführungen in [161].

Tabelle 4: Häufigkeit typologischer Merkmale

Dabei wird deutlich, dass es einige Merkmale gibt, die nur in bestimmten Baualterklassen auftauchen, andere die in den verschiedenen Zeitabschnitten unterschiedlich häufig zu finden sind und weitere, die in allen Baualterklassen häufig oder sehr häufig vorkommen. Diese letzte Gruppe beinhaltet die typologischen Übereinstimmungen, welche die gründerzeitliche Etagenhauskonzeption eindeutig charakterisieren und gegenüber den vorhergehenden und nachfolgenden Bauweisen abgrenzen. Hierbei handelt es sich insbesondere um die Merkmale:

- Zentrale Lage des Treppenhauses hinter zimmertiefem Flur.
- Spiegelbildliche Anordnung von je zwei Wohnräumen an der Straßenfassade²⁵.
- An der Wohnungstür gelegener Korridor zu den hinteren Räumen.
- Stuckverzierte Straßenfassade bei schlichter Putzfassade zum Hof.

Da die Bautätigkeit aber in den verschiedenen Zeitabschnitten variiert hat und zudem im Laufe der Zeit viele der Etagenhäuser zerstört oder abgerissen worden sind, kann erst die Untersuchung der historischen Bautätigkeit in Kombination mit einer Analyse der heutigen Bestandssituation Aufschluss darüber geben, welche typologischen Merkmale für den heutigen Bestand als charakteristisch anzunehmen sind.

2.3 Statistische Untersuchung zu Bautätigkeit und Bestand

Nach dem die verschiedenen Baualterklassen mit ihren charakteristischen Merkmalen erläutert worden sind, werden im Folgenden zunächst die jeweils dazugehörigen Zeitabschnitte hinsichtlich der Bautätigkeit und anschließend die heutige Bestandssituation dargestellt. Statistische Erhebungen, die in Hamburg seit 1865 mit Einführung der Bauanzeigepflicht für den Gebäudebereich durchgeführt und in statistischen Handbüchern veröffentlicht worden sind, und die Berichte zu den in unregelmäßigen Abständen durchgeführten Volks- und Wohnungszählungen²⁶ bilden die Grundlage für die folgenden Betrachtungen.

Zunächst einmal ist die Darstellung des betrachteten Gebietes von Bedeutung, da sich hier die Verhältnisse von der Gründerzeit bis zur heutigen Situation entscheidend verändert haben. Zu Beginn der Gründerzeit war in der Stadt Hamburg gerade die

²⁵ Auch bei der 3-Zimmer-Anordnung grenzen nur zwei Räume an die Fassade.

²⁶ Die letzte umfassende Volks- und Wohnungszählung fand am 25.05.1987 statt. Sie wird seitdem durch den Mikrozensus fortgeschrieben, an den alle vier Jahre eine 1 %-Wohnungsstichprobe angehängt wird.

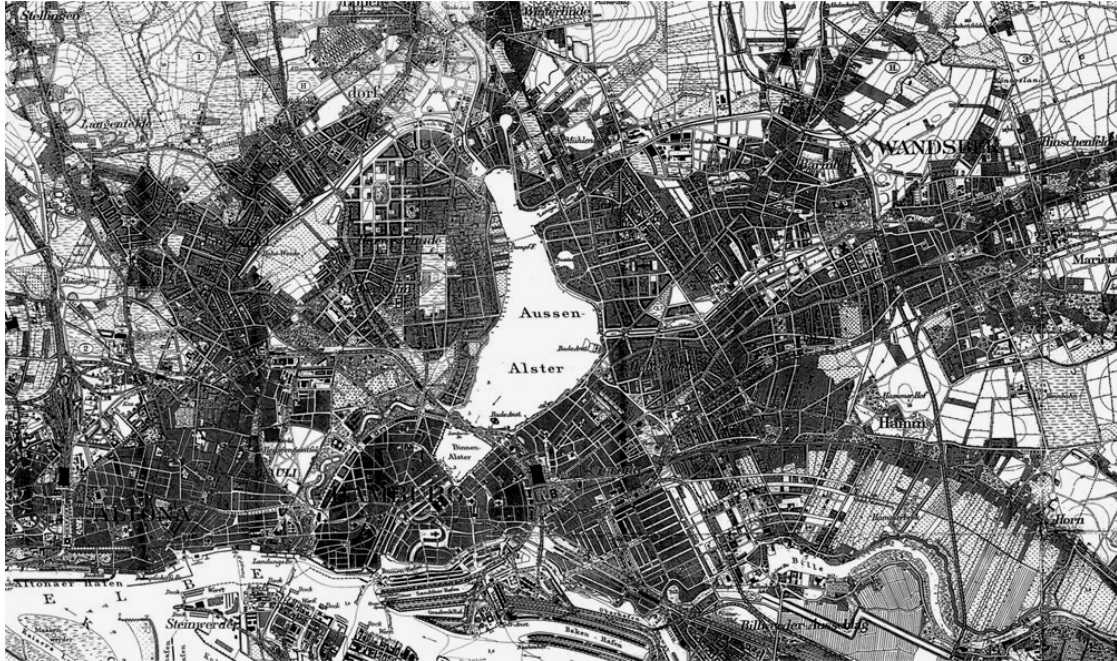
Torsperre aufgehoben worden²⁷, die eine klare Trennung von Stadt und Landgebiet bewirkt hatte. Der Wegfall dieser Grenze ermöglichte eine engere Verzahnung mit dem Hamburger Umland, die 1872 mit Ausdehnung der Bauanzeigepflicht auf die ehemaligen Landgebiete und deren Neuzeichnung als Vororte festgeschrieben wurde [vgl. 96]. Das gründerzeitliche Hamburger Gebiet umfasste demnach Altstadt und Neustadt als innere Stadt, die Vorstadt mit den Gebieten St. Georg und St. Pauli und die 14 neuen Vororte, die 1894 zu Stadtteilen wurden [vgl. 97] (Rotherbaum, Harvestehude, Eimsbüttel, Eppendorf, Winterhude, Uhlenhorst, Barmbeck, Eilbek, Hohenfelde, Borgfelde, Hamm, Horn, Billwerder Ausschlag, südlich der Elbe). Die Betrachtung der gründerzeitlichen Bautätigkeit und Auswertung der diesbezüglichen Statistiken beschränkt sich daher auf dieses Hamburger Gebiet und dort im Wesentlichen auf die 14 Vororte, die zumeist als Dörfer in landwirtschaftlich geprägtem Umfeld genügend Raum für die Stadterweiterung boten. Altona blieb weiterhin als eigenständige Stadt bestehen, und Bergedorf stand zwar unter Hamburgischer Verwaltung, zählte aber ebenfalls nicht zum Hamburger Gebiet. 1913 wurde die Stadt noch einmal um weitere 7 Vororte (Groß Borstel, Fuhlsbüttel, Langenhorn, Klein Borstel, Ohlsdorf, Alsterdorf, Billbrook) erweitert, wobei dieser Gebietsvergrößerung im betrachteten Zeitraum auf Grund der im Jahr 1914 bereits deutlich verringerten Bautätigkeit kein entscheidender statistischer Einfluss mehr zukommt.



Plan von Hamburg nebst Umgebung, T. L. Westphalen, J. O. Gallois, A. Arends. 1:20 000. Hamburg: Fuchs 1866

Abbildung 14: Hamburg um 1866

²⁷ Vgl. Kapitel 2.2.



Topographische Karte von Hamburg, Königlich Preußische Landesaufnahme. 1:25 000. Berlin: 1909

Abbildung 15: Hamburg um 1909

Im Gegensatz dazu beziehen sich die aktuellen statistischen Berichte und die Ergebnisse der letzten Gebäude- und Wohnungszählung auf das gesamte heutige Hamburger Landgebiet mit seinen 7 Bezirken, die eine deutlich größere Fläche umfassen, als diejenige, die in den gründerzeitlichen Statistiken aus Hamburg bis 1915 erfasst wurde. Zusätzlich zu den Unterschieden hinsichtlich des betrachteten Gebietes liegen den gründerzeitlichen und den aktuellen Statistiken auch verschiedene Gebäudedifferenzierungen zu Grunde²⁸, weswegen sich die historischen mit den aktuellen Zahlen nicht direkt vergleichen lassen. Dennoch kann die gemeinsame Betrachtung von historischer Bautätigkeit und heutiger Bestandssituation wichtige Hinweise auf das Verhältnis der je Zeitabschnitt errichteten Gebäude untereinander und damit die Bedeutung der einzelnen Zeitabschnitte für die heutige Gesamtsituation liefern.

2.3.1 Bautätigkeit und Baualtersklasse

Tabelle 5 zeigt eine Übersicht über die Bautätigkeit zwischen 1871 und 1914 auf dem damaligen Hamburger Stadtgebiet. In Abbildung 16 ist das daraus abgeleitete Verhält-

²⁸ In aktuellen Statistiken wird nicht mehr wie in älteren Jahrbüchern das Etagenhaus gesondert aufgeführt, sondern nach Wohneinheiten pro Gebäude unterschieden. In Annäherung an die historischen Statistiken werden daher hier Gebäude mit mehr als 3 Wohneinheiten als Etagenhaus definiert. Zudem unterteilen heutige Statistiken den gründerzeitlichen Gebäudebestand nur in die Zeitabschnitte „bis 1900 errichtet“ und „1901-1918 errichtet“, so dass im Unterschied zu den historischen Statistiken der gründerzeitliche Abschnitt von 1871-1914 nicht scharf begrenzt herausgelöst werden kann.

nis von der Gesamtzahl fertig gestellter Neubauten zu neu errichteten Etagenhäusern pro Zeitabschnitt dargestellt. Da Etagenhäuser erst ab 1885 jährlich gesondert statistisch erfasst wurden, ist dabei der Neubauanteil von Etagenhäusern für den Zeitabschnitt von 1871-1881 und für die ersten 3 Jahre des folgenden Zeitabschnittes aus dem für die Jahre 1878 bis 1883 statistisch erfassten Zuwachs an Gelassen (Wohnungen oder Gewerbeeinheiten) im 3. und 4. Stockwerk im Verhältnis zum Anstieg der gesamten Zahl der Gelasse im gleichen Zeitraum abgeleitet [vgl. 152, S. 80 Tab. 93]. Für das Jahr 1884 liegen gar keine statistischen Zahlen vor, so dass hier zusätzlich für die Anzahl der Neubauten der Mittelwert aus den Jahren 1883 und 1885 angenommen wurde.

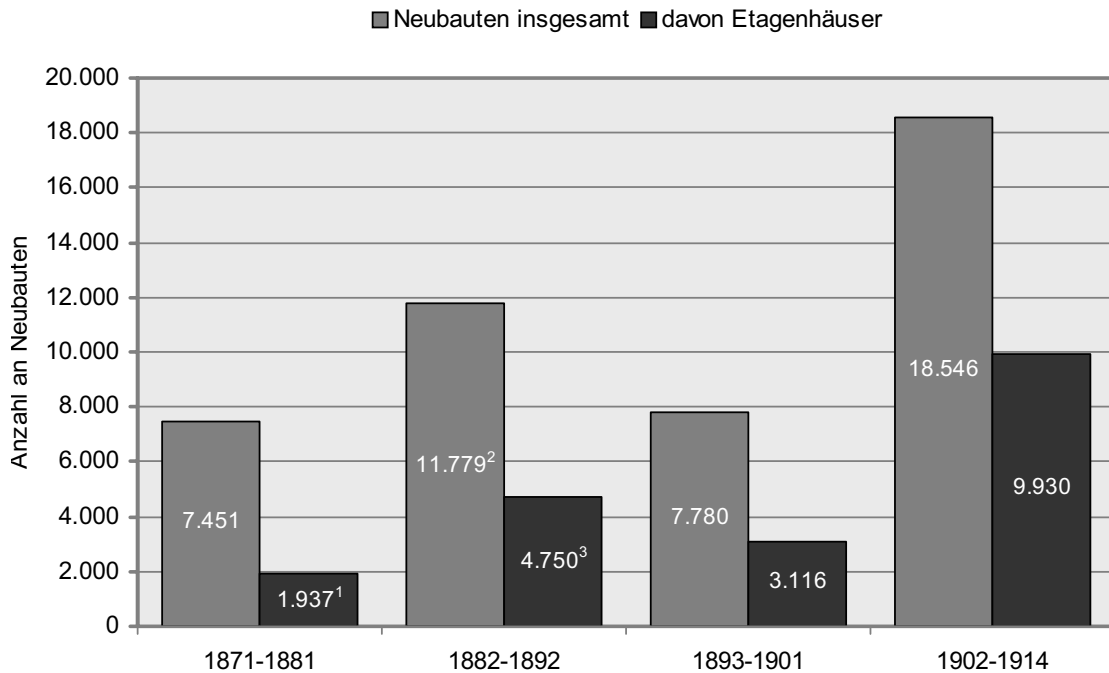
	Neubauten insgesamt	davon Etagenhäuser		Neubauten insgesamt	davon Etagenhäuser
1871 ¹	268	k.A.	1893	1.279	717
1872	486	k.A.	1894	1.099	515
1873	601	k.A.	1895	702	268
1874	832	k.A.	1896	859	300
1875	920	k.A.	1897	680	234
1876	778	k.A.	1898	745	219
1877	792	k.A.	1899	786	281
1878	732	k.A.	1900	783	265
1879	586	k.A.	1901	847	317
1880	698	k.A.	1902	1.095	512
1881	758	k.A.	1903	1.331	704
1882	813	k.A.	1904	1.408	738
1883	595	k.A.	1905	1.448	820
1884	k.A.	k.A.	1906	1.636	954
1885	700	142	1907	1.616	803
1886	759	227	1908	1.426	696
1887	1.072	417	1909	1.252	703
1888	1.111	388	1910	2.155	1.360
1889	1.490	646	1911	1.467	863
1890	1.644	832	1912	1.458	833
1891	1.396	729	1913 ²	1.313	606
1892	1.551	875	1914 ²	941	338

¹ Noch keine Bauanzeigespflicht im Landgebiet.

² Mit zusätzlichen Vororten.

Erstellt nach [152, S. 78 Tab. 90; 153, S. 87 Tab. 96; 154, S. 131 Tab. 2].

Tabelle 5: Bautätigkeit 1871-1914



¹ Geschätzt; angenommener Anteil Etagenhäuser 26 %.

² Das Jahr 1884 wurde mit 648 Neubauten angenommen.

³ Abgeleitet für die Jahre 1882-1884; angenommener Anteil Etagenhäuser 24 %.

Abbildung 16: Anzahl gründerzeitlicher Neubauten pro Zeitabschnitt

Es zeigt sich, dass zum einen der Anteil der Etagenhausbebauung an der Neubebauung zwischen 1871 und 1914 zugenommen hat und zum anderen die Zahl der pro Baualtersklasse errichteten Gebäude stark differiert. So wurden von 1902-1914 mit 9.930 Etagenhäusern fast ebenso viele Gebäude dieser Art errichtet wie im gesamten vorhergehenden Zeitraum von 1871-1901 zusammen. Die Baualtersklasse von 1871-1881 weist dagegen im Vergleich mit den anderen Baualtersklassen die geringste Zahl von neu gebauten Etagenhäusern auf.

2.3.2 Heutige Bestandssituation

Die Anzahl des Wohngebäudebestandes in Bezug auf das Baualter ist für Hamburg das letzte Mal umfassend in der Volks- und Wohnungszählung von 1987 erfasst worden [vgl. 156, S. 32 Tab. 1]. Demnach gab es für den Bereich der Gebäude mit mehr als 3 Wohnungen 4.957 Gebäude die bis 1900 errichtet worden sind und 8.265 Gebäude mit einem Erstellungsdatum zwischen 1901 und 1918. Nimmt man eine Verringerung des gründerzeitlichen Bestandes von 1887 bis 2002 um 10,9 % an²⁹, so ergibt sich eine aktuelle Zahl von 11.780 vor 1918 erstellten Gebäuden mit mehr als 3 Woh-

²⁹ Abgeleitet aus der Verringerung der diesbezüglichen Zahl von Wohneinheiten zwischen 1987 und 2002 [vgl. [155; [156, S. 32 Tab. 1].

nungen. Bei einer Gesamtanzahl von 229.988 Wohnungen [vgl. 148, S. 4 Tab. 4] bedeutet das einen Anteil von 5,1 % für diese Gebäudegruppe. In Bezug auf die insgesamt 76.778 Mehrfamilienhäuser beträgt der Anteil ca. 15,3 %. Mit dem Mikrozensus von 2002 sind die Anzahl der Wohneinheiten und die Wohnfläche hinsichtlich des Baualters erfasst worden. Tabelle 6 zeigt die Zahlen für die vor 1918 erstellten Gebäude mit mehr als 3 Wohnungen im Vergleich zum Gesamtbestand für Hamburg und Deutschland. Die auf diese Gebäudegruppe entfallende Wohnfläche hat einen Anteil von ca. 11,5 % am Gesamtwohnflächenbestand für Hamburg. Der Anteil für die Anzahl der Wohneinheiten am Gesamtbestand liegt bei ca. 11 %.

		Gesamtbestand Wohngebäude	Bestand in Gebäuden mit mehr als 3 Wohneinheiten bis 1900 errichtet	Anteil in %	Bestand in Gebäuden mit mehr als 3 Wohneinheiten 1901-1918 errichtet	Anteil [in %]
Hamburg	Wohnfläche [m ²]	60.480.000	2.680.000	4,43	4.240.000	7,01
	Wohneinheiten [Anzahl]	804.100	34.500	4,29	54.200	6,74
Deutschland	Wohnfläche [m ²]	3.146.510.000	78.480.000	2,49	100.000.000	3,18
	Wohneinheiten [Anzahl]	35.128.000	1.027.000	2,92	1.334.000	3,80

Nach [155; 150].

Tabelle 6: Bestandssituation: Gründerzeitliche Wohnfläche und Wohneinheiten

Die Betrachtung der aktuellen Zahlen für Gebäude, Wohneinheiten und Wohnflächen zeigt in guter Übereinstimmung, dass in Bezug auf die gründerzeitlichen Bautätigkeitsstatistiken der Anteil der nach der Jahrhundertwende erstellten Etagenhäuser am gründerzeitlichen Gesamtetagenhausbestand größer geworden ist. Lassen die historischen Zahlen erkennen, dass ursprünglich etwa die Hälfte aller gründerzeitlichen Etagenhäuser nach der Jahrhundertwende erstellt wurde, entfallen auf diesen letzten gründerzeitlichen Zeitabschnitt mittlerweile über 60 % des heutigen gründerzeitlichen Etagengebäudebestandes. Überträgt man weiterhin das Verhältnis der in den einzelnen Zeitabschnitten ursprünglich erstellten Etagenhäuser auf die heutige Anzahl der bis 1900 erstellten Gebäude, so ergibt sich für den Zeitabschnitt I ein Anteil am gründerzeitlichen Etagengesamtbestand von nur 7,3 %. Tatsächlich fällt der Anteil sogar noch deutlich geringer aus, da der Bestand an frühen Etagentypen durch

Zerstörung und Abbruch in besonderem Maße geschmälert worden ist [vgl. 161, S. 27]. Dies bedeutet hinsichtlich der typologischen Bewertung, dass der heutige gründerzeitliche Etagenhausbestand überwiegend durch die Merkmale des IV. und in geringerem Maße des II. und III. Zeitabschnittes charakterisiert werden kann.

2.3.3 Merkmale des gründerzeitlichen Etagenhausbestandes

Ausgehend von den vorherigen Feststellungen lassen sich die bisher beschriebenen charakteristischen Merkmale noch präzisieren und ergänzen.

Charakteristische Merkmale für den Gesamtbestand (Gemeinsamkeiten in allen Baualterklassen, siehe Kapitel 2.2.6):

- Zentrale Lage des Treppenhauses hinter zimmertiefem Flur.
- Spiegelbildliche Anordnung von je zwei Wohnräumen an der Straßenfassade.
- An der Wohnungstür gelegener Korridor zu den hinteren Räumen.
- Stuckverzierte Straßenfassade bei schlichter Putzfassade zum Hof.

Zusätzliche, als charakteristisch anzunehmende typologische Ausprägungen (Gemeinsamkeiten in den Baualterklassen II bis IV, vgl. Kapitel 2.3.2):

- T-Grundriss.
- Spiegelbildliche Drei-Zimmer Anordnung auf der Straßenseite.
- Nasendachform.
- Treppentragwerk aus Stein.

Geht man davon aus, dass die überwiegende Zahl der gründerzeitlichen Etagenhäuser dem Zeitabschnitt IV zuzuordnen ist, und begreift man die Merkmale dieser Gebäudegruppe daher als bestandstypisch, so treten folgende weitere typologische Ausprägungen hinzu:

- Vorspringen der Straßenfassade im Mittelteil.
- Langgestreckter Hinterflügel.
- Kein Lichtschacht im Treppenhausbereich.
- Verkleidung des Kellerabganges.

2.4 Bewertung der Untersuchungsergebnisse

Die vorangegangenen typologischen und statistischen Untersuchungen zeigen, dass es neben den herausgestellten Gemeinsamkeiten auch eine große Anzahl von Unterschieden bei den energetisch relevanten Merkmalen innerhalb des gründerzeitlichen Etagenhausbestandes in Hamburg gibt. So kommen alleine in Bezug auf die Souterrain-Erdgeschosslage 3 Standardvarianten vor, die teilweise auch innerhalb der einzelnen Zeitabschnitte gleichzeitig umgesetzt wurden. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass zu diesen typologischen Unterschieden bei der Betrachtung einzelner Gebäude noch lagebedingte³⁰ und zustandsbedingte³¹ Varianten hinzutreten. Trotz der auffälligen typologischen Übereinstimmungen, die die Gebäude dieser Klasse gegenüber anderen Gebäuden klar abgrenzen und ein hohes Maß an Gemeinsamkeiten bei den energetisch relevanten Merkmalen vermuten lassen, muss daher davon ausgegangen werden, dass Untersuchungsergebnisse, die an einem Einzelobjekt ermittelt werden, nicht ohne Weiteres auf den gesamten übrigen Gebäudebestand übertragbar sind. Dies ist auch im Hinblick auf Prognosen zur energetischen Entwicklung des Gesamtbestandes von Bedeutung, da sich dann auf Grund von Einzeluntersuchungsergebnissen auch hier nicht per se Aussagen für den Gesamtbestand machen lassen.

Die vorangegangenen Betrachtungen haben aber auch gezeigt, dass es neben den für die gründerzeitlichen Etagenhäuser generell charakteristischen Merkmalen zusätzlich noch typologische Ausprägungen gibt, die bei einem Großteil des Bestandes vorkommen (vgl. Kapitel 2.3.3). Um sicherzustellen, dass ein Referenzobjekt weder einer nur noch selten vorhandenen Standardkonzeption zuzuordnen ist noch einen Sondertypus darstellt, muss bei dessen Auswahl darauf geachtet werden, dass es ebenfalls diese Ausprägungen aufweist. Es ist anzunehmen, dass ein Gebäude, welches alle der in Kapitel 2.3.3 aufgeführten typologischen Merkmale zeigt, das größtmögliche Maß an Übereinstimmung mit dem übrigen Gebäudebestand bietet.

Auch wenn dies nicht bedeutet, dass die Ergebnisse der Untersuchung eines solchen Referenzobjektes in ihrer Gesamtheit hinsichtlich des Energieeinsparpotentials pauschal für alle andere gründerzeitliche Gebäude gelten, so ist dennoch davon auszugehen, dass auf Grund der gemeinsamen typologischen Merkmale einzelne energetische Optimierungsmaßnahmen auch für andere gründerzeitliche Etagenhäuser relevant sind und im Rahmen der ohnehin notwendigen jeweiligen individuellen Betrachtung und Berechnung entsprechend angepasst werden können. Dabei wird die Überprüfung

³⁰ Z.B. unterschiedliche Disposition je nach Eck- oder Mittellage des Gebäudes, unterschiedliche Orientierung je nach Straßenverlauf, variierende Gebäudeaußenmaße.

³¹ Insbesondere unterschiedliche energetische Standards auf Grund von Modernisierungsarbeiten.

einzelner Maßnahmen umso wichtiger, je weniger typologische Übereinstimmungen zwischen Untersuchungsobjekt und dem jeweils betrachteten Gebäude bestehen.

Kapitel 3

Auswahl des Untersuchungsgegenstandes

3.1 Das Gebäude „Kleine Freiheit 46-52“

Ein gründerzeitliches Etagenhaus, welches die in Kapitel 2.4 formulierten Anforderungen weitestgehend (vgl. Kapitel 3.1.6) erfüllt, konnte mit dem Objekt „Kleine Freiheit 46-52“ untersucht werden. Es wurde im Jahr 1907 errichtet und ist damit der größten gründerzeitlichen Baualtersklasse IV zuzuordnen. Heute befindet es sich im Besitz der Stadterneuerungs- und Stadtentwicklungsgesellschaft Hamburg mbH (STEG Hamburg mbH). Das Gebäude wurde im Jahr 2003 leer gezogen, um es im Rahmen des Forschungsprojektes EnSan [vgl. 50] unter wissenschaftlicher Begleitung der Technischen Universität Hamburg-Harburg bis zum Sommer 2006 zu sanieren und energetisch zu optimieren.



Foto: Prof. W. Leschnik.

Abbildung 17: Straßenansicht „Kleine Freiheit 46-52“

Ein unbewohntes und zu sanierendes Gebäude bietet die Möglichkeit, während des Sanierungszeitraumes alle Gebäudedaten direkt am Objekt aufzunehmen, Gebäudestrukturen im Detail zu analysieren sowie Langzeitmessungen vor Ort durchzuführen, was bei einem bewohnten oder bereits sanierten Gebäude nicht sinnvoll realisierbar ist. Im Folgenden wird zunächst das Bauwerk beschrieben (siehe dazu auch Anhang A 1 - A 4), um danach eine typologische Einordnung vorzunehmen.

3.1.1 Lage

Das Gebäude befindet sich im heutigen Hamburger Stadtteil St. Pauli westlich der Innenstadt auf ehemaligem Altonaer Gebiet. Zur Bauzeit im Jahr 1907 war das umgebende Stadtviertel bereits dicht bebaut, so dass nur einzelne Neubauten errichtet und nicht, wie in den unbebauten Vororten, ganze Straßenzüge mit einem Gebäudetyp beplant werden konnten. In Verbindung mit den Kriegszerstörungen und der darauffolgenden Neu- und Wiederaufbauphase führte das zu dem heutigen heterogenen baulichen Erscheinungsbild an der Kleinen Freiheit.



Ausschnitt aus der Topographischen Karte von Hamburg, Königlich Preußische Landesaufnahme. 1:25 000. Berlin: 1909.



Abbildung 18: Lage „Kleine Freiheit 46-52“ im Stadtgebiet von 1909

Abbildung 19: Lageplan „Kleine Freiheit 46-52“ heutige Situation

Das Bauwerk ist von größeren Zerstörungen verschont geblieben. Bis auf den Austausch einiger Fenster, den Neuanstrich der Fassade und den Einbau unterschiedlicher Etagenheizsysteme sind keine größeren Modernisierungsmaßnahmen durchgeführt und insgesamt nur kleinere bauliche Veränderungen vorgenommen worden, so dass das Gebäude im Wesentlichen in seinem Ursprungszustand erhalten ist.

3.1.2 Gebäudekonzeption

Grundriss

Das Etagenhaus ist als 4-geschossiges, teilunterkellertes Gebäude mit einem im straßenseitigen Gebäudeteil begehbaren Dachboden auf einer Grundfläche von 16,15 m Tiefe x 26,00 m Breite geplant worden. Es besteht aus zwei spiegelgleichen Gebäudehälften, die jeweils auf Basis des T-Grundrisses über einen Hauseingang, ein vom Keller bis zum Dach durchgehendes Treppenhaus und einen daran angrenzenden, nicht überdachten Lichthof verfügen.



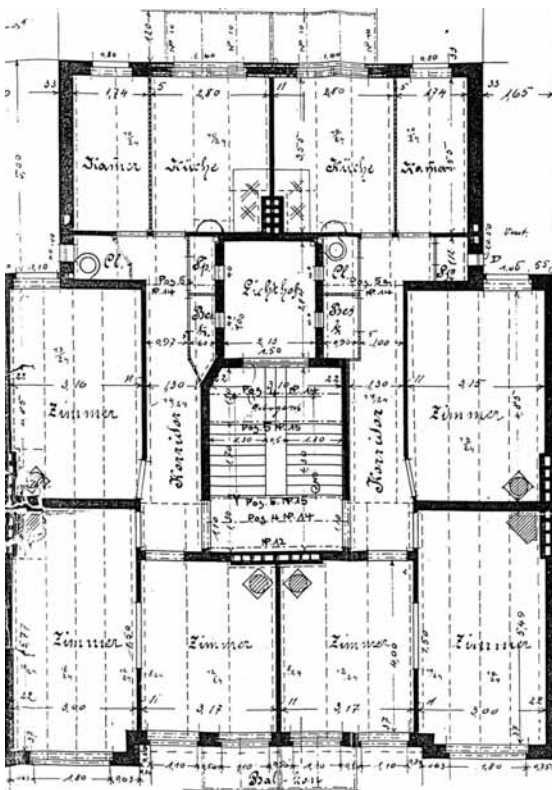
Nicht-unterkellerte Bereiche grau unterlegt; Zeichnung nach Dittert & Reumschüssel.

Abbildung 20: Grundriss Erdgeschoss, Nr. 46-52

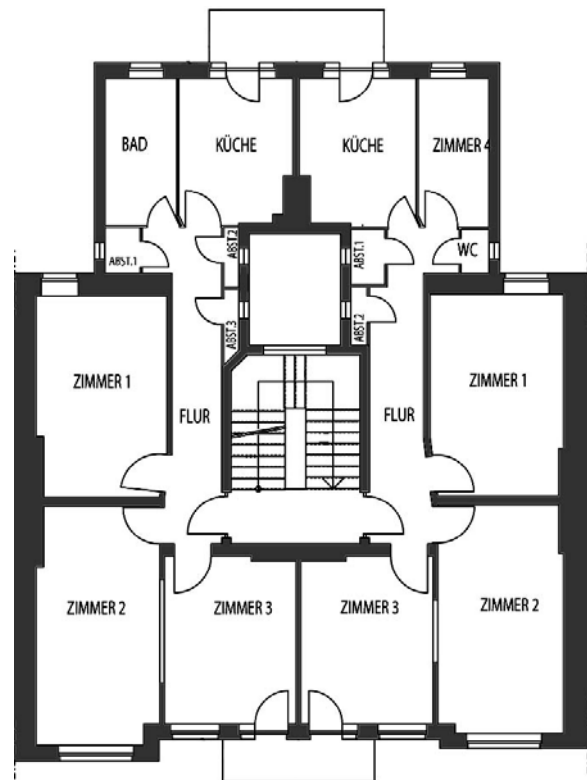
Im Erdgeschoss sind pro Haushälfte ein kleiner Laden und eine Ladenwohnung auf der einen, sowie eine große Ladenwohnung auf der anderen Seite des Hauseinganges mit jeweils einem Zugang von der Straße und über das Treppenhaus vorgesehen worden. Die größere Ladenwohnung besitzt eine eigene Treppe zum Keller, in dem weitere zu

dieser Einheit gehörende Räume liegen.

Der übrige Kellerbereich wird über das öffentliche Treppenhaus erschlossen und enthält ebenfalls Nebenräume. Über das Treppenhaus und den Lichthof kann ein Kellergang erreicht werden, der über eine außenliegende Kellertreppe auf den Hinterhof führt. In letzter Zeit sind für jede Gebäudehälfte der Laden und die angrenzende Ladenwohnung zusammengelegt und als Ladenwohnung genutzt worden, wohingegen die große Ladenwohnung ausschließlich in der Funktion als Laden betrieben wurde.



Aus der Bauantragsplanung von 1907.



Nach Dittert & Reumschüssel.

Abbildung 21: Grundrisse Obergeschosse, Nr. 46-48, Plan von 1907

Abbildung 22: Grundrisse Obergeschosse, Nr. 46-48, heutiger Bestand

Die 3 darüber liegenden Wohngeschosse sind im Wesentlichen identisch konzipiert. Jede Gebäudehälfte bildet einen Zweispänner, in dessen Mitte sich das Treppenhaus und der Lichthof befinden. Die Wohnungen enthalten 3 Zimmer, von denen zwei zur Straßenseite und eines zur Hofseite hin am Lichtschlitz liegen, eine Kammer und eine Küche an der Hoffassade, sowie zwei kleine Nebenräume am Lichthof und einen Nebenraum am Lichtschlitz. Ursprünglich befanden sich pro Wohnung nur ein kleines Klosett in einem der Nebenräume und ein Waschbecken in der Küche, was sich aber in der Hälfte aller Wohnungen dahingehend geändert hat, dass die Kammer nachträglich

als Badezimmer ausgebaut wurde. Je Gebäudeteil ist die eine Hälfte des begehbaren Dachbereiches, welche ursprünglich als Kammer und Dachboden vorgesehen war, zu Wohnzwecken ausgebaut worden, so dass das Gebäude heute inklusive der Ladenwohnungen über 16 Wohnungen verfügt.

Fassade

Die Straßenfassade springt oberhalb des Erdgeschosses zum einen im Bereich der jeweils äußeren Zimmer und zum anderen über die Breite der mittleren zwei Räume des Gebäudes zur Straße hin vor. Sie besteht im Bereich der Fenster und des mittleren Erkers aus grün oder weiß gestrichenen Putzflächen und ist im Übrigen mit weiß gestrichenen Klinkerriemchen belegt. Stuckelemente befinden sich vor allem an den Gesimsen und im Bereich der äußeren Fensterreihen. Die ursprünglich zwischen den Fenstern des mittleren Erkers vorhandene Stuckatur und die Stuckaufbauten über den Eckversprüngen im Dachbereich existieren heute nicht mehr vollständig. Der mittlere Erker durchbricht das breite Dachgesims und wird von einem überhöhten Giebel mit einem Fenstereinschnitt abgeschlossen, während der übrige Dachbereich, der ursprünglich fensterlos geplant war und heute kleine Dachflächenfenster besitzt, zur Straßenseite hin steil abfällt. Das Dach ist in diesem Bereich mit roten Ziegeln gedeckt und ansonsten mit Dachpappe oder Schindeln versehen, wobei es sich größtenteils nicht mehr um die Originaldeckung aus der Bauzeit handelt. An der Straßenfassade befinden sich insgesamt sechs auskragende Balkone, die jeweils von zwei Wohnungen erschlossen werden. Die gründerzeitlichen Balkongeländer wurden durch einfache Stahlgeländer ersetzt. Die ursprüngliche Aufteilung der Erdgeschosszone mit den zwei Haus- und sechs Ladeneingängen sowie den dazwischen liegenden geschosshohen Verglasungen ist durch die Ladenzusammenlegung und eine stellenweise Verkleinerung der Fensterflächen verändert worden.



Fotos: Dittert & Reumschüssel.

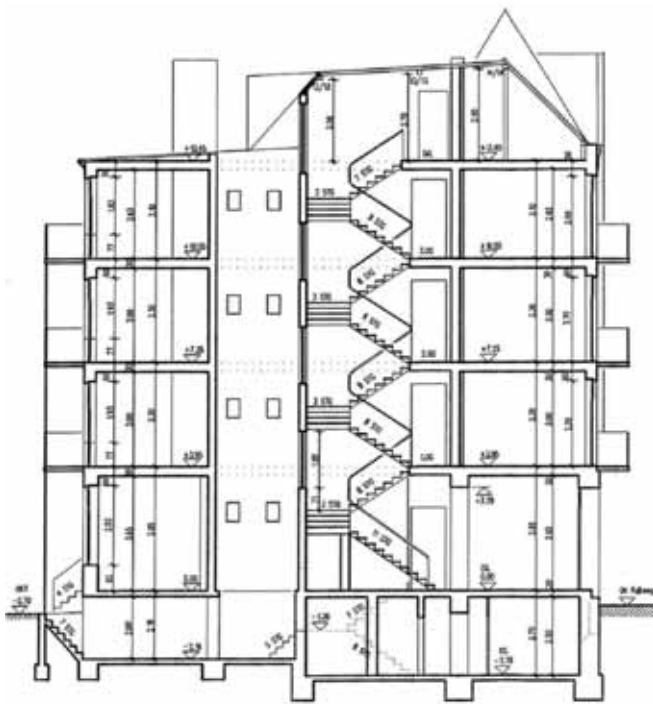


Abbildung 23: Stuckverzierter Giebel

Abbildung 24: Hoffassade

Die Hoffassade ist als schlichte Putzfassade ausgebildet worden und weist aufgrund der T-Grundrisskonzeption der beiden Gebäudehälften einen schlitzartigen Rücksprung in der Fassadenmitte und zu den jeweiligen Nachbargebäuden auf. Die sechs aus dem Mauerwerk auskragenden gründerzeitlichen Balkone sind wie auf der Straßenseite jeweils von zwei Wohnungen aus zugänglich und besitzen heute zusätzliche durchgehende Stahlstützen als statische Verstärkung. Die Fassade schließt an ein Flachdach für den hinteren Gebäudeteil an, welches in Richtung Gebäudemitte über ein Schrägdach in den höheren straßenseitigen Teil des Daches übergeht. Im Bereich des mittleren Schlitzes befindet sich im Schrägdach eine Gaube, welche die gesamte Schlitzbreite überspannt.

Schnitt



Zeichnung nach Dittert & Reumschüssel.

Abbildung 25: Schnitt, Nr. 46-48

Abbildung 26: Lichtschlitz zum Hof

In seiner Höhenentwicklung weist das Gebäude in den unterkellerten Abschnitten verschiedene Raumhöhen zwischen 2,00 m und 2,50 m auf. Die Oberkante Erdgeschossfußboden liegt straßenseitig 0,48 m und hofseitig 0,72 m über der Oberkante Erdreich, so dass der Keller über schmale Kellerfenster belüftet und belichtet werden kann. Da die Kellerdecke im Bereich der äußeren Ladenwohnungen um eine Stufe nach unten verspringt, besitzt auch das Erdgeschoss unterschiedliche Raumhöhen von

3,65 m und 3,80 m. Die Zimmer der darauffolgenden zwei Obergeschosse sind mit gleichen Höhen von jeweils 3,00 m konzipiert worden, wogegen die dritte Etage mit einer Raumhöhe von 2,86 m und der begehbare Teil des Dachgeschosses unter dem leicht geneigten Flachdach mit Höhen zwischen 2,90 und 2,56 etwas niedriger dimensioniert sind.

Die Gesamthöhe des Gebäudes über Straßenniveau liegt heute nach Kappung des ursprünglich überhöhenden Dachaufbaus hinter dem Mittelgiebel bei 17,50 m. Die Stärke des tragenden Mauerwerks, welches auf Streifenfundamenten gegründet ist, nimmt im Bereich der Außenwände und bei einigen Innenwänden vom Kellergeschoss bis zum ersten Obergeschoss ab, variiert in den weiteren Etagen dann aber nicht mehr.

3.1.3 Konstruktion

Wände

Fast alle Wände des Gebäudes sind als Ziegelmauerwerkskonstruktion erstellt worden. Lediglich im nachträglich ausgebauten Dachbereich findet sich beidseitig mit Kalkputz versehenes 11, 5 cm starkes Kalksandsteinmauerwerk als Trennwand der Wohnung zum unbeheizten Dachraum. Für die übrigen Außen- und Innenwände sind Ziegelsteine des Hamburger Formats³² verwendet worden. Bei den stärkeren Außenwänden des Keller- und des Erdgeschosses wurden 2 ½ Steinlagen und bei den schlanker dimensionierten Außenwänden des Obergeschosses 1 ½ Steinlagen in Kalkzementmörtel verlegt. Die verputzten Außenwandabschnitte weisen eine außenseitige Zementputzschicht von ca. 2 cm Stärke auf und sind auf der Innenseite mit einem 1,5 cm starken Kalkputz versehen. Im Bereich der Riemchenverkleidung, die aus Elementen mit den Abmessungen (in cm) 12 / 6,5 / 2 besteht, sind diese in die äußere Zementputzschicht eingelegt und springen 1,0 cm hervor. Die Fenster- und Türöffnungen im Außenmauerwerk werden von jeweils drei ummauerten I-Profil Walzeisenträgern überspannt. Die Innenwände sind je nach Funktion und Lage in unterschiedlichen Stärken errichtet worden.

Fenster / Türen

Der Großteil der Fenster besteht aus alten, einfach gefalzten Holzrahmen ohne Dichtungen mit Einfachverglasung. Die Dachflächenfenster sind als Metallfenster ebenfalls mit Einfachverglasung ausgeführt. Bei etwas mehr als einem Drittel aller Fenster sind die Einfachverglasungen durch eine Zweischeibenisolierverglasung ausgetauscht worden. Im Bereich der Lichtschächte wurden nachträglich Glasbausteinfenster einge-

³² Hier das ab 1898 verwendete Format (in cm): 22 / 10,5 / 6,5.

baut. Die Haus- und Ladeneingangstüren bestehen aus einer einlagigen Holzkonstruktion mit einfachverglasten Fensterelementen. Die Wohnungstüren sind analog aufgebaut.

Sohle / Kellerdecke

Der nicht unterkellerte Bereich des Erdgeschossfußbodens besteht aus einer nichttragenden Ziegelsplittbetonplatte, welche direkt auf dem Erdreich aufliegt, und einer darüber angeordneten, einen Holzdielenbelag tragenden Balkenlage, deren Zwischenräume mit Mulch ausgefüllt sind. Die Kellerdecke ist in einem Bereich als schlanke Eisenbetondecke ausgeführt, die eine Füllung aus feinem Bauschutt trägt, welche durch eine Folie von dem darüber liegenden Estrich getrennt wird. Ein weiterer Kellerdeckenbereich besteht aus einer Holzdielenkonstruktion auf einer Eisenbetonplatte, deren Gefache mit Mulch aufgefüllt sind. Als Gründung für die tragenden Wände sind abgestufte Streifenfundamente gemauert worden.

Geschossdecken

Die Geschossdecken oberhalb der Kellerdecke sind als Holzbalkendecken konstruiert worden. Dabei spannen Holzbalken als tragende Elemente mit einer Höhe von 24 cm und unterschiedlichen Breiten in der Regel parallel zu den Gebäudetrennwänden und binden in die straßen- oder hofseitige Fassade ein. Diese Spannrichtung ist lediglich im hofseitigen Bereich der Erdgeschossdecke um 90 ° gedreht. Die Decken sind unterseitig mit einem Rohrputz auf einer Holzverschalung und oberseitig mit einem direkt auf die Balken genagelten Dielenboden versehen und besitzen einen 13 cm hohen Einschub aus Schlacke auf einer weiteren Brettlage.

Dach

Der Dachstuhl ist als hölzernes Pfettendach ausgebildet, dessen Pfetten parallel zur Straßenseite spannen und durch kopfbandverstärkte Stiele, die auf der Holzbalkenlage der darunter liegenden Geschossdecke stehen, abgestützt werden. Die Schrägdachbereiche liegen in ihrem unteren Abschluss auf Fußschwellen auf, die an der Straßenseite auf einem 50 cm hohen Drempe³³ und auf der Hofseite direkt auf der Balkenlage der darunter liegenden Decke aufgelagert sind. Quer zu den Pfetten spannen Dachsparren, die im Flachdachbereich eine Holzverschalung mit zweilagiger Dachpappendichtung und im Steildachbereich eine in Dachpappe eingelegte Ziegeldeckung auf Dachlatten tragen. Im ausgebauten Dachbereich sind die Sparren mit einer Holzverschalung und darauf montierten 3,0 cm – 4,0 cm starken, verputzten Holzwoolleichtbauplatten verkleidet worden. Teile des Dachstuhls sind wahrscheinlich aufgrund

³³ Die Fußschwelle wird hier von Stielen abgestützt, deren Gefache als Drempe ausgemauert sind.

eines Brandschadens erneuert und durch imprägniertes Holz ersetzt worden.

Balkone

Die Balkone sind als Beton-Walzeisenträgerkonstruktion errichtet worden, wobei die Träger durch das Außenmauerwerk stoßen und ca. 70 cm in die Holzbalkengeschosdecken hineinragen, wo sie mit einem Wechsel zwischen den Balken gegen Kippen gesichert sind. Zwischen den Trägern spannt sich im Außenbereich als Balkonplatte eine unbewehrte Splitbetonkappe. Die hofseitigen Träger sind gleichermaßen konstruiert worden und haben nachträglich eine zusätzliche Abstützung durch zwei durchlaufende Stahlstützen pro Haushälfte erhalten.



Fotos: Dittert & Reumschüssel.

Abbildung 27: Straßenseitige Balkone

Abbildung 28: Treppenhaus

Treppe

Die Treppe ist als massive, aus dem Mauerwerk auskragende Steintreppe mit Holzbelag errichtet worden, wobei die Podeste als Kappendecke zwischen eingespannten Walzeisenträgern errichtet wurden.

3.1.4 Haustechnik

Heizwärmeversorgung

War die Heizwärmeversorgung jeder Wohnung ursprünglich über Einzelkohlöfen in

den Zimmern und den Gasherd³⁴ in der Küche vorgesehen, so sind im Laufe der Zeit unterschiedliche Heizungssysteme im Gebäude eingebaut worden. Zuletzt wurden von den 18 Nutzungseinheiten noch 6 über Kohleöfen beheizt, 4 wiesen eine Nachtspeicherheizung auf, weitere 4 verfügten über Gaseinzelöfen und 3 waren mit einer Gastherme und Heizkörpern ausgestattet. Eine Wohnung besaß überhaupt kein Heizungssystem. Die Abgasleitungen sind in der Regel an die vorhandenen Kaminzüge angeschlossen worden. Auf Grund der Notwendigkeit kurzer Abgasrohr­längen sind die Kohle- und Gaseinzelöfen nahe der Kaminschächte und damit meist in den inneren Raumecken und nicht in Fensternähe platziert worden. Heizungsleitungen existierten nur in den drei Nutzungseinheiten mit einer Gastherme und sind in der Regel ungedämmt im Geschossdeckenbereich verlegt worden.



Fotos: Innovatec.

Abbildung 29: Kohleofen, Nr. 46-48

Abbildung 30: Einbaudusche, Nr. 46-48

Warmwasserversorgung

Da die einzelnen Nutzeinheiten nach der Errichtung des Gebäudes zunächst nur über einen Kaltwasseranschluss verfügten und das Wasser mit dem Küchenherd erwärmt werden musste, sind im Laufe der Zeit überwiegend elektrische Warmwasserbereiter nachträglich installiert worden. Dabei wurden 7 Einheiten mit elektrischen Durchlaufer-

³⁴ Das Gebäude besaß bereits 1907 einen zentralen Gasanschluss, der wahrscheinlich zunächst die Küche mit Gas versorgte.

hitzern und 6 mit Elektrospeichern ausgestattet. Über eine gasgebundene Warmwasserbereitung verfügten 4 Nutzungseinheiten, wobei eine Gas-Kombitherme und 3 Gas-Durchlauferhitzer eingesetzt wurden. Eine Wohneinheit verfügte über keine fest installierte Anlage zur Warmwasserbereitung.

3.1.5 Bauschäden

An dem Gebäude sind seit seiner Errichtung keine größeren Sanierungs- oder Modernisierungsmaßnahmen durchgeführt worden. Zudem hat sich der nachträgliche Einbau von haustechnischen Anlagen und das Nutzerverhalten³⁵ zum Teil sehr ungünstig auf die Bausubstanz ausgewirkt, so dass insgesamt ein dringender Sanierungs- und Modernisierungsbedarf besteht.

Schäden konnten insbesondere in folgenden Bereichen festgestellt werden:

- Undichte Stellen im Dach.
- Abgängige Schornsteinköpfe.
- Starke Korrosion der hofseitigen Balkone, korrosionsbedingte Abplatzungen bei den straßenseitigen Balkonen.
- Korrosion an den Eisenträgern im Fenster- und Türsturzbereich.
- Wasserschäden im Außenwandbereich.
- Rissbildung im Außenwandbereich.
- Großflächiger Schimmelpilzbefall einiger Wände.
- Holzfeuchteschäden an den Fenstern.
- Schädigung der Deckenholzbalkenköpfe durch tierischen und pflanzlichen Schädlingsbefall.
- Feuchteschäden im Dielen- und Sockelbereich einiger Küchen und Bäder.
- Feuchteschäden an den Lagerhölzern des Fußbodens im nicht unterkellerten Bereich.
- Veraltete Geräte der Anlagentechnik in teilweise sehr schlechtem Zustand.
- Größtenteils nicht fachgerechte Verlegung und fehlende Dämmung der Leitungen.

³⁵ So führte beispielsweise der nachträgliche Einbau einer Dusche in der Küche zu starken Feuchteschäden in diesem Bereich, und der Einbau von Nachtspeicherheizungen hatte zur Folge, dass auf Grund der hohen Heizkosten weniger geheizt und gelüftet wurde, was wiederum hohe Raumluftfeuchten und großflächigen Schimmelpilzbefall nach sich zog.



Fotos: Prof. W. Leschnik.

Abbildung 31: Schimmelpilzbefall

Abbildung 32: Feuchteschaden am Fenster

Da bisher keine größeren Wärmedämmmaßnahmen an der Gebäudehülle durchgeführt worden sind und die Anlagentechnik veraltet und in teilweise sehr schlechtem Zustand ist, entspricht das Gebäude nicht mehr dem Stand der Technik und kann heutigen Anforderungen an ein modernes, umweltverträgliches und gesundes Wohnen nicht gerecht werden.

3.1.6 Typologische Einordnung

Das Gebäude „Kleine Freiheit 46-52“ ist im Jahre 1907, das heißt zu einem Zeitpunkt errichtet worden, an dem sich der Jugendstil bereits als neue Stilrichtung etabliert hatte. So ist auch die Fassadengestaltung dieses Gebäudes mit seinen Ornamenten, dem überhöhten Mittelgiebel und der Betonung der Vertikalen dieser Stilrichtung zuzuordnen. In seiner weiteren Ausprägung und der inneren Organisation folgt es im Wesentlichen den Merkmalen der gründerzeitlichen Gebäudeklasse IV. Damit weist es auch alle der in Kapitel 2.3.3 herausgestellten charakteristischen Merkmale der gründerzeitlichen Etagenhausbauweise in Hamburg und alle darüber hinaus charakteristischen typologischen Ausprägungen der Gebäudeklassen II-IV auf.

Charakteristische typologische Merkmale	Übereinstimmung	
	ja	nein
1.1 Gemeinsamkeiten aller Baualtersklassen		
Zentrales Treppenhaus hinter zimmertiefem Flur	X	
Spiegelbildliche 2-Zimmeranordnung an der Straßenfassade	X	
An der Wohnungstür gelegener Korridor zu hinteren Räumen	X	
Stuckverzierte Straßenfassade / Putzfassade zum Hof	X	
1.2 Gemeinsamkeiten der Baualtersklassen II bis IV		
T-Grundriss	X	
Spiegelbildliche 3-Zimmeranordnung an der Straßenseite	X	
Nasendachform	X	
Treppentragwerk aus Stein	X	
1.3 Baualtersklasse IV		
Vorspringen der Straßenfassade im Mittelteil	X	
Langgestreckter Hinterflügel		X
Kein Lichtschacht im Treppenhausbereich		X
Verkleidung des Kellerabgangs	X	

Tabelle 7: Typologische Einordnung des Untersuchungsgegenstandes

Von den zusätzlich relevanten typologischen Ausprägungen der Gebäudeklasse IV weicht es in zwei Punkten ab. Zum einen besitzt das Gebäude einen Lichtschacht am Treppenhaus, was nach 1900 nur noch selten realisiert worden ist, und zum anderen ist der Hinterflügel kürzer ausgebildet worden, als es zur Bauzeit bei Etagenhäusern in Hamburg üblich war. Diese letzte Abweichung stellt eine Altonaer Sonderform der späten Etagenhausbauweise dar, bei der ein kurzer, aber breiter Hinterflügel, ähnlich dem frühen Hamburger Typus, konzipiert wurde [vgl. 161, S. 36]. Da die Kleine Freiheit 1907 zu Altona gehörte, ist diese Abweichung vom Hamburger Standard nicht verwunderlich. Anscheinend war der Einfluss der nahen Nachbarstadt³⁶ aber so groß, dass weitere Altonaer Besonderheiten, wie etwa hakenförmige Seitenhöfe oder eine ebene Fassade ohne Vorsprünge, nicht umgesetzt wurden. Bis auf die zwei bezeichneten Abweichungen spiegeln alle typologischen Merkmale die allgemeinen Tendenzen in der Gebäudeklasse IV wieder. Mit dem Vorhandensein eines Lichthofes weist das Gebäude zudem ein Merkmal auf, welches in den bis 1901 errichteten Etagenhäusern häufig zu finden ist, so dass man davon ausgehen kann, dass das Gebäude die gründerzeitliche Etagenhausbauweise weitestgehend repräsentiert und in Bezug auf die typologischen Merkmale keinen Sondertypus darstellt.

³⁶ Die Stadtgrenze verlief 1907 einen Gebäudeblock weiter östlich von der „Kleinen Freiheit“.

Kapitel 4

Untersuchungsgang

Im Folgenden werden das Konzept und die Methodik der Untersuchungen zur energetischen Optimierung des Gebäudes „Kleine Freiheit 46-52“ dargestellt.

Ziel der Untersuchungen ist es, unterschiedliche energetische Verbesserungsmaßnahmen an der Gebäudehülle mit Hilfe bestimmter Kriterien zu bewerten und die günstigsten Lösungen zu Gesamtsanierungsvarianten zu kombinieren. Der Untersuchungsgang muss es dabei ermöglichen, unterschiedliche Maßnahmen wie den Heizungsaustausch und den Einbau zusätzlicher Anlagentechnik auf der einen sowie die Anwendung verschiedener Dämmkonzepte oder Veränderung der Hüllflächenanteile auf der anderen Seite zu bewerten und in ihrem Effekt miteinander zu vergleichen.

Dabei sollten die Bewertungskriterien für die energetischen Sanierungsmaßnahmen im Sinne der Anwendbarkeit der Ergebnisse auch diejenigen Motivationen berücksichtigen, die in der Praxis zu Investitionsentscheidungen führen. In diesem Zusammenhang können im Einzelfall ganz unterschiedliche Faktoren von Bedeutung sein. Neben der Komfortverbesserung, Marketing- und Imagevorteilen oder ästhetischen Aspekten spielen betriebswirtschaftliche Überlegungen, gerade vor dem Hintergrund steigender Energiepreise, eine immer wichtigere Rolle. Da aus subjektiven Kriterien wie Komfort, Image oder Ästhetik nur schwierig allgemeingültige Bewertungsmaßstäbe abzuleiten sind, ist hier zunächst die Wirtschaftlichkeit als Bewertungskriterium gewählt worden. Desweiteren ist, wie in Kapitel 1 dargelegt, das Ziel der Energieeinsparung aus umwelttechnischer Sicht von besonderer Bedeutung, so dass dem Untersuchungsgang als weiteres Bewertungskriterium die Betrachtung der ökologischen Effekte einer energetischen Sanierungsmaßnahme zu Grunde liegt.

Da jede Sanierung, die den Energieverbrauch eines Gebäudes senkt, zu einer bestimmten jährlichen Energiekosteneinsparung und zu einer Verringerung des Schadstoffausstoßes führt, müssen zunächst die energetischen Bilanzen für die zu untersuchenden Sanierungsmaßnahmen ermittelt werden, um anschließend die daraus abzu-

leitenden ökonomischen und ökologischen Effekte bewerten zu können.

Aufgrund der Vielzahl der zu vergleichenden Maßnahmen muss dabei auf Berechnungsverfahren zurückgegriffen werden, da ein experimentelles Vorgehen mit Umsetzung der Maßnahmen und Messung der Ergebnisse im Gebäude aus Kosten- und Zeitgründen nicht realisierbar wäre und außerdem in der Praxis vergleichbare Randbedingungen über einen längeren Zeitraum kaum herstellbar sind. Dennoch können anhand des konkreten Untersuchungsobjektes wichtige Rahmendaten, wie Baustoffkennwerte ermittelt und den Berechnungen zu Grunde gelegt werden. Insofern dient das Gebäude „Kleine Freiheit 46-52“ in dieser Arbeit nicht als Objekt für praktische Versuche, sondern liefert sowohl mit seiner Geometrie als auch mit seinen Bauteilaufbauten und Stoffkennwerten die notwendigen Daten für die Berechnungen.

4.1 Verfahrensschritte

Auf dieser Grundlage teilt sich der Untersuchungsgang in drei Hauptabschnitte auf:

- Vorbereitungsphase: Auswahl des Untersuchungsgegenstandes und Festlegung der Rechen- und Bewertungsverfahren.
- Berechnungsphase: Berechnung des Ist-Zustandes, Ermittlung der energetischen Bilanz für verschiedene anlagen- und bautechnische Maßnahmen sowie Bewertung der jeweiligen ökonomischen und ökologischen Bilanz.
- Analysephase: Kombination der Einzelmaßnahmen zu Maßnahmenpaketen, um das Gesamtpotential einer energetischen Sanierung bestimmen zu können.

Abbildung 33 zeigt detailliert das verwendete Untersuchungsverfahren mit den einzelnen Untersuchungsschritten.

Nach Auswahl des Untersuchungsgegenstandes, Festlegung der Berechnungs- und Bewertungsmethodik und Berechnung des energetischen Ist-Zustandes des Gebäudes wird in einem weiteren Schritt zunächst für eine größere Anzahl von anlagentechnischen Systemen die jeweilige Energiebilanz bei unterschiedlichem Dämmstandard berechnet, um mit Hilfe der festgelegten ökologischen und ökonomischen Bewertungskriterien die optimalen anlagentechnischen Systeme ermitteln zu können.

Diese werden dann in den nächsten Untersuchungsschritt übernommen, bei dem die Energiebilanzen der einzelnen energetischen Verbesserungsmaßnahmen auf bautechnischer Seite in Kombination mit den ausgewählten anlagentechnischen Systemen berechnet und ebenfalls in ökologischer und ökonomischer Hinsicht bewertet werden.

Der letzte Untersuchungsschritt umfasst dann die Zusammenstellung der optimalen anlagen- und bautechnischen Verbesserungsmaßnahmen zu verschiedenen Kombinationen, um diese als Gesamtsanierungsmaßnahmen berechnen und bewerten zu können. Dies ermöglicht es unter anderem, Aussagen zum energetischen Sanierungspotential des untersuchten Gebäudes zu treffen.

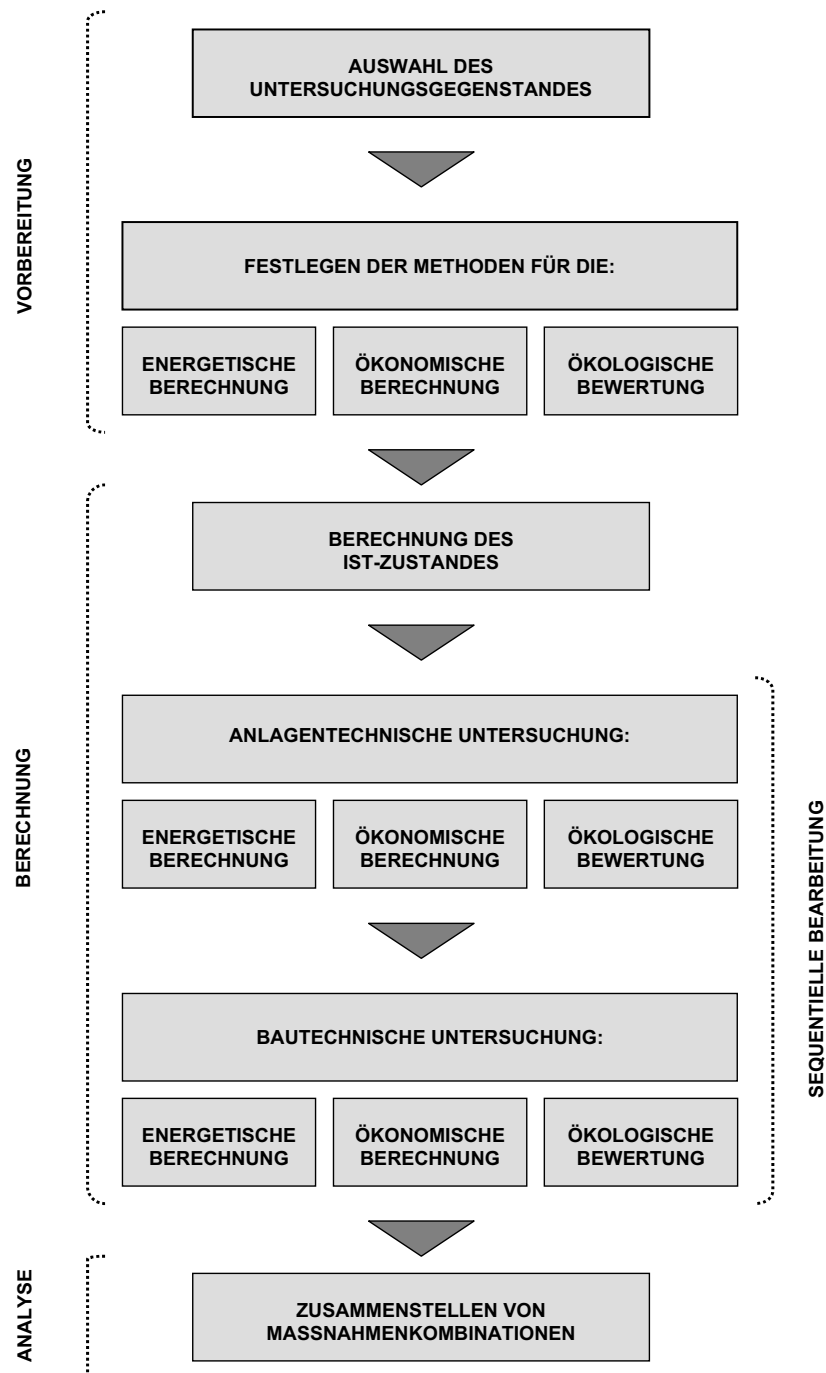


Abbildung 33: Verfahrensschritte

Da jede energetische, betriebswirtschaftliche oder ökologische Berechnung ein verein-

fachtes Abbild der Realität darstellt und im Sinne der Praktikabilität die Zahl der berücksichtigten Parameter begrenzt werden muss, beinhaltet jeder Verfahrensschritt Vereinfachungen, durch die aber die Aussagekraft des Untersuchungsergebnisses insgesamt nicht in Frage gestellt werden darf.

Wie bereits dargelegt³⁷, stellt schon die notwendige Auswahl eines konkreten Gebäudes eine zu beachtende Beschränkung dar, da sich die anhand dieses Untersuchungsobjektes gewonnenen Erkenntnisse nicht ohne Weiteres uneingeschränkt auf alle anderen gründerzeitlichen Etagenhäuser übertragen lassen.

Mit der Festlegung auf die Berechnungs- und Bewertungsverfahren erfolgt eine Vereinfachung, deren Grad über die Komplexität und den Umfang der gewählten Berechnungsprozesse und die gewählten Randbedingungen beeinflusst werden kann. In den folgenden Kapiteln wird auf diesen Aspekt im Rahmen der Beschreibungen der Berechnungsprogrammauswahl näher eingegangen.

Die Trennung von anlagen- und bautechnischen Untersuchungen stellt eine weitere vereinfachende methodische Notwendigkeit dar. Dieses sequentielle Bearbeitungsverfahren ist notwendig, um die Menge der zu untersuchenden Varianten zu begrenzen, aber dennoch zu einer optimalen Gesamtlösung zu kommen. Ohne diese Trennung müssten für jedes anlagentechnischen System alle in Frage kommenden bautechnischen Sanierungsvarianten in allen Kombinationen berechnet werden, um die günstigste Variante zu bestimmen. Schon bei 10 Anlagensystemen und 10 bautechnischen Varianten würden sich so insgesamt 10.230 zu berechnende Kombinationen ergeben. Da aber eine große Anzahl an anlage- und bautechnischen Lösungen untersucht werden soll um ein möglichst umfassendes Ergebnis zu erhalten, würde die Anzahl der zu berechnenden Lösungen noch um ein Vielfaches größer, so dass hier eine Trennung der Berechnungsschritte aus Praktikabilitätsgründen notwendig ist. Die Auswirkungen des sequentiellen Vorgehens auf die Untersuchungsergebnisse wird im folgenden Kapitel noch näher erläutert.

4.2 Energetische Bilanz

Im Folgenden wird auf die zur Berechnung der Energiebilanz relevanten Methoden eingegangen und das verwendete Rechenverfahren sowie dessen Zielsetzung erläutert.

³⁷ Vgl. Kapitel 3.1.

4.2.1 Berechnungsmöglichkeiten

Für die Berechnung des Energiebedarfs von Gebäuden stehen je nach Anforderung unterschiedliche Rechenmethoden zur Verfügung. Deren Aufbau und Grundlagen sind jeweils in unterschiedlichen Normen und Richtlinien abgebildet, wobei für alle Berechnungswege verschiedene Softwarelösungen angeboten werden, deren Rechenkern in der Regel die Normung abbildet. Im Folgenden eine Übersicht über die verschiedenen Verfahren.

Instationäre Gebäudesimulation

Bei der dynamischen Gebäudesimulation können, im Gegensatz zur statischen Berechnung³⁸, zeitliche Verläufe von Parametern wie Temperatur, Wärmeströmen, Heiz- oder Kühllasten in Abhängigkeit von dynamisch-veränderlichen Randbedingungen wie Außenklima oder Nutzerverhalten simuliert werden. Dabei wird das Gebäudemodell in kleine Einzelemente oder Teilmodelle unterteilt und die Wechselwirkung der Elemente untereinander über Rechenalgorithmen erfasst. Instationäre Rahmenbedingungen wie das Wetter müssen dabei in Form von Datensätzen über die zu berechnende Zeitspanne genau definiert werden. Damit lässt sich für die Parameter jedes Elements die zeitabhängige Entwicklung genau ermitteln. So kann z.B. der Tagesverlauf der Raumtemperatur in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung oder die Luftströmung innerhalb des Gebäudes bei bestimmten Windverhältnissen und vorgegebenem Fensteröffnungsverhalten berechnet werden. Je nach Detaillierung des Modells lässt sich damit die Realität sehr genau abbilden. Untersuchungen anhand von Temperaturverläufen in Referenzräumen [114, S. 3-4] haben gezeigt, dass bei einer sehr detaillierten Parametereingabe und genau definierten Randbedingungen eine gute Übereinstimmung von berechneten und gemessenen Werten erreicht werden kann.

Die vorhandenen Softwarelösungen, wie z.B. die Programme TAS [8] oder TRNSYS [9], ermöglichen es, eine Vielzahl von energetischen Situationen im Gebäudebereich genau zu simulieren. Aufgrund der vielfältigen Berechnungsmöglichkeiten und Anforderungen sind sie allerdings komplex in ihrer Bedienung und erfordern einen hohen Eingabeaufwand. Durch die Menge der einzugebenden Parameter und deren im Einzelnen nur noch schwer nachzuvollziehenden Einfluss auf das Gesamtsystem ist zudem die Gefahr von unrealistischen Rechenergebnissen auf Grund fehlerhafter Eingaben hoch. Außerdem verwenden die verschiedenen auf dem Markt befindlichen Programme unterschiedliche Rechenmethoden³⁹, so dass je nach Aufgabenstellung deutliche

³⁸ Überprüfung von Bilanzgleichungen im stationären Zustand eines Systems.

³⁹ Ein bestimmtes Verfahren ist nicht vorgeschrieben. Die Hersteller können sich auf die VDI 6020 [vgl. 42] beziehen, die u.a. Anforderungen an Rechenverfahren zur thermischen Gebäudesimulation vorgibt.

Ergebnisabweichungen zwischen den Programmen auftreten [vgl. 137] und eine lange Erfahrung notwendig ist, um diesen Effekt bei der Ergebnisauswertung richtig einschätzen zu können.

Stationäre Verfahren nach DIN 4108-6

Bei stationären Berechnungsverfahren werden unveränderliche Randbedingungen angenommen und über Bilanzgleichungen die sich dadurch einstellenden Zustände ermittelt. Zeitliche Entwicklungen verschiedener Parameter können damit nicht abgebildet werden.

DIN V 4108-6 [vgl. 36] gibt dazu ein Rechenverfahren für den Gebäudebereich vor, welches ein in der DIN EN 832 [vgl. 21] beschriebenes Verfahren übernimmt und dafür die Randbedingungen für Deutschland festlegt. Dabei können mit Hilfe dieser Parameter⁴⁰ und den Gebäudedaten die Energiebilanzen für jeweils einen bestimmten Zeitraum über Gleichungen ermittelt werden. Im vereinfachten Heizperiodenbilanzverfahren wird die gesamte Heizzeit zusammengefasst, im genaueren Monatsbilanzverfahren werden für jeden Monat spezifische Parameter angenommen und für die Jahresbilanz aufsummiert. Ziel der Berechnungen ist es, eine energetische Gesamtbilanz für den betrachteten Zeitraum zu erhalten.

In Kombination mit DIN 4701-10 [vgl. 38] und DIN 4701-12 [vgl. 40], welche Rechenverfahren und Parameter zur Ermittlung der anlagentechnischen Energiebilanzen beschreiben, lassen sich dann auf Grundlage dieser Berechnungsergebnisse sowohl eine anlagentechnische Bewertung vornehmen als auch der Gebäudeenergiebedarf ermitteln.

Die im November 2001 in Kraft getretene Energieeinsparverordnung⁴¹ (EnEV) schreibt für Deutschland die energetische Berechnung von Neubauten auf Grundlage dieser Rechenverfahren vor und legt hierfür bestimmte Randbedingungen⁴² fest. Außerdem gibt sie zu erreichende energetische Mindeststandards an. In der aktuellen Fassung ist eine umfassende Bilanzierung von Altbauten nicht vorgesehen⁴³, was sich aber im Zuge einer für 2006 geplanten Novelle ändern soll.

⁴⁰ Umgebungsbedingungen wie Klimadatensätze, nutzerabhängige Angaben wie interne Wärmegewinne sowie bauteilbezogene Angaben wie Temperatur-Korrekturfaktoren.

⁴¹ Novelliert im Dezember 2004 [vgl. 77].

⁴² U.a. Bezugsgrößen wie die Nutzfläche, die über den Faktor 0,35 aus dem Gebäudebruttovolumen zu ermitteln ist.

⁴³ Für Altbauten sieht die EnEV das Bauteilverfahren vor, bei dem unter bestimmten Bedingungen Grenzwerte für die energetische Qualität geänderter Bauteile gelten.

Es existiert eine große Anzahl von Softwarelösungen, mit der die Berechnungen und energetischen Nachweise nach EnEV erbracht werden können. Dabei reicht das Spektrum von einfachen Anwendungen, mit denen man schnell und unkompliziert Standardberechnungen durchführen kann, bis zu komplexen Lösungen, die über das EnEV-Verfahren hinaus weitere Berechnungsoptionen bieten.

So umfassen Softwarelösungen für die Energieberatung zusätzlich die Möglichkeit der energetischen Bilanzierung von Altbauten und lassen in der Regel erweiterte Eingabeoptionen zu, mit denen verschiedene Randbedingungen abweichend von dem EnEV-Verfahren individuell verändert werden können.

Die Genauigkeit der Rechenergebnisse hängt dabei von dem gewählten Verfahren und den angesetzten Randbedingungen ab. Die EnEV-Vorgaben sollen mit ihren Standard-Parametern eine Vergleichbarkeit verschiedener Gebäude untereinander ermöglichen, können aber dadurch für den Einzelfall zu deutlichen Abweichungen der Berechnungsergebnisse von der Realität führen. Feldversuche haben gezeigt [93, S. 3-4], dass der auf Grundlage der DIN V 4108-6 und DIN 4701-12 und mit Standard-Parametern berechnete Energiebedarf von Altbauten in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle höher liegt als der tatsächlich gemessene Verbrauch, wobei die Menge der extremen Abweichungen für Mehrfamilienhäuser mit deren Wohneinheitenanzahl abnimmt. Wolff geht in [162] von einem gegenüber dem tatsächlichen Verbrauch im statistischen Mittel um 18 % höheren errechneten Bedarf bei Bestandsgebäuden aus. Durch den Ansatz von spezifischen Randbedingungen und Verzicht auf die Vergleichbarkeit lassen sich die Berechnungen besser an die verschiedenen individuellen Situationen anpassen.

Stationäre Verfahren nach DIN EN 832

Da die DIN V 4108-6 auf der DIN EN 832 aufbaut, entspricht das Berechnungsverfahren nach DIN EN 832 in den Grundzügen dem bereits beschriebenen stationären Verfahren. Dabei sind allerdings nicht die in der DIN V 4108-6 für Deutschland geltenden Randbedingungen und Parameter vorgegeben.

Eine Softwarelösung, die sich auf das durch die DIN EN 832 eingeführte Verfahren bezieht, stellt das Passivhaus Projektierungs Paket 2004 (PHPP) des Passivhaus Institutes in Darmstadt dar [vgl. 6]. Das PHPP wurde entwickelt, da Berechnungen für Gebäude mit sehr niedrigem Energiebedarf nach dem Verfahren der DIN V 4108-6 mit den Standardparametern keine realistischen Werte ergeben [vgl. auch 162]. Gerade bei Passivhäusern ist aber eine genaue Bilanzierung notwendig, um Dämmkonzept und Anlagentechnik so abzustimmen zu können, dass eine überwiegend passive⁴⁴

⁴⁴ Eine Beheizung des Gebäudes durch die solare Einstrahlung und die internen Gewinne.

Beheizung des Gebäudes garantiert ist. Ursächlich für die unrealistischen Rechenergebnisse sind nach Feist insbesondere die in der DIN V 4108-6 vorgegebenen Randbedingungen. So werden u.a. die Vorgaben zu internen Wärmequellen, Soll-Raumtemperaturen und Strahlungskorrekturfaktoren als zu stark von den realen Verhältnissen abweichend kritisiert [vgl. 80]. Aus diesem Grund sind im PHPP für diese Parameter veränderte Werte festgelegt worden. Außerdem wird auf anlagentechnischer Seite ein eigener Ansatz zur Ermittlung der Heizlast verfolgt, um die spezielle Beheizungssituation in Passivhäusern abbilden zu können.

Die Methode nach PHPP ist in Feldversuchen validiert worden, wobei die Ergebnisse zeigen, dass die Berechnungen realistische Werte liefern und eine verlässliche Projektierung von Gebäuden mit niedrigem Energiebedarf ermöglichen [vgl. 142].

Stationäres Verfahren nach DIN V 18599

Ziel der Entwicklung einer weiteren Norm zur energetischen Gebäudebewertung war zunächst die Weiterentwicklung und Zusammenfassung der Normen DIN V 4108-6 und DIN 4701-10. Mit Inkrafttreten der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [136] mussten zudem neue Berechnungsverfahren entwickelt und eingeführt werden, so dass beide Vorhaben in die Ausarbeitung der DIN V 18599 [33] mündeten.

Diese im Jahr 2005 veröffentlichte Norm stellt eine ganzheitliche Methode zur Verfügung, um die Gesamtenergieeffizienz von Bestands- und Neubauten im Wohn- und Nichtwohngebäudebereich zu beurteilen. Soweit möglich greift sie dabei auf bereits vorhandene Normung zurück und ergänzt diese nur dort, wo bisher keine einbindbaren Berechnungsansätze vorhanden waren. Das Berechnungsverfahren ermöglicht es, zusätzlich zum Wärme- und Anlagenstrombedarf auch die Kühlenergie und den Beleuchtungsstrom zu berücksichtigen. Bei dem iterativen Berechnungsverfahren werden die Berechnung des Heizwärme- und Kühlenergiebedarfs sowie der anlagentechnischen Komponenten in mehrere Schleifen durchgeführt, um die gegenseitigen Wechselwirkungen der verschiedenen Parameter zu berücksichtigen. So können beispielsweise die Beeinflussung der nutzbaren Wärmegewinne durch die Anlagenverluste besser einbezogen werden, was insbesondere für Nicht-Wohngebäude mit Anlagentechnik zur sommerlichen Kühlung bedeutend ist. Da das Verfahren insbesondere für diese Gebäudeklasse deutliche Verbesserungen gegenüber den bisherigen genormten Verfahren enthält, soll es im Zuge der Novellierung der EnEV zunächst einmal für die Berechnung von Nicht-Wohngebäuden herangezogen werden [vgl. 111].

Die Berechnungsmethoden nach der DIN V 18599 werden zur Zeit in mehreren Feldversuchen validiert [64, S. 8] und die ersten Ergebnisse zeigen, dass insgesamt eine

relativ gute Übereinstimmung von Mess- und Berechnungswerten erreicht wird.

4.2.2 Auswahl des Berechnungsverfahrens

Für die Berechnungen der Energiebilanzen nach dem in Kapitel 4.1 beschriebenen Verfahren bietet es sich an, diese auf Grundlage der DIN V 4108-6 und DIN 4701-10/12 bei individueller Anpassung einiger Randbedingungen⁴⁵ durchzuführen.

Das stationäre Rechenverfahren erweist sich in diesem Fall der instationären Simulation gegenüber als vorteilhaft. Während für die Simulation die detaillierte Eingabe sehr vieler Daten mit der Konsequenz der erhöhten Fehleingabeanfälligkeit erforderlich ist, benötigt die stationäre Berechnung eine geringere Eingabedatenmenge, da bestimmte Parameter nicht als Abbild einer spezifischen Situation aufgeschlüsselt eingesetzt werden müssen, sondern in Form von Durchschnittswerten zusammengefasst sind. Während die Eingabe spezifischer Randbedingungen, wie etwa lokaler Klimadaten, die Genauigkeit der Berechnung auch im stationären Verfahren erhöhen, so ist die Berechnung mit Durchschnittswerten für bestimmte Parameter⁴⁶ im Hinblick auf eine Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse sinnvoll. Hier werden die umfassenden Möglichkeiten der individuellen Parametereingabe bei den Simulationsprogrammen nicht benötigt. Da die ökonomische und ökologische Bewertung der energetischen Sanierungsmaßnahmen auf Energiebilanzen und nicht auf der Analyse von dynamisch veränderlichen Prozessen aufbaut, kann auch die beim instationären Verfahren mögliche Berechnung der zeitlichen Entwicklung einzelner Parameter nicht ausgenutzt werden.

Das PHPP ist in erster Linie als Berechnungsverfahren für Neubauten mit sehr geringem Energiebedarf entwickelt und für diesen Anwendungsfall validiert worden. Bezüglich der Berechnung von Bestandsbauten gibt es noch keine umfangreichen Erfahrungen oder Felduntersuchungen. Des Weiteren sind bisher noch keine standardisierten Bibliotheken für Bestandsanlagen implementiert worden, wie sie im Rahmen der DIN 4701-12 beschrieben werden⁴⁷, weswegen eine energetische Bilanzberechnung mit Softwarelösungen zur DIN V 4108-6 und DIN 4701-12 hier besser geeignet ist.

⁴⁵ Siehe dazu Kapitel 5.

⁴⁶ So ist der Einfluss des Nutzerverhaltens auf die Energiebilanz gerade bei Gebäuden mit höherem Energieverbrauch groß [vgl. 81], so dass sich für einen bestimmten Gebäudetyp je nach Nutzer deutliche Unterschiede im Verbrauch ergeben. Da die Annahme eines individuellen Verhaltens immer die Gefahr birgt, nur einen Randbereich dieses Spektrums abzubilden, empfiehlt sich die Arbeit mit Mittelwerten.

⁴⁷ Ein Gebäudemodernisierungstool als Ergänzung zum PHPP befindet sich in der Erprobungsphase. Das Programm ENBIL [2] liegt bisher als Beta-Version vor und ermöglicht die Berechnung von Sanierungsvarianten für Altbauten mit dem PHPP.

Für das Verfahren nach DIN V 18599 sind bislang noch keine Softwarelösungen erhältlich, mit denen die Berechnungen vergleichbar umfassend wie mit EnEV- oder Energieberatungsprogrammen durchgeführt werden können. Zudem werden mit den Berechnungsmöglichkeiten für Gebäudeklimatisierung und Beleuchtungsstrom Verfahren beschrieben, die im Rahmen der zu berechnenden energetischen Verbesserungsmaßnahmen im beschriebenen Untersuchungsgang ohnehin nicht betrachtet werden. Da außerdem für die Berechnungen der übrigen Energiebilanzen nach dem Verfahren der DIN V 18599 keine größeren Abweichungen gegenüber den Berechnungen nach DIN V 4108-6 und DIN 4701-10/12 zu erwarten sind [vgl. 130, S. 18-19], bietet die Verwendung der DIN V 18599 für den beschriebenen Untersuchungsgang keinen entscheidenden Vorteil.

Bezüglich der Realitätsnähe der Berechnungen lassen sich mit Simulationslösungen, wie dargelegt, sehr gute Ergebnisse erzielen. Im Rahmen der beschriebenen Untersuchungsmethode ist aber zu erwarten, dass eine mögliche Abweichung bei der stationären Berechnungsmethode aus folgenden Gründen nicht zu entscheidenden Verfälschungen der Ergebnisse führt. Der Feldversuch aus [93] zeigt, dass die Größe der Abweichungen von berechnetem und gemessenem Verbrauch für die Kategorie der Mehrfamilienhäuser mit mehr als 6 Wohneinheiten, zu welcher auch das Untersuchungsobjekt gehört, deutlich sinkt. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass durch die detaillierte Parametereingabe die in Kapitel 4.2.1 beschriebene durchschnittliche Abweichung von Berechnungs- und Messergebnissen weiter verringert werden kann. Noch entscheidender aber ist, dass in der Ergebnisauswertung nur die Differenzen zwischen den unterschiedlichen Energiebilanzen, d.h. nur die tatsächliche Veränderung im Energieverbrauch, betrachtet werden, auf die sich der Effekt einer möglichen Abweichung von den realen Verhältnissen deutlich geringer auswirkt, als das bei Betrachtung von Gesamtbilanzen der Fall ist.

In diesem Zusammenhang ist auch die Betrachtung der sequentiellen Bearbeitungsweise (vgl. Kapitel 4.1) wichtig. Sie stellt, wie beschrieben, eine Vereinfachung des Verfahrens dar, deren Auswirkungen auf das Untersuchungsergebnis aber gering sind. Da zunächst die verschiedenen anlagentechnischen Systeme in Abhängigkeit von unterschiedlichen Dämmstandards untersucht werden, wird die für jeden Dämmstandard optimale Anlagentechnik für die weiteren Berechnungen übernommen. Damit ist sichergestellt, dass diejenigen Anlagensysteme ausgewählt werden, die auch bei einer nicht sequentiellen Untersuchung zu optimalen Lösungen führen würden. Erst die einzelne Betrachtung der unterschiedlichen energetischen Sanierungsmaßnahmen kann im Vergleich mit der nicht-sequentuellen Methode zu einer Abweichung der Berechnungsergebnisse führen, da die Energieeinsparung einer bestimmten Maßnahme unterschiedlich ausfällt, je nachdem ob sie bei einem guten oder schlechten Gesamtdämmstandard durchgeführt wird. Berechnungen (siehe Anhang A 12) haben aber

gezeigt, dass diese Abweichungen vernachlässigbar gering sind.

4.2.3 Berechnungsablauf und verwendete Software

Um für die zu untersuchenden energetischen Verbesserungsmaßnahmen eine ökonomische und ökologische Bewertung vornehmen zu können, müssen zunächst die energetischen Bilanzen der einzelnen Maßnahmen ermittelt werden, die dann als Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsberechnung und die ökologische Betrachtung dienen. Als Parameter sind diejenigen Energiemengen von Bedeutung, die für den Betrieb des Gebäudes außerhalb der Systemgrenze Gebäude anfallen. Der Endenergiebedarf Q_E (in kWh/a) beschreibt dabei die Energiemenge, die dem Gebäude jährlich von außerhalb für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser inklusive Hilfsenergie zugeführt werden muss, wogegen der Primärenergiebedarf Q_P (in kWh/a) zusätzlich noch die Energiemenge beinhaltet, die für die Erzeugung, Bereitstellung und den Transport dieser Endenergie notwendige ist. Auf Grund der diesbezüglich unterschiedlichen Parameter müssen diese Bilanzen für jeden verwendeten Energieträger getrennt berechnet werden.

Zur Ermittlung dieses Energiebedarfs werden zunächst die Umgebungsbedingungen sowie nutzer- und bauteilbezogene Randbedingungen festgelegt. Anschließend erfolgt die Eingabe der Gebäudehüllflächen mit deren Flächen und Bauteilaufbauten. Wenn ein Gebäude verschiedene Nutzungseinheiten⁴⁸ aufweist, kann dies durch eine Zonierung berücksichtigt werden, bei der das Gebäude in Bereiche mit unterschiedlicher anlagentechnischer Versorgung unterteilt wird. Aus diesen Angaben wird im Monatsbilanzverfahren unter Berücksichtigung der Lüftungsverluste und der internen sowie solaren Gewinne der Heizwärmebedarf Q_h (in kWh/a) errechnet. Dieser gibt diejenige Wärmemenge an, die den Räumen des betrachteten Gebäudes jährlich zugeführt werden muss, um die Solltemperatur der beheizten Räume einzuhalten. Die Ergebnisse des Monatsbilanzverfahrens werden dann für die anlagentechnische Berechnung nach DIN 4701-10/12 benötigt. Dabei werden zunächst die anlagentechnischen Parameter nach dem Diagrammverfahren⁴⁹, dem Tabellenverfahren⁵⁰ oder dem detaillierten Verfahren⁵¹ festgelegt [vgl. 38, S. 16]. Unter Berücksichtigung des Warmwasserbedarfes und der anlagenspezifischen Energieverluste wird anschließend Q_E ermittelt und

⁴⁸ Beispielsweise Wohnnutzung und Ladennutzung.

⁴⁹ Vereinfachtes Verfahren der grafischen Ermittlung anhand von Aufwandszahl-Diagrammen. In der DIN 4701-10, Anhang C.5 sind dazu die Diagramme zu 6 gängigen Anlagensystemen hinterlegt.

⁵⁰ Eingabe der anlagentechnischen Parameter mit Hilfe von Tabellenwerten für Standardprodukte aus Anhang C.1 bis C.4 der DIN 4701-10 oder nach DIN 4701-12.

⁵¹ Genauestes Verfahren durch Eingabe von Parametern, die auf Grundlage von anlagenspezifischen Herstellerangaben ermittelt werden.

mit Hilfe von Primärenergiefaktoren für die einzelnen Energieträger daraus Q_P abgeleitet.

Bei der Auswahl der Software für dieses Berechnungsverfahren sind daher im Rahmen des beschriebenen Untersuchungsganges folgende Kriterien von besonderer Relevanz:

- Möglichkeit der individuellen Eingabe von Randbedingungen.
- Möglichkeit, das zu berechnende Gebäude in Zonen mit Versorgung durch unterschiedliche Anlagentechnik zu unterteilen.
- Anwendbarkeit des detaillierten Verfahrens im Rahmen der anlagentechnischen Berechnungen.
- Umsetzung der DIN 4701-12.

Es existieren mehrere Datenbanken und Testberichte, die einen guten Überblick über die vorhandenen Softwarelösungen zu den Bereichen EnEV und Energieberatung bieten [vgl. 59; 100]. Die Auswertung dieser Untersuchungsergebnisse im Hinblick auf die beschriebenen speziellen Anforderungen der Arbeit (siehe Anhang A 5) zeigt, dass das Programm Epass-Helena [3] die notwendige Funktionalität besitzt, so dass es für die Berechnung der Energiebilanzen im Rahmen des Untersuchungsganges geeignet ist.

4.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Mit Hilfe von Wirtschaftlichkeitsberechnungen kann die finanzielle Auswirkung von Investitionen beurteilt werden, wobei in der Regel Kosten und Erlöse einer spezifischen Maßnahme miteinander verglichen werden. Da durch eine energetische Sanierung im allgemeinen keine direkten Erlöse erzielt werden, findet hierbei eine reine Kostenbetrachtung statt. Dies bedeutet, dass energiesparende Maßnahmen grundsätzlich nur im Vergleich mit alternativ entstehenden Energiekosten bewertet werden können [107, S. 428]. Die Herstellungs- und Energiekosten für die einzelnen Sanierungsvarianten werden dabei in der Regel mit den Kosten des Ausgangsfalls verglichen. Im Gegensatz zu der Investition in Produktionsanlagen oder andere gewinnträchtige Anlageformen ist bei dieser Betrachtung die durch das eingesetzte Kapital erzielte Rendite kein Entscheidungskriterium. Bei Aufnahme eines Kredites werden Energiekosten, die ohne Sanierung anfallen würden lediglich durch Kapitalkosten substituiert. Wirtschaftlich ist demnach eine Maßnahme, wenn sie im Vergleich mit dem Ausgangsfall geringere

Gesamtkosten verursacht⁵².

Wirtschaftlichkeitsberechnungen stellen ebenso wie energetische Berechnungen immer ein vereinfachtes Abbild der Realität dar. Auch hier kann über die Anzahl der berücksichtigten Parameter und die Wahl des Berechnungsverfahrens die Aussagekraft des Ergebnisses beeinflusst werden. Da der betrachtete Zeitraum aber in der Regel mehrere Jahre umfasst und die Entwicklung der einzelnen Parameter in dieser Zeit nur abgeschätzt werden kann, handelt es sich bei den Ergebnissen immer um Prognosen, die sich an den mittleren Parameterentwicklungen der Vergangenheit orientieren und deren Genauigkeit von der tatsächlichen zukünftigen Veränderung dieser Einflussgrößen abhängig ist.

Im folgenden wird zunächst ein Überblick über die verschiedenen gebräuchlichen Formen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen gegeben, um anschließend näher auf die gewählte Methode und die berücksichtigten Parameter einzugehen.

4.3.1 Formen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Grundsätzlich kann zwischen zwei unterschiedlichen Verfahren der Investitionsrechnung unterschieden werden, auf denen wiederum verschiedene Berechnungsmethoden basieren [vgl. auch 119, S. 31-115].

Statische Verfahren

Bei den statischen Verfahren werden Kosten und Erlöse einer Investition für einen kurzen Zeitraum, z.B. das erste Betriebsjahr, ermittelt und über die Nutzungsdauer als konstant angenommen. Auf dieser Grundlage können verschiedene Verfahren durchgeführt werden:

- **Gewinnvergleichsrechnung**

Die Kosten werden den Erlösen gegenübergestellt, wobei die Erlöse abzüglich der Kosten den Gewinn ergeben. Diejenige Investitionsvariante mit dem höchsten Gewinn wird gewählt.

- **Kostenvergleichsrechnung**

Die Erlöse jeder Variante werden als gleich hoch angenommen, und diejenige Variante mit den niedrigsten Gesamtkosten wird gewählt.

⁵² Nur wenn freies Kapital eingesetzt werden würde, müsste die Rendite im Zusammenhang mit anderen Anlageformen betrachtet werden. Da aber bei Baumaßnahmen in der Regel Hypothekenkredite zur Verfügung stehen, empfiehlt sich eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf dieser Basis [vgl. 82, S. 1/3].

- Rentabilitätsrechnung

Die Rentabilität beschreibt den Quotienten aus Gewinn und Kapitaleinsatz. Eine Verringerung des Kapitaleinsatzes oder eine Steigerung des Gewinns vergrößern die Rentabilität. Diejenige Variante mit der größten Rentabilität wird gewählt.

- Statische Amortisationsrechnung

Hierbei wird der Zeitpunkt ermittelt, an dem das eingesetzte Kapital durch die Erlöse wieder zurückgeflossen ist. Da bei statischen Verfahren die jährlichen Erlöse als gleich bleibend angenommen werden, kann die Amortisationszeit durch den Quotienten aus Investition und jährlichen Erlösen bestimmt werden. Es wird diejenige Variante mit der kürzesten Amortisationszeit gewählt.

Die statischen Verfahren stellen eine einfache Methode dar, um mit geringem Aufwand Investitionsentscheidungen treffen zu können. Für kurze Betrachtungszeiträume liefern sie dabei akzeptable Ergebnisse. Bei längeren Nutzungsdauern der Investitionsobjekte stellt sich allerdings das Problem, dass dann dynamische Faktoren wie Preissteigerungen oder Tilgungen große Auswirkungen auf das Berechnungsergebnis haben, mit der statischen Methode aber nicht berücksichtigt werden können.

Dynamische Verfahren

Die Einbeziehung des zeitlichen Kostenverlaufes ist der hauptsächliche Unterschied zwischen statischen und dynamischen Verfahren. Bei den dynamischen Verfahren können Kostenentwicklungen berücksichtigt und zeitlichen Unterschieden im Anfall von Kosten und Erlösen Rechnung getragen werden.

Es kommen je nach Zielsetzung verschiedene Berechnungsmethoden in Frage:

- Kapitalwertmethode

Bei der Kapitalwertmethode werden von den aufsummierten Barwerten⁵³ der während des Nutzungszeitraumes anfallenden Jahresgewinne⁵⁴ die Investitionskosten⁵⁵ abgezogen, um den Kapitalwert C_0 einer Investition zu erhalten. Dieser gibt an, ob eine Investition mit ihren Kosten und Erlösen weniger, gleich viel oder mehr Gewinn erwarten lässt, als sich bei einer Verzinsung des eingesetzten Kapitals mit dem zur Barwertermittlung verwendeten Kalkulationszinssatz ergeben würde. Eine Investiti-

⁵³ Der Barwert wird durch Abzinsung ermittelt und stellt den Gegenwartswert einer zukünftigen Zahlung dar.

⁵⁴ Erlöse abzüglich der Kosten.

⁵⁵ Kosten, die zum Kauf des Investitionsobjektes anfallen.

on lohnt sich also, wenn C_0 nicht negativ ist. Positive Werte geben den Überschuss an, der bei der Investition im Vergleich zur Verzinsung des Kapitals erzielt wird.

Wenn bei einer Investition nur Kosten und keine Erlöse anfallen, wie es bei energetischen Sanierungsmaßnahmen der Fall ist, dann gibt C_0 denjenigen Betrag an, der zu Beginn einer Investition zu dem angesetzten Kalkulationszinssatz anzulegen wäre, um alle Kosten bis zum Ende des Nutzungszeitraumes zu decken. Diese Berechnung ist als Vergleichsberechnung für mehrere Investitionsvarianten sinnvoll, bei der diejenige Variante gewählt wird, deren Kapitalwert am geringsten ausfällt.

- Annuitätenmethode

Bei der Annuitätenmethode werden alle während des Nutzungszeitraumes anfallenden Einmalzahlungen in gleich hohe jährliche Raten umgerechnet. Sie baut auf der Kapitalwertmethode auf, so dass in der Regel zunächst der Kapitalwert ermittelt und dieser anschließend über einen Kapitalwiedergewinnungsfaktor gleichmäßig auf die Nutzungsjahre verteilt wird. So lässt sich der jährliche Überschuss ermitteln, der durch eine Investition erzielt wird. Adäquat zur Kapitalwertmethode gilt dann, dass bei negativen Annuitäten eine Investition nicht lohnend ist.

Für Investitionen, bei denen keine Erlöse erzielt werden, lassen sich mit der Annuitätenmethode die jährlich anfallenden Kosten, also bei einer Finanzierung durch eine Kreditaufnahme die jährlichen Raten für Zins und Tilgung ermitteln.

- Berechnung des internen Zinssatzes

Die Berechnung des internen Zinssatzes baut ebenfalls auf der Kapitalwertmethode auf. In der Regel wird sie als Vergleichsrechnung zwischen einem Ausgangsfall und verschiedenen Investitionsvarianten verwendet. Dabei wird mit einem festgelegten Kalkulationszinssatz der Kapitalwert des Ausgangsfalltes ermittelt und für die einzelnen Varianten berechnet, welcher Zinssatz dort zu Grunde gelegt werden muss, um den gleichen Kapitalwert zu erreichen. Eine Variante ist dann als wirtschaftlich einzustufen, wenn der ermittelte Zinssatz nicht geringer als der Kalkulationszinssatz des Ausgangsfalltes liegt.

Für Fälle, in denen nur Kosten entstehen, bedeutet ein im Verhältnis zum Kalkulationszins höherer Variantenzins, dass die Maßnahme unwirtschaftlicher als der Ausgangsfall ist, da das gleiche Kapital höher verzinst werden muss, um die Kosten im Nutzungszeitraum zu decken.

- Berechnung des äquivalenten Energiepreises

Hierbei handelt es sich um eine spezielle Form der Wirtschaftlichkeitsberechnung, die auf der Annuitätenmethode beruht und speziell für Energiesparszenarien angewandt wird. Sie bezieht sich in der Regel auf den Vergleich von unsaniertem Ausgangsfall und energetisch sanierter Variante. Dabei werden für die Sanierungsvariante zunächst die annuitätischen Kosten ermittelt, die aufgrund der Investition

und möglicher Zusatzkosten während des Nutzungszeitraumes für die energiesparende Maßnahme entstehen. Diese jährlichen Maßnahmekosten werden durch die gegenüber dem Ausgangsfall jährlich eingesparte Energiemenge dividiert, um so die Kosten je eingesparter Energieeinheit zu erhalten. Vergleicht man diese mit den durchschnittlichen Bezugskosten⁵⁶ für eine Energieeinheit, so ist die Sanierungsmaßnahme dann wirtschaftlich, wenn die Kosten für die eingesparte Energieeinheit nicht größer als die Bezugskosten sind.

4.3.2 Beschreibung des verwendeten Berechnungsverfahrens

Da es sich bei energetischen Sanierungen in der Regel um Maßnahmen mit einem längeren Nutzungszeitraum handelt und die statischen Verfahren bei diesen Betrachtungszeiträumen mit größeren Ungenauigkeiten behaftet sind, werden für diesen Fall üblicher Weise dynamische Verfahren verwendet. Dabei stellen sowohl der Kapitalwert als auch der interne Zinssatz bei reinen Kostenbetrachtungen eher abstrakte Größen dar.

Die Annuitätenmethode liefert mit den durchschnittlichen jährlichen Kosten ein anschauliches Ergebnis, auf dessen Basis sich auch der äquivalente Energiepreis ermitteln lässt. Aus diesem Grund bietet es sich an, Wirtschaftlichkeitsberechnungen auf Grundlage der Annuitätenmethode durchzuführen. Im Rahmen des Leitfadens für energiebewusste Gebäudeplanung des hessischen Umweltministeriums wird hierzu ein Verfahren beschrieben, welches seit mehreren Jahren erfolgreich angewendet wird und auf dessen Vorgehensweise die hier verwendete und im Folgenden beschriebene Berechnungsmethodik aufbaut [101, S. 127-145; vgl. auch 107, S. 435-450].

4.3.3 Berechnungsmethodik

Es werden zunächst für das unsanierte Gebäude und anschließend für die einzelnen Sanierungsvarianten die annuitätischen Kosten, also die jährlich anfallenden Durchschnittskosten ermittelt. Da durch eine energetische Sanierung keine Gewinne erzielt, sondern Energieaufwendungen verringert werden, gehen nur Kosten in die Berechnung ein. Für den unsanierten Ausgangsfall sind dies die jährlichen Zahlungen für Energie und eventuelle Wartungsarbeiten, während bei den Sanierungsvarianten zusätzlich die jährlichen Kapitalkosten, die auf Grund der Sanierung anfallen, berücksichtigt werden. Kapitalkosten entstehen dabei durch Aufwendungen für Kreditzins und -Tilgung, die auf Grund von Aufwendungen für Anschaffung und Installation der betrachteten energiesparenden Maßnahme entstehen. Bei diesen Investitionskosten werden die Sowiesokosten nicht berücksichtigt. Es wird also nur derjenige Kostenanteil

⁵⁶ Unterschiedliche Energiekosten während der Nutzungsdauer werden gemittelt.

betrachtet, der für die energetische Verbesserung zusätzlich zu einer eventuell ohnehin fälligen Sanierung aufgebracht werden muss.

Monetär schwer bewertbare Effekte einer Sanierung, wie Komfortverbesserungen oder Wertsteigerung, werden nicht mit betrachtet. Sie können ebenfalls eine entscheidende Motivation für eine Investitionsentscheidung sein, müssen aber im Einzelfall individuell bewertet werden.

Ebenfalls unberücksichtigt bleiben Fördermittel für energetische Sanierungen. Zum einen handelt es sich hierbei um einen Faktor, der in Abhängigkeit von den jeweiligen Zielsetzungen und der Haushaltsslage des Fördermittelgebers kurzfristig variieren kann und keine langfristige Vergleichbarkeit einzelner Maßnahmen ermöglicht. Zum anderen ändern sich die Maßnahmekosten gesamtwirtschaftlich betrachtet durch eine Förderung nicht, da die Aufwendungen nur vom Fördermittelempfänger zum Fördermittelgeber umverteilt werden.

Die Annuitäten werden jeweils über die Nutzungsdauer aufsummiert, um die Gesamtkosten zu erhalten, welche Ausgangsfall und Sanierungsvarianten im betrachteten Zeitraum verursachen. Die Angabe der Gesamtkosten verdeutlicht noch anschaulicher als die Angabe der Jahreswerte die Bedeutung der Energiekosten eines Gebäudes im Verhältnis zu seinem Anschaffungspreis. Außerdem sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten, die auf Grundlage der Jahreswerte im Einzelfall gering sein können, besser ablesbar.

Gesamtkosten

Die Gesamtkosten über den Betrachtungszeitraum werden wie folgt bestimmt:

$$K_{g,n} = K_a \cdot n \quad (4.1)$$

mit:

$K_{g,n}$ Gesamtkosten zum Betrachtungszeitraum n , in [€]

K_a Jahreskosten, in [€/a]

n Betrachtungszeitraum, in [a]

Die Ermittlung der Jahreskosten erfolgt nach der Gleichung:

$$K_a = K_i + K_{e,m} + K_{u,m} \quad (4.2)$$

mit:

- K_a Jahreskosten, in [€/a]
 K_i jährliche Kapitalkosten (annuitätisch), in [€/a]
 $K_{e,m}$ durchschnittliche jährliche Energiekosten, in [€/a]
 $K_{u,m}$ durchschnittliche jährliche Wartungs- und Unterhaltskosten, in [€/a]

Die Kapital-, Energie- und Wartungskosten werden also auf gleich hohe Raten über den Betrachtungszeitraum verteilt. Dabei gilt:

Jährliche Kapitalkosten K_i

Die jährlichen Kapitalosten berechnen sich nach:

$$K_i = I_0 \cdot a_{p,n} \cdot f_{p,s,m,n} \quad (4.3)$$

mit:

- I_0 Investition zum Anfangszeitpunkt $t = 0$, in [€]
 $a_{p,n}$ Annuitätsfaktor zum Kalkulationszins p und zum Betrachtungszeitraum n , in [1/a]
 $f_{p,s,m,n}$ Faktor für Ersatzbeschaffung, in [-]

Als Investitionskosten gelten die Kosten für Anschaffung und Installation der energiesparenden Maßnahme ohne Sowiesokosten. Fördermittel werden nicht berücksichtigt. Für den unsanierten Ausgangsfall ist $I_0 = 0$.

Anhand des Annuitätsfaktors können für eine Investitionszahlung I_0 die jährlichen Aufwendungen für Kapitalzins und Tilgung bestimmt werden. Es gilt:

$$a_{p,n} = \frac{p}{1 - (1+p)^{-n}} \quad (4.4)$$

mit:

- p Kalkulationszins für Fremdkapital, in [1/a]
 n Betrachtungszeitraum, in [a]

Der Faktor für Ersatzbeschaffung berücksichtigt für Sanierungsmaßnahmen, deren Nutzungsdauer kürzer als der Betrachtungszeitraum ist, die Kosten einer Reinvestition. Dabei muss die Nutzungsdauer mindestens halb so lang wie der Betrachtungszeitraum sein. Entsprechen sich Nutzungsdauer und Betrachtungszeitraum, so ist $f_{p,s,m,n} = 1$. Es gilt:

$$f_{p,s,m,n} = 1 + \left(\frac{1+s_a}{1+p} \right)^m \cdot \frac{1-(1+p)^{-(n-m)}}{1-(1+p)^{-m}} \quad (4.5)$$

mit:

s_a jährliche Preissteigerung für die betrachtete Anlage, in [1/a]

p Kalkulationszins, in [1/a]

n Betrachtungszeitraum, in [a]

m Nutzungsdauer der Komponente ($m < n \leq 2 \cdot m$), in [a]

Durchschnittliche jährliche Energiekosten $K_{e,m}$

Mit Hilfe des als Ergebnis der Energiebilanzrechnung ausgewiesenen Endenergiebedarfs (vgl. Kapitel 4.2.3), der gegenwärtigen Energiepreisen für die einzelnen Energieträger und eines Faktors für die mittlere Verteuerung der Energie über den Betrachtungszeitraum lassen sich die durchschnittlichen jährlichen Energiekosten berechnen. Dabei gilt:

$$K_{e,m} = Q_E \cdot k_{e,0} \cdot m_e \quad (4.6)$$

mit:

Q_E Jahres- Endenergiebedarf für den Energieträger, in [kWh/a]

$k_{e,0}$ gegenwärtiger spezifischer Energiepreis für den Energieträger, in [€/a]

m_e Mittelwert der Verteuerung der Energie, in [-]

Die Angabe des Endenergiebedarfs und die Berechnung der jährlichen Energiekosten muss für jeden Energieträger getrennt erfolgen. Die einzelnen Ergebnisse werden dann aufsummiert.

Als gegenwärtiger Energiepreis ist ein mittlerer Preis anzunehmen, der sich aus den durchschnittlichen Arbeits- und Grundpreisen inklusive Mehrwertsteuer für den jeweiligen Energieträger zusammensetzt.

Über den Mittelwert der Verteuerung der Energie kann die Energiekostensteigerung berücksichtigt werden. Sie ist abhängig von der jährlichen Teuerungsrate, der Höhe des Kalkulationszinssatzes und der Länge des Betrachtungszeitraumes. Es gilt:

$$m_e = \frac{1+s_e}{p-s_e} \cdot p \cdot \frac{(1+p)^n - (1+s_e)^n}{(1+p)^n - 1} \quad (4.7)$$

mit:

- s_e jährliche Teuerungsrate der Energie, in [1/a]
 p Kalkulationszins, in [1/a]
 n Betrachtungszeitraum, in [a]

Durchschnittliche jährliche Wartungs- und Unterhaltskosten $K_{u,m}$

Die durchschnittlichen Wartungs- und Unterhaltskosten werden aus den gegenwärtigen jährlichen Wartungspreisen für die jeweilige energiesparende Maßnahme und einem Faktor für die mittlere Verteuerung dieser Kosten über den Betrachtungszeitraum berechnet. Es gilt:

$$K_{u,m} = K_{u,0} \cdot m_u \quad (4.8)$$

mit:

- $K_{u,m}$ jährliche Wartungs- und Unterhaltskosten bei gegenwärtigen Preisen, in [€/a]
 m_u Mittelwertfaktor der Verteuerung der Wartungs- und Unterhaltskosten, in [-]

Die gegenwärtigen Preise können entweder als absolute Werte eingesetzt oder als prozentualer Wert auf die Investition angegeben werden. Für Wärmeerzeuger lassen sich die Wartungskosten alternativ auch von den realen Betriebsdaten⁵⁷ ableiten.

Der Verteuerungsfaktor für die Wartungskosten wird adäquat der Berechnung für die Teuerungsrate der Energie ermittelt, wobei statt der jährlichen Teuerungsrate der Energie die jährliche Teuerungsrate für Wartungs- und Unterhaltskosten in die Berechnung eingeht. Es gilt:

$$m_u = \frac{1 + s_u}{p - s_u} \cdot p \cdot \frac{(1 + p)^n - (1 + s_u)^n}{(1 + p)^n - 1} \quad (4.9)$$

mit:

- s_u jährliche Teuerungsrate für Wartungs- und Unterhaltskosten, in [1/a]
 p Kalkulationszins, in [1/a]
 n Betrachtungszeitraum, in [a]

⁵⁷ Z.B. erzeugte Kilowattstunde oder Vollbenutzungsstunden pro Jahr.

4.4 Ökologische Bilanz

Neben der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung stellen, wie in Kapitel 4 dargelegt, die maßnahmenbedingten Umweltauswirkungen im Rahmen des Untersuchungsganges das zweite Kriterium zur Beurteilung der verschiedenen energetischen Sanierungsoptionen dar.

Hierzu kann auf das mittlerweile international genormte Verfahren der Ökobilanzierung zurückgegriffen werden, welches es ermöglicht, Umweltbeeinflussungen verschiedener Produkt- oder Verfahrensalternativen miteinander zu vergleichen. Neben dieser Methodik existieren weitere Verfahren, bei denen ebenfalls ökologische Aspekte behandelt werden, die sich aber in ihrer Fragestellung und Zielsetzung von der Ökobilanzierung unterscheiden [vgl. auch 147, S. 5-6].

So wird bei der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP), welche in der Regel als unselbstständiger Teil eines bestehenden verwaltungsbehördlichen Verfahrens durchgeführt wird, eine standortbezogene Maßnahmenbetrachtung hinsichtlich der Auswirkungen auf das Ökosystem vorgenommen. Dabei wird die Abschätzung der Effekte, die ein bestimmtes Vorhaben auf wichtige Schutzgüter der Umwelt (Menschen, Tiere und Pflanzen, Boden, Wasser, Luft) hat, als Risikoanalyse und Entscheidungshilfe im Planungsprozess eingesetzt.

Bei der Technikfolgeabschätzung (TA) werden Stand und Entwicklungsmöglichkeiten einer bestimmten Technik⁵⁸ analysiert, um die Folgen für die verschiedensten Bereiche der natürlichen und sozialen Umwelt abschätzen zu können. So sollen beispielsweise Risiken in technischer, wirtschaftlicher und gesundheitlicher Hinsicht frühzeitig erkannt und vermieden werden.

Das Stoffstrommanagement (SM) befasst sich mit der ökologischen und ökonomischen Analyse der Materialflüsse von Prozessen und zielt dabei in erster Linie auf die Verbesserung der Material- und Ressourceneffizienz ab.

Im Vergleich der verschiedenen Methoden zeigt sich, dass sich die Ökobilanzierung zur Untersuchung der maßnahmenbedingten Umweltauswirkungen im Rahmen des Untersuchungsganges im Besonderen empfiehlt, da hier der Fokus auf den Bereich Energiebereitstellung und -Nutzung gelegt werden kann. So lassen sich die als umwelttechnisches Ziel einer energetischen Sanierung im Vordergrund stehende Verringerung des globalen Energiebedarfs und die damit verbundene Emissionsreduzierung

⁵⁸ Z.B. Wasserstofftechnologie, Nukleartechnik.

umfassend quantifizieren.

Ebenso wie die energetischen und wirtschaftlichen Berechnungen stellen Ökobilanzierungen ein vereinfachtes Abbild realer Gegebenheiten dar. Auf Grund der großen Anzahl umweltrelevanter Parameter und deren bisher nicht vollständig erfassbaren Wechselwirkungen sind Ökobilanzen daher als Näherungsmodelle zu verstehen, die Prognosen über die Umweltwirkungen von Maßnahmen ermöglichen und deren Aussagekraft sehr von der Qualität der verwendeten Eingabedaten abhängt.

Im Folgenden werden zunächst das Verfahren der Ökobilanzierung sowie die verschiedenen Ansätze der anschließenden Ergebnisbewertung beschrieben und dann die verwendete Methode erläutert.

4.4.1 Methodik der Ökobilanzierung

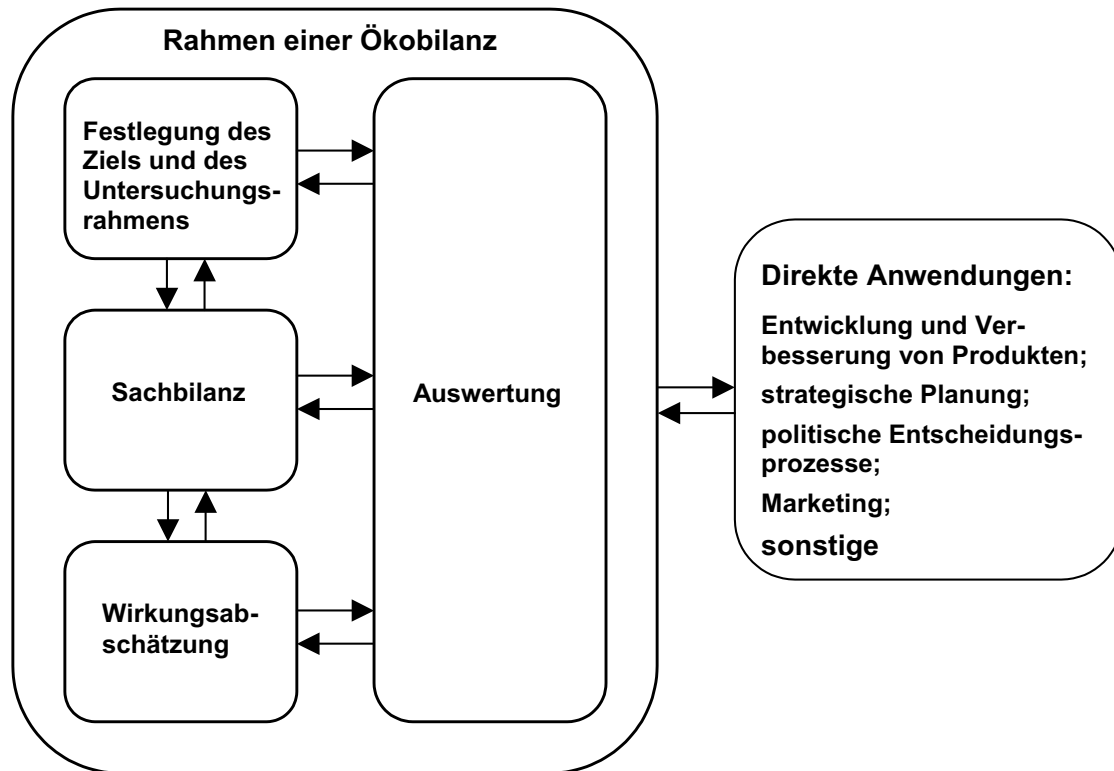
Nachdem in Zusammenhang mit den Energiekrisen 1973 und 1979 die ersten methodischen Ansätze zu ökologischen Bilanzierungen erarbeitet worden waren, führten die Bemühungen um eine Vereinheitlichung⁵⁹ der teilweise sehr unterschiedlichen Ansätze zur Ausarbeitung der DIN EN ISO 14040 ff., welche 1997 veröffentlicht wurde und allgemeine Anforderungen hinsichtlich der Erstellung von Ökobilanzen enthält [29].

Ziel von Ökobilanzen ist es, durch eine umfassende Analyse des Ressourcen- und Energieverbrauches auf der einen sowie der Emissionen und des Abfallaufkommens auf der anderen Seite, die Wirkung des Untersuchungsgegenstandes auf die Umwelt darzustellen.

Bei Produktökobilanzen⁶⁰ wird dabei in der Regel im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse der gesamte Lebensweg von der Rohstoffgewinnung und Verarbeitung über Nutzung und Instandhaltung bis hin zur Entsorgung betrachtet. Ökobilanzen können als Entscheidungshilfen bei der Auswahl oder Optimierung der unterschiedlichsten Produkte oder Prozesse eingesetzt werden und stellen damit ein wichtiges Instrument des Umweltmanagements dar.

⁵⁹ Entwurf der ersten Standardisierungsmodelle durch die „Society of Environmental Toxicology and Chemistry“ (SETAC) im Jahr 1991 und Einsetzung einer Arbeitsgruppe „Environmental Management“ zur Erarbeitung eines einheitlichen Standards für das Umweltmanagement durch die Internationale Organisation für Standardisierung (ISO) im Jahr 1993.

⁶⁰ Unterscheidung zwischen Produktökobilanzen (Betrachtung der Energie- und Stoffströme eines spezifischen Produktes über dessen Lebenszyklus), Prozessökobilanzen (Analyse der Energie- und Stoffströme bei allen Arten von Prozessen wie z.B. Fertigungs- oder Bewirtschaftungsprozessen) und Betriebsökobilanzen (isolierte Betrachtung der Energie- und Stoffbilanzen innerhalb eines Betriebes ohne Berücksichtigung der den betrieblichen Prozessen vor- oder nachgelagerten Energie- und Stoffströme).



Nach [29].

Abbildung 34: Bestandteile einer Ökobilanz

Abbildung 34 zeigt eine schematische Darstellung der Vorgehensweise bei einer Ökobilanzierung nach DIN EN ISO 14040 ff. Dabei setzt sich das Verfahren aus den Schritten „Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens“, „Sachbilanz“, „Wirkungsabschätzung“ und „Auswertung“ zusammen, die nacheinander durchgeführt werden, sich aber jeweils gegenseitig beeinflussen.

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte näher erläutert [vgl. auch 76, S. 8-21; 147, S. 11-14].

Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens

Im ersten Schritt einer Ökobilanzstudie nach DIN EN ISO 14040 ff. müssen Rahmenbedingungen und Untersuchungsziel dargestellt werden. Hierzu gehört auf der einen Seite die Festlegung der Systemgrenzen, was den Untersuchungsumfang, den Betrachtungszeitraum und den geographischen Geltungsbereich angeht, ebenso wie die Beschreibung der verwendeten Datenstruktur und -Qualität⁶¹. Außerdem ist der Untersuchungsrahmen durch Festlegung von funktionellen Einheiten zu präzisieren. Diese

⁶¹ Alter der Daten sowie Angabe zum geographischen Bezug und des verwendeten technologischen Standes (Ansatz von durchschnittlichen oder spezifischen Werten).

stellen ein Maß für den Nutzen des betrachteten Systems dar und beschreiben dessen Ziel und Funktion sowie die verwendeten Einheiten⁶².

Auf der anderen Seite muss im Rahmen der Beschreibung des Untersuchungsziels dargestellt werden, welche Fragestellung der Untersuchung zu Grunde liegt, welches Anwendungsziel angestrebt wird und an wen sich die Studie richtet.

Sachbilanz

Bei der Sachbilanzierung werden die einzelnen Stoff- und Energieströme innerhalb der zuvor festgelegten Systemgrenzen untersucht und quantifiziert. Sie stellt das Kernstück jeder Ökobilanz dar. Dabei werden sowohl die in das System eingehenden Ressourcen auf der einen, als auch die Emission in Luft, Wasser und Boden auf der anderen Seite bilanziert. Dies bedeutet für den jeweiligen Untersuchungsgegenstand, dass auch dessen verschiedene parallel oder hintereinander gelagerten Vorstufen mit deren spezifischen Stoff- und Energieströmen berücksichtigt werden müssen, um eine umfassende Gesamtbilanz zu erhalten. So ist in der Regel eine große Anzahl von unterschiedlichen Prozessen zu betrachten, da jede Vorstufe und jeder Teilprozess wiederum eine oder mehrere eigene Vorstufen besitzen können. Um hier die Menge der zu betrachtenden Daten zu begrenzen, können bestimmte Abschneidekriterien⁶³ formuliert werden, bei denen Daten, die nur einen geringen Effekt auf das Gesamtergebnis haben, sowohl auf der Eingangs- als auch der Ausgabeseite nicht berücksichtigt werden. Die zeitliche Systemgrenze bei der Sachbilanz sollte nach Möglichkeit den gesamten Lebenszyklus des Untersuchungsgegenstandes umfassen, da sonst eventuelle ökologische Belastungen späterer Lebensphasen unberücksichtigt bleiben.

Wirkungsabschätzung

Da das Ergebnis der Sachbilanz die Emissionsmengen für eine sehr große Anzahl unterschiedlicher Stoffe umfasst, bedarf es eines weiteren Schrittes, um den Emissionen eine Umweltwirkung zuzuordnen. Dies erfolgt im Rahmen der Wirkungsabschätzung, bei der zunächst einzelne Sachbilanzgrößen zu Wirkungskategorien, also Gruppen mit der gleichen Umweltwirkung, zusammengefasst und dabei in eine Leitgröße umgerechnet und aggregiert werden. Für jede Kategorie wird hierzu eine Referenzgröße, meist die maßgebende Emission, gewählt worauf alle anderen zugeordneten Emissionen mit einem Charakterisierungsfaktor umgerechnet werden, um ein Äquivalent

⁶² Eine funktionelle Einheit im Baubereich stellt zum Beispiel das System „Bereitstellen eines Bauteils mit einem bestimmten Wärmedämmvermögen“ mit dem Ziel „Optimierung des Bauteils“ und der Einheit „Fläche des Bauteils in m²“ dar.

⁶³ Beispielsweise durch Festlegung eines prozentualen Mindestbeitrages, den ein Prozess im Verhältnis zur Gesamtbilanz einbringen muss, um berücksichtigt zu werden.

zu dem Leitfaktor zu erhalten. Aufaddiert ergeben diese für jede Kategorie den Wirkungsindikator, der Rückschlüsse auf die Umweltwirkung der Maßnahme zulässt. Da die Auswahl der Wirkungskategorien in Abhängigkeit des formulierten Untersuchungszieles erfolgen muss, gibt die Normung auch keine standardmäßig zu verwendenden Kategorien vor. Folgende Wirkungskategorien werden allerdings in der Literatur immer wieder aufgeführt, so dass sich hier eine gewisse Standardbildung erkennen lässt [vgl. 79, S.28; 76, S. 15-21]:

- **GWP (Global Warming Potential) in kg CO₂-Äquivalente**
Bestimmte Spurengase der Erdatmosphäre lassen die Sonnenstrahlen ungehindert passieren, reflektieren aber die auf der Erde bei der Absorption der Strahlung entstehende langwelligere Wärmestrahlung. Dieser natürliche Treibhauseffekt hält die durchschnittliche Temperatur auf der Erde bei ca. + 15 °C. Anthropogene Treibhausgase wie Kohlendioxyd, Methan und FCKWs verstärken diesen Effekt jedoch, so dass es bei großflächigen Emissionen dieser Stoffe zu einer Erwärmung der Troposphäre mit einer Veränderung des Klimas kommen kann.
- **ODP (Ozone Depletion Potential) in kg R11-Äquivalente**
Die Wirkung des Ozons in der Stratosphäre ist für das Leben auf der Erde äußerst wichtig, da es dort ultraviolette Strahlung reflektiert, die für das Ökosystem schädlich sein kann. Bestimmte Gase, wie Halogenkohlenwasserstoffe, wirken Ozonzerstörend, so dass deren Emission zu dem Abbau der Ozonschicht führen kann.
- **AP (Acidification Potential) in kg SO₂-Äquivalente**
Durch Emissionen aus Verbrennungsprozessen in Industrie, Haushalten und Verkehr können die Niederschläge versauern, was durch den Eintrag in Böden und Gewässer Schädigungen in vielen Bereichen des Ökosystems nach sich ziehen kann. Zu einer Verringerung des pH-Wertes tragen dabei vor allem Gase wie Stickoxyde und Schwefelstickoxyde bei.
- **NP (Nutrification Potential) in kg PO₄-Äquivalente**
Eine übermäßige Anreicherung von Nährstoffen (Eutrophierung) bewirkt eine Überdüngung von Böden oder Gewässern. Diese kann beispielsweise dazu führen, dass das Ökosystem von Seen durch ein vermehrtes Algenwachstum nachhaltig geschädigt oder das Grundwasser durch Nitrat auswaschungen belastet wird. Die üblicher Weise knappen Nährstoffe Stickstoff und Phosphor tragen dabei in der Regel entscheidend zur Überdüngung bei.
- **POCP (Photochemical Ozone Creation Potential) in kg C₂H₄-Äquivalente**
Bestimmte Gase wie Kohlenwasserstoffe und Stickoxyde bilden unter Einwirkung von Sonnenlicht Ozon. Während dieses in den oberen Schichten der Atmosphäre

eine Schutzfunktion übernimmt, ist es in der Troposphäre schädlich, da es als Zellgift wirkt.

- TP (Toxicity Potential) in kg C₆H₄Cl₂-Äquivalente

Bestimmte Stoffe weisen eine toxische Wirkung auf und können als Schadstoffe die Atmosphäre, den Boden oder das Wasser mit den entsprechenden umweltschädigenden Auswirkungen belasten. Es wird dabei in der Regel in Ökotoxizität und Humantoxizität unterschieden, wobei bei der Ökotoxizität noch einmal in aquatische und terrestrische Systeme und bei der Humantoxizität in die Bereiche Luft, Wasser und Boden unterteilt wird.

Neben den Emissionen werden im Rahmen der Sachbilanz auch aggregierte Energie- und Materialflussdaten ausgewiesen, die ebenfalls wichtige Indikatoren für die Umweltwirkung einer Maßnahme sein können. So lassen sich beispielsweise der Primärenergiebedarf sowie Haus- und Sondermüllmengen als Leitgrößen ausweisen.

Auswertung

Gegenstand der Auswertung einer Ökobilanz sind zum einen eine übersichtliche Ergebnisdarstellung in Übereinstimmung mit der Zieldefinition und zum anderen die Formulierung von Schlussfolgerungen und Empfehlungen. Dabei müssen zunächst die relevanten Parameter aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung identifiziert und im Rahmen einer Beurteilung der Studie auf Vollständigkeit⁶⁴, Sensitivität⁶⁵ und Konsistenz⁶⁶ dargestellt werden. Anschließend lassen sich Schlussfolgerungen ableiten.

4.4.2 Verfahren zur Bewertung von Ökobilanzen

Sollen verschiedene nach diesem Ökobilanzverfahren untersuchte Varianten miteinander verglichen und im Rahmen einer Empfehlung in eine Rangfolge gebracht werden, so stellt sich das Problem, dass die einzelnen Ergebnisse der Wirkungsabschätzungen quantifiziert und zu einem einzigen Resultat aggregiert werden müssen. Dies kann mit einer rein verbal argumentativen Beurteilung nicht mehr erfüllt werden. In einer Schrift des Umweltbundesamtes wird dazu festgestellt:

„Aber auch nach Durchführung der Wirkungsabschätzung lassen sich in der Regel keine zufrieden stellenden Aussagen für einen Umweltvergleich der untersuchten Systeme ableiten: So weisen zum Beispiel die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung bei einem Vergleich zweier alternativer Produkte in den meisten Fällen ökologische

⁶⁴ Verfügbarkeit aller relevanter Informationen.

⁶⁵ Zuverlässigkeit der Ergebnisse.

⁶⁶ Übereinstimmung der Annahmen und Methoden mit der Zieldefinition.

Vorteile – je nach Wirkungskategorie – sowohl für das eine als auch das andere Produkt auf. Um hier zu Schlussfolgerungen zu gelangen, ist es erforderlich, die ökologischen Vor- und Nachteile, die in Sachbilanz und Wirkungsabschätzung bei den beiden verglichenen Produkten festgestellt wurden, gegeneinander abzuwägen [159, S.1].“

Die Bewertung stellt insofern eine Schwierigkeit dar, dass sie im Gegensatz zu den vorangegangenen Schritten der Ökobilanz nicht alleine auf naturwissenschaftlichen Erkenntnissen beruht, sondern weitgehend von Wertmaßstäben abhängig ist. Es ist notwendig festzulegen, wie stark die einzelnen Ergebnisse der Wirkungsbilanz die Umwelt im Verhältnis zueinander beeinflussen, wofür es bisher noch kein wissenschaftlich abgesichertes Gesamtmodell gibt. Während für den Bereich der Sachbilanz-erstellung und Wirkungsabschätzung mittlerweile eine weitgehende Annäherung in der Fachöffentlichkeit zu erkennen ist, findet hinsichtlich der Bewertungsmethodik zur Zeit noch eine intensive Diskussion der verschiedenen vorgeschlagenen Ansätze statt. Allen diskutierten Methoden ist gemein, dass die Bewertungsergebnisse immer nur im Zusammenhang mit den klar zu definierenden Bewertungskriterien zu sehen sind, da sie in jedem Fall eine subjektive Einschätzung darstellen und nur so interpretierbar sind.

Im Folgenden werden einige der diskutierten Modelle zur Bewertung von Ökobilanzergebnissen beschrieben.

Eco-indicator 95 und 99

Das Verfahren des Eco-indicator 95 entspricht in seinen Grundlagen der CML-Methode, welche in den Niederlanden am Centrum voor Milieukunde entwickelt wurde und bei der man die zu Wirkungskategorien zusammengefassten Ergebnisse der Sachbilanz normiert. Dabei werden die einzelnen Wirkungsindikatoren durch die globalen oder regionalen Belastungen in der jeweiligen Wirkkategorie dividiert, um die Relation der untersuchten Emissionen zu den durchschnittlichen Emissionen des Bezugsraumes zu erhalten. Die Eco-indicator-Methode erzeugt daraus dann einen einzelnen Wert, indem die Ergebnisse der Übersichtlichkeit halber zunächst mit der Einwohnerzahl des Betrachtungsgebietes sowie mit spezifischen Gewichtungsfaktoren multipliziert und anschließend aufaddiert werden.

Bei der Eco-indicator 95-Methode werden die Gewichtungsfaktoren auf Grundlage der „distance-to-target“-Methode in Kombination mit dem „Damage approach“ ermittelt. Dabei werden die Emissionen bestimmten Umweltproblemen zugeordnet, und es wird der Abstand zwischen den derzeitigen Emissionen und den Umweltqualitätszielen der jeweiligen Kategorie ermittelt. Die Bedrohlichkeiten der einzelnen Kategorien werden dabei unterschiedlich gewichtet [vgl. 92].

Das neuere Verfahren nach Eco-indicator 99 verzichtet bei der Ermittlung der Gewichtungsfaktoren auf den „distance-to-target“ Ansatz und ermittelt stattdessen für jede Substanz, welchen Schaden sie potentiell in verschiedenen Umweltkategorien auslösen kann [vgl. 126].

Bewertung mit Ökofaktoren

Bei dieser in der Schweiz entwickelten Methode werden die einzelnen Ergebnisse der Sachbilanz mit Gewichtungsfaktoren multipliziert und die so erhaltenen Ökopunkte zu einem Gesamtwert aufaddiert. Die Gewichtungsfaktoren werden dabei nach dem Prinzip der ökologischen Knappheit festgelegt. Dabei werden für den Bezugsraum die durchschnittlichen Emissionen jeder Belastung in Relation zu den gerade noch tolerablen Grenzwerten gesetzt, um so die ökologische Relevanz der jeweiligen Belastung zu ermitteln [vgl. 74].

OI3-Methode

Das vom Österreichischen Institut für Baubiologie und Ökologie entwickelte Verfahren zieht zur Bewertung die in der Wirkungsanalyse ermittelten Faktoren „Global Warming Potential“, „Acidification Potential“ und „Bedarf an nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen“ heran. Diesen Kennzahlen werden jeweils Ökoindikatoren zugeordnet. Dabei werden umso mehr Punkte vergeben, je größer die jeweilige Kennzahl ist. Die je Kennzahleinheit zu vergebenden Punktzahlen und ihre Ober- und Untergrenzen sind dabei aus realen Gebäudedaten abgeleitet worden. Die Punkte aus den einzelnen Kategorien gehen dann jeweils zu einem Drittel in eine zu ermittelnde Gesamtpunktzahl ein, welche ein Maß für die Umweltbelastung darstellt [vgl. 104].

Den bisher dargestellten Methoden liegt immer eine Bewertung der einzelnen Emissionen oder Wirkpotentiale zu Grunde. Ein anderer Ansatz besteht darin, sich an einer bestimmte Leitgröße zu orientieren.

Material-Intensität pro Serviceeinheit (MIPS)

Bei diesem vom Wuppertal Institut entwickelten Bewertungssystem wird die Ressourcenproduktivität des Untersuchungsobjektes als Leitindikator zur Bewertung der Umweltwirkung verwendet. Dabei werden alle Ressourcenverbräuche, die lebenszyklusweit für das betrachtete Untersuchungsobjekt anfallen, quantifiziert und zu einem Wert aggregiert. Der gesamte Materialverbrauch von der Herstellung bis zum Recycling wird auf den jeweiligen Ressourcenverbrauch zurückgerechnet, wobei für den jeweiligen Energieverbrauch dazu Umrechnungsfaktoren verwendet werden. Das Konzept begründet sich zum einen auf die Notwendigkeit, auf Grund der Knappheit vieler Ressourcen diese im Sinne eines zukunftsorientierten Handelns möglichst effektiv zu nutzen, und zum anderen auf die Überlegungen, dass alle Ressourcenentnahmen im

Laufe der Zeit zu Abfall oder Emissionen und somit zu einer Umweltbelastung werden. Daraus wird abgeleitet, dass der Ressourcenverbrauch auch als Maß für die Umweltbelastung durch das jeweilige Untersuchungsobjekt genutzt werden kann.

Kumulierter Energieaufwand (KEA)

Bei der Methode des Kumulierten Energieaufwandes wird der für das Untersuchungsobjekt anfallende Gesamtenergieaufwand über dessen Lebenszyklus bilanziert und als Leitindikator verwendet. War diese Größe ursprünglich zur Abschätzung des Energieressourcenverbrauchs definiert worden, so gilt sie heute zusätzlich als Gradmesser für die Umweltwirkung, da diese größtenteils eng mit den Faktoren Energiebereitstellung und Nutzung verbunden ist [160, S. 2].

1997 ist in Kooperation des Vereins Deutscher Ingenieure und des Umweltbundesamtes die Richtlinie VDI 4600 herausgegeben worden, welche Regeln und Definitionen zur Bestimmung des Kumulierten Energieaufwandes enthält [41]. Danach werden für ein Untersuchungsobjekt alle Energiemengen, die für Herstellung, Nutzung und Entsorgung über den gesamten Lebenszyklus und bei Betrachtung aller Vorstufen und Prozesse anfallen, aufsummiert. Dabei werden auch die Energieinhalte von bestimmten nichtenergetisch genutzten Stoffen mitbilanziert⁶⁷. Als Ergebnis wird der Gesamt-KEA angegeben, der damit den für das Untersuchungsobjekt anfallenden Primärenergiebedarf beschreibt.

Einen etwas veränderten Ansatz als Weiterentwicklung der VDI-Richtlinie verfolgt ein KEA-Forschungsprojekt, welches das Umweltbundesamt zur Zeit mit dem Öko-Institut als Kooperationspartner durchführt [vgl. 61]. Die dort entwickelte Methodik unterscheidet sich im Wesentlichen in vier Punkten von dem Verfahren nach VDI-RL 4600. Ausgehend von der Überlegung, dass die Angabe eines Gesamt-KEA die verschiedenen Umweltwirkungen unterschiedlicher Energieträger nicht berücksichtigt, wird der Energiebedarf generell disaggregiert angegeben und in die Anteile „erneuerbar“, „nicht erneuerbar“ und „andere“ aufgeteilt⁶⁸. Außerdem werden im Gegensatz zur VDI 4600, welche eine individuelle Festlegung der Ressourcennutzungsgrade ermöglicht, diese aus Vergleichbarkeitsgründen generell für alle Energieträger auf 100 % gesetzt. Des Weiteren wird eine klare Trennung von Energie- und Stoffbilanzen vorgenommen, indem im Gegensatz zur VDI 4600 nur die Energieanteile von tatsächlich energetisch

⁶⁷ So werden beispielsweise Aluminium oder Chlor formal als Brennstoffe bewertet und ihr Energieinhalt bei der Bilanz berücksichtigt. Ebenso gehen die Energieinhalte von Energieträgern wie Bauholz in die Berechnungen mit ein, auch wenn sie nicht für die Energiegewinnung verwendet werden.

⁶⁸ Während „erneuerbar“ Quellen wie Wind- oder Wasserkraft und „nicht-erneuerbar“ Energieträger wie Öl oder Kohle einschließt, ist mit „andere“ die Energie aus energetisch genutzten Reststoffen gemeint.

genutzten Stoffen bilanziert werden. Hinsichtlich der Einbettung der KEA-Berechnungsmethodik in Ökobilanzen nach DIN EN ISO 14040 werden außerdem klare Allokationsregeln⁶⁹ gefordert. So soll die Allokation durch die Wahl geeigneter Systemgrenzen möglichst vermieden und in den anderen Fällen transparent dargestellt oder nach physikalischen, chemischen oder ökonomischen Gesichtspunkten durchgeführt werden [vgl. 87].

4.4.3 Datenbanken und Software zur Ökobilanzerstellung

Auf Grund der großen Menge und der Komplexität der zu verarbeitenden Daten sind verschiedene Softwarelösungen für die Ökobilanzerstellung entwickelt worden. So existieren mittlerweile unterschiedliche Datenbanken mit umweltrelevanten Stoff- und Materialdaten sowie LCA-Berechnungstools zur Unterstützung bei den einzelnen Bilanzierungsschritten.

Datenbanken

Als Grundlage für jede Ökobilanzerstellung ist eine Datenbasis erforderlich, welche die Ökoinventare, also die umweltrelevanten Daten, der verschiedensten Stoffe enthält. Eine besondere Problematik ergibt sich dadurch, dass alle hierzu notwendigen Parameter mit den gleichen Systemgrenzen und Randbedingungen ermittelt werden müssen, um eine konsistente Bilanzierung zu ermöglichen. Zudem spielt der Bezugsraum eine entscheidende Rolle, da die Stoffdaten je nach Region stark differieren können. In den verschiedenen Europäischen Ländern gibt es unterschiedliche Bestrebungen, einheitliche Datenbanken zur Verfügung zu stellen. So wurden beispielsweise in der Schweiz im Rahmen der Initiative ECOINVENT des Schweizer Zentrums für Ökoinventare die Daten aus verschiedenen bestehenden Datenbanken harmonisiert und in einer Gesamtdatenbank zusammengefasst [vgl. 86]. Entsprechende Projekte werden in Deutschland unter anderem vom Öko-Institut in Kooperation mit der Gesamthochschule Kassel bearbeitet. Mit dem „Globalen Emissions-Modell Integrierter Systeme“ (GEMIS) entsteht hier seit 1987 eine Datenbank, die eigene Erhebungen mit den Ökoinventaren anderer Forschungsinstitute verknüpft und harmonisiert [vgl. 127]. Auch auf überstaatlicher Ebene gibt es mittlerweile Bestrebungen, einheitliche Datengrundlagen zu erarbeiten. So hat beispielsweise das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) das Data Distribution Center (DDC) eingerichtet, welches in internationaler Kooperation klimarelevante Daten erhebt und Szenarien bereitstellt [vgl. 57].

⁶⁹ Wenn im Rahmen einer Ökobilanz mehrere Produkte bereitgestellt werden, müssen diesen durch Allokation zur korrekten Beurteilung der jeweiligen Umweltwirkung der berechnete Ressourcenverbrauch und Emissionen zugeordnet werden.

Bilanzierungssoftware

Es existiert eine Vielzahl von unterschiedlichen Softwarelösungen, mit denen Ökobilanzen erstellt und bewertet werden können. In einer Studie im Rahmen des Projektes Annex 31 der Internationalen Energie Agentur (IEA) wurden die in verschiedenen Ländern entwickelten Tools zusammengestellt und beschrieben [105]. Je nach Einsatzbereich und Zielsetzung unterscheiden sich die einzelnen Programme in ihrer Konzeption und ihrem Berechnungsumfang. So werden beispielsweise bei dem Programm LEGEP Mengenermittlung, Baukostenberechnung und Lebenszykluskostenanalyse in einem umfassenden Ansatz miteinander verknüpft [vgl. 58], während Tools wie die Softwarelösung GaBi [65] den Schwerpunkt auf die Lebenszyklusanalyse und deren Bewertung legen. Als Datengrundlage werden entweder eigene Datenbanken bereitgestellt oder es wird auf bereits bestehende Datengrundlagen zurückgegriffen.

4.4.4 Vorgehensweise im Rahmen des Untersuchungsganges

Die ökologische Bilanzierung im Rahmen des Untersuchungsganges erfolgt auf Grundlage der in Kapitel 4.4.1 beschriebenen Methodik. Die einzelnen Untersuchungsschritte, das verwendete Bewertungsverfahren und die eingesetzte Software werden im Folgenden beschrieben.

Verfahrensschritte

Ziel der ökologischen Bilanzierung im Rahmen des Untersuchungsganges ist es, die Umweltwirkungen in Bezug auf Ressourcenverbrauch und Emissionen einzelner energetischer Sanierungslösungen für das Untersuchungsobjekt zu ermitteln, welche sowohl anlagentechnische als auch bautechnische Maßnahmen umfassen, damit diese anschließend bewertet und verglichen werden können. Dabei sollen für jede Maßnahme als Ergebnis der Bilanzrechnung zum einen der Gesamt-Primärenergiebedarf über den Betrachtungszeitraum und zum anderen die zu Wirkungsindikatoren aggregierten Emissionen ausgegeben werden.

Die Bilanzierung erfolgt dabei auf Grundlage des im Rahmen der energetischen Berechnung ermittelten Endenergiebedarfs Q_E , wobei der Betrachtungszeitraum demjenigen der Wirtschaftlichkeitsberechnung entspricht. Als Ergebnis werden daher für Ausgangsfall und Sanierungsvarianten die jeweiligen Umweltwirkungen ermittelt, die auf Grund des Gebäudeenergieverbrauches in einer bestimmten Zeitspanne für Heizwärme- und Warmwassererzeugung zu erwarten sind. Die Funktion des betrachteten Systems stellt damit die Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser über einen definierten Zeitraum dar, während die funktionelle Einheit als kWh benötigte Endenergie definiert wird.

Sind mehrere Energieträger vorhanden, werden diese mit ihrem jeweiligen Endenergiebedarf getrennt bilanziert, da alle Prozesse von der Rohstoffgewinnung, über die Lieferung und Verarbeitung bis zur Verbrennung in die Berechnung eingehen und sich die einzelnen Energieträger bezüglich dieser Vorketten deutlich unterscheiden. Die Einzelergebnisse lassen sich dann kategorieweise zu den jeweiligen Gesamtwerten aufaddieren. Da bereits bei der energetischen Berechnung die Anlagenverluste bilanziert werden und daher im Endenergiebedarf bereits enthalten sind, kann im Rahmen der Ökobilanzierung von einer 100-prozentigen Nutzung des jeweils gelieferten Energieträgers ausgegangen werden.

Zusätzlich zu den Umweltwirkungen, die auf Grund des Energieverbrauches des Untersuchungsobjektes entstehen, haben im Falle der energetischen Sanierung auch die Maßnahmen selbst einen umwelttechnischen Effekt. So wird zur Herstellung, Montage und Wartung jedes Bauteils eine gewisse Menge an Rohstoffen und Energie benötigt, welche die Umweltbilanz des Gesamtgebäudes beeinflusst. In diesem Zusammenhang spielt auch die Möglichkeit der energetischen Nutzung oder des Recyclings von Baustoffen nach Ende der Nutzungsdauer eine Rolle, weil dadurch die Bilanzen beispielsweise über Gutschriften verändert werden können.

Verschiedene Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass in der Regel sowohl auf anlagen- als auch auf bautechnischer Seite der Primärenergiebedarf für die Maßnahmenherstellung im Vergleich zu dem Primärenergiebedarf für die Nutzungsphase deutlich geringer ist. In einer Studie der Forschungsstelle für Energiewirtschaft zur Bilanzierung von Wärmepumpen, ist unter anderem der Primärenergiebedarf für Herstellung, Nutzung und Entsorgung bei Wärmepumpen und Brennwärmtauschler ermittelt worden. Das Ergebnis zeigt, dass insbesondere bei schlechter gedämmten Altbauten der Herstellungsenergieaufwand sogar bei der energieintensiven Wärmepumpeninstallation weniger als 6 % des Energieaufwandes für die Nutzung⁷⁰ ausmacht. Die Entsorgungsphase ergibt Primärenergiegutschriften auf Grund der Rückführung von Stoffen, die dann anderen Nutzungen zugeführt werden können [84, S. 6-7].

Für den Bereich der Dämmmaßnahmen wurde in einer Studie des Instituts Wohnen und Umwelt unter anderem der Herstellungs-Primärenergieaufwand von Außenwanddämmungen ermittelt. Dabei zeigte sich, dass schon bei einem relativ kurzen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren die Nutzungsphase den entscheidenden Beitrag zum Gesamtprimärenergiebedarf leistet. So wurde festgestellt, dass der Primärenergieaufwand für die Herstellung bei Dämmstoffstärken mit unter 4 % vernachlässigbar gering ist und dies sich auch für Dämmstoffstärken zwischen 17 und 60 cm nur geringfügig

⁷⁰ Betrachtungszeitraum 20 Jahre.

ändert [83, S. 5-7]. In einer vom Umweltinstitut München herausgegebenen Dämmstoffübersicht wird die jeweilige energetische Amortisationszeit für unterschiedliche Dämmösungen angegeben. Danach beträgt diese beispielsweise für eine primärenergieintensive Dachdämmung mit expandiertem Partikelschaum (EPS)⁷¹ maximal 24 Monate [144, S. 68]. Nimmt man die Lebensdauer eines Gebäudes mit 50 Jahren an, so ergibt sich ein Anteil der Herstellungs- an der eingesparten Energie von 4 %. Weitere Studien kommen diesbezüglich zu ähnlichen Ergebnissen [vgl. 103, S. 139-143].

Da im Rahmen der Untersuchung ausschließlich der Primärenergiebedarf und die damit in Beziehung stehenden Emissionen betrachtet und keine weiteren baubiologischen Untersuchungen⁷² durchgeführt werden, kann auf eine ökologische Bilanzierung der Maßnahmenerstellung verzichtet werden.

Für die ökologische Bilanzierung auf Grundlage des Energieverbrauches werden zunächst im Rahmen einer Sachbilanz und Wirkungsanalyse für jedes anlagentechnische System und die zugehörigen Energieträger der Primärenergiebedarf und die Wirkungsindikatoren pro kWh gelieferte Energiemenge errechnet. Als Primärenergie- und Wirkungsindikatorfaktoren ermöglichen es diese Parameter, im Rahmen der anlagen- und bautechnischen Maßnahmenbetrachtung durch Multiplikation mit dem zugehörigen Endenergiebedarf den Primärenergiebedarf und die Wirkungsindikatoren maßnahmen-spezifisch zu ermitteln.

Verwendetes Bewertungsverfahren

Um den Ausgangsfall und die verschiedenen energetischen Sanierungsvarianten miteinander vergleichen und daraus Empfehlungen ableiten zu können, müssen die Ergebnisse der Wirkungsanalyse bewertet werden. Wie bereits dargestellt, stehen hierfür mehrere unterschiedliche Ansätze zur Verfügung.

Die Bewertungsverfahren nach der Eco-Indicator und der Ökopunktemethode weisen dabei den Nachteil auf, dass die Gewichtungen der einzelnen Emissionen oder Wirkungsindikatoren auf Grundlage von Ziel- oder Referenzwerten vorgenommen werden, die nicht exakt-wissenschaftlich bestimmbar sind [vgl. 113, S. 72]. So ist die Festlegung dieser Parameter immer auch von subjektiven Wertmaßstäben abhängig und nicht rein objektiv bestimmbar, was in der Fachöffentlichkeit zu intensiven und noch nicht abgeschlossenen Diskussionen geführt hat [vgl. auch 159, Vorwort].

⁷¹ EPS 30, WLF 0,035 W/mK, Wärmedurchgangszahl des Bauteils 0,26 W/m²K, ohne Berücksichtigung des Heizwertes.

⁷² Beispielsweise eine Betrachtung der Toxizität von verwendeten Stoffen.

Die OI3-Methode legt die Gewichtung des Primärenergiebedarfs und der Wirkkategorien nach den diesbezüglichen Minimal- und Maximalwerten von Referenzgebäuden fest. Dies birgt das Risiko der Über- oder Unterbewertung einzelner Faktoren, da nur der Bezug zu Vergleichswerten gegeben ist, aber nicht bewertet wird, welche Umweltwirkung diese Referenzwerte im Verhältnis zueinander aufweisen.

Die Bewertung mit Hilfe des MIPS-Verfahrens bietet den Vorteil, sich nur an einem Leitindikator orientieren zu können und keine Gewichtung zwischen den einzelnen Wirkungskategorien oder Emissionen vornehmen zu müssen. Im Sinne einer Ressourcenverbrauchsoptimierung bietet die Methode daher einige Vorteile, weist aber im übrigen den Nachteil auf, dass nur Stoffmengen und nicht die Stoffqualität betrachtet werden. So gehen seltene Rohstoffe mit gleicher Gewichtung in die Bilanz ein wie gut verfügbare, und toxische Materialien werden nicht anders bewertet als diesbezüglich unbedenkliche Stoffe.

Ebenso wie das MIPS-Verfahren verwendet die KEA-Methodik nur einen Indikator. In einer Studie des Öko-Instituts ist die Richtungssicherheit des KEA auf Produkt-, Bauteil- und Gebäudeebene für verschiedene Wirkungsindikatoren untersucht worden [vgl. 128]. Dabei hat sich gezeigt, dass sich anhand des KEA die Richtung für das Treibhaus- und Versauerungspotential⁷³ in den meisten Fällen ablesen lässt und der KEA demnach als Leitindikator verwendet werden kann. Auch in einer Dokumentation der Forschungsstelle der Energiewirtschaft wird hervorgehoben, dass der KEA ein zuverlässiges und anerkanntes Kriterium im Rahmen von Ökobilanzen darstellt [85, S. 1]. Da sich mit der KEA-Methode einerseits die tatsächliche Energieeinsparung durch energetische Sanierungsmaßnahmen ausweisen und damit der Beitrag zum Energieressourcenschutz quantifiziert werden kann und sie andererseits einen Indikator für die Umweltwirkung aus Emissionen liefert, stellt sie hinsichtlich der Untersuchungsziele ein geeignetes Bewertungsinstrument dar. Aufgrund der Tatsache, dass der Gesamt-KEA als Einzelwert keine Rückschlüsse auf die Ressourcenverminderung zulässt, da er sowohl den Primärenergiebedarf aus erneuerbaren als auch aus nicht-erneuerbaren Quellen enthält, empfiehlt sich dabei eine Bewertung mit Bezug auf die aufsummierten Werte „KEA-nicht-erneuerbar“ und „KEA-andere“. Mit dem KEA-Verfahren des Öko-Instituts können diese Werte getrennt ausgegeben werden, so dass sich im Rahmen des Untersuchungsganges eine Bewertung nach dieser Methodik anbietet.

Dabei ist zu beachten, dass auch die Festlegung auf den KEA als Leitwert bereits eine subjektive Wertung darstellt, da ein spezifischer Parameter als Wertmaßstab ausge-

⁷³ Es kann angenommen werden, dass diese beiden Indikatoren für die Errichtung und den Betrieb von Gebäuden die Bewertung bestimmen [128, S. 10].

wählt wird. Zur Kontrolle werden daher zusätzlich weitere Indikatoren angegeben, ohne diese im Rahmen einer neuerlichen Bewertung zu einem Gesamtwert zu aggregieren. Dies ermöglicht es, die Ergebnisse nach der KEA-Methode zu überprüfen und weitere Analysen vorzunehmen. Es werden dabei für die einzelnen untersuchten Varianten die Wirkungskategorien Treibhaus- und Versauerungspotential als wichtigste Emissionsindikatoren im Gebäudebereich ausgewiesen.

Eingesetzte Software

Die vom Öko-Institut entwickelte Software GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) [4] stellt eine geeignete Gesamtlösung zur ökologischen Bilanzierung und Bewertung unter Berücksichtigung der in Kapitel 4.4.4 beschriebenen Vorgehensweise dar.

Das Programm, welches 1987 entstand und seitdem kontinuierlich fortentwickelt wurde, baut auf einer umfangreichen und harmonisierten Datenbank auf, welche ökologische Kennwerte zu einer Vielzahl von Stoffen und Anlagen enthält und die Möglichkeit zur Modellierung eigener Prozesse bietet. Bei der Bilanzierung werden dabei von der Primärenergie- bzw. Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie- bzw. Stoffbereitstellung unter Einbeziehung des Hilfsenergie- und Materialaufwandes alle wichtigen Schritte berücksichtigt [vgl. 76, S. 40]. Es ist zudem frei verfügbar und ermöglicht die Ausgabe der disaggregierten KEA-Werte, sowie des Treibhaus- und Versauerungspotentials.

4.5 Kombination von Wirtschaftlichkeit und Ökologie

Mit den Ergebnissen aus der Wirtschaftlichkeitsberechnung und der ökologischen Bilanzierung lässt sich eine abschließende Bewertung der einzelnen untersuchten Varianten vornehmen. Diese zwei Parameter stellen, wie bereits in der Beschreibung des Untersuchungsganges erläutert, wichtige Motivationen für die Entscheidung hinsichtlich der Auswahl energetischer Sanierungsmaßnahmen dar.

Da sich wirtschaftliche und ökologische Ziele schwer gegeneinander abwägen lassen und eine Gewichtung zu Gunsten eines der Faktoren eine Wertung nach subjektiven Wertmaßstäben bedeuten würde, wird beiden Parametern eine gleich hohe Relevanz beigemessen, so dass sie zu gleichen Teilen in die abschließende Bewertung der jeweiligen Variante eingehen.

Dabei werden die für den unsanierten Ausgangsfall ermittelten Gesamtkosten, als Ergebnisse aus der Wirtschaftlichkeitsberechnung, und der Kumulierte Energieaufwand, als Ergebnis aus der Ökobilanzierung, jeweils als Referenzwert angenommen

und auf 100 Prozent gesetzt. Für die dazugehörigen Werte der einzelnen Varianten wird jeweils der prozentuale Anteil im Vergleich zum Ausgangsfall ermittelt und aus den erhaltenen zwei Werten ein Mittelwert gebildet. Dieser stellt dann ein Maß für den kombinierten ökologischen und ökonomischen Aufwand der untersuchten Varianten im Vergleich zum Ausgangsfall dar und ermöglicht es, die verschiedenen Varianten zu vergleichen. Dabei bedeutet eine Aufwandszahl von 100 %, dass die untersuchte Variante dem unsanierten Zustand in ihrem Gesamtaufwand entspricht, wogegen Werte über 100 % eine Verschlechterung und Werte unter 100 % eine Verbesserung darstellen. Da gute ökologische von schlechten ökonomischen Werten ausgeglichen werden und umgekehrt, bedeutet eine gleich große Aufwandszahl nicht zwingend gleiche Teilwerte. Um hier Extreme auszuschließen, wurde als Abschneidekriterium für die Auswahl von Optimierungslösungen festgelegt, dass keiner der Teilwerte schlechter als der jeweilige Wert der Ausgangsvariante sein darf.

Wie bereits in den Beschreibungen zu den einzelnen Untersuchungsabschnitten erläutert, sind die Ergebnisse aus der energetischen, wirtschaftlichen und ökologischen Betrachtung auf Grund der zahlreichen notwendigen Vereinfachungen und mit Unsicherheiten behafteten Annahmen als richtungweisende Prognose zu verstehen. Eine Berechnung und Bewertung nach dem beschriebenen Prinzip kann zwar Tendenzen aufzeigen, ist im jeweiligen Einzelfall aber noch einmal zu prüfen.

Aus diesem Grund werden bei der Bewertung der einzelnen Maßnahmen auch immer die Ergebnisse aus den einzelnen Untersuchungen gesondert dargestellt, was eine spätere Nachvollziehbarkeit der einzelnen Untersuchungsschritte ermöglicht.

Kapitel 5

Berechnung des Ist-Zustands

Wie in Kapitel 4 beschrieben, umfasst der Untersuchungsgang zunächst eine Berechnung der energetischen Bilanz des Ist-Zustands für das Untersuchungsobjekt, um auf dieser Grundlage die Effekte der einzelnen anlagen- und bautechnischen Sanierungsmaßnahmen berechnen und bewerten zu können. Im Folgenden werden zunächst die dazu verwendeten Eingabedaten und Randbedingungen beschrieben und anschließend die Berechnungsergebnisse erläutert.

5.1 Eingabedaten

Bei dem Gebäudekomplex „Kleine Freiheit 46-52“ handelt es sich, wie dargelegt, um zwei spiegelgleiche Gebäude, die jeweils als eigenständige gründerzeitliche Etagenhäuser konzipiert sind. Im Sinne der besseren Vergleichbarkeit mit anderen gründerzeitlichen Etagenhäusern beziehen sich die Untersuchungen lediglich auf das Gebäude Nr. 46-48. Dabei wird auch auf anlagentechnischer Seite davon ausgegangen, dass dieses Gebäude unabhängig vom Nachbargebäude versorgt wird, auch wenn in der Praxis eine gemeinsame Heizzentrale denkbar wäre.

5.1.1 Bautechnik

Die Berechnung der energetischen Bilanz erfordert zunächst die Ermittlung der Grund- und Bauteilflächen, der Volumina sowie der einzelnen Bauteilaufbauten. Im Rahmen einer detaillierten Bauaufnahme sind diese Daten vor Ort ermittelt worden, wobei auch Materialproben zur labortechnischen Bestimmung verschiedener bauphysikalischer Kennwerte entnommen worden sind. Für die Außenwandsbestandsmaterialien Kalkputz, Kalkzementmörtel, Ziegel, Zementputz, Klinkerriemchen und Außenbeschichtung konnten so Rohdichte, Diffusionswiderstandszahl und Wasseraufnahmekoeffizient bestimmt werden. Die übrigen Daten basieren auf der DIN 4108, der DIN EN ISO 6946 und dem Materialdatensatz des numerischen Simulationsprogramms Delphin des Institutes für Bauklimatik der Technischen Universität Dresden [1].



Abbildung 35: Materialprobenentnahme straßenseitige Außenwand

Abbildung 36: Strukturanalyse straßenseitiger Fries

Durch Öffnen der verschiedenen Bauteile ließ sich die jeweilige Schichtfolge exakt bestimmen, so dass eine genaue Ermittlung der Transmissionswärmeverluste auf Grundlage der DIN EN ISO 6946 für die einzelnen Konstruktionen möglich war.

	Rohdichte ρ [kg/m ³]	Porosität Φ [m ³ /m ³]	Wärmekapazität c_p [J/kgK]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK] (trocken)	Diff.Widerstandszahl μ [-] von	Diff.Widerstandszahl μ [-] bis	Wasseraufnahmek. w [%kg/m ² ?h]	Quelle
Bestand								
Außenbeschichtung	-	-	-	-	14.000	14.000	-	TUHH
Beton armiert 2% Stahl	2.400	-	1.000	2,500	130	80	-	EN 12524:2000
Fliesen (Keramik/Porzellan)	2.300	-	840	1,300	ue.	ue.	-	EN 12524:2000
Klinkerriemchen	1.920	0,26	920	0,960	86	86	0,23	TUHH/TUD
Zementputz/-mörtel	2.010	0,18	1.000	1,340	321	321	2,00	TUHH/TUD
Zementestrich	2.000	-	-	1,400	15	35	-	DIN V 4108-4 2002-02
Ziegel	1.670	0,36	920	0,850	10	10	4,20	TUHH/TUD
Kalkzementmörtel/-putz	1.730	0,34	1.050	1,050	21	21	3,00	TUHH/TUD
Kalkputz	1.760	0,33	1.000	0,870	12	12	6,00	TUHH/TUD
Rohrgeflecht mit Lehmputz ("Strohlehm")	1.500	-	2.100	0,700	5	10	-	DIN 4108 von 1952
Lose Schüttung aus Splitt	1.800	-	1.000	0,700	3	3	-	DIN 4108-4 2002-02
Torfschüttung	200	-	2.100	0,050	1	1	-	DIN 4108 von 1952
Holz (weich)	500	-	1.600	0,130	50	50	-	EN 12524:2000
Holz (hart)	700	-	1.600	0,180	200	200	-	EN 12524:2000
Ruhende Luftschicht, abwärts, 2,5 cm	1	-	1.000	0,132	1	1	-	DIN EN ISO 6946
Ruhende Luftschicht, abwärts, 5 cm	1	-	1.000	0,238	1	1	-	DIN EN ISO 6946
Ruhende Luftschicht, abwärts, 10 cm	1	-	1.000	0,455	1	1	-	DIN EN ISO 6946
Ruhende Luftschicht, aufwärts, 6,5 cm	1	-	1.000	0,406	1	1	-	DIN EN ISO 6946
Ruhende Luftschicht, aufwärts, 10 cm	1	-	1.000	0,625	1	1	-	DIN EN ISO 6946
Ruhende Luftschicht, aufwärts, 11,5 cm	1	-	1.000	0,719	1	1	-	DIN EN ISO 6946
Füllstoff	0	-	0	ue.	-	-	-	TUHH
Bitumendachbahnen 2-lagig	1.200	-	1.000	0,170	10.000	80.000	-	DIN V 4108-4 2002-02

Abbildung 37: Materialdatentabelle

Es wurde zusätzlich eine thermografische Untersuchung durchgeführt, um so die energetische Qualität der Hüllflächen visualisieren und mögliche Wärmebrücken lokalisieren zu können. Diese Untersuchungen sind auch bezüglich des Wärmebrückenzu-

schlags bei der energetischen Ist-Zustandsberechnung (vgl. Kapitel 5.2.1) von besonderem Interesse.

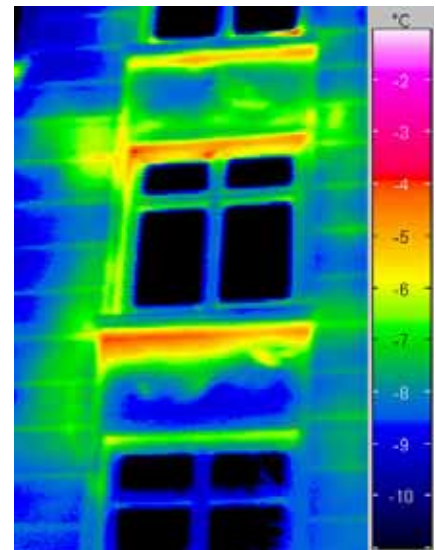
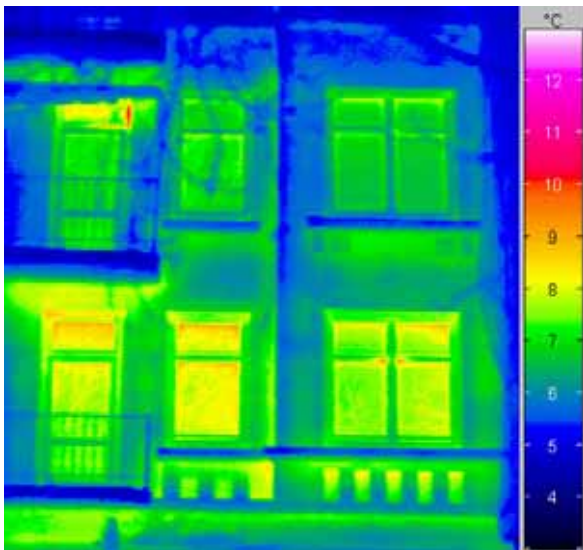


Abbildung 38: Thermografieaufnahme der straßenseitigen Fassade

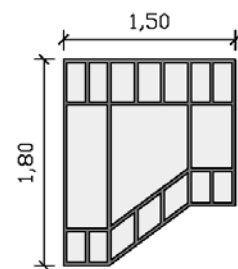
Abbildung 39: Thermografieaufnahme des Mittelrisalits

Für die Flächen- und Volumenermittlung sind außerdem CAD-Pläne erstellt worden, in denen auch die verwendeten Systemgrenzen nach DIN EN ISO 13789 sowie die einzelnen Bauteilzuordnungen hinterlegt sind. Diese Pläne, die Flächenermittlung und die einzelnen Bauteilaufbauten mit den zugehörigen U-Werten können dem Anhang entnommen werden (siehe Anhang A 1; A 2; A 3).

1.01_Außenwand, Ziegel, 25 cm

Zone 1, Bauteil 6: Laden, AW 3a, 8a, 10a

Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Kalkputz	0,87
2		Ziegel	0,85
3		Kalk/Zementmörtel	1,05
4		Zementputz	1,34
Unterteilung [m]			
Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,015	0,065	0,105
2	0,105	0,01	0,01
3	0,01	0,065	0,105
4	0,105	0,01	0,01
5	0,015		
R-Wert [m²K/W]:			



15_Fenster Treppenhaus/Lichtschart

Gesamtfläche: 2,30 m²

Rahmen, Metall, 3 cm: 0,42 m²

Füllung, Einfachglas: 1,88 m²

Glasrandlänge: 21,40 m

Abbildung 40: Beispiel Außenwandmodellierung EG

Abbildung 41: Beispiel Aufnahmedaten Treppenhausfenster

Der Ermittlung der Fenster U-Werte liegt das Rechenverfahren nach DIN EN ISO 10077-1 zu Grunde, wobei für jede Fensterberechnung die vor Ort ermittelten Glas-, Rahmen- und Füllungsanteile verwendet worden sind. Eine Übersicht über die verschiedenen Fensterformate findet sich ebenfalls im Anhang (siehe Anhang A 4). Da die Fenster des gesamten Gebäudekomplexes nachträglich zu 37 % mit Isolierglasscheiben ausgestattet wurden und ansonsten noch einfachverglast sind, wird dieses Verhältnis auch für das untersuchte Teilgebäude angenommen.

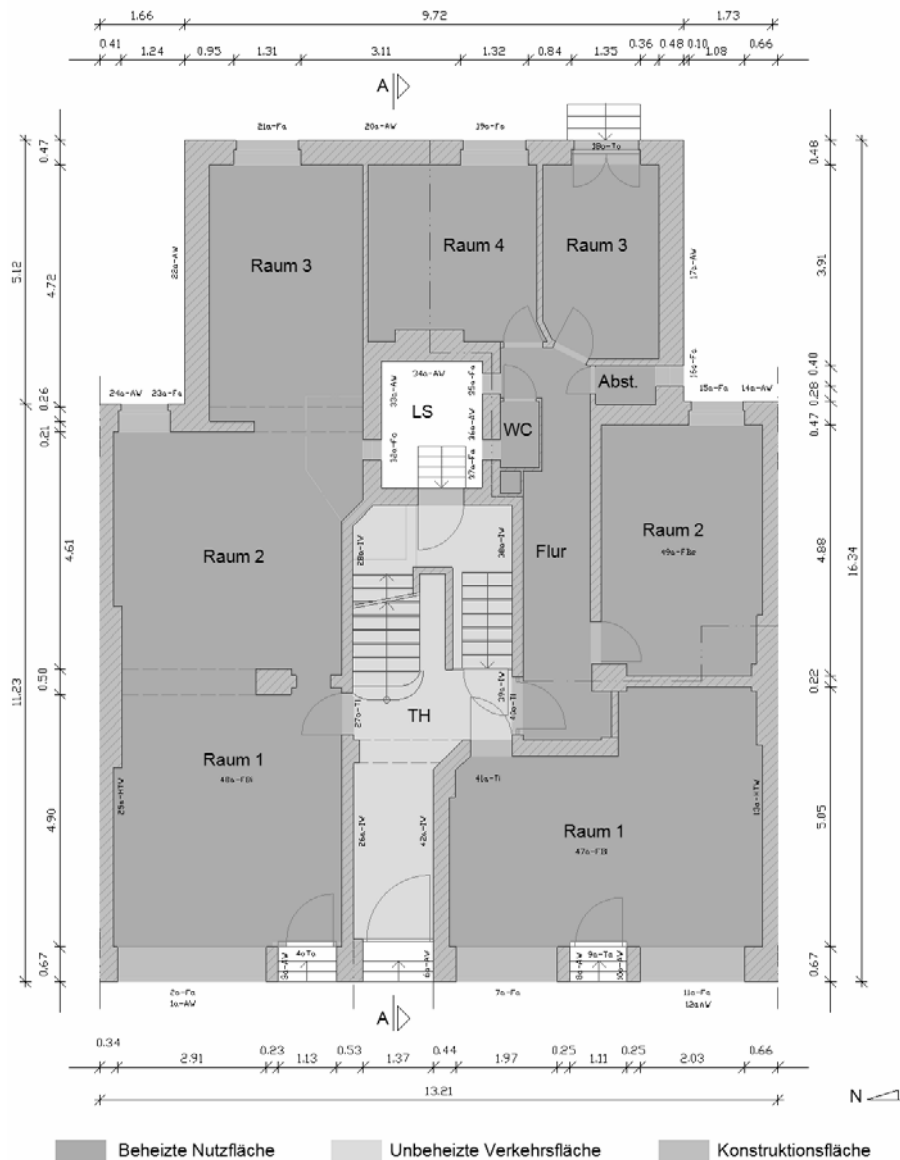


Abbildung 42: Grundriss EG mit Systemgrenzen, Flächen und Bauteilzuordnungen

Das Untersuchungsobjekt ist für die Dateneingabe in 4 Zonen unterteilt worden. Der beheizte Bereich, welcher die Laden- und die Wohnzone umfasst und auf den sich die Nutzflächenangaben beziehen, grenzt dabei außer an die Außenluft, das Erdreich und

die beheizten Nachbargebäude auch an die drei nicht-beheizten Zonen Keller, Treppenhaus und Dachraum. Da den Ermittlungen der Wärmeverluste zu diesen Bereichen im Rahmen des Untersuchungsganges das detaillierte b-Verfahren nach DIN EN ISO 13789 zu Grunde liegt, umfasst die Bauteilübersicht auch die begrenzenden Konstruktionen dieser Zonen. Weiterhin sind zur genauen Ermittlung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes auch alle relevanten Innenbauteile berücksichtigt worden.

Die Gebäudedaten für die Berechnungen weichen von der vorgefundenen Bestandssituation in einigen Punkten ab. So wurde ein Teil des Dachgeschosses im Bestand nachträglich zur Wohnnutzung ausgebaut, wobei für die eine Ausbauhälfte kein Heizsystem existiert. Da es sich hierbei eher um eine provisorische Maßnahme handelt und die ursprüngliche Konzeption keine Wohnnutzung vorsah, wurde der Dachboden auch in den Berechnungen als komplett unausgebaut und unbeheizt angenommen. Im Bereich der Ladenzone weist die Bestandssituation einige gebäudespezifische Besonderheiten auf, die auf Grund des geringen flächenmäßigen Anteils keine signifikante Auswirkung auf die Gesamtbilanz erwarten lassen und wegen der fehlenden Relevanz für andere gründerzeitliche Gebäude ebenfalls nicht in die Berechnungen übernommen werden. Es entfällt die am Lichtschacht in das Treppenhaus einkragende Kammer des linken Ladens, so dass das Treppenhaus in diesem Bereich vom EG bis in die OG gleichmäßig durchläuft. Weiterhin wird der Treppenabgang vom Laden zum Keller sowie der im Bestand existierende Versprung des Erdgeschossfußbodens im Bereich des rechten Ladens rechnerisch nicht berücksichtigt und somit der beheizte untere Gebäudeabschluss als durchlaufende Fläche auf dem Niveau des Hauseingangsflures angenommen. Im Bereich der Fassade wurden im Bestand die Schaufensterflächen der Läden und der Eingangsbereich der rechten Ladenzone gegenüber der ursprünglichen Konzeption stellenweise stark verändert und durch unstrukturierte Einbauflächen ersetzt. Da dies ebenfalls eine sehr gebäudespezifische Änderung darstellt, sind die ursprünglichen Schaufenstermaße und für beide Ladeneingänge dieselben Abmessungen angenommen worden. Aus demselben Grund wird auch im Bereich der Kellerfenster in den Berechnungen von der ursprünglichen Planung ausgegangen, obwohl einige Fenster im Bestand nachträglich zugemauert worden sind. Das Gebäude ist weiterhin als genau Ost-West ausgerichtet angenommen worden, was in nächster Näherung der tatsächlichen leichten Abweichung von dieser Ausrichtung entspricht.

5.1.2 Anlagentechnik

Bezüglich der Warmwasser- und Heizwärmeversorgung ist, ausgehend von der anlagentechnischen Situation des gesamten Gebäudekomplexes „Kleine Freiheit 46-52“ ohne Berücksichtigung des Dachausbaus, der flächenmäßige Anteil jedes Systems für das untersuchte Gebäude ermittelt und mit den jeweiligen tatsächlichen Leitungslän-

gen angesetzt worden. Für den Ist-Zustand ergibt sich dabei folgende Verteilung:

Warmwasserbereitung Ladenzone:

- 50,0 % Elektro-Durchlauferhitzer.
- 50,0 % Elektro-Speicher.

Warmwasserbereitung Wohnzone:

- 33,3 % Elektro-Durchlauferhitzer.
- 33,3 % Elektro-Speicher.
- 33,3 % Gas-Durchlauferhitzer.

Heizwärmeerzeugung Gesamtgebäude:

- 30 % Einzelfeuerstätte Kohle, dezentral.
- 25 % Elektro-Speicherheizung, dezentral.
- 20 % Standard Gebläsekessel Gas, wohnungszentral.
- 25 % Gasraumheizer Außenwand-Gerät, dezentral.

Bei der Eingabe der Anlagentechnik sind die Standardwerte nach DIN V 4701-10 bzw. DIN V 4701-12 verwendet worden, wobei für die Geräte ein durchschnittliches Alter von 25 Jahren angenommen worden ist.

Die detaillierten Parameter für die anlagentechnische Berechnung können dem Anhang entnommen werden (siehe Anhang A 6).

5.1.3 Datenvalidierung

Da die gemauerten Wände den größten Teil der für die Berechnungen relevanten Bauteilflächen ausmachen, ist zusätzlich zur labortechnischen Analyse eine Validierung der in diesem Bereich verwendeten Baustoffdaten durchgeführt worden.

So sind im Rahmen eines Messprogramms die Wärmeströme an der strassenseitigen Außenwand im dafür beheizten 2. Obergeschoss über einen Zeitraum von 50 Tagen erfasst worden. Über eine an der Innenseite des Außenmauerwerks aufgebrachte Wärmestromplatte wurden dazu per Datenlogger die Wärmeströme zusammen mit der jeweiligen Innen- und Außentemperatur aufgezeichnet.



Abbildung 43: Wärmestrommessung an der straßenseitigen Außenwand

Zur Validierung ist der betreffende Schichtaufbau der untersuchten Außenwand anschließend in dem Simulationsprogramm Delphin mit den dazugehörigen Materialdaten eingegeben worden, um die Wärmeströme unter Ansatz der gemessenen Klimadaten vergleichend zu simulieren [157]. Die Ergebnisse, welche in Abbildung 44 dargestellt sind, zeigen eine gute Übereinstimmung von berechneten und gemessenen Wärmeströmen, was die Plausibilität der angesetzten Materialdaten bestätigt.

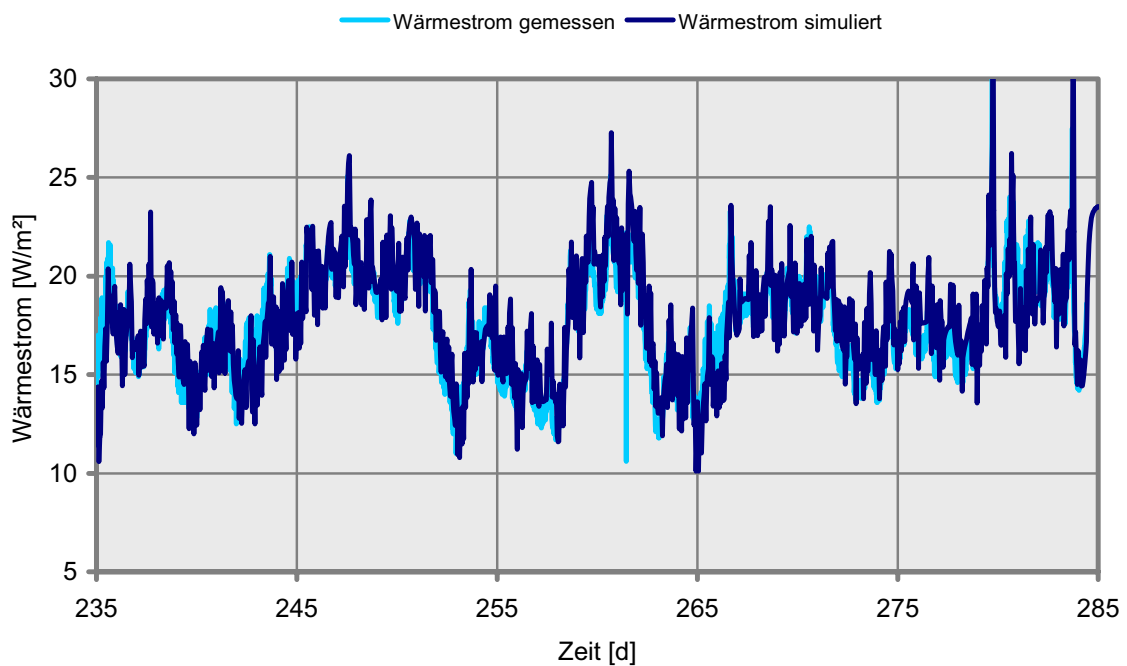


Abbildung 44: Wärmestrom straßenseitige Außenwand

5.2 Randbedingungen

Den Ermittlungen der energetischen und ökologischen Bilanz sowie der Wirtschaftlichkeitsberechnung liegen für den Ist-Zustand folgende Randbedingungen zu Grunde.

5.2.1 Heizwärmebedarfsberechnung

Die Berechnungen sind mit dem Programm EPASS-Helena 4.6 bei Ansatz folgender Parameter durchgeführt worden:

- Berechnung im Monatsbilanzverfahren nach EN 832, DIN V 4108-6.
- Erdreich angrenzende Bauteile im genauen Verfahren mit Monatswerten gemäß DIN EN ISO 13370.
- Wärmeverluste von beheizten zu nicht-beheizten Gebäudeteilen im b-Verfahren nach DIN EN ISO 13789.
- Detaillierte Berechnung von C_{wirk} nach DIN V 4108-6.
- Bauteil U-Wert Berechnung nach DIN EN ISO 6946.
- Fenster- und Tür-U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 10077-1 mit Ansatz von Rahmen-, Verglasungs- und Füllungsanteil sowie Glasrandverlusten.
- Kein Ansatz zusätzlicher Wärmebrückenverluste.
- Regionaler Klimadatensatz Hamburg, durchschnittliche monatliche Außentemperatur der Jahre 1971-2000 [nach 60].
- Genaue Ermittlung des Nettovolumens und der beheizten Nutzfläche nach DIN 277-1 ff [10; 11; 12].
- Soll-Innentemperatur: 19 °C.
- Freier Luftwechsel: Beheizter Bereich, TH und KG 0,75 1/h, DG 0,85 1/h.
- Interne Wärmequellen: Beheizt 3,5 W/m², KG 100 W, TH und DG je 50 W.
- Nachtabsenkung: 7 h, minimal 10°C.

Abweichend von der DIN V 4108-6, welche bezüglich der Wärmebrücken entweder eine genaue Berechnung oder einen pauschalen Zuschlag fordert, wurden keine gesonderten Wärmebrückenverluste angenommen. Da die Bauteilflächen mit ihren Außenmaßen berücksichtigt werden, ist durch den doppelten Ansatz von Überschneidungsbereichen bereits ein Sicherheitszuschlag in der Transmissionsverlustberechnung enthalten. Eine vom Institut Wohnen und Umwelt durchgeführte detaillierte Wärmebrückenberechnung für ein gründerzeitliches Etagenhaus in Wiesbaden ergibt für den ungedämmten Bestand sogar einen negativen Wärmebrückenzuschlag [122, S.

23-24]. Des Weiteren hat die thermografische Untersuchung gezeigt, dass die Fassaden des Untersuchungsobjekts keine Bereiche mit lokal deutlich erhöhten Wärmeverlusten aufweisen, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die vorhandenen Wärmebrückenverluste für den unsanierten Ausgangsfall schon durch den Außenmaßbezug hinreichend erfasst werden.

Das Nettovolumen und die Grundflächen berechnen sich abweichend von DIN V 4108-6 bzw. dem für öffentlich rechtliche Nachweise verwendeten EnEV-Verfahren nicht durch Ansatz eines pauschalen Faktors aus dem Bruttovolumen, sondern wurden auf Grundlage der DIN 277-1 ff. genau ermittelt. Da sich die pauschalen Faktoren auf durchschnittliche Raumhöhen von 2,50 m beziehen, liefern sie für gründerzeitliche Etagenhäuser mit ihren höheren Räumen unrealistisch hohe Werte. Alle flächenbezogenen Energiebedarfsangaben beziehen sich daher auch auf die beheizte Nutzfläche, die sowohl die Wohnungs- als auch die Ladenflächen umfasst.

Aufgrund des hohen Durchschnittsalters und des einfachen technischen Standards des Heizungssystems sowie der zu erwartenden hohen Transmissionswärmeverluste über die ungedämmten Hüllflächen ist davon auszugehen, dass die heute übliche Innenlufttemperatur von 20 °C [vgl. 121, S. 15] im Bestand durchschnittlich nicht erreicht wurde, so dass die in der DIN V 4108-6 angegebene Innenlufttemperatur von 19 °C zu Grunde gelegt wurde.

Eine im Bestandsgebäude für zwei Wohnungen durchgeführte Blower-Door-Messung ergab n_{50} -Werte⁷⁴ von 9,8 h⁻¹ bzw. 11,7 h⁻¹ [vgl. 163, S. 2-3]. Nach einem näherungsweise Berechnungsansatz zur Ermittlung der Infiltrationsrate mit $n_{\text{inf}} = n_{50} \cdot e^{75}$ [vgl. 132, S. 16] ergibt sich damit ein mittlerer freier Luftwechsel von 0,75 1/h. Für den Luftwechsel des Dachgeschosses ist auf Grund der fehlenden Luftdichtung ein Zuschlag von 0,1 1/h angenommen worden.

Der in der DIN V 4108-6 ausgewiesene Richtwert für flächenbezogene interne Wärmegewinne von 5 W/m² für Wohngebäude ist unrealistisch hoch, weswegen die internen Gewinne für den beheizten Bereich inklusive Zuschlag für den Ladenbereich mit 3,5 W/m² angenommen werden [vgl. 121, S. 16].

5.2.2 Endenergiebedarfsberechnung

Die Berechnung des Endenergiebedarfs erfolgte zusammen mit der Heizwärmebe-

⁷⁴ Gemessener Volumenstrom bei einer Testdruckdifferenz von 50 Pa bezogen auf das Luftvolumen des Untersuchungsobjektes.

⁷⁵ e = Abschirmungsklasse, hier 0,07 (mittel, bei mehr als einer exponierten Fassade).

darfsberechnung im Programm EPASS-Helena 4.6 bei Ansatz folgender Parameter:

- Berechnung nach DIN V 4701-10/12.
- Berechnete Heizperiodenlänge und Gradtagzahl nach DIN V 4108-6.
- Ansatz von DIN-Standard-Anlagenparametern.
- Detaillierte Ermittlung von Leitungsverlusten.
- Trinkwarmwasserbedarf: Wohnungen und Ladenwohnung 20 kWh/m²a, Laden 8 kWh/m²a.

Da die anlagentechnischen Geräte größtenteils ein hohes Alter aufweisen, lassen sich die spezifischen Parameter für eine Berechnung nach dem detaillierten Verfahren nicht mehr vollständig ermitteln, so dass die in EPASS-Helena vorgegebenen DIN-Standardanlagen verwendet werden.

Statt des in der DIN V 4701-10 angegebenen pauschalen Energiebedarfs von 12,5 kWh/m²a für den Standard-Trinkwarmwasserbedarf ist dieser nach

$$(\text{l/Person/d}) \cdot 35 \cdot 1,16 \cdot 0,365 \cdot (\text{Anzahl Personen}) \quad (5.1)$$

berechnet worden. Den verwendeten Werten liegen folgende Annahmen zu Grunde: Täglicher Warmwasserbedarf von 35 l/Person/d für die Wohn- und Ladenwohnnutzung bei 19 Personen, sowie 17,5 l/ Person/d für die Ladennutzung bei 2 Personen und einer benötigten Warmwassertemperatur von 45 °C [vgl. auch 89, S. 44, Tabelle 8].

5.2.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Kostenberechnungen für den Ausgangsfall und die Optimierungsvarianten sind mit dem in Kapitel 4.3.3 beschriebenen Verfahren bei Ansatz folgender Randbedingungen durchgeführt worden:

- Betrachtungszeitraum 20 a.
- Nutzungsdauer aller Maßnahmen ≥ 20 a.
- Teuerungsrate (Allgemein und Wartung) 0,02 1/a.
- Nominaler Kalkulationszinssatz Fremdkapital 0,06 1/a.
- Durchschnittliche Investitionskosten für Hamburg bei mittlerer Konjunktur.

Da die Nutzungsdauer der meisten anlagentechnischen Bauteile in der Regel bei 15-25 Jahren liegt [vgl. 107, S. 448-449], ist auch der Betrachtungszeitraum dementspre-

chend gewählt worden. Zwar ist die Nutzungsdauer für bautechnische Maßnahmen im Schnitt deutlich höher, da aber bei der Untersuchung der Optimierungsvarianten die bautechnischen Maßnahmen immer zusammen mit einer bestimmten anlagentechnischen Lösung betrachtet und bewertet werden, bietet sich diese Festlegung an. Zudem steigt mit der Länge des Betrachtungszeitraumes auch die Gefahr der Abweichungen von zukünftigen Bedingungen und angenommenen Parametern, weswegen Investitionsentscheidungen mit Bezug auf einen längeren Betrachtungszeitraum größere Unsicherheiten aufweisen und dementsprechend risikoreicher sind.

Für die Berechnungen wurde angenommen, dass alle anlagen- und bautechnischen Maßnahmen mindestens bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes genutzt werden können, ohne zwischenzeitlich komplett erneuert werden zu müssen. Der Faktor der Ersatzbeschaffung⁷⁶ ist daher bei allen Maßnahmen gleich 1.

Die Teuerungsrate und der Kalkulationszinssatz entsprechen Durchschnittswerten, die unverändert für den gesamten Betrachtungszeitraum gelten [vgl. 107, S. 447-449].

Die Investitionskosten für die Optimierungsvarianten setzen sich aus Mittelbruttopreisen für Hamburg bei normaler Konjunkturlage für Lieferung und Einbau der jeweiligen Maßnahme abzüglich der Sowiesokosten zusammen und umfassen auf anlagentechnischer Seite auch die zusätzlich zum Ausgangsfall notwendigen Maßnahmen zur Abgasführung und Wärmeverteilung im Gebäude. Da für den Ausgangsfall die vorhandenen anlagentechnischen Bauteile im Betrachtungszeitraum nicht ersetzt und auch auf bautechnischer Seite keine energetischen Optimierungsmaßnahmen angenommen wurden, fallen keine Investitionskosten an. Es sind aber auf Grund des hohen Alters und schlechten Zustandes der Anlagentechnik erhöhte jährliche Wartungskosten von 5 % des Neupreises angenommen worden, was über den Betrachtungszeitraum einem Austausch der betrachteten Geräte entspricht.

Die Wartungs- und Unterhaltskosten wurden sowohl im Ausgangsfall als auch bei den Optimierungsvarianten lediglich für den anlagentechnischen Bereich berücksichtigt und umfassen die diesbezüglichen jährlichen Aufwendungen für den jeweiligen Wärmeerzeuger und Speicher ohne Verteilungsnetz. Für den Ausgangsfall bedeutet dies bei einem mittleren Gesamtneuwert der vorhandenen Wärmeerzeuger und Speicher von 20.000,- €⁷⁷, dass sich jährliche Wartungskosten von 1.000,- € ergeben. Für die Gebäudehülle fallen Wartungskosten in vergleichbarer Größenordnung sowohl für den

⁷⁶ Vgl. Kapitel 4.3.3, Gleichung 4.5.

⁷⁷ Gerätekosten für 3 Durchlauferhitzer, 3 Elektrospeicher, 2 Gasthermen mit Durchlauferhitzer, 8 Gas Außenwandgeräte, 8 Nachtspeicherheizungen und 8 Kohleöfen.

Bestand als auch für die optimierten Varianten an, so dass sie als Sowiesokosten unberücksichtigt bleiben können.

Tabelle 8 zeigt die den Berechnungen zu Grunde liegenden Energiepreise und deren angenommene jährliche Kostensteigerungsraten bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes für zwei Szenarien. Die Ausgangs-Energiekosten entsprechen dabei mittleren Preisen für den Bezug des jeweiligen Energieträgers aus dem ersten Halbjahr 2006. Sie sind als Endverbraucherpreise inklusive der Steuern, Grund- und Arbeitspreise zu verstehen und in Kosten mit unterschiedlichen Bezugsmengen unterteilt. Für die Berechnungen der Sanierungsvarianten mit abweichenden Abnahmemengen sind die sich ergebenden Preise aus den angegebenen Werten interpoliert worden.

Das Kostensteigerungsszenario 1 geht von einer relativ moderaten Preissteigerungsrate für die nächsten 20 Jahre aus. Es basiert im Wesentlichen auf den Prognosen des Hamburgischen Welt-Wirtschafts-Institutes, welche keine Preisexplosion auf dem Energierohstoffmarkt bis 2030 beinhalten und damit unter anderem kongruent mit den Vorhersagen des Energiewirtschaftlichen Institutes und der Prognos AG sind.

Ein Vergleich mit Energieprognosen weiterer Institute zeigt allerdings, dass eine große Bandbreite von unterschiedlichen Entwicklungen mit zum Teil sehr viele deutlicheren Preisanstiegen für möglich gehalten wird [vgl. 120, S. 11-17]. So ist es umstritten, ob die den moderateren Szenarien zu Grunde liegenden Annahmen, insbesondere bezüglich der Reserven an fossilen Energieträgern, nicht zu optimistisch angesetzt wurden [vgl. 140]. Die starken Energiepreissteigerungen der letzten Jahre könnten demnach bereits ein Indiz für zukünftige Steigerungsraten auf hohem Niveau sein. So lagen die tatsächlichen durchschnittlichen jährlichen Energiepreissteigerungsraten der Jahre 2000 bis 2005 mit Ausnahme der Raten für Holzpellets- und Steinkohlekleinverbraucherpreise deutlich über den im Szenario 1 angenommenen Werten.

Auch wenn es sich bei den drastischen Preisanstiegen, insbesondere des Jahres 2005, um eine vorübergehende Erscheinung und keinen langfristigen Trend handeln könnte, sind diese in den meisten Szenarien nicht vorhergesagt worden. So wurde im Jahr 2005 für Rohöl bereits ein Kostenniveau erreicht, welches auf Grund der moderaten Preissteigerungsannahmen nach diesen Prognosen eigentlich bis zum Jahr 2030 noch nicht erreicht werden sollte [vgl. 78, S. 19; 56, S. 48-49].

Daher wird als zweites Szenario eine gegenüber dem Szenario 1 jeweils verdoppelte Energiepreissteigerungsrate angenommen, welche damit etwas über den mittleren Raten der Jahre 2000-2005 liegt und zusammen mit der gemäßigten Variante eine möglichst große Bandbreite an möglichen zukünftigen Entwicklungen abdeckt.

	Kostenmittel 1. Hlbj. 2006 [€/kWh]	Steigerung 2000-2005 nominal [1/a] ⁷	Steigerung Szenario 1 nominal [1/a] ⁸	Steigerung Szenario 2 nominal [1/a]
01 Erdgas dezentral Bezug 19.000 / 8.000 kWh	0,063 / 0,074¹	0,062	0,035	0,070
02 Erdgas zentral Bezug 150.000 / 50.000 kWh	0,055 / 0,058¹	0,062	0,035	0,070
03 Heizöl leicht zentral Bezug 9.000 / 5.000 l	0,058 / 0,059²	0,055	0,038	0,076
04 Steinkohle dezentral Bezug 10 Zentnern	0,057 / -³	0,016	0,025	0,050
05 Fernwärme zentral Bezug 20 / 10 t	0,068 / 0,077⁴	0,049	0,035	0,070
06 Holzpellets zentral Bezug 20 t	0,037 / 0,038⁵	0,000	0,025	0,050
07 Strom-Mix dezentral Bezug 4.000 kWh	0,194 / -⁶	0,044	0,033	0,066
08 Strom Nacht dezentral Bezug 16.000 / 5.000 kWh	0,163 / 0,171⁶	-	0,033	0,066
09 Strom WP zentral Bezug 50.000 / 17.000 kWh	0,170 / 0,172⁶	-	0,033	0,066
10 Strom reg. dezentral Bezug 4.000 kWh	0,206 / -⁶	-	0,033	0,066
11 Strom reg. zentral Bezug 50.000 / 17.000 kWh	0,189 / 0,191⁶	-	0,033	0,066

¹ Nach [44, Hamburger Durchschnitt und Preisrelation E.ON Hanse AG].

² Abgeleitet aus [44, Bundesdurchschnitt; 49].

³ Angabe Kohlehändler Hamburg, Eierkohle, Heizwert 8,8 kWh/kg.

⁴ Berechnung Vattenfall Europe Hamburg AG.

⁵ Nach [46, Bundesdurchschnitt].

⁶ Nach [68, Durchschnitt der 10 günstigsten Anbieter für Hamburg].

⁷ 01-05 und 07-11 nach [149], 06 nach [46].

⁸ 01-04 nach [73, S. 31-32], 05 gleich 01, 06 gleich 04, 07-11 nach [120, S. 35, Szenario II, niedrige Kosten].

Tabelle 8: Energiepreise und Kostensteigerungsraten

5.2.4 Ökologische Bilanz

Die Ermittlung des kumulierten Energieaufwandes und der Wirkungsindikatoren für den Ausgangsfall und die Optimierungsvarianten erfolgt auf Grundlage des in Kapitel 4.4 beschriebenen Verfahrens mit dem Programm GEMIS 4.3. Die KEA-, GWP- und AP-Werte bilden sich aus den jeweiligen Einzelwerten für jeden Energieträger, wobei sich der kumulierte Energieaufwand jeweils aus den Anteilen „nicht-regenerativ“ und „andere“ zusammensetzt. Folgende Parameter liegen dabei zu Grunde:

- Berechnung auf Grundlage des in der energetischen Bilanz ermittelten Endenergiebedarfs. Annahme einer 100%-igen Nutzung des Energieträgers ohne Berücksichtigung gebäudeanlagentechnischer Komponenten⁷⁸.
- Betrachtung der Vorketten von der Rohstoffgewinnung über die Lieferung bis zur Nutzung im Gebäude inklusive der Bau-Vorleistungen⁷⁹, des nicht-stationären Transports⁸⁰ und der Gutschriften⁸¹.
- Alle Prozesse auf Grundlage der GEMIS-Datenbank 4.3, Stand Januar 2006.
- Treibhausgasfaktoren nach IPCC 2001, Zeithorizont 100 Jahre.
- Geographischer Bezug Deutschland.
- Betrachtungszeitraum 20 Jahre (vgl. Kapitel 5.2.3).
- Energieträger Kohle:
Steinkohle-Briketts, Gewinnung aus Tiefbau, Aufbereitung in Brikettfabrik, Transport, GEMIS-Prozess „Fabrik\Stk-Brikett-DE-2000“, Transport mit „LKW-D-2000“.
- Energieträger Gas:
Erdgasmix für Deutschland, Pipelinegas zu 32 % aus Russland, 20 % aus den Niederlanden, 30 % aus Norwegen und 18 % aus Deutschland, GEMIS-Prozess „Pipeline\Gas-DE-2000-mix-lokal“.
- Energieträger Öl:
Leichtes Raffinerie-Heizöl aus Rohöl-Mix für Deutschland, zu 3,5 % aus Deutschland, 30 % aus Russland, 31 % aus der EU, 35,5 % aus OPEC-Ländern, GEMIS-Prozess „Raffinerie\Öl-leicht-DE-2000“.
- Energieträger Strom:
Strommix für Deutschland 2005, Gewinnung zu 47 % aus Stein- und Braunkohlekraftwerken, 10,5 % aus Gas- und Ölkraftwerken, 29 % aus Atomkraftwerken, 2,5 % aus Müllkraftwerken, 11 % aus regenerativer Erzeugung, Verteilung über Hoch-, Mittel- und Niederspannungsnetz inklusive Umspannung, auf Grundlage des GEMIS-Prozesses „Netz-el-De-Verteilung-NS-2000“ mit für das Jahr 2005 angepassten prozentualen Erzeugeranteilen [nach 67].
Strommix für Deutschland 2020, Gewinnung zu 47,2 % aus Stein- und Braunkohlekraftwerken, 25,3 % aus Gas- und Ölkraftwerken, 5,3 % aus Atomkraftwerken,

⁷⁸ Die Anlagenverluste werden bereits bei der Endenergieberechnung berücksichtigt, der Hilfsstrom wird dort bereits getrennt ausgewiesen, die Anlage selbst geht nicht in die Bilanz mit ein (vgl. Kapitel 4.4.4).

⁷⁹ Materialvorleistungen zum Bau aller betrachteten Prozesse werden berücksichtigt.

⁸⁰ Alle mobilen Gütertransporte im Rahmen der betrachteten Prozesse werden berücksichtigt.

⁸¹ Gutschriften, etwa durch doppelte Nutzung von Energieträgern, werden berücksichtigt.

2,5 % aus Müllkraftwerken, 19,7 % aus regenerativer Erzeugung [Prognose nach EWI, vgl. 78], Verteilung über Hoch-, Mittel- und Niederspannungsnetz inklusive Umspannung, auf Grundlage des GEMIS-Prozesses „Netz-el-De-Verteilung-NS-2020“.

Strom regenerativ für Deutschland 2005, Gewinnung zu 49 % aus Wasserkraftwerken, 45 % aus Windkraftwerken, 5 % aus Holzkraftwerken, 1 % aus Solar-kraftwerken, GEMIS-Prozess „Netz-el-De-Verteilung-NS-regenerativ“.

Strom Fotovoltaik, Einspeisung aus Haushalten in Deutschland, monokristalline Module mit Alu-Rahmen, aufgeständert, Verteilung über Hoch-, Mittel- und Niederspannungsnetz inklusive Umspannung, GEMIS-Prozess „Netz-el-De-Verteilung-NS-Fotovoltaik“.

- Energieträger Fernwärme:

Fernwärme-Mix für Hamburg, zu 20 % aus Kohle Heizkraftwerken, 10 % Gas-Blockheizkraftwerken, 20 % Gas Heizkraftwerken, 45 % Gas- und Dampfturbinen Heizkraftwerken, 5 % Müll Heizkraftwerken, GEMIS-Prozess „Netz\Fernwärme-DE-2020“.

- Energieträger Holzpellets:

Holzpellets aus aufbereiteten Sägespänen der Holzwirtschaft, Transport, GEMIS-Prozess „Fabrik\Holz-Pellets-Holzwirtschaft-DE-2000“, Transport mit „LKW-D-2000“.

Während für die Energieträger Kohle, Gas, Öl, Holzpellets und Fernwärme bei der Berechnung des KEA und der Wirkungsindikatoren die Prozessketten über den Betrachtungszeitraum als unveränderlich angenommen worden sind, wurde bei dem Strommix davon ausgegangen, dass sich dessen Zusammensetzung im Laufe der nächsten 20 Jahre ändert. So sind die Ergebnisse für diesen Energieträger die aufaddierten Werte von zwei 10-Jahresabschnitten, dessen erstem der Strommix 2005 und dessen zweitem der Strommix 2020 zu Grunde liegt, womit sich vereinfachend die prognostizierte Veränderung hinsichtlich der Stromerzeugung berücksichtigen lässt.

5.3 Berechnungsergebnisse

Im Folgenden werden zunächst die Berechnungsergebnisse bezüglich des Gebäudeendenergiebedarfs, die auf Grundlage der in Kapitel 5.1 und 5.2 beschriebenen Eingabedaten und Randbedingungen für den Ist-Zustand des Gebäudes „Kleine Freiheit 46-48“ ermittelt worden sind, mit dem tatsächlichen Endenergieverbrauch verglichen, um anschließend die weiteren Berechnungsergebnisse detailliert darzustellen und zu analysieren.

5.3.1 Vergleich von realem Verbrauch und berechnetem Bedarf

Tatsächlicher Energieverbrauch „Kleine Freiheit 46-52“			
in kWh/a Endenergie getrennt nach Energieträger, Bezugsjahr 2001, bezogen auf eine Gebäudehälfte			
1. Kohle			
1.1		Heizwärme:	
		62.443	
nach Angaben Kohlehändler und in Relation zu 2.1.3 angenommen ¹			
2. Gas			
2.1		gesamt:	
		79.734	
aus Abrechnung des Versorgungsunternehmens ¹			
2.1.1	Kochen:	2.1.2	Warmwasser:
	525		3.890
		2.1.3	Heizwärme:
			75.319
Angenommen mit 350 kWh/a pro Wohneinheit mit 3 Personen, abgeleitet nach VDEW ²		Angenommen mit 1.945 kWh/a pro Wohneinheit mit 3 Personen bei 35 l WW/Person und Tag auf 45 °C, Wirkungsgrad 80 %	
		2.1 - (2.1.1+2.1.2)	
3. Strom			
3.1		gesamt:	
		72.361	
aus Abrechnung des Versorgungsunternehmens ¹			
3.1.1	Allgemein:	3.1.2	Haushalt:
	1.768		28.308
		3.1.3	Warmwasser:
			10.322
		3.1.4	Heizwärme:
			31.963
aus Abrechnung des Versorgungsunternehmens ¹		3.1- (3.1.1+3.1.2+3.1.4)	
		aus Abrechnung des Versorgungsunternehmens ¹	

¹ Nach Innovatec.² Vgl. [66].

Tabelle 9: Endenergieverbrauch 2001

Tabelle 9 zeigt den Bestandsendenergieverbrauch des Jahres 2001 getrennt nach eingesetzten Energieträgern. Der jeweilige Gesamtverbrauch bezieht sich auf Abrechnungen der Versorgungsunternehmen bzw. auf Händlerangaben. Die weitere Unterteilung in einzelne Versorgungsbereiche beruht für die Fälle, in denen diesbezügliche Unterlagen vorhanden waren, ebenfalls auf Abrechnungen und ist in den übrigen Fällen unter Annahme von Durchschnittsverbrauchswerten vorgenommen worden.

Auf dieser Grundlage kann ein Vergleich der Verbrauchsdaten mit den Bedarfsdaten⁸² erfolgen, um die Plausibilität der Berechnungsergebnisse zu überprüfen. In Tabelle 10 ist der jeweilige normierte Endenergieverbrauch des Jahres 2001 für Warmwasser und Heizwärme getrennt nach Energieträger dem berechneten Bedarf zugeordnet.

Vergleich Energieverbrauch und Bedarf „Kleine Freiheit 46-52“					
in kWh/a Endenergie getrennt nach Energieträger, Verbrauchsdaten normiert ¹ , bezogen auf eine Gebäudehälfte					
		Kohle	Gas	Strom	Gesamt
Verbr.	Warmwasser	0	3.890	10.322	14.212
	Heizwärme	62.443	75.319	31.963	169.725
Bed.	Warmwasser	0	3.828	9.149	12.977
	Heizwärme	55.449	76.486	31.435	163.370

¹ G10 [Kd] 2001 bezogen auf das langjährige Mittel der Jahre 1971-2000 für Hamburg, Faktor 1,0.

Tabelle 10: Vergleich Endenergieverbrauch und Bedarf

Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit einer Abweichung von jeweils unter 2 % von tatsächlichen und berechneten Werten bei der Heizwärmeversorgung mit Gas und Strom sowie in Bezug auf die Warmwasserversorgung mit Gas. Deutlichere Unterschiede sind für die Warmwasserversorgung mit Strom und die Heizwärmeversorgung mit Kohle zu erkennen. Hier liegt der berechnete Bedarf jeweils unter den tatsächlichen Werten. Diese Abweichungen sind größtenteils auf die in den Verbrauchswerten enthaltenen, bei der Berechnung aber nicht berücksichtigten (vgl. Kapitel 5.1.1) Dachgeschosswohnungen zurückzuführen, bei denen der beheizte Bereich mit Kohleeinzelöfen versorgt und das Warmwasser mittels Elektrodurchlauferhitzer bereitgestellt wurde. Bei einer Dachausbaugrundfläche von 45 m² je Gebäudehälfte und einer darauf bezogenen überschlägigen Hochrechnung des jeweiligen Energiebedarfs auf Grundlage der berechneten Bedarfsdaten⁸³ ergibt sich pro Gebäudehälfte ein zusätzlicher Heizwärmebedarf aus Kohle von 7.382 kWh/a⁸⁴ und ein zusätzlicher Warmwasserbedarf aus Strom von 1.037 kWh/a, womit der jeweilige Gesamtenergiebedarf den Verbrauchswerten im Wesentlichen entspricht. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Berechnungen auf Grundlage der in Kapitel 5.1 und 5.2 beschriebenen Parameter und Randbedingungen die tatsächlichen Gegebenheiten des Be-

⁸² Mit Verbrauch werden die tatsächlich verbrauchten und mit Bedarf die berechneten Energiemengen bezeichnet.

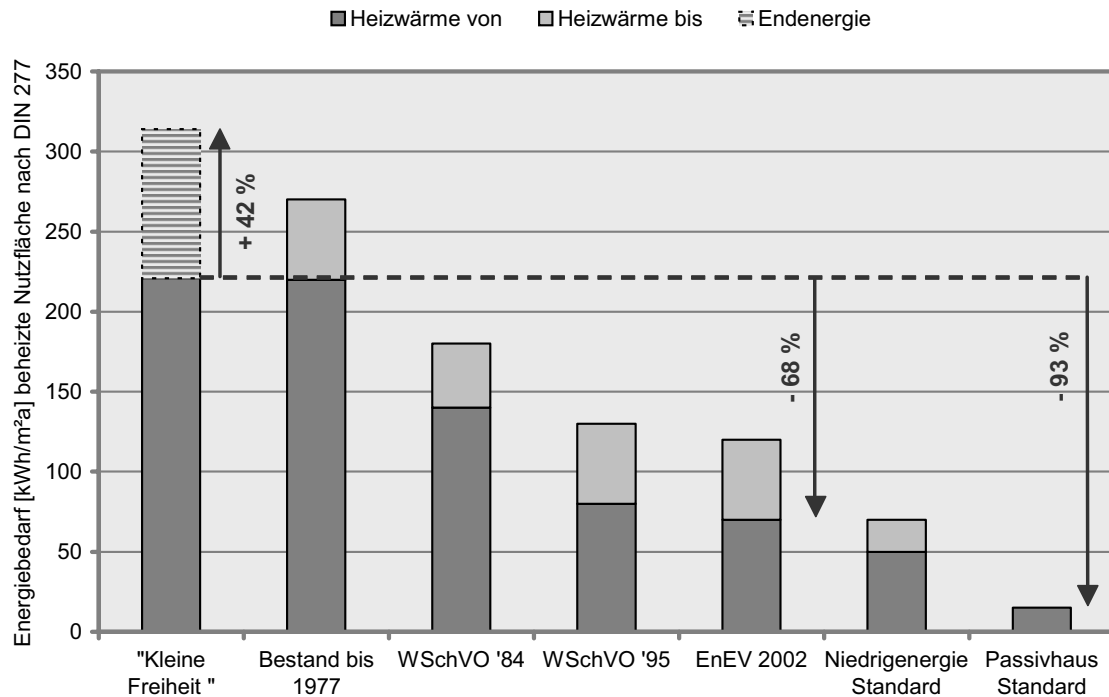
⁸³ Warmwasser: 23,04 kWh/m²a, Heizwärme: 328,1 kWh/m²a.

⁸⁴ Eine Dachgeschosswohnung besaß kein Heizsystem (siehe Kapitel 3.2.4).

standsgebäudes mit ausreichender Genauigkeit widerspiegeln und als Basis für die weiteren Untersuchungen verwendet werden können.

5.3.2 Energetische Bilanz

Abbildung 45 zeigt den Heizenergiebedarf für das Untersuchungsobjekt im Vergleich zu verschiedenen energetischen Standards in Deutschland. Weiterhin ist der berechnete Endenergiebedarf für Heizwärme, Warmwasser und Anlagenstrom angegeben.



Nach [43 und 91].

Abbildung 45: Energiebedarf im Vergleich

Das Gebäude „Kleine Freiheit 46-48“ befindet sich mit einem Heizwärmebedarf von 221 kWh/m²a im Bereich des durchschnittlichen, vor 1970 errichteten Gebäudebestandes. Im Vergleich zu dem derzeit von der EnEV vorgeschriebenen energetischen Standard ist der Heizwärmebedarf ca. 2,5 mal so hoch wie für durchschnittliche Neubauten und im Vergleich zur Passivhausbauweise fast 15 mal höher. Da nach der Energieeinsparverordnung die Nutzfläche AN, welche aus dem Gebäudebruttovolumen abgeleitet wird, als Bezugsgröße gilt, wird der Energiebedarf häufig auch mit diesem Flächenbezug angegeben. So ist diesbezüglich in einer Studie der Bremer Energie-Konsens GmbH der durchschnittliche Heizwärmebedarf für vor 1918 errichtete Etagenhäuser mit 160 kWh/m²a ausgewiesen [117, S. 11]. Auf AN bezogen beträgt der Heizwärmebedarf für das Untersuchungsobjekt 161 kWh/m²a, so dass auch in diesem Fall eine gute Übereinstimmung festzustellen ist. Das Untersuchungsobjekt weist damit

den für seine Gebäudeklasse typisch hohen Energiebedarf auf, der deutlich über dem Bedarf von heute gefordertem bzw. möglichen energetischen Standards liegt. Der Endenergiebedarf ist dabei mit 314 kWh/m²a noch einmal um 42 % größer als der Heizwärmebedarf. Ursächlich hierfür sind insbesondere die ungedämmte Leitungen, hohe Speicherverluste und ein schlechter Wirkungsgrad der veralteten Anlagentechnik.

Die Auswertung der berechneten jährlichen energetischen Bilanz mit Darstellung der einzelnen Wärmegewinne und Verluste ist in Abbildung 46 dargestellt.

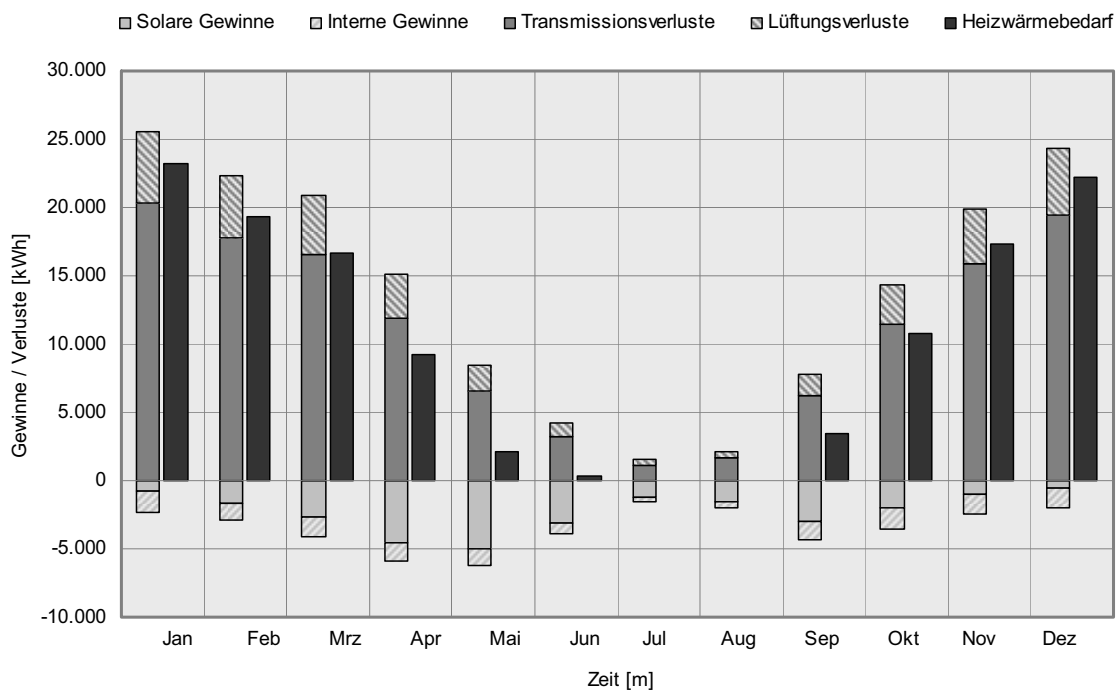


Abbildung 46: Wärmebilanz

Der überwiegende Teil der Verluste ist auf die Transmission über die Hüllflächen zurückzuführen. Die Lüftungswärmeverluste tragen insbesondere in den Wintermonaten mit einem Anteil von ca. 20 % einen größeren Anteil zu den Gesamtverlusten bei, was auf Grund der schlechten Luftdichtheit und der damit verbundenen hohen Luftwechselrate erklärlich ist. Im Verhältnis zu den Verlusten fallen die solaren und internen Gewinne deutlich niedriger aus. Auf Grund eines Fensterflächenanteils an der gesamten wärmeübertragenden Hüllfläche von nur 12,4 %, der sich vor allem durch die fast fensterlosen Seitenwände des rückwärtigen Gebäudeteils und den ebenfalls fast fensterlosen Lichtschacht erklärt, sowie einer weitgehenden Verschattung der am Lichtschlitz gelegenen Fenster können keine größeren solaren Gewinne erzielt werden. Durch die Massivität des Bauwerks mit seiner großen Speichermasse werden die vorhandenen Wärmegewinne allerdings gut ausgenutzt, was insbesondere in den Frühjahrsmonaten auffällt. Die Verluste sind in den Monaten Juni bis August so gering,

dass sie fast vollständig durch die Gewinne ausgeglichen werden und auf eine Beheizung des Gebäudes in diesem Zeitraum im Wesentlichen verzichtet werden kann.

Die detaillierte Darstellung der Transmissionswärmeverluste in Abbildung 47 zeigt für die zu Bauteilgruppen zusammengefassten Hüllflächen deren prozentualen Anteil an den Gesamtverlusten über die Bauteile.

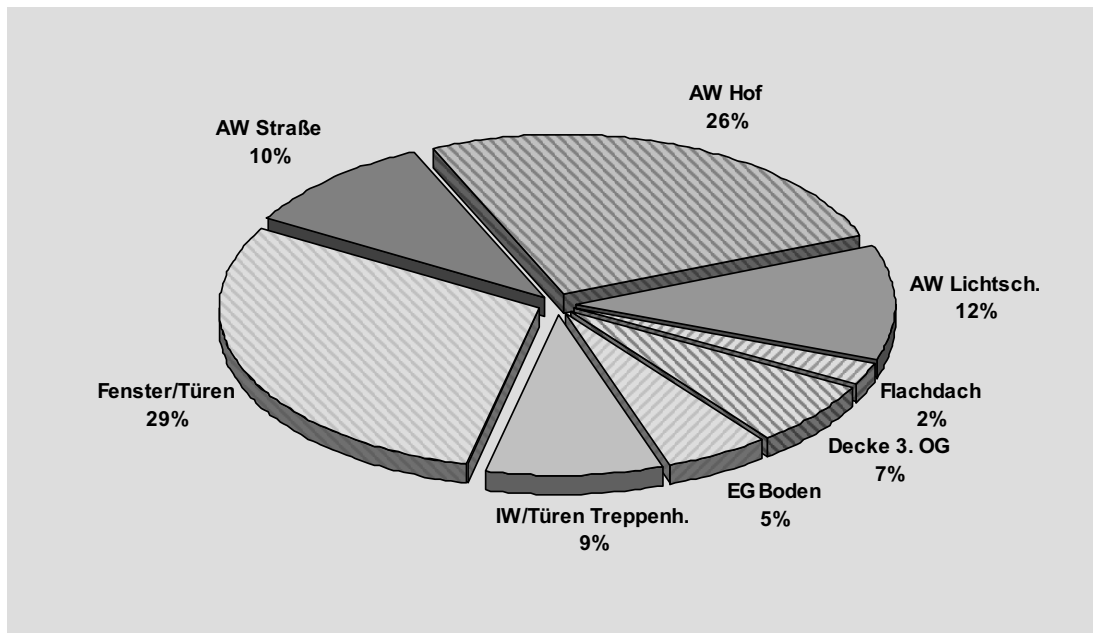


Abbildung 47: Transmissionswärmeverluste Ist-Zustand

Auf den Bereich der Außenwandflächen entfallen dabei knapp die Hälfte aller Verluste. Davon sind mehr als 50 % den hofseitigen Wänden zuzuordnen, was auf die T-Grundrisskonzeption zurückzuführen ist. Der Lichtschacht hat mit 12 % einen noch größeren Anteil an den Gesamtverlusten als die straßenseitige Fassade. Den größten Einzelanteil weisen die Fenster und Fenstertüren auf, denen 29 % der Wärmeverluste zuzuordnen sind. Dieser trotz des geringen Fensterflächenanteils große Beitrag zu den Verlusten erklärt sich dadurch, dass zwei Drittel der Verglasungen Einfachscheiben sind und der Rest lediglich aus alter Isolierverglasung besteht. Während über den flächenmäßig kleinen Anteil des Flachdaches nur 2 % der Gesamtverluste zu verzeichnen sind, können ca. 20 % aller Wärmeverluste den an die unbeheizten Zonen angrenzenden Bauteilen zugeordnet werden.

In Tabelle 11 sind die berechneten mittleren U-Werte der Bauteilgruppen zusammengefasst (detaillierte U-Wertberechnung siehe Anhang A 3) und den Anforderungen der Energieeinsparverordnung für Altbauten bei erstmaligem Bauteileinbau gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass keine der Hüllflächen den heutigen energetischen Anforder-

ungen entspricht. Der spezifische auf die Hüllfläche bezogene Transmissionswärmeverlust H_T ⁸⁵ liegt bei einem A/V-Verhältnis⁸⁶ von 0,48 mit 1,57 W/m²K 153 % über dem zulässigen EnEV-Wert von 0,62 W/m²K für vergleichbare Neubauten.

U-Werte der Bauteilgruppen „Kleine Freiheit 46-52“		
in W/m ² K im Vergleich zu den EnEV-Anforderungen für bestehende Gebäude bei erstmaligem Bauteileinbau		
	Bestand	EnEV
Ziegelmauerwerk Außenwände	1,09 - 2,24	0,45
Ziegelmauerwerk zu unbeheizter Zone	1,61 - 2,01	0,50
Fenster	2,54 - 5,1	1,70
Erdgeschossfußboden	0,83 - 1,54	0,50
Flachdach	0,73	0,25
Decke 3. Obergeschoss	0,93	0,50

Tabelle 11: U-Werte der Bauteilgruppen

5.3.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Für den Ist-Zustand sind in Abbildung 48 die nominalen Gesamtenergie- und Wartungskosten nach 20 Jahren für die beiden untersuchten Energiekostensteigerungsszenarien⁸⁷ dargestellt. Im Falle der moderaten Energiepreissteigerung des ersten Szenarios ergeben sich 436.263,- € und im Falle der höheren Verteuerungsraten des zweiten Szenarios 587.022,- € an Gesamtkosten, was eine Steigerung von mehr als 34 % darstellt. Obwohl Strom mit 25 % den kleinsten Anteil an der Heizwärmeversorgung abdeckt, sind die Kosten für diesen Energieträger in beiden Szenarien mit jeweils knapp 50 % Anteil an den Gesamtenergiekosten deutlich höher als die Aufwendungen für Erdgas⁸⁸ und Kohle. Trotz der für den Bestand erhöhten jährlichen Wartungskosten sind die diesbezüglichen Gesamtkosten mit 5,5 % und 4,1 % Anteil an den Gesamtaufwendungen im Verhältnis zu den Energiekosten niedrig.

⁸⁵ Mittlerer U-Wert aller Hüllflächen.

⁸⁶ Verhältnis von wärmeübertragender Hüllfläche zu davon umgebenem Bruttovolumen.

⁸⁷ Vgl. Kapitel 5.2.3.

⁸⁸ Inklusiv Warmwassererzeugung.

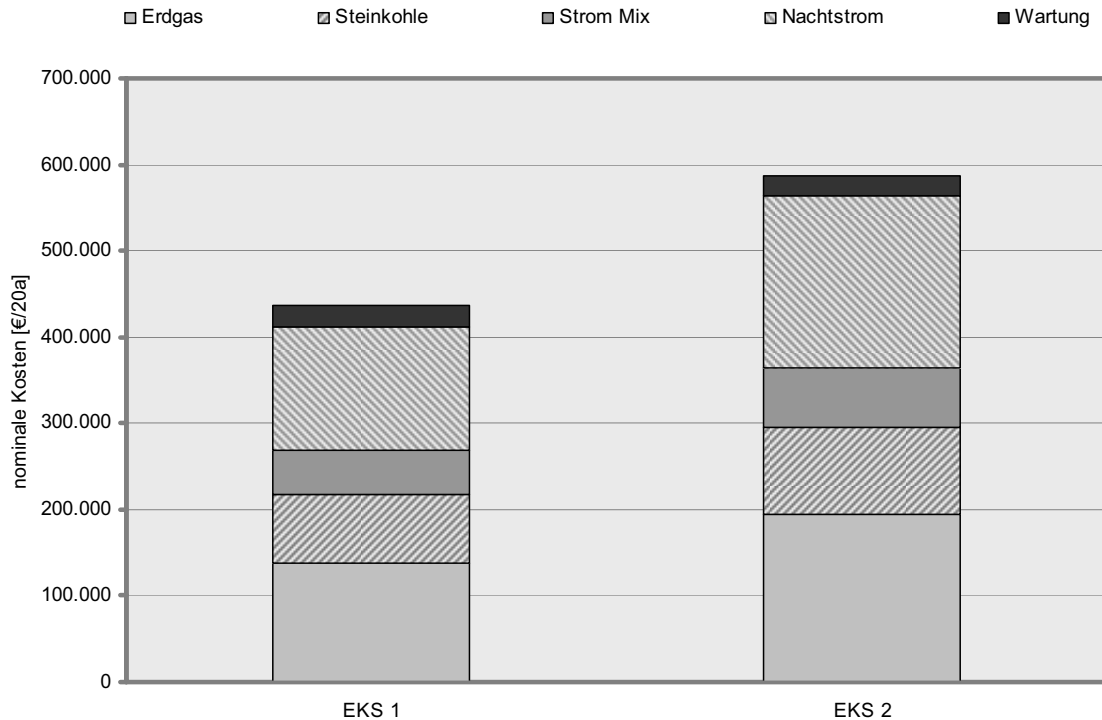


Abbildung 48: Energie- und Wartungskosten im Bestand

Die dargestellten Kosten dienen im Folgenden als Referenzwert für die Untersuchungen der einzelnen energetischen Optimierungsvarianten.

5.3.4 Ökologische Bilanz

Abbildung 49 zeigt den Heiz- und Warmwasserwärmebedarf im Vergleich zu dem daraus resultierenden Endenergie- und Primärenergiebedarf mit den jeweiligen Anteilen für die verschiedenen Energieträger.

Da ein größerer Anteil der Warmwasser- und Raumwärmeversorgung mit Strom erfolgt, dessen Erzeugung sehr primärenergieintensiv ist⁸⁹, liegt der Primärenergiebedarf des Untersuchungsobjektes mit 264.374 kWh/a deutlich höher als der Endenergiebedarf. Zur Bereitstellung der tatsächlich im Gebäude benötigten Wärme muss eine fast doppelt so große Energiemenge eingesetzt werden, was sich in der entsprechend ungünstigen Anlagenaufwandszahl⁹⁰ von 1,96 ausdrückt.

⁸⁹ Primärenergiefaktoren nach GEMIS-Berechnung: Strom 2.76, Gas 1.14, Kohle 1.08.

⁹⁰ Quotient aus Primärenergie- und Wärmebedarf als Maß für die energetische Qualität der Anlagentechnik.

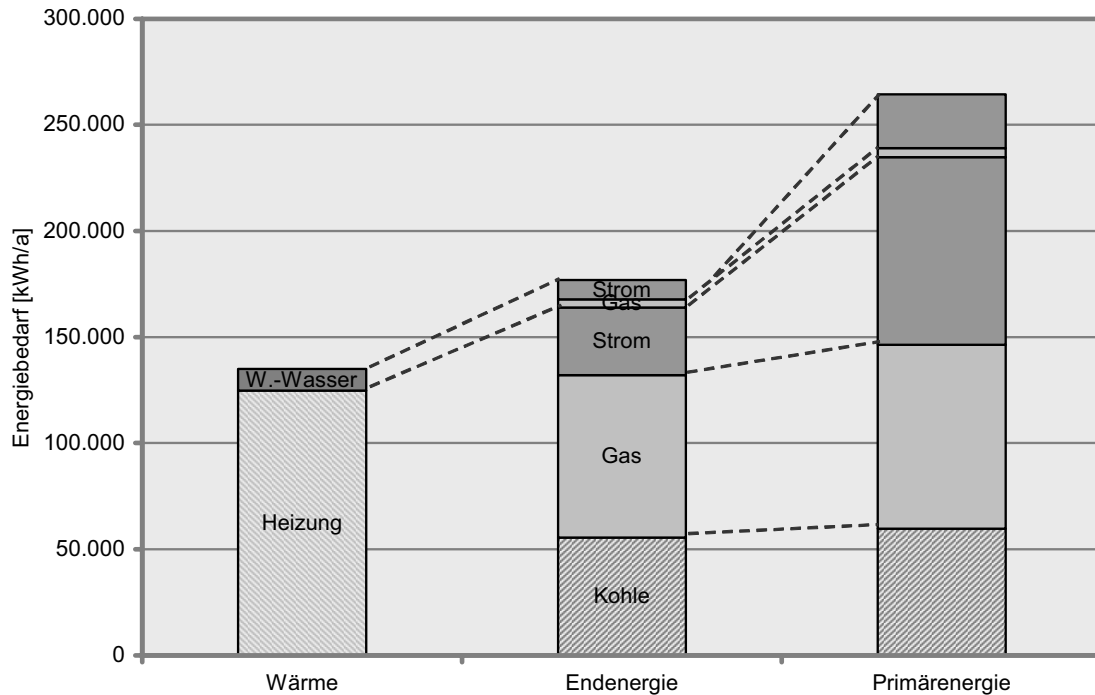


Abbildung 49: Wärme-, End- und Primärenergiebedarf im Vergleich

Die Berechnung der aggregierten Kennwerte über den Betrachtungszeitraum ergibt folgende Gesamtbilanz nach 20 Jahren:

- Primärenergiebedarf ($KEA_{n,e.+a.}$): 5.005,86 MWh.
- Global Warming Potential (GWP): 1.369,63 t CO₂-Äquivalent.
- Acidification Potential (AP): 3,48 t SO₂-Äquivalent.

Zur Versorgung des Gebäudes mit Heizwärme und Warmwasser inklusive Hilfsstrom müssen in einem Zeitraum von 20 Jahren im Ist-Zustand mehr als 5 GWh an Primärenergie aufgewandt werden. Dies führt zu einer Neuemission von über 1,3 Millionen kg CO₂-Äquivalent und knapp 3,5 t SO₂-Äquivalente. Diese Daten werden im Folgenden als Referenzwert für die Untersuchungen der einzelnen energetischen Optimierungsvarianten zu Grunde gelegt.

Kapitel 6

Anlagentechnik

6.1 Übersicht

Nach der in Kapitel 4 beschriebenen Methodik sind zunächst verschiedene anlagentechnische Optimierungsvarianten untersucht und bewertet worden. Es wurde dazu ein Excel-Tool entwickelt (Beispielblatt siehe Anhang A 11), mit dem alle relevanten Randbedingungen sowie der nach Energieträgern aufgeteilte Energieverbrauch für jede Optimierungsvariante eingegeben und variiert werden können und mit welchem sich auf Grundlage der beschriebenen Rechen- und Bewertungsverfahren die Kosten, der kumulierte Energieaufwand und die Wirkungsindikatorwerte jeder Variante ermitteln sowie die Ergebnisse in vergleichenden Diagrammen visualisieren lassen.

Neben der Bestandsanlage mit den dezentralen Kohleöfen, Gasgeräten und Nachspeicherheizungen sind noch die Fälle einer wohnungszentralen Versorgung über Gasthermen sowie einer zentralen Anlagentechnik mit Konstanttemperatur-Ölkessel als Referenzanlagen betrachtet worden. Mit dem Mix aus verschiedenen, überwiegend dezentralen Systemen im Bestandsfall wird die Kategorie der raumweisen anlagentechnischen Systemen repräsentiert, die mit 43,8 % den zweitgrößten Anteil bei den Beheizungsarten im gründerzeitlichen Wohnungsbestand ausmacht und bei der überwiegend Strom als Energieträger genutzt wird (siehe Tabelle 12). Da bei der mit 45,2 % größten Kategorie der zentralen Gebäudeversorgung die ölbefeuerten Systeme den Hauptanteil ausmachen und bei den wohnungszentralen Systemen die gasbeheizten Anlagen dominieren, bietet sich die Berechnung der Referenzanlagen „Gasthermen“ und „Ölzentralheizung“ an, um damit die wichtigsten Bestandsvarianten jedes der drei Versorgungskonzepte⁹¹ abzubilden und die Optimierungsvarianten so mit den gängigsten anlagentechnischen Bestandssystemen vergleichend bewerten zu können.

Auf Seiten der Optimierungsvarianten sind lediglich zentrale und keine wohnungswei-

⁹¹ „Zentral“, „wohnungszentral“ und „raumweise“.

sen anlagentechnischen Lösungen betrachtet worden, da im Vergleich dieser beiden Konzepte die zentralen Lösungen aus ökonomischer und ökologischer Sicht in der Regel vorteilhafter sind [vgl. auch 75]. Da mehr als die Hälfte der gründerzeitlichen Hamburger Etagenhäuser unterkellert ist [vgl. 139, Erhebung] und außerdem in der Regel einen begehbaren Dachbereich aufweist, ist davon auszugehen, dass sich in der überwiegenden Zahl der Fällen eine zentrale Anlagenkonzeption realisieren lässt, auch wenn in Einzelfällen die spezifischen Gegebenheiten gegen bestimmte Lösungsvarianten sprechen können⁹² und immer eine individuelle Überprüfung erfolgen muss. Es wurden dabei Varianten untersucht, die den neuesten Stand der Technik darstellen und gleichzeitig als markteingeführte Standardlösungen umsetzbar sind. Zukunftsweisende, aber noch in der Erprobungsphase befindliche Lösungen wie beispielsweise die Brennstoffzellentechnologie, stellen zur Zeit noch keine breitereprobten Techniken mit dementsprechendem Marktangebot dar, so dass eine Berechnung solcher Lösungen nicht durchgeführt wurde. Auf eine Betrachtung von Blockheizkraftwerken wurde ebenfalls verzichtet, da deren Haupteinsatzgebiet zur Zeit noch bei größeren Einzelobjekten oder Wohnanlagen liegt, die durch ihren gleichmäßigen Strom- und Wärmeeigenbedarf weitgehend auf eine Netzeinspeisung des erzeugten Stroms verzichten können, was von besonderer Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit dieses Systems ist.

		Gesamt	Gas	Heizöl	Strom	Kohle oder Holz	Fernwärme	Kohle u. Öl	Kohle u. Strom	Sonstiges
Zentral	Zahl	53.615	19.128	21.573	1.184	474	11.256	-	-	-
	%	45,2	16,1	18,2	1,0	0,4	9,5	-	-	-
Wohnungszentral	Zahl	13.064	11.068	336	1.165	495	-	-	-	-
	%	11,0	9,3	0,3	1,0	0,4	-	-	-	-
Raumweise	Zahl	52.003	9.667	1.049	31.854	7.072	-	97	1.911	353
	%	43,8	8,1	0,9	26,8	6,0	-	0,1	1,6	0,3
Gesamt	Zahl	118.682	39.863	22.958	34.203	8.041	11.256	97	1.911	353
	%	100,0	33,5	19,4	28,8	6,8	9,5	0,1	1,6	0,3

Stand 1987 nach [156, S. 50, Tabelle 7].

Tabelle 12: Bis 1918 in Hamburg errichtete Wohneinheiten nach Beheizungsart

Es sind insgesamt fünf Basisfälle mit jeweils unterschiedlichem Energieträger und dazu jeweils verschiedene Kombinationen, größtenteils mit Solar- oder Lüftungsanlagen, untersucht worden. Abbildung 50 zeigt eine Übersicht der betrachteten Systeme.

⁹² So kann beispielsweise der Einbau der Anlagentechnik im Dachbereich die statische Verstärkung der vorhandenen Holzbalkendecke oder besondere Brandschutzvorkehrungen erforderlich machen, was zu einer deutlichen Kostenerhöhung gegenüber den betrachteten Standardfällen führen würde.

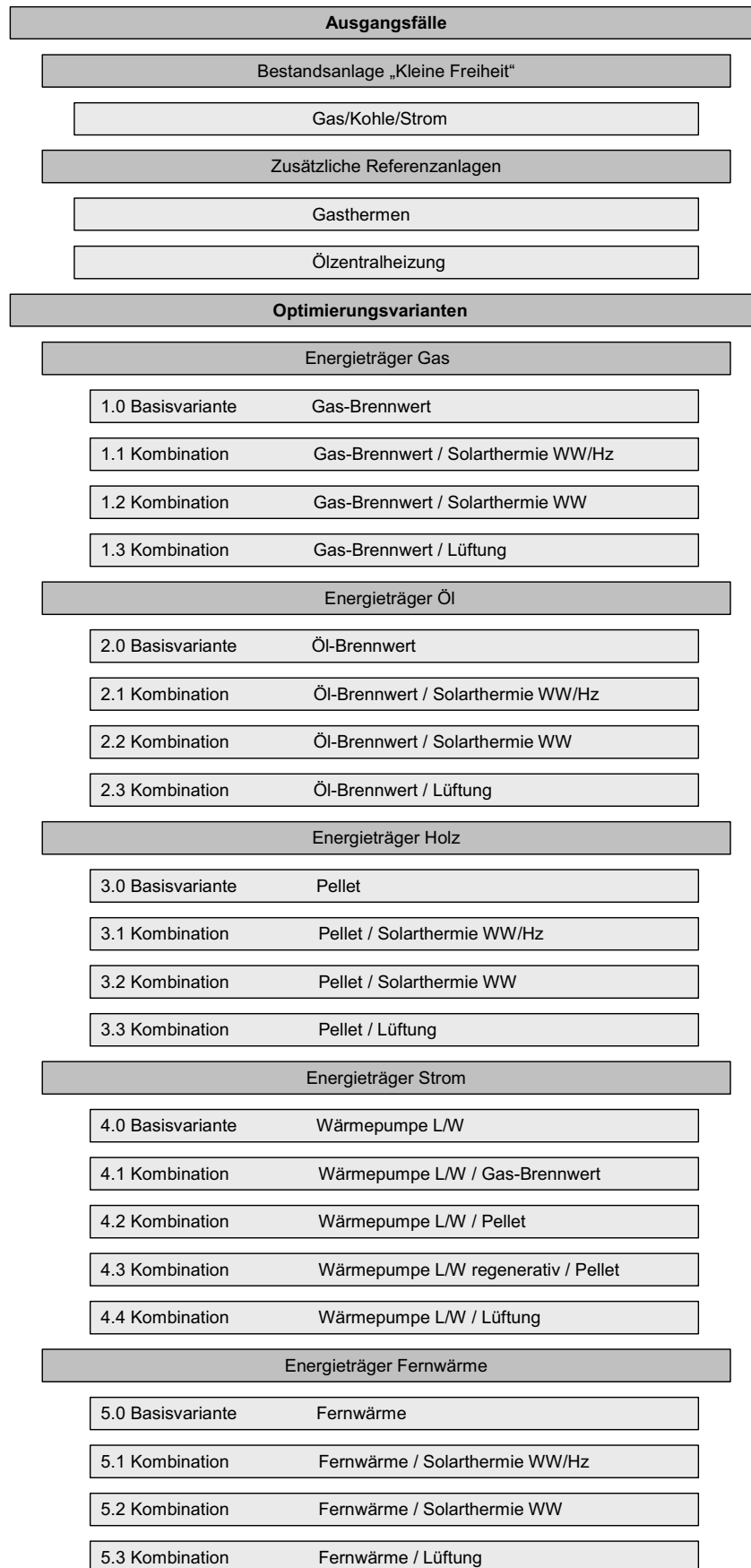


Abbildung 50: Übersicht der anlagentechnischen Systeme

Die Berechnungen für die einzelnen anlagentechnischen Varianten sind jeweils für den Heizwärmebedarf des Ist-Zustandes mit 221 kWh/m²a und für einen bautechnisch umfassend sanierten Zustand durchgeführt worden. Dabei wurde mit 70 kWh/m²a ein der Niedrigenergiebauweise entsprechender Standard als energetisch hochwertige Sanierungsvariante angenommen. Für die unsanierte Variante ist daher eine Kesselleistung für Heizung und Warmwasser von 75 kW und für die sanierte Variante von 30 kW zu Grunde gelegt worden⁹³. Der Ansatz der beiden Varianten dient der Überprüfung, in wie weit sich Bewertung und Rangfolge der einzelnen anlagentechnischen Systeme mit Abnahme des Heizwärmebedarfs und dementsprechender Änderung der Verhältnisse wichtiger Parameter⁹⁴ verändern. Aus dem gleichen Grund sind zusätzlich alle Berechnungen für eine moderate und eine starke Energiepreisssteigerung durchgeführt worden (vgl. Randbedingungen Kapitel 5.2.3, Tabelle 8).

Bei der Betrachtung der Systemkosten über 20 Jahre ist in Kapitalkosten für die Anlagenerstellung, Wartungskosten und Energiekosten unterschieden worden. Zusätzlich sind die Aufwendungen für den Einbau bzw. die Erneuerung des Wärmeverteilsystems mit Leitungsführung und Heizkörpern getrennt ausgewiesen. Sie sind für alle Systeme als gleich hoch angenommen worden und nur im Vergleich mit dem Ist-Zustand relevant, da hier bei Installation einer zentralen Versorgung diese Zusatzinvestition komplett getätigt werden müsste. In Bezug auf die beiden Referenzanlagen erfolgt ein Vergleich ohne Verteilungskosten, da im Bestand bereits ein Verteilsystem vorhanden ist. Es ist dabei im Bereich Heizung von ausreichend groß dimensionierten Heizkörpern ausgegangen worden, die bei den Optimierungsvarianten eine Vorlauf-Rücklaufspreizung von 55°C zu 45°C ermöglichen. Wird dagegen eine teilweise Erneuerung, Erweiterung oder Sanierung des alten Verteilsystems notwendig, liegen die Kosten zwischen den Werten ohne und mit Verteilungskosten.

Anhand der Ergebnisse für die vier Szenarien hoher und niedriger Dämmstandard jeweils bei moderater oder starker Energiepreisssteigerung lassen sich Bestandsanlage, die beiden Referenzanlagen und die Optimierungsvarianten pro Szenario in eine Rangfolge bringen, um so die jeweils optimale anlagentechnische Lösung ermitteln und für die darauf folgende bautechnische Untersuchung übernehmen zu können.

Im Folgenden werden zunächst die Referenzanlagen und die Optimierungsvarianten sowie die zusätzlich zu den bereits erläuterten Randbedingungen angenommenen Parameter beschrieben und danach die Berechnungsergebnisse dargestellt und analysiert.

⁹³ Unsaniert: 124.531 kWh/a (Qh)/1800 zzgl. 6 kW WW; saniert: 39.444 kWh/a (Qh)/1800 zzgl. 8 kW WW.

⁹⁴ Beispielsweise das Verhältnis von Investitions- zu Energiekosten.

6.2 Untersuchte Heiz- und Warmwassersysteme

6.2.1 Referenzanlage Gas-Etagenheizung

- Wohnungszentrale Versorgung mit einer Gastherme Baujahr 1987–1994 für Heizung und Warmwasser.
- Warmwasser im Durchlauferhitzerprinzip.
- Radiatoren an den Außenwänden, Auslegungstemperatur 70°C/55°C.
- Verteilung mit unregelter Pumpe.
- Aufstellung und Verteilung im beheizten Bereich.

6.2.2 Referenzanlage Öl-Zentralheizung

- Gebäudezentrale Versorgung mit einer Ölheizung Baujahr 1987–1994 für Heizung und Warmwasser, Standard Gebläsekessel.
- Indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher Baujahr 1987-1994.
- Warmwasserzirkulation.
- Heizkreispufferspeicher.
- Radiatoren an den Außenwänden, Auslegungstemperatur 70°C/55°C.
- Verteilung mit unregelter Pumpe.
- Aufstellung und Horizontalverteilung im unbeheizten Keller, Strang- und Stichleitungen im beheizten Bereich.

6.2.3 Basisvariante Gas-Brennwert-Zentralheizung

- Gebäudezentrale Versorgung mit einem Gas-Brennwertkessel für Heizung und Warmwasser.
- Indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher.
- Warmwasserzirkulation.
- Heizkreispufferspeicher.
- Radiatoren an den Außenwänden, Auslegungstemperatur 55°C/45°C.
- Verteilung mit geregelter Pumpe.
- Aufstellung und Horizontalverteilung im unbeheizten Keller, Strang- und Stichleitungen im beheizten Bereich.

6.2.4 Basisvariante Öl-Brennwert-Zentralheizung

- Gebäudezentrale Versorgung mit einem Öl-Brennwertkessel für Heizung und Warmwasser.
- Öltankanlage je nach Heizwärmebedarf mit 9.000 l bzw. 3.000 l Füllmenge.
- Alle übrigen Parameter wie 6.2.3.

6.2.5 Basisvariante Pellet-Zentralheizung

Bei den mit Holz beheizten Systemen werden alternativ zu den Pelletkesseln auch Anlagen angeboten, die mit Hackschnitzeln oder Scheitholz beschickt werden können. Diese Brennstoffvarianten sind preiswerter als Holzpellets, erfordern aber bei gleichem Energievorrat einen größeren Lagerraum und lassen sich nicht einblasen, was im Bestand mit häufig beengten Platzverhältnissen zu Problemen führen kann und beispielsweise eine Anlagenumsetzung im Dachraum erschweren würde. Aus diesem Grund liegt den Berechnungen eine reine Pelletlösung zu Grunde.

- Gebäudezentrale Versorgung mit einem Pelletkessel für Heizung und Warmwasser, nur indirekte Wärmeabgabe.
- Festes Pelletlager mit schiefer Ebene und Förderschnecke.
- Alle übrigen Parameter wie 6.2.3.

6.2.6 Basisvariante Wärmepumpen-Zentralheizung

Bei den Wärmepumpenlösungen kommen als Energiequelle in der Regel Luft, die oberflächennahen oder durch Erdsonden erschließbaren tieferen Erdschichten und das Grundwasser in Frage. Die Erdwärmekollektoren für die oberflächennahe Wärme benötigen eine große Fläche, welche normaler Weise bei den knapp bemessenen Grundstücken der gründerzeitlichen Etagenhäuser nicht vorhanden ist. Für die Erdsonden und die Grundwassernutzung müssen Bohrungen ausgeführt werden, was für die Anlieferung der Maschinen eine Zugänglichkeit des Grundstückes von der Strasse aus voraussetzt, die für die meisten gründerzeitlichen Hofflächen auf Grund der geschlossenen Blockrandbebauung ebenfalls nicht gegeben ist. Aus diesen Gründen kommt für die Wärmepumpenbetrachtung lediglich eine Luft/Wasser Lösung in Frage, wobei sich auf Grund der großen benötigten Luftmengen ein Splitgerät mit Verdampfer im Hofbereich oder auf dem Dach bei Aufstellung des Gerätes innerhalb der Gebäudehülle anbietet.

- Gebäudezentrale Versorgung mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser.

- Spitzenlastdeckung mit Elektroheizstab im bivalent/parallelen Betrieb.
- Alle übrigen Parameter wie 6.2.3.

6.2.7 Kombination Wärmepumpe und Gas-Brennwert-Zentralheizung

Bei dieser Anlagenvariante wird der benötigte Leistungsbedarf zu gleichen Teilen auf die beiden Wärmeerzeuger L/W-Wärmepumpe und Gas- Brennwertheizung bei im Übrigen gleicher Anlagenkonzeption wie bei der reinen Gas-Brennwertlösung aufgeteilt.

6.2.8 Kombination Wärmepumpe und Pellet-Zentralheizung

Adäquat zu 6.2.7 dient diese Variante einer Untersuchung der Kombination aus L/W Wärmepumpe und Pelletkessel.

6.2.9 Kombination Wärmepumpe regenerativ und Pellet-Zentralheizung

Die Anlagenkonzeption entspricht derjenigen aus 6.2.8, wobei die Wärmepumpe und Anlagentechnik ausschließlich mit regenerativ erzeugtem Strom betrieben wird.

6.2.10 Basisvariante Fernwärme-Zentralheizung

- Gebäudezentrale Versorgung über einen Fernwärmeanschluss für Heizung und Warmwasser.
- Kompakt-Hausstation mit Wärmetauscher und Regelung.
- Alle übrigen Parameter wie 6.2.3.

6.3 Solarthermische Anlagen

Die verschiedenen anlagentechnischen Basisvarianten sind bis auf den Fall der Wärmepumpenlösung jeweils auch in Kombination mit zwei unterschiedlichen solarthermischen Anlagenkonfigurationen berechnet worden. Bei der Wärmepumpenlösung wurde darauf verzichtet, weil sowohl Wärmepumpe als auch Solarthermieanlage im Sommer ihre optimale Leistung erreichen und damit gerade zu Zeiten eines verringerten Energiebedarfs die beste Energieausbeute liefern. Eine für die Wirtschaftlichkeit wichtige möglichst gute Auslastung auch im Sommer ist daher nicht möglich, wenn beide Anlagen für eine ausreichende Deckung des Winterbedarfs ausgelegt wurden.

Bei der Betrachtung der Solarthermieanlagen ist in eine Maximallösung mit Heizungs- und Warmwasserunterstützung, welche die gesamte zur Verfügung stehende Dachflä-

che ausnutzt, und eine kleinere Variante mit halbiertem Flächenanteil und ausschließlicher Warmwasserunterstützung unterschieden worden. Bei dem Untersuchungsobjekt stehen auf dem Flachdach des straßenseitigen Gebäudeteils ca. 78 m² südausgerichtete und unverschattete Grundfläche zur Verfügung. Der tiefer gelegene Flachdachanteil des hinteren Gebäudeabschnitts ist nicht ohne Weiteres für die Aufstellung von Solaranlagen geeignet, da er bei nicht direkter Südausrichtung durch den höheren vorderen Dachbereich verschattet wird. Daher wurde nur die Fläche des höher gelegenen Flachdachbereiches als zur Verfügung stehende Grundfläche angenommen.

Mit dem Simulationsprogramm Get Solar [5] sind für die alleinige Warmwasserunterstützung sowie die kombinierte Heizungs- und Warmwasserunterstützung bei hohem und niedrigen Heizwärmebedarf zunächst die jeweiligen solaren Deckungsanteile berechnet worden, welche dann bei den energetischen Berechnungen zur Ermittlung des Endenergiebedarfs eingesetzt werden konnten. Diese Vorgehensweise der Simulationsberechnung wird durch die DIN 4701-10 als Alternativverfahren zugelassen [vgl. 38, S. 49] und ermöglicht eine genauere Ermittlung der spezifischen solaren Deckungsanteile als nach dem DIN-Standardverfahren.

Folgende Parameter wurden dabei zu Grunde gelegt:

- Kollektorfläche bei WW/HZ 33,55 m² und bei WW 15,19 m².
- Neigung 30°, Azimut 0°, fest montiert.
- Flachkollektor Buderus SKS 3.0.
- 1.000 l Solarspeicher und 1.500 l Pufferspeicher bei WW/HZ-Unterstützung.
- 1.500 l Solarspeicher bei WW-Unterstützung.
- WetSyn Wetterdatenreihen für Hamburg.

Für den Fall der Warmwasser- und Heizungsunterstützung ergeben sich damit als solaren Deckungsraten bei dem höheren Heizwärmebedarf 58 % für Warmwasser und 2 % für die Heizung sowie bei dem niedrigeren Heizwärmebedarf 58 % für Warmwasser und 6 % für die Heizung. Bei einer reinen Warmwasserunterstützung liegt die solare Deckungsrate bei 46 % (siehe Anhang A 7).

Durch die Solarunterstützung wird der Endenergiebedarf reduziert, so dass die Energiekosten dementsprechend sinken und eine günstigere ökologische Bewertung erreicht wird. Demgegenüber stehen die erhöhten finanziellen Aufwendungen für die Anlageninstallation.

6.4 Lüftungsanlage

Die einzelnen Basissysteme sind jeweils zusätzlich als Kombination mit wärmerückgewinnender Lüftungsanlage berechnet worden. Hierbei wurde eine wohnungsweise Anlageninstallation mit einem zentralen Lüftungsgerät pro Wohneinheit und Verteilung über den Wohnungsflurbereich angenommen. Diese Variante wurde gegenüber der gebäudezentralen Ausführung ausgewählt, da eine zentrale Anlage auf Grund der vertikal durch das Gebäude zu führenden größeren Lüftungsrohrquerschnitte sowie der Brand- und Schallschutzproblematik im Altbaubereich schwieriger zu realisieren ist und sich zudem hinsichtlich der Gesamtinstallationskosten nicht wesentlich von der wohnungszentralen Lösung unterscheidet [vgl. auch 133, S. 26]. Die Berechnungen beziehen sich dabei auf ein Lüftungsgerät mit einem Wärmebereitstellungsgrad größer als 80 %, ohne Nachheizung und mit DC-Ventilatoren.

6.5 Fotovoltaik

Als ergänzende Untersuchung ist zusätzlich zu den beschriebenen Variantenbetrachtungen der wirtschaftliche und ökologische Effekt einer Nutzung der Flachdachfläche mit Fotovoltaikmodulen berechnet worden. Es wurde dabei von einer netzgebundenen Anlage ausgegangen, deren gesamter erzeugter Strom in das öffentliche Netz einspeist wird.

Mit Hilfe eines dafür entwickelten Excel-Tools ist die Kostenbilanz der Fotovoltaikanlage ermittelt und eine Berechnung der Gewinne oder Verluste vor Steuern nach Ende des 20 jährigen Betrachtungszeitraums durchgeführt worden. Für die Kalkulation des jährlichen Ertrages wurde dabei der Einspeisevergütungssatz für das Jahr 2006 von 51,8 Ct/kWh angesetzt. Die Bewertung erfolgte, indem die jeweiligen Gesamtkosten der einzelnen anlagentechnischen Basisvarianten um die Gewinne oder Verluste aus der Fotovoltaikanlagenberechnung ergänzt und die Ergebnisse in Bezug zum Bestandsergebnis gesetzt wurden.

Bei der Betrachtung des ökologischen Effektes der Fotovoltaikanlage muss der Bezug zu der bei den Sanierungsvarianten angewandten Methodik des kumulierten Energieaufwandes gewährleistet sein, um die übrigen Sanierungsoptionen und die Fotovoltaikanlagenlösung vergleichen zu können. Während die Wärmeversorgung des Gebäudes Energie verbraucht, erzeugt eine Fotovoltaikanlage einen bestimmten Energiebetrag, der im Gegensatz zur solarthermischen Sonnenenergienutzung aber nicht innerhalb des Gebäudes den Endenergiebedarf verringert, sondern dem öffentlichen System zur Verfügung gestellt wird. Der Entnahme eines Energiebetrages aus dem Gesamtsystem durch das jeweilige Untersuchungsobjekt steht ein durch die Fotovol-

taikanlage hinzugefügter Energiebetrag gegenüber. Dieser entspricht aber in seiner Höhe nicht der tatsächlich eingespeisten Energiemenge, da die Nutzung im System einen Leitungs- und Verteilungsaufwand erforderlich macht, für den wiederum Energie aufgewendet werden muss. Die eingespeiste regenerativ erzeugte Strommenge muss zur Bestimmung der tatsächlich im System nutzbaren Energiemenge um den nicht-regenerativen Anteil für die Verteilung und um die Verteilverluste vermindert werden. Die nutzbare Energiemenge reduziert den kumulierten Energieaufwand der jeweils betrachteten Variante, die dann im Vergleich zu dem Bestandsfall bewertet werden kann. Diese Energieaufwendungen und Verluste sind mit Hilfe des Programms GEMIS ermittelt worden. Für jede vom Endverbraucher bezogene kWh Strom müssen auf Grund der Verteilverluste 1,029 kWh Solarstrom von der Fotovoltaikanlage eingespeist und zusätzlich 0,560 kWh nicht-regenerative Energie für die Verteilung aufgewandt werden. Es werden dem System also abzüglich des nicht-regenerativen Anteils 0,440 kWh zur Verfügung gestellt. Umgerechnet auf die kWh Solarstrom bedeutet das, dass jede eingespeiste kWh dem System real ein Energieplus von 0,428 kWh liefert, welches dann multipliziert mit der über 20 Jahre eingespeisten Strommenge den kumulierten Energieaufwand der jeweils betrachteten Varianten vermindert.

Folgende weiteren Parameter und Randbedingungen liegen den Berechnungen der Fotovoltaikanlage zu Grunde:

- 3,6 kWp Anlage auf 78 m² unverschatteter Dachfläche.
- 800 kWh/kWpa durchschnittlicher Anlagenertrag für Hamburg.
- Ertragsminderung 0,5 % / a.
- Kosten für Wartung, Zählermiete und Versicherung 130,87 € / a.
- Inflation 2 % / a.
- Kapitalzinssatz 6 % / a.

Ebenso wie bei den übrigen Optimierungsvarianten wird auch bei der Fotovoltaikanlage von einem Kapitalzinssatz von 6 % ausgegangen. Es stehen zwar zur Zeit günstigere Kreditangebote beispielsweise der Kreditanstalt für Wiederaufbau zur Verfügung, was aber für einige weitere Optimierungslösungen auch gilt und aus Gründen der Vergleichbarkeit und der Gefahr der kurzfristigen Änderung solcher Programme keine Berücksichtigung findet.

6.6 Investitionskosten

Die den Berechnungen zu Grunde gelegten Investitionskosten für die einzelnen anla-

gentechnischen Systeme sind auf Grundlage der Kostendatenbanken der Software Sirados-Baudaten [7] ermittelt und mit aktuelle Marktpreisen verschiedener Hersteller verglichen worden. Dabei ist in Kosten für 75 kW- und 30 kW-Anlagen und Lösungen mit und ohne Solar- bzw. Lüftungssystemen unterschieden und in Einzelpositionen für die einzelnen Varianten untergliedert worden. Die ermittelten jeweiligen Gesamtkosten zeigt Tabelle 13 (detaillierte Kostenaufschlüsselung siehe Anhang A 8).

	HZWB [kWh/m ² a]	Gesamt-Bruttokosten [€]							
		Grund- variante	inkl. Solar HZ/WW	inkl. Solar WW	inkl. Lüftung	Verteilung	Wartung Wärme- erzeuger	Wartung Solar	Wartung Lüftung
Gas-Brennwert	221	18.560	40.165	32.132	59.305	27.840	270	203	464
	70	12.760	34.027	26.139	53.553	27.840	252	203	464
Öl-Brennwert	221	29.116	50.315	42.456	69.455	27.840	376	203	464
	70	15.892	36.617	28.961	56.299	27.840	357	203	464
Pellet	221	36.540	56.724	49.300	75.864	27.840	394	203	464
	70	20.880	40.252	33.176	60.320	27.840	375	203	464
Wärmepumpe	221	42.920	41.789	43.268	81.229	27.840	237	0	464
	70	23.200	20.919	22.891	61.673	27.840	179	0	464
WP / Gas-BW	221	37.120	36.801	37.932	34.481	27.840	430	0	464
	70	23.200	21.731	23.355	20.493	27.840	360	0	464
WP / Pellet	221	44.660	43.732	45.124	41.412	27.840	553	0	464
	70	27.840	25.288	27.376	24.360	27.840	522	0	464
Fernwärme	221	12.760	34.873	26.622	54.013	27.840	93	203	464
	70	11.020	32.693	24.631	52.103	27.840	58	203	464

Tabelle 13: Gesamtkosten der anlagentechnischen Systeme

6.7 Berechnungsergebnisse

Im Folgenden werden zunächst die Berechnungsergebnisse für die anlagentechnischen Optimierungsvarianten getrennt nach Kosten, KEA, Wirkungsindikatoren und Gesamtbewertung dargestellt und anschließend das Ergebnis der Fotovoltaikanlagenbetrachtung erläutert.

6.7.1 Kosten

Die Abbildungen 51 und 52 zeigen für die verschiedenen anlagentechnischen Optimierungsvarianten die Gesamtbruttokosten nach einem 20 jährigen Betrachtungszeitraum im Vergleich zu dem Bestandsfall und zu den beiden Referenzanlagen.

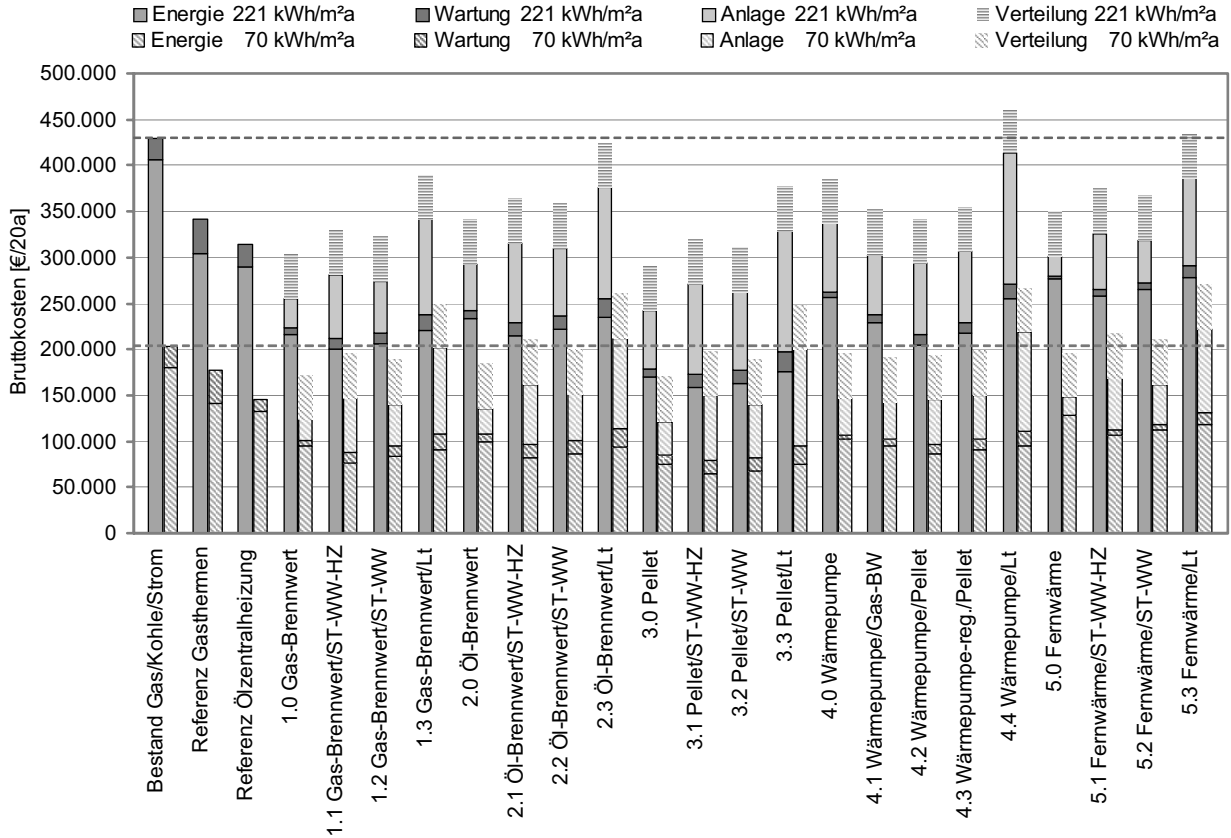


Abbildung 51: Kostenvergleich Anlagentechnik bei EKS 1

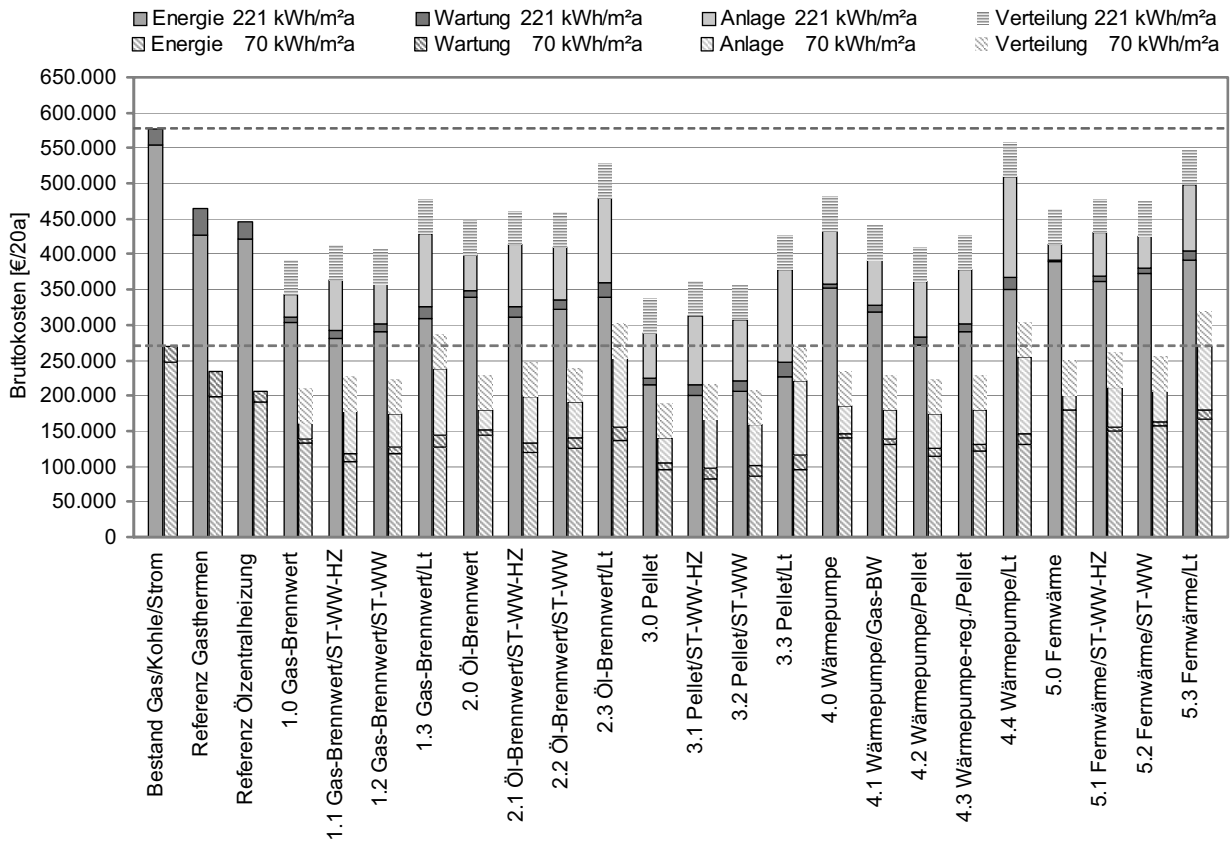


Abbildung 52: Kostenvergleich Anlagentechnik bei EKS 2

Es ist zu erkennen, dass die Bestandsanlage sowohl bei einem hohen als auch bei einem niedrigen Heizwärmebedarf und bei beiden Energiekostensteigerungen⁹⁵ deutlich mehr Kosten verursacht, als die Referenzanlage „Gasthermen“, die wiederum kostenintensiver als die Referenzanlage „Ölzentralheizung“ ist, wobei die größte Differenz zwischen Ölzentralheizung und dem Bestandsfall mit über 130.000 € bei EKS 2 und einem Heizwärmebedarf von 221 kWh/m²a erreicht wird.

Die Betrachtung der Basisvarianten aus den fünf untersuchten Anlagengruppen zeigt, dass die Kosten aller Systeme inklusive der Verteilungskosten für beide Dämmstandards und bei beiden Energiekostensteigerungsszenarien zum Teil deutlich unter den Kosten des Bestandsfalls liegen. Im Vergleich mit den Referenzanlagen sind nur die Varianten 4.0 und 5.0 nicht für alle Szenarien günstiger.

Weiterhin bildet sich innerhalb aller Systeme unabhängig vom Szenario bezüglich der solarthermischen Lösungen und Lüftungsanlagen dieselbe Rangfolge aus. Prinzipiell sind hierbei alle Varianten kostenintensiver als die jeweilige Basisvariante, wobei die reine Warmwasserunterstützung günstiger als die kombinierte Heizungs- und Warmwasserunterstützung ist, die wiederum mit ihren Kosten deutlich unter den Gesamtaufwendungen mit Lüftungsanlage liegt. Die höheren Investitionskosten für diese Varianten können auch bei starker Energiekostensteigerung nicht durch die Energiekosteneinsparung kompensiert werden. Dabei schneidet die Lüftungsanlage besonders ungünstig ab, da größtenteils die Kosteneinsparung bei dem Hauptenergieträger durch die erhöhten Stromkosten für den Lüftungsbetrieb egalisiert wird.

Bei den Wärmepumpenlösungen ist bis auf das Szenario „niedriger Heizwärmebedarf“ bei geringerer Energiekostensteigerung, bei dem die Kombination 4.1 „Wärmepumpe und Gas-Brennwert“ die geringsten Kosten aufweist, jeweils die Kombination 4.2 „Wärmepumpe und Pellet“ am günstigsten. Hier wird das beste Verhältnis von Anlage- zu Energiekosten erreicht, während bei den übrigen Wärmepumpenvarianten entweder die Anlagekosten niedrig, dann aber die Energiekosten zu hoch sind oder der umgekehrte Fall vorliegt.

Das System mit den niedrigsten Gesamtkosten stellt für alle Szenarien die Variante 3.0 „Pellet“ dar. Von den weiteren Anlagengruppen folgt als nächstes die Variante 1.0 „Gas-Brennwert“. Die Kostenunterschiede fallen dabei für den Fall niedriger Heizwärmebedarf bei moderater Energiekostensteigerung mit knapp 2.500 € sehr gering aus, liegen aber bei einem hohen Heizwärmebedarf und starker Energiekostensteigerung bei knapp 55.000 €. Bei EKS 1 werden die beiden Lösungen von der Anlage 2.0 „Öl-

⁹⁵ Im Folgenden auch als EKS 1 und EKS 2 bezeichnet.

Brennwert“ und danach von der Kombination 4.2 „Wärmepumpe und Pellet“ bzw. 4.1 „Wärmepumpe und Gas-Brennwert“ gefolgt, wogegen sich diese Reihenfolge bei EKS 2 umdreht und die beiden Wärmepumpenlösungen günstiger sind. Bei allen Szenarien folgt danach die Variante 5.0 „Fernwärme“ als günstigste Lösung dieser Gruppe.

Die Betrachtung der Verhältnisse von Investitions- zu Energiekosten zeigt, dass insbesondere bei den Basisvarianten die Energiekosten einen deutlich größeren Anteil an den Gesamtkosten haben und somit die Rangfolge bei dem Kostenvergleich entscheidend durch die Kosten für die Energieträger und deren Steigerungsrate bestimmt wird.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass aus wirtschaftlicher Sicht der Austausch des Bestandssystems oder der Referenzanlagen durch verschiedene Anlagensysteme lohnenswert ist, wobei mit der günstigsten Pelletlösung je nach Szenario und Ausgangsfall ein Kostenvorteil von über 240.000 € über 20 Jahre erzielt werden kann. Da bei den Berechnungen weder Förderprogramme noch zinsgünstige Darlehen für energetische Sanierungsmaßnahmen berücksichtigt wurden, kann der Unterschied je nach Einzelfall noch größer ausfallen. Solarthermische und Lüftungstechnische Anlagen sind teurer als die Basisvarianten, wobei aber auch hier die Kosten für die Solarvarianten mehrheitlich niedriger als die Aufwendungen für den Bestandsfall oder die Referenzfälle sind. Die Kombinationen mit Lüftungsanlage liegen in ihren Gesamtkosten dagegen stellenweise über diesen Werten.

6.7.2 KEA

Die Auswertung der Berechnungen des kumulierten Energieaufwandes zeigt deutliche Unterschiede in den diesbezüglichen Werten der verschiedenen Systeme, wie der Abbildung 53 entnommen werden kann.

Die Bestandsanlage weist in den beiden Szenarien hoher und niedriger Heizwärmebedarf jeweils den höchsten KEA auf, gefolgt von der Referenz-Ölheizungsanlage und der Referenz-Gasetagethermenlösung.

Die niedrigsten Werte erreicht die Kombination 4.3 „Wärmepumpe regenerativ und Pellet“, da hier ausschließlich regenerative Energieträger zum Einsatz kommen. Nur geringfügig höher liegen die Werte für die Pelletvarianten 3.0 bis 3.3, gefolgt von der Kombination 4.2 „Wärmepumpe und Pellet“, die wiederum günstiger als die Fernwärmevarianten ist. Die übrigen Wärmepumpenlösungen sowie die Gas- und Öl-Brennwertsysteme befinden sich mit ihrem KEA deutlich über diesen Werten, wobei die Öl-Brennwertvarianten hinter den Gas-Brennwertlösungen am schlechtesten abschneiden.

Gegenüber den Basisvarianten sind die KEA-Werte der solarthermischen Lösungen günstiger, wobei auffällig ist, dass die Ergebnisunterschiede relativ gering ausfallen und keine deutlichen Sprünge auftreten. Während die solare Heizungs- und Warmwasserunterstützung in allen Fällen die energetisch beste Variante innerhalb jeder Anlagengruppe darstellt, liegen für die Lüftungslösungen die KEA Werte bei den Pellet- und Fernwärmesystemen über denen der Basisvariante. Dies ist darauf zurückzuführen, dass zwar mehr Endenergie an Pellets eingespart als an Lüftungsstrom zusätzlich benötigt wird, die KEA Faktoren für Strom aber deutlich über den Faktoren für Pellets oder Fernwärme liegen. Bei den übrigen Systemen ist dieser Unterschied nicht so gravierend, so dass der Gesamt-KEA durch die Lüftungsanlage geringer wird.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Systeme mit regenerativen Energieträgern bezüglich des KEA deutlich besser als die übrigen Systeme abschneiden und das die diesbezüglich günstigste Variante 4.3 „Wärmepumpe regenerativ und Pellet“ mit 162 MWh/20a für den Fall eines hohen Heizwärmebedarfs einen über 30 mal geringeren kumulierten Energieaufwand aufweist als die Bestandanlage. Alle Optimierungsvarianten liegen günstiger als die Referenzanlagen, wobei die solarthermischen Systeme und die Lüftungsanlagen insbesondere bei einem hohen Heizwärmebedarf nur einen moderaten Einfluss auf den Gesamt-KEA haben.

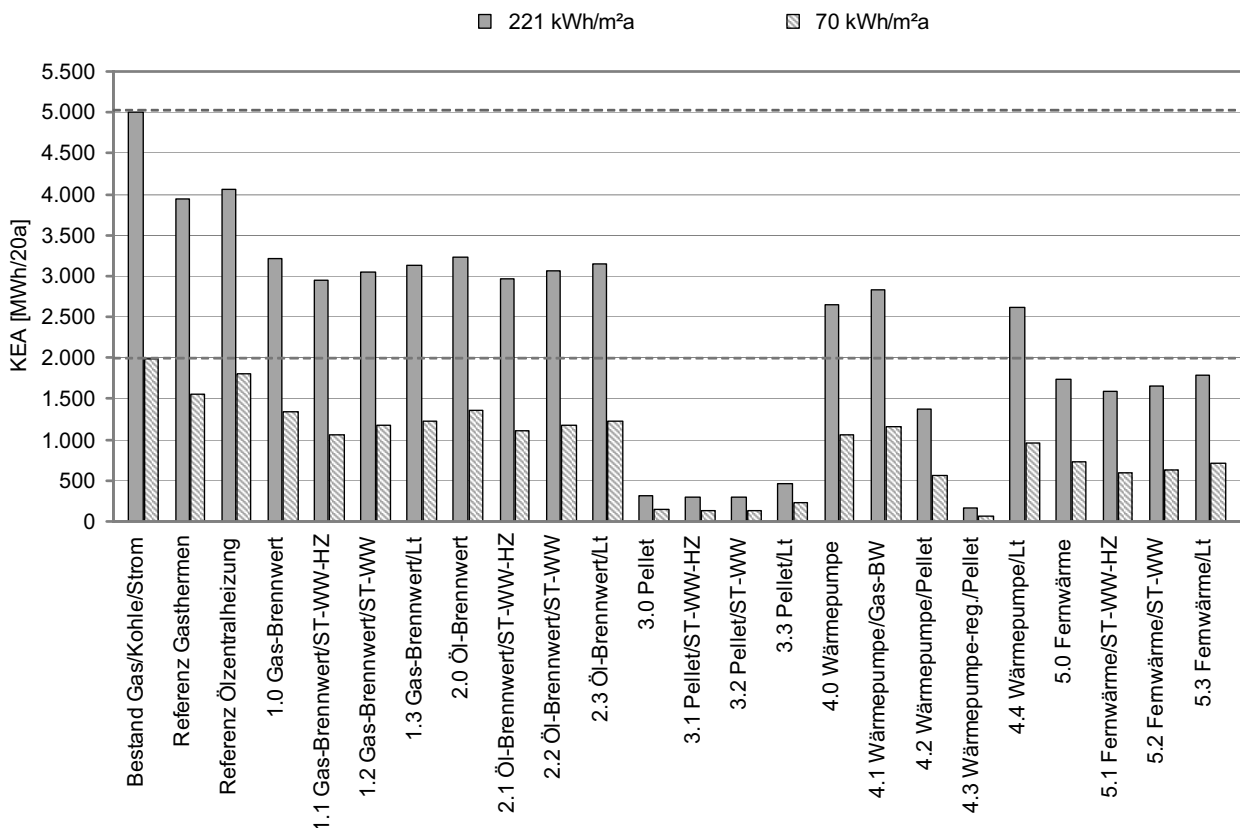


Abbildung 53: KEA-Vergleich Anlagentechnik

6.7.3 GWP und AP

Abbildung 54 zeigt für das Global Warming Potential eine gegenüber der KEA-Betrachtung leicht veränderte Rangfolge, wobei die regenerativen Systeme ebenfalls am Besten abschneiden. Die Fernwärmelösungen fallen dagegen hinter die Gas- und Öl-Brennwertlösungen zurück und sind zum Teil ungünstiger als die Referenzanlage Gasetagentherme. Dies ist insbesondere auf den hohen Kohleanteil bei der Energieversorgung der Hamburger Fernwärmekraftwerke zurückzuführen. Auch die Basisvariante der Öl-Brennwertlösungen stellt sich ungünstiger als diese Referenzanlage dar und kann erst durch den Einsatz von Solarthermie oder Lüftungsanlage unter deren GWP-Wert verbessert werden. Ähnlich wie beim KEA liegt zwischen der besten Optimierungsvariante „Wärmepumpe regenerativ und Pellet“ mit knapp 50 t CO₂-Äquivalentausstoß in 20 Jahren und dem Bestandsfall mit ca. 1.400 t eine sehr große Spanne.

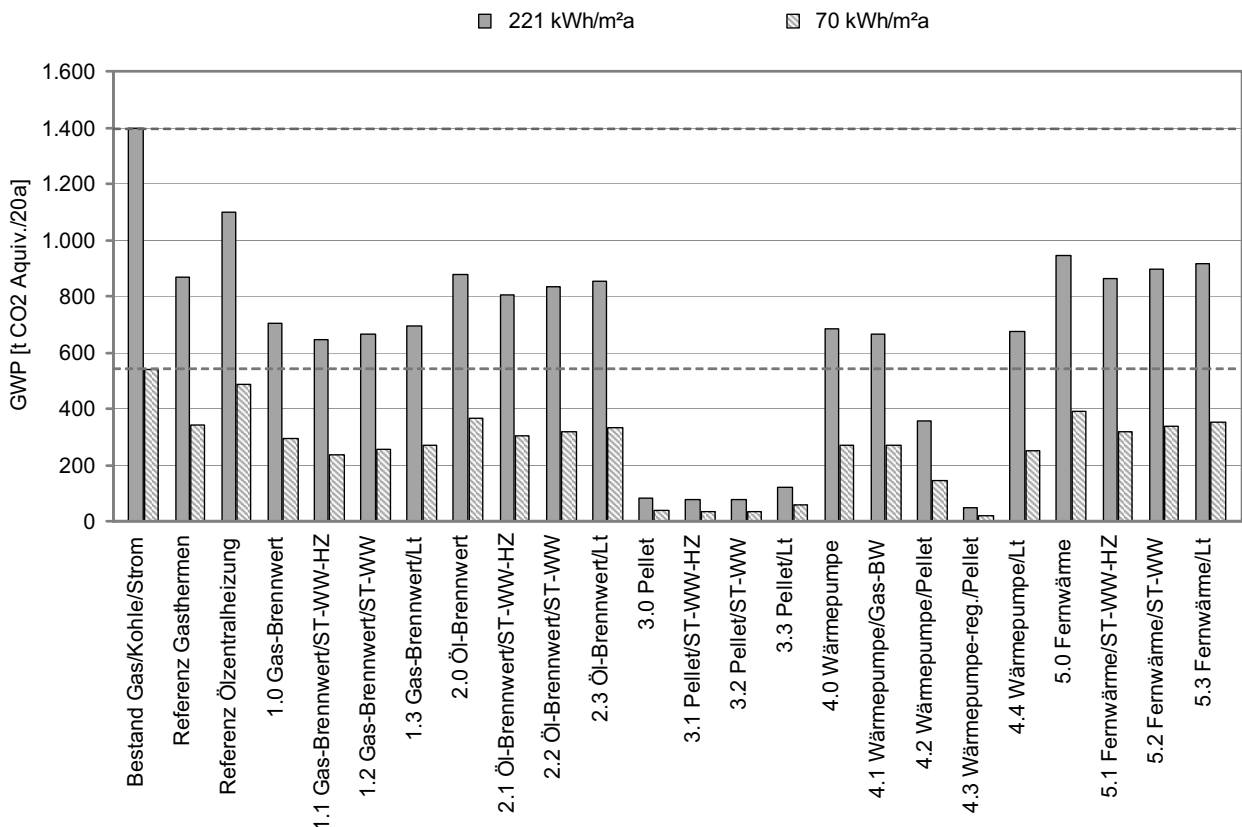


Abbildung 54: GWP-Vergleich Anlagentechnik

Bei dem Versauerungspotential, welches in Abbildung 55 dargestellt ist, zeigt sich ein anderes Bild. Hier weisen die gasversorgten Varianten die geringsten AP-Werte auf, gefolgt von den Wärmepumpenlösungen. Mit jeweils ähnlichen, relativ geringen Abständen schließen sich die Fernwärme-, die Pellet- und die Öl-Brennwertvarianten an. Die Bestandsanlage weist vor der Referenzanlage „Ölzentralheizung“ mit Abstand das

höchste Versauerungspotential auf. Der Einfluss der solarthermischen Unterstützung und der Lüftungsanlage ist geringer als bei der GWP oder der KEA Betrachtung.

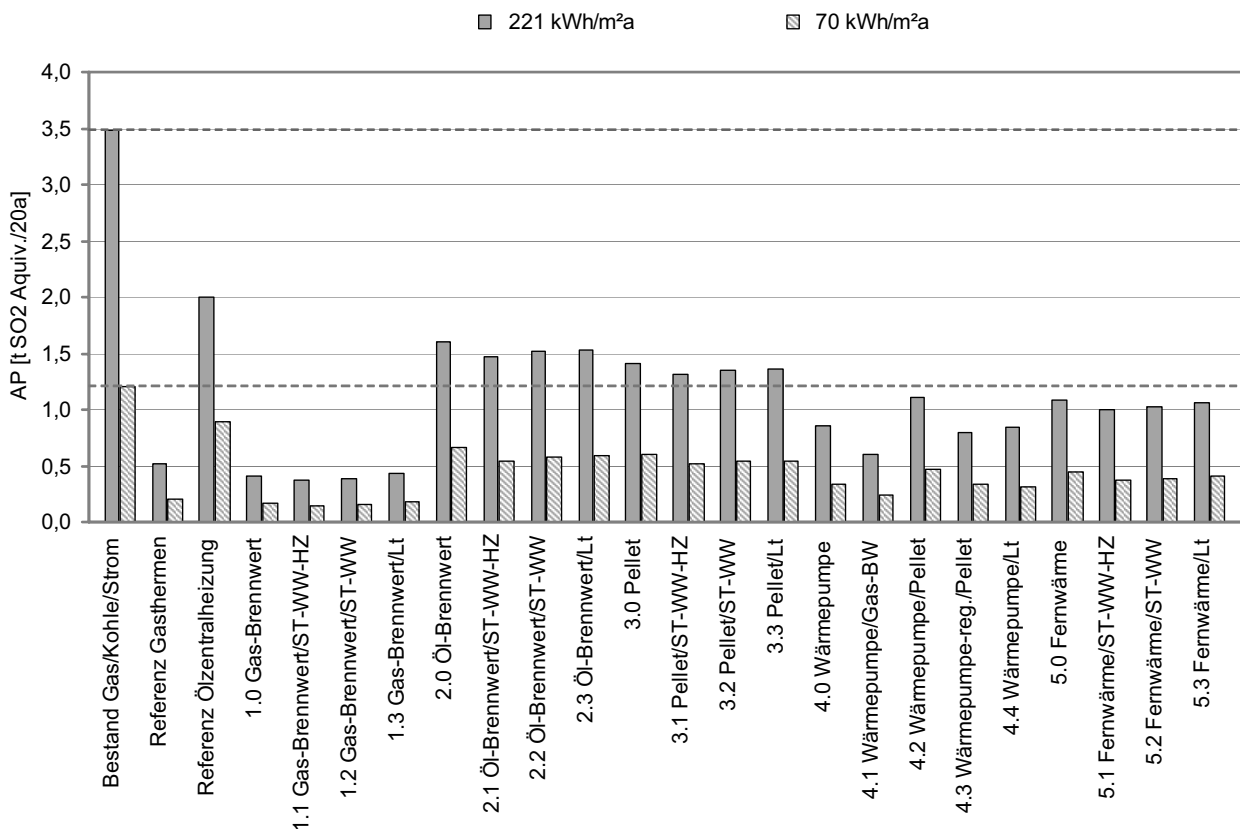


Abbildung 55: AP-Vergleich Anlagentechnik

6.7.4 Bewertung

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeits- und der KEA-Betrachtung ergeben zusammen die anlagenspezifischen Aufwandszahlen, welche in den Abbildungen 56 und 57 bei moderater und starker Energiepreissteigerung dargestellt sind.

Es zeigt sich, dass alle Optimierungsvarianten bis auf die Lüftungskombinationen mit Gas- oder Öl-Brennwert sowie mit Wärmepumpe für alle Szenarien günstiger als der Bestandsfall und die Referenzanlagen sind.

Dabei stellt die Variante 3.0 „Pellet“, die nach den bisherigen Betrachtungen sowohl die wirtschaftlichste als auch energiesparendste Lösung ist, bei hohem und niedrigem Heizwärmebedarf dementsprechend für beide Energiekostensteigerungsszenarien die Lösung mit der jeweils geringsten Aufwandszahl dar. Im Falle eines hohen Heizwärmebedarfs bei einer starken Energiepreissteigerung liegt diese um fast 68 % günstiger als die der Bestandsanlage.

Besser als die Kombination 3.3 „Pellet und Lüftungsanlage“, welche die ungünstigste Lösung der Pelletsysteme darstellt, schneidet die Kombination 4.3 „Wärmepumpe regenerativ und Pellet“ ab, was für den Fall eines niedrigen Heizwärmebedarfs auch für die Kombination 4.2 „Wärmepumpe und Pellet“ gilt. Die Fernwärme- und solarunterstützten Fernwärmesysteme folgen als dritte Systemgruppe, woran sich die Gas- und dann die Öl-Brennwertanlagen anschließen, auf deren Niveau etwa auch die reine Wärmepumpenlösung und die Kombination 4.1 „Wärmepumpe und Gasbrennwertanlage“ liegt. Die ungünstigste Optimierungsvariante ergibt sich aus der Kombination von Öl-Brennwert- und Lüftungsanlage.

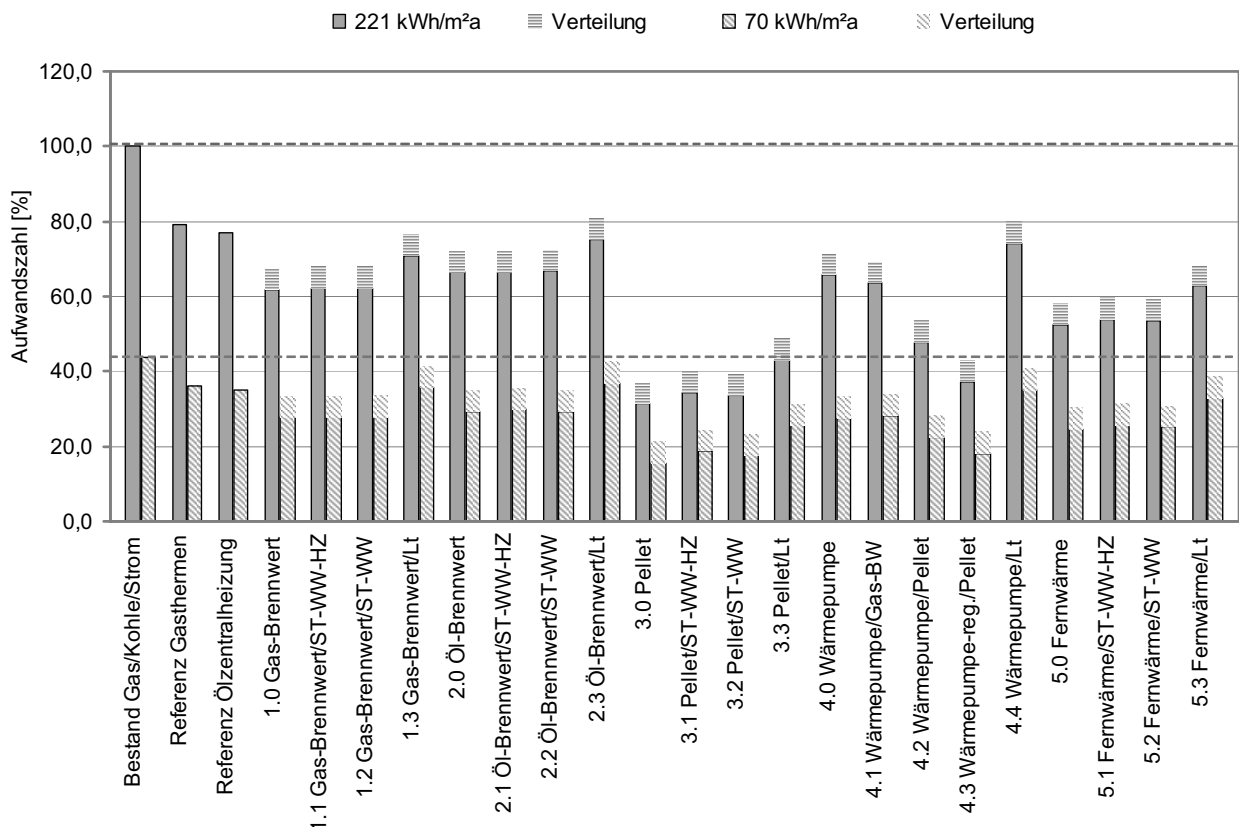


Abbildung 56: Bewertung Anlagentechnik bei EKS 1

Während bei der moderaten Energiekostensteigerung die solarthermischen Lösungen in allen Fällen geringfügig schlechter als die jeweiligen Basisvarianten bewertet werden, sind bei einer starken Energiepreissteigerung die solarunterstützten Systeme gegenüber allen anderen Varianten bis auf die Pelletkombinationen jeweils leicht im Vorteil. Die Ausführungen mit Lüftungsanlagen sind dagegen in allen Fällen deutlich ungünstiger als die Basisvarianten. Der Einfluss der Verteilungskosten ist zwar geringer als bei der reinen Wirtschaftlichkeitsbewertung, stellt aber dennoch einen Faktor dar, der größer als der der solarthermischen Anlagen ist.

Zu erkennen ist weiterhin, dass bei sinkendem Heizwärmebedarf die Bewertungsunter-

schiede zwischen günstigster und ungünstigster Variante deutlich kleiner werden, während die Variation der Energiepreissteigerungsraten einen diesbezüglich wesentlich geringeren Einfluss hat.

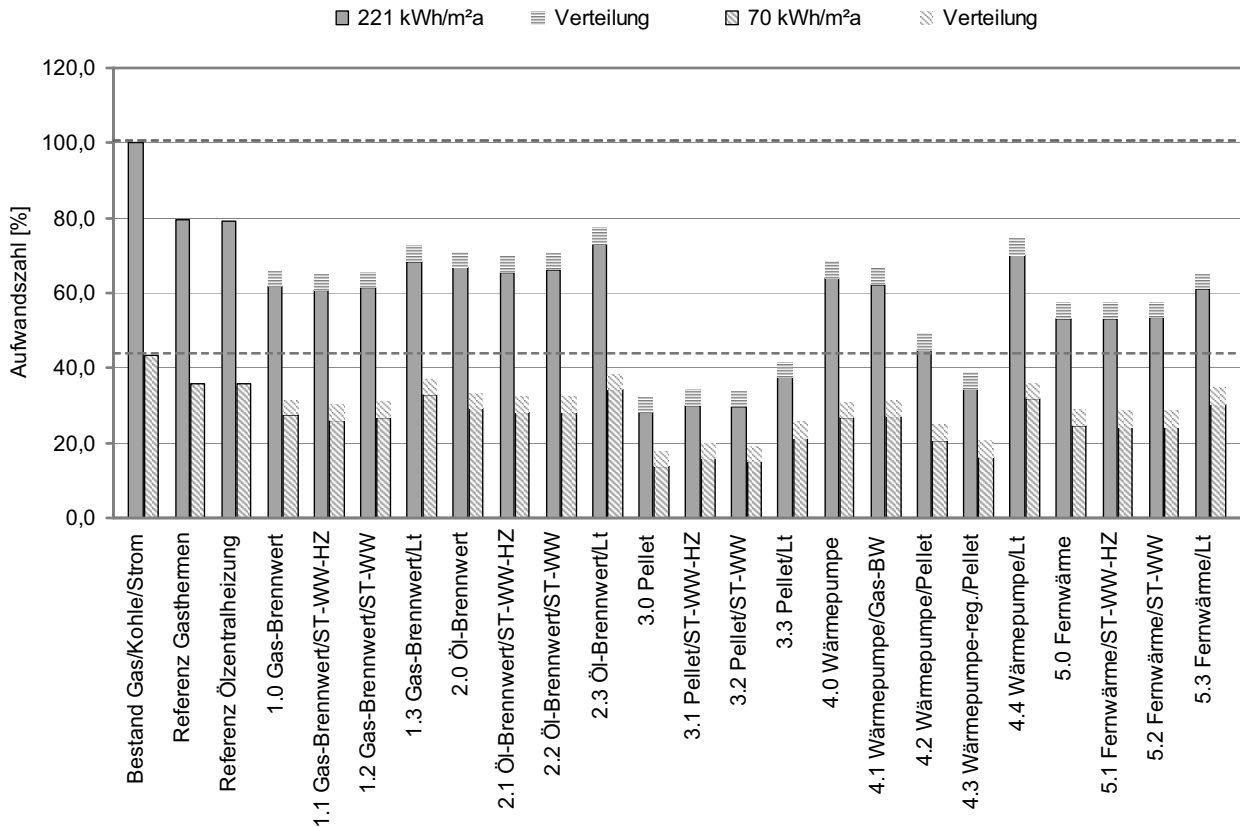


Abbildung 57: Bewertung Anlagentechnik bei EKS 2

6.7.5 Fotovoltaikanlage

Tabelle 14 zeigt die Wirtschaftlichkeitsberechnung zur Fotovoltaikanlage, die auf Grundlage der in Kapitel 6.5 genannten Randbedingungen durchgeführt worden ist.

Es zeigt sich, dass über einen Zeitraum von 16 Jahren die Erträge aus der Stromeinspeisung die laufenden Kosten nicht decken können und für diesen Zeitraum jährliche Verluste anfallen, die durch die am Ende des Betrachtungszeitraumes bilanzierten Gewinne nicht wieder ausgeglichen werden können. Aus diesem Grund verursacht die Fotovoltaiklösung insgesamt Kosten von knapp 5.240 €, die für die Wirtschaftlichkeitsbewertung zu den jeweiligen Aufwendungen für die Basisvarianten addiert werden müssen. Im Verhältnis zu den Kosten des unsanierten Bestandsfalles bedeutet das eine Verschlechterung der jeweiligen Bewertung um 1,22 % bei der moderaten und um 0,91 % bei der starken Energiepreissteigerung.

Mit der Anlage werden in 20 Jahren 54.944 kWh an Solarstrom eingespeist. Multipli-

ziert mit dem KEA-Faktor 0,428 (vgl. Kapitel 6.5), ergibt dies ein Energieplus von 23.516 kWh, welches für die ökologische Bewertung von dem KEA der jeweiligen Basisvariante abgezogen werden kann. Bezogen auf den unsanierten Bestandsfall ergibt das jeweils eine Verbesserung der Bewertung um 1,09 %.

Jahr	Erlös Stromverkauf	Nebenkosten			Gesamt	Finanzierungskosten			Ergebnis vor Steuer
		Versicherung	Zählermiete	Wartung		Zinsen	Tilgung	Restschuld	
								18.000,00	
1	1.491,84	-67,32	-32,17	-80,00	-179,49	-1.080,00	-900,00	17.100,00	-667,65
2	1.484,38	-68,67	-32,81	-81,60	-183,08	-1.026,00	-900,00	16.200,00	-624,70
3	1.476,96	-70,04	-33,47	-83,23	-186,74	-972,00	-900,00	15.300,00	-581,78
4	1.469,57	-71,44	-34,14	-84,90	-190,48	-918,00	-900,00	14.400,00	-538,90
5	1.462,23	-72,87	-34,82	-86,59	-194,29	-864,00	-900,00	13.500,00	-496,06
6	1.454,92	-74,33	-35,52	-88,33	-198,17	-810,00	-900,00	12.600,00	-453,26
7	1.447,64	-75,81	-36,23	-90,09	-202,13	-756,00	-900,00	11.700,00	-410,49
8	1.440,40	-77,33	-36,95	-91,89	-206,18	-702,00	-900,00	10.800,00	-367,78
9	1.433,20	-78,88	-37,69	-93,73	-210,30	-648,00	-900,00	9.900,00	-325,10
10	1.426,03	-80,45	-38,45	-95,61	-214,51	-594,00	-900,00	9.000,00	-282,47
11	1.418,90	-82,06	-39,22	-97,52	-218,80	-540,00	-900,00	8.100,00	-239,89
12	1.411,81	-83,70	-40,00	-99,47	-223,17	-486,00	-900,00	7.200,00	-197,36
13	1.404,75	-85,38	-40,80	-101,46	-227,64	-432,00	-900,00	6.300,00	-154,89
14	1.397,73	-87,09	-41,62	-103,49	-232,19	-378,00	-900,00	5.400,00	-112,46
15	1.390,74	-88,83	-42,45	-105,56	-236,83	-324,00	-900,00	4.500,00	-70,10
16	1.383,78	-90,60	-43,30	-107,67	-241,57	-270,00	-900,00	3.600,00	-27,79
17	1.376,87	-92,42	-44,16	-109,82	-246,40	-216,00	-900,00	2.700,00	14,46
18	1.369,98	-94,26	-45,05	-112,02	-251,33	-162,00	-900,00	1.800,00	56,65
19	1.363,13	-96,15	-45,95	-114,26	-256,36	-108,00	-900,00	900,00	98,78
20	1.356,32	-98,07	-46,87	-116,54	-261,48	-54,00	-900,00	0,00	140,83
Σ	28.461,18	-1.635,70	-781,65	-1.943,79	-4.361,13	-11.340,00	-18.000,00		-5.239,95

Tabelle 14: Wirtschaftlichkeitsberechnung Fotovoltaikanlage

Dies bedeutet, dass sich bei einer moderaten Energiekostensteigerung das jeweilige Basissystem in seiner Gesamtbewertung durch die Fotovoltaikanlage um 0,065 % verschlechtert und bei einer starken Energiepreissteigerung um 0,09 % verbessert. Die Installation einer Fotovoltaikanlage ist dementsprechend bei einer starken Energiepreissteigerung nur für Systeme vorteilhaft, bei denen eine solarthermischen Lösung nicht sinnvoll ist, wie bei den Wärmepumpenlösungen, oder zu einer Verschlechterung der Bewertung führt, wie bei den Pelletanlagen, da alle Bewertungsverbesserungen durch solarthermische Anlagen größer als die Verbesserung durch die Fotovoltaikanlage sind. Insgesamt sind die Auswirkungen einer Fotovoltaikanlage auf das Bewertungsergebnis daher vernachlässigbar gering.

6.7.6 Fazit und Systemauswahl

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Es gibt für jede Anlagenkategorie mindestens eine Optimierungslösung, deren Umsetzung sich sowohl in ökonomischer als auch in ökologischer Hinsicht gegenüber der Bestandsanlage und den Referenzanlagen über den Betrachtungszeitraum rentiert, wobei je nach Anlagensystem ein sehr großes Einsparpotential besteht.

- Bei den Pelletlösungen fallen niedrige Gesamtkosten und ein geringer kumulierter Energieaufwand zusammen, so dass sie in der Bewertung besonders günstig abschneiden.
- Die solarthermische Unterstützung ist besonders bei einer starken Energiepreissteigerung vorteilhaft. Im Übrigen erweisen sich die Basisvarianten als günstiger. Die Bewertung von Pelletlösungen wird durch eine solarthermische Unterstützung bei keinem Szenario verbessert.
- Systeme mit Lüftungsanlagen stellen immer die ungünstigste Variante dar und liegen bei einem niedrigen Heizwärmebedarf zum Teil hinter den Bestands- oder Referenzanlagen.
- Eine Fotovoltaikunterstützung führt nur bei einer starken Energiepreissteigerung für die Pellet- und Wärmepumpensysteme zu einer Bewertungsverbesserung, die aber vernachlässigbar gering ist.

Für die einzelnen Szenarien ergeben sich hinsichtlich der je Anlagenkategorie besten Varianten die in Tabelle 15 dargestellten Rangfolgen.

	EKS 1 HZWB 221 kWh/m ² a			EKS 1 HZWB 70 kWh/m ² a			EKS 2 HZWB 221 kWh/m ² a			EKS 2 HZWB 70 kWh/m ² a		
1	3.0	Pellet	31,32 %	3.0	Pellet	15,51 %	3.0	Pellet	28,02 %	3.0	Pellet	13,67 %
2	4.3	WP reg. / Pellet	37,29 %	4.3	WP reg. / Pellet	18,21 %	4.3	WP reg. / Pellet	34,40 %	4.3	WP reg. / Pellet	16,32 %
3	5.0	Fern- wärme	52,54 %	5.0	Fern- wärme	24,54 %	5.1	Fern- wärme, ST WW HZ	53,17 %	5.2	Fern- wärme, ST WW	24,24 %
4	1.0	Gas-BW	61,75 %	1.0	Gas-BW	27,72 %	1.1	Gas-BW ST WW HZ	60,77 %	1.1	Gas-BW ST WW HZ	26,06 %
5	2.0	Öl-BW	66,42 %	2.0	Öl-BW	29,28 %	2.1	Öl-BW ST WW HZ	65,39 %	2.2	Öl-BW ST WW	28,24 %

Tabelle 15: Bewertungsrangfolge Anlagentechnik nach Aufwandszahl

Da die Variante 3.0 „Pellet“ in allen Szenarien deutlich am besten abschneidet, wird sie für die bautechnischen Untersuchungen als Anlagensystem übernommen. Zusätzlich werden die Varianten 4.3 „Wärmepumpe regenerativ und Pellet“, 5.0 „Fernwärme“ und 1.0 Gas-Brennwert den weiteren Berechnungen als Vergleichsfälle zu Grunde gelegt. Die solarunterstützten Kombinationen der Fernwärme und Gas-Brennwertlösungen schneiden bei einer starken Energiepreissteigerung zwar besser als die jeweiligen Basisvarianten ab, da der Bewertungsunterschied aber jeweils nur etwa 1 % beträgt, kann ebenso wie bei der Fotovoltaikanlage auf eine weitere Variantenberücksichtigung verzichtet werden. Die Öl-Brennwertsysteme werden für die weiteren Berechnungen

nicht übernommen, da sie in ihrer Konzeption als System mit fossilem Energieträger den Gas-Brennwertlösungen ähnlich sind, aber die schlechtere Bewertung aufweisen.

6.7.7 Sensitivitätsanalyse

Um den Einfluss der den Berechnungen zu Grunde liegenden Randbedingungen auf das Gesamtergebnis und damit die Bedeutung der getroffenen Annahmen beurteilen zu können, ist zudem eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt worden. Für die Optimierungsvariante 1.0 „Gas-Brennwert“ sind dabei für einen hohen und einen niedrigen Heizwärmebedarf die bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen angenommenen Werte jeweils um 30 % variiert und der Effekt auf das Bewertungsergebnis untersucht worden. Tabelle 16 zeigt das Ergebnis dieser Berechnungen.

Ergebnisveränderung bei Variation der Randbedingungen, Variante 1.0 Gas-Brennwert Zentralheizung									
		Heizwärmebedarf 221 kWh/m ² a				Heizwärmebedarf 70 kWh/m ² a			
		Bewertung EKS 1 [%]	Veränd. in [%]	Bewertung EKS 2 [%]	Veränd. in [%]	Bewertung EKS 1 [%]	Veränd. in [%]	Bewertung EKS 2 [%]	Veränd. in [%]
ohne Veränderung	-	69,40	-	67,41	-	35,37	-	33,06	-
Teuerungsrate	+ 30 %	69,33	-0,10	67,36	-0,07	35,34	-0,08	33,04	-0,06
	- 30 %	69,47	0,10	67,46	0,07	35,40	0,08	33,08	0,06
Zinssatz	+ 30 %	71,30	2,74	68,94	2,27	37,10	4,89	34,47	4,26
	- 30 %	67,67	-2,49	66,06	-2,00	33,80	-4,44	31,80	-3,81
Investitionskosten	+ 30 %	70,53	1,63	68,25	1,25	36,15	2,21	33,64	1,75
	- 30 %	68,27	-1,63	66,57	-1,25	34,60	-2,18	32,48	-1,75
Wartungskosten	+ 30 %	69,62	0,32	67,58	0,25	35,58	0,59	33,22	0,48
	- 30 %	69,17	-0,33	67,25	-0,24	35,16	-0,59	32,90	-0,48
Energiepreise	+ 30 %	67,04	-3,40	65,65	-2,61	33,10	-6,42	31,35	-5,17
	- 30 %	73,62	6,08	70,61	4,75	39,44	11,51	36,14	9,32

Tabelle 16: Sensitivität der Bewertung

Es zeigt sich, dass eine Veränderung um 30 % bei der Teuerungsrate und den Wartungskosten fast keinen Einfluss auf das Bewertungsergebnis hat und auch bei den Investitionskosten und dem Zinssatz für Fremdkapital die Veränderungen bei der Bewertung unter 5 % liegen⁹⁶. Lediglich für den Fall der Energiepreisänderung zeigen sich stärkere Abweichungen von teilweise über 10 %. Eine Veränderung einzelner Energieträgerpreise kann zu noch größeren Bewertungsveränderungen führen.

⁹⁶ Bei deutlich höheren Investitionskosten wie beispielsweise bei den Varianten mit Lüftungsanlage wird der Einfluss einer diesbezüglichen Parameterveränderung allerdings ebenfalls deutlich größer.

Für die KEA-Faktoren bewirkt eine Variation aller Werte um 30 % keine Ergebnisveränderung, da der kumulierte Energieaufwand das einzige Kriterium zur ökologischen Bewertung ist und sich das Verhältnis zwischen den Varianten damit nicht ändert. Allerdings kann sich eine Veränderung einzelner KEA-Faktoren daher auch entsprechend deutlich auf das Gesamtergebnis auswirken.

Die sensitivsten Parameter stellen somit die Energiepreise und die KEA-Faktoren dar, deren Modifikation deshalb am ehesten eine Veränderung in der Rangfolge der Varianten nach sich ziehen kann. Daher ist eine genaue Ermittlung und detaillierte Annahme dieser Werte von besonderer Bedeutung für das Gesamtergebnis.

Kapitel 7

Bautechnik

7.1 Übersicht

Auf Grundlage der in Kapitel 4 beschriebenen Methodik sind verschiedene bautechnische Optimierungsvarianten in Kombination mit den ausgewählten anlagentechnischen Systemen (vgl. Kapitel 6.7.6) untersucht und bewertet worden. Für jede Optimierungsmaßnahme wurde je Anlagensystem der nach unterschiedlichen Energieträgern aufgeteilte Endenergiebedarf ermittelt, woraus mit Hilfe des Excel-Tools (vgl. Kapitel 6.1) unter Ansatz der jeweiligen Maßnahmekosten die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen berechnet und visualisiert worden sind. Ebenso wie bei der anlagentechnischen Betrachtung liegen dabei zwei Energiekostensteigerungsszenarien mit einer moderaten und einer starken Preissteigerungsrate zu Grunde.

Als Referenzwerte dienen die Kombinationen aus bautechnisch unsaniertem Bestand und jeweiligem anlagentechnischen System. Die verschiedenen bautechnischen Optimierungslösungen können so für jede Anlagenvariante in eine Rangfolge gebracht und ihr Effekt in Bezug auf den Bestandsfall bewertet werden.

Die wärmeübertragende Gebäudehülle wurde in die getrennt voneinander zu optimierenden Abschnitte „hofseitige Außenwände“, „straßenseitige Außenwände“, „Fenster“, „Erdgeschossfußboden“, „oberste Geschossdecke“, „Lichtschacht“ und „Treppenhaus“ unterteilt, für die jeweils eine oder mehrere Optimierungsvarianten untersucht worden sind. Es wurden dabei überwiegend marktgängige Lösungen gewählt, die als Standardmaßnahmen in der Praxis ausgeführt werden (vgl. Kapitel 7.2). Um die Auswirkungen verschiedener Dämmstandards bewerten zu können, sind für die Bereiche „hofseitige Außenwände“ und „Lichtschacht“ die Varianten einer dämmtechnischen Minimal- und Maximallösung untersucht worden.

Abbildung 58 zeigt eine Übersicht der untersuchten bautechnischen Optimierungsmaßnahmen.

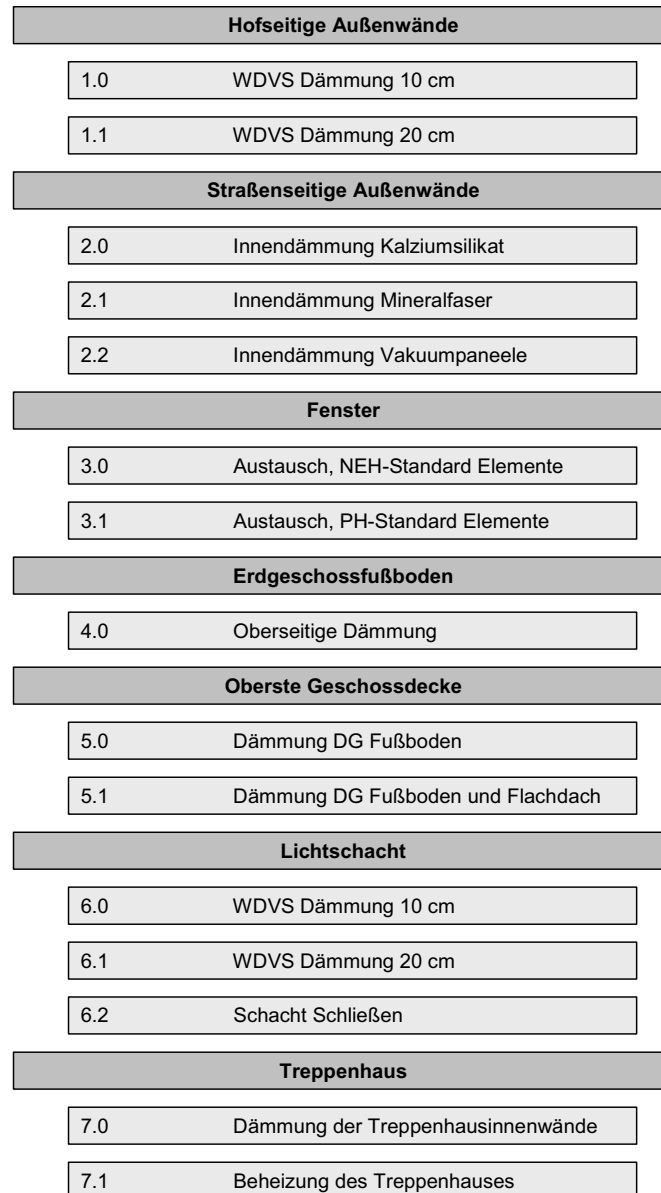


Abbildung 58: Übersicht der bautechnischen Optimierungsmaßnahmen

Bei der Ermittlung des Endenergiebedarfs wurde immer von der isolierten Umsetzung der betrachteten Maßnahme ohne weitere Veränderungen der übrigen Hüllflächenbereiche ausgegangen, so dass die Auswirkungen der einzelnen Optimierungslösung im Vergleich mit dem Bestandsfall bewertet werden können. Die energetische Relevanz der Optimierungslösungen ist also jeweils bei einem insgesamt hohen Heizwärmebedarf ermittelt worden. Die Berechnung der gleichen Maßnahmen bei einem besseren Dämmstandard und damit niedrigerem Heizwärmebedarf würde leicht veränderte Ergebnisse liefern. Eine Kontrollberechnung hat allerdings gezeigt, dass diese Abweichungen vernachlässigbar gering sind (siehe Anhang A 12).

Während die Wärmebrückenwirkung beim Bestandsfall, wie dargelegt, nicht berück-

sichtigt wurde (vgl. Kapitel 5.2.1), stellt sie bei den verschiedenen bautechnischen Optimierungslösungen eine wichtige Größe dar. Daher sind für die einzelnen Maßnahmen unterschiedliche Wärmebrückenzuschläge berücksichtigt worden, welche sich aus Forschungsergebnissen des Passivhausinstitutes und des Institutes für Wohnen und Umwelt ableiten lassen [141, S. 30-32; 122, S. 23-24]. Sie sind als U-Wert-Zuschläge für die jeweils betroffenen Bauteile angesetzt worden (siehe Kapitel 7.2), wobei die nicht optimierten Bereiche jeweils ohne Zuschlag belassen werden konnten. Die bauteilweise Methode ermöglicht es, die Wärmebrückeneinflüsse der optimierten Hüllflächen getrennt und maßnahmenspezifisch einzubeziehen, was bei einem pauschalen Wärmebrückenzuschlag für alle Hüllflächen nicht möglich ist.

Da bei der Blower-Door Messung des Bestandsgebäudes größere Leckagen insbesondere bei den Fenstern festgestellt worden sind, ist davon auszugehen, dass sich bei Austausch der alten Fenster auch die Lüftungswärmeverluste des Gebäudes messbar verringern werden. Um diesen Effekt zu berücksichtigen, wurde die Luftwechselzahl bei den Fensteraustauschvarianten jeweils reduziert (siehe Kapitel 7.2).

In die Kostenberechnung sind sowohl die Aufwendungen für die bautechnischen Optimierungslösung als auch die Investitions- und Wartungskosten für das jeweilige anlagentechnische System eingegangen. Da die Anlagentechnik bei einer Reduzierung des Heizwärmebedarfs durch bautechnische Maßnahmen eine geringere Leistung liefern muss und daher kleiner dimensioniert werden kann, reduzieren sich die Kosten für die Anlagentechnik mit der energetischen Verbesserung der Hüllflächen. Um diesen Effekt näherungsweise zu berücksichtigen, wurden die Investitions- und Wartungskosten bei den Berechnungen abhängig vom maßnahmenspezifisch erreichten Heizwärmebedarf zwischen den in Kapitel 6.6 dargestellten Kosten für die 30 kWp und 70 kWp Anlagen interpoliert. Um eine Auswertung der bautechnischen Optimierungsmaßnahmen bei bereits vorhandenem Anlagensystem zu ermöglichen, sind die anlagen- und bautechnischen Maßnamekosten getrennt ausgewiesen.

Im Folgenden werden zunächst die einzelnen bautechnischen Optimierungsvarianten sowie die zusätzlich zu den bereits erläuterten Randbedingungen angenommenen Parameter beschrieben und anschließend die Berechnungsergebnisse dargestellt und analysiert.

7.2 Untersuchte bautechnische Optimierungslösungen

7.2.1 Hofseitige Außenwände

Für den Bereich der hofseitigen Außenwände sind zwei Varianten eines Wärmedämm-

verbundsystems untersucht worden. Ein solches Dämmsystem wurde gewählt, da die rückwärtigen Gebäudeteile als schlichte Putzfassade ohne Stuckverzierungen ausgeführt worden sind und somit eine bauphysikalisch unproblematische Außendämmung realisiert werden kann. Das Wärmedämmverbundsystem stellt dabei eine standardisierte Lösung dar, die seit vielen Jahren bei Alt- und Neubaumaßnahmen erfolgreich umgesetzt wird. Der Aufbau des untersuchten Systems besteht aus einer EPS-Plattendämmschicht, welche auf den zuvor gereinigten und ausgebesserten Altputz aufgeklebt und zusätzlich durch Dübel gesichert wird, sowie einem darauf aufgeklebten Armierungsgewebe, auf welches der Deckputz aufgetragen wird. Da mittlerweile Dämmstoffplattenstärken bis zu 30 cm angeboten werden, kann auch eine stärkere Dämmschicht mit einer Plattenlage ausgeführt werden. Im Rahmen des Untersuchungsganges wurden eine Minimal- und eine Maximaldämmlösung mit einer 10 bzw. einer 20 cm starken Dämmschicht untersucht.

WDVS 10 cm

Ein Wärmedämmverbundsystem mit 10 cm Dämmstärke wird in der Praxis immer wieder als Standarddämmmaßnahme angeboten und umgesetzt, was im Wesentlichen auf zwei Gründe zurückzuführen ist. Zum einen erfüllt eine Außenwand mit einer EPS Dämmung in dieser Stärke bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W/mK}$ bereits die durch die EnEV vorgeschriebenen Bauteilmindestanforderungen. Zum anderen werden laut allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung bei einer Dämmstärke oberhalb von 10 cm aus Brandschutzgründen Mineralwolleinlagen in bestimmten Bereichen wie Fensterstürzen notwendig, was die Systemkosten erhöht. Mit dieser Lösung werden für das Untersuchungsobjekt je nach Bestandswandaufbau U-Werte von $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ – $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht, welche unter dem von der EnEV geforderten Wert von $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ liegen. Da durch den Einbau der Dämmschicht insbesondere im Bereich der Balkon- und Fensteranschlüsse Wärmebrücken hinzutreten bzw. in ihrer flächenbezogenen Wirkung verstärkt werden, wurde ein Wärmebrückenzuschlag von $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$ berücksichtigt.

WDVS 20 cm

In einer Untersuchung des Passivhaus Instituts zu Wärmedämmverbundsystemen sind deren Wirtschaftlichkeit und ökologischer Effekt bei unterschiedlichen Dämmstoffstärken analysiert worden [110, S. 27-29]. Dabei hat sich gezeigt, dass der ökonomisch optimale Dämmstoffstärkenbereich ohne Berücksichtigung von Fördermöglichkeiten bei 12 bis 20 cm liegt. Zwischen diesen Werten erreicht die Wirtschaftlichkeitskurve ein sehr flaches Optimum und fällt bei kleineren und größeren Abmessungen deutlich ab. Die Primärenergieeinsparung nimmt mit steigender Dämmstoffstärke zu, wobei die dadurch erzielbaren Verbesserungen bei größeren Abmessungen immer geringer werden. Daher liegt die optimale Dämmstoffstärke bei kombinierter ökonomischer und

ökologischer Betrachtung bei 20 cm, so dass diese Variante für den Untersuchungsgang als Maximallösung gewählt worden ist. Dies führt zu U-Werten der Außenwände von $0,016 \text{ W/m}^2\text{K}$. Auf Grund der Tatsache, dass die Wärmebrückenwirkung in dem betrachteten Dämmstoffstärkenbereich bei steigender Dämmschichtdicke abnimmt, wurde ein gegenüber der 10 cm Dämmvariante reduzierter Wärmebrückenzuschlag von $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ angenommen.

7.2.2 Straßenseitige Außenwände

Die straßenseitige Fassade weist Stuckverzierungen auf, welche erhalten bleiben sollen, so dass für diesen Bereich als Optimierungslösungen nur Innendämmsysteme in Frage kommen. Diese Form der Dämmung ist aus bauphysikalischer Sicht nicht unproblematisch, weswegen bestimmte konstruktive Schutzmaßnahmen erforderlich sind.

Zum einen kühlt durch die raumseitig aufgebrachte Dämmschicht das Mauerwerk bei niedrigen Außentemperaturen so aus, dass eine Luftundichtigkeit in der Dämmebene über Konvektion zu einem Tauwasserausfall auf der Innenoberfläche des Mauerwerks führen kann. Daher sind Innendämmungen so luftdicht auszuführen, dass keine offenen Fugen oder Bauteilanschlüsse entstehen und eine Konvektion unterbunden wird. Zum anderen kann auch durch Diffusion bei einer Taupunktunterschreitung im Bauteil Feuchtigkeit anfallen, was entweder durch eine raumseitig angeordnete dampfdichte Schicht verhindert oder durch kapillaraktive Dämmstoffe, welche die anfallende Feuchtigkeit aufnehmen und wieder an die Raumluft abgeben, entschärft werden kann.

Diese zwei unterschiedlichen Ansätze sind mit der Kalziumsilikatvariante als kapillaraktives und der Mineralfaser- bzw. Vakuumdämmung als Dampfsperrensystem im Rahmen des Untersuchungsganges betrachtet worden. Da das Bestandsgebäude Holzbalkendecken aufweist, ist bei allen Varianten eine Aufnahme der ersten Holzdielenlage und des Zwischenboden mit anschließender Dämmung und Abdichtung der Balkenzwischenräume im Mauerwerksbereich berücksichtigt worden. Dabei sind insbesondere die Anschlüsse der Dämm- bzw. Dichtungsebene an die Balken von Bedeutung, da bei undichten Anschlüssen Feuchteschäden im Balkenkopfbereich auftreten können.

Ein weiteres Problem bei der Innendämmung stellen die Wärmebrücken dar. Bei raumseitigen Bauteilen, die in das Außenmauerwerk einbinden, wird die Dämmschicht unterbrochen, was zu sehr ausgeprägten Wärmebrücken führen kann. Auch bei den Fensterlaibungen und Anschlüssen kann es gegenüber dem Regelquerschnitt so zu deutlich höheren Wärmeverlusten kommen. Zum einen verringern diese Stellen durch die Wärmeverluste die Effektivität der Gesamtmaßnahme, zum anderen besteht die Gefahr, dass in diesen Bereichen die Oberflächentemperatur soweit absinkt, dass die

warme Raumlufte kondensiert und durch die erhöhte Feuchtebelastung Schimmelpilzwachstum entstehen kann. Durch gezielte Optimierung der Wärmebrückenbereiche kann diesen Problemen begegnet werden, was eine detaillierte Berechnung und Maßnahmenanalyse für jede Wärmebrücke erfordert. Da eine Wärmebrückenoptimierung nicht Ziel des Untersuchungsganges ist, sind bei der Innendämmung wie bei den übrigen Hüllflächenbereichen pauschale Wärmebrückenzuschläge angenommen worden. Zusätzlich wurde beispielhaft für die Wärmebrücke „einbindende Innenwand“ das Kriterium der Schimmelpilzgefahr im Hinblick auf die verschiedenen Dämmvarianten untersucht, falls notwendig eine Optimierung⁹⁷ vorgesehen und diese in den weiteren Berechnungen berücksichtigt⁹⁸ (siehe Anhang A 10).

Innendämmung Kalziumsilikat

Das betrachtete Kalziumsilikatsystem besteht aus 5 cm starken Kalziumsilikatplatten, welche auf den Innenbestandsputz der Außenwände aufgeklebt⁹⁹ und deren Fugen verspachtelt werden. Die Oberfläche lässt sich anschließend verputzen, streichen oder tapezieren. Dabei müssen die Beschichtungen in jedem Fall diffusionsoffen sein, damit die Funktionalität der Platten gewährleistet bleibt. In den Berechnungen ist ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von 0,06 W/mK zu Grunde gelegt worden, was zu U-Werten von 0,57 W/m²K – 0,78 W/m²K führt. Diese erfüllen nicht die EnEV-Anforderung von 0,45 W/m²K, so dass die Maßnahme nur bei einer Befreiung von den EnEV-Vorschriften umsetzbar ist. Auf Grund der gegenüber anderen Dämmstoffen geringeren Dämmwirkung ist mit einem moderaten Wärmebrückenzuschlag von 0,08 W/m²K gerechnet worden.

Innendämmung Mineralfaser

Die untersuchte Mineralfaserdämmvariante besteht aus einer raumseitig vor das Außenmauerwerk gestellten, einseitig mit Gipskartonplatten beplankten Vorsatzschale aus Metallständerwerk (75 mm CW-Profile), in welches 6 cm starke Mineralfasermatten mit einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/mK eingelegt werden. Zwischen Gipskartonplatten und Ständerwerk wird dabei eine Dampfsperre angeordnet, die durch Abkleben in allen Anschlussbereichen neben dem Dampfdiffusionsschutz auch die Funktion der luftdichten Ebene übernimmt. Im ungestörten Querschnitt werden so U-Werte von 0,35 – 0,42 W/m²K erreicht, womit die EnEV-Anforderung erfüllt wird. Der Wärmebrückenzuschlag wurde mit 0,15 W/m²K berücksichtigt.

⁹⁷ Durch zusätzliche Dämmung der Innenwand im Bereich der Einbindungsstelle.

⁹⁸ Bei dem Wärmebrückenzuschlag und im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung.

⁹⁹ Dazu ist eine plane Oberfläche notwendig, die ggf. durch eine Ausgleichsspachtelung hergestellt werden muss.

Innendämmung Vakuumpaneele

Diese Dämmvariante stellt noch keine Standardlösung dar, wurde aber zusätzlich untersucht, da es zur Zeit die einzige Lösung ist, die im Innendämmbereich bei geringer Konstruktionsstärke eine der Außendämmung adäquate Dämmwirkung bietet. Die Vakuumpaneele werden dabei nach vorherigem Aufmass der Wandflächen angefertigt, wobei sowohl Standardmaße als auch Sonderpaneele zum Einsatz kommen. Die Platten werden auf den Altputz aufgeklebt und alle Fugen und Anschlüsse mit einem Metallband dampf- und luftdicht verschlossen. Da die Paneele von einer dampfdichten Metallfolie eingeschlossen sind, kann eine zusätzliche Dampfsperre entfallen. Vor die Platten wird ein 5 cm starkes Metallständerwerk gestellt, auf welchem raumseitig Gipskartonplatten befestigt werden. Der Luftraum im Ständerwerk dient als Installations-ebene und ermöglicht es, an der Vorsatzschale Gegenstände mit Hohlraumdübeln zu befestigen, ohne dabei die Vakuumelemente zu beschädigen.

Mit dieser Konstruktion werden U-Werte von 0,19 – 0,21 W/m²K erreicht, welche die Anforderungen der EnEV erfüllen und fast im Bereich der betrachteten 20 cm starken Außenwanddämmung liegen. Wie die Wärmebrückenberechnung zeigt, können die Oberflächentemperaturen durch die guten Dämmeigenschaften der Vakuumpaneele an den Wärmebrücken derart sinken, dass Schimmelpilzgefahr besteht. Durch eine zusätzliche Dämmung der einbindenden Innenwände im Vorsatzschalenbereich können die Temperaturen soweit angehoben werden, dass sie bei Standardbedingungen nach DIN 4108-2 über 12,6 °C liegen und die Konstruktion demnach nicht mehr als schimmelpilzgefährdet gilt (siehe Anhang A 10). Zudem ergeben sich gegenüber dem Regelquerschnitt deutlich größere Wärmeverluste, so dass ein erhöhter Wärmebrückenzuschlag von 0,24 W/m²K angenommen wurde.

7.2.3 Fenster

Für die Fenster ist als Optimierungsvariante der komplette Austausch aller Fensterelemente der wärmeübertragenden Hüllfläche berechnet worden. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die neuen Fenster in Form, Gestaltung und Einbausituation den Bestandsfenstern entsprechen sollen, um das Fassadenbild im Wesentlichen erhalten zu können. Es sind mit einem 2-Scheibenfenster mit ungedämmtem Rahmen und einem 3-Scheibenfenster mit gedämmtem Rahmen zwei unterschiedliche Fensterkonzeptionen untersucht worden.

Niedrigenergiehausstandard

Als Niedrigenergiehausfenster und damit energetisch optimierte Lösung in der Klasse der Fenster mit 2-Scheibenverglasung und ungedämmtem Rahmen ist ein Elementaufbau mit einem Weichholzrahmen in IV 68-Bauweise mit einem U_f -Wert von 1,7

W/m²K und einer 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung mit einem U_g -Wert von 1,1 W/m²K, einem g-Wert von 63 % und einem ψ_g -Wert für den thermisch verbesserten Randverbund von 0,04 W/m²K untersucht worden. Die damit erreichten U_w -Werte liegen für das Untersuchungsobjekt zwischen 1,29 W/m²K und 1,59 W/m²K und damit deutlich unter dem in der EnEV festgelegten Maximalwert von 2,0 W/m²K. Die Luftwechselzahl wurde auf Grund der höheren Dichtigkeit der neuen Fenster auf den in der EnEV für freie Lüftung ohne Dichtigkeitsprüfung angegebenen Wert von 0,7 h⁻¹ reduziert.

Passivhausstandard

Ein Fenster im Passivhausstandard stellt zur Zeit die energetisch optimale Lösung in der Fenstertechnik dar und ist daher als Maximallösung untersucht worden. Dabei wurde ein Fenster zu Grunde gelegt, welches aus einem mit PU-Schaumkern gedämmtem Rahmen mit einem U_f -Wert von 0,8 W/m²K und einer 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung mit einem U_g -Wert von 0,70 W/m²K, einem g-Wert von 50 % sowie einem ψ_g -Wert für den Randverbund von 0,026 W/m²K besteht. Die U_w -Werte für die verschiedenen Fensterformate des Untersuchungsobjektes liegen mit dieser Konstruktion zwischen 0,77 W/m²K und 0,91 W/m²K. Die Luftwechselzahl wurde adäquat zur Niedrigenergiestandardfensterlösung auf 0,7 h⁻¹ reduziert.

7.2.4 Erdgeschossfußboden

Da das Untersuchungsobjekt teilunterkellert ist, kommen als über alle Bodenbereiche durchlaufende Dämmmaßnahmen nur Lösungen in Frage, bei denen die Dämmschicht entweder in den vorhandenen Bodenaufbau integriert oder als zusätzliche Schicht auf die Bestandskonstruktion aufgebracht wird.

Eine Betrachtung einer unterseitigen Kellerdeckendämmung bietet sich nicht an, da diese Lösung für die Gruppe der gründerzeitlichen Gebäude ohne Keller nicht umsetzbar ist. Ein Aufnehmen und Wiedereinbauen des alten Dielenbodens stellt sich aufwändiger dar als der Einbau einer neuen Fußbodenschicht, so dass ein System aus 8 cm starker Mineralfaserdämmung mit einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/mK und einem darauf aufgetragenen schwimmenden Estrich von 4 cm Stärke untersucht worden ist. In der Regel stehen bei den gründerzeitlichen Gebäuden insbesondere im Erdgeschoss ausreichende Raumhöhen für eine solche Maßnahme zur Verfügung, wobei eine Anpassung der Türen einschließlich Schwellen an die neuen Fußbodenhöhen notwendig wird.

Da es sich bei dieser Variante um eine Innendämmung handelt, müssen die bereits beschriebenen baukonstruktiven Schutzmaßnahmen inklusive Einbau einer Dampfsperre raumseitig der Dämmebene beachtet werden. Die U-Werte für das Untersu-

chungsobjekt liegen bei dieser Konstruktion zwischen $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ und erfüllen damit die Mindestanforderungen der EnEV von $0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$. Der Wärmebrückenzuschlag wurde entsprechend der Mineralfaserdämmvariante aus Punkt 7.2.2 mit $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ angenommen.

7.2.5 Oberste Geschossdecke

Die Fläche der obersten Geschossdecke setzt sich aus den zwei Teilabschnitten „Holzbalkendecke gegen unbeheizten Dachraum“ und „Flachdach gegen Außenluft“ zusammen. Es ist zum einen die alleinige Verbesserung des Dachgeschossfußbodens und als zweite Variante die energetische Optimierung beider Bereiche untersucht worden.

Dachgeschossfußboden

Als möglichst einfach umzusetzende Maßnahme bietet sich für den Bereich zum Innenraum wie bei dem Erdgeschossfußboden ebenfalls eine Aufdeckendämmung an, da alle anderen Dämmvarianten ein Öffnen der vorhandenen Deckenkonstruktion oder größere Arbeiten im Wohnbereich notwendig machen und dementsprechend aufwändiger sind. Aus diesem Grund wurde hier ein System adäquat zu der in Punkt 7.2.4 beschriebenen Maßnahme untersucht, wobei sich ein U-Wert von $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ ergibt, der unter dem EnEV-Maximalwert von $0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ liegt. Der Wärmebrückenzuschlag wurde dabei als dem Wert für das 10 cm starke Wärmedämmverbundsystem aus Punkt 7.2.2 entsprechend mit $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$ angenommen.

Dachgeschossfußboden und Flachdach

Hier ist die zuvor beschriebene Maßnahme für den Dachgeschossfußboden betrachtet und zusätzlich eine Optimierung der Flachdachbereiche vorgenommen worden. Die für den Dachbereich betrachtete Maßnahme umfasst das Aufnehmen der äußeren Dachschalung, der Dichtungsbahnen und der Ziegelsplittfüllung, das Dämmen der oberhalb des Zwischenbodens gelegenen Balkenzwischenbereiche mit 20 cm starker Mineralwolle mit einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W/mK}$ und das anschließende Widerverschließen der Dachfläche. Hierbei wird zunächst eine diffusionsoffene Unterspannbahn auf die vorhandenen Balken aufgebracht, um anschließend eine Balkenlage mit einer Holzschalungsebene und der Dachabdichtung aufzubringen. Auf diesem Weg entsteht oberhalb der Dämmlage und unterhalb der Dachdichtung ein belüfteter Hohlraum, der eine Dampfdiffusion aus der Dämmung nach außen und damit einen Verzicht auf eine innere Dampfsperre ermöglicht. Dabei wird ein U-Werte von $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht, womit die EnEV-Anforderung von $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ erfüllt wird. Der Wärmebrückenzuschlag entspricht mit $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$ dem für den Dachgeschossfußboden angenommenen Wert.

7.2.6 Lichtschacht

Als Maßnahmen für den Lichtschacht wurden entsprechend dem Bereich der hofseitigen Außenwände zwei verschiedenen Außendämmvarianten berechnet. Zusätzlich wurde der Fall des Schließens des Lichtschachtes bei Einbeziehung in das beheizte Volumen untersucht.

WDVS 10 cm

Die Ausführung entspricht den unter Punkt 7.2.1 für das 10 cm Dämmsystem beschriebenen Maßnahmen. Damit ergeben sich für diesen Bereich U-Werte von 0,29 W/m²K bis 0,30 W/m²K, womit die Mindestanforderungen der EnEV erfüllt werden.

WDVS 20 cm

Die Berechnungen sind entsprechend den in Punkt 7.2.1 für das 20 cm Wärmedämmverbundsystem getroffenen Festlegungen durchgeführt worden. Für die Lichtschachtaußenwände bedeutet dies einen U-Wert von 0,16 W/m²K, welcher unter dem zulässigen EnEV-Maximalwert liegt.

Schließen

Diese Maßnahme beinhaltet das Einziehen neuer Stahlbetondecken inklusive Fußbodeneinbau in jedem Wohngeschoss, das Schließen des Flachdaches über dem Lichtschacht, das Entfernen der nicht mehr benötigten Fenster- und Türelemente und Schließen der diesbezüglichen Öffnungen, sowie das Erstellen von Zugängen von jeder Etage aus. So kann insgesamt eine Grundfläche von 22,6 m² zugeschlagen werden, wobei sich die Größe der wärmeabgebenden Hüllfläche um 63 m² verringert. Das neu einzuziehende und damit gedämmte Dach wird mit einem U-Wert von 0,24 W/m²K und der Erdgeschossfußboden mit einem U-Wert von 0,45 W/m²K berücksichtigt und jeweils entsprechend der 10 cm Außendämmung aus Punkt 7.2.1 mit einem Wärmebrückenzuschlag von 0,07 W/m²K versehen.

7.2.7 Treppenhaus

Für den Bereich des Treppenhauses sind zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt worden. Zum einen wurde eine Dämmung aller Treppenhauswände, die an die beheizte Zone grenzen, untersucht und zum anderen ermittelt, wie sich die Situation verändert, wenn das Treppenhaus in die beheizte Zone mit einbezogen wird.

Dämmung

Als Dämmmaßnahme ist eine treppenhausseitige Vorsatzschale aus Metallständerwerk (75 mm CW-Profile), in welches eine 6 cm starken Mineralfasermatteneinlage mit

einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W/m}^2\text{K}$ eingelegt wird, mit einer Beplankung aus Gipskartonplatten angenommen worden. Für das Untersuchungsobjekt ergibt diese Maßnahme U-Werte von $0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$ bis $0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$, wodurch der diesbezügliche Maximalwert der EnEV von $0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ unterschritten wird. Die Wärmebrücken wurden wie bei der 10 cm Außendämmung aus Punkt 7.2.1 über einen Zuschlag von $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$ berücksichtigt.

Beheizung

Bei dieser Variante ist davon ausgegangen worden, dass durch den Einbau von Heizkörpern der Treppenraum auf die Norm-Innentemperatur von $19 \text{ }^\circ\text{C}$ geheizt und somit eine Veränderung in der Größe der beheizten Zone erreicht wird. Dies verkleinert die wärmeabgebende Hüllfläche, wobei dann allerdings statt der Flächen zu unbeheizten Räumen solche gegen Außenluft hinzutreten. Da dabei keine Dämmmaßnahmen anfallen, sind keine zusätzlichen Wärmebrückenzuschläge angenommen worden.

7.3 Investitionskosten

Die den Berechnungen zu Grunde liegenden Maßnahmekosten sind unter Berücksichtigung verschiedener Quellen kalkuliert und überprüft worden. Zum einen wurde die Baukostendatenbank der Software Sirados-Baudaten [7] verwendet wobei die Ergebnisse mit Hersteller- und Firmenangaben verglichen worden sind. Zum anderen konnte der Angebotsspiegel, der im Rahmen des Forschungsprojektes EnSan erstellt worden ist, als Vergleich herangezogen werden.

Tabelle 17 zeigt eine Übersicht zu den Gesamtbruttokosten der einzelnen Maßnahmen. Eine detaillierte Kostenaufschlüsselung findet sich im Anhang (siehe Anhang A 9). Dabei wurden die Sowiesokosten (vgl. Kapitel 4.3.3) nicht berücksichtigt. Dies bedeutet, dass keine Gerüst-, Maler- und Tapezierarbeiten in den Preisen enthalten sind. Bei den Kosten für die Dämmung des Flachdachs wurden Aufwendungen von $30,- \text{ €/m}^2$ für eine Ausbesserung der alten Dachfläche als Sowiesokosten angenommen. Alle Kosten, die nicht direkt zu der jeweiligen Optimierung gehören, aber durch deren Umsetzung zusätzlich anfallen, wie beispielsweise die Erneuerung der Innenfensterbänke bei Aufbringen einer Innendämmung, sind dagegen in die Preiskalkulation eingeflossen.

Nr.	Maßnahme	E.-Preis [€]	Menge	ME	Gesamt netto [€]	Gesamt brutto [€]
1	WDVS Hof 10 cm	80,31	256,42	m ²	20.593,09	23.887,98
2	WDVS Hof 20 cm	90,59	256,42	m ²	23.229,09	26.945,74
3	Innendämmung Kalziumsilikat	120,74	98,77	m ²	11.925,49	13.833,57
4	Innendämmung Mineralfaser	70,28	98,77	m ²	6.941,56	8.052,20
5	Innendämmung Vakuumpaneele	230,70	98,77	m ²	22.786,24	26.432,04
6	Fenster, Niedrigenergie, > 3 m ²	400,00	98,20	m ²	39.280,00	45.564,80
7	Fenster, Niedrigenergie, 1-3 m ²	410,00	41,16	m ²	16.875,60	19.575,70
8	Fenster, Niedrigenergie, < 1 m ²	420,00	5,28	m ²	2.217,60	2.572,42
9	Fenster, Passivhaus, > 3 m ²	600,00	98,20	m ²	58.920,00	68.347,20
10	Fenster, Passivhaus, 1-3 m ²	610,00	41,16	m ²	25.107,60	29.124,82
11	Fenster, Passivhaus, < 1 m ²	620,00	5,28	m ²	3.273,60	3.797,38
12	Dämmung EG-Fußboden	45,00	166,31	m ²	7.483,95	8.681,38
13	Dämmung DG-Fußboden	45,00	132,16	m ²	5.947,20	6.898,75
14	Dämmung Flachdach	130,04	47,17	m ²	6.133,99	7.115,42
15	WDVS Lichtschacht 10 cm	76,32	95,99	m ²	7.325,96	8.498,11
16	WDVS Lichtschacht 20 cm	86,35	95,99	m ²	8.288,74	9.614,93
17	Lichtschacht schließen	20.734,00	1,00	St.	20.734,00	24.051,44
18	Dämmung Treppenhaus	45,00	182,31	m ²	8.203,95	9.516,58
19	Beheizung Treppenhaus	1.700,00	1,00	St.	1.700,00	1.972,00

Tabelle 17: Gesamtkosten der bautechnischen Optimierungsmaßnahmen

Die aufgeführten Kosten aus Punkt 13 „Dämmung Dachgeschossfußboden“ und Punkt 14 „Dämmung Flachdach“ ergeben zusammen die für die Optimierungslösung „Dachgeschossboden und Flachdach“ angesetzten Maßnahmekosten.

Bei den Kosten zu Punkt 17 „Lichtschacht schließen“ sind alle Maßnahmen berücksichtigt worden, die notwendig sind, um den vorhandenen Lichtschacht so auszubauen, dass fertige, von den Wohnungen aus begehbare Räume entstehen. Dementsprechend sind hier auch Tapezier-, Maler- und Fußbodenarbeiten in den Preisen enthalten. Da bei dieser Variante neuer Wohnraum entsteht, müssen von den Gesamtkosten die entstehenden zusätzlichen Mieteinnahmen abgezogen werden. Hierzu sind 22,6 m² neue Fläche und 6,72 € Quadratmetermiete¹⁰⁰ angesetzt worden, was zu Einnahmen von 36.449,- € über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren führt.

Die Kosten für Punkt 19 „Beheizung Treppenhaus“ umfassen die Installation der notwendigen Heizkörper und Verteilleitungen mit Anschluss an das bestehende zentrale Heizsystem.

¹⁰⁰Nach dem Hamburger Mietspiegel 2005, Gebäude bis 1918 errichtet, mit Bad und Sammelheizung, Wohnungsgrößen zwischen 66 m² und 91 m², normale Wohnlage [vgl. 72].

7.4 Berechnungsergebnisse

Die Berechnungsergebnisse bezüglich der Gesamtkosten, des KEA, des GWP und des AP sowie die Maßnahmenbewertung werden im Folgenden für die beiden Energiekostensteigerungsszenarien dargestellt und analysiert. Außerdem ist eine Berechnung zu der Aufwandszahlentwicklung nach Ende des Betrachtungszeitraumes durchgeführt worden, deren Ergebnis anschließend dargestellt und erläutert wird.

7.4.1 Kosten

Die Abbildungen 59 und 60 zeigen für die moderate und die starke Energiepreissteigerung die Bruttogesamtkosten bei den einzelnen bautechnischen Optimierungsvarianten nach 20 Jahren, welche sich aus den Aufwendungen für den Energiebezug und den Kapitalkosten für die Investition in die jeweilige Wärmeversorgungsanlage und bautechnische Maßnahme sowie den Wartungskosten für die Anlagentechnik zusammensetzen. Als Referenz sind die Werte für den bautechnisch unsanierten Bestand angegeben.

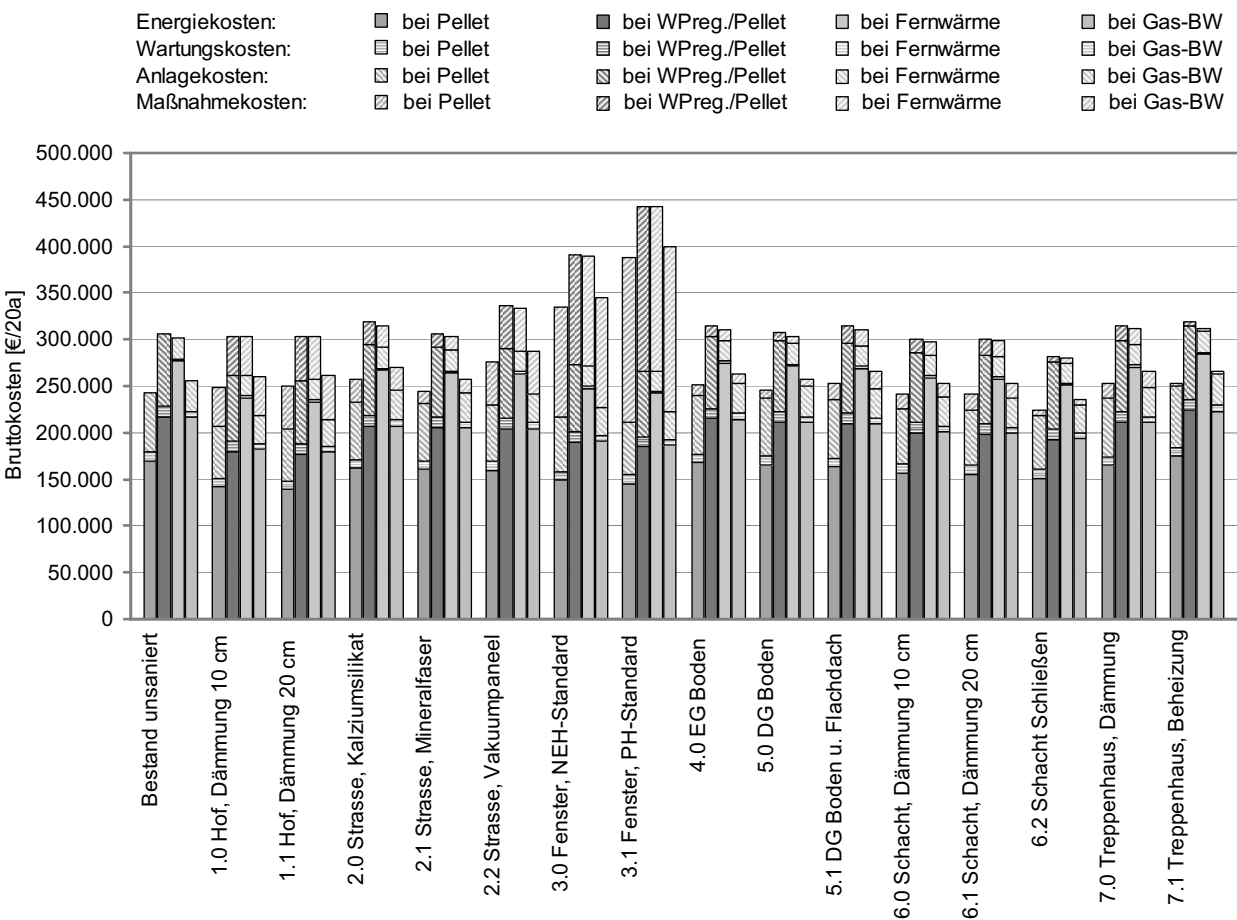


Abbildung 59: Kostenvergleich Bautechnik bei EKS 1

Bei Ansatz einer moderaten Energiekostensteigerung zeigt sich, dass die Mehrheit der betrachteten Maßnahmen in dem 20-jährigen Betrachtungszeitraum höhere Kosten verursacht als der Ausgangsfall, wobei die Werte in der Regel nur sehr knapp über den jeweiligen Bestandskosten liegen. So ist beispielsweise die Maßnahme 5.0 „Dachgeschossboden“ mit um maximal 2.766 € erhöhten Kosten bei Ausgangsgesamtkosten von 242.631 € bis 306.386 € nur unerheblich teurer als der Bestandsfall. Bei den meisten Lösungen liegen die Kosten für die eingesparte kWh demnach in ähnlichen Größenordnungen, unabhängig davon ob es sich um eine umfassendere oder kleinere Maßnahme handelt. Lediglich bei den Fensterlösungen und der Vakuuminnendämmung sind die Gesamtaufwendungen deutlich höher als die Kosten der Referenzfälle, wobei der Einbau von Fenstern im Passivhausstandard bei einer Pelletanlage mit Mehrkosten von 145.286 € die größte Kostensteigerung verursacht. Bei den Dämmmaßnahmen für die hofseitigen Außenwände, der Mineralfaserinnendämmung und den Lichtschachtlösungen kommt es zum Teil gegenüber den Ausgangskosten zu verringerten Aufwendungen, wobei zwischen der hofseitigen Dämmung mit 10 cm und 20 cm Dämmstoffstärke kaum Unterschiede bestehen und die größte Einsparung mit 25.132,- € von der Variante 6.2 „Schacht Schließen“ bei der Kombination aus regenerativ betriebener Wärmepumpe und Pelletanlage zu verzeichnen ist.

Nur bei den Fenstervarianten sind die Maßnahmekosten für die bautechnische Optimierung so hoch, dass sie im Bereich der Energiekosten liegen oder diese zum Teil übersteigen. Bei den übrigen Varianten sind die maßnahmenbedingten Aufwendungen im Vergleich zu den Energiekosten deutlich geringer, so dass diese weiterhin der bestimmende Faktor sind.

Es ist weiterhin zu erkennen, dass die Wahl des anlagentechnischen Systems einen entscheidenden Einfluss auf die Gesamtkosteneffizienz einer bautechnischen Optimierungsmaßnahme hat. Während beispielsweise eine 10 cm starke Dämmung der hofseitigen Außenwände bei einer Pelletlösung über 7.000 € höhere Kosten als der ungedämmte Ausgangsfall verursacht, werden bei der Kombination aus einer regenerativ betriebenen Wärmepumpe und einer Pelletanlage bei derselben Maßnahme gegenüber dem Ausgangsfall über 3.000 € eingespart. Die Auswahl von bautechnischen Varianten muss demnach immer anlagenspezifisch erfolgen, wenn das jeweils kostengünstigste Gesamtpaket zusammengestellt werden soll.

Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei den unterschiedlichen Systemen die gleichen Maßnahmekosten eine unterschiedliche Reduktion der Anlage- und Energiekosten bewirken. So macht sich eine für alle Systeme gleiche Verringerung des Heizwärmebedarfs je nach Effizienz der Anlagentechnik bei dem jeweiligen Endenergiebedarf unterschiedlich bemerkbar. Bei einem System mit einem schlechten Wirkungsgrad wird dabei eine größere Endenergieeinsparung erreicht als bei Anlagen, die die Energie des

Energieträgers sehr effektiv nutzen. Des Weiteren hat der Preis für den jeweils bezogenen Energieträger einen entscheidenden Einfluss. Die gleiche Endenergieeinsparung bewirkt eine um so größere Kostenreduktion, je teurer der Energieträger ist. Ebenfalls deutliche Unterschiede treten bei den Anlagekosten auf. Während bei einer anlagentechnischen Lösung, die hohe Kosten pro installierte kW Leistung aufweist, jede Verringerung der benötigten Leistung und damit die Verkleinerung der Anlagengröße, zu einer dementsprechend hohen Einsparung führt, macht sich dies bei einer preisgünstigeren Lösung nicht in gleicher Weise bemerkbar.

Bei den betrachteten Anlagensystemen ist allerdings auch zu berücksichtigen, dass die Gesamtkosten jeweils auf sehr unterschiedlichem Niveau liegen und schon bei dem Ausgangsfall Unterschiede von über 60.000 € zwischen der günstigsten und der teuersten anlagentechnischen Lösung bestehen. Die jeweiligen Maßnahmen führen zwar bei den teureren Varianten zu höheren Einsparungen bzw. geringeren Verlusten, wobei sich aber die Kostenreihenfolge zwischen den einzelnen anlagentechnischen Lösungen bei keiner Optimierungsmaßnahme ändert.

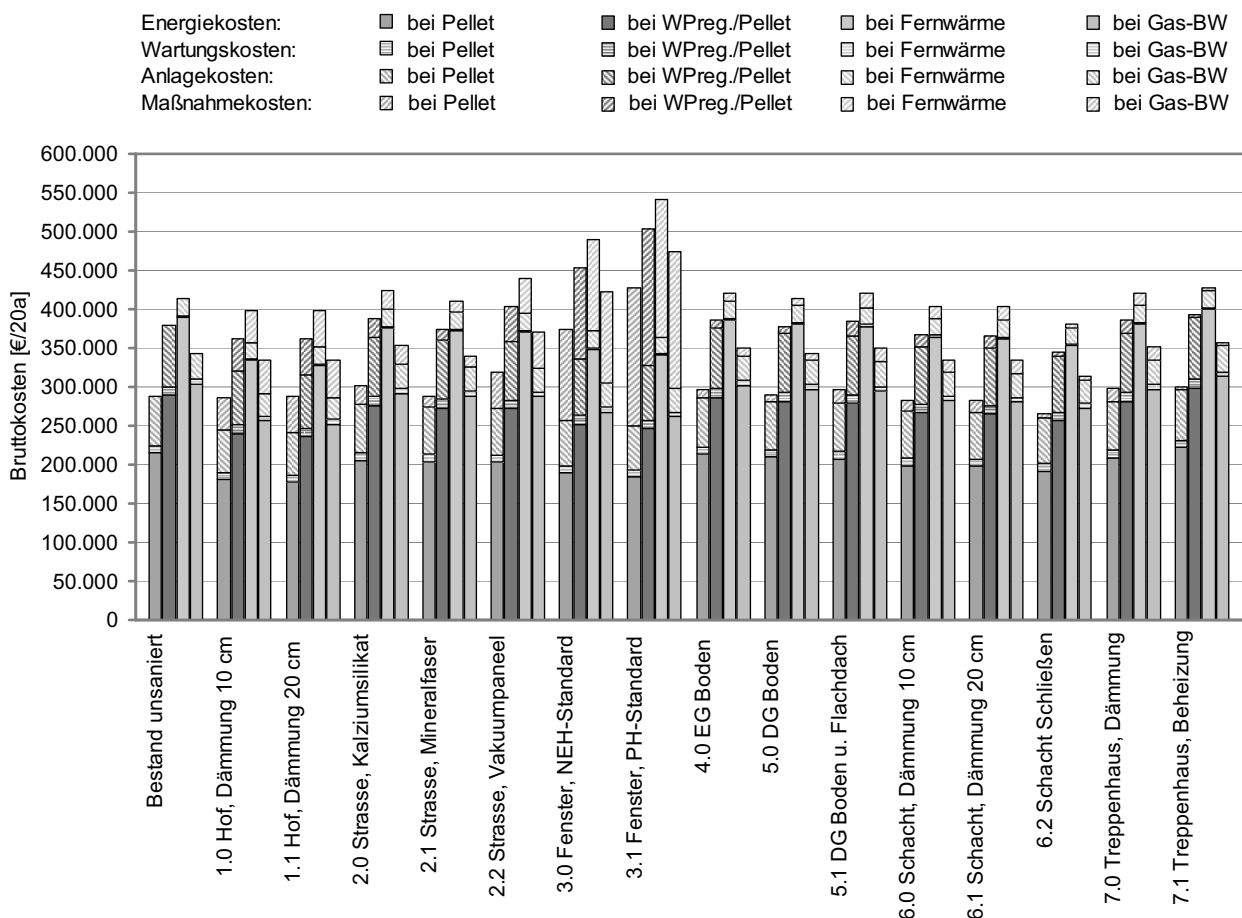


Abbildung 60: Kostenvergleich Bautechnik bei EKS 2

Bei einer starken Energiepreissteigerung zeigt sich ein etwas verändertes Bild. Fast die

Hälfte aller Maßnahmen ist nach 20 Jahren kostengünstiger als der jeweilige Ausgangsfall. Der Anteil der Energie- an den Gesamtkosten ist größer geworden, so dass sich die Energieeinsparungen entsprechend deutlicher bemerkbar machen. Die hofseitige Außendämmung für beide Dämmstoffstärken, die Mineralfaserinnendämmung und alle Schachtlösungen liegen bei allen anlagentechnischen Systemen in ihren Gesamtkosten unter den jeweiligen Aufwendungen ohne bautechnische Optimierungsmaßnahme. Bei der Variante 5.0 „Dachgeschoss Fußbodendämmung“ liegen die Kosten bei dem Wärmepumpen-/Pellet- und dem Fernwärmesystem jeweils unter den Ausgangskosten. Nach wie vor stellen die Vakuuminnendämmung und der Fensteraustausch die Varianten mit den höchsten Gesamtaufwendungen dar. Die Variante 6.2 „Lichtsacht schließen“ hat mit einer Einsparung von 33.388 € bei der Anlagenkombination aus Wärmepumpen- und Pelletsystem nach wie vor das größte Kosteneinsparungspotential. Ebenso wie bei der moderaten Energiekostensteigerung ändert sich die Rangfolge zwischen den Anlagensystemen bei den einzelnen bautechnischen Varianten nicht.

7.4.2 KEA

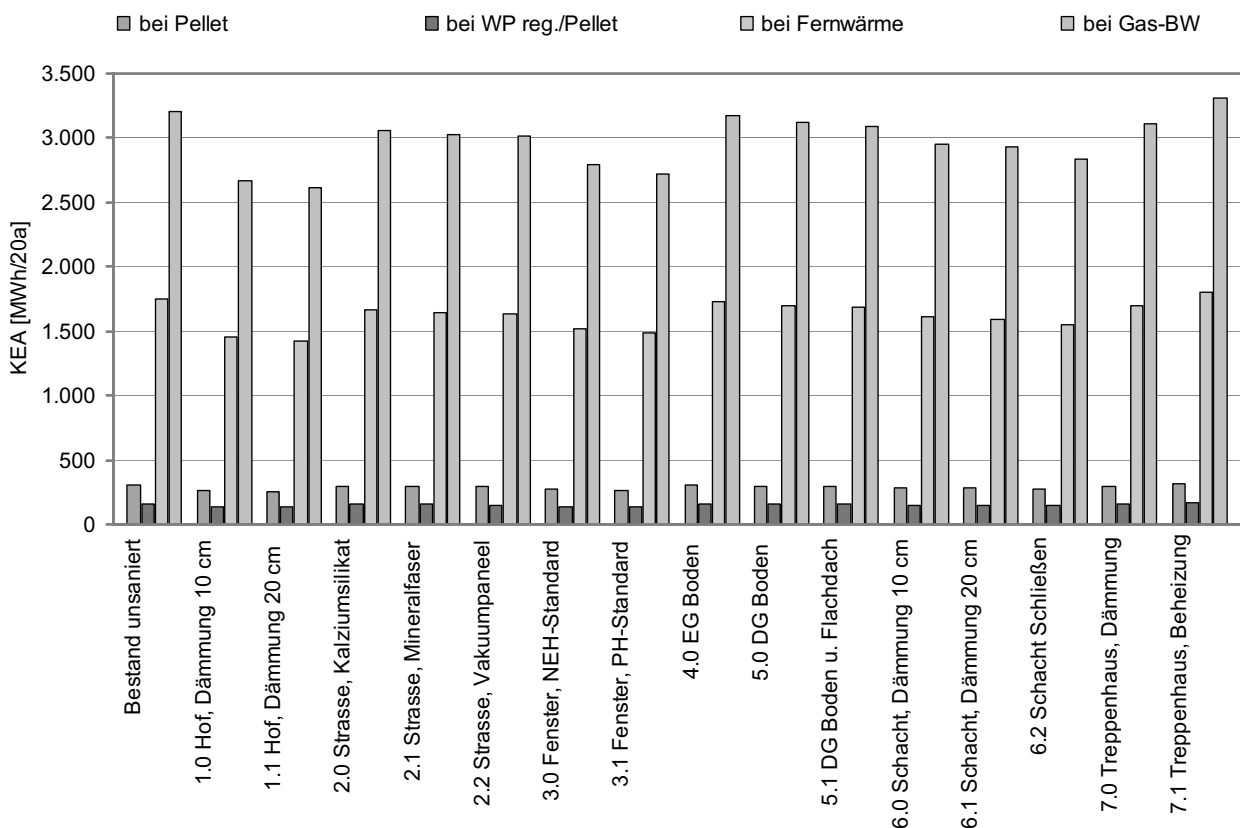


Abbildung 61: KEA-Vergleich Bautechnik

In Abbildung 61 sind die Auswirkungen der einzelnen Optimierungsmaßnahmen auf den kumulierten Energieaufwand in Bezug zum Ausgangsfall dargestellt. Hierbei unter-

scheiden sich die einzelnen anlagentechnischen Systeme noch deutlicher, als dies bei der Kostenbetrachtung der Fall ist. Während die Systeme mit regenerativen Energieträgern mit maximal 307,54 MWh/20a sehr niedrige KEA-Werte aufweisen, liegen die Fernwärmelösungen mit Werten um die 1.500 MWh/20a und die Gasbrennwertlösungen mit einer nochmaligen Verdoppelung dieses Wertes deutlich darüber, wobei die verschiedenen bautechnischen Optimierungsvarianten dieses Verhältnis nicht entscheidend beeinflussen. Ersichtlich ist jedoch auch, dass der Effekt der jeweiligen Energieeinsparung bei den Systemen mit fossilen Energieträgern sehr viel ausgeprägter ist als bei den Wärmepumpen- und Pelletanlagen. Dies erklärt sich dadurch, dass sich die KEA-Faktoren stark unterscheiden und diesbezüglich hohe Werte bei den fossilen Energieträgern bei gleicher Energieeinsparung auch zu höheren KEA-Einsparungen führen.

Die Optimierungsvariante mit der größten Energieeinsparung stellt die hofseitige Außenwanddämmung mit 20 cm Dämmstoffstärke dar, worauf die 10 cm Variante folgt. Bei Einsatz einer Gasbrennwertanlage lassen sich so über 18 % an kumuliertem Energieaufwand einsparen. Dieser Wert wird zwar bei der Anlagenkombination Wärmepumpen- und Pelletsystem ebenfalls fast erreicht, bedeutet hier aber nur eine Einsparung von etwas über 30 MWh/20a, während bei der Gas-Brennwertanlage der Bedarf um fast 600 MWh/20a verringert wird. Der Fensteraustausch mit Passivhausfenstern führt zur drittgrößten KEA-Verringerung, gefolgt von dem Austausch durch Niedrigenergiefenster. Der geringste Einspareffekt wird durch die Dämmung des Erdgeschossfußbodens erreicht. Die Maßnahme 7.1 „Treppenhaus beheizen“ führt dagegen zu einem um über 100 MWh erhöhten KEA. Hier sind die Wärmeverluste über die Wände zur Außenluft größer als die Transmission über die Wohnungstrennwände zum unbeheizten Treppenhaus im Ausgangsfall.

7.4.3 GWP und AP

Wie bei der Betrachtung der Anlagentechnik wird auch bei der Untersuchung der bautechnischen Optimierungsvarianten in den Abbildungen 62 und 63 die jeweilige Maßnahmenauswirkung auf das Treibhaus- und das Versauerungspotential als zusätzliche Information ohne Einfluss auf die anschließende Bewertung dargestellt.

Bei dem GWP zeigt sich dabei ein der KEA-Betrachtung sehr ähnliches Bild mit großen Unterschieden zwischen den mit fossilen und regenerativen Energieträgern versorgten Anlagensystemen, wobei hier die Fernwärmelösungen jeweils die höchsten CO₂-Äquivalenzwerte aufweisen. Wie bei dem KEA sind die Auswirkungen der einzelnen Optimierungsmaßnahmen im Verhältnis zu den Effekten eines Anlagensystemwechsels deutlich geringer.

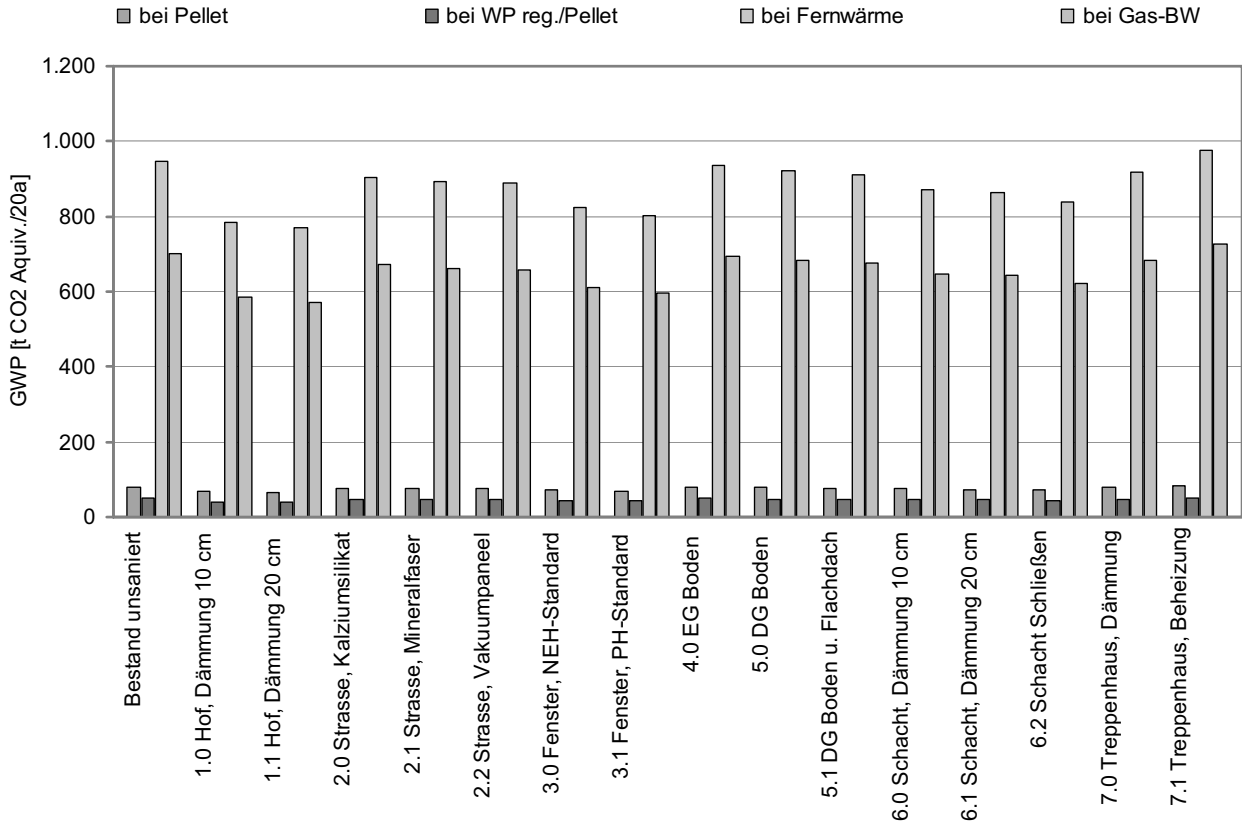


Abbildung 62: GWP-Vergleich Bautechnik

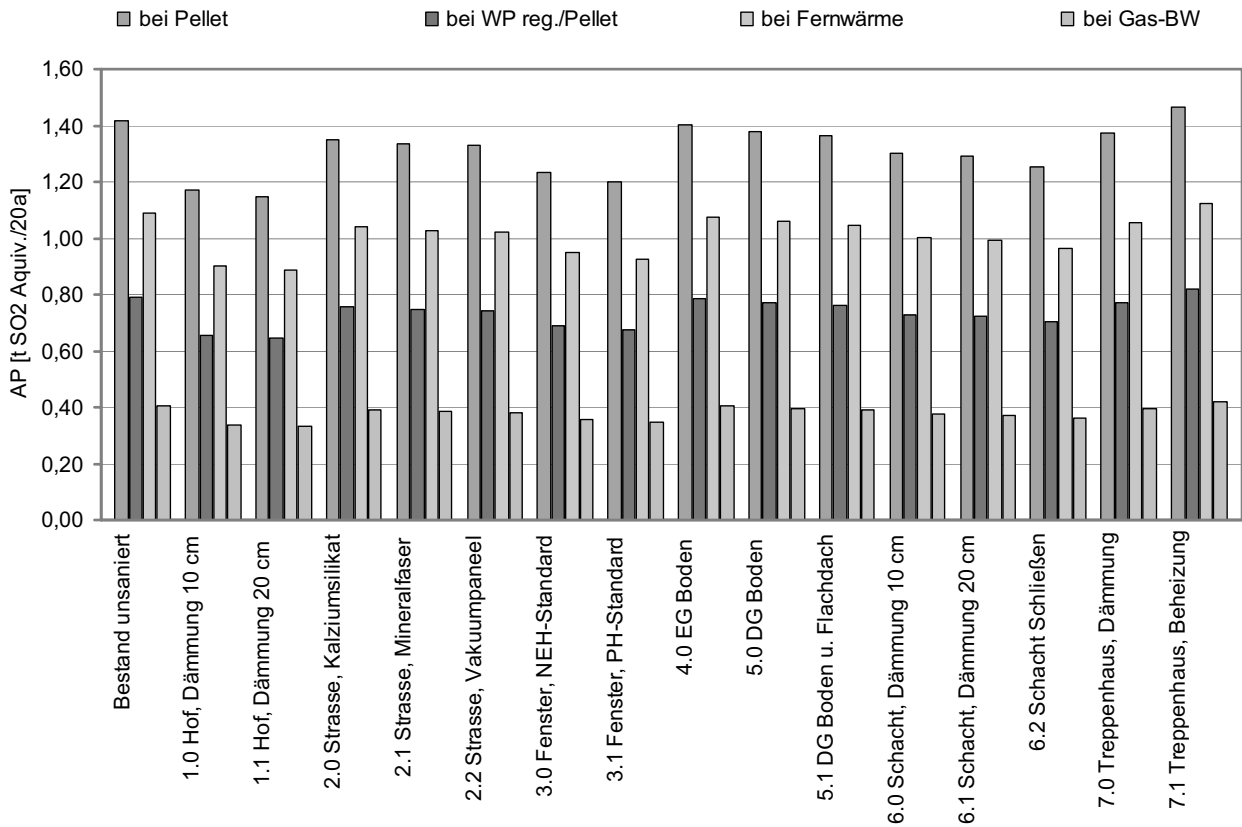


Abbildung 63: AP-Vergleich Bautechnik

Auch bei dem Versauerungspotential stellt die Anlagentechnik den entscheidenden Faktor dar, wobei hier die Unterschiede zwischen den Anlagensystemen nicht ganz so gravierend ausfallen. Die Optimierungsmaßnahmen bewirken auch bei der AP-Betrachtung keine Veränderung in der Anlagenreihenfolge, so dass die Pelletsysteme als anlagentechnische Lösungen mit dem höchsten Versauerungspotential unabhängig von der betrachteten Maßnahme immer die höchsten AP-Werte aufweisen. Durch einzelne Optimierungsmaßnahmen, wie beispielsweise die hofseitige Dämmung der Außenwände mit 20 cm Dämmstoffstärke, kann aber der AP-Wert soweit verringert werden, dass er sich dem Bereich anderer anlagentechnischer Lösungen, in dem Falle der Bestandsfernwärmesysteme, annähert.

7.4.4 Bewertung

Die in Abbildung 64 und 65 für die beiden Energiekostensteigerungsszenarien dargestellten Bewertungen sind auf Grundlage des in Kapitel 4.5 beschriebenen Verfahrens durchgeführt worden. Dabei wurden zunächst, wie bei der Betrachtung der Anlagentechnik, die aus den jeweiligen Gesamtkosten und den KEA-Werten für die einzelnen Maßnahmen gebildeten Aufwandszahlen in Bezug auf den unsanierten Ausgangsfall berechnet. Anschließend sind die so erhaltenen Werte jeweils mit den dazugehörigen Aufwandszahlen der anlagentechnischen Systeme aus der Anlagenberechnung verglichen und die Differenzen ermittelt worden, um das zusätzliche Verbesserungspotential der einzelnen bautechnischen Lösungen zu bestimmen. Diese jeweiligen Veränderungen der Aufwandszahlen sind in den Abbildungen dargestellt, wobei negative Zahlen eine Verschlechterung und positive Zahlen eine Verbesserung um die jeweiligen Prozentpunkte gegenüber der rein anlagentechnischen Optimierungsvariante bedeuten.

Bei einer moderaten Energiepreissteigerung stellen die verschiedenen Lösungen für den Lichtschacht die einzigen Maßnahmen dar, die bei allen Anlagensystemen zu einer weiteren Verbesserung der Aufwandszahl führen, wobei die Variante 6.2 „Schacht schließen“ mit einer Verringerung der Aufwandszahl um knapp 6 % das größte Verbesserungspotential aufweist. Die Dämmung der hofseitigen Außenwände führt bei allen anlagentechnischen Systemen außer bei der Pelletlösung ebenfalls zu einer Aufwandszahlverbesserung. Bei der Pelletanlage geht eine geringe KEA-Einsparung mit einer gleichzeitigen Erhöhung der Gesamtkosten einher, so dass sich die Aufwandszahl insgesamt verschlechtert. Durch die bereits bei der KEA-Betrachtung beschriebene hohe KEA-Verringerung bei Systemen mit dem Bezug fossiler Energieträger, weist insbesondere die Gas-Brennwertlösung eine deutliche Verbesserung der Aufwandszahl von über 5 % bei der 20 cm Dämmvariante auf. Die Mineralfaserdämmvariante stellt bei den Innendämmsystemen die einzige Lösung dar, die die Aufwandszahlen ebenfalls verringert. Hier ist lediglich bei der Pelletanlage eine sehr geringfügige Verschlechterung zu verzeichnen. Die Varianten mit der Kalziumsilikat- und der Vaku-

umdämmung führen ebenso wenig zu einer Aufwandszahlverbesserung wie beide Fensterlösungen, die Dämmung des Erdgeschossfußbodens und die beiden Treppenhausmaßnahmen. Bei der Dachgeschossbodendämmung wird für das Fernwärme- und das Gas-Brennwertsystem und bei der Maßnahme 5.1 mit zusätzlicher Dämmung des Flachdaches ausschließlich für die Gas-Brennwertanlage eine Verbesserung der Aufwandszahl erreicht.

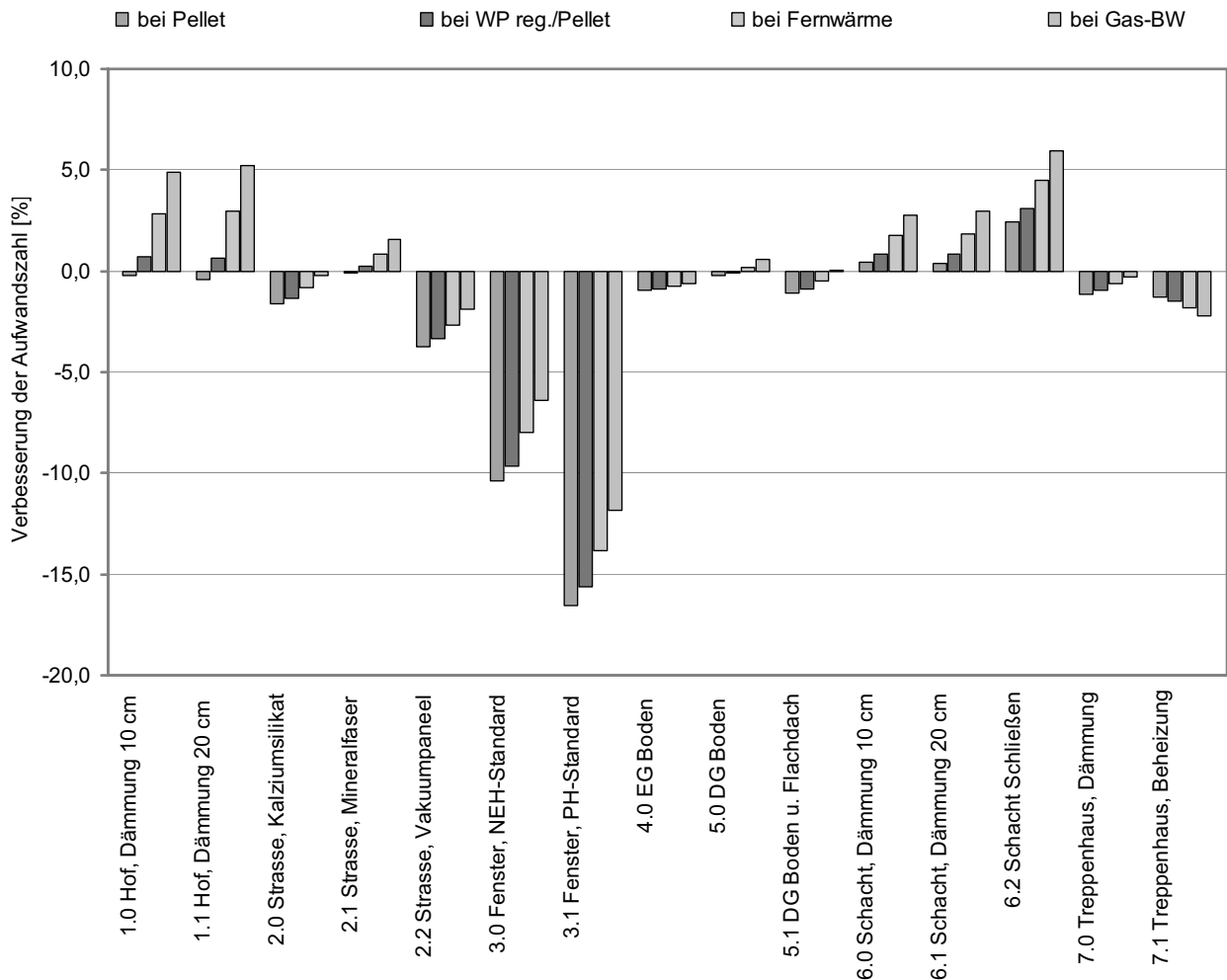


Abbildung 64: Bewertung Bautechnik bei EKS 1

Auch bei der Bewertung zeigt es sich, dass die Optimierungsmaßnahmen anlagenspezifisch betrachtet werden müssen, da eine bestimmte bautechnische Lösung, die bei dem einen System die höchste Bewertung erreicht, bei einer anderen Anlage nicht zwingend ebenfalls die beste Lösung darstellen muss. So ist für den Bereich der außenseitigen Dämmmaßnahmen beispielsweise festzustellen, dass bei den Anlagen mit fossilen Energieträgern eine 20 cm starke Dämmung zu einer besseren Bewertung führt als die 10 cm Variante, wobei sich dies bei den Anlagen mit regenerativen Energieträgern umkehrt. Dieser Effekt ist bei dem genannten Beispiel mit weniger als 1 % Unterschied zwar extrem gering, so dass nicht von einer jeweils klar besseren Variante

gesprochen werden kann, zeigt aber, dass jede Kombination individuell untersucht werden muss, um diese Effekte beurteilen zu können.

Ebenso wie bei den vorangegangenen Betrachtungen weisen das Fernwärme- und das Gas-Brennwertsystem auch bei der Bewertung für jede Maßnahme jeweils das größte Verbesserungs- bzw. das geringste Verschlechterungspotential auf¹⁰¹, was auf die bei der Kosten- und KEA-Betrachtung beschriebenen Ursachen zurückzuführen ist.

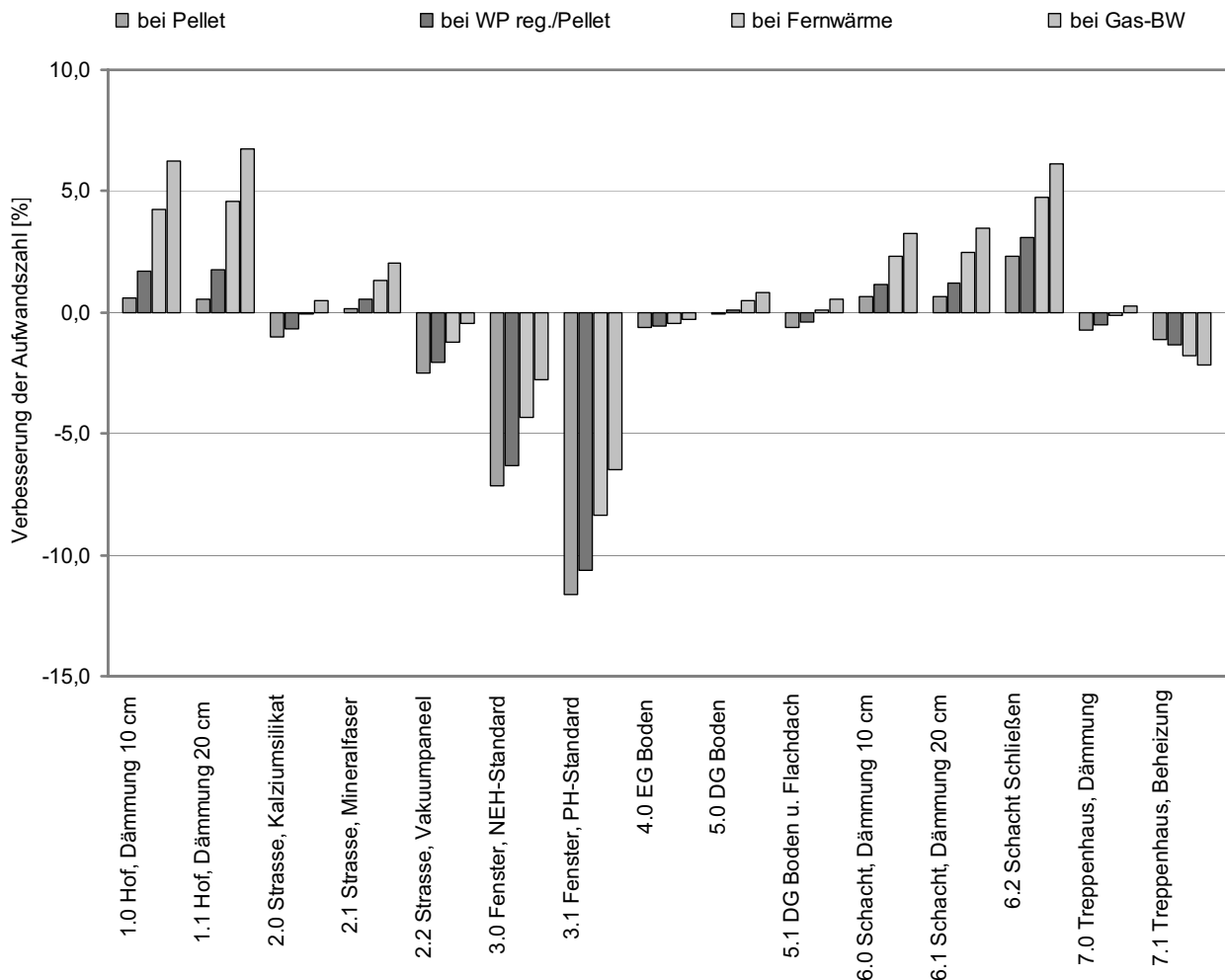


Abbildung 65: Bewertung Bautechnik bei EKS 2

Bei dem Szenario mit starker Energiepreissteigerung bewirken nun auch die Dämmmaßnahmen der hofseitigen Außenwände für beide Dämmstoffstärken bei allen anlagentechnischen Systemen eine Aufwandszahlverbesserung. Ebenso verhält es sich mit der Mineralfaserinnendämmung auf der Straßenseite. Bei der Gas-Brennwertanlage treten jetzt als Maßnahmen mit einem Verbesserungspotential die Varianten 2.0 „Kal-

¹⁰¹Nur bei der Beheizung des Treppenhauses ändert sich dies, da hier der Energieverbrauch steigt.

ziumsilikatinnendämmung“, 7.0 Treppenhausdämmung, 5.0 „Dachgeschossboden- dämmung“ und 5.1 „Dachgeschossboden- und Flachdachdämmung“ hinzu, wobei die letzten beiden Lösungen auch bei dem Fernwärmesystem und der Kombination aus Wärmepumpen- und Pelletanlage zu einer Senkung der Aufwandszahl führen. Die Maßnahmen, die für alle anlagentechnischen Lösungen eine Verschlechterung der Aufwandszahl nach sich ziehen, sind weiterhin die Vakuuminnendämmung, die beiden Fenstervarianten, die Erdgeschossfußbodendämmung und das Beheizen des Treppenhauses.

Die Maßnahme mit dem höchsten Verbesserungspotential stellt bei den beiden regenerativ versorgten Anlagensystemen und der Fernwärmelösung nach wie vor das Schließen des Lichtschachtes dar. Bei der Gas-Brennwertanlage erzielt die Dämmung der hofseitigen Außenwände bei 20 cm Dämmstoffstärke mit 6,75 % die positivste Aufwandszahlveränderung. Mit einer Verschlechterung der Aufwandszahl um über 11 % stellt der Austausch der Bestandsfenster gegen Passivhausfensterelemente bei einem Pelletsystem die ungünstigste Maßnahme dar. Dabei haben sich die einzelnen Ergebnisse gegenüber der Situation bei moderater Energiepreissteigerung zu positiveren Werten hin verschoben, so dass die Verbesserungen größer und die Verschlechterungen geringer ausfallen.

7.4.5 Aufwandszahlentwicklung nach 20 Jahren

Im Gegensatz zu den anlagentechnischen Systemen, für die eine maximale Lebensdauer von 20 Jahren angenommen worden ist, liegt diese bei den bautechnischen Lösungen in der Regel deutlich höher. Untersuchungen zeigen, dass Dämmsysteme bis zu 50 Jahre lang ihre Funktion ohne nennenswerte Einschränkung behalten können [vgl. 109, S. 12]. Daher bedeutet es bei den bautechnischen Lösungen im Unterschied zur Anlagentechnik nicht notwendiger Weise, dass den Maßnahmen, die am Ende des Betrachtungszeitraumes nicht zu einer Aufwandszahlverbesserung geführt haben, insgesamt kein Verbesserungspotential zugeschrieben werden kann. Wenn nach 20 Jahren eine solche Maßnahme vollständig finanziert ist, wird ab diesem Zeitpunkt das finanzielle Defizit durch die Energiekosteneinsparung kontinuierlich verringert, so dass nach einer bestimmten Zeit die Maßnahme wirtschaftlich rentabel wird und schon vor diesem Zeitpunkt die Kombination mit der ökologischen Bewertung eine Verbesserung der Aufwandszahl mit sich bringt.

Da es aber sehr schwer einzuschätzen ist, welche Art von anlagentechnischen Systemen als Ersatz für die untersuchten Anlagen in 20 Jahren zur Verfügung steht und die Prognosen hinsichtlich der Energiepreisentwicklung mit zunehmender Betrachtungsdauer eine immer größere Fehlerwahrscheinlichkeit aufweisen, sind Aussagen bezüglich der weiteren Entwicklung der Aufwandszahlen mit großen Unsicherheiten behaftet.

Aus diesem Grund werden bei der Maßnahmenauswahl (vgl. Kapitel 8.1) nur diejenigen bautechnischen Varianten berücksichtigt, die bereits nach 20 Jahren zu niedrigeren Aufwandszahlen und somit in einem aus heutiger Sicht überschaubaren Zeitraum zu einer gleichzeitigen Verbesserung der ökonomischen und ökologischen Situation für das Untersuchungsobjekt führen. Anhand der einzelnen Ergebnisse aus den ökonomischen und ökologischen Betrachtungen lässt sich allerdings zusätzlich für die übrigen Maßnahmen abschätzen, welche Verbesserung durch ihre Umsetzung bei Ansatz eines längeren Betrachtungszeitraumes zu erwarten ist.

Hierzu ist für jede bautechnische Maßnahme aus der mittleren jährlichen Energiekosten- und KEA-Einsparung die durchschnittliche jährliche Aufwandszahlverbesserung berechnet worden. Daraus lässt sich ableiten, ab welchem Zeitpunkt die einzelnen Maßnahmen nach Ende des Betrachtungszeitraumes bei Annahme unveränderter Randbedingungen die Aufwandszahlen verbessern. Die Ergebnisse sind in Abbildung 66 und 67 wiedergegeben, wobei nur der Zeitabschnitt bis 30 Jahre nach Ende des Betrachtungszeitraumes dargestellt ist.

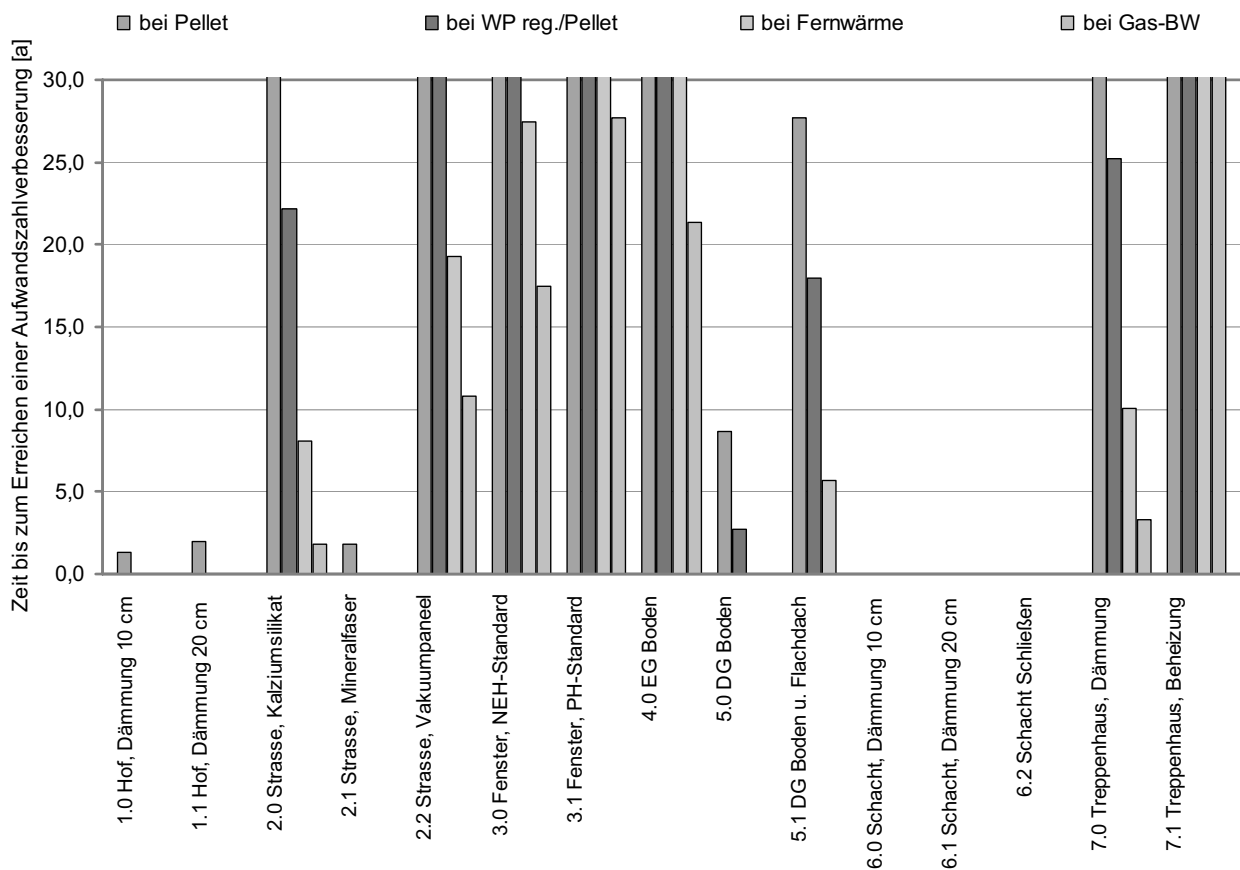


Abbildung 66: Aufwandszahlentwicklung bei EKS 1

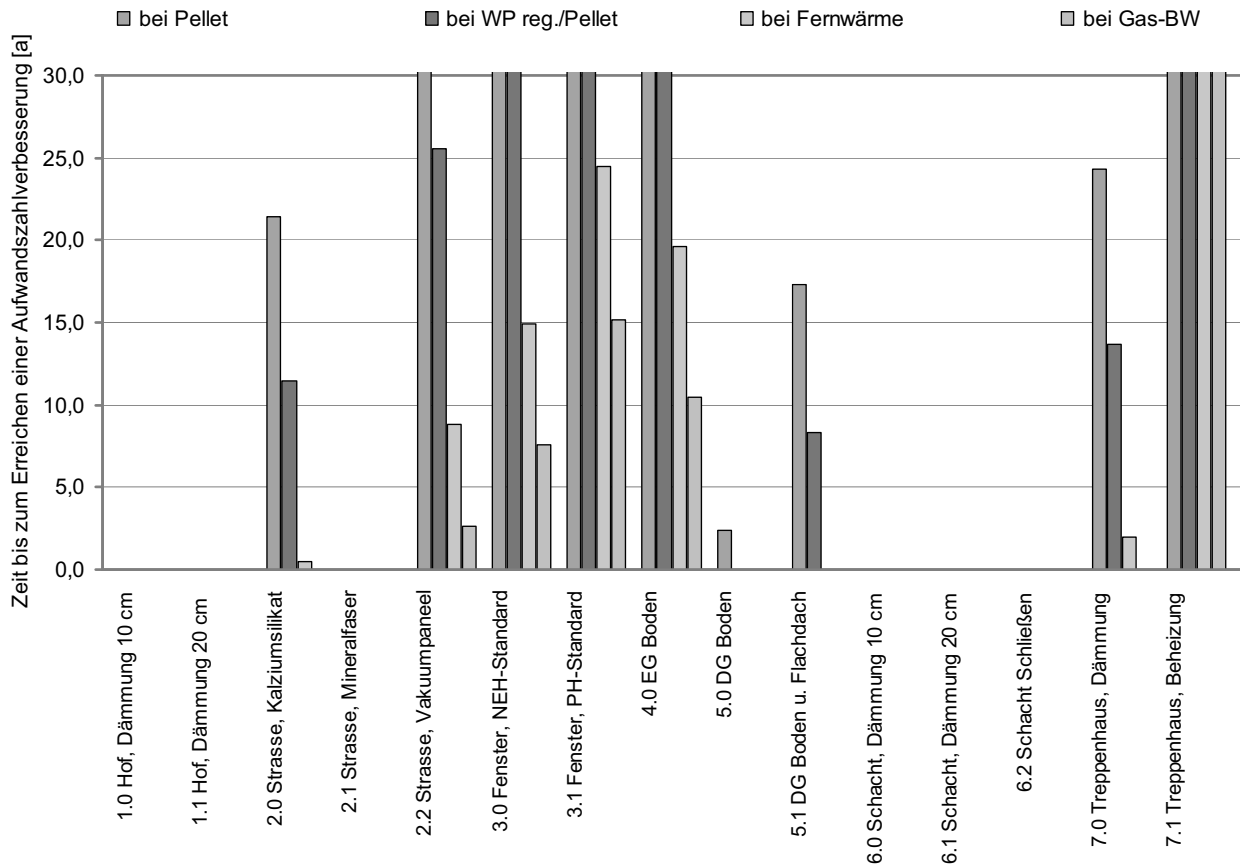


Abbildung 67: Aufwandszahlentwicklung bei EKS 2

Es wird deutlich, dass insbesondere bei einer starken Energiepreissteigerung und einer Erweiterung des Betrachtungszeitraumes um 10 Jahre für eine Reihe von Maßnahmen bereits Aufwandszahlverringerungen zu erwarten sind.

Bei den betrachteten Anlagensystemen mit fossilen Energieträgern fällt hierunter die Kalziumsilikatinnendämmung, die Vakuuminnendämmung, der Einbau von Niedrigenergiehausfenstern und die Dämmung des Treppenhauses. Bei den Anlagen mit regenerativen Energieträgern sind dies die Dämmung des Dachgeschossfußbodens und die Variante mit zusätzlicher Flachdachdämmung.

Für den Bereich der Innendämmung verändert sich allerdings dadurch die Situation in sofern nicht, als sich mit der Mineralfaserdämmung wegen ihrer höheren Dämmwirkung weiterhin eine größere Energiekosten- und KEA-Einsparung als mit der Kalziumsilikatdämmung erzielen lässt und das Vakuumsystem zwar ein großes Energieeinsparpotential bietet, sich durch die hohen Investitionskosten aber finanzielle Amortisationszeiten von über 45 Jahren ergeben und deshalb einer Umsetzung der Maßnahme wirtschaftliche Gründe entgegenstehen. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass eine im Einzelfall aus bauphysikalischer Sicht notwendige Kalziumsilikatdämmung auch im Hinblick auf die Aufwandszahlen innerhalb ihrer Lebensdauer zu Verbesserungen

führen kann.

Gleiches wie für die Vakuumdämmung gilt für den Fensteraustausch, bei dem mit noch längeren finanziellen Amortisationszeiten zu rechnen ist.

Für die Treppenhausdämmung ergibt sich, dass diese bei langfristigerer Betrachtung als zusätzliche Optimierungslösung für die Anlagensysteme mit fossilen Energieträgern in Frage kommen kann, wobei jedoch das Verbesserungspotential auf Grund der geringen Energieeinsparung relativ moderat ist.

Lediglich hinsichtlich der obersten Geschossdecke muss in Betracht gezogen werden, dass sich die Verhältnisse bei einem längeren Betrachtungszeitraum gegenüber dem 20 jährigen Untersuchungsabschnitt derart ändern, dass statt der ausschließlichen Dämmung des Dachgeschossfußbodens eine kombinierte Lösung mit zusätzlicher Flachdachdämmung in der Bewertung besser abschneiden könnte.

7.4.6 Fazit

Die Ergebnisse der bautechnischen Betrachtung werden im Folgenden zusammengefasst:

- Bautechnische Optimierungsmaßnahmen müssen für jede anlagentechnische Lösung getrennt betrachtet werden, da sich ihre ökonomischen und ökologischen Auswirkungen je nach Anlagensystem stark verändern können.
- Das Energiekostensteigerungsszenario hat einen entscheidenden Einfluss auf die Berechnungsergebnisse. Bei starker Energiepreissteigerung führen viele Optimierungsmaßnahmen, die bei einer moderaten Preissteigerung noch keine Aufwandszahlverbesserung bewirken, zu einer diesbezüglichen Verbesserung.
- Die Gesamtkosten nach 20 Jahren liegen bei den meisten Varianten im Bereich der Kosten des bautechnisch unsanierten Ausgangsfalls. Lediglich bei der Vakuuminendämmung und dem Fensteraustausch ist eine deutliche Kostenzunahme zu verzeichnen. Die Kosten für die eingesparte kWh sind daher bei den meisten Lösungen unabhängig von der Größe der Maßnahme ähnlich hoch.
- Bei den ohnehin teureren Ausgangsvarianten bewirkt eine Energieeinsparung durch bautechnische Optimierungsmaßnahmen eine größere Kostenreduktion als bei den von vorneherein kostengünstigeren Lösungen.
- Das Schließen des Lichtschachtes führt zur größten Kosteneinsparung.
- Die Verringerung des KEA durch einzelne Maßnahmen fällt bei den betrachteten Anlagen mit fossilen Energieträgern deutlich stärker aus als bei den Systemen mit regenerativer Versorgung, wobei der Ausgangswert bereits stark differiert.

- Bis auf die Beheizung des Treppenhauses führen alle Maßnahmen zu einer KEA-Reduktion.
- Die höchste KEA-Einsparung wird durch die Dämmung der hofseitigen Außenwände mit einem 20 cm starken Dämmsystem erreicht.
- Die zusätzliche Aufwandszahlverbesserung durch die einzelnen bautechnischen Maßnahmen ist sehr viel geringer als die ursprüngliche Verbesserung durch die Optimierung des Anlagensystems.
- Bei der Bewertung führen das Schließen des Lichtschachts bzw. die 20 cm starke hofseitige Dämmung zu der größten Verbesserung der Aufwandszahlen.
- Auch bei einem längeren Betrachtungszeitraum ist lediglich für den Bereich der obersten Geschossdecke eine signifikante Veränderung für die Maßnahmenauswahl zu erwarten. Allerdings können dann Lösungen wie die Treppenhäusdämmung, deren Bewertung nach 20 Jahren noch negativ ausfällt, die Aufwandszahl reduzieren und als zusätzlich Optimierungsmaßnahmen in Frage kommen.

Kapitel 8

Maßnahmenkombinationen

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 7 dargestellten Ergebnisse ist für jedes der dort berücksichtigten anlagentechnischen Systeme eine bautechnische Maßnahmenkombination ausgewählt und untersucht worden. Dabei kommen, wie in Kapitel 7.4.5 begründet, jeweils nur Optimierungsvarianten in Frage, welche nach Ende des 20 jährigen Betrachtungszeitraumes zu einer Verbesserung der Aufwandszahl führen. Von diesen Lösungen wurden pro Hüllflächenabschnitt wiederum diejenigen ausgewählt, welche jeweils die größten Aufwandszahlverringerungen bewirken.

Das in Kapitel 4.5 formulierte Abschneidekriterium, nach welchem die ausgewählten Lösungen in ihren ökonomischen und ökologischen Auswirkungen nicht schlechter als der Ausgangsfall liegen dürfen, bezieht sich dabei auf die Gesamtheit der Maßnahmen, die diesbezüglich im Vergleich zu dem anlagentechnisch optimierten, aber bautechnisch unveränderten Referenzfall betrachtet werden. Dies stellt sicher, dass die zur maximalen Aufwandszahlreduktion führenden Kombinationen keine unwirtschaftlichen oder aus ökologischer Sicht nachteiligen Gesamtlösungen bedeuten.

Die Maßnahmenkombinationen sind im Hinblick auf ihre ökologischen und ökonomischen Auswirkungen berechnet worden, um ihr diesbezügliches Potential im Vergleich mit dem Bestandsfall beurteilen zu können.

8.1 Ausgewählte Varianten

Die Auswahl der Maßnahmenkombinationen für die einzelnen anlagentechnischen Systeme ist in Tabelle 18 dargestellt. Dabei wurde jeweils nach Lösungen für eine moderate und eine starke Energiekostensteigerung unterschieden, da die einzelnen bautechnischen Varianten in den unterschiedlichen Szenarien veränderte Aufwandszahlen aufweisen und eine negative Bewertung bei dem einen nicht zwingend auch eine ebensolche Bewertung in dem anderen Szenario ergeben muss. Dies wurde bei

der Zusammenstellung der Maßnahmenkombinationen berücksichtigt.

	1.0 Hof, Dämmung 10 cm	1.1 Hof, Dämmung 20 cm	2.0 Strasse, Kalziumsilikat	2.1 Strasse, Mineralfaser	2.2 Strasse, Vakuumpaneel	3.0 Fenster, NEH-Standard	3.1 Fenster, PH-Standard	4.0 EG Boden	5.0 DG Boden	5.1 DG Boden u. Flachdach	6.0 Schacht, Dämmung 10 cm	6.1 Schacht, Dämmung 20 cm	6.2 Schacht Schließen	7.0 Treppenhaus, Dämmung	7.1 Treppenhaus, Beheizung
Pellet															
EKS 1													X		
EKS 2	X			X									X		
Wärmepumpe reg. / Pellet															
EKS 1	X			X									X		
EKS 2		X		X					X				X		
Fernwärme															
EKS 1		X		X					X				X		
EKS 2		X		X					X				X		
Gas-Brennwert															
EKS 1		X		X					X				X		
EKS 2		X		X					X				X		X

Tabelle 18: Maßnahmenkombinationen

Bei den energetischen Berechnungen der verschiedenen Maßnahmenkombinationen sind die Wärmebrücken über U-Wert Zuschläge bei den einzelnen Bauteilen berücksichtigt worden (vgl. Kapitel 7.2).

Auf Grund der Kombination der Maßnahmen 6.2 „Schacht Schließen“ und 7.0 „Treppenhaus Dämmung“ bei der Gas-Brennwertanlage und EKS 2 muss gegenüber der separaten Maßnahmenbetrachtung zusätzlich noch die Wandfläche zwischen nun geschlossenem Lichtschacht und Treppenhaus in die Treppenhausdämmung mit einbezogen werden, was die Bruttomaßnahmekosten um 1.555 € erhöht.

8.2 Berechnungsergebnisse

Nachfolgend werden die Berechnungsergebnisse hinsichtlich der Gesamtkosten, des kumulierten Energieaufwandes, des Treibhaus- und Versauerungspotentials und der Bewertung für die einzelnen Maßnahmenkombinationen dargestellt und erläutert. Zum Vergleich sind der unsanierte Bestand und die einzelnen anlagentechnischen Lösungen ohne bautechnische Optimierung mit abgebildet. Bei der Kostenbetrachtung umfassen die Anlagekosten sowohl die Investitionskosten für den Wärmeerzeuger als auch die Aufwendungen für den Einbau des Wärmeverteilsystems inklusive der Heizkörper.

8.2.1 Kosten

Abbildung 68 zeigt die Bruttogesamtkosten nach Ende des Betrachtungszeitraums für beide Energiekostensteigerungsszenarien. Wie bereits erläutert (vgl. Kapitel 6.7.1), liegen die Aufwendungen für die Varianten mit Anlagenoptimierung ohne bautechnische Veränderung deutlich unter den Kosten für den Bestandsfall, wobei die Pelletlösung vor der Gas-Brennwertvariante am günstigsten abschneidet. Darauf folgen das Fernwärmesystem und die Kombination aus Wärmepumpen- und Pelletanlage. Das Einsparpotential stellt sich dabei je nach Anlage und Szenario sehr unterschiedlich dar und reicht von knapp 75.000,- € bei der Wärmepumpen/Pelletkombination und moderater Energiekostensteigerung bis zu 240.000,- € bei einer reinen Pelletlösung und starkem Anstieg der Energieträgerpreise.

Die Kombinationen aus anlagen- und bautechnischen Optimierungsmaßnahmen verringern diese Kosten für jede Variante noch einmal, wobei die Einsparung mit knapp 11.000,- € bis 60.000,- € deutlich geringer ausfällt als diejenige bei den rein anlagentechnischen Lösungen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass mit den Investitionskosten für die jeweilige bautechnische Lösung ein relativ hoher Kostenfaktor hinzutritt, die Energieeinsparung sich aber bei den bereits optimierten anlagentechnischen Systemen mit ihren im Vergleich zum Bestand deutlich günstigeren Anlagenaufwandszahlen bzw. preiswerteren Energieträgern wirtschaftlich nicht so deutlich auswirkt, wie das bei einer veralteten Anlagentechnik der Fall wäre.

Bei den kostenintensiveren Anlagenvarianten Fernwärme und der Kombination aus Wärmepumpe und Pelletanlage reduzieren sich die Aufwendungen dabei deutlicher als bei den beiden günstigeren Lösungen, so dass sich die Varianten in ihren Gesamtkosten annähern. Besteht zwischen günstigster und teuerster Lösung bei einer rein anlagentechnischen Lösung noch ein Kostenunterschied von 18 % bei EKS 1 bzw. 21 % bei EKS 2, so verringert sich diese Differenz bei zusätzlicher bautechnischer Optimierung auf jeweils 16 %. Wie in Kapitel 7.4.1 erläutert, liegt dies daran, dass sich die

Energieeinsparung bei den energiekostenintensiveren Lösungen deutlicher bemerkbar macht als bei den diesbezüglich von vorneherein günstigeren Varianten. Die Kostenreihenfolge zwischen den verschiedenen Anlagensystemen bleibt dabei allerdings bestehen, so dass die Pelletlösung nach wie vor die größten Einsparungen aufweist. Im Falle einer starken Energiepreissteigerung beträgt diese im Vergleich zum Bestandsfall knapp 42 %.

Durch die Verringerung des Heizwärmebedarfs und die zusätzlichen Investitionskosten für die bautechnischen Maßnahmen liegen die Gesamtaufwendungen für die Optimierungsmaßnahmen im Bereich der Energiekosten, die somit nicht mehr in jedem Fall den größten Kostenfaktor darstellen.

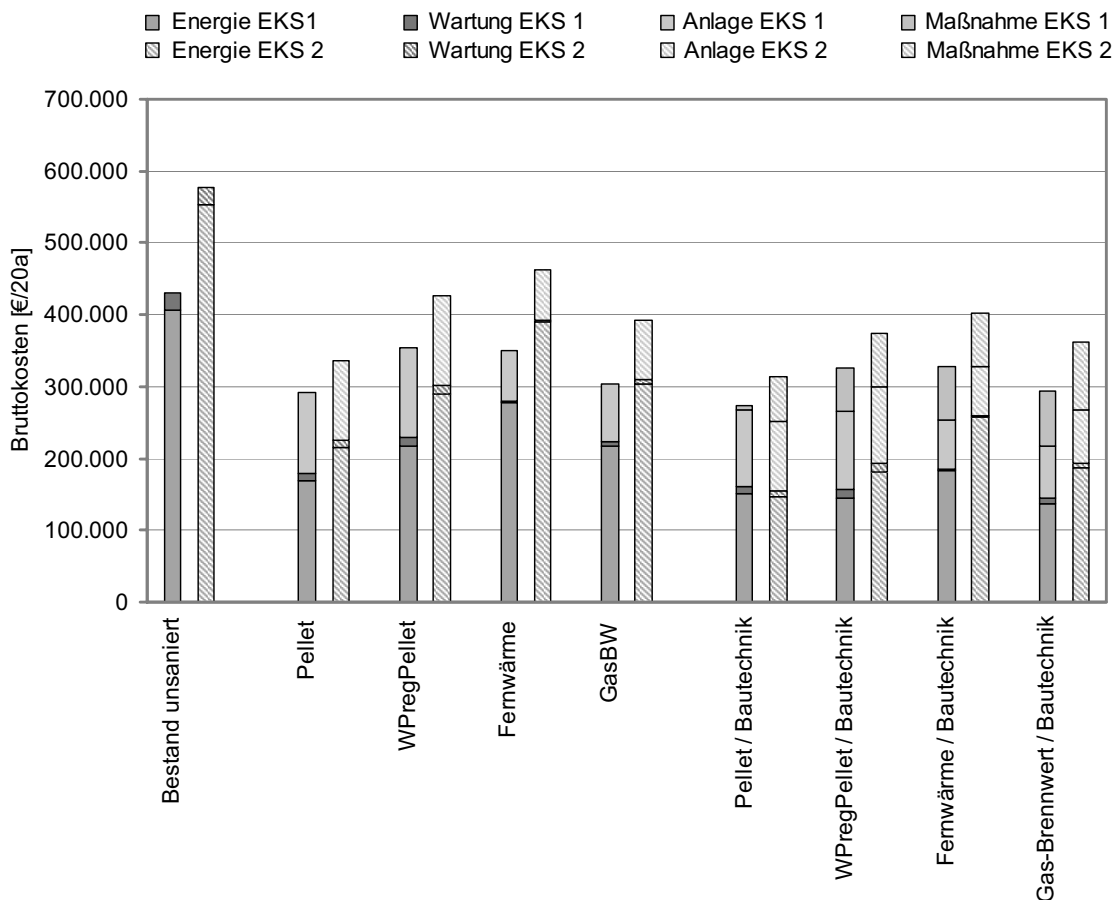


Abbildung 68: Kostenvergleich Maßnahmenkombinationen

8.2.2 KEA

Der in Abbildung 69 dargestellte kumulierte Energieaufwand wird bei den bautechnischen Maßnahmen für die unterschiedlichen Energiekostensteigerungsszenarien getrennt ausgewiesen, da, wie bereits erläutert, je nach Szenario unterschiedliche Kombinationen entstehen (vgl. auch Kapitel 8.1).

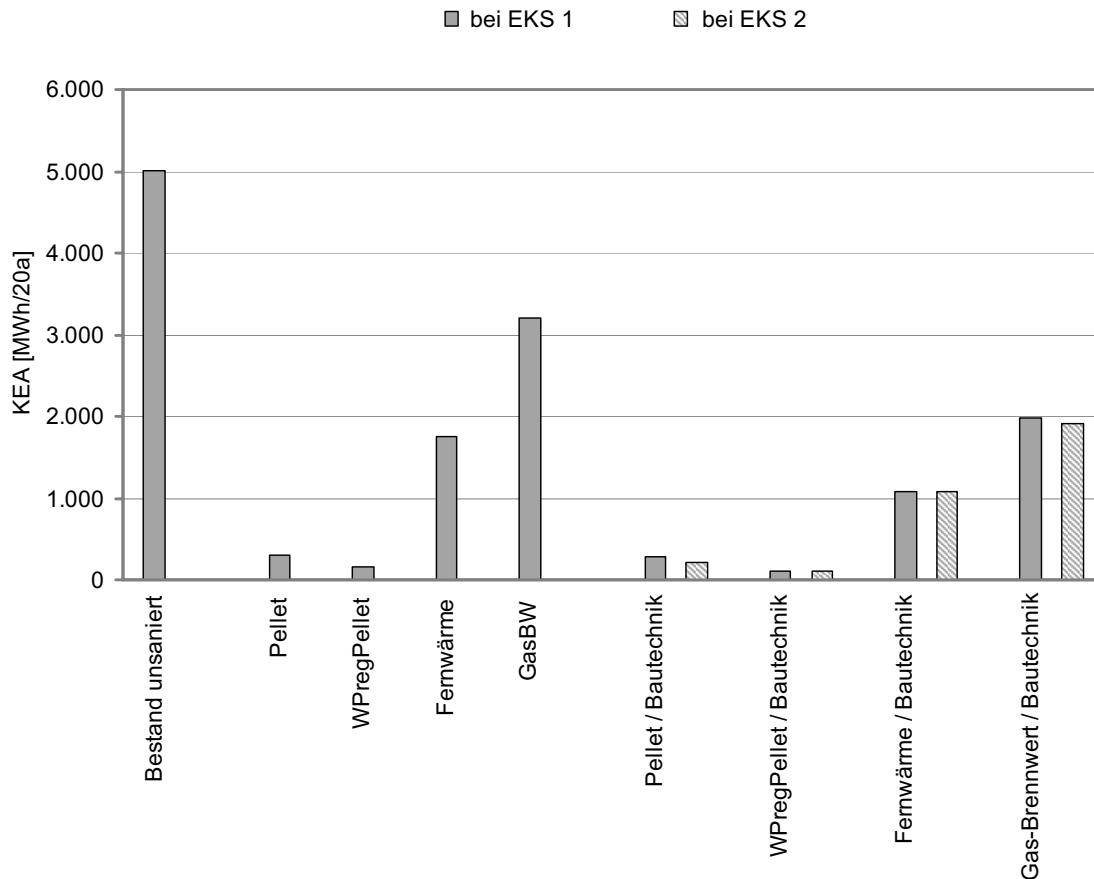


Abbildung 69: KEA-Vergleich Maßnahmenkombinationen

Es zeigt sich, dass bei den bautechnischen Lösungen mit regenerativ versorgter Anlagentechnik nur sehr geringe absolute Einsparungen erreicht werden. Die Werte bei den rein anlagentechnischen Optimierungen liegen bereits so niedrig und die KEA-Faktoren sind hier so gering, dass sich die zusätzliche bautechnische Verbesserung nicht in dem Maße bemerkbar macht, wie dies bei einem Wechsel des Anlagensystems der Fall ist. Bei der Fernwärmelösung und der Gas-Brennwertanlage sind dagegen deutlichere Einspareffekte zu verzeichnen. Während der Einbau einer Gas-Brennwertanlage gegenüber dem Bestand zu einer KEA-Verringerung von fast 35 % führt, können durch die bautechnischen Maßnahmen noch einmal weitere 27 % eingespart werden. Bei der Fernwärmeanlage liegt das Potential bei 14 %. Dadurch verringert sich der Abstand zwischen den regenerativ und fossil versorgten Anlagensystemen, wobei aber auch nach bautechnischer Sanierung noch ein Unterschied von 36 % zwischen der energieintensivsten und diesbezüglich günstigsten Lösung zu verzeichnen ist.

8.2.3 GWP und AP

Ein ähnliches Bild wie bei der KEA-Betrachtung ergibt sich bei dem in Abbildung 70 dargestellten GWP-Vergleich. Auch hier liegen die Pelletlösung und die Wärmepumpen- und Pelletkombination bereits ohne bautechnische Sanierung auf einem sehr

niedrigen Niveau, so dass bei den in dieser Hinsicht ungünstigeren fossil versorgten Systemen durch die Maßnahmenkombinationen eine sehr viel größere KEA-Einsparung erreicht wird. Bei dem Fernwärmesystem, das im Unterschied zu der KEA Betrachtung das Optimierungssystem mit den höchsten Werten darstellt, kann das Treibhauspotential gegenüber dem Ausgangsfall so um weitere 26 % und bei der Gas-Brennwertanlage um zusätzlich 20 % verringert werden. Der Unterschied zwischen günstigster und GWP-intensivster bautechnischer Kombination im Vergleich zum Bestandsfall liegt bei 39 %.

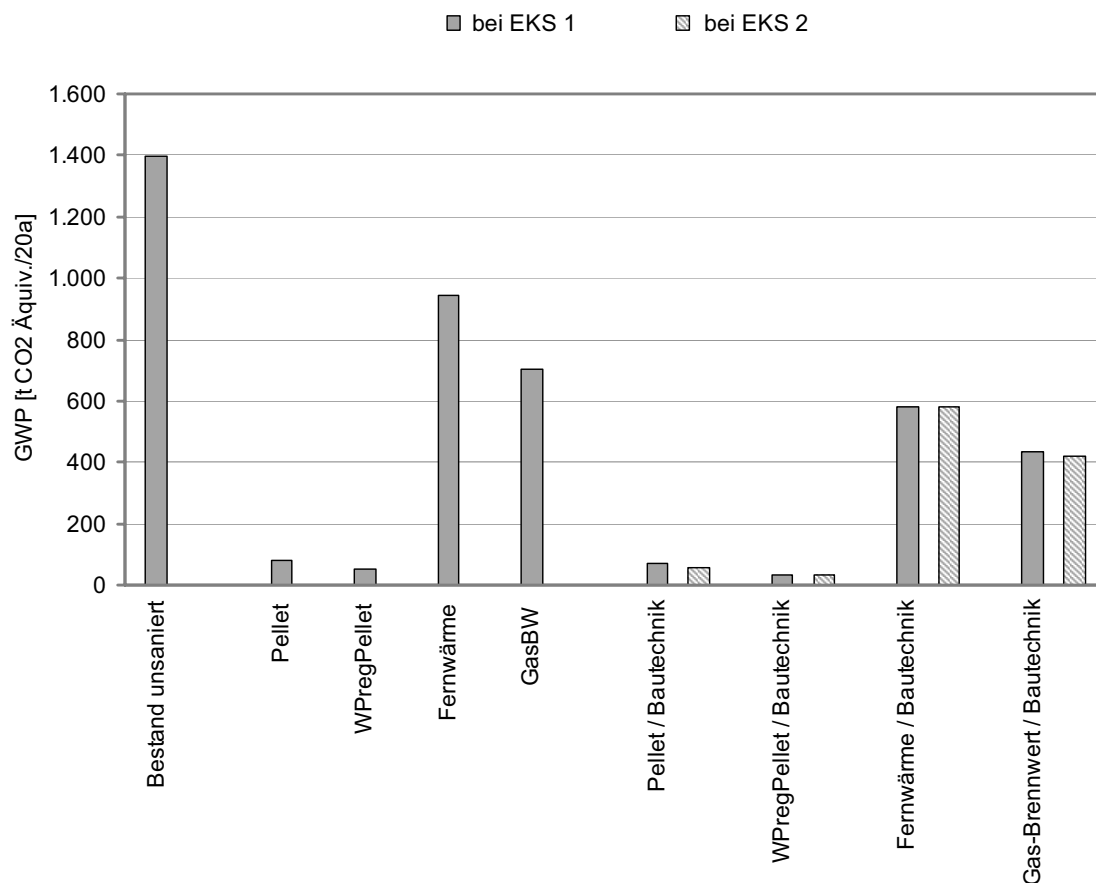


Abbildung 70: GWP-Vergleich Maßnahmenkombinationen

Abbildung 71 gibt den Vergleich des Versauerungspotentials wieder. Hier weisen das Pellet- und das Fernwärmesystem die höchsten AP-Werte auf. Die größten absoluten AP-Verringerungen werden dementsprechend auch bei diesen beiden Systemen erreicht, wobei die bautechnischen Optimierungen bei einer Pelletlösung und moderater Energiekostensteigerung eine Ausnahme darstellen. Die Verringerung des AP-Wertes fällt hier nicht besonders groß aus, da die bautechnische Optimierung nur eine Maßnahme umfasst und der Energieverbrauch nicht so deutlich verringert wird wie bei den übrigen Varianten.

Auch bei dem Versauerungspotential nähern sich die Werte für die einzelnen anlagen-

technischen Systeme bei einer zusätzlichen bautechnischen Optimierung an, wobei hier die Pelletlösung in Szenario „EKS 1“ aus dem eben beschriebenen Grund am deutlichsten hinter den anderen Varianten zurückbleibt und der Unterschied zwischen günstigster und ungünstigster Maßnahme bei den bautechnischen Kombinationen mit 29 % ebenso hoch ist wie bei den rein anlagentechnischen Optimierungslösungen. Bei der Gas-Brennwertanlage und einem starken Energiepreisanstieg wird mit knapp 93 % die größte AP-Reduktion in Bezug auf den Bestandsfall erreicht.

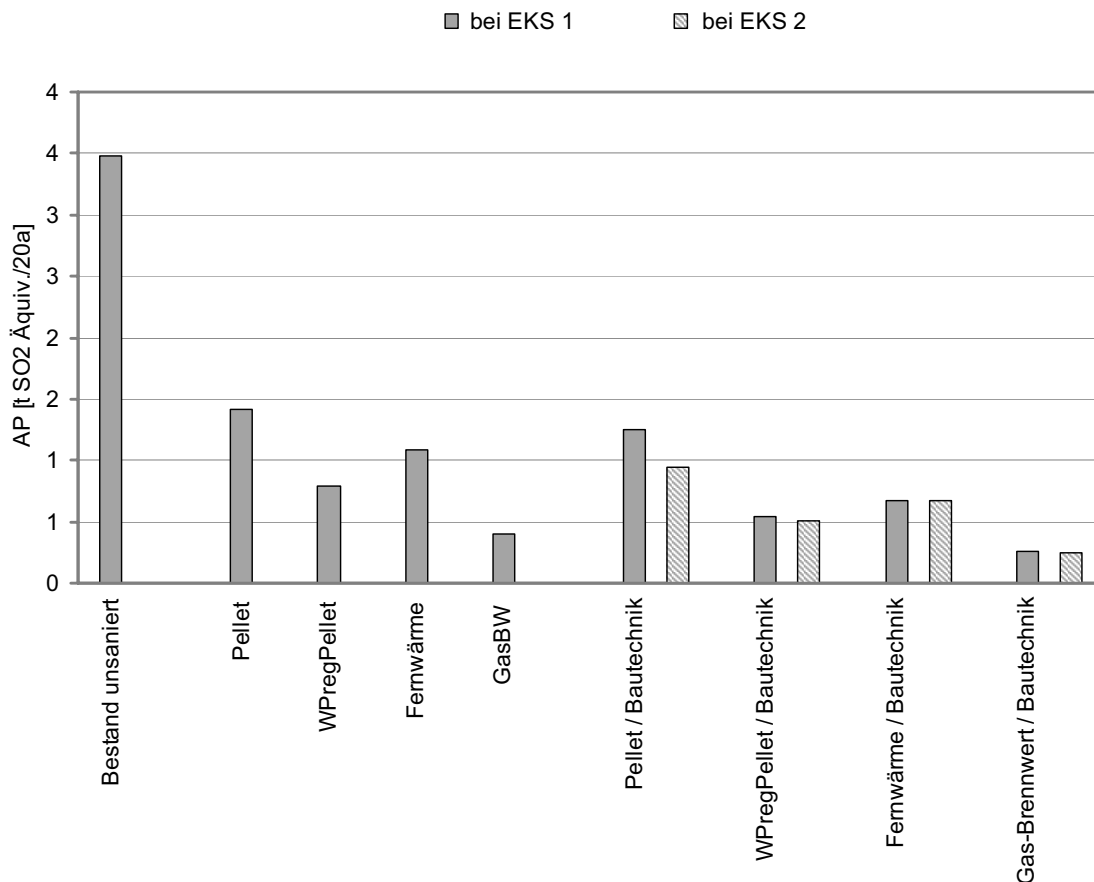


Abbildung 71: AP-Vergleich Maßnahmenkombinationen

8.2.4 Bewertung

Die in Abbildung 72 dargestellte Bewertung zeigt ein sehr gleichmäßiges Bild in Bezug auf die verschiedenen Varianten. Sowohl bei den rein anlagentechnischen Lösungen als auch bei den bautechnischen Kombinationen liegen die einzelnen Werte bei einer moderaten Energiekostensteigerung etwas höher als bei dem „EKS 2“, wobei sich immer die gleiche Rangfolge zwischen den Systemen ergibt. Durch die zusätzlichen bautechnischen Maßnahmen können die Aufwandszahlen jeweils weiter reduziert werden. Diese Verringerung fällt dabei im Vergleich mit dem Bestandsfall nicht so deutlich wie bei einem Anlagenwechsel aus. Insgesamt nähern sich die Aufwandszahlen der Varianten bei einer zusätzlichen bautechnischen Optimierung an, wobei aber

immer noch ein deutlicher Unterschied zwischen den verschiedenen anlagentechnischen Lösungen bestehen bleibt.

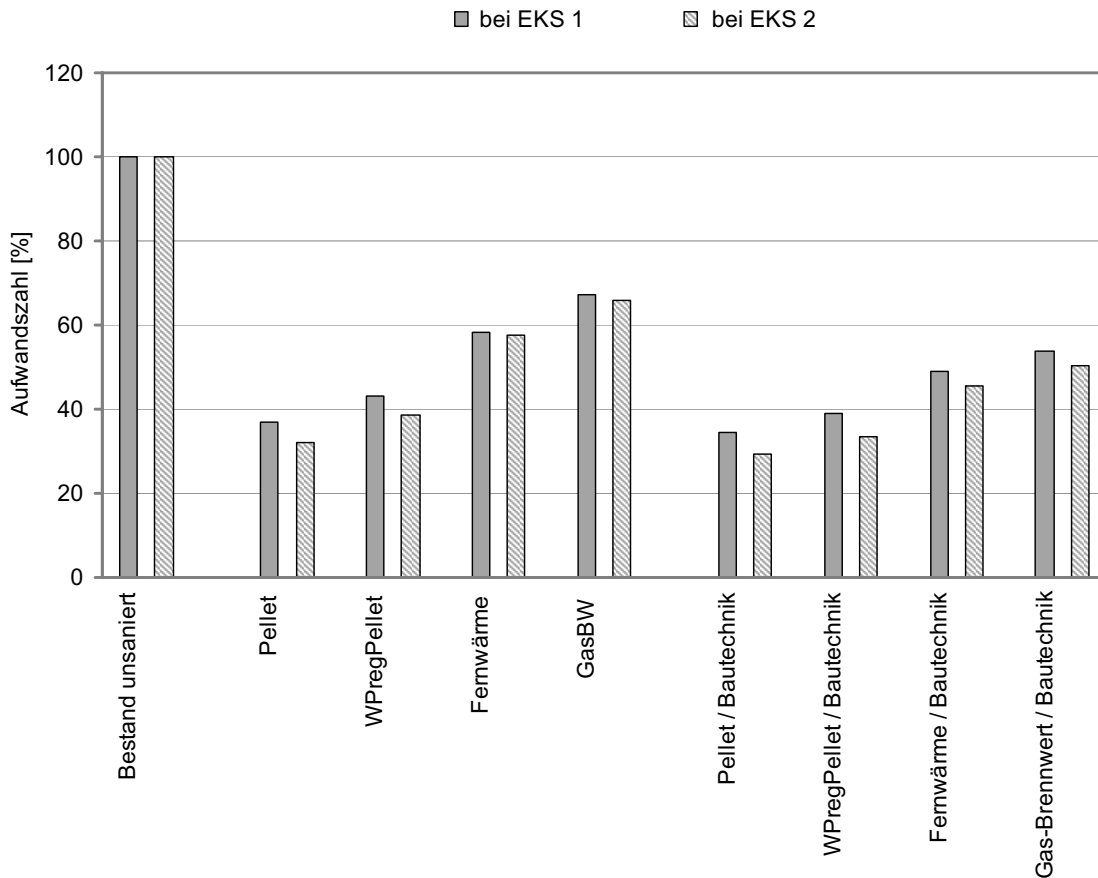


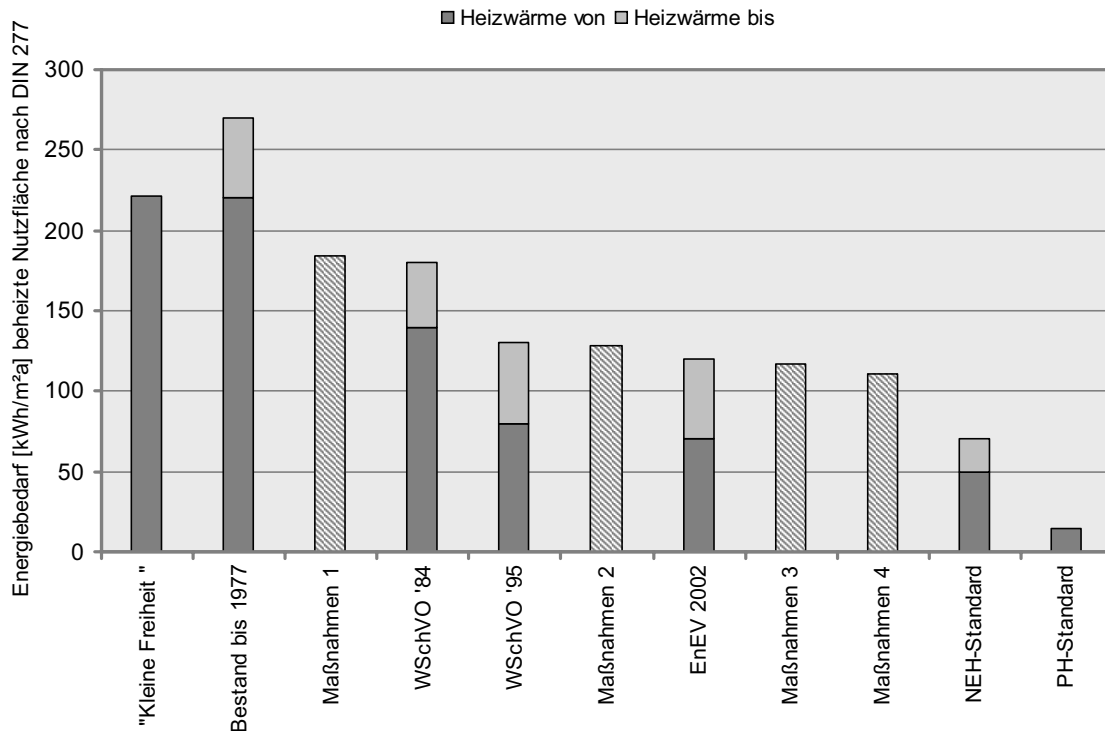
Abbildung 72: Bewertung Maßnahmenkombinationen

Die größte Reduktion der Aufwandszahl wird bei der Pelletanlage mit bautechnischer Optimierung und einem starken Energiepreisanstieg erreicht. Mit dieser Variante lässt sich die Aufwandszahl um über 70 % verbessern. Die geringste Verbesserung der Aufwandszahl für die bautechnischen Kombinationen wird bei der Gas-Brennwertanlage erreicht und liegt hier bei etwas über 46 %. Der Unterschied zwischen günstigster und ungünstigster Lösung liegt damit bei den bautechnischen Varianten bei knapp 25 % und macht bei einer rein anlagentechnischen Optimierung noch über 35 % aus.

8.2.5 Vergleich mit verschiedenen Energiestandards

Die verschiedenen bautechnischen Kombinationslösungen weisen je nach ausgewählten Optimierungsmaßnahmen unterschiedliche Dämmstandards der Gebäudehülle auf und verringern daher auch den Heizwärmebedarf des Untersuchungsobjektes in unterschiedlichen Größenordnungen. In Abbildung 73 ist der von jeder Variante erreichte flächenbezogene Heizwärmebedarf im Vergleich mit den verschiedenen energetischen

Standards (vgl. auch Kapitel 5.3.2) und dem Ausgangsfall erfasst.



Maßnahmen 1: Pelletanlage bei EKS 1.

Maßnahmen 2: Pelletanlage bei EKS 2, WP/Pelletanlage bei EKS 1.

Maßnahmen 3: WP/Pelletanlage bei EKS 2, Fernwärmanlage bei EKS 1 und 2, Gas-BW bei EKS 1.

Maßnahmen 4: Gas-BW bei EKS 2.

Abbildung 73: Vergleich des maßnahmenbezogenen Heizwärmebedarfs

Dabei wird ersichtlich, dass die bei moderater Energiekostensteigerung hinsichtlich der Aufwandszahlen günstigste Pelletvariante mit einem flächenbezogenen Heizwärmebedarf von 184 kWh/m² zwischen den Werten für den durchschnittlichen Gebäudebestand und den nach der ersten Wärmeschutzverordnung errichteten Gebäuden liegt und damit in diesem Vergleich von allen Maßnahmenkombinationen am schlechtesten abschneidet. Erst die Kombinationen mit den erweiterten bautechnischen Lösungen senken den Heizwärmebedarf derart, dass der Bereich der Wärmeschutzverordnung von 1995 von den Maßnahmen 2 und der Standard von Gebäuden, die nach EnEV errichtet werden, von den Maßnahmen 3 und 4 erreicht wird. Die Gas-Brennwertanlagenlösung für das Energiekostensteigerungsszenario 2 erreicht dabei mit 111 kWh/m²a den niedrigsten Heizwärmebedarf aller untersuchten Maßnahmenkombinationen.

Da bei der Pelletvariante für die moderate Energiepreisssteigerung nach der kombinierten ökologischen und ökonomischen Analyse nur eine bautechnische Maßnahme ausgewählt worden ist, weist das so optimierte Gebäude nach wie vor einen sehr

geringen dämmtechnischen Standard und damit einen hohen Heizwärmebedarf auf. Die positive Bewertung gründet sich also nicht auf einen deutlich verbesserten Dämmstandard der Gebäudehülle, sondern vielmehr auf den Bezug eines kostengünstigen Energieträgers mit guten primärenergetischen Eigenschaften. Bei den übrigen Varianten treten jeweils mehrere bautechnische Optimierungslösungen hinzu. Die Kosteneinsparung und Verminderung des kumulierten Energieaufwandes werden hierbei in größerem Maße durch eine Energieeinsparung bei energetisch verbesserter Hüllfläche erreicht, was dementsprechend auch bei dem Heizwärmebedarf abzulesen ist.

8.2.6 Fazit

Die wichtigsten Ergebnisse aus den vorangegangenen Untersuchungen werden im Folgenden zusammengefasst.

- Die bautechnischen Kombinationen reduzieren die Gesamtkosten jeweils noch einmal gegenüber den reinen anlagentechnischen Lösungen, wobei das Einsparpotential nicht so hoch ist wie bei einem Wechsel von den Bestands- auf die Optimierungsanlagensysteme.
- Durch die bautechnische Optimierung nähern sich die Gesamtkosten der einzelnen Varianten an. Es bleibt aber eine klare Rangfolge erhalten.
- Die größte Kosteneinsparung lässt sich mit einer bautechnischen Optimierung bei einer Pelletanlage und starkem Energiepreisanstieg erreichen und liegt für den Betrachtungszeitraum bei knapp 241.000 €.
- Bei dem Fernwärme- und dem Gas-Brennwertsystem kann durch die jeweiligen bautechnischen Maßnahmenkombinationen die größte zusätzliche Reduktion des kumulierten Energieaufwandes erreicht werden. Trotzdem bleibt ein großer Unterschied zwischen der regenerativ versorgten Anlagentechnik und den fossil versorgten Varianten bestehen.
- Die gegenüber dem Bestandsfall größte KEA-Einsparung wird mit knapp 98 % von der bautechnischen Optimierung bei einer Pelletanlage und einer starken Energiekostensteigerung erreicht.
- Bei der Bewertung führen alle Maßnahmenkombinationen zu einer weiteren Verringerung der Aufwandszahlen, die aber im Vergleich zur Aufwandszahlverringering durch eine Anlagenoptimierung deutlich geringer ausfällt.
- Die Aufwandszahlen bei den verschiedenen bautechnischen Kombinationen nähern sich einander an, so dass sich der Unterschied zwischen günstigster und ungünstigster Variante verringert. Dennoch bleibt unabhängig von den Energiekostensteigerungsszenarien eine klare Rangfolge zwischen den anlagentechnischen Systemen bestehen, wobei die Pelletlösung weiterhin vor der Kombination aus re-

generativ versorgter Wärmepumpe und Pelletanlage liegt, die wiederum von der Fernwärmelösung und anschließend der Gas-Brennwertanlage gefolgt wird.

- Als günstigste Variante weist die Pelletanlage mit zusätzlicher bautechnischer Optimierung bei einer starken Energiepreissteigerung eine Verbesserung der Aufwandszahl um über 70 % auf.
- Der mit den verschiedenen bautechnischen Varianten erreichte und auf den Heizwärmebedarf bezogene energetische Standard unterscheidet sich sehr stark. Während die nach der Bewertung für eine moderate Energiekostensteigerung günstigste Kombination mit einer Pelletanlage noch ungünstiger abschneidet als Gebäude, die nach der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet worden sind, erreichen die meisten Varianten den Heizwärmebedarfsbereich des EnEV-Standards. Die Kombinationen, welche sich in der gemeinsamen Betrachtung von wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten als günstigste Variante darstellen, müssen also nicht zwangsläufig einen hohen Dämmstandard der Gebäudehülle aufweisen.

Kapitel 9

Zusammenfassung und Schlussbetrachtung

Im Folgenden werden die verschiedenen Untersuchungsergebnisse in Bezug auf die in Kapitel 1 formulierten Forschungsleitfragen zusammenfassend bewertet und der weitere Forschungsbedarf dargestellt.

9.1 Typologische Untersuchung

Die typologischen Untersuchungen des gründerzeitlichen Etagenhausbestandes in Hamburg haben gezeigt, dass dessen Gebäude, die zunächst als sehr homogene Gruppe mit charakteristischen typologischen Ausprägungen erscheinen und sich dadurch auch deutlich von anderen Gebäuden abgrenzen lassen, auch viele Varianten und typologische Unterschiede aufweisen. Hinzu kommen Abweichungen im Sanierungszustand, so dass pauschale, auf alle anderen Gebäude der Klasse übertragbare Aussagen in den meisten Fällen nicht möglich sind. Auf Grund der Häufigkeit bestimmter Merkmale lässt sich allerdings ein Gebäudetyp auswählen, der ein größtmögliches Maß an typologischer Übereinstimmung mit dem übrigen Gebäudebestand aufweist und somit keinen Sonderfall darstellt. Ein solches Gebäude konnte mit dem Untersuchungsobjekt berechnet werden.

Dies bedeutet aber auch, dass noch weitere vergleichbare Untersuchungen von gründerzeitlichen Etagenhäusern notwendig sind, um eine möglichst große Bandbreite an Gebäudevarianten abdecken und die Ergebnisse miteinander vergleichen zu können. Erst mit der Betrachtung möglichst vieler Objekte lässt sich feststellen, wie groß die Relevanz der einzelnen charakteristischen typologischen Merkmale in energetischer Hinsicht jeweils ist und ob allgemeingültige Aussagen, die auf die gesamte Gebäudeklasse übertragbar sind, getroffen werden können.

In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage, in wie weit sich das energetische Optimierungspotential der Gesamtheit aller gründerzeitlichen Etagenhäuser ermitteln

lässt, um daraus Aussagen bezüglich der zukünftigen Entwicklung des Bestandes ableiten zu können. Eine Untersuchung weiterer Gebäude würde dabei die Genauigkeit von diesbezüglichen Prognosen erhöhen.

Ebenfalls von entscheidender Bedeutung in diesem Kontext ist, welche Datengrundlagen bezüglich des Ist-Zustandes des Bestandes verfügbar sind. Die zur Zeit verfügbaren einschlägigen Daten reichen für belastbare Prognosen nicht aus. Zum einen sind die Statistiken veraltet, da die letzte umfassende Gebäude- und Wohnungszählung bereits knapp 20 Jahre zurückliegt und die 1 % Stichproben nur Tendenzen wiedergeben können, und zum anderen enthalten sie nur unzureichende Angaben zu den energetisch relevanten Bereichen. So wird zwar beispielsweise in den Statistiken angegeben, wie viele Bestandsgebäude saniert worden sind oder mit welchem Energieträger sie jeweils versorgt werden, sie geben aber keine Antwort auf die Frage, welche Wärmeschutzmaßnahmen oder anlagentechnische Verbesserungen umgesetzt wurden und welchen energetischen Standard die einzelnen Objekte dadurch aufweisen. Im Bereich der Erhebung energetisch relevanter Daten des Gebäudebestandes besteht demnach noch weiterer Forschungsbedarf.

9.2 Potential der Optimierungsmaßnahmen

9.2.1 Anlagentechnik

Bei den anlagentechnischen Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass hier jeweils ein deutliches Optimierungspotential bei den drei betrachteten Bestandsfällen besteht. Die einzelnen untersuchten Maßnahmen beinhalten zwar zum Teil hohe Investitionskosten, die aber bei einem 20-jährigen Betrachtungszeitraum in der Regel geringer als die erzielte Energiekosteneinsparung sind, was bedeutet, dass sie auch ohne Förderung in den meisten Fällen rentabel sind. Zusätzlich können zum Teil sehr große Primärenergieeinsparungen erreicht werden, so dass alle Maßnahmen, mit Ausnahme einiger Varianten mit Lüftungsanlage, unabhängig von der gewählten Energiekostensteigerungsrate oder dem Dämmstandard gegenüber allen drei Ausgangsfällen eine zum Teil deutlich bessere Bewertung erzielen. Ein Austausch der Anlagentechnik bei den drei untersuchten Anlagenbestandsfällen ist daher in jedem Fall sinnvoll, wobei es für jede der betrachteten Versorgungssysteme eine Variante gibt, die günstiger als die Ausgangsfälle abschneidet. Unabhängig davon bestehen aber große Unterschiede zwischen den einzelnen Optimierungsvarianten, sowohl, was die Wirtschaftlichkeit, als auch, was die ökologische Bewertung angeht.

Bei der solarthermischen Unterstützung lässt sich zwar je nach Variante der Primärenergieverbrauch deutlich verringern, was aber bei der Bewertung durch die negative

Kostenbilanz in der Regel wieder ausgeglichen wird. Die zur Verfügung stehende Dachfläche des Untersuchungsobjektes reicht zwar aus, um sowohl eine reine Warmwasser- als auch eine kombinierte Heizungs- und Warmwasserunterstützung durch die Solarthermieanlage vorzusehen, ein Kostenvorteil konnte aber ohne zusätzliche Förderung auch bei starker Energiekostensteigerung unabhängig vom übrigen Anlagentechnischem System nicht festgestellt werden. Da die solarthermischen Lösungen in der Gesamtbewertung aber im Bereich der jeweiligen Basisvarianten liegen und teilweise sogar etwas besser als diese abschneiden, kann eine solche Lösung insbesondere bei einer zusätzlichen Förderung eine sinnvolle Ergänzung darstellen.

Bei den derzeitigen Anlagenkosten und Vergütungssätzen und der für das Untersuchungsobjekt realisierbaren Anlagengröße konnte für die Fotovoltaikanlage eine Wirtschaftlichkeit nicht nachgewiesen werden. Auf primärenergetischer Seite sind zwar Gewinne zu verbuchen, die je nach Szenario auch zu einer positiven Bewertung führen können, der Gesamteffekt einer Fotovoltaikunterstützung ist aber auf Grund der gegenüber dem Ausgangsfall nur leichten Primärenergiebilanzverbesserung für das Untersuchungsobjekt als gering einzustufen.

Hinsichtlich der Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung konnte festgestellt werden, dass sich bei allen diesbezüglichen Varianten die Wirtschaftlichkeit gegenüber den übrigen Optimierungslösungen verschlechtert und die Kosten zum Teil noch über denen der Ausgangsfälle liegen. Gleichzeitig fällt die Primärenergieeinsparung auf Grund des zusätzlichen Lüftungsstromverbrauchs nicht so hoch aus, dass sich eine Bewertungsverbesserung gegenüber der Basisvariante erreichen lässt. Ohne Förderung bietet die Lüftungsanlagenlösung bei einer rein wirtschaftlich-ökologischen Betrachtung demnach gegenüber den Basisvarianten keinen entscheidenden Vorteil. Andere Gründe, wie der Komfortgewinn, die Vermeidung von Bauschäden oder die Verbesserung der Hygiene können aber durchaus für den Einbau eines solchen Systems sprechen.

Am günstigsten von allen untersuchten Anlagen schneidet auf Grund der guten Bewertungen in ökonomischer und ökologischer Hinsicht die Pelletvariante ab. Ein solches System entspricht auch der Forderung nach einer Umstellung der Energieversorgung auf alternative Energieträger. In diesem Zusammenhang ist ebenfalls die gute Bewertung der Kombination aus regenerativ versorgter Wärmepumpe und Pelletanlage interessant, die trotz der hohen Energiekosten für den regenerativ erzeugten Strom im Vergleich mit den drei Bestandsfällen in der überwiegenden Zahl der Fälle Kosteneinsparungen erzielt. Bei der Primärenergieeinsparung erreicht sie dabei noch vor der Pelletanlage die besten Werte und eine dementsprechend gute Gesamtbilanz.

Die Pelletvarianten weisen dabei den Nachteil eines hohen Versauerungspotentials auf

und führen zudem zu einer deutlich erhöhten Feinstaubbelastung. Hier kann zwar der Unterschied zu anderen anlagentechnischen Lösungen durch eine umfassende Optimierung des Dämmstandards der Hüllflächen wesentlich verringert werden, bleibt aber dennoch bestehen. Um zu einer zukunftsfähigen Lösung zu gelangen, sind daher in diesem Bereich zusätzliche Verbesserungen notwendig, und es ist diesbezüglich weiterer Forschungsbedarf vorhanden.

9.2.2 Bautechnik

Bei der Untersuchung der bautechnischen Optimierungsvarianten hat sich gezeigt, dass eine deutliche Abhängigkeit der Bewertung vom jeweils zu Grunde gelegten Anlagensystem besteht. Je kostengünstiger der Energieträger, je niedriger seine primärenergetische Bewertung und je besser die jeweiligen anlagentechnischen Aufwandszahlen sind, desto ungünstiger schneiden die einzelnen bautechnischen Maßnahmen bei der Bewertung ab. Aus diesem Grund gibt es bei einer moderaten Energiepreissteigerung auch nur eine Maßnahme, die für alle ausgewählten Anlagensysteme zu einer Bewertungsverbesserung führt. Erst bei einer starken Energiepreissteigerung wird dieser Effekt für alle Varianten von mehreren Optimierungslösungen erreicht. Eine Betrachtung von bautechnischen Maßnahmen muss also immer anlagenspezifisch erfolgen. Dies ist auch im Hinblick auf eine Maßnahmenförderung interessant, die um, eine jeweilige Wirtschaftlichkeit zu erreichen, beispielsweise bei einer Wärmeversorgung durch eine Pelletanlage höher ausfallen muss, als wenn eine Gas-Brennwertanlage installiert ist.

Insgesamt liegen die Kosten der meisten für das Untersuchungsobjekt untersuchten Lösungen bezüglich der Verbesserungen oder Verschlechterungen nicht weit von den Werten der jeweiligen Ausgangsfälle entfernt. Bis auf eine Maßnahme führen alle Varianten zu einer Primärenergieeinsparung, was aber nur bei den mit fossilen Energieträgern versorgten Systemen deutlich sichtbar wird. Die maximal erreichbare Verbesserung der Bewertung durch eine Einzelmaßnahme fällt daher mit knapp 7 % auch eher moderat aus. Berücksichtigt man aber überdies, dass viele Maßnahmen nicht lange nach Ende des Betrachtungszeitraums den Punkt der Bewertungsverbesserung erreichen, zeigt sich, dass die meisten Maßnahmen bereits ohne Förderung langfristig sinnvoll sind. Dabei stellt das Schließen des Lichtschachtes die günstigste Variante dar, gefolgt von der Dämmung der Hofseite und der Mineralfaserinnendämmung.

Andere Lösungen, wie der Fensteraustausch oder die Vakuuminndämmung, haben zwar ein großes Energieeinsparpotential, ziehen aber zu hohe Investitionskosten nach sich, die durch die Primärenergieeinsparung auch Jahre nach Ende des Betrachtungszeitraums in der Bewertung noch nicht ausgeglichen werden können. Die Fenstermaßnahmen sind insbesondere dann interessant, wenn aus Gründen der Komfortverbesserung

rung ohnehin eine Erneuerung ansteht, wobei die Niedrigenergiehausvariante eine günstigere Bewertung als die Passivhausfensterlösung aufweist.

Im Zusammenhang mit der bautechnischen Optimierung stellt die Wärmebrückenproblematik ein Gebiet dar, auf dem noch weiterer Forschungsbedarf besteht. So bedarf es zum einen noch der Untersuchung möglichst vieler Bestands- und Optimierungsfälle, um möglichst übertragbare Aussagen hinsichtlich des Wärmebrückeneinflusses auf den Energiebedarf machen zu können. Zum anderen gibt es gerade bei gründerzeitlichen Gebäuden eine Reihe von Problempunkten, bei denen niedrige Innenoberflächentemperaturen und diesbezüglich kritische Konstruktionen zu Bauschäden führen können. Im Zusammenhang mit den Dämmmaßnahmen, insbesondere im Bereich der Innendämmung, kommt dabei der Wärmebrückenanalyse und Optimierung eine besondere Bedeutung zu.

9.2.3 Maßnahmenkombinationen

Bei der Betrachtung der Maßnahmenkombinationen hat sich gezeigt, dass die Wahl des Anlagensystems einen deutlich größeren Einfluss auf die Gesamtbewertung hat, als die jeweilige bautechnische Maßnahmenkombination. Bei allen Varianten ist der Energieverbrauch auch nach der Optimierung noch so hoch, dass sich die einzelnen Anlagen durch die bautechnische Verbesserung zwar in ihrer Bewertung annähern, aber weiterhin deutliche Unterschiede zwischen den Systemen bestehen bleiben.

Im Unterschied dazu können die bautechnischen Verbesserungen bei dem Heizwärmebedarf jeweils zu deutlichen Verringerungen führen, so dass sich mit einigen der untersuchten Maßnahmenkombinationen diesbezüglich der Standard der Energieeinsparverordnung erreichen lässt. Dies ist insofern von Bedeutung, als eine Reduzierung des Heizwärme- und damit Endenergiebedarfs auch einen niedrigeren Brennstoffverbrauch zur Folge hat. Je nach Anlagensystem kann so eine deutliche Reduzierung des Schadstoffausstoßes erreicht und Lagerfläche eingespart werden. Außerdem trägt ein geringer Energiebedarf entscheidend zur Energieversorgungssicherheit bei.

Hinsichtlich des Einflusses der bautechnischen Maßnahmenkombinationen auf den Primärenergiebedarf konnte gezeigt werden, dass dieser bei den regenerativ versorgten Varianten geringer ausfällt als bei den Anlagen mit fossilen Energieträgern, bei denen deutliche Einsparungen zu verzeichnen sind. Außerdem reduzieren die meisten Kombinationen die Kosten gegenüber der reinen Anlagenbetrachtung noch einmal merklich. Insgesamt kann so mit der günstigsten Kombination aus Pelletanlage, Schließen des Lichtschachtes und Dämmung der hof- und straßenseitigen Außenwände das Bewertungsergebnis bei einer starken Energiepreissteigerung um über 70 % verbessert werden.

Dabei ist von Bedeutung, dass sich die Umsetzung von Dämmmaßnahmen auch aus Gründen der Bauschadensvermeidung oder Komfortverbesserung anbieten kann und damit unter Umständen auch Maßnahmen sinnvoll sind, die die Aufwandszahlen nicht verbessern. Hinzu kommt, dass den durchgeführten Berechnungen eher konservative Annahmen zu Grunde liegen, beispielsweise die Festlegung der Innentemperatur auf 19°C, so dass das Potential der verschiedenen Optimierungsmaßnahmen bei diesbezüglich veränderten Parametern größer ausfallen kann. Daher stellen die Maßnahmenkombinationen das jeweilige Mindestpotential dar, das als Ergebnis der durchgeführten ökonomisch-ökologischen Betrachtung des Untersuchungsobjekts erschließbar ist.

Quellenverzeichnis

Berechnungsprogramme

- [1] Delphin 4.4: Numerical Simulation Program for coupled Heat, Air, Salt and Moisture Transfer, Institut für Bauklimatik, Technische Universität Dresden.
- [2] ENBIL Gebäude-Modernisierungs-Tool: Passivhaus Institut, Darmstadt.
- [3] Epass Helena, 4.0.6.4: EnEV und Gebäudeenergieberatung, Zentrum für umweltbewusstes Bauen, Kassel.
- [4] GEMIS 4.3: Globales Emissions-Model Integrierter Systeme, Öko Institut e.V., Freiburg.
- [5] Get Solar 8.0: Solarthermieanlagen-simulation, Axel Horn, Sauerlach
- [6] PHPP 2004 : Passivhaus Projektierungs Paket 2004, Passivhaus Institut, Darmstadt.
- [7] Sirados Baudaten 1.2.509: Sirados GmbH, Dachau.
- [8] TAS 8.5 : Thermal Analysis Software, Ifes GmbH, Frechen.
- [9] TRNSYS 16: Transient System Simulation Program, Trans Solar Energietechnik GmbH, Stuttgart.

DIN-Normen und VDI-Richtlinien

- [10] DIN 277-1: Grundfläche und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau, Teil 1: Begriffe, Ermittlungsgrundlagen, 2005-02.
- [11] DIN 277-2: Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau, Teil 2: Gliederung der Netto Grundfläche (Nutzflächen, Technische Funktionsflächen, Verkehrsflächen), 2005-02.
- [12] DIN 277-3: Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau, Teil 3: Mengen und Bezugseinheiten, 2005-04.
- [13] DIN 4108, Beiblatt 1: Wärmeschutz im Hochbau: Inhaltsverzeichnisse, Stichwortverzeichnis, 1982-04.

- [14] DIN 4108, Beiblatt 2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden: Wärmebrücken: Planungs- und Ausführungsbeispiele, 2001-01.
- [15] DIN 4108-1: Wärmeschutz im Hochbau: Größen und Einheiten, 1981-08.
- [16] DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, 2003-07.
- [17] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz: Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, 2001-07.
- [18] DIN 4108-3, Berichtigung 1: Berichtigungen zu DIN 4108-3:2001-07, 2002-04.
- [19] DIN 4108-7: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie –beispiele, 2001-08.
- [20] DIN EN 12524: Baustoffe und –produkte: Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften: Tabellierte Bemessungswerte, 2000-07.
- [21] DIN EN 832: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden: Berechnung des Heizenergiebedarfs, Wohngebäude, 2003-06.
- [22] DIN EN ISO 10077-1: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen: Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten, Teil 1: Vereinfachtes Verfahren, 2000-11.
- [23] DIN EN ISO 10077-2: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen: Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten, Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen, 2003-12.
- [24] DIN EN ISO 10211-1: Wärmebrücken im Hochbau: Wärmeströme und Oberflächentemperaturen, Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren, 1995-11.
- [25] DIN EN ISO 10211-2: Wärmebrücken im Hochbau: Berechnung der Wärmeströme und Oberflächentemperaturen, Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken, 2001-06.
- [26] DIN EN ISO 13370: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden: Wärmeübertragung über das Erdreich, Berechnungsverfahren, 1998-12.
- [27] DIN EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen: Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren, Berechnungsverfahren, 2001-11.
- [28] DIN EN ISO 13789: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden: Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient, Berechnungsverfahren, 1999-10.

- [29] DIN EN ISO 14040: Umweltmanagement, Ökobilanzen: Grundsätze und Rahmenbedingungen, 1997-08.
- [30] DIN EN ISO 14683: Wärmebrücken im Hochbau: Längenbezogener Wärmedurchlasskoeffizient: Vereinfachte Verfahren und Anhaltswerte, 1999-09.
- [31] DIN EN ISO 6946: Bauteile: Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient: Berechnungsverfahren, 2003-10.
- [32] DIN EN ISO 7345: Wärmeschutz: Physikalische Größen und Definitionen, 1996-01.
- [33] DIN V 18599, Teil 1 bis Teil 10: Bewertung von Gebäuden: Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, 2005-11.
- [34] DIN V 4108-10: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe, Teil 10: Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe, 2002-02.
- [35] DIN V 4108-4: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte, 2002-02.
- [36] DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs, 2003-06.
- [37] DIN V 4108-6, Berichtigung 1: Berichtigungen zu DIN V 4108-6:2003-06, 2004-03.
- [38] DIN V 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, 2003-08.
- [39] DIN V 4701-10, Beiblatt 1: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Teil 10: Diagramme und Planungshilfen für ausgewählte Anlagensysteme mit Standardkomponenten, 2002-02.
- [40] DIN V 4701-12: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen im Bestand, Teil 12: Wärmeerzeuger und Trinkwassererwärmung, 2004-02.
- [41] VDI-Richtlinie 4600: Kumulierter Energieaufwand: Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden, 1997-06.
- [42] VDI-Richtlinie 6020, Blatt 1: Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation: Gebäudesimulation, 2001-5.

Internetverweise

- [43] Bremer Energie-Konsens GmbH (Hrsg.): Infopool Bauen und Energie, http://www.energiekonsens.de/Projekte/Bauen_Wohnen/Infopool/Energieverbrauch/Energieverbrauch_Gebaeude.html (2006-02-15).
- [44] Bund der Energieverbraucher (Hrsg.): Energiebezug: Strom, Heizöl, Erdgas, <http://www.energienetz.de> (2006-04-28).
- [45] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): Energiegewinnung und Energieverbrauch: Energiedatentabellen, <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Energiestatistiken/energiedaten.html> (2006-05-15).
- [46] Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs- Netzwerk e.V. (Hrsg.): Preisentwicklung bei Holzpellets, <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/pellets/pelletpreise.html> (2006-04-28).
- [47] Deutsche Energie-Agentur GmbH, Berlin: <http://www.dena.de>.
- [48] Deutsches Klimarechenzentrum (Hrsg.): IPCC AR 4 Rechnungen: Ergebnisse, http://www.dkrz.de/dkrz/science/IPCC_AR4/scenarios_AR4_Intro_de_DE.html, (2006-05-15).
- [49] Fast Energy GmbH (Hrsg.): Heizölpreise, <http://www.fastenergy.de/heizoelpreise.htm> (2006-05-15).
- [50] Fraunhofer Gesellschaft (Hrsg.): EnSan - Energetische Verbesserung der Baustanz, 2004-10, <http://www.ensan.de/rahmen/index.html>, (2005-10-25).
- [51] Fraunhofer-Institut für Bauphysik - Abteilung Hygrothermik, Holzkirchen: <http://www.bauphysik.de/HT/index.html>.
- [52] Fraunhofer-Institut für Bauphysik - Abteilung Wärmetechnik, Stuttgart: <http://www.ibp.fhg.de/wt/>.
- [53] Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Angewandte Bautechnik: <http://www.tuhh.de/abt/>.
- [54] Technische Universität Dresden, Institut für Bauklimatik, Fakultät für Bau-, Wasser- und Forstwesen: <http://www.tu-dresden.de/atribk/bauklim.html>.
- [55] Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt: <http://www.iwu.de>.
- [56] International Energy Agency (Hrsg.): World Energy Outlook 2005: Executive Summary, <http://www.worldenergyoutlook.org/summary.asp> (2006-04-28).
- [57] International Panel Of Climate Change (Hrsg.): The IPCC Data Distribution Centre, <http://www.ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/> (2006-01-27).

- [58] König, Holger: Legep: Ein Werkzeug für die integrierte Lebenszyklusanalyse, <http://www.legep.de> (2006-01-27).
- [59] Lamprecht, Klaus: Online-Datenbanken: EnEV-Software, <http://www.enev-software-test.de> (2003-12-02).
- [60] Mühr, Bernhard: Klimadiagramme: Hamburg Fuhlsbüttel, Mittel 1971-2000, <http://www.klimadiagramme.de/deutschland/hamburg2.html> (2006-01-11).
- [61] Öko-Institut e.V. (Hrsg.): Kumulierter Energie Aufwand: Mehr als eine Zahl, <http://www.oeko.de/service/kea/> (2006-01-27).
- [62] Öko-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie, Freiburg: <http://www.oeko.de>.
- [63] Tecson Digital (Hrsg.): Rohöl Weltmarktpreise, <http://www.tecson.de/pheizoel.htm>, (2006-05-15).
- [64] Tuschinski, Melita: Die neue DIN V 18599: Bericht zum Gespräch mit Dipl.-Ing. Hans Erhorn, <http://www.enev-online.de> (2005-11-14).
- [65] Universität Stuttgart, Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (Hrsg.): GaBi 4Internetpräsentation, <http://www.gabi-software.de> (2006-01-27).
- [66] Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V. (Hrsg.): Energie im Haushalt: Singles brauchen mehr Strom, <http://www.strom.de/wysstr/stromwys.nsf/WYSFrameset1?Readform&JScript=1&> (2006-01-11).
- [67] Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V. (Hrsg.): Der deutsche Energiemix, <http://www.strom.de/wysstr/stromwys.nsf/WYSFrameset1?Readform&JScript=1&> (2006-04-26).
- [68] Verivox GmbH (Hrsg.): Stromtarife, <http://www.verivox.de/power/> (2006-05-30).

Literatur

- [69] Ahnert, R. ; Krause, K.-H.: Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960: Zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz: Gründungen, Abdichtungen, tragende massive Wände, Gesimse, Hausschornsteine, Tragende Wände aus Holz, alte Maßeinheiten, Band 1, 6. Auflage, Berlin: Verlag Bauwesen, 2000.
- [70] Ahnert, R.; Krause, K.-H.: Typische Baukonstruktionen von 1860-1960: Zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz: Holzbalkendecken, Massivdecken, Deckenregister, Fußböden, Erker und Balkone, Verkehrslasten im Überblick, Band 2, 6. Auflage, Berlin: Verlag Bauwesen, 2001.

- [71] Ahnert, R.; Krause, K.-H.: Typische Baukonstruktionen von 1860-1960: Zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz: Unterzüge und gemauerte Gurtbögen, Pfeiler und Stützen, Treppen, Dächer und Dachtragwerke, Dachaufbauten aus Holz, Lastannahmen zum Dach, Band 3, 6. Auflage, Berlin: Verlag Bauwesen: 2002.
- [72] Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt: Mietspiegel 2005: Der Freien und Hansestadt Hamburg in Euro, Hamburg: o. Verlag, 2005
- [73] Bräuninger, M.; Matthies, K.; Weinert, G.: Teil I: Szenarien für die langfristige Entwicklung auf den Märkten für Energierohstoffe, in: Hamburgisches Welt Wirtschafts-Institut; Berenberg Bank (Hrsg.): Strategie 2030: Energierohstoffe, Hamburg: o. Verlag, 2005.
- [74] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.): Bewertung in Ökobilanzen mit der Methode der Ökologischen Knappheit, Schriftenreihe Umwelt, Band 297, Bern: BUWAL Dokumentationsdienst, 1998.
- [75] Clausnitzer, K.-D.: Systemvergleich: Vollkosten, Ersatz alter Gasetagenheizungen, Kurzfassung, Bremen: o. Verlag, 2004.
- [76] Ekkerlein, C.: :Ökologische Bilanzierung von Gebäuden in frühen Planungsphasen auf Basis der Produktmodellierung, München: Dissertation Technische Universität München, 2004.
- [77] Energieeinsparverordnung, EnEV: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, Berlin: o. Verlag, 2004.
- [78] Energiewirtschaftliches Institut; Prognos AG: EWI/Prognos – Studie: Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030, in: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (Hrsg.): Dokumentationen: Energiereport IV, Band 545, Berlin: o. Verlag, 2005.
- [79] Eyerer, P.: Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden: Wege zu einer ganzheitlichen Bilanzierung, Boston, Berlin: Birkhäuser, 2000.
- [80] Feist, W.: Stellungnahme zur Vornorm DIN V 4108-6:2001 aus Sicht der Passivhausentwicklung, in: Feist, W. (Hrsg.): Cepheus Projektinformation, Band 39, Darmstadt: Publikation des Passivhaus Instituts, o. Verlag, 2001.
- [81] Feist, W.: Nutzerverhalten, in: Feist, W. (Hrsg.): Protokollband: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Band 9, Darmstadt: Publikation des Passivhaus Instituts, 1997.

- [82] Feist, W.: Kostengünstige Passivhäuser, in: Feist, W. (Hrsg.): Protokollband: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Band 11, Darmstadt: Publikation des Passivhaus Instituts, o. Verlag, 1997.
- [83] Feist, W.: Primärenergie- und Emissionsbilanzen von Dämmstoffen, 1. Auflage, Darmstadt: Publikation des Passivhaus Instituts, o. Verlag, 1986.
- [84] Forschungsstelle für Energiewirtschaft der Gesellschaft für praktische Energiekunde e.V. (Hrsg.): Ganzheitliche Bilanzierung von elektrisch angetriebenen Wärmepumpen als Basis einer Ökobilanz: Endbericht, München: o. Verlag, 1996.
- [85] Forschungsstelle für Energiewirtschaft der Gesellschaft für praktische Energiekunde e.V. (Hrsg.): Ökobilanzierung mit Hilfe der KEA Datenbank: Praxistest, München: o. Verlag, 1999.
- [86] Frischknecht, R.; Jungbluth, N.: Overview and Methodology, in: Swiss Centre for Life Cycle Inventories: Ecoinvent Report, Band 1, Dübendorf: o. Verlag, 2004.
- [87] Fritsche, U.; Jenseit, W.; Hochfeld, C.: Arbeitspapier: Methodikfragen bei der Berechnung des Kumulierten Energieaufwandes (KEA), Darmstadt: o. Verlag, 1999.
- [88] Funke, H.: Zur Geschichte des Mietshauses in Hamburg, Hamburg: Hans Christians Verlag, 1974.
- [89] Gassel, A.: Beiträge zur Berechnung solarthermischer und energieeffizienter Energiesysteme, Dresden: Dissertation Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, 1996.
- [90] Gerling, P.; Rempel, H.; Schwarz-Schampera, U.; Thielemann, T.: Kurzstudie: Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen, Hannover: Publikation der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, o. Verlag, 2004.
- [91] Gintars, D.: Altbau: Fit für die Zukunft, in: Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.): BINE Informationsdienst: Basis Energie, Band 11. Bonn: o. Verlag, 2002.
- [92] Goedkoop, M.; Demmers, M.; Collignon, M.: Final Report: The Eco-indicator 95, Amersfoort: o. Verlag, 1995.
- [93] Gruber, E.; Mannsbart, W.; Erhorn, H.; Erhorn-Kluttig H.; Brohmann, B.; Rausch L.; Hünecke, K.: Energiepass für Gebäude: Evaluation des Feldversuchs: Auszug aus den Ergebnissen und Schlussfolgerungen, Karlsruhe: o. Verlag, 2005.

- [94] Haaff, R.: Gründerzeit-Möbel und Wohnkultur. Westheim: Rhein-Verlag-Haaff, 1992.
- [95] Hansestadt Hamburg (Hrsg.): Baupolizeigesetz auf Befehl E. H. Senats der Freien und Hansestadt Hamburg, Hamburg: Meißner, 1865.
- [96] Hansestadt Hamburg (Hrsg.): Baupolizeigesetz und provisorisches Gesetz betreffend die Handhabung der Baupolizei in einem Theile des Landgebietes, Hamburg: Otto Meißner, 1872.
- [97] Hansestadt Hamburg (Hrsg.): Gesetz betreffend die Vereinigung der Vorstadt St. Pauli, der Vororte u.w.d.A. vom 22. Juni 1894, in: Hansestadt Hamburg (Hrsg.): Gesetzessammlung der Freien und Hansestadt Hamburg, Band 31, Hamburg: o. Verlag, 1894.
- [98] Hare, B.: Relationship between increases in global mean temperature and impacts on ecosystems, food production, water and socio economic systems, Potsdam: Publikation des Potsdam Instituts für Klimafolgenforschung, o. Verlag, 2005.
- [99] Häupl, P.; Grunewald, J.; Fechner, H.: Thermal Renovation of a "Gründerzeit" - house by means of a capillary active inside insulation. Dresden: Publikation der Technischen Universität Dresden, Institut für Bauklimatik, o. Verlag, 1999.
- [100] Hegger, M.: Softwaretest von EnEV Programmen, Darmstadt: Publikation Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Architektur, o. Verlag, 2003.
- [101] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten (Hrsg.): Energiebewusste Gebäudeplanung: Energie im Hochbau, 4. Auflage, Wiesbaden: 1993.
- [102] Houghton, J. et al.: Climate Change 2001: The Scientific Basis, in: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.): IPCC Report, Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [103] IBO, Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie (Hrsg.): Ökologie der Dämmstoffe, Wien: Springer Verlag, 2000.
- [104] IBO, Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie (Hrsg.): OI3: Leitfaden für die Berechnung von Ökokennzahlen für Gebäude, Wien: o. Verlag, 2004.
- [105] International Energy Agency (Hrsg.): Directory of Tools: Annex 31 Core Reports, Paris: o. Verlag, 2001
- [106] International Energy Agency (Hrsg.): Key World Energy Statistics, Paris: o. Verlag, 2005.

- [107] Jagnow, K.; Horschler, S.; Wolff, D.: Die neue Energieeinsparverordnung 2002: Kosten- und verbrauchsoptimierte Gesamtlösungen, Köln: Deutscher Wirtschaftsdienst GmbH & Co KG, 2002.
- [108] Kadatz, H.-J.: Seemanns Lexikon der Architektur. 1. Auflage, Leipzig: Kunstverlagsgesellschaft Leipzig, 1994.
- [109] Kah, O.; Feist, W.: Wirtschaftlichkeit von Wärmedämm-Maßnahmen im Gebäudebestand 2005. Darmstadt: Publikation des Passivhaus Institutes, o. Verlag, 2005.
- [110] Kaufmann, B.: Einsatz von Passivhaustechnologien bei der Altbaumodernisierung, in: Feist, W.: Protokollband: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Band 24, Darmstadt: Publikation des Passivhaus Institutes, o. Verlag, 2003.
- [111] Kempkes, C.: Seminarreihe DIN V 18599, Kassel: o. Verlag, 2005.
- [112] Kiesewetter, H.: Industrielle Revolution in Deutschland 1815-1914, Band 539, 1. Auflage, Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag, 1989.
- [113] Klöpffer, W.: Bewertungsansätze im Vergleich: Produktökobilanzen, in: Weigert, B. (Hrsg.): Schriftenreihe Wasserforschung, Band 5, Berlin: o. Verlag, 1998.
- [114] Knabe, G.; Felsmann, C.; Perschk, A.; Rösler, M.: Gebäude- und Anlagensimulation, in: Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.): BINE Informationsdienst, Band III/99, Bonn: o. Verlag, 1999.
- [115] Koch, W.: Baustilkunde, 11. Auflage, München: Mosaik Verlag GmbH, 1991.
- [116] Köllmann, W.: Raum und Bevölkerung in der Weltgeschichte, Band 4, 3. Auflage, Würzburg: Ploetz-Verlag A.G., 1965.
- [117] Korhammer, S.; Lörx, S.: Dokumentation: "Energiepass für Wohngebäude" in Bremen, Endbericht, Bremen: o. Verlag, 2005.
- [118] Kostof, S.: Geschichte der Architektur: Vom Klassizismus bis zur Moderne, Band 3, Stuttgart: Deutsche Verlags Anstalt, 1993.
- [119] Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, 10. Auflage, München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2005.
- [120] Leprich, U.; Georg, S.; Horst, J.; Thiele, A.: Strompreisszenarien und Strompreisvergleich: Ausgewählte Fragestellungen zur EEG-Novellierung, Teilbericht, Saarbrücken: Gutachten des Instituts für Zukunfts-Energie-Systeme, o. Verlag, 2004.
- [121] Loga, T.; Diefenbach, N.; Born, R.: Guter Ansatz - Schwache Standards: Die neue Energieeinsparverordnung: Stellungnahme zum Referentenentwurf vom 29. November 2000, Darmstadt: o. Verlag, 2001.

- [122] Loga, T.; Feldmann, R.; Diefenbach, N.; Großklos, M.; Born, R. : Wiesbaden - Lehrstrasse 2: Energetische Modernisierung eines Gründerzeithauses, Darmstadt: o. Verlag, 2003.
- [123] McCarthy, J. et al: Climate Change 2001: Impacts, Adaption, and Vulnerability, in: Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Reports, Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [124] Meyers Lexikonredaktion: Meyers neues Lexikon in zehn Bänden, Band 4, Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich: Meyers Lexikonverlag, 1993.
- [125] Meyers Lexikonredaktion: Duden-Lexikon A-Z, 3. Auflage, Mannheim: Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, 1992.
- [126] Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment: Eco-indicator 99: manual for designers, Den Haag: o. Verlag, 2000.
- [127] Öko Institut e.V. (Hrsg.): Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme, Darmstadt: o. Verlag, 2001.
- [128] Öko Institut e.V. (Hrsg.): Der kumulierte Energieaufwand (KEA) im Baubereich, Darmstadt: o. Verlag, 1999.
- [129] Olshausen, H.: Baupolizeigesetz der Stadt Hamburg vom 23. Juni 1882 und die dazu erlassenen Novellen und Ergänzungen nebst den im Zusammenhange mit dem Baupolizeigesetze stehenden Gesetzen und Verordnungen, Hamburg: Otto Meißner Verlag, 1909.
- [130] Oschatz, B.: Ein Vergleich der DIN V 18599 mit der DIN V 4701-10: Mehr Gemeinsamkeiten oder Unterschiede, in: Gebäudeenergieberater (2005), Nr. 11.
- [131] Otten, D.: Die Welt der Industrie, Band 1, Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH, 1986.
- [132] Peper, S.; Feist, W.: Luftdichte Projektierung von Passivhäusern: Eine Planungshilfe, in: Feist, W. (Hrsg.): Cepheus-Projektinformation, Band 7, 5. Auflage, Darmstadt: Publikation des Passivhaus Instituts, o. Verlag, 2002.
- [133] Pfluger, R.: Lüftung bei Bestandssanierung: Lösungsvarianten, in: Feist, W. (Hrsg.): Protokollband Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser, Band 30, Darmstadt: Publikation des Passivhaus Instituts, o. Verlag, 2004.
- [134] Rat der Europäischen Union (Hrsg.): Schlussfolgerungen des Vorsitzes zur Tagung vom 15. und 16. Juni in Brüssel, Brüssel: o. Verlag, 2006.

- [135] Reulecke, J.; Saldern, A. von; Zimmermann, C.; Wischermann, C.; Zadach-Buchmeier, F.: Geschichte des Wohnens, in: Reulecke, J. (Hrsg.): 1800-1918: Das bürgerliche Zeitalter, Band 3, Stuttgart: Wüstenrot Stiftung Deutscher Eigenheimverein e.V., Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, 1997.
- [136] Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden: Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 16. Dezember 2002, Brüssel: o. Verlag, 2003.
- [137] Rouvel, L.; Zimmermann, F.: Ein regelungstechnisches Modell zur Beschreibung des thermisch-dynamischen Raumverhaltens, in: Heizung, Lüftung, Klima, Haustechnik, Sonderdruck : Bd. 48 (1997) Nr. 10 u. 12; Bd. 49 (1998) Nr. 1.
- [138] Scheffer, M.; Brovkin, V.; Cox, P.-M.: Positive feedback between global warming and atmospheric CO₂ concentration inferred from past climate change, in: Geophysical research letters (2006), Nr. 33.
- [139] Scherz, Daniela: Altern-gerechtes Wohnen in gründerzeitlichen Etagenhäusern und Quartieren: Stand und Perspektiven am Beispiel von Hamburg, Forschungsbericht, Technischen Universität Hamburg-Harburg, Institut für Angewandte Bautechnik, Hamburg: o. Verlag, 2006.
- [140] Schindler, J.; Zittel, W.: Die Fehlsichten des World Energy outlook der Internationalen Energie-Agentur, in: Solarzeitalter: Politik und Ökonomie erneuerbarer Energien (2005), Nr. 4.
- [141] Schnieders, J.: Faktor 4 auch bei sensiblen Altbauten: Passivhauskomponenten und Innendämmung, in: Feist, W. (Hrsg.): Protokollband Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Band 32, Darmstadt: Publikation des Passivhaus Instituts, o. Verlag, 2005.
- [142] Schnieders, J.; Feist, W.; Plugger, R.; Kah, O.: Cepheus: Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, in: Feist, W (Hrsg.): Cepheus-Projektinformation, Band 22, Darmstadt: Publikation des Passivhaus Instituts, o. Verlag, 2001.
- [143] Schulze Darup, B.: Energetische Wohngebäudesanierung mit Faktor 10: Analyse von Passivhaus-Konzepten und deren Anwendung auf die Sanierung, Dissertation an der Universität Hannover, Fachbereich Architektur, Hannover: 2003.
- [144] Sörensen, C.: Wärmedämmstoffe im Vergleich, 7. Auflage, München: Ulenspiegel, Andechs, 2000.
- [145] Staatskommissar für das Wohnungswesen (Hrsg.): Entwurf zu einer Bauordnung, in: Zentralblatt der Bauverwaltung (1919).

- [146] Stadler, W.: Lexikon der Kunst: Malerei, Architektur, Bildhauerkunst, Band 5, Freiburg: Herder Verlag GmbH & Co KG, 1998.
- [147] Stahl, B.: Methodenvergleich und Methodenentwicklung zur Lösung der Bewertungsproblematik in produktbezogenen Ökobilanzen, Bremen: Dissertation an der Universität Bremen, 1998.
- [148] Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein: Statistischer Bericht: Hochbautätigkeit und Wohnungsbestand 2003, Band F II 1,2,4 - j/03 H, Hamburg: o. Verlag, 2004.
- [149] Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Preise: Daten zur Energiepreisentwicklung, in: Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Lange Reihen von Januar 2000 bis Januar 2006, Wiesbaden: o. Verlag, 2006.
- [150] Statistisches Bundesamt Deutschland (Hrsg.): Mikrozensus Zusatzerhebung 2002: Bewohnte Wohneinheiten nach Gebäudegröße, Baujahr und Fläche, Tabelle mz1sh0805, Wiesbaden: o. Verlag, 2002.
- [151] Statistisches Bundesamt Deutschland (Hrsg.): Baufertigstellung von Wohngebäuden (Neubau) nach Gebäudeart, Deutschland, Tabelle 09-F-W-Art-EUR, Wiesbaden: o. Verlag, 2005.
- [152] Statistisches Bureau der Steuer-Deputation (Hrsg.): Statistisches Handbuch für den Hamburgischen Staat, Band 3, Hamburg: Otto Meissner, 1885.
- [153] Statistisches Bureau der Steuer-Deputation (Hrsg.): Statistisches Handbuch für den Hamburgischen Staat, Band 4, Hamburg: Otto Meissner, 1891.
- [154] Statistisches Landesamt (Hrsg.): Statistisches Handbuch für den Hamburgischen Staat, Ausgabe 1920, Hamburg: C. Friedrichsen & Co., 1921.
- [155] Statistisches Landesamt der Freien und Hansestadt Hamburg: Mikrozensus Zusatzerhebung 2002: Bewohnte Wohneinheiten nach Gebäudegröße, Baujahr und Fläche, Tabelle V008 Blatt 1, Hamburg: o. Verlag, 2002.
- [156] Statistisches Landesamt der Freien und Hansestadt Hamburg (Hrsg.): Statistik des Hamburgischen Staates. Die Gebäude- und Wohnungszählung in Hamburg am 25. Mai 1987: Landes- und Bezirksergebnisse, Band 154, Hamburg: o. Verlag, 1992.
- [157] Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Angewandte Bautechnik, Bearbeitung Götz Schünemann: Wärmestrommessreihen vom 13.01.05-14.03.05, Delphin Simulationen, Hamburg: o. Verlag, 2005.
- [158] Umweltbundesamt (Hrsg.): Klimafolgen und Anpassung an den Klimawandel in Deutschland: Kenntnisstand und Handlungsnotwendigkeiten, Dessau: o. Verlag, 2005.

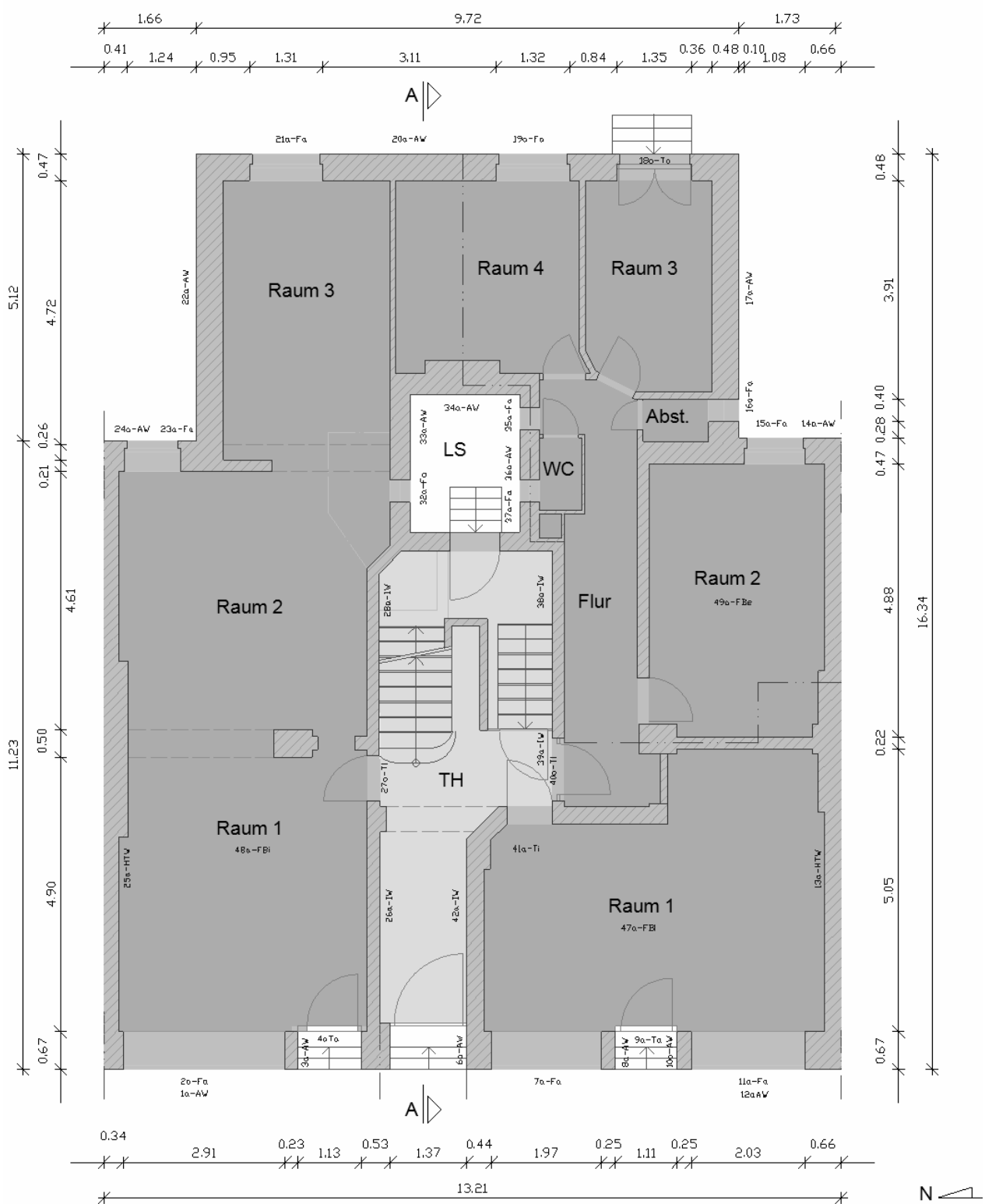
- [159] Umweltbundesamt (Hrsg.): Bewertung in Ökobilanzen, Version 99, in: Umweltbundesamt (Hrsg.): Texte, Band 92/99, Berlin: o. Verlag, 1999.
- [160] Umweltbundesamt (Hrsg.): KEA: Mehr als eine Zahl, Berlin: o. Verlag, 1999.
- [161] Wiek, P.: Das Hamburger Etagenhaus 1870-1914: Geschichte, Struktur, Gestaltung, in: Verein für Hamburgische Geschichte: Veröffentlichung des Vereins für Hamburgische Geschichte, Band 46. Bremen: Edition Temmen, 2002.
- [162] Wolff, D.: EnEV 2002: Die neue Energieeinsparverordnung: Sanierung im Anlagenbestand, Esslingen: o. Verlag, 2004.
- [163] Zentrum für Energie-, Wasser- und Umwelttechnik, Bearbeitung Karin Hoops: Bericht der Luftdichtheit- und Thermografieuntersuchung am 06.05.2003, Hamburg: o. Verlag, 2003.

Anhang

A 1	Grundrisse und Schnitt „Kleine Freiheit 46-48“	210
A 2	Flächenermittlung und Bauteilübersicht	215
A 3	Bestandskonstruktionen	219
A 4	Fensterformate	222
A 5	Vergleich von EnEV-Berechnungsprogrammen	224
A 6	Eingabedaten energetische Berechnung	225
A 7	Solarthermieranlagenberechnung	231
A 8	Kostenzusammenstellung Anlagentechnik	234
A 9	Kostenzusammenstellung Bautechnik	234
A 10	Wärmebrückenberechnung einbindende Innenwand	237
A 11	Auszug aus den Excel-Tool Berechnungen	238
A 12	Bautechnische Optimierung bei unterschiedlichen Dämmstandards	240

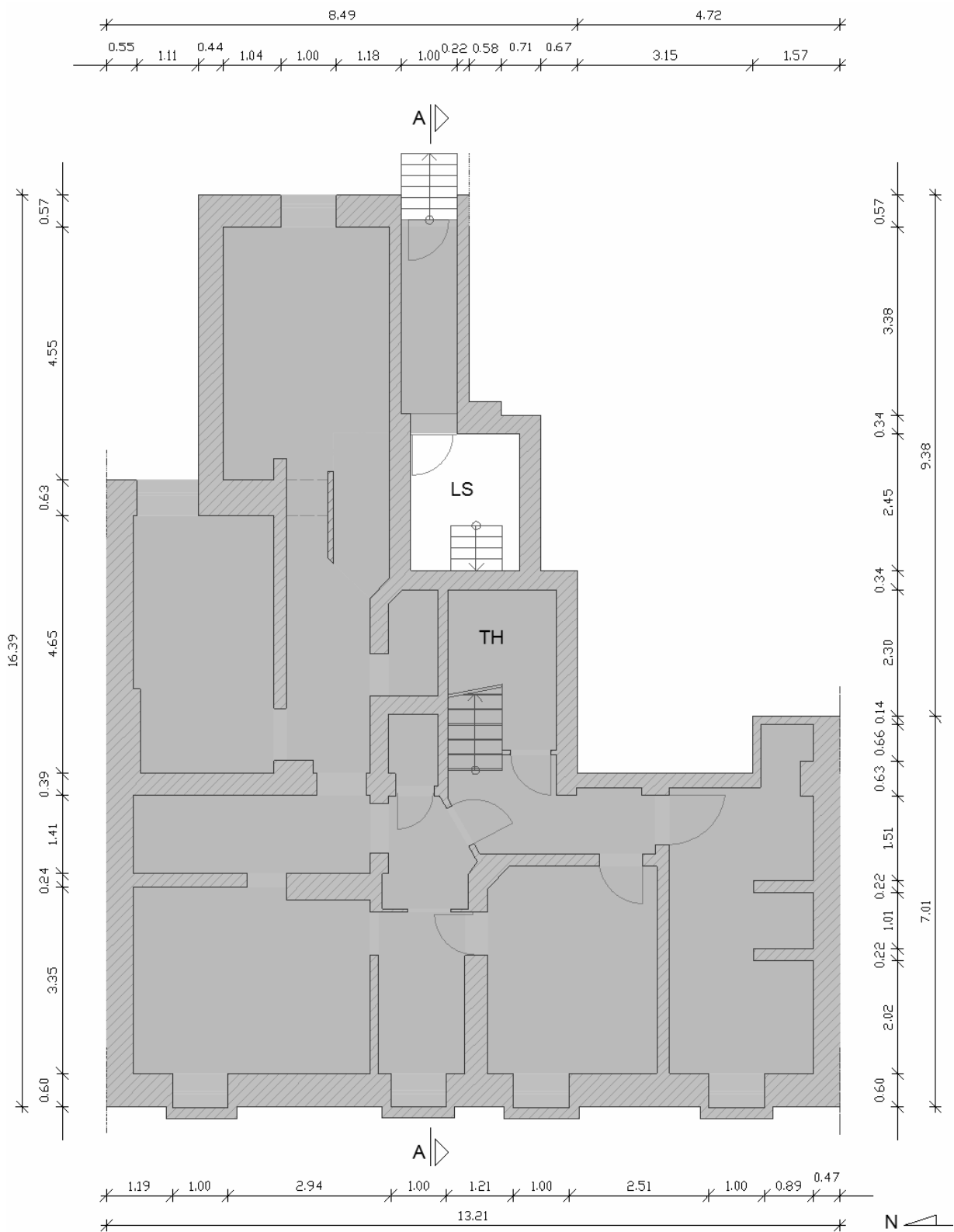
A 1 Grundrisse und Schnitt „Kleine Freiheit 46-48“

Grundriss EG mit Flächenaufteilung (o.M.):

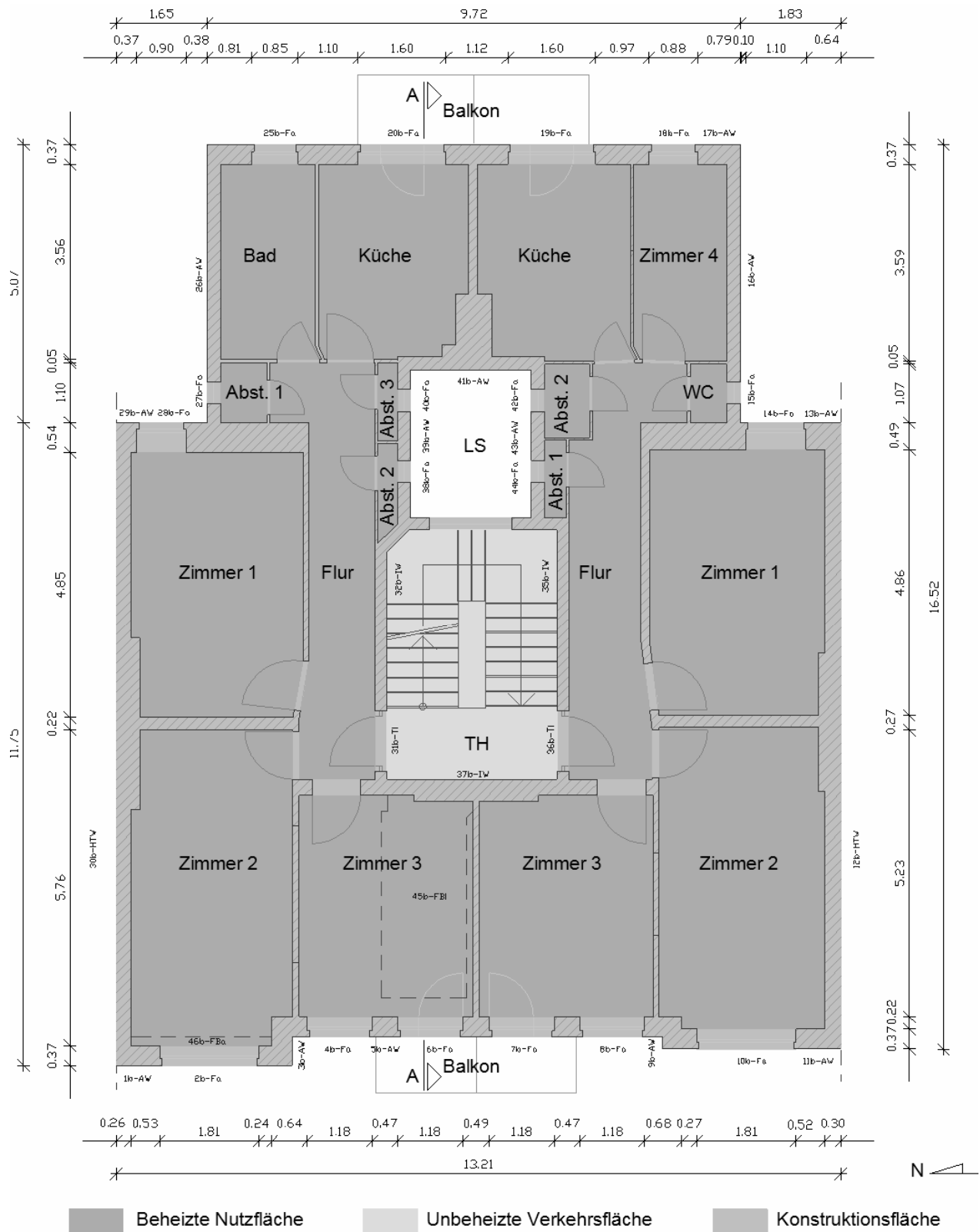


Beheizte Nutzfläche
 Unbeheizte Verkehrsfläche
 Konstruktionsfläche

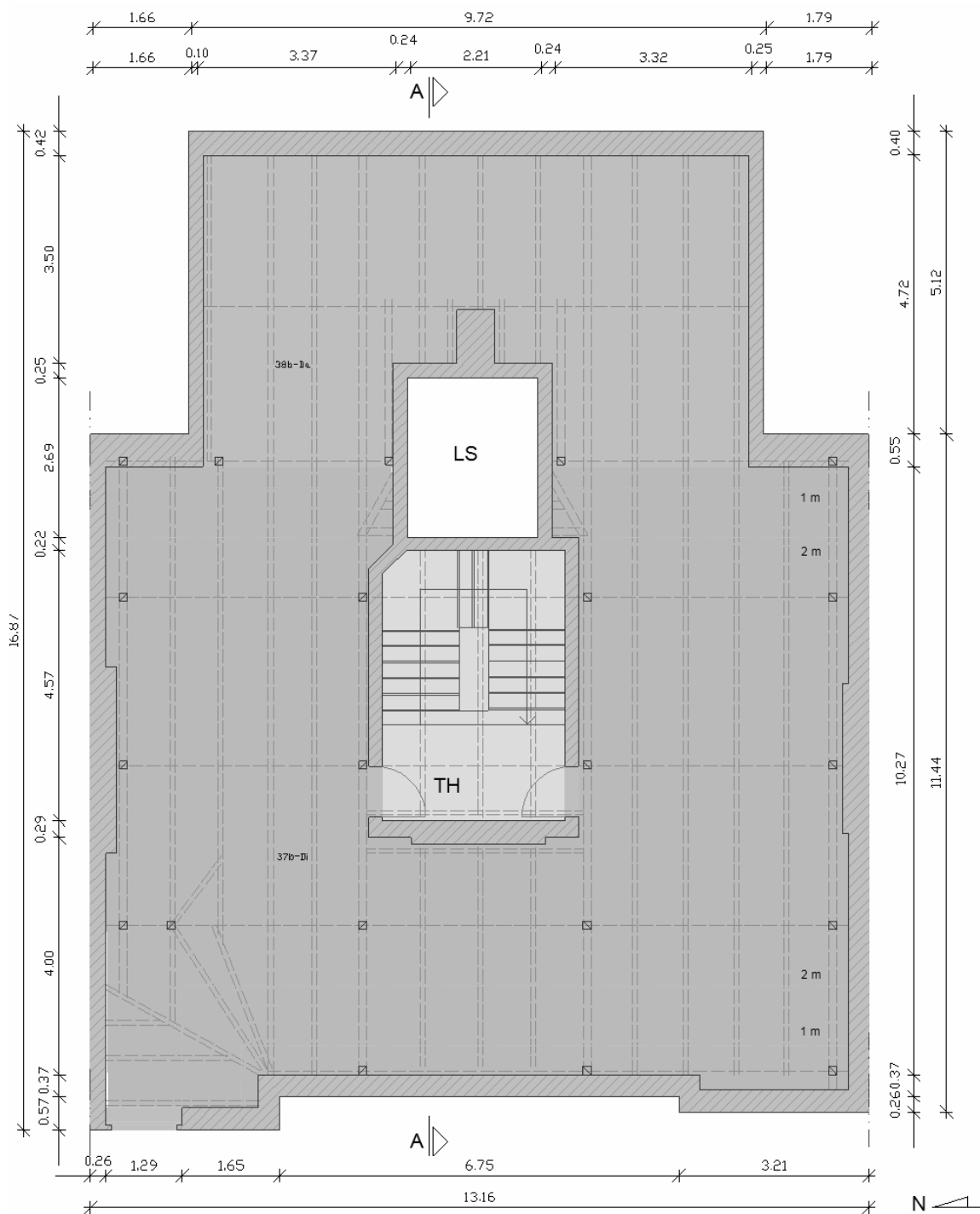
Grundriss KG (o.M.):



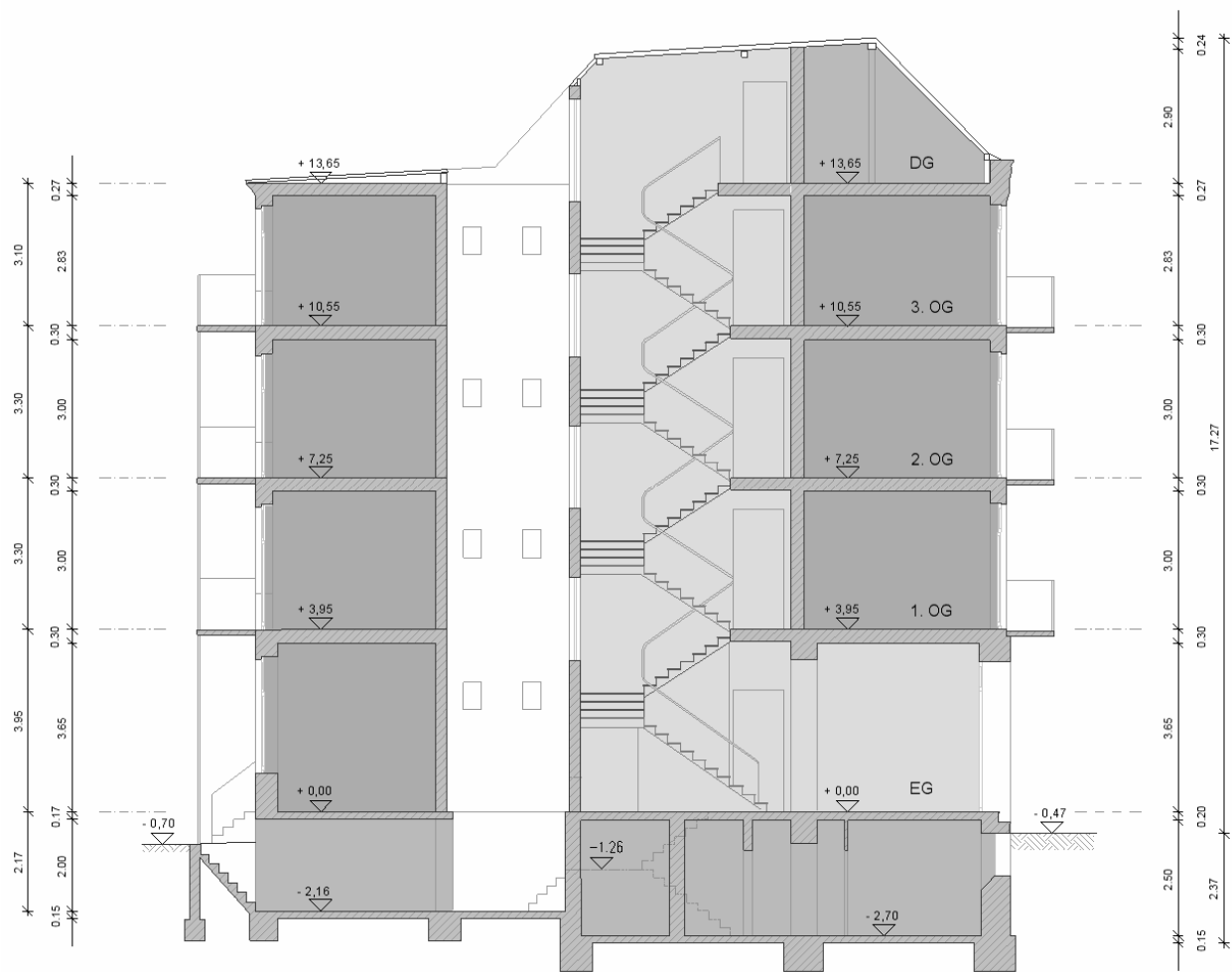
Grundriss OG mit Flächenaufteilung (o.M.):



Grundriss DG (o.M.):



Schnitt (o.M.):



A 2 Flächenermittlung und Bauteilübersicht

A 2.1 Bauteilflächen EG:

Projekt : Kleine Freiheit 46/48 (Bestand)											
Ermittlung der Bauteilflächen											
Bauteilflächen											
Geschoss	Bezeichnung / Bauteilart	d [cm]	Orien- tierung	Nr.	U-Wert	Nr. U- Wert	Rechengang	Fläche	Summe nach U- Wert	Summe nach Bauteil + Geschoss	
							Breite x Höhe	A [m²]			
EG	Außenwand - AW	48	O	6a-AW	1,424	1.07	0,67*3,25	2,18			
	Außenwand - AW	48	O	14a-AW	1,424	1.07	(1,835*3,95)-(1,10*2,52)	4,48			
	Außenwand - AW	48	S	17a-AW	1,424	1.07	(5,06*3,95)-(0,40*0,60)	19,75			
	Außenwand - AW	48	O	20a-AW	1,424	1.07	(9,72*3,95)-(1,32*2,52)-(1,32*2,52)-	27,32			
	Außenwand - AW	48	N	22a-AW	1,424	1.07	5,12*3,95	20,22			
	Außenwand - AW	48	O	24a-AW	1,424	1.07	(1,66*3,95)-(1,10*2,52)	3,79			
								Summe U-Wert 1.07		77,73	
	Außenwand - AW	67	W	1a-AW	1,094	1.10	4,95*3,95-7,74-3,64	8,17			
	Außenwand - AW	67	W	12a-AW	1,094	1.10	6,70*3,95-2*5,34-3,64	12,15			
								Summe U-Wert 1.10		20,32	
	Außenwand - AW	25	S(V)	3a-AW	2,244	1.01	0,67*3,25	2,18			
	Außenwand - AW	25	S(V)	8a-AW	2,244	1.01	0,67*3,26	2,18			
	Außenwand - AW	25	N(V)	10a-AW	2,244	1.01	0,67*3,27	2,18			
								Summe U-Wert 1.01		6,53	
	Außenwand - AW	37	S(V)	33a-AW	1,731	1.03	(2,45*3,95)-(0,40*0,60)	9,44			
	Außenwand - AW	37	W(V)	34a-AW	1,731	1.03	1,97*3,95	7,78			
	Außenwand - AW	37	N(V)	36a-AW	1,731	1.03	(2,45*3,95)-2*(0,40*0,60)	9,20			
								Summe U-Wert 1.03		26,42	
	Innenwand zu unbeheizten Räumen -	25		26a-IW	2,012	2.03	(8,59*3,95)-1,62-6,56	25,75			
	Innenwand zu unbeheizten Räumen -	25		28a-IW	2,012	2.03	6,56	6,56			
	Innenwand zu unbeheizten Räumen -	25		38a-IW	2,012	2.03	9,65	9,65			
	Innenwand zu unbeheizten Räumen -	25		39a-IW	2,012	2.03	(5,23*3,95)-2,75-9,65	8,26			
								Summe U-Wert 2.03		50,22	
	Innenwand zu unbeheizten Räumen -	33		42a-IW	1,614	2.04	5,05*3,95	19,95			
								Summe U-Wert 2.04		19,95	
	Haustrennwand - HTW	25		13a-HTW		2.01	10,15*3,95	40,09			
	Haustrennwand - HTW	25		25a-HTW		2.01	10,01*3,95	39,54			
								Summe Haustrennwand		79,63	
	Fenster-Außenluft - Fa	-	W	2a-Fa	5,100	01	2,67*2,90	7,74			
	Fenster-Außenluft - Fa	-	W	7a-Fa	4,980	02	2,67*2,00	5,34			
	Fenster-Außenluft - Fa	-	W	11a-Fa	4,980	02	2,67*2,00	5,34			
	Fenster-Außenluft - Fa	-	O(V)	15a-Fa	4,260	11	1,10*2,52	2,77			
	Fenster-Außenluft - Fa	-	S(V)	16a-Fa	3,200	10	0,40*0,60	0,24			
	Fenster-Außenluft - Fa	-	O	19a-Fa	4,340	08	1,32*2,52	3,33			
	Fenster-Außenluft - Fa	-	O	21a-Fa	4,340	08	1,32*2,52	3,33			
	Fenster-Außenluft - Fa	-	O(V)	23a-Fa	4,260	11	1,10*2,52	2,77			
Fenster-Außenluft - Fa	-	S(V)	32a-Fa	3,200	10	0,40*0,60	0,24				
Fenster-Außenluft - Fa	-	N	35a-Fa	3,200	10	0,40*0,60	0,24				
Fenster-Außenluft - Fa	-	N	37a-Fa	3,200	10	0,40*0,60	0,24				
							Summe Fenster-Außenluft		31,58		
Tür-Außenluft - Ta	-	W	4a-Ta	3,850	04	1,12*3,25	3,64				
Tür-Außenluft - Ta	-	W	9a-Ta	3,850	04	1,12*3,25	3,64				
Tür-Außenluft - Ta	-	O	18a-Ta	3,910	07	1,32*3,35	4,42				
							Summe Tür-Außenluft		11,70		
Tür zu unbeheizten Räumen - Ti	-		27a-Ti	2,580	05	0,80*2,02	1,62				
Tür zu unbeheizten Räumen - Ti	-		40a-Ti	3,440	09	1,10*2,50	2,75				
Tür zu unbeheizten Räumen - Ti	-		41a-Ti	2,580	05	0,80*2,02	1,62				
							Summe Tür-Innen		5,98		
Fußboden-unterkellert - Fbi	37		47a-Fbi	1,536	3.04		36,37				
							Summe U-Wert 3.04		36,37		
Fußboden-unterkellert - Fbi	23		48a-Fbi	0,826	3.02		79,49				
							Summe U-Wert 3.02		79,49		
Fußboden-Erdreich - Fbe	12		49a-Fbe	1,057	3.01		50,45				
							Summe U-Wert 3.01		50,45		

Summe EG (ohne Haustrennwände)

416,74

A 2.2 Bauteilflächen 1.-2. OG:

1.OG	Außenwand - AW	25	S	16b-AW	2,244	1.01	(5,07*3,30)-(0,40*0,60)	16,49		
	Außenwand - AW	25	N	26b-AW	2,244	1.01	(5,07*3,30)-(0,40*0,60)	16,49		
	Außenwand - AW	25	N	39b-AW	2,244	1.01	(2,69*3,30)-(2*0,40*0,60)	8,40		
	Außenwand - AW	25	N	41b-AW	2,244	1.01	2,21*3,30	7,29		
	Außenwand - AW	25	N	43b-AW	2,244	1.01	(2,69*3,30)-(2*0,40*0,60)	8,40		
							Summe U-Wert 1.01			57,07
	Außenwand - AW	37	W	1b-AW	1,688	1.04	(3,20*3,30)-(1,81*1,93)	7,07		
	Außenwand - AW	37	W	3b-AW	1,688	1.04	0,53*3,30	1,75		
	Außenwand - AW	37	W	5b-AW	1,688	1.04	(6,75*3,30)-2*2,28-2*3,19	11,34		
	Außenwand - AW	37	W	9b-AW	1,688	1.04	0,37*3,30	1,22		
	Außenwand - AW	37	W	11b-AW	1,688	1.04	(3,26*3,30)-(1,81*1,93)	7,26		
	Außenwand - AW	37	O	17b-AW	1,688	1.04	(9,72*3,30)-2*1,64-2*3,71	21,38		
							Summe U-Wert 1.04			50,01
	Außenwand - AW	48	O	13b-AW	1,424	1.07	(1,83*3,30)-2,12	3,92		
	Außenwand - AW	48	O	29b-AW	1,424	1.07	(1,65*3,30)-2,12	3,33		
							Summe U-Wert 1.07		7,24	
	Innenwand zu unbeheizten Räumen -	25		32b-IW	2,012	2.03	(4,95*3,30)-(1,10*2,50)	13,59		
	Innenwand zu unbeheizten Räumen -	25		35b-IW	2,012	2.03	(5,19*3,30)-(1,10*2,50)	14,38		
	Innenwand zu unbeheizten Räumen -	25		37b-IW	2,012	2.03	3,10*3,30	10,23		
							Summe U-Wert 2.03		38,19	
	Haustrennwand - HTW			12b-HTW			10,58*3,30	34,91		
	Haustrennwand - HTW			30b-HTW			10,83*3,30	35,74		
							Summe Haustrennwand			70,65
	Fenster-Außenluft - Fa		W	2b-Fa	4,450	13	1,81*1,93	3,49		
	Fenster-Außenluft - Fa		W	4b-Fa	4,340	12	1,18*1,93	2,28		
	Fenster-Außenluft - Fa		W	6b-Fa	3,840	14	1,18*2,70	3,19		
	Fenster-Außenluft - Fa		W	7b-Fa	3,840	14	1,18*2,70	3,19		
	Fenster-Außenluft - Fa		W	8b-Fa	4,340	12	1,18*1,93	2,28		
	Fenster-Außenluft - Fa		W	10b-Fa	4,450	13	1,81*1,93	3,49		
	Fenster-Außenluft - Fa		O	14b-Fa	4,130	18	1,10*1,93	2,12		
	Fenster-Außenluft - Fa		S(V)	15b-Fa	3,200	10	0,40*0,60	0,24		
	Fenster-Außenluft - Fa		O	18b-Fa	4,120	16	0,85*1,93	1,64		
	Fenster-Außenluft - Fa		O	19b-Fa	3,870	17	3,71	3,71		
	Fenster-Außenluft - Fa		O	20b-Fa	3,870	17	3,71	3,71		
	Fenster-Außenluft - Fa		O	25b-Fa	4,120	16	0,85*1,93	1,64		
	Fenster-Außenluft - Fa		N(V)	27b-Fa	3,200	10	0,40*0,60	0,24		
	Fenster-Außenluft - Fa		O	28b-Fa	4,130	18	1,10*1,93	2,12		
	Fenster-Außenluft - Fa		S(V)	38b-Fa	3,200	10	0,40*0,60	0,24		
	Fenster-Außenluft - Fa		S(V)	40b-Fa	3,200	10	0,40*0,60	0,24		
	Fenster-Außenluft - Fa		N(V)	42b-Fa	3,200	10	0,40*0,60	0,24		
	Fenster-Außenluft - Fa		N(V)	44b-Fa	3,200	10	0,40*0,60	0,24		
							Summe Fenster-Außenluft			34,30
	Tür zu unbeheizten Räumen - Ti			31b-Ti	3,440	09	1,10*2,50	2,75		
	Tür zu unbeheizten Räumen - Ti			36b-Ti	3,440	09	1,10*2,50	2,75		
							Summe Tür-Innen		5,50	
Fußboden-unbeheizte Innenräume -	31		45b-Fbi	0,777	3.07	6,18	6,18	6,18		
						Summe U-Wert 3.07		6,18		
Fußboden-Außenluft - Fba	37		46b-Fba	1,058	3.08	3,20*0,53	1,70	1,70		
						Summe U-Wert 3.08		1,70		
Summe Außenbauteile										
Summe 1.OG (ohne Haustrennwände)								200,19		

A 2.3 Bauteilflächen 3. OG:

3.OG	Außenwand - AW	25	S	16b-AW	2,244	1.01	(5,07*3,10)-(0,40*0,60)	15,48		
	Außenwand - AW	25	N	26b-AW	2,244	1.01	(5,07*3,10)-(0,40*0,60)	15,48		
	Außenwand - AW	25	N	39b-AW	2,244	1.01	(2,69*3,10)-(2*0,40*0,60)	7,86		
	Außenwand - AW	25	N	41b-AW	2,244	1.01	2,21*3,10	6,85		
	Außenwand - AW	25	N	43b-AW	2,244	1.01	(2,69*3,10)-(2*0,40*0,60)	7,86		
							Summe U-Wert 1.01		53,52	
	Außenwand - AW	37	W	1b-AW	1,688	1.04	(3,20*3,10)-(1,81*1,83)	6,61		
	Außenwand - AW	37	W	3b-AW	1,688	1.04	0,53*3,10	1,64		
	Außenwand - AW	37	W	5b-AW	1,688	1.04	(6,75*3,10)-2*2,16-2*3,07	10,47		
	Außenwand - AW	37	W	9b-AW	1,688	1.04	0,37*3,10	1,15		
	Außenwand - AW	37	W	11b-AW	1,688	1.04	(3,26*3,10)-(1,81*1,83)	6,79		
	Außenwand - AW	37	O	17b-AW	1,688	1.04	(9,72*3,10)-2*1,56-2*3,55	19,91		
							Summe U-Wert 1.04		46,57	
	Außenwand - AW	48	O	13b-AW	1,424	1.07	(1,83*3,10)-2,01	3,66		
	Außenwand - AW	48	O	29b-AW	1,424	1.07	(1,65*3,10)-2,01	3,11		
							Summe U-Wert 1.07		6,77	
		Innenwand zu unbeheizten Räumen -	25		32b-IW	2,012	2.03	(4,95*3,10)-(1,10*2,40)	12,71	
		Innenwand zu unbeheizten Räumen -	25		35b-IW	2,012	2.03	(5,19*3,10)-(1,10*2,40)	13,45	
		Innenwand zu unbeheizten Räumen -	25		37b-IW	2,012	2.03	3,10*3,10	9,61	
							Summe U-Wert 2.03		35,76	
		Haustrennwand - HTW			12b-HTW			10,58*3,10	32,80	
		Haustrennwand - HTW			30b-HTW			10,83*3,10	33,57	
							Summe Haustrennwand		66,37	
		Fenster-Außenluft - Fa		W	2b-Fa	4,290	20	1,81*1,83	3,31	
		Fenster-Außenluft - Fa		W	4b-Fa	4,320	19	1,18*1,83	2,16	
		Fenster-Außenluft - Fa		W	6b-Fa	3,800	21	1,18*2,60	3,07	
		Fenster-Außenluft - Fa		W	7b-Fa	3,800	21	1,18*2,60	3,07	
		Fenster-Außenluft - Fa		W	8b-Fa	4,320	19	1,18*1,83	2,16	
		Fenster-Außenluft - Fa		W	10b-Fa	4,290	20	1,81*1,83	3,31	
		Fenster-Außenluft - Fa		O	14b-Fa	4,140	25	1,10*1,83	2,01	
		Fenster-Außenluft - Fa		S(V)	15b-Fa	3,200	10	0,40*0,60	0,24	
		Fenster-Außenluft - Fa		O	18b-Fa	4,120	23	0,85*1,83	1,56	
		Fenster-Außenluft - Fa		O	19b-Fa	3,870	24	3,55	3,55	
		Fenster-Außenluft - Fa		O	20b-Fa	3,870	24	3,55	3,55	
	Fenster-Außenluft - Fa		O	25b-Fa	4,120	23	0,85*1,83	1,56		
	Fenster-Außenluft - Fa		N(V)	27b-Fa	3,200	10	0,40*0,60	0,24		
	Fenster-Außenluft - Fa		O	28b-Fa	4,140	25	1,10*1,83	2,01		
	Fenster-Außenluft - Fa		S(V)	38b-Fa	3,200	10	0,40*0,60	0,24		
	Fenster-Außenluft - Fa		S(V)	40b-Fa	3,200	10	0,40*0,60	0,24		
	Fenster-Außenluft - Fa		N(V)	42b-Fa	3,200	10	0,40*0,60	0,24		
	Fenster-Außenluft - Fa		N(V)	44b-Fa	3,200	10	0,40*0,60	0,24		
						Summe Fenster-Außenluft		32,76		
	Tür zu unbeheizten Räumen - Ti			31b-Ti	3,440	09	1,10*2,40	2,64		
	Tür zu unbeheizten Räumen - Ti			36b-Ti	3,440	09	1,10*2,40	2,64		
						Summe Tür-Innen		5,28		
	Decke zu unbeheiztem Dachraum	31		37b-Di	0,926	3.07		132,16		
						Summe Decke-unbeheizt		132,16		
	Decke (Dach) gegen Außenluft	42		38b-Da	0,732	4.04		47,17		
						Summe Dach-Außenluft		47,17		
						Summe Außenbauteile				
Summe 3.OG (ohne Haustrennwände)										

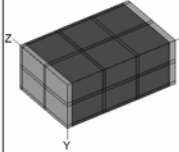
A 2.4 Grundflächen und Rauminhalte:

FLÄCHENBERECHNUNG nach DIN 277				
Geschoss	Flächenart	Bemerkung	Fläche [m ²]	Kontrolle Fläche [m ²]
EG	Brutto-Grundfläche - BGF (a)		190,77	
	Brutto-Grundfläche - BGF (b)		2,77	
	Summe BGF (a)			190,77
	Konstruktions-Grundfläche (KGF)		39,18	
	Netto-Grundfläche (NGF)		151,59	
	Summe KGF+NGF=BGF			190,77
	Nutzfläche (NF)		131,46	
Verkehrsfläche (VF)		20,13		
	Summe WF+VF=NGF			151,59
1. OG	Brutto-Grundfläche (BGFa)		192,99	
	Brutto-Grundfläche (BGFb) - Balkone		9,05	
	Summe BGF (a)			192,99
	Konstruktions-Grundfläche (KGF)		34,90	
	Netto-Grundfläche (NGF)		158,09	
	Summe KGF+NGF=BGF			192,99
	Nutzfläche (NF)		144,01	
Verkehrsfläche (VF)		14,08		
	Summe WF+VF=NGF			158,09
2. OG	Brutto-Grundfläche (BGFa)		192,99	
	Brutto-Grundfläche (BGFb) - Balkone		9,05	
	Summe BGF (a)			192,99
	Konstruktions-Grundfläche (KGF)		34,90	
	Netto-Grundfläche (NGF)		158,09	
	Summe KGF+NGF=BGF			192,99
	Nutzfläche (NF)		144,01	
Verkehrsfläche (VF)		14,08		
	Summe WF+VF=NGF			158,09
3. OG	Brutto-Grundfläche (BGFa)		192,99	
	Brutto-Grundfläche (BGFb) - Balkone		9,05	
	Summe BGF (a)			192,99
	Konstruktions-Grundfläche (KGF)		34,90	
	Netto-Grundfläche (NGF)		158,09	
	Summe KGF+NGF=BGF			192,99
	Nutzfläche (NF)		144,01	
Verkehrsfläche (VF)		14,08		
	Summe WF+VF=NGF			158,09
KG	Brutto-Grundfläche (BGFa)		146,91	
	Summe BGF			146,91
DG	Brutto-Grundfläche (BGFa)		146,02	
	Summe BGF			146,02
Gesamt (ohne KG und DG)	Brutto-Grundfläche (BGFa)		769,73	
	Konstruktions-Grundfläche (KGF)		143,88	
	Netto-Grundfläche (NGF)		625,86	
	Nutzfläche (NF)		563,49	
	Verkehrsfläche (VF)		62,37	
RAUMINHALT nach DIN 277				
Geschoss	Art des Rauminhaltes	Bemerkungen	Rauminhalt [m ³]	
EG	Brutto-Rauminhalt BRI (a)	Geschosshöhe 3.95m (ohne Kellerabg)	735,25	
	Brutto-Rauminhalt BRI (beheizt)	Geschosshöhe 3.95m	674,02	
	Netto-Rauminhalt NRI	lichte Raumhöhe 3.65m (ohne Kellera)	535,01	
	Rauminhalt Nutzfläche	lichte Raumhöhe 3.65m	479,83	
	Rauminhalt Verkehrsfläche	lichte Raumhöhe 3.65m (ohne Kellera)	55,18	
1. OG	Brutto-Rauminhalt BRI (a)	Geschosshöhe 3.30m	636,86	
	Brutto-Rauminhalt BRI (beheizt)	Geschosshöhe 3.30m	588,18	
	Netto-Rauminhalt NRI	lichte Raumhöhe 3.00m	474,27	
	Rauminhalt Nutzfläche	lichte Raumhöhe 3.00m	432,03	
	Rauminhalt Verkehrsfläche	lichte Raumhöhe 3.00m	42,24	
2. OG	Brutto-Rauminhalt BRI (a)	Geschosshöhe 3.30m	636,86	
	Brutto-Rauminhalt BRI (beheizt)	Geschosshöhe 3.30m	588,18	
	Netto-Rauminhalt NRI	lichte Raumhöhe 3.00m	474,27	
	Rauminhalt Nutzfläche	lichte Raumhöhe 3.00m	432,03	
	Rauminhalt Verkehrsfläche	lichte Raumhöhe 3.00m	42,24	
3. OG	Brutto-Rauminhalt BRI (a)	Geschosshöhe 3.10m	608,19	
	Brutto-Rauminhalt BRI (beheizt)	Geschosshöhe 3.10m	562,47	
	Netto-Rauminhalt NRI	lichte Raumhöhe 2.80m	442,65	
	Rauminhalt Nutzfläche	lichte Raumhöhe 2.80m	403,23	
	Rauminhalt Verkehrsfläche	lichte Raumhöhe 2.80m	39,42	
KG	Netto-Rauminhalt NRI (a)	Geschosshöhe 2,15m-2,70m	282,50	
DG	Netto-Rauminhalt NRI (Dachfläche)	Geschosshöhe 2,80m-3,20m	256,15	
	Netto-Rauminhalt NRI (Verkehrsfläche)		39,42	
Gesamt (ohne KG und DG)	Brutto-Rauminhalt BRI (a)		2617,15	
	Brutto-Rauminhalt BRI (beheizt)		2412,85	
	Netto-Rauminhalt NRI		1926,20	
	Rauminhalt Nutzfläche		1747,12	
	Rauminhalt Verkehrsfläche		179,09	

A 3 Bestandskonstruktionen

1.03_Außenwand, Ziegel, 37 cm

Zone 1, Bauteil 26: OG, Fenster Nord



Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1	K	Kalkputz	0,87
2		Ziegel	0,85
3		Kalk/Zementmörtel	1,05
4		Zementputz	1,34

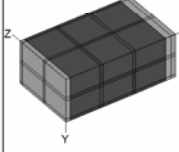
Unterteilung [m]

Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,015	0,065	0,105
2	0,105	0,01	0,01
3	0,01	0,065	0,105
4	0,105	0,01	0,01
5	0,01		
6	0,105		
7	0,02		

R-Wert [m²K/W]:

1.04_Außenwand, Ziegel, Klinker, 37 cm

Zone 1, Bauteil 27: OG, AW 1b, 5b, 11b
 Zone 1, Bauteil 28: OG, AW 3b
 Zone 1, Bauteil 29: OG, AW 9b
 Zone 1, Bauteil 30: OG, AW 17b



Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1	K	Kalkputz	0,87
2		Ziegel	0,85
3		Kalk/Zementmörtel	1,05
4		Zementputz	1,34
5		Klinkerriemchen	0,96

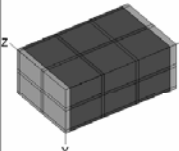
Unterteilung [m]

Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,015	0,065	0,105
2	0,105	0,01	0,01
3	0,01	0,065	0,105
4	0,105	0,01	0,01
5	0,01		
6	0,105		
7	0,02		
8	0,015		

R-Wert [m²K/W]:

1.03_Außenwand, Ziegel, 37 cm

Zone 1, Bauteil 1: Laden, Fenster Ost
 Zone 1, Bauteil 2: Laden, Fenster Süd
 Zone 1, Bauteil 3: Laden, Fenster West
 Zone 1, Bauteil 4: Laden, Fenster Nord
 Zone 1, Bauteil 23: OG, Fenster Ost
 Zone 1, Bauteil 24: OG, Fenster Süd
 Zone 1, Bauteil 25: OG, Fenster West
 Angr. Zone 1, Bauteil 7: Außenwand Lichtschacht
 Angr. Zone 3, Bauteil 2: Fenster West senkrecht
 Angr. Zone 3, Bauteil 7: Außenwand West



Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1	K	Kalkputz	0,87
2		Ziegel	0,85
3		Kalk/Zementmörtel	1,05
4		Zementputz	1,34

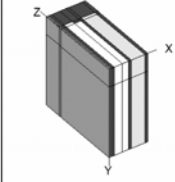
Unterteilung [m]

Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,015	0,065	0,105
2	0,105	0,01	0,01
3	0,01	0,065	0,105
4	0,105	0,01	0,01
5	0,01		
6	0,105		
7	0,02		

R-Wert [m²K/W]:

3.07_Holzbalkendecke

Zone 1, Bauteil 43: OG, Di 37b



Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Kalkputz	0,87
2		Rohrgeflecht mit Lehmputz	0,7
3		Holz weich	0,13
4		Ruhende Luftschicht, aufwärts, 11,5 cm	0,719
5		Lose Schüttung Ziegelsplitt	0,7
6		Ruhende Luftschicht, aufwärts, 6,5 cm	0,406

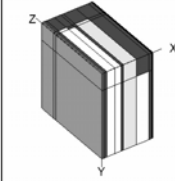
Unterteilung [m]

Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,01	0,14	0,535
2	0,01	0,56	0,025
3	0,02		0,14
4	0,065		
5	0,05		
6	0,02		
7	0,105		
8	0,025		

R-Wert [m²K/W]:

4.04_Dach, Sparren, Einschub, Schalung

Zone 1, Bauteil 44: OG, Da 38b



Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Kalkputz	0,87
2		Rohrgeflecht mit Lehmputz	0,7
3		Holz weich	0,13
4		Ruhende Luftschicht, aufwärts, 11,5 cm	0,719
5		Lose Schüttung Ziegelsplitt	0,7
6		Bitumendachbahnen	0,17
7		Ruhende Luftschicht aufwärts, 10 cm	0,625
8		Ruhende Luftschicht, aufwärts, 6,5 cm	0,406

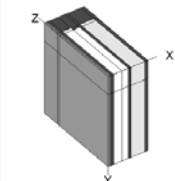
Unterteilung [m]

Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,01	0,14	0,535
2	0,01	0,56	0,025
3	0,02		0,14
4	0,065		
5	0,05		
6	0,02		
7	0,105		
8	0,1		
9	0,025		
10	0,01		

R-Wert [m²K/W]:

3.07_Holzbalkendecke über Durchgang

Zone 1, Bauteil 37: OG, Fbi 45b



Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Kalkputz	0,87
2		Rohrgeflecht mit Lehmputz	0,7
3		Holz weich	0,13
4		Ruhende Luftschicht, aufwärts, 11,5 cm	0,719
5		Lose Schüttung Ziegelsplitt	0,7
6		Ruhende Luftschicht, aufwärts, 6,5 cm	0,406

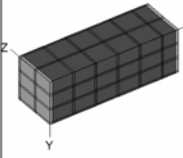
Unterteilung [m]

Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,01	0,14	0,535
2	0,01	0,56	0,025
3	0,02		0,14
4	0,065		
5	0,05		
6	0,02		
7	0,105		
8	0,025		

R-Wert [m²K/W]:

1.10_Außenwand, Ziegel, 67 cm

Zone 1, Bauteil 5: Laden, AW 1a, 12a



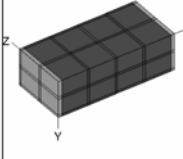
Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Kalkputz	0,87
2		Ziegel	0,85
3		Kalk/Zementmörtel	1,05
4		Zementputz	1,34

Unterteilung [m]			
Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,015	0,065	0,105
2	0,105	0,01	0,01
3	0,01	0,065	0,105
4	0,105	0,01	0,01
5	0,01	0,065	
6	0,105	0,01	
7	0,01		
8	0,105		
9	0,01		
10	0,105		
11	0,01		
12	0,065		
13	0,015		

R-Wert [m²K/W]:

1.07_Außenwand, Ziegel, 48 cm

Zone 1, Bauteil 7: Laden, AW 14a, 20a, 24a
Zone 1, Bauteil 8: Laden, AW 6a
Zone 1, Bauteil 9: Laden, AW 17a
Zone 1, Bauteil 10: Laden, AW 22a



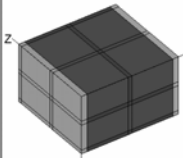
Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Kalkputz	0,87
2		Ziegel	0,85
3		Kalk/Zementmörtel	1,05
4		Zementputz	1,34

Unterteilung [m]			
Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,015	0,065	0,105
2	0,105	0,01	0,01
3	0,01	0,065	0,105
4	0,105	0,01	0,01
5	0,01		
6	0,105		
7	0,01		
8	0,105		
9	0,015		

R-Wert [m²K/W]:

1.01_Außenwand, Ziegel, 25 cm

Zone 1, Bauteil 6: Laden, AW 3a, 8a, 10a



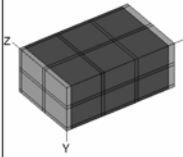
Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Kalkputz	0,87
2		Ziegel	0,85
3		Kalk/Zementmörtel	1,05
4		Zementputz	1,34

Unterteilung [m]			
Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,015	0,065	0,105
2	0,105	0,01	0,01
3	0,01	0,065	0,105
4	0,105	0,01	0,01
5	0,015		

R-Wert [m²K/W]:

1.03_Außenwand, Ziegel, 37 cm

Zone 1, Bauteil 11: Laden, AW 33a, 34a, 36a



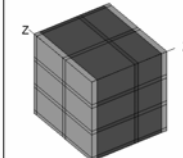
Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Kalkputz	0,87
2		Ziegel	0,85
3		Kalk/Zementmörtel	1,05
4		Zementputz	1,34

Unterteilung [m]			
Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,015	0,065	0,105
2	0,105	0,01	0,01
3	0,01	0,065	0,105
4	0,105	0,01	0,01
5	0,01		
6	0,105		
7	0,02		

R-Wert [m²K/W]:

2.03_Innenwand, Ziegel, 25 cm

Zone 1, Bauteil 15: Laden, Innentüren
Zone 1, Bauteil 16: Laden, IW 26a
Zone 1, Bauteil 17: Laden, IW 28a
Zone 1, Bauteil 18: Laden, IW 38a
Zone 1, Bauteil 19: Laden, IW 39a
Zone 1, Bauteil 39: OG, Innentüren
Zone 1, Bauteil 40: OG, IW 32b, 33b, 37b



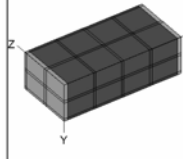
Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Kalkputz	0,87
2		Ziegel	0,85
3		Kalk/Zementmörtel	1,05

Unterteilung [m]			
Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,015	0,065	0,105
2	0,105	0,01	0,01
3	0,01	0,065	0,105
4	0,065	0,01	0,01
5	0,015	0,065	
6		0,01	

R-Wert [m²K/W]:

1.07_Außenwand, Ziegel, 48 cm

Zone 1, Bauteil 31: OG, AW 13b, 29b



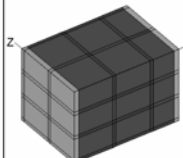
Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Kalkputz	0,87
2		Ziegel	0,85
3		Kalk/Zementmörtel	1,05
4		Zementputz	1,34

Unterteilung [m]			
Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,015	0,065	0,105
2	0,105	0,01	0,01
3	0,01	0,065	0,105
4	0,105	0,01	0,01
5	0,01		
6	0,105		
7	0,01		
8	0,105		
9	0,015		

R-Wert [m²K/W]:

2.04_Innenwand, Ziegel, 32,5 cm

Zone 1, Bauteil 20: Laden, IW 42a



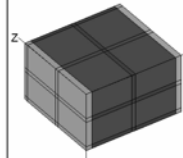
Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Kalkputz	0,87
2		Ziegel	0,85
3		Kalk/Zementmörtel	1,05
4		Zementputz	1,34

Unterteilung [m]			
Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,015	0,065	0,105
2	0,105	0,01	0,01
3	0,01	0,065	0,105
4	0,105	0,01	0,01
5	0,01	0,065	
6	0,065	0,01	
7	0,015		

R-Wert [m²K/W]:

1.01_Außenwand, Ziegel, 25 cm, OG

Zone 1, Bauteil 32: OG, AW 18b
Zone 1, Bauteil 33: OG, AW 39b
Zone 1, Bauteil 34: OG, AW 26b
Zone 1, Bauteil 35: OG, AW 43b
Zone 1, Bauteil 36: OG, AW 41b



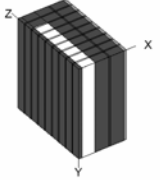
Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Kalkputz	0,87
2		Ziegel	0,85
3		Kalk/Zementmörtel	1,05
4		Zementputz	1,34

Unterteilung [m]			
Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,015	0,065	0,105
2	0,105	0,01	0,01
3	0,01	0,065	0,105
4	0,105	0,01	0,01
5	0,015		

R-Wert [m²K/W]:

3.08_Decke, Dielen, Ziegel

Zone 1, Bauteil 38: OG, Fba 46b



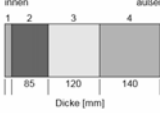
Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Holz weich	0,13
2		Ruhende Luftschicht, abwärts, 10 cm	0,455
3		Ziegel	0,85
4		Kalk/Zementmörtel	1,05
5		Zementputz	1,34

Unterteilung [m]			
Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,025	0,7	0,065
2	0,1		0,01
3	0,105		0,065
4	0,01		0,01
5	0,105		0,065
6	0,02		0,01
7			0,065
8			0,01
9			0,065
10			0,01
11			0,065
12			0,01
13			0,065
14			0,01
15			0,065
16			0,01
17			0,065

R-Wert [m²K/W]:

3.04_Boden, Fliesen, Schüttung, Beton

Zone 1, Bauteil 12: Laden, Fbi 47a

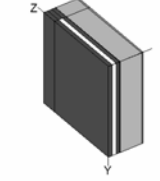


Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Platten, Keramik/Porzellan	0,015
2		Zementestrich	0,085
3		Lose Schüttung Ziegelsplitt	0,12
4		Beton armiert mit 2% Stahl	0,14
5		Kalkputz	0,01

R-Wert [m²K/W]:

3.02_Boden, Dielen, Beton

Zone 1, Bauteil 13: Laden, Fbi 48a



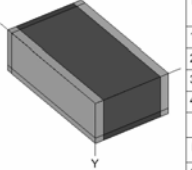
Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Holz weich	0,13
2		Ruhende Luftschicht, abwärts, 2,5 cm	0,132
3		Torfschüttung	0,05
4		Bitumendachbahnen	0,17
5		Beton armiert mit 2% Stahl	2,5
6		Kalkputz	0,87

Unterteilung [m]			
Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,025	0,6	0,5
2	0,025		0,1
3	0,025		
4	0,001		
5	0,14		
6	0,01		

R-Wert [m²K/W]:

2.02_Innenwand, Ziegel, 13,5 cm

Zone 1, Bauteil 42: OG, TW



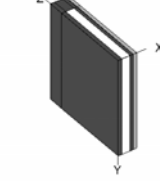
Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Kalkputz	0,87
2		Ziegel	0,85
3		Zementputz	1,34
4		Kalk/Zementmörtel	1,05

Unterteilung [m]			
Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,015	0,065	0,22
2	0,105	0,01	0,01
3	0,015		

R-Wert [m²K/W]:

3.01_Boden, Dielen, Beton, Erdreich

Zone 1, Bauteil 14: Laden, Fbi 49a



Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Holz weich	0,13
2		Ruhende Luftschicht, abwärts, 5 cm	0,238
3		Torfschüttung	0,05
4		Bitumendachbahnen	0,17
5		Beton armiert mit 2% Stahl	2,5

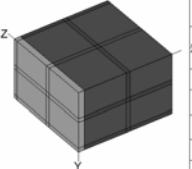
Unterteilung [m]			
Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,025	0,6	0,5
2	0,05		0,1
3	0,02		
4	0,001		
5	0,02		

R-Wert [m²K/W]:

2.01_Haustrennwand, Ziegel, 25 cm

Zone 1, Bauteil 21: Laden, HTW 13a, 25a

Zone 1, Bauteil 41: OG, HTW 12b, 30b



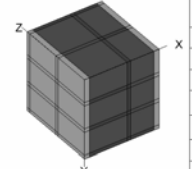
Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Kalkputz	0,87
2		Ziegel	0,85
3		Kalk/Zementmörtel	1,05

Unterteilung [m]			
Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,015	0,065	0,105
2	0,105	0,01	0,01
3	0,01	0,065	0,105
4	0,105	0,01	0,01

R-Wert [m²K/W]:

2.03_Innenwand, Ziegel, 25 cm, TW

Zone 1, Bauteil 22: Laden, TW



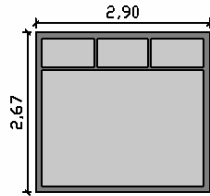
Nr	Farbe	Baustoff	λ [W/(mK)]
1		Kalkputz	0,87
2		Ziegel	0,85
3		Kalk/Zementmörtel	1,05

Unterteilung [m]			
Nr	X (innen-außen)	Y (oben-unten)	Z (Tiefe)
1	0,015	0,065	0,105
2	0,105	0,01	0,01
3	0,01	0,065	0,105
4	0,065	0,01	0,01
5	0,015	0,065	
6		0,01	

R-Wert [m²K/W]:

A 4 Fensterformate

EG:



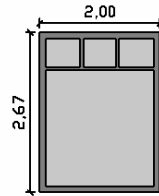
01_Schaufenster Laden links

Gesamtfläche: 7,74 m²

Rahmen, Weichholz, 4 cm: 1,25 m²

Füllung, Einfachglas: 6,49 m²

Glasrandlänge: 17,36 m



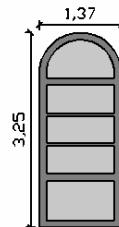
02_Schaufenster Laden rechts

Gesamtfläche: 5,34 m²

Rahmen, Weichholz, 4 cm: 1,03 m²

Füllung, Einfachglas: 4,30 m²

Glasrandlänge: 12,80 m



03_Hauseingangstür

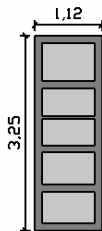
Gesamtfläche: 4,15 m²

Rahmen, Weichholz, 4 cm: 1,36 m²

Füllung, Einfachglas: 2,09 m²

Füllung, Weichholz, 2 cm: 0,75 m²

Glasrandlänge: 11,17 m



04_Ladeneingangstür

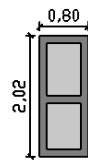
Gesamtfläche: 3,64 m²

Rahmen, Weichholz, 4 cm: 0,96 m²

Füllung, Einfachglas: 1,38 m²

Füllung, Weichholz, 2 cm: 0,92 m²

Glasrandlänge: 8,36 m

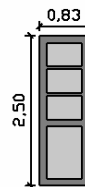


05_Ladenflurtür/Kellertür

Gesamtfläche: 1,61 m²

Rahmen, Weichholz, 4 cm: 0,68 m²

Füllung, Weichholz, 2 cm: 0,93 m²



06_Kellerabgangstür

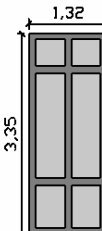
Gesamtfläche: 2,06 m²

Rahmen, Weichholz, 4 cm: 0,87 m²

Füllung, Einfachglas: 0,69 m²

Füllung, Weichholz, 2 cm: 0,50 m²

Glasrandlänge: 5,90 m



07_Balkontür EG

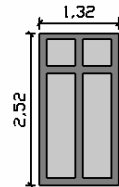
Gesamtfläche: 4,42 m²

Rahmen, Weichholz, 5 cm: 1,64 m²

Füllung, Einfachglas: 2,10 m²

Füllung, Weichholz, 2 cm: 0,68 m²

Glasrandlänge: 12,64 m



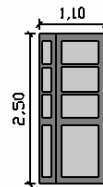
08_Fenster Hof EG

Gesamtfläche: 3,32 m²

Rahmen, Weichholz, 5 cm: 1,22 m²

Füllung, Isolierglas: 2,10 m²

Glasrandlänge: 12,64 m



09_Wohnungseingangstür EG, 1.-2. OG

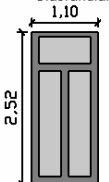
Gesamtfläche: 2,75 m²

Rahmen, Weichholz, 4 cm: 1,20 m²

Füllung, Einfachglas: 0,89 m²

Füllung, Weichholz, 2 cm: 0,65 m²

Glasrandlänge: 9,28 m



11_Fenster Lichtschlitz EG

Gesamtfläche: 2,77 m²

Rahmen, Weichholz, 5 cm: 1,08 m²

Füllung, Isolierglas: 1,69 m²

Glasrandlänge: 11,10 m

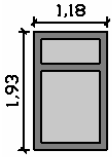


10_Lichtschachtfenster, Innenhofenster

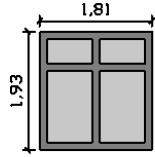
Gesamtfläche: 0,24 m²

Füllung, Glasbaustein: 0,24 m²

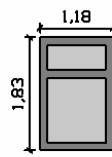
1.-2. OG:

**12_Fenster Strasse 1.-2. OG**Gesamtfläche: 2,27 m²Rahmen, Weichholz, 5 cm: 0,8 m²Füllung, Einfachglas: 1,47 m²

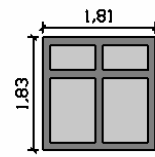
Glasrandlänge: 6,90 m

**13_Fenster Strasse 1.-2. OG**Gesamtfläche: 3,49 m²Rahmen, Weichholz, 5 cm: 1,21 m²Füllung, Isolierglas: 2,28 m²

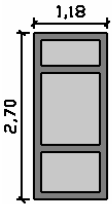
Glasrandlänge: 12,04 m

**19_Fenster Strasse 3. OG**Gesamtfläche: 2,16 m²Rahmen, Weichholz, 5 cm: 0,79 m²Füllung, Einfachglas: 1,37 m²

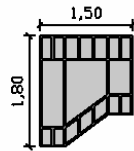
Glasrandlänge: 6,70 m

**20_Fenster Strasse 3. OG**Gesamtfläche: 3,31 m²Rahmen, Weichholz, 5 cm: 1,19 m²Füllung, Isolierglas: 2,12 m²

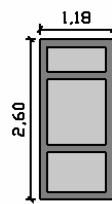
Glasrandlänge: 11,68 m

**14_Balkontür Strasse 1.-2. OG**Gesamtfläche: 3,19 m²Rahmen, Weichholz, 5 cm: 1,10 m²Füllung, Einfachglas: 1,48 m²Füllung, Weichholz, 2 cm: 0,61 m²

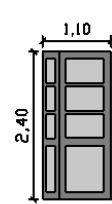
Glasrandlänge: 6,90 m

**15_Fenster Treppenhaus/Lichtscht**Gesamtfläche: 2,30 m²Rahmen, Metall, 3 cm: 0,42 m²Füllung, Einfachglas: 1,88 m²

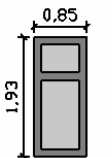
Glasrandlänge: 21,40 m

**21_Balkontür Strasse 3. OG**Gesamtfläche: 3,06 m²Rahmen, Weichholz, 5 cm: 1,08 m²Füllung, Einfachglas: 1,37 m²Füllung, Weichholz, 2 cm: 0,61 m²

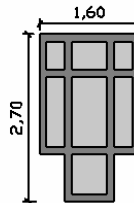
Glasrandlänge: 6,70 m

**22_Wohnungseingangstür 3. OG**Gesamtfläche: 2,64 m²Rahmen, Weichholz, 4 cm: 1,17 m²Füllung, Einfachglas: 0,89 m²Füllung, Weichholz, 2 cm: 0,57 m²

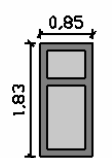
Glasrandlänge: 9,28 m

**16_Fenster Hof 1.-2. OG**Gesamtfläche: 1,64 m²Rahmen, Weichholz, 5 cm: 0,69 m²Füllung, Isolierglas: 0,95 m²

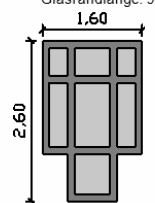
Glasrandlänge: 5,58 m

**17_Balkontür Hof 1.-2. OG**Gesamtfläche: 3,71 m²Rahmen, Weichholz, 5 cm: 1,53 m²Füllung, Einfachglas: 1,82 m²Füllung, Weichholz, 2 cm: 0,36 m²

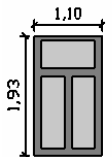
Glasrandlänge: 14,12 m

**23_Fenster Hof 3. OG**Gesamtfläche: 1,56 m²Rahmen, Weichholz, 5 cm: 0,67 m²Füllung, Isolierglas: 0,89 m²

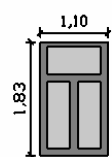
Glasrandlänge: 5,38 m

**24_Balkontür Hof 3. OG**Gesamtfläche: 3,55 m²Rahmen, Weichholz, 5 cm: 1,49 m²Füllung, Einfachglas: 1,70 m²Füllung, Weichholz, 2 cm: 0,36 m²

Glasrandlänge: 13,52 m

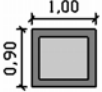
**18_Fenster Lichtschlitz 1.-2. OG**Gesamtfläche: 2,12 m²Rahmen, Weichholz, 5 cm: 0,87 m²Füllung, Isolierglas: 1,25 m²

Glasrandlänge: 8,74 m

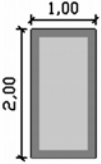
**25_Fenster Lichtschlitz 3. OG**Gesamtfläche: 2,01 m²Rahmen, Weichholz, 5 cm: 0,85 m²Füllung, Isolierglas: 1,16 m²

Glasrandlänge: 8,34 m

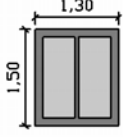
3. OG:



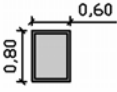
26_Kellerfenster Strasse
 Gesamtfläche: 0,90 m²
 Rahmen, Weichholz, 5 cm: 0,40 m²
 Füllung, Einfachglas: 0,50 m²
 Glasrandlänge: 2,84 m



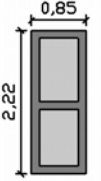
27_Kellerfenster Hof
 Gesamtfläche: 2,00 m²
 Rahmen, Weichholz, 5 cm: 0,66 m²
 Füllung, Einfachglas: 1,34 m²
 Glasrandlänge: 5,04 m



28_Erkerfenster DG
 Gesamtfläche: 1,95 m²
 Rahmen, Weichholz, 5 cm: 0,69 m²
 Füllung, Einfachglas: 1,26 m²
 Glasrandlänge: 7,04 m



30_Schrägfenster DG
 Gesamtfläche: 0,48 m²
 Rahmen, Metall, 3 cm: 0,13 m²
 Füllung, Einfachglas: 0,35 m²
 Glasrandlänge: 2,4 m



29_Dachbodentür
 Gesamtfläche: 1,89 m²
 Rahmen, Weichholz, 4 cm: 0,76 m²
 Füllung, Weichholz, 2 cm: 1,13 m²

A 5 Vergleich von EnEV-Berechnungsprogrammen

Stand 12/2005	Bautherm	BKI-Energieplaner	Built-Desk-Expert	Dämmwerk	Energieberater-Professionell	EnEV-Bauwerkknovelle 2004	EnEV Pro 2005	EnEV XP 2005	EnEV Wärme und Dampf	Enno-EnEV	Epass-Helena	EVA	EVEBI	I-EnEV
Berechnung mit detailliertem Verfahren nach DIN 4701-10	X	X			X	X	X	X		X	X		X	X
Grundflächen und Randbedingungen editierbar	X			X	X					X	X			
Variantenberechnung möglich	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
DIN 4701-12 implementiert	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X
Zonierung möglich		X		X							X		X	

A 6 Eingabedaten energetische Berechnung

Gebäude- und Anlagenparameter:

Bilanzzone 1: Beheizte Zone - Geometrie

Bruttovolumen	[m³]	2412,85	
Nettovolumen	[m³]	1747,12	(Benutzerdefiniert)
Fläche (AN)	[m²]	563,49	(Benutzerdefiniert)
Ermittlung der Zonenfläche			
Nr.	Rechnerische Ermittlung	Bemerkung	Zwischenergebnis
1	432,03+131,46		563,490
Summe			563,49
Ermittlung des Zonenvolumens			
Nr.	Rechnerische Ermittlung	Bemerkung	Zwischenergebnis
1	1267,29+479,83		1747,120
Summe			1747,12
Ermittlung des Zonenbruttovolumens			
Nr.	Rechnerische Ermittlung	Bemerkung	Zwischenergebnis
1	1738,83+674,02		2412,850
Summe			2412,85

Bilanzzone 1: Beheizte Zone - Innenlufttemperatur

	Temperatur [°C]
Vorgabe	19

Bilanzzone 1: Beheizte Zone - Luftwechsel

	Luftwechsel [1/h]	Mechanisch [h/Tag]
Vorgabe	0,75	0

Bilanzzone 1: Beheizte Zone - Interne Wärmequellen

	Wärmequelle [W]
Vorgabe	1972,22

Bilanzzone 1: Beheizte Zone - Nachtabenkung

	Zeit [h/Tag]	Ti-min [°C]	Luftwechsel [1/h]
Vorgabe	7	10	1

Anlagentechnik

TW-Bereich 1 (Wohnungen Strom Durchlauferhitzer): Zonenzuweisung

Zone	Zonen- fläche [m ²]	Zuordnung Fläche [m ²]	Zuordnung Anteil [%]
Z.1: Beheizte Zone	563,49	144,01	25,557

TW-Strang 1 (Strom Durchlauferhitzer)

Allgemeine Daten						
Energieanteil des Bereichs 1		[kWh/(m ² a)]	20 (100 %)			
Warmwassererzeugungssystem/Verteilsystem		wohnungszentral (detailliert)				
Wärmeerzeugung						
Nr.	Wärmeerzeuger	Deckungs- anteil [-]	Aufwands- zahl [-]	Spez. Hilfs- energiebedarf [kWh/(m ² a)]		
1	Elektro-Durchlauferhitzer (alt) 1 (Standard)	1	1	0		
Verteilung TW: wohnungszentral (detailliert)						
Leitungen/Rohre (TW-Verteilung)						
Nr.	Leistungsart Rohrabschnitt	Umgebung (Temperatur) [°C]	Länge [m]	U Isolierung [W/(mK)]	Spez. Wärme- verlust [kWh/(m ² a)]	Wärme- gutschrift [kWh/(m ² a)]
1	Stichleitungen	Zone1 (19°C)	10	0,385	3,044	2,113

TW-Bereich 2 (Wohnungen Strom Speicher): Zonenzuweisung

Zone	Zonen- fläche [m ²]	Zuordnung Fläche [m ²]	Zuordnung Anteil [%]
Z.1: Beheizte Zone	563,49	144,01	25,557

TW-Strang 1 (Strom Speicher)

Allgemeine Daten						
Energieanteil des Bereichs 2		[kWh/(m ² a)]	20 (100 %)			
Warmwassererzeugungssystem/Verteilsystem		wohnungszentral (detailliert)				
Wärmeerzeugung						
Nr.	Wärmeerzeuger	Deckungs- anteil [-]	Aufwands- zahl [-]	Spez. Hilfs- energiebedarf [kWh/(m ² a)]		
1	Elektro-Speicher 1 (Standard)	1	1	0		
Speicherung						
Nr.	Speicher	Spezifische Wärmeverlust [kWh/(m ² a)]	Spez. Hilfs- energiebedarf [kWh/(m ² a)]	Wärme- gutschrift [kWh/(m ² a)]		
1	Elektrisch beheizter Trinkwasserspeicher (standard)	2,58	0	1,79		
Verteilung TW: wohnungszentral (detailliert)						
Leitungen/Rohre (TW-Verteilung)						
Nr.	Leistungsart Rohrabschnitt	Umgebung (Temperatur) [°C]	Länge [m]	U Isolierung [W/(mK)]	Spez. Wärme- verlust [kWh/(m ² a)]	Wärme- gutschrift [kWh/(m ² a)]
1	Stichleitungen	Zone1 (19°C)	10	0,385	3,044	2,113

TW-Bereich 3 (Wohnungen Gas Durchlauferhitzer): Zonenzuweisung

Zone	Zonenfläche [m ²]	Zuordnung Fläche [m ²]	Zuordnung Anteil [%]
Z.1: Beheizte Zone	563,49	144,01	25,557

TW-Strang 1 (Gas Durchlauferhitzer)

Allgemeine Daten				
Energieanteil des Bereichs 3	[kWh/(m ² a)]	20 (100 %)		
Warmwassererzeugungssystem/Verteilssystem		wohnungszentral (detailliert)		
Wärmeerzeugung				
Nr.	Wärmeerzeuger	Deckungsanteil [-]	Aufwandszahl [-]	Spez. Hilfsenergiebedarf [kWh/(m ² a)]
1	Gas-Durchlauferhitzer 1 (Standard)	1	1,15	0
Verteilung TW: wohnungszentral (detailliert)				

Leitungen/Rohre (TW-Verteilung)						
Nr.	Leistungsart Rohrabschnitt	Umgebung (Temperatur) [°C]	Länge [m]	U Isolierung [W/(mK)]	Spez. Wärme- verlust [kWh/(m ² a)]	Wärme- gutschrift [kWh/(m ² a)]
1	Stichleitungen	Zone1 (19°C)	10	0,385	3,044	2,113

TW-Bereich 4 (Läden Strom Durchlauferhitzer): Zonenzuweisung

Zone	Zonenfläche [m ²]	Zuordnung Fläche [m ²]	Zuordnung Anteil [%]
Z.1: Beheizte Zone	563,49	65,73	11,665

TW-Strang 1 (Elektro Durchlauferhitzer)

Allgemeine Daten						
Energieanteil des Bereichs 4	[kWh/(m ² a)]	8 (100 %)				
Warmwassererzeugungssystem/Verteilssystem		wohnungszentral (detailliert)				
Wärmeerzeugung						
Nr.	Wärmeerzeuger	Deckungsanteil [-]	Aufwandszahl [-]	Spez. Hilfsenergiebedarf [kWh/(m ² a)]		
1	Elektro-Durchlauferhitzer (alt) 1 (Standard)	1	1	0		
Verteilung TW: wohnungszentral (detailliert)						
Leitungen/Rohre (TW-Verteilung)						
Nr.	Leistungsart Rohrabschnitt	Umgebung (Temperatur) [°C]	Länge [m]	U Isolierung [W/(mK)]	Spez. Wärme- verlust [kWh/(m ² a)]	Wärme- gutschrift [kWh/(m ² a)]
1	Stichleitungen	Zone1 (19°C)	2	0,385	1,334	0,926

TW-Strang 1 (Elektro Speicher)

Allgemeine Daten				
Energieanteil des Bereichs 5		[kWh/(m ² a)]	20 (100 %)	
Warmwassererzeugungssystem/Verteilungssystem			wohnungszentral (detailliert)	
Wärmeerzeugung				
Nr.	Wärmeerzeuger	Deckungsanteil [-]	Aufwandszahl [-]	Spez. Hilfsenergiebedarf [kWh/(m ² a)]
1	Elektro-Speicher 1 (Standard)	1	1	0

Speicherung				
Nr.	Speicher	Spezifische Wärmeverlust [kWh/(m ² a)]	Spez. Hilfsenergiebedarf [kWh/(m ² a)]	Wärme-gutschrift [kWh/(m ² a)]
1	Elektrisch beheizter Trinkwasserspeicher (standard)	1,94	0	1,34

Verteilung TW: wohnungszentral (detailliert)

Leitungen/Rohre (TW-Verteilung)						
Nr.	Leitungsart Rohrabchnitt	Umgebung (Temperatur) [°C]	Länge [m]	U Isolierung [W/(mK)]	Spez. Wärmeverlust [kWh/(m ² a)]	Wärme-gutschrift [kWh/(m ² a)]
1	Stichleitungen	Zone1 (19°C)	2	0,385	1,334	0,926

Lüftungsbereich 1: Zonenzuweisung

Zone	Zonenfläche [m ²]	Zuordnung Fläche [m ²]	Zuordnung Anteil [%]
Z.1: Beheizte Zone	563,49	563,49	100

Lüftungsstrang 1

Allgemeine Daten		
Flächenanteil des Bereichs 1		[m ²] 563,49 (100 %)
Art der Lüftung		Fensterlüftung

Heizungsbereich 1 (Kohleöfen): Zonenzuweisung

Zone	Zonenfläche [m ²]	Zuordnung Fläche [m ²]	Zuordnung Anteil [%]
Z.1: Beheizte Zone	563,49	168,99	29,99

Heizungsstrang 1 (Kohleöfen)

Allgemeine Daten				
Energieanteil des Bereichs 1		[kWh/(m ² a)]	221,19 (100 %)	
Wärmeerzeugungssystem/Verteilungssystem			Dezentral (standard)	
Wärmeerzeugung				
Nr.	Wärmeerzeuger	Deckungsanteil [-]	Aufwandszahl [-]	Spez. Hilfsenergiebedarf [kWh/(m ² a)]
1	Einzelfeuerstätte 1 (Standard)	1	1,5	0

Heizungsbereich 2 (Nachtspeicherheizung): Zonenzuweisung

Zone	Zonenfläche [m ²]	Zuordnung Fläche [m ²]	Zuordnung Anteil [%]
Z.1: Beheizte Zone	563,49	140,9	25,005

Heizungsstrang 1 (Nachtspeicherheizung)

Allgemeine Daten				
Energieanteil des Bereichs 2		[kWh/(m ² a)]	221,19 (100 %)	
Wärmeerzeugungssystem/Verteilungssystem		Dezentral (standard)		
Wärmeerzeugung				
Nr.	Wärmeerzeuger	Deckungsanteil [-]	Aufwandszahl [-]	Spez. Hilfsenergiebedarf [kWh/(m ² a)]
1	Elektro-Speicherheizung 19 (Standard)	1	1	0
Übergabe Heizung				
System	Art der Elektroheizung	Spez. Wärmeverlust [kWh/(m ² a)]	Spez. Hilfsenergiebedarf [kWh/(m ² a)]	
Elektroheizung	Speicherheizung	4,4	0	
Anordnung	Überwiegend im Außenwandbereich			

Heizungsbereich 3 (Gasetagenheizung): Zonenzuweisung

Zone	Zonenfläche [m ²]	Zuordnung Fläche [m ²]	Zuordnung Anteil [%]
Z.1: Beheizte Zone	563,49	112,7	20

Heizungsstrang 1 (Gasetagenheizung)

Allgemeine Daten					
Energieanteil des Bereichs 3		[kWh/(m ² a)]	221,19 (100 %)		
Wärmeerzeugungssystem/Verteilungssystem		Zentral (detailliert)			
Auslegungstemperatur des Heizkreises		[°C]	55/45		
Mittlere Vor- und Rücklaufemperatur des Heizkreises		[°C]	37,2/32,3		
Mittlere Heizkreistemperatur		[°C]	34,7		
Wärmeerzeugung					
Nr.	Wärmeerzeuger	Deckungsanteil [-]	Aufwandszahl [-]	Spez. Hilfsenergiebedarf [kWh/(m ² a)]	
1	Standard-Gebälsekessel (alt) 1 (Standard)	1	1,21	1,21	
Verteilung H: Zentral (detailliert)					
Nennleistungsaufnahme der Pumpe		[W]	48,25		
Pumpe		Ungeregelt			
Leitungen/Rohre (H-Verteilung)					
Nr.	Leitungsart Rohrabschnitt	Umgebung (Temperatur) [°C]	Länge [m]	U Isolierung [W/(mK)]	Spez. Wärmeverlust [kWh/(m ² a)]
1	Stichleitungen	Zone1 (19°C)	70	0,385	2,149

Übergabe Heizung			
System	Heizflächen	Spez. Wärmeverlust [kWh/(m ² a)]	Spez. Hilfsenergiebedarf [kWh/(m ² a)]
Wasserheizung	Frei im Raum	3,3	0
Anordnung	Überwiegend im Außenwandbereich		
Regelung	Thermostatventile mit Auslegungsproportionalbereich 2 Kelvin		
Zusätzlicher Antrieb	nein		

Heizungsbereich 4 (Gaseinzelheizung): Zonenzuweisung

Zone	Zonenfläche [m ²]	Zuordnung Fläche [m ²]	Zuordnung Anteil [%]
Z.1: Beheizte Zone	563,49	140,9	25,005

Heizungsstrang 1 (Gaseinzelheizung)

Allgemeine Daten					
Energieanteil des Bereichs 4		[kWh/(m ² a)]	221,19 (100 %)		
Wärmeerzeugungssystem/Verteilsystem			Dezentral (detailliert)		
Wärmeerzeugung					
Nr.	Wärmeerzeuger		Deckungsanteil [-]	Aufwandszahl [-]	Spez. Hilfsenergiebedarf [kWh/(m ² a)]
1	Gasraumheizer Außenwand-Geräte (alt) 6 (Standard)		1	1,47	0
Übergabe Heizung					
System	Heizflächen	Spez. Wärmeverlust [kWh/(m ² a)]	Spez. Hilfsenergiebedarf [kWh/(m ² a)]		
Wasserheizung	Frei im Raum	3,3	0		
Anordnung	Überwiegend im Außenwandbereich				
Regelung	Thermostatventile mit Auslegungsproportionalbereich 2 Kelvin				
Zusätzlicher Antrieb	nein				

A 7 Solarthermieranlagenberechnung

Warmwasser- und Heizungsunterstützung, Heizwärmebedarf 221 kWh/m²a:

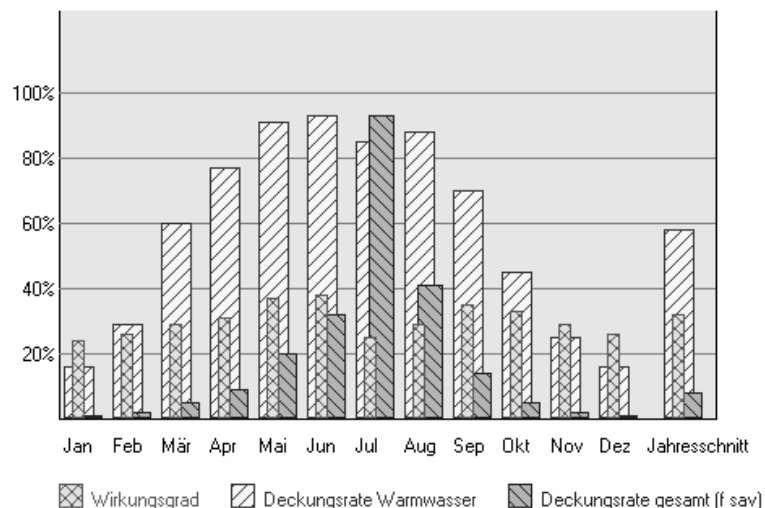
GetSolar 8.0 - Solarthermie-Simulation - © 2005 Axel Horn

Projekt: "Kleine Freiheit" WW-HZ-unsaniert
Standort: Hamburg geogr. Breite: 53,5°
Kollektor: 32,55 m² Buderus SKS 3.0
Kennlinie: c0 = 0,818 c1 = 4,170 W/(m²K) c2 = 0,0082 W/(m²K²)
Neigung: 30,0° Südabweichung: 0,0°
Anlagentyp: BWW + Pufferspeicher (4)
Warmwassersp.: 1000 Liter Temperatur : max. 75°C / min. 42°C
Pufferspeicher: 1500 Liter Temperatur : max. 75°C
Wärmebedarf: 38,66 kWh/Tag = 950 Liter/Tag von 10°C auf 45°C
 126289 kWh/Jahr Heizwärmebedarf
Solares Heizen: bei T außen < 16°C Heizkreis: 55/45°C, 70 kW bei -10°C

Monat	Solar- ertrag [kWh]	Solares Heizen * [kWh]	Ein- strahlung [kWh]	Fremd- energie [kWh]	Deckungsrate Warmw. Heizg. [%]	Heizg. [%]	Wirkungs- grad [%]
Januar:	189	1	791	1014	16	0	24
Februar:	346	14	1305	796	29	0	26
März:	782	61	2743	504	60	0	29
April:	1108	211	3620	267	77	2	31
Mai:	1801	697	4810	135	91	9	37
Juni:	1950	858	5075	88	93	18	38
Juli:	1128	92	4577	70	85	0	25
August:	1281	209	4486	96	88	11	29
September:	1058	239	2996	329	70	4	35
Oktober:	594	49	1820	655	45	0	33
November:	306	15	1052	870	25	0	29
Dezember:	193	4	743	971	16	0	26
Summe:	10736	2451	34019	5796	58	2	32

*: Teil des Solarertrags

Spezifischer Kollektor-Jahresertrag: **330 kWh/m²**



Warmwasser- und Heizungsunterstützung, Heizwärmebedarf 70 kWh/m²a:

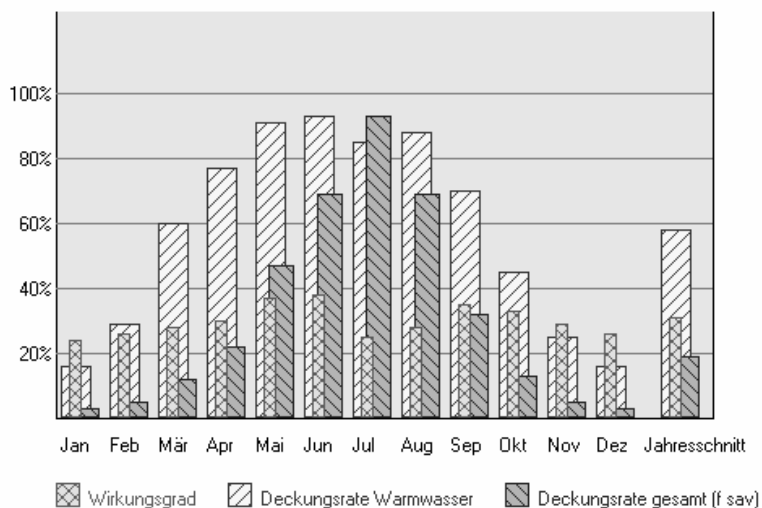
GetSolar 8.0 - Solarthermie-Simulation - © 2005 Axel Horn

Projekt: "Kleine Freiheit" WW-HZ-saniert
Standort: Hamburg geogr. Breite: 53,5°
Kollektor: 32,55 m² Buderus SKS 3.0
Kennlinie: c0 = 0,818 c1 = 4,170 W/(m²K) c2 = 0,0082 W/(m²K²)
Neigung: 30,0° Südabweichung: 0,0°
Anlagentyp: BWW + Pufferspeicher (4)
Warmwassersp.: 1000 Liter Temperatur : max. 75°C / min. 42°C
Pufferspeicher: 1500 Liter Temperatur : max. 75°C
Wärmebedarf: 38,66 kWh/Tag = 950 Liter/Tag von 10°C auf 45°C
 41388 kWh/Jahr Heizwärmebedarf
Solares Heizen: bei T außen < 16°C Heizkreis: 55/45°C, 25 kW bei -10°C

Monat	Solar- ertrag [kWh]	Solares Heizen * [kWh]	Ein- strahlung [kWh]	Fremd- energie [kWh]	Deckungsrate Warmw. Heizg. [%]	Wirkungs- grad [%]
Januar:	189	1	791	1014	16	0
Februar:	346	14	1305	796	29	0
März:	781	60	2743	504	60	1
April:	1102	205	3620	267	77	5
Mai:	1780	676	4810	135	91	27
Juni:	1924	832	5075	88	93	52
Juli:	1128	91	4577	70	85	0
August:	1277	205	4486	96	88	33
September:	1053	234	2996	329	70	11
Oktober:	593	48	1820	655	45	1
November:	306	14	1052	870	25	0
Dezember:	193	4	743	971	16	0
Summe:	10670	2384	34019	5796	58	6

*: Teil des Solarertrags

Spezifischer Kollektor-Jahresertrag: **328 kWh/m²**

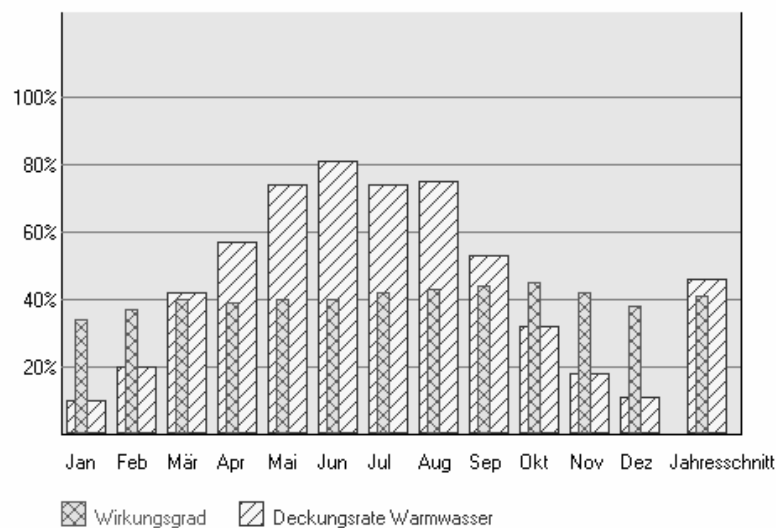


Warmwasserunterstützung:

GetSolar 8.0 - Solarthermie-Simulation - © 2005 Axel Horn

Projekt: "Kleine Freiheit" WW
Standort: Hamburg geogr. Breite: 53,5°
Kollektor: 15,19 m² Buderus SKS 3.0
Kennlinie: $c_0 = 0,818$ $c_1 = 4,170 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $c_2 = 0,0082 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$
Neigung: 30,0° Südabweichung: 0,0°
Anlagentyp: Brauchwarmwasser
Speicher: 1500 Liter Temperatur: max. 75°C / min. 42°C
Wärmebedarf: 38,66 kWh/Tag = 950 Liter/Tag von 10°C auf 45°C

Monat	Solar- ertrag [kWh]	Ein- strahlung [kWh]	Fremd- energie [kWh]	Deckungs- rate [%]	Wirkungs- grad [%]
Januar:	124	369	1077	10	34
Februar:	227	609	902	20	37
März:	510	1280	707	42	40
April:	662	1689	503	57	39
Mai:	898	2245	331	74	40
Juni:	956	2369	226	81	40
Juli:	894	2136	305	74	42
August:	908	2093	302	75	43
September:	617	1398	539	53	44
Oktober:	381	849	821	32	45
November:	208	491	952	18	42
Dezember:	130	347	1032	11	38
Summe:	6516	15875	7698	46	41

Spezifischer Kollektor-Jahresertrag: **429 kWh/m²**

A 8 Kostenzusammenstellung Anlagentechnik

Anlagensystemkosten [€ brutto]														
Heizwärmebedarf [kWh/m²a]	1 Gas-Brennwert		2 Öl-Brennwert		3 Pellet		4 Wärmepumpe		4.1 WP/Gas		4.2 WP/Pellet		5 Fernwärme	
	221	70	221	70	221	70	221	70	221	70	221	70	221	70
Wärmeerzeuger	10.000	5.000	14.000	7.000	24.000	12.000	34.000	17.000	26.000	14.000	32.000	18.000	5.000	3.500
inkl. Zub. und Montage	80 kW	30 kW	80 kW	30 kW	80 kW	30 kW	L/W 80 kW	L/W 30 kW	2 x 40 kW	2 x 15 kW	2 x 40 kW	2 x 15 kW	Station 80 kW	Station 30 kW
Hausanschluss	1.500	1.500	0	0	0	0	0	0	1.500	1.500	0	0	3.000	3.000
inkl. Zubehör und Montage	Gasanschl.	Gasanschl.							Gasanschl.	Gasanschl.			Anschluss	Anschluss
Brennstofflager	0	0	6.600	2.200	3.000	1.500	0	0	0	0	2.000	1.500	0	0
inkl. Zubehör und Montage			3x3000 l	3000 l	Lagerraum	Lagerraum					Lagerraum	Lagerraum		
Pufferspeicher Heizung	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
inkl. Zubehör und Montage	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l
Warmwasserspeicher	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
inkl. Zubehör und Montage	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l	500 l
Solar- und Pufferspeicher	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
inkl. Zubehör und Montage	1000/1500 l	1000/1500 l	1000/1500 l	1000/1500 l	1000/1500 l	1000/1500 l	1000/1500 l	1000/1500 l	1000/1500 l	1000/1500 l	1000/1500 l	1000/1500 l	1000/1500 l	1000/1500 l
Abgasführung	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	0	0	1.500	1.500	1.500	1.500	0	0
inkl. Zubehör und Montage	18 m	18 m	18 m	18 m	18 m	18 m			18 m	18 m	18 m	18 m		
Hausverteilung	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000
inkl. Heizkörper	8 x 80 m²	8 x 80 m²	8 x 80 m²	8 x 80 m²	8 x 80 m²	8 x 80 m²	8 x 80 m²	8 x 80 m²	8 x 80 m²	8 x 80 m²	8 x 80 m²	8 x 80 m²	8 x 80 m²	8 x 80 m²
Rückbau alte Anlage	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
inkl. Entsorgung	pauschal	pauschal	pauschal	pauschal	pauschal	pauschal	pauschal	pauschal	pauschal	pauschal	pauschal	pauschal	pauschal	pauschal
Solaranlage 15 Module	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500	17.500	0	0	0	0	0	0	17.500	17.500
inkl. Leitungen und Montage	32 m² FKoll.	32 m² FKoll.	32 m² FKoll.	32 m² FKoll.	32 m² FKoll.	32 m² FKoll.							32 m² FKoll.	32 m² FKoll.
Solaranlage 7 Module	10.200	10.200	10.200	10.200	10.200	10.200	0	0	0	0	0	0	10.200	10.200
inkl. Leitungen und Montage	15 m² FKoll.	15 m² FKoll.	15 m² FKoll.	15 m² FKoll.	15 m² FKoll.	15 m² FKoll.							15 m² FKoll.	15 m² FKoll.
Fotovoltaikanlage	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000
inkl. Zubehör und Montage	3,6 kWp	3,6 kWp	3,6 kWp	3,6 kWp	3,6 kWp	3,6 kWp	3,6 kWp	3,6 kWp	3,6 kWp	3,6 kWp	3,6 kWp	3,6 kWp	3,6 kWp	3,6 kWp
Lüftungsanlage	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	0	0	0	0	36.000	36.000
inkl. Zubehör und Montage	8 x dez.	8 x dez.	8 x dez.	8 x dez.	8 x dez.	8 x dez.	8 x dez.	8 x dez.					8 x dez.	8 x dez.
Bruttokosten Heizsystem	18.560	12.760	29.116	15.892	36.540	20.880	42.920	23.200	37.120	23.200	44.660	27.840	12.760	11.020
exkl. MWSt	16.000	11.000	25.100	13.700	31.500	18.000	37.000	20.000	32.000	20.000	38.500	24.000	11.000	9.500
Bruttokosten inkl. Solar 1	40.165	34.027	50.315	36.617	56.724	40.252	41.789	20.919	36.801	21.731	43.732	25.288	34.873	32.693
exkl. MWSt	34.625	29.333	43.375	31.567	48.900	34.700	36.025	18.033	31.725	18.733	37.700	21.800	30.063	28.183
Bruttokosten inkl. Solar 2	32.132	26.139	42.456	28.961	49.300	33.176	43.268	22.891	37.932	23.355	45.124	27.376	26.622	24.631
exkl. MWSt	27.700	22.533	36.600	24.967	42.500	28.600	37.300	19.733	32.700	20.133	38.900	23.600	22.950	21.233
Bruttokosten inkl. LT	59.305	53.553	69.455	56.299	75.864	60.320	81.229	61.673	34.481	20.493	41.412	24.360	54.013	52.103
exkl. MWSt	51.125	46.167	59.875	48.533	65.400	52.000	70.025	53.167	29.725	17.667	36.700	21.000	46.563	44.917
Bruttokosten Verteilung	27.840	27.840	27.840	27.840	27.840	27.840	27.840	27.840	27.840	27.840	27.840	27.840	27.840	27.840
inkl. Rückbau, exkl. MWSt	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000	24.000
Wartung Wärmeerzeuger	270	252	376	357	394	375	237	179	430	360	553	522	93	58
inkl. Speicher, exkl. MWSt	233	217	324	308	340	323	204	154	371	310	477	450	80	50
Wartung Solaranlage	203	203	203	203	203	203	0	0	0	0	0	0	203	203
exkl. MWSt	175	175	175	175	175	175	0	0	0	0	0	0	175	175
Wartung Lüftung	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464	464
exkl. MWSt	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400

A 9 Kostenzusammenstellung Bautechnik

Nr.	Beschreibung	E.-Preis	Menge	ME	G.-Preis
1	WDVS Hof, 10 cm, pro Etage	80,31	61,00	m²	4.899,00
1.1	WDVS, EPS 10 cm BWIF 0,035 W/mK, inkl. Mauerwerk reinigen, Putz, Fugenabdichtung und Randabschlussprofilen	57,00	61,00	m²	3.477,00
1.2	Fensterbänke erneuern	75,00	4,00	m	300,00
1.3	Laibungen dämmen	34,00	33,00	m	1.122,00
2	WDVS Hof, 20 cm, pro Etage	90,59	61,00	m²	5.526,00
2.1	WDVS, EPS 20 cm BWIF 0,035 W/mK, inkl. Mauerwerk reinigen, Putz, Fugenabdichtung und Randabschlussprofilen,	65,00	61,00	m²	3.965,00
2.2	Fensterbänke erneuern	85,00	4,00	m	340,00
2.3	Laibungen dämmen	37,00	33,00	m	1.221,00

3		Innendämmung Kalziumsilikat, pro Etage	120,74	27,00	m²	3.260,00
	3.1	Bohle, Sparschalung, Füllung im Randbereich aufnehmen, Balkenzwischenraum dämmen	150,00	4,00	m ²	600,00
	3.2	Kalziumsilikatplatten BWWIF 0,06 W/mK, vollflächig aufkleben, Fugen verspachteln	70,00	23,00	m ²	1.610,00
	3.3	Fensterbänke erneuern	60,00	14,00	m	300,00
	3.4	Laibungen dämmen und verkleiden	30,00	20,00	m	600,00
	3.5	Steckdosen, elastische Randverfugung, Zulage Arbeitsbühne	150,00	1,00	St.	150,00

4		Innendämmung Mineralfaser, pro Etage	70,28	27,00	m²	1.897,50
	4.1	Bohle, Sparschalung, Füllung im Deckenrandbereich aufnehmen, Balkenzwischenraum dämmen, Dampfsperre einkleben	100,00	4,00	m ²	400,00
	4.2	Vorsatzschale aus Ständerwerk, 7,5 cm Profil, GK-Beplankung, Dampfsperre	26,00	23,00	m ²	598,00
	4.3	Dämmung Mineralfaser, BWWIF 0,035 W/mK, 6 cm	6,50	23,00	m ²	149,50
	4.4	Fensterbänke erneuern	60,00	14,00	m	300,00
	4.5	Laibungen dämmen und verkleiden	15,00	20,00	m	300,00
	4.6	Steckdosen, elastische Randverfugung, Zulage Arbeitsbühne	150,00	1,00	St.	150,00

5		Innendämmung Vakuum, pro Etage	230,70	27,00	m²	6.229,00
	5.1	Bohle, Sparschalung, Füllung im Randbereich aufnehmen, Balkenzwischenraum dämmen	225,00	4,00	m ²	900,00
	5.2	Vorsatzschale aus Ständerwerk, 5 cm Profil, GK-Beplankung	25,00	23,00	m ²	575,00
	5.3	Dämmung Vakuum, BWWIF 0,005 W/mK, 2 cm, teilweise Sondermaße, Stöße dampfdicht abgeklebt	130,00	23,00	m ²	2.990,00
	5.4	Fensterbänke erneuern	60,00	14,00	m	300,00
	5.5	Laibungen und einbindende Innenwände dämmen und verkleiden	45,00	20,00	m	900,00
	5.6	Wandaufmaß	18,00	23,00	m ²	414,00
	5.7	Steckdosen, elastische Randverfugung, Zulage Arbeitsbühne	150,00	1,00	St.	150,00

6		Fenster, Niedrigenergie, > 3 m²	400,00	1,00	m²	400,00
	6.1	Holzfenster, IV 68, Ug = 1,1 W/mK, inkl. Einbau	340,00	1,00	m ²	340,00
	6.2	Ausbau altes Fenster	60,00	1,00	m ²	60,00

7		Fenster, Niedrigenergie, 1-3 m²	410,00	1,00	m²	410,00
	7.1	Holzfenster, IV 68, Ug = 1,1 W/mK, inkl. Einbau	360,00	1,00	m ²	360,00
	7.2	Ausbau altes Fenster	50,00	1,00	m ²	50,00

8		Fenster, Niedrigenergie, < 1 m²	420,00	1,00	m²	420,00
	8.1	Holzfenster, IV 68, Ug = 1,1 W/mK, inkl. Einbau	380,00	1,00	m ²	380,00
	8.2	Ausbau altes Fenster	40,00	1,00	m ²	40,00

9		Fenster, Passivhaus, > 3 m²	600,00	1,00	m²	600,00
	9.1	Holzfenster, Uf = 0,8 W/mK, Ug = 0,7 W/mK, inkl. Einbau	540,00	1,00	m ²	540,00
	9.2	Ausbau altes Fenster	60,00	1,00	m ²	60,00

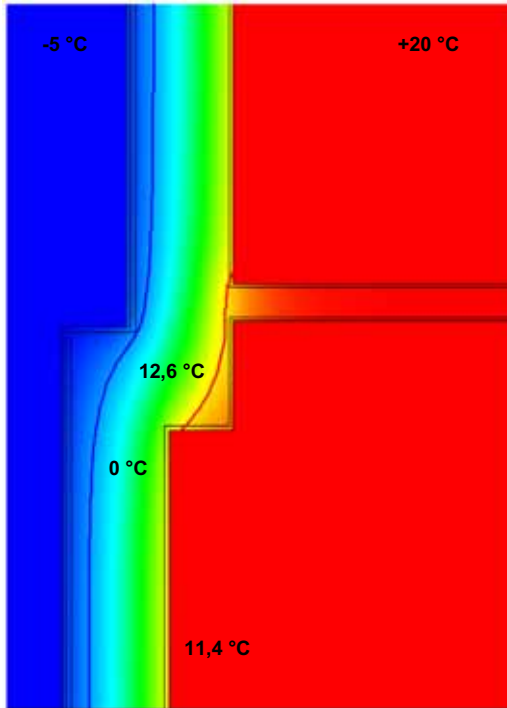
10		Fenster, Passivhaus, > 1-3 m²	610,00	1,00	m²	610,00
	10.1	Holzfenster, Uf = 0,8 W/mK, Ug = 0,7 W/mK, inkl. Einbau	560,00	1,00	m ²	560,00
	10.2	Ausbau altes Fenster	50,00	1,00	m ²	50,00

11		Fenster, Passivhaus, < 1 m²	620,00	1,00	m²	620,00
	11.1	Holzfenster, Uf = 0,8 W/mK, Ug = 0,7 W/mK, inkl. Einbau	580,00	1,00	m ²	580,00
	11.2	Ausbau altes Fenster	40,00	1,00	m ²	40,00

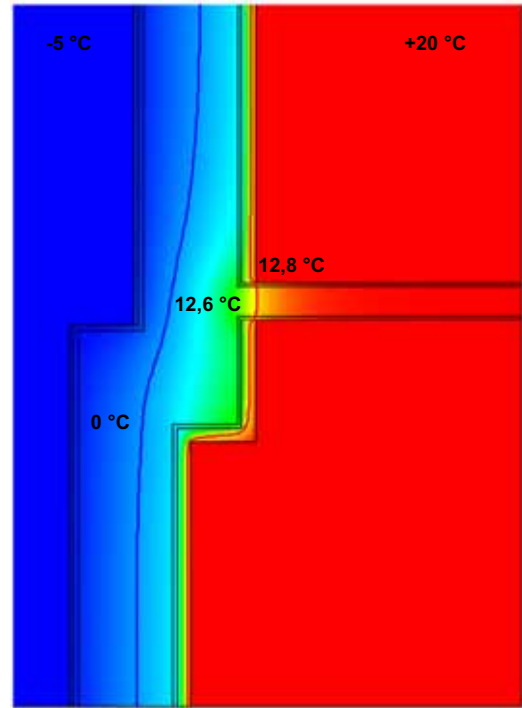
12		Fußbodendämmung	45,00	1,00	m²	45,00
	12.1	Trockenestrich auf Mineralfaserdämmung, 8 cm, BWWIF 0,035 W/mK,	42,00	1,00	m ²	42,00
	12.2	Anpassungsarbeiten Türen	3,00	1,00	m	3,00
13		Dämmung Flachdach	130,04	47,17	m²	6.134,00
	13.1	Aufnehmen von alter Dichtung, Schalung und Ziegelsplitt, Einbau einer Holzbalkenlage und Schalung mit Bitumendichtung inkl. Unterspannbahn und Dachanschlüssen	110,03	47,17	m ²	5.190,00
	13.2	Mineralfaserdämmung im Balkenzwischenraum, 20 cm, BWWIF 0,035 W/mK,	20,01	47,17	m ²	944,00
14		WDVS Schacht, 10 cm, pro Etage	76,32	31,00	m²	2.366,00
	14.1	WDVS, EPS 10 cm BWWIF 0,035 W/mK, inkl. Mauerwerk reinigen, Putz, Fugenabdichtung und Randabschlussprofilen,	57,00	31,00	m ²	1.767,00
	14.2	Fensterbänke erneuern	75,00	3,00	m	225,00
	14.3	Laibungen dämmen	34,00	11,00	m	374,00
15		WDVS Schacht, 20 cm, pro Etage	86,35	31,00	m²	2.677,00
	15.1	WDVS, EPS 20 cm BWWIF 0,035 W/mK, inkl. Mauerwerk reinigen, Putz, Fugenabdichtung und Randabschlussprofilen,	65,00	61,00	m ²	2.015,00
	15.2	Fensterbänke erneuern	85,00	3,00	m	255,00
	15.3	Laibungen dämmen	37,00	11,00	m	407,00
16		Schacht schließen	20.734,00	1,00	St.	20.734,00
	16.1	Betondecken	200,00	29,00	m ²	5.800,00
	16.2	Schwimmender Estrich	30,00	23,00	m ²	690,00
	16.3	Dielenboden	65,00	23,00	m ²	1.495,00
	16.4	Dachaufbau inkl. Dämmung und Abdichtung	100,00	6,00	m ²	600,00
	16.5	Dachanschlüsse	30,00	10,00	m	300,00
	16.6	Alte Fenster < 1 m ² ausbauen	40,00	4,00	m ²	160,00
	16.7	Alte Fenster 1-3 m ² ausbauen	50,00	11,00	m ²	550,00
	16.8	Öffnungen schließen und verputzen	180,00	15,00	m ²	2.700,00
	16.9	Türdurchbrüche im Bestandsmauerwerk	290,00	9,50	m ²	2.755,00
	16.10	Türen einbauen	500,00	5,00	St.	2.500,00
	16.11	Kelleraußentreppe abbrechen	230,00	0,80	m ²	184,00
	16.13	Putz erneuern, tapezieren, streichen	40,00	75,00	m ²	3.000,00
17		Dämmung Treppenhaus	45,00	1,00	m²	45,00
	17.1	Vorsatzschale aus Ständerwerk, 7,5 cm Profil, GK-Beplankung, inkl. Türausschnitte	30,00	1,00	m ²	30,00
	17.2	Zulage für Anschluss an Treppe	15,00	1,00	m	15,00
18		Beheizung Treppenhaus	1.700,00	1,00	St.	1.700,00
	18.1	Anschluss des Treppenhauses an ein zentrales Heizsystem	1.700,00	1,00	St.	1.700,00

A 10 Wärmebrückenberechnung einbindende Innenwand

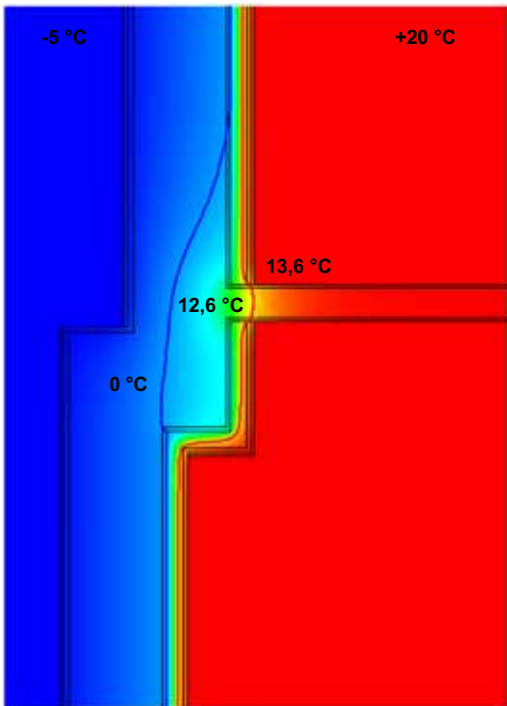
Minimale Innenoberflächentemperatur bei Innentemperatur +20 °C, Außentemperatur – 5 °C, $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$, $R_{sa} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$:



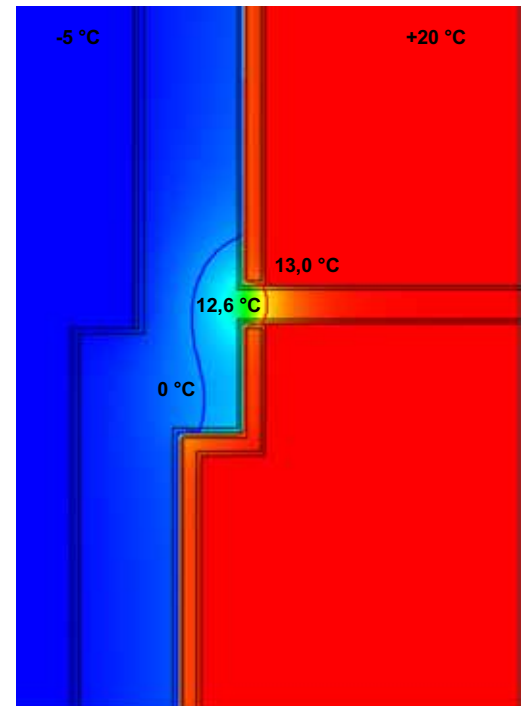
Bestandsfall



Kalziumsilikatdämmung



Mineralfaserdämmung



Vakuumdämmung

A 11 Auszug aus den Excel Tool Berechnungen

Beispielblatt aus den Berechnungen zur bautechnischen Optimierung, Eingabe- und Ergebnisblatt:

Bereich:	Bautechnik		Maßnahme: Bestand unsaniert			
Heizwärmebedarf [kWh/a]:	Anlagensystem					
124.638	Pellet	WP reg. Pellet	Fernwärme	Gas-Brennwert		
Investition Anlage [€]	36.540	44.660	12.760	18.560	0	0
Investition Maßnahme [€]	0	0	0	0	0	0
Wartungskosten [€/a]	394	477	93	270	0	0
Nutzungsdauer [a]	20	20	20	20	20	20
01 QE Erdgas dz [kWh/a]	0	0	0	0	0	0
02 QE Erdgas z [kWh/a]	0	0	0	138.528	0	0
03 QE Öl z [kWh/a]	0	0	0	0	0	0
04 QE Steinkohle dz [kWh/a]	0	0	0	0	0	0
05 QE Fernwärme z [kWh/a]	0	0	144.762	0	0	0
06 QE Holzpellets z [kWh/a]	179.598	91.086	0	0	0	0
07 QE Strom Mix dz [kWh/a]	936	0	1.055	1.225	0	0
08 QE Strom Nacht dz [kWh/a]	0	0	0	0	0	0
09 QE Strom WP z [kWh/a]	0	0	0	0	0	0
10 QE Strom reg. dz [kWh/a]	0	859	0	0	0	0
11 QE Strom reg. z [kWh/a]	0	24.759	0	0	0	0
Energiekosten 1 [€/20a]	169.515	217.130	277.105	216.467	0	0
Energiekosten 2 [€/20a]	215.143	289.452	389.625	304.302	0	0
Wartungskosten [€/20a]	9.402	11.383	2.219	6.443	0	0
Kosten Anlage [€/20a]	63.714	77.873	22.249	32.363	0	0
Kosten Maßnahme [€/20a]	0	0	0	0	0	0
Gesamtkosten 1 [€/20a]	242.631	306.386	301.574	255.273	0	0
Gesamtkosten 2 [€/20a]	288.259	378.708	414.094	343.108	0	0
KEAn.e.+a [MWh/20a]	307,54	162,70	1.744,81	3.206,68	0,00	0,00
GWP [t CO2 Äqu./20a]	79,93	49,98	945,43	702,39	0,00	0,00
AP [t SO2 Äqu./20a]	1,42	0,79	1,09	0,41	0,00	0,00
Bewertung 1 [%]	31,32	37,29	52,54	61,75	0,00	0,00
Bewertung 2 [%]	28,02	34,40	53,27	61,72	0,00	0,00

Beispielblatt aus den Berechnungen zur bautechnischen Optimierung, Zwischenergebnisblatt:

Energiekosten 1 [€/20a]						
01 QE Erdgas dz	0	0	0	0	0	0
02 QE Erdgas z	0	0	0	210.076	0	0
03 QE Öl z	0	0	0	0	0	0
04 QE Steinkohle dz	0	0	0	0	0	0
05 QE Fernwärme z	0	0	271.601	0	0	0
06 QE Holzpellets z	164.632	85.509	0	0	0	0
07 QE Strom Mix dz	4.883	0	5.504	6.391	0	0
08 QE Strom Nacht dz	0	0	0	0	0	0
09 QE Strom WP z	0	0	0	0	0	0
10 QE Strom reg. dz	0	4.759	0	0	0	0
11 QE Strom reg. z	0	126.863	0	0	0	0
Energiekosten 2 [€/20a]						
01 QE Erdgas dz	0	0	0	0	0	0
02 QE Erdgas z	0	0	0	295.504	0	0
03 QE Öl z	0	0	0	0	0	0
04 QE Steinkohle dz	0	0	0	0	0	0
05 QE Fernwärme z	0	0	382.048	0	0	0
06 QE Holzpellets z	208.420	108.253	0	0	0	0
07 QE Strom Mix dz	6.723	0	7.577	8.798	0	0
08 QE Strom Nacht dz	0	0	0	0	0	0
09 QE Strom WP z	0	0	0	0	0	0
10 QE Strom reg. dz	0	6.551	0	0	0	0
11 QE Strom reg. z	0	174.648	0	0	0	0
KEA [kWh/20a]						
01 QE Erdgas dz	0	0	0	0	0	0
02 QE Erdgas z	0	0	0	157.368	0	0
03 QE Öl z	0	0	0	0	0	0
04 QE Steinkohle dz	0	0	0	0	0	0
05 QE Fernwärme z	0	0	84.686	0	0	0
06 QE Holzpellets z	13.111	6.649	0	0	0	0
07 QE Strom Mix dz	2.267	0	2.555	2.966	0	0
08 QE Strom Nacht dz	0	0	0	0	0	0
09 QE Strom WP z	0	0	0	0	0	0
10 QE Strom reg. dz	0	50	0	0	0	0
11 QE Strom reg. z	0	1.436	0	0	0	0
GWP [kg/20a]						
01 QE Erdgas dz	0	0	0	0	0	0
02 QE Erdgas z	0	0	0	34.355	0	0
03 QE Öl z	0	0	0	0	0	0
04 QE Steinkohle dz	0	0	0	0	0	0
05 QE Fernwärme z	0	0	46.613	0	0	0
06 QE Holzpellets z	3.412	1.731	0	0	0	0
07 QE Strom Mix dz	584	0	658	764	0	0
08 QE Strom Nacht dz	0	0	0	0	0	0
09 QE Strom WP z	0	0	0	0	0	0
10 QE Strom reg. dz	0	26	0	0	0	0
11 QE Strom reg. z	0	743	0	0	0	0
AP [kg/20a]						
01 QE Erdgas dz	0	0	0	0	0	0
02 QE Erdgas z	0	0	0	19	0	0
03 QE Öl z	0	0	0	0	0	0
04 QE Steinkohle dz	0	0	0	0	0	0
05 QE Fernwärme z	0	0	54	0	0	0
06 QE Holzpellets z	70	36	0	0	0	0
07 QE Strom Mix dz	1	0	1	1	0	0
08 QE Strom Nacht dz	0	0	0	0	0	0
09 QE Strom WP z	0	0	0	0	0	0
10 QE Strom reg. dz	0	0	0	0	0	0
11 QE Strom reg. z	0	4	0	0	0	0

Randbedingungen, Eingabeblatt:

Energieträger	Bedarf 1 [kWh]	Bedarf 2 [kWh]	Preise 1 [€/kWh]	Preise 2 [€/kWh]	EKS 1 [1/a]	EKS 2 [1/a]	KEA-Fakt. [kg/kWh]	GWP-Fakt. [kg/kWh]	AP-Fakt. [kg/kWh]
01 Erdgas dezentral	19.000	8.000	0,063	0,074	0,035	0,070	1,136	0,248	0,00014
02 Erdgas zentral	150.000	50.000	0,055	0,058	0,035	0,070	1,136	0,248	0,00014
03 Heizöl leicht zentral	150.000	50.000	0,058	0,059	0,038	0,076	1,146	0,311	0,00057
04 Steinkohle dezentral	17.000	0	0,057	0,000	0,025	0,050	1,075	0,438	0,00236
05 Fernwärme zentral	150.000	50.000	0,068	0,077	0,035	0,070	0,585	0,322	0,00037
06 Holzpellets zentral	150.000	50.000	0,037	0,038	0,025	0,050	0,073	0,019	0,00039
07 Strom mix dezentral 2005	4.000	0	0,194	0,000	0,033	0,066	2,764	0,621	0,00085
07a Strom mix dezentral 2020	4.000	0	0,194	0,000	0,033	0,066	2,079	0,627	0,00071
08 Strom Nacht dezentral 2005	16.000	5.000	0,163	0,171	0,033	0,066	2,764	0,621	0,00085
08a Strom Nacht dezentral 2020	16.000	5.000	0,163	0,171	0,033	0,066	2,079	0,627	0,00071
09 Strom WP zentral 2005	50.000	17.000	0,170	0,172	0,033	0,066	2,764	0,621	0,00085
09a Strom WP zentral 2020	50.000	17.000	0,170	0,172	0,033	0,066	2,079	0,627	0,00071
10 Strom regenerativ dezentral	4.000	0	0,206	0,000	0,033	0,066	0,058	0,030	0,00016
11 Strom regenerativ zentral	50.000	17.000	0,189	0,191	0,033	0,066	0,058	0,030	0,00016
12 Strom Fotovoltaik	Einspeisungsvergütung		0,518	0,000	0,000	0,000	0,368	0,173	0,00039

Finanzierung		
Betrachtungszeitraum	[a]	20
Teuerungsrate	[1/a]	0,02
Teuerungsrate Wartung	[1/a]	0,02
Zinssatz Fremdkapital	[1/a]	0,06

Referenzdaten Ausgangsfall		
Gesamtkosten EKS 1	[€/20a]	429.500
Gesamtkosten EKS 2	[€/20a]	577.711
KEA	[MWh/20a]	5.005,86
GWP (CO ₂ -Äquivalent)	[t]	1.396,63
AP (SO ₂ -Äquivalent)	[t]	3,48

A 12 Bautechnische Optimierung bei unterschiedlichen Dämmstandards

Endenergieeinsparung durch die Dämmung der Erdgeschosswände bei unterschiedlichen Dämmstandards:

	Endenergiebedarf ohne Dämmung der EG Außenwände [kWh/a]	Endenergiebedarf mit Dämmung der EG Außenwände [kWh/a]	Endenergie- einsparung bei dem Energieträger Gas [kWh/a]	Differenz zur Einsparung bei HzWb. 221 kWh/m ² a [%]
HzWb. 221 kWh/m ² a	138.528	127.653	10.875	0,0
HzWb. 150 kWh/m ² a	100.093	89.032	11.061	1,7
HzWb. 130 kWh/m ² a	90.660	79.574	11.086	1,9

