



ENERGIEKONZEPT HAMBURG-DULSBERG

Erstellung eines energetischen Konzepts
für das Quartier Dulsberg
im Rahmen des Programms 432 der KfW

ANHANG A TECHNISCHE GRUNDLAGEN

AUFTRAGGEBER

Freie und Hansestadt Hamburg

Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU)

Amt für Natur- und Ressourcenschutz

Abteilung Energie (NR2)

Referat Erneuerbare Energien und Wärmekonzepte

Neuenfelder Straße 19

21109 Hamburg



UNTER BETEILIGUNG VON

Amt für Wohnen, Stadterneuerung und Bodenordnung

Abteilung Integrierte Stadtteilentwicklung



Bezirksamt Hamburg - Nord

Dezernat Wirtschaft, Bauen und Umwelt

Fachamt Stadt- und Landschaftsplanung

Integrierte Stadtteilentwicklung

Städtebaulicher Denkmalschutz

Kümmellstraße 6

20249 Hamburg



FÖRDERMITTELGEBER

KfW

Anstalt des öffentlichen Rechts

Palmengarten 5-9

60325 Frankfurt am Main



Hamburg im Juni 2014

Energiekonzept Hamburg-Dulsberg, Anhang A – Technische Grundlagen

ARGE: Ecofys Germany GmbH, GEF Ingenieur AG, Dr. Burkhard Schulze-Darup, PPL Architektur und Stadtplanung GmbH, büro lucherhandt

AUFTRAGNEHMER/ARBEITSGEMEINSCHAFT (ARGE)

Ecofys Germany GmbH

Am Karlsbad 11
10785 Berlin
+49 30 297 735 79 50
dulsberg@ecofys.com

Ansprechpartner: Dr. Andreas Hermelink,
Sigrid Lindner, Bernhard von Manteuffel



GEF Ingenieur AG

Ferdinand-Porsche-Str. 4a
69181 Leimen
+49 6224 9713 0
stephan.richter@GEF.DE

Ansprechpartner: Dr. Stephan Richter,
Simon Schad



büro lucherhandt

Shanghaiallee 6
20457 Hamburg
+49 40 70 70 80 70
dulsberg@lucherhandt.de

Ansprechpartner: Daniel Lucherhandt,
Karolin Kaiser, Katharina Trocha



Schulze Darup & Partner Architekten

Augraben 96
90475 Nürnberg
+49 911/8325262
schulze-darup@schulze-darup.de

Ansprechpartner: Dr. Burkhard Schulze Darup



PPL Architektur und Stadtplanung GmbH

Bei den Mühren 70
20457 Hamburg
+49 (0)40 / 4 31 95 - 12
k.weber@ppl-hh.de

Ansprechpartnerin: Karin Luise Weber



INHALTSVERZEICHNIS

1 Grundlagen zur Sanierung der Gebäudehülle	1
2 Sanierung der Gebäudehülle	1
2.1 Außenwand	2
2.1.1 Innendämmung (vgl. Gutachten, Kapitel III-1.3)	4
2.1.2 WDVS mit Spaltklinkern (vgl. Gutachten, Kapitel III-1.4)	7
2.1.3 Neue Backsteinschale mit Kerndämmung (vgl. Gutachten, Kapitel III-1.5)	9
2.2 Dach	14
2.2.1 Dach – Schrägdach	14
2.2.2 Dach – Flachdach	15
2.2.3 Oberste Geschossdecke	16
2.3 Kellerdecke – Bodenplatte	18
2.4 Fenster	19
2.5 Türen	21
3 Qualitätssicherung und Komfortfaktoren	21
3.1 Bauphysik	21
3.2 Oberflächentemperaturen und Strahlungstemperatur	21
3.3 Kondenswasserniederschlag und Schimmelpilzbildung	22
3.4 Raumluftbewegung	22
3.5 Wärmebrücken	23
3.6 Qualitätssicherung – Luftdichtheit	24
4 Maßnahmenpakete zur energetischen Sanierung	25
4.1 Maßnahme 1.1 – Oberste Geschossdecke & KG-Decke	27
4.2 Maßnahme 1.2 – Fassade & Fenster	27
4.3 Maßnahme 1.3 – Lüftungsanlage mit WRG	27
4.4 Maßnahme 1.4 – Gebäudetechnik Heizung & WW	27
4.5 Maßnahme 2.1 – Fernwärme & Dachboden	28
4.6 Maßnahme 2.2 – Fenster, Rückfassade & KG-Decke	28
4.7 Maßnahme 2.3 – Heizung, Bad, Lüftung	28
4.8 Maßnahme 2.4 – Innendämmung sukzessive	29
4.9 Zusammenstellung der Ergebnisse	29

5	Niederschwellige Maßnahmen	31
5.1.	Variante 7 Niederschwellige Sanierung 1	32
5.2.	Variante 8 Niederschwellige Sanierung 2	33
5.3.	Ergebnisse	34
6	Gebäudetechnik - Lüftungstechnik	36
6.1	Aspekte zur Festlegung des Luftwechsels	36
6.2	Anforderungen der DIN 1946 Teil 6	38
6.3	Ventilatorgestützte Abluftanlagen	38
6.4	Zu- / Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung	39
6.5	Investitionskosten und Mehrinvestitionen	41
7	Heizungssysteme	43
7.1	Heizsysteme mit Gas	44
7.2	Heizsysteme mit Öl	44
7.3	Festbrennstoffe und Biomasse	44
7.4	Direktelektrische Heizung	45
7.5	Wärmepumpe	45
7.6	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	47
7.7	Fernwärme	48
7.8	Brennstoffzelle	48
7.9	Verteilsystem und Wärmeübergabe	49
7.10	Regelung	50
7.11	Trinkwassererwärmung	51
7.12	Solarthermie	52
8	Stromverbrauch	53
8.1	Gemeinschaftsstrom und Hilfsstrom	53
8.2	Haushaltsstrom	54
9	Glossar	57
10	Literatur und Quellen	62

A TECHNISCHE GRUNDLAGEN

1 Grundlagen zur Sanierung der Gebäudehülle

Dieser Band beschreibt die technischen Grundlagen energetischer Gebäudesanierung. Dabei finden besonders diejenigen Aspekte Berücksichtigung, die sich bei der Ertüchtigung von Backsteingebäuden ergeben. Als zentrales Thema lässt sich feststellen, dass nachhaltiges Denken und Handeln eine besondere Gewichtung erhält. Backsteinbauten erfordern langfristige Strategien, um ihren spezifischen Anforderungen gerecht zu werden. So steht den erhöhten Kosten der massiven Backsteinschale bei fachgerechter Planung und Ausführung ein sehr langer Nutzungszeitraum mit eher geringem Wartungsaufwand gegenüber. Wirtschaftlichkeit kann also nur erzielt werden, wenn frühzeitig richtige Entscheidungen getroffen werden.

Das Kernthema der Verbindung von Denkmalschutz, Klimaschutz und Wirtschaftlichkeit lässt sich auf folgende Formel reduzieren: es ist sinnvoll, die Gebäude mit niederschweligen Maßnahmen so lange wie möglich am Markt zu halten. Wenn allerdings durchgreifende Maßnahmen durchgeführt werden, sollten diese wiederum für einen Zeitraum von über fünfzig bis hundert Jahren Gültigkeit besitzen. Es muss also eine hochwertige architektonische Gestaltung mit einer langfristig gedachten energetischen Lösung auf hohem energetischem Niveau verbunden werden. Dazu sollen die folgenden Abschnitte technische Grundlagen bieten.

2 Sanierung der Gebäudehülle

In diesem Kapitel werden die Grundlagen energetisch relevanter Maßnahmen für die Gebäudehülle dargestellt. Optimierte Lösungen für die Sanierung von Wand, Dach, KG-Decke und Fenster. Darüber hinaus muss Qualitätssicherung durchgeführt werden. Wärmebrücken sollten minimiert und die Luftdichtheit möglichst optimal gestaltet werden. Dazu kommen in den Folgekapiteln Angaben zu Lüftungssystemen und der Gebäudetechnik für Heizung und Warmwasserbereitung. Nicht vergessen werden sollten Effizienzmaßnahmen für die Stromnutzung. Das gilt sowohl für die Hilfsenergien als auch für die Nutzung von Haushaltsstrom. Mit geringem investiven Aufwand können hohe primärenergetische Einsparungen erreicht werden.

Gesamtkonzepte bei der Gebäudesanierung bilden grundsätzlich die günstigste Voraussetzung für wirtschaftliche Lösungen. Aus wohnungswirtschaftlicher Sicht gilt es allerdings, zahlreiche weitere Faktoren zu berücksichtigen, sodass in vielen Fällen andere Strategien gewählt werden müssen. Angaben zu niederschweligen Maßnahmen und Bauteilsanierungen finden sich in den Folgekapiteln.

Vorschläge zum Erreichen verschiedener Effizienzstandards werden in der folgenden Tabelle in der Übersicht gezeigt und im Folgenden pro Bauteil näher erläutert. Charakteristische Komponenten für die Sanierung nach EnEV-Neubau-Standard, Standard KfW Effizienzhaus 70 und 55 werden ebenso dargestellt wie die Anwendung von Passivhaus-Komponenten bei der Sanierung, die in der Tabelle als „Faktor 10“ bezeichnet werden. Die Verbindung dieses Standards mit Erneuerbaren Energien für die Gebäudetechnik kann zu einem Effizienzhaus Plus führen, d. h. primärenergetisch wird eine positive Energiebilanz, bezogen auf die Jahresbilanzierung, erreicht.

Im weiteren Verlauf der Studie werden fünf Beispiele mit konkreten Berechnungen und Sanierungsvorschlägen dargestellt.

Tabelle 1: Vergleich der Komponenten für unterschiedliche Energiestandards bei der Sanierung

	EnEV-Neubau		KfW EH 70		KfW EH 55		KfW EH 40		Effizienz-Plus	
	cm*	U-Wert	cm*	U-Wert	cm*	U-Wert	cm*	U-Wert	cm*	U-Wert
Außenwand	16	0,28	18	0,20	20	0,16-0,2	20-25	≤ 0,16	20-25	≤ 0,16
Dach	24	0,2-0,24	25-30	0,16	30	0,16	30-40	≤ 0,15	30-40	≤ 0,15
Grund/Kellerdecke	12	0,30	12-15	0,24	12-20	0,20	14-20	0,15-0,2	14-20	0,15-0,2
Fenster	g=0,6	≤ 1,30	g ≅ 0,5	≤ 1,0	g ≅ 0,5	≤ 0,9	g ≅ 0,5	≤ 0,8	g ≅ 0,5	≤ 0,8
Wärmebrücken	ΔU _{WB} =0,1		ΔU _{WB} ≤ 0,05-0,1		ΔU _{WB} ≤ 0,05		ΔU _{WB} ≅ 0,025		ΔU _{WB} ≅ 0,025	
Luftdichtheit	n ₅₀ ≤ 1,5 h ⁻¹		n ₅₀ ≤ 1,5 h ⁻¹		n ₅₀ ≤ 0,6 h ⁻¹		n ₅₀ ≤ 0,6 h ⁻¹		n ₅₀ ≤ 0,6 h ⁻¹	
Lüftung	Abluftanlage		Abl./Zu-Abl.		Zu-/Abl. WRG		Zu-/Abl. WRG		Zu-/Abl. WRG	
Heizung	fossil		fossil		z. T. erneuerbar		z. T. erneuerbar		erneuerbar	
Stromnutzung	Effiziente Hilfsenergie		Effiziente Hilfsenergie		Effiziente Hilfsenergie		Stromnutzung hocheffizient		Stromnutzung hocheffizient	
Erneuerbare Energ.	z. B. Solarthermie		z. B. Solarthermie		für Heiz/WW		ggf. Heiz/WW		Heiz/WW/Strom	
Smart Grid					sinnvoll		sinnvoll		empfehlenswert	

*cm Dämmdicke einer üblichen Konstruktion mit einem Dämmstoff λ = 0,035 W/(mK); U-Wert in W/(m²K)

Die wärmeübertragenden Flächen der Gebäudehülle müssen im Vorfeld einer Sanierung auf die vorhandenen wärmetechnischen und bauphysikalischen Eigenschaften sowie ihre U-Werte überprüft werden. Im Allgemeinen ist es erforderlich, die wärmetechnische Situation der Konstruktion deutlich zu verbessern – einerseits aus bauphysikalischer Sicht, vor allem jedoch hinsichtlich der Energieeinsparung. Wärmedämmung weist bei den meisten Konstruktionen das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis aller Sanierungsmaßnahmen auf. Deshalb muss versucht werden, für jede individuell unterschiedliche Situation angemessene Dämmdicken mit möglichst geringem Aufwand einzuplanen. Dies wird in Anhang B des Gutachtens anhand charakteristischer Gebäude beispielhaft dargestellt, wobei auf konkrete Kostengrundlagen dieses Kapitels in Verbindung mit den Erfahrungen aus der praktischen Umsetzung zahlreicher Gebäude Bezug genommen wird.

2.1 Außenwand

Außenwände stellen den größten Teil der Transmissionsfläche dar und haben eine besonders hohe Relevanz für die energetische Qualität eines Gebäudes und die Kosten der Sanierung und des Betriebs. Praktisch fassbar wird dies auf der Grundlage der energetischen Berechnungen für die Sanierungsvariante 2 in Kapitel A III-1.2. Ohne energetische Ertüchtigung der Außenwand können keine langfristig nachhaltigen energetischen Standards erzielt werden.

Anhang A – Technische Grundlagen

ARGE: Ecofys Germany GmbH, GEF Ingenieur AG, Dr. Burkhard Schulze-Darup, PPL Architektur und Stadtplanung GmbH, büro lucherhandt

Charakteristische Konstruktionen des Außenmauerwerks im Dulsberg-Gebiet zeigt die folgende Grafik. Während in den 1920er/1930er Jahren vor allem einschaliges Mauerwerk erstellt wurde, überwog nach dem Krieg zweischaliges Mauerwerk, bestehend aus der tragenden Schale mit 22 bzw. 24 cm Dicke, einer geringen Luftschicht, die nur in Ausnahmefällen breiter ausfällt, und der davor gesetzten Vormauerschale, die im Allgemeinen mit Drahtankern verbunden ist. Bei der Sanierung ist meist eine neue Vernadelung erforderlich, da es sich bei den Ankern nicht um Edelstahl handelt.

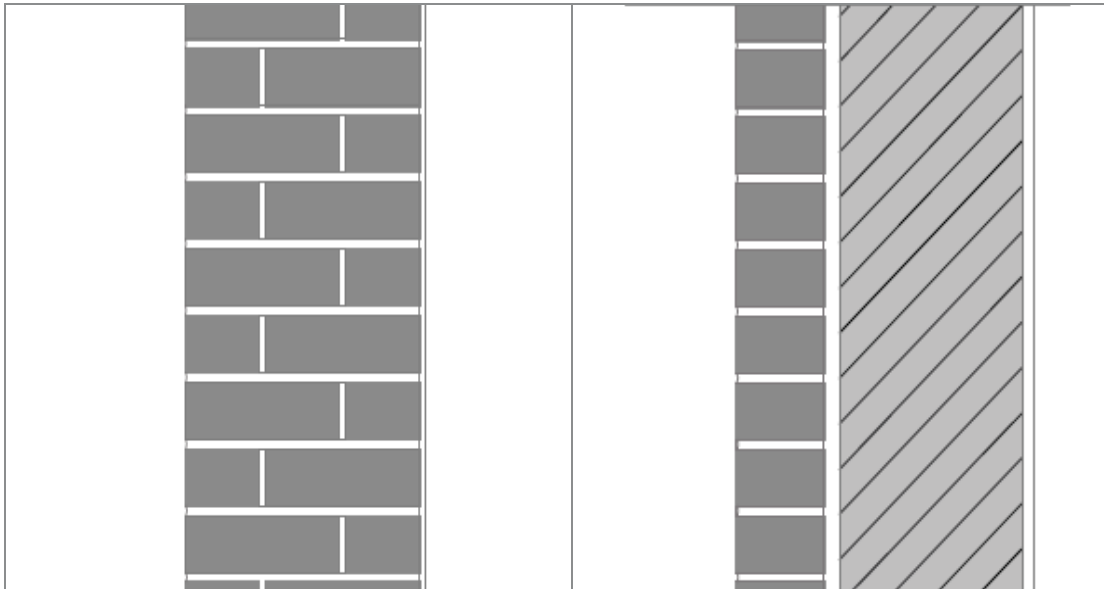


Abbildung 1: Charakteristische Konstruktionen des Außenmauerwerks im Dulsberg-Gebiet. Während in den 1920er/1930er Jahren vor allem einschaliges Mauerwerk erstellt wurde, überwog nach dem Krieg zweischaliges Mauerwerk, bestehend aus der tragenden Schale mit 22 bzw. 24 cm Dicke, einer geringen Luftschicht, die nur in Ausnahmefällen breiter ausfällt, und der davor gesetzten Vormauerschale, die im Allgemeinen mit Drahtankern verbunden ist. Bei der Sanierung ist meist eine neue Vernadelung erforderlich, da es sich bei den Ankern nicht um Edelstahl handelt.

Ein wichtiger Aspekt für die Sanierungsentscheidung liegt in der Tatsache begründet, dass die Sanierung von Backsteinfassaden sehr kostenträchtig ist. Allein die Fugennetz-Sanierung schlägt mit Kosten zwischen 85 und 150 € zu Buche. Das ist eine Größenordnung, mit der bei Putzgebäuden ein vollständiges Wärmedämmverbundsystem realisiert werden kann. Im Folgenden die tabellarische Darstellung von charakteristischen Kosten auf Basis von Erhebungen bei Bauunternehmen und Architekten in Hamburg.

Tabelle 2: Kosten für die Fugennetz-Sanierung von Backsteinfassaden pro m² Konstruktionsfläche € [Quelle: Markterhebung Schulze Darup 2013]

Pos	Bezeichnung	Einheit	EP netto	EP brutto
1	Verblendschale vernadeln	m ²	25	30
2	Fassaden- und Fugennetz-Sanierung niedrige Kosten	m ²	70	83
3	wie vor, jedoch mittlere Kosten	m ²	90	107
3	wie vor, jedoch hohe Kosten	m ²	120	143
	Nebenkosten für Gerüste, Wiederherstellen etc.	m ²	15	18

Die Kosten verstehen sich ohne besondere Aufwendung, z. B. für die Erneuerung von Steinen, die beschädigt oder verwittert sind oder gestalterische oder konstruktive Maßnahmen, die gesondert zu veranschlagen sind. Dazu kommen die Planungs- und sonstigen Nebenkosten. Diese Maßnahmen fallen bei allen Gebäuden an, deren Backsteinschale langfristig erhalten werden sollte. Das sind im Gutachten, Kapitel III die Varianten 2 und 3 sowie zum Teil Variante 6. Bei niederschweligen Maßnahmen nach Variante 7 und 8 sollte eine Fugennetz-Sanierung nicht erfolgen. Es ist sinnvoll, sie im Rahmen der durchgreifenden Sanierungsmaßnahmen durchzuführen.

Im Folgenden werden drei für das Gebiet besonders relevante energetische Sanierungsmöglichkeiten dargestellt.

2.1.1 Innendämmung (vgl. Gutachten, Kapitel III-1.3)

Das PPL-Gutachten weist nach Kategorie A „Fassaden, die gemäß dem Originalzustand zu erhalten oder dem Original entsprechend wieder herzustellen sind“ aus. „Diese Empfehlung betrifft die Fassaden der Kulturdenkmäler, die baukünstlerisch bedeutend sind, und alle weiteren Fassaden, die eine starke stadträumliche Wirkung haben oder aufgrund ihrer Materialität stadtbildprägend sind.“ [PPL 2012 S. 80]

Für die Fassaden der Kategorie A wird in diesem Gutachten grundsätzlich von der Sanierung mit Innendämmung ausgegangen. Die Formulierung im PPL-Gutachten lässt auch Raum für das Erstellen einer neuen Mauerschale. Ob dies eine Alternative darstellen kann, muss in jedem Einzelfall geprüft werden.

Diese Prämisse wurde gesetzt, um den Denkmalschutz-Aspekten den höchstmöglichen Stellenwert zukommen zu lassen. Aus technisch-bauphysikalischer Sicht wäre Außendämmung – in diesem Fall als neue Backsteinschale mit Kerndämmung - grundsätzlich vorteilhafter. Darüber hinaus ist zu bedenken, dass für Wohngebäude nutzungsgerechte bauphysikalische Lösungen mit hochwertigem Raumklima und hygienisch einwandfreier Raumluftqualität erzielt werden müssen.

Hinsichtlich der technischen Grundlagen lässt sich feststellen, dass Innendämmung bei den meisten Gebäudetypen und Außenwandkonstruktionen technisch sicher erstellt werden kann. Dazu sind in den letzten Jahren zahlreiche Beispielprojekte auf hohem energetischem Niveau durchgeführt sowie Veröffentlichungen herausgegeben worden [Borsch-Laaks 2010; Großklos, Loga 2011; Hasper, Pfluger, Schulze Darup 2008; Krus, Sedlbauer, Künzel 2010; Künzel, H.M. u.a. 2010-1; Pfluger 2005; Schulze Darup 2010]. Eine große praktische Unterstützung stellt insbesondere das WTA Merkblatt 6-4-09 [WTA 2009] dar, welches die Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. herausgegeben hat.

Die Vorteile des Einsatzes von Innendämmung liegen darin, dass sie bei Gebäuden sukzessive raumweise angebracht werden können. Deshalb erzeugt sie bei einfach anzubringenden Systemen eher geringere Kosten als Außendämmsysteme.

Nachteile der Innendämmung liegen vor allem in der bauphysikalisch schwierigeren Systematik. Es müssen sichere Lösungen erzielt werden, die Feuchteprobleme mit daraus resultierender Schimmelbildung ausschließen sowie Bauschäden vermeiden. Die zu erreichenden U-Werte liegen im Allgemeinen ungünstiger als bei Außendämmsystemen. Der Einspareffekt ist zudem begrenzt, wenn Wärmebrücken zu einbindenden Bauteilen verbleiben.

Durch aufwändige Anschlussarbeiten an Wänden und Decken kann der geringe Kostenvorteil deutlich umgekehrt werden. Das gilt insbesondere, wenn Konstruktionen geöffnet und Details mit vergleichs-

weise hohem Aufwand ausgeführt werden müssen, wie z. B. bei einbindenden Holzbalkendecken. Weiterhin geht durch das Anbringen der Dämmung von innen Raum verloren. Die nutzbare bzw. vermietbare Fläche wird geringer, was zu einer zusätzlichen Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit führt. Allerdings ist bei schlechter Bausubstanz der Bereich in der Nähe der Außenwand auch nur begrenzt nutzbar, wenn das Risiko der Schimmelpilzbildung hinter Schränken, Polstermöbeln etc. einbezogen wird. Gleiches gilt für die Betriebskosten, die hinsichtlich des erhöhten Heizenergiebedarfs um 30 bis 70% höher liegen können als Lösungen mit hochwertiger Außendämmung. Relevante Verschlechterungen beim sommerlichen Wärmeschutz sind nur dann zu erwarten, wenn die Innenwände und Decken des Gebäudes nicht massiv ausgeführt sind.

Innendämm-Maßnahmen stellen hohe Anforderungen an Planer und Ausführende, da bei unsachgemäßer Anwendung eher bauphysikalisch bedingte Schadensfälle zu erwarten sind als bei Dämmsystemen auf der Außenseite der thermischen Hülle. Einige Stichpunkte zu relevanten Planungsaspekten, die z. T. im WTA-Merkblatt 6-4 [WTA 2009] näher beschrieben werden, sollen Anregungen zu möglichst guten Lösungen geben:

Innendämmung verbessert den Komfort durch Erhöhung der Oberflächentemperatur auf der Innenseite der Außenwand. Dies führt einerseits zu einer Erhöhung der thermischen Behaglichkeit und zur Vermeidung von Kondensat- und Schimmelpilzbildung an der Oberfläche. Es müssen andererseits Feuchteschäden ausgeschlossen werden, die durch Diffusion, Konvektion, Schlagregeneinflüsse oder Wärmebrücken entstehen können.

Bauphysikalische Nachweise: Nach EnEV 2009 ist bei Innendämmungen mindestens ein U-Wert von $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ gemäß Anlage 3 zu § 9 Abs. 3 einzuhalten. In den meisten Fällen sind problemlos U-Werte im Bereich von $0,24$ bis $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erzielbar. Für die Studie wurde von einem U-Wert von $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ausgegangen. Zahlreiche bewährte Dämmmaterialien für Innendämmung liegen im Bereich von $\lambda = 0,04 - 0,05 \text{ W}/(\text{mK})$. Dies gilt insbesondere für diffusionsoffene und mineralische Materialien. Es gibt aber auch eine hohe Zahl von Anwendungsgebieten für Hochleistungs-Dämmstoffe wie z. B. Aerogeldämmung oder Vakuumdämmung [Hasper, Pfluger, Schulze Darup 2008]. Bei Einsatz von Aerogeldämmung mit $\lambda = 0,04 - 0,05 \text{ W}/(\text{mK})$ kann mit einer Dämmdicke von 5 cm ein U-Wert von $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erzielt werden.

Bestandsaufnahme, Wärmebrückenberechnung und hygrische Nachweise: Grundlage einer umfassenden Planung ist eine detaillierte Bestandsaufnahme der vorhandenen Konstruktion sowie die energetische Berechnung, wobei die detaillierte Optimierung und Bilanzierung der Wärmebrücken erforderlich ist. Dazu gehört auch die Berechnung der Wärmebrücken. Zudem sollten hygrische Nachweise erstellt werden, die bei der überwiegenden Zahl von Konstruktionen in Verbindung mit geringen Schlagregenbeanspruchungen allerdings mittels vereinfachter Verfahren durchgeführt werden können. Besondere Bedeutung erhalten sie bei schlagregenbeanspruchten Fassaden und bei den Einbindungen von Holzbalkendecken.

Fassadensanierung: Eine Fassaden- und Fugennetz-Sanierung ist nicht nur unabdingbar zur langfristigen Bewahrung der Backsteinfassade, sondern ebenso Voraussetzung für die Anbringung von Innendämmung. Zahlreiche Fassaden im Gebiet weisen kurz- bis mittelfristig den Bedarf an solch einer Sanierung auf, um sie langfristig schadensfrei erhalten zu können.

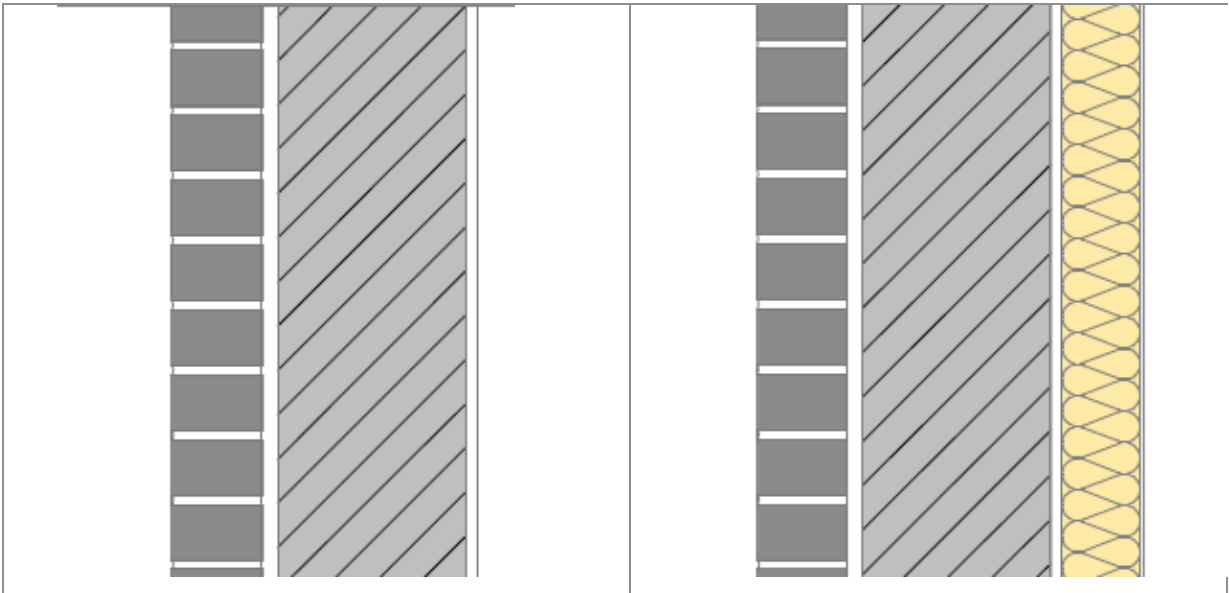


Abbildung 2: Gegenüberstellung: unsanierter Wandaufbau einer zweischaligen Wand (links) und energetische Sanierung mittels Innendämmung

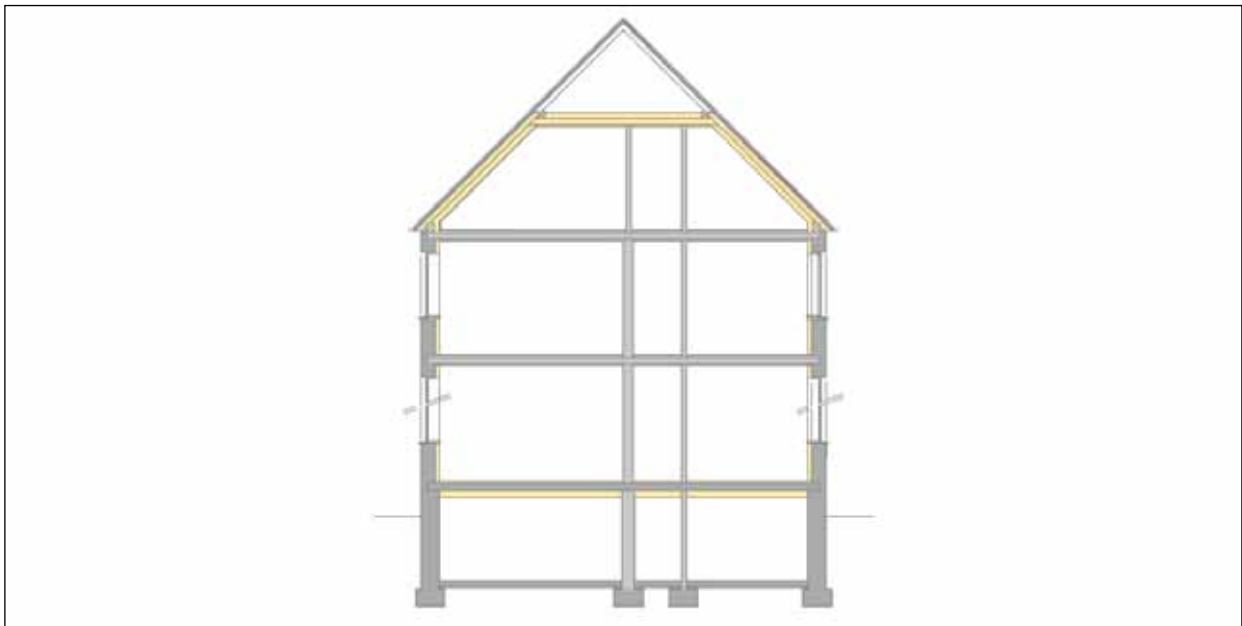


Abbildung 3: Schnittschema eines energetisch sanierten Gebäudes mit Innendämmung

Die Kosten für die energetische Sanierung mittels Innendämmung belaufen sich in Abhängigkeit von der Ausführung zwischen 70 und 150 € pro m² Konstruktionsfläche. Ein nicht unwesentlicher Kostenfaktor liegt im Anarbeiten an einbindende Bauteile, ggf. inklusive Wärmebrückenreduzierung. Muss z.B. bei Holzbalkendecken der Boden geöffnet werden und pro Balken eine präzise Bearbeitung erfolgen, liegen die Kosten deutlich höher. Dazu kommen Kosten für die Fassadensanierung, z. B. in Form einer Fugennetz-Sanierung, ggf. zzgl. Vernadeln der Verblendschale. [Schulze Darup 2013 d/e, B&O 2013, PPL 2013].

Tabelle 3: Kosten für die energetische Sanierung einer Backsteinwand mit Innendämmung in € [Quelle: Markterhebung Schulze Darup 2013]

Pos	Bezeichnung	Einheit	EP netto	EP brutto
1	Verblendschale vernadeln	m ²	25	30
2	Fassaden- und Fugennetz-Sanierung mittlere Kosten	m ²	90	107
3	Innendämmung, niedrige Kosten	m ²	60	71
3	wie vor, jedoch hohe Kosten inkl. Anarbeiten an Wände und Decken	m ²	110	131
4	wie vor, jedoch zusätzlich Öffnen und Anarbeiten an Holzbalkendecken	m ²	150	179
	Nebenkosten für Gerüste, Wiederherstellen etc.	m ²	15	18

2.1.2 WDVS mit Spaltklinkern (vgl. Gutachten, Kapitel III-1.4)

Die einfachste und kostengünstigste Variante der Außenwanddämmung, das Wärmedämmverbundsystem (WDVS), ist im Untersuchungsgebiet nur für kleine Teilbereiche anwendbar. Dabei sollte aus bauphysikalischer Sicht eine Dämmdicke von etwa 16 cm nicht unterschritten werden, um auch im Bereich von nicht zu vermeidenden geometrischen Wärmebrücken hohe Sicherheit gegenüber Kondensatausfall und Schimmelpilzbildung zu erhalten. Eine weitere Erhöhung der Dämmdicke ist technisch einfach ausführbar und aus energetischer Sicht im Allgemeinen sehr rentabel. Die eher geringen Mehrkosten stellen mittelfristig eine hervorragende Investition dar, die durch Förderprogramme oftmals kostenneutral zu geringeren Standards ausgeführt werden können. Sinnvoll sind Dämmdicken von 20 cm und darüber.

Alternativ zur PS-Dämmung können Dämmstoffe wie Mineralwolle, Mineralschaumdämmung, biogene Dämmstoffe oder auch High-Tech-Materialien wie Vakuumdämmung verwandt werden. Letztere Variante ist ein Problemlöser für Situationen, in denen nicht genügend Platz für die Dämmung zur Verfügung steht. Die Mehrkosten liegen pro m² Konstruktionsfläche bei 100 bis 150 €. Dafür kann mit 6 bis 7 cm Aufbauhöhe ein Passivhauskennwert erreicht werden. Allerdings sollte in diesen Fällen mit Vorhangschale gearbeitet werden.

Gemäß PPL-Gutachten [PPL 2012, Seite 80 ff] wird die Verwendung von Spaltklinkern empfohlen für „Fassaden, die stadträumlich wirksam oder aufgrund ihrer Steinsichtigkeit prägend für den Stadtteil sind, deren baukünstlerische Bedeutung jedoch nicht so hoch ist, dass der Aufwand für eine Bewahrung der Originalfassade angemessen wäre.“ Gleiches gilt für Fassaden, „deren stadträumliche Wirksamkeit gering ist, weil es sich um Fassaden nicht öffentlich zugänglicher Höfe handelt.“

Für diese Situation können WDVS-Konstruktionen mit Spaltklinkern eine sinnvolle Lösung darstellen. Dabei sind folgende Aspekte im Einzelfall sorgfältig zu überprüfen und in die Wahl der Konstruktion einzubeziehen:

- Gestaltungsaspekte und architektonische Qualität: bei optimierter Planung kann eine Gestaltung erzielt werden, bei der nur Fachleute erkennen, ob es sich um eine neue Vormauerschale oder Spaltklinker mit WDVS handelt. Besondere Berücksichtigung erfordert dabei das Thema Fugenausbildung.

- Oberflächenqualität und Haptik: Sehr hochwertige Spaltklinker können von der Optik nah an Vollklinker heranreichen. Spätestens die Klopfprobe offenbart jedoch die Konstruktion.
- Anforderungen an den Untergrund: wie bei jedem WDVS muss der Untergrund überprüft und ggf. vorbereitet werden. Durch das höhere Gewicht der Spaltklinker und die damit verbundenen Anforderungen an die Dübelung des WDVS entstehen zusätzliche Anforderungen. Insbesondere bei zweischaligen Wänden ist zu untersuchen, ob die äußere Schale entfernt oder durch Vernadeln ausreichend fixiert werden kann.
- Detailanschlüsse zu Sockel, Fenstern, Traufe etc.: nur durch hochwertige Ausführung der Detailanschlüsse kann ein authentisches Erscheinungsbild erreicht werden. Besondere Aufmerksamkeit erfordern Fensterstürze, Brüstungsausführungen, Sockel und Traufanbindungen. Wichtig sind Details, die dauerhaft das Eindringen von Schlagregen verhindern.
- Einbindung von Original-Bauzier in das Konzept: Die Verbindung von vorhandener Bauzier mit dem neuen System erweist sich als sehr anspruchsvoll hinsichtlich der Gestaltung. Es wird vorgeschlagen, dazu eine Dokumentation von durchgeführten Beispielen zu erstellen und auf dieser Basis Empfehlungen für zukünftige Lösungen im Zusammenwirken mit dem Denkmalschutz zu erarbeiten.
- Brandschutz und Schallschutz: Durch die Spaltklinker treten für beide Aspekte Verbesserungen ein, hinsichtlich des Schallschutzes ist auf Membraneffekte zu achten.
- Langfristige Bewahrung einer denkmalrelevanten Fassade: in Fällen, bei denen zwischen der Erhaltung der Fassade und energetischer Sanierung abgewogen werden muss, kann es eine Option geben, die Bestandsfassade zu bewahren und temporär für eine Nutzungsphase mit WDVS und Spaltklinkern zu versehen. Dazu sind Schienensysteme am Markt verfügbar, die in den Fugen des Steinmaterials befestigt werden (wobei jeweils zu prüfen ist, ob die Fugendicke ausreicht, die Befestigung ohne Beschädigung der Backsteine auszuführen). Das System kann nach Ablauf der Nutzungszeit entfernt und die Originalfassade nach einer Fugensanierung weiter genutzt werden. Dieser Lösungsansatz kommt an anderen Orten bisweilen von Denkmalschützern, wird von Baupraktikern aber eher abgelehnt.
- Haltbarkeit des Systems – Wartungsaspekte und Folgekosten: dieser letzte Punkt der Aufstellung sollte sehr intensiv diskutiert werden und eine Langfristbetrachtung der Gesamtkosten durchgeführt werden. Falls nach 15 bis 25 Jahren Schäden entstehen, wird die Sanierung einerseits sehr kostenträchtig und vor allem ist davon auszugehen, dass Reparaturen sichtbar sind und das Erscheinungsbild der Fassade deutlich beeinträchtigt wird. Auf jeden Fall sollte eine genügende Menge von Ersatzmaterial für die Spaltklinker gelagert werden oder mit dem Hersteller ein Abkommen über die Lieferung gleichartiger Spaltklinker auf einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren abgeschlossen werden.

Für Gebäude, die zwanzig bis dreißig Jahre weiter am Markt gehalten werden sollen, ist diese Sanierungsvariante sicherlich sinnvoll. Falls jedoch aufgrund der guten Gebäudesubstanz und einer günstigen Grundrissituation auch eine längerfristige Nutzung des Gebäudes sinnvoll erscheint, sollte als Alternative die Erstellung einer neuen Vormauerschale überdacht werden.

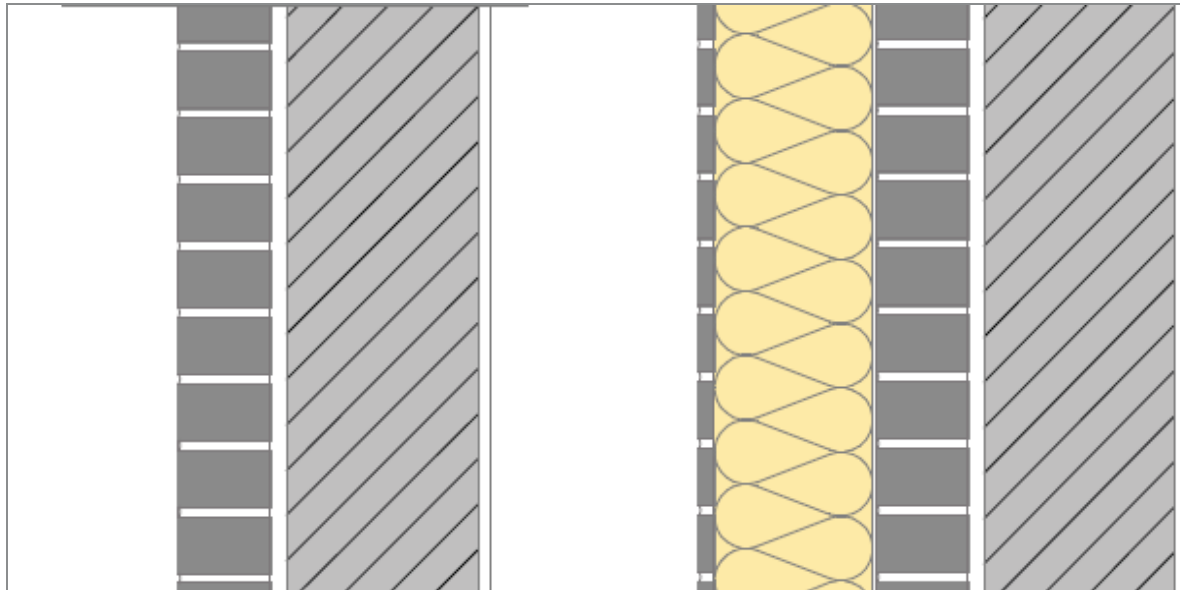


Abbildung 4: Gegenüberstellung: unsanierter Wandaufbau einer zweischaligen Wand (links) und energetische Sanierung mittels WDVS mit Spaltklinkern

Die Kosten für die Erstellung eines Wärmedämmverbundsystems mit Spaltklinkern liegen in Abhängigkeit von der Materialqualität zwischen 180 und 250 € pro m² Konstruktionsfläche [Schulze Darup 2013 d/e, B&O 2013, PPL 2013].

Tabelle 4: Kosten für die energetische Sanierung einer Backsteinwand mit WDVS und Spaltklinkern

Pos	Bezeichnung	Einheit	EP netto	EP brutto
1	Verblendschale vernadeln	m ²	25	30
2	Wärmedämmverbundsystem 20 cm mit Putz	m ²	98	117
3	Zulage Spaltklinker	m ²	70	83
4	Zulage Flachverblender / Kunststoffriemchen	m ²	40	nur EP
	Kosten WDVS mit Spaltklinkern pro m ² Konstruktionsfläche	m ²	193	230
	Kosten WDVS mit Spaltklinkern pro m ² KF ohne Vernadeln	m ²	168	200
	Nebenkosten für Gerüste, Wiederherstellen etc.	m ²	15	18

2.1.3 Neue Backsteinschale mit Kerndämmung (vgl. Gutachten, Kapitel III-1.5)

Wenn die Originalfassade nicht erhalten werden kann, ist die hochwertigste Sanierungsvariante die Erstellung einer neuen Backsteinschale mit Vollsteinen und Kerndämmung. Diese Sanierungsmethode wird derzeit bei den Frankschen Laubenganghäusern erfolgreich umgesetzt. Der Vorteil liegt in der authentischen Materialität und einer langfristigen Haltbarkeit. Der Nachteil ergibt sich aus dem hohen Aufwand und möglicherweise auch aus den Problemstellungen bei der Gestaltung der Details. Folgende Aspekte gilt es zu berücksichtigen:

- Gestaltungsaspekte und architektonische Qualität:

- Oberflächenqualität und Haptik: Die Auswahl des neuen Steinmaterials erfordert hohe Fachkompetenz und sollte immer mit Hinblick auf das Gesamtensemble des Quartiers erfolgen. Empfehlenswert ist ein Gesamtkonzept für das Gebiet hinsichtlich der Materialauswahl.
- Anforderungen an Untergrund und Fundamentierung: die statische Verankerung einer neuen Mauerschale bedingt einen hohen Aufwand und muss in jedem Fall individuell vom Planungsteam festgelegt werden. Der Aufwand für eine neue Fundamentierung wurde in die Kostenbetrachtungen (s. u.) einbezogen. Wenn aus Sicht des Denkmalschutzes keine hochwertige Bestands-Vormauerschale gegeben ist, sollte diese bei zweischaligem Mauerwerk nach Möglichkeit entfernt werden, um die resultierende Wanddicke nach der Sanierung so gering wie möglich zu halten. Außerdem halten sich die Kosten einer Vernadelung und des Abbruchs die Waage.
- Detailanschlüsse zu Sockel, Fenstern, Traufe etc.: durch die deutliche geometrische Ausdehnung der neuen Backsteinschicht ist die hochwertige Ausführung der Detailanschlüsse zur Erzielung eines authentischen Erscheinungsbilds besonders schwierig. Besonders bei dreidimensionaler Bauzier wie z. B. auf der südlichen Seite der Straßburger Straße sind adäquate Lösungen kaum möglich. Wie bei der Ausführung mit Spaltklinkern ist besondere Aufmerksamkeit gefordert bei Fensterstürzen, Brüstungsausführungen, Sockel- und Traufanbindungen. Bauzier durch Mauermuster oder das versetzte Anordnen von Steinen ist dagegen – mit oder ohne zeitgemäße Interpretation – in den meisten Fällen möglich. Ggf. müssen dazu Sonderformate gebrannt werden, um durch Versatz des Steinmaterials keine erhöhten und kostenträchtigen statischen Maßnahmen zu induzieren.
- Brandschutz und Schallschutz: Durch die neue Vormauerschale z. B. in Verbindung mit einer Mineralwolldämmung tritt durchweg eine deutliche Verbesserung des Brand- und Schallschutzes ein.
- Haltbarkeit des Systems – Wartungsaspekte und Folgekosten: Bei fachgerechter Ausführung sollte eine neue Vormauerschale mindestens eine Haltbarkeit von 50 Jahren aufweisen. Sie entsprechen von ihrer Konstruktionsweise her Lösungen im Neubau, wo entsprechende Langzeiterfahrungen vorliegen. Entsprechend der Beispiele in Dulsberg, wo Vormauersteine seit über achtzig Jahren Bestand haben, ist dies ein eher konservativer Ansatz, auch wenn dort keine Dämmschichten zwischen tragendem Mauerwerk und Vorsatzschale gegeben ist.

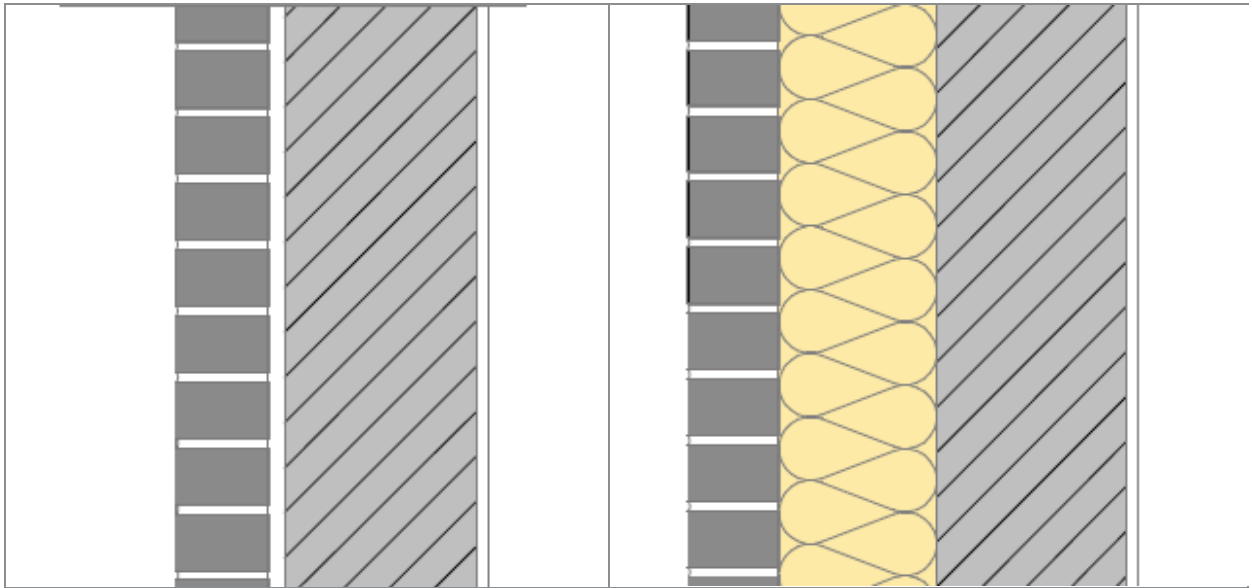


Abbildung 5: Gegenüberstellung: unsanierter Wandaufbau einer zweischaligen Wand (links) und energetische Sanierung mittels neuer Vorsatzschale mit Kerndämmung; die alte Vormaurenschale wurde entfernt

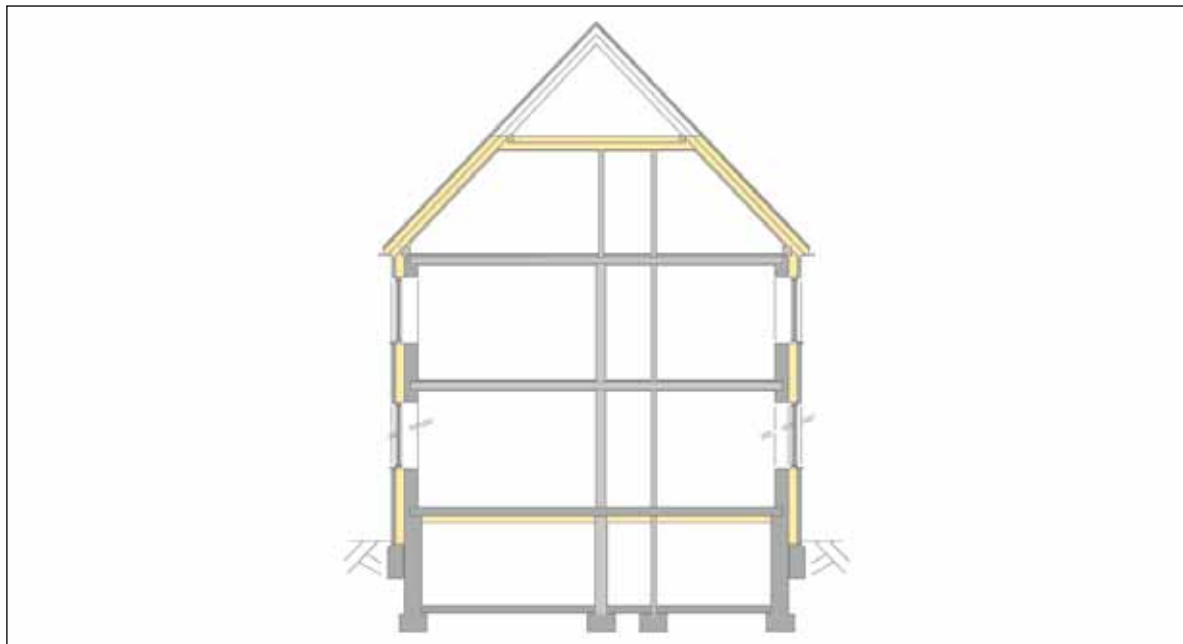


Abbildung 6: Schnittschema eines energetisch sanierten Gebäudes mit neuer Vorsatzschale

Die Kosten für die Erstellung einer neuen Vormaurenschale belaufen sich in Abhängigkeit von der Materialqualität zwischen 300 bis über 350 € pro m² Konstruktionsfläche [Schulze Darup 2013 d/e, B&O 2013, PPL 2013].

Tabelle 5: Kosten für die energetische Sanierung einer Backsteinwand mit einer neuen Vormauerschale

Pos	Bezeichnung	Einheit	EP netto	EP brutto
1	Verblendschale zurückbauen	m ²	25	30
2	Vormauerschale hinterlüftet 20 cm Mineralwolle einschließlich Gründung und Abfangung	m ²	258	307
3	wie vor, jedoch Steinformat NF	m ²	236	nur EP
	Kosten Vormauerschale pro m ² Konstruktionsfl.	m ²	283	336
	wie vor, jedoch ohne Rückbau Verblendschale	m ²	258	307
	Nebenkosten für Gerüste, Wiederherstellen etc.	m ²	15	18



Beim Strangpressverfahren wird die Tonmasse – ähnlich wie bei der Herstellung von Spritzgebäck – unter Druck zu einem Tonstrang gepresst. Mittels feiner Drähte werden die Ziegelrohlinge im Anschluss auf die erforderliche Höhe geschnitten. So entstehen die eher glatten und gleichförmigen - sogenannten - Strangpressverblender. Eine Besonderheit unter den stranggepressten Vormauerziegeln sind Klinker. Die bei sehr hohen Temperaturen gebrannten Ziegel haben einen sehr harten, hellen Klang.



Moderne Herstellungsverfahren machen es möglich, dass auch traditionelle, rustikal anmutende Formen ihren Platz in der Architektur behalten haben. Bei der Herstellung von Wasserstrichziegeln - auch Handstrich genannt - wird der Ton durch Drehtischpressen gedrückt und erhält durch den Einsatz von Wasser als Trennmittel seine typische Oberflächenstruktur.



Beim Handformverfahren werden die Rohlinge wie mit einer Kuchenform einzeln geformt. Als Trennmittel dient Sand, welcher die rustikale Oberfläche der Handformziegel prägt.



Retro-Vormauerziegel verleihen Fassaden eine außergewöhnliche, althergebrachte Ausstrahlung. Die Oberfläche der Vormauerziegel wird in einem speziellen Fertigungsprozess künstlich veraltet. Dadurch erhalten sie eine besonders rustikale, unregelmäßige Oberfläche und die charakteristischen leicht gebrochenen Kanten. Durch die künstliche Alterung bietet sich das Steinmaterial dort an, wo ein harmonischer Bezug zu historischem Umfeld hergestellt werden soll.



Vormauerziegel als Unikate: Nach der Formgebung und dem Trocknen werden die Ziegel heute meist in modernen Tunnelöfen gebrannt. Nur noch vereinzelt gibt es die traditionellen Ringöfen, in denen jeder Ziegel als Unikat gefertigt werden kann. Das besondere dieses Verfahrens: Die Ziegel stehen und die brennende Kohle bewegt sich am Ziegel entlang, was einen zeitintensiven Prozess mit hohem manuellem Aufwand darstellt.

Abbildung 7: Zusammenstellung verschiedener Vormauer-Varianten und Angaben zu deren Herstellung [Quelle: Wienerberger 2013]

2.2 Dach

2.2.1 Dach – Schrägdach

Bei der Neueindeckung eines Gebäudes mit Schrägdach kann die Wärmedämmung hocheffizient verbessert werden. Die vorhandene Sparrenkonstruktion bietet im Allgemeinen nicht genügend Raum für ausreichende Dämmung. Das Problem lässt sich kostengünstig durch das Aufdoppeln von Lattung oder Sparren lösen. Alternativ können schlanke I-Halbprofile angelascht werden. Durch diese Maßnahmen werden wärmebrückenoptimierte Ausführungen erreicht. Die Dämmung reicht bis unter die diffusionsoffene Dachbahn. Hinterlüftung ist im Bereich der Konterlattung auszuführen. Dachinnenseitig ist die Dampfbremse luftdicht auszuführen. Es ist bei optimierter Planung bei einem Großteil der Sanierungen mit sehr vertretbarem Aufwand eine Gesamtdämmdicke von 30 cm oder mehr zu erreichen.

Wichtig ist die Beachtung der Anschlüsse von Ortgangwänden, Innenwänden und Traufe bzw. Kniestock, damit Wärmebrückenfreiheit entsteht und zugleich luftdichte Anschlüsse gewährleistet sind.

Die Kosten für eine Erneuerung des Schrägdachs inklusive Dämmung sind aus der Abbildung zu ersehen. Die Dämmdicken liegen für den Ausgangsstandard bei etwa 14 cm, bei dem weitestgehenden Standard KfW 55 bei 30 cm. Die Wärmeleitfähigkeit des Dämmmaterials weist einen Wert von $\lambda_R = 0,035 \text{ W/(mK)}$ auf. Es wird die Kostensituation der Schrägdach-Dämmung für die Kostengruppen 300 nach DIN 276 ohne Mehrwertsteuer dargestellt. Die energetische Modernisierung wird mit Mineralwoll-Dämmung ausgeführt, in Verbindung mit Abbruch, neuem Dachaufbau und Trockenputz. Für den Ausgangsstandard ist eine Dämmdicke von 14 cm angesetzt (blau Hauptposition, grau Nebenpositionen), die Dämmdicken für die Standards KfW 85 (grün) betragen 20 cm, KfW 70 (rot) 25 cm und KfW 55 (schwarz) 30 cm. Die spezifischen Mehrinvestitionen betragen etwa 0,40 bis 0,60 € netto pro m^2 und cm Dämmdicke zzgl. anteilig 0,20 bis 0,30 € für die Aufdopplung der Sparren.

In der folgenden Abbildung werden Kosten für Schrägdach-Dämmung beispielhaft dargestellt (Kostengruppe 300 nach DIN 276 ohne MWSt.) für die energetische Modernisierung mit Mineralwoll-Dämmung in Verbindung mit Abbruch, neuem Dachaufbau und Trockenputz unterteilt nach einem optimierten, mittleren und höheren Kostenniveau. Insbesondere wenn Anschlussaufwendungen erhöht sind, muss eher in Richtung der höheren Kosten kalkuliert werden.

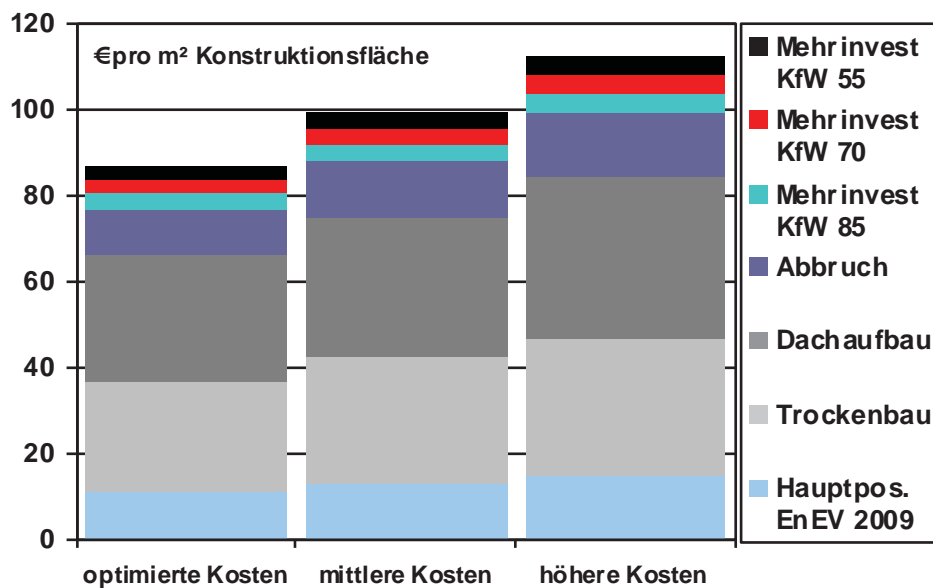


Abbildung 8: Schrägdach-Dämmung: Kosten (Kostengruppe 300 nach DIN 276 ohne MWSt.) für die energetische Modernisierung mit Mineralwoll-Dämmung in Verbindung mit Abbruch, neuem Dachaufbau und Trockenputz unterteilt nach einem optimierten, mittleren und höheren Kostenniveau. Für den EnEV-Standard 2009 (Neubau) ist eine Dämmdicke von 14 cm angesetzt (blau Hauptposition, grau Nebenpositionen), die Dämmdicken für die Standards KfW 85 (grün) betragen 20 cm, KfW 70 (rot) 25 cm und KfW 55 (schwarz) 30 cm. Die spezifischen Mehrinvestitionen betragen etwa 0,40 bis 0,60 € netto pro cm Dämmdicke zzgl. anteilig 0,20 bis 0,30 € für die Aufdopplung der Sparren

2.2.2 Dach – Flachdach

Flachdächer sind bei der Sanierung in einfacher Form mit einer zusätzlichen Lage Dämmung zu versehen, wobei in vielen Fällen die vorhandene Lage erhalten bleiben kann. Durch einen Diffusionsnachweis ist zu überprüfen, wie mit der bisherigen Abdichtung umgegangen werden muss. Die Dämmdicke ist in Abhängigkeit vom einzubauenden Material durchweg kostengünstig in größerem Maß zu erhöhen auf 25-40 cm.

Die Kosten für Flachdachmodernisierung wurden aus BKI-Kennwerten und Datenmaterial des Autors zusammengestellt. Ausgewertet wurde wiederum nach drei Abstufungen von Angebotspreisen. Es wird davon ausgegangen, dass auf eine vorhandene Dämmlage mit Flachdachabdichtung aufgebaut wird und die Untergrundvorbereitung mit einfachen Mitteln möglich ist. Die ausgewerteten Kosten sind aus der Abbildung zu ersehen. Die Dämmdicken liegen für den EnEV-2009-Standard bei 10 cm zusätzlich zum bestehenden System. Pro Standard erhöht sich die Dämmdicke um 5 cm. Die Wärmeleitfähigkeit des Dämmmaterials weist einen Wert von $\lambda_R = 0,035 \text{ W/(mK)}$ auf. Es werden die Kosten für Kostengruppe 300 nach DIN 276 ohne MWSt. für die energetische Modernisierung mit XPS-Dämmung dargestellt, aufbauend auf einer bestehenden Dämm- und Abdichtungsstruktur. Es erfolgt eine Unterteilung nach einem optimierten, mittleren und höheren Kostenniveau. Für den Ausgangsstandard ist eine zusätzliche Dämmdicke von 10 cm angesetzt (blau Hauptposition, grau Nebenpositionen), die Dämmdicken für die Standards KfW 85 (grün) betragen 15 cm, KfW 70 (rot) 20 cm und KfW 55 (schwarz) 25 cm. Die spezifischen Mehrinvestitionen betragen etwa 0,90 bis 1,10 € netto pro cm Dämmdicke.

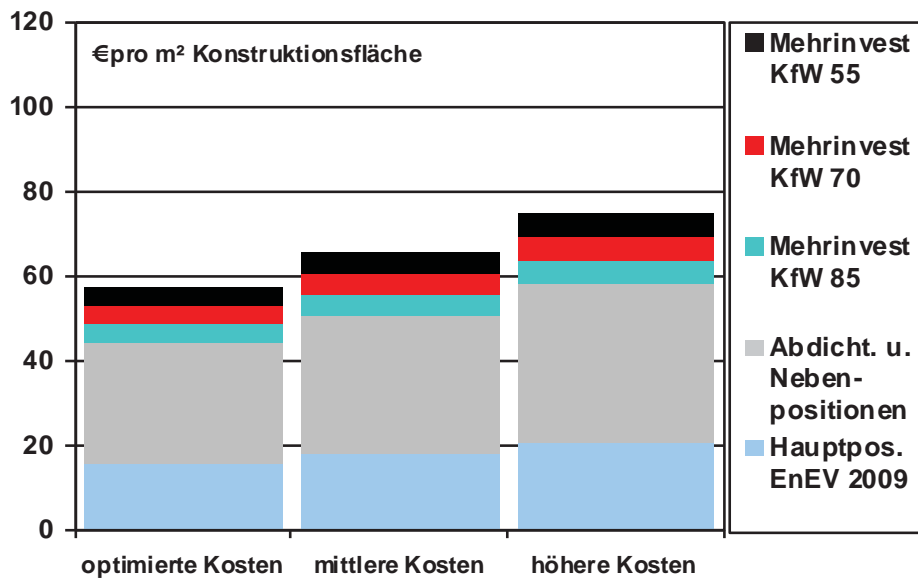


Abbildung 9: Flachdachdämmung: Kosten (Kostengruppe 300 nach DIN 276 ohne MWSt.) für die energetische Modernisierung mit PS-Dämmung aufbauend auf einer bestehenden Dämm- und Abdichtungskonstruktion. Es erfolgt eine Unterteilung nach einem optimierten, mittleren und höheren Kostenniveau. Für den EnEV-Standard 2009 (Neubau) ist eine zusätzliche Dämmdicke von 10 cm angesetzt (blau Hauptposition, grau Nebenpositionen), die Dämmdicken für die Standards KfW 85 (grün) betragen 15 cm, KfW 70 (rot) 20 cm und KfW 55 (schwarz) 25 cm. Die spezifischen Mehrinvestitionen betragen etwa 0,90 bis 1,10 € netto pro cm Dämmdicke

2.2.3 Oberste Geschossdecke

Der Dachbodenbereich über der obersten Geschossdecke kann im günstigsten Fall äußerst wirtschaftlich durch das Aufblasen von Dämmstoffen oder das Verlegen von Dämmmatten energetisch saniert werden. Die Kosten erhöhen sich bei der Anforderung, den Dachboden begehrbar zu halten. In solchen Fällen sind trittfeste Materialien sinnvoll, die mit einer Schalung, Platten, Trockenestrich bzw. mit einem schwimmenden Estrich abgedeckt werden. Letztere Variante stellt im Allgemeinen die kostengünstigste Variante dar, wenn die Statik der Decke die zusätzliche Last zulässt. Bei der Dicke der Dämmung muss im Dachbereich im Allgemeinen nicht gespart werden. Fast immer lassen sich kostengünstige Lösungen ohne große Einschränkungen festlegen. Einschränkungen sind dann gegeben, wenn Dachbodenabteile im Zuge der Sanierung nicht freigeräumt bzw. erneuert werden.

Auf einer nicht begehrbaren Decke kann eine einfache Dämmung mit Dämmmatten oder Aufblasdämmung gewählt werden. Wichtig ist die Vermeidung von Konvektion innerhalb der oberen Dämmbereiche oder gar durch Fugen bis weiter hinab; dazu muss entweder eine winddichte Abdeckung erfolgen oder die Dämmung so ausgelegt sein, dass dieser Effekt sicher ausgeschlossen wird. Zu beachten ist ebenfalls, dass bei faserigem Dämmstoff kein Faseraustrag in Aufenthalts- oder Außenbereiche erfolgt. Diese Variante ist in HH-Dulsberg eher selten gegeben.

Eine Zwischenlösung zwischen den beiden dargestellten Varianten ist möglich, indem auf Dämmklötzen eine einfache Schalung aufgeständert und der sich ergebende Bereich mit Dämmmaterial ausgeblasen wird. Diese Konstruktion ist kostengünstig und ausreichend begehrbar.

Die Kosten für diese Konstruktionen werden in der folgenden Abbildung dargestellt. Die Hauptpositionen der Dämmung und Nebenpositionen wie luftdichtende Dampfbremse, Estrich (Kostengruppe 300 nach DIN 276 ohne MWSt.) werden im Diagramm farblich unterschieden. Dabei wird unterteilt nach einem optimierten, mittleren und höheren Kostenniveau. Für den EnEV-Standard 2009 (Neubau) ist

eine Dämmdicke von 15 cm angesetzt (blau Hauptposition, grau Nebenpositionen), die Mehrinvestitionen für die Standards KfW 85 (grün), KfW 70 (rot) und KfW 55 (schwarz) weisen jeweils Dämmdicken-Sprünge von 3 bis 4 cm auf, sodass der Standard KfW 55 bei 25 cm Dämmdicke liegt. Die spezifischen Mehrinvestitionen betragen etwa 0,65 bis 0,85 € netto pro cm Dämmdicke.

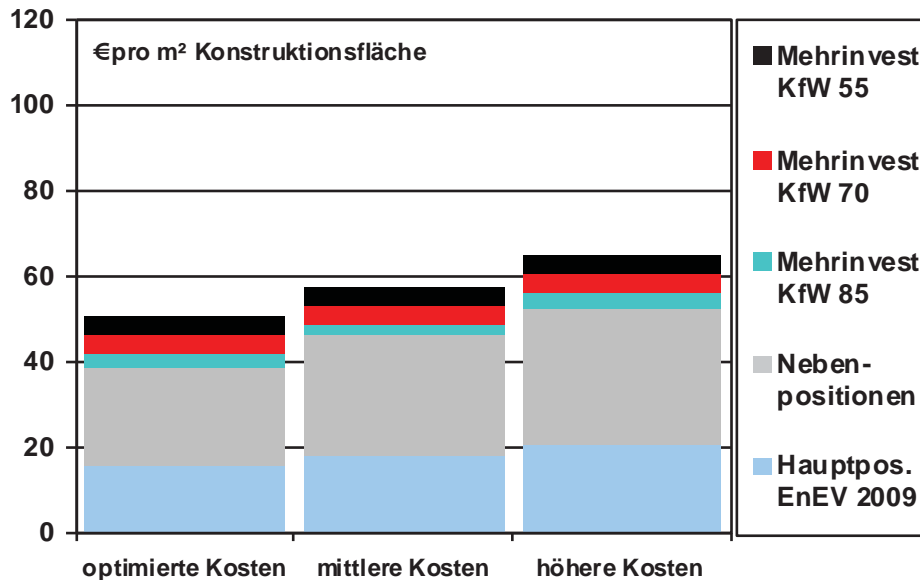


Abbildung 10: Dämmung der Decke über OG: Kosten (Kostengruppe 300 nach DIN 276 ohne MWSt.) für die energetische Modernisierung mit PS-Dämmung in Verbindung mit einem schwimmenden Estrich unterteilt nach einem optimierten, mittleren und höheren Kostenniveau. Für den EnEV-Standard 2009 (Neubau) ist eine Dämmdicke von 15 cm angesetzt (blau Hauptposition, grau Nebenpositionen), die Mehrinvestitionen für die Standards KfW 85 (grün), KfW 70 (rot) und KfW 55 (schwarz) weisen jeweils Dämmdicken-Sprünge von 3 bis 4 cm auf mit einer Dämmdicke von 25 cm bei dem Standard KfW 55. Die spezifischen Mehrinvestitionen betragen etwa 0,65 bis 0,85 € netto pro cm Dämmdicke

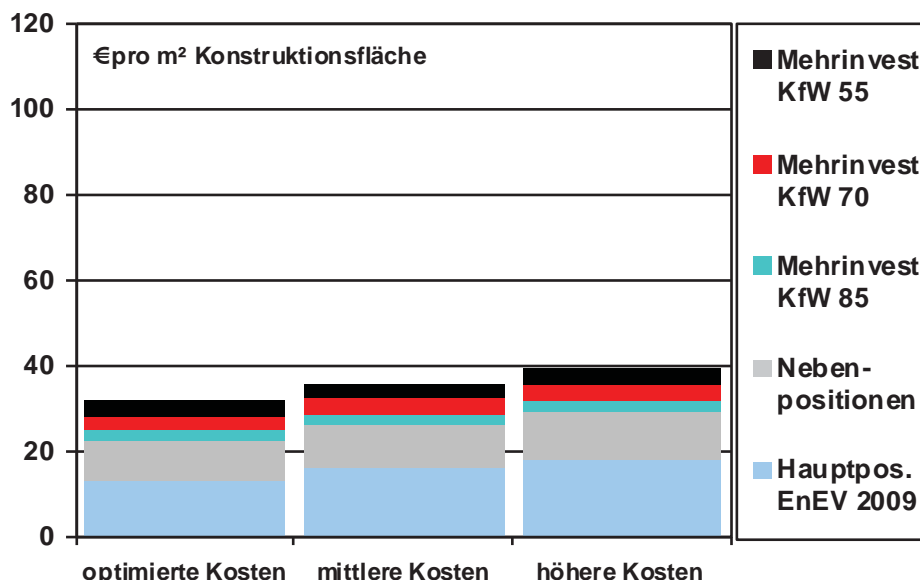


Abbildung 11: Dämmung der Decke über OG mit Aufblasdämmung, nicht begebar: Wie im vorherigen Fall ist für den EnEV-Standard 2009 (Neubau) eine Dämmdicke von 15 cm angesetzt (blau Hauptposition, grau Nebenpositionen), die Mehrinvestitionen für die Standards KfW 85 (grün), KfW 70 (rot) und KfW 55 (schwarz) weisen jeweils Dämmdicken-Sprünge von 3 bis 4 cm auf mit einer Dämmdicke von 25 cm bei dem Standard KfW 55. Die spezifischen Mehrinvestitionen betragen etwa 0,60 bis 1,10 € netto pro cm Dämmdicke in Abhängigkeit vom Aufblasmaterial

2.3 Kellerdecke – Bodenplatte

Bei Bestandsgebäuden sind Raumhöhen im Keller und Erdgeschoss vorgegeben, sodass die sehr kostengünstige Lösung der Dämmung unterhalb des Estrichs im Erdgeschoss meistens nicht umsetzbar ist. Zudem ist es bei Sanierungen im bewohnten Zustand nicht möglich, den Unterbodenaufbau zu erneuern. Deshalb erfolgt meistens eine nachträgliche Dämmung unterhalb der Kellerdecke. Die Dämmdicke kann dabei durch begrenzte Kellerhöhen begrenzt sein. Das gilt insbesondere für Gebäude der 1920er bis 1950er Jahre.

Die Dämmplatten werden unter die vorhandene Decke geklebt oder gedübelt und ggf. verspachtelt. Ist die Raumhöhe ausreichend, können ohne großen Aufwand und mit verträglichen Mehrinvestitionen große Dämmdicken untergebracht werden.

Falls der Erdgeschossboden ohnehin saniert wird, kann dort zusätzliche Dämmung untergebracht werden. In Sonderfällen kann mit erhöhtem Kosteneinsatz durch Vakuumdämmung mit minimaler Höhe von 4 cm Dämmdicke ein U-Wert um 0,15 W/(m²K) erzielt werden.

Kellerdecken können relativ unabhängig von einer Gesamtmodernisierung energetisch saniert werden; dabei sind vor allem Anschlusspunkte und Schnittstellen zu beachten: Leitungen unter der Decke, Kellerfensteranschlüsse, Unterteilungen im Keller sowie Kellertüren. Nicht vernachlässigt werden sollte bei der Planung die Kellerbelegung. Das Ausräumen von Kellern vor dem Anbringen von Deckendämmungen kann einen beträchtlichen Aufwand ausmachen.

In der Abbildung werden Kosten für die Dämmung der Decke über dem Kellergeschoss dargestellt. Erfasst sind die Kosten nach Kostengruppe 300 nach DIN 276 ohne MWSt. für die energetische Modernisierung mit PS-Dämmung unterhalb der Decke und einer Verspachtelung von der Unterseite. Unterteilt wird nach einem optimierten, mittleren und höheren Kostenniveau. Für den EnEV-Standard 2009 (Neubau) ist eine Dämmdicke von 10 cm angesetzt (blau Hauptposition Dämmung und Spachtelung, grau Nebenpositionen), die Dämmdicken für die Standards KfW 85 (grün) betragen 14 cm, KfW 70 (rot) 17 cm und KfW 55 (schwarz) 20 cm. Die spezifischen Mehrinvestitionen betragen etwa 1,05 bis 1,35 € netto pro cm Dämmdicke.

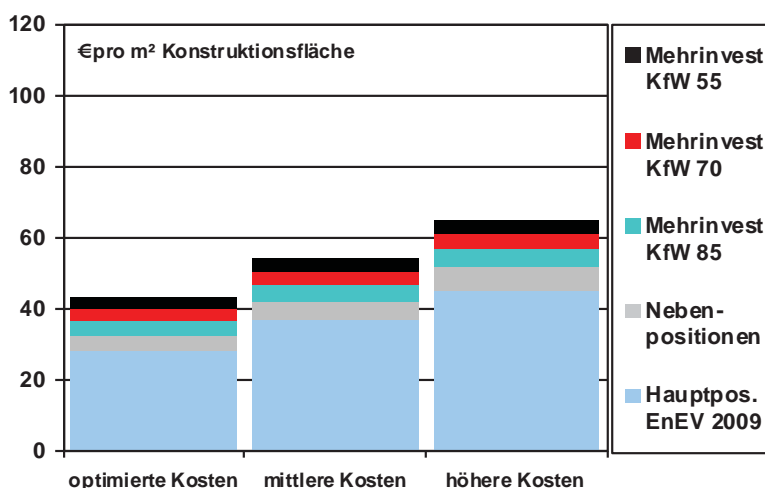


Abbildung 12: Dämmung der Decke über KG: Kosten (Kostengruppe 300 nach DIN 276 ohne MWSt.) für die energetische Modernisierung mit PS-Dämmung unterhalb der Decke unterteilt nach einem optimierten, mittleren und höheren Kostenniveau. Für den EnEV-Standard 2009 (Neubau) ist eine Dämmdicke von 10 cm angesetzt (blau Hauptposition, grau Nebenpositionen), die Dämmdicken für die Standards KfW 85 (grün) betragen 14 cm, KfW 70 (rot) 17 cm und KfW 55 (schwarz) 20 cm. Die spezifischen Mehrinvestitionen betragen etwa 1,05 bis 1,35 € netto pro cm Dämmdicke

2.4 Fenster

Die höchste Dynamik in der Kosten- und Bauteilentwicklung war in den letzten Jahren bei den Fenstern zu sehen. Standardmäßig wurden bis dahin klassische Rahmen wie z. B. Kunststoff-Fünfkammerprofile mit einer Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung und einem U_W -Wert von etwa 1,3 W/(m²K) eingebaut. Seit Einführung der EnEV 2009 war zunehmend ein deutliches Umdenken zu beobachten und es werden in den letzten Jahren Fenster mit deutlich verbesserten Kennwerten auch für Standardsituationen ausgeschrieben. Die meisten Bauherren bauen inzwischen grundsätzlich Fenster mit Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung ein. Dabei sind folgende Aspekte zu beachten.

Verglasung: Zweischeiben-Wärmeschutzverglasungen weisen üblicherweise einen U_g -Wert von 1,1 W/(m²K) auf. Die Gläser sind metalloxid-beschichtet und der Scheibenzwischenraum ist mit Argon gefüllt. Mit Kryptonfüllung sind U_g -Werte bis 0,9 W/(m²K) möglich. Dreischeibenwärmeschutzverglasung ist in den letzten Jahren zunehmend kostengünstiger geworden und ist mit der kostengünstigen Argonfüllung mit U_g -Werten von 0,6 W/(m²K) zu fertigen. Bei etwas erhöhtem Scheibenzwischenraum kann nochmals nahezu kostenneutral eine Verbesserung auf U_g -Wert = 0,5 W/(m²K) erzielt werden. Die Mehrinvestitionen für die Dreischeibenverglasungen liegen bei 20 bis 35 €/m².

Randverbund: Verbesserte Materialien für den Randverbund der Gläser sind inzwischen zum Standard geworden, wodurch die Kosten deutlich niedriger liegen als noch vor wenigen Jahren. Es ist davon auszugehen, dass in Zukunft ausschließlich hocheffiziente Randverbünde hergestellt werden, ohne Kostenaufschlag zu den bisherigen Systemen.

Fensterrahmen: Durch die Entwicklung von gedämmten Passivhausprofilen mit Rahmen-U-Werten von 0,65 bis 0,8 W/(m²K) ist in der Fensterindustrie ein grundlegendes Umdenken entstanden. Während die Passivhausrahmen zunächst als Nischenprodukt im Hochpreisniveau behandelt wurden, haben hocheffiziente Fensterrahmen inzwischen Eingang in die Mainstreamproduktion gefunden. Das gilt sowohl für die Holz- wie auch für die Kunststofffenster. Bei beiden kann durch einfache Weiterentwicklungen bisher handelsüblicher Profile eine hohe Effizienz erreicht werden. So wird bei Kunststoffrahmen durch faserbewehrte Werkstoffe bei Standardgrößen auf Stahlbewehrung in den Profilen verzichtet. Die Hohlräume können ggf. durch hochwertige Dämmeinlagen ersetzt werden. Dadurch können bei sechs bis acht cm dicken Kunststoffprofilen bei sehr kostengünstigen Fertigungsmethoden U_F -Werte von 0,75 bis 0,95 W/(m²K) erreicht werden. Auch bei Holzfenstern spricht insbesondere bei der Sanierung alles dafür, die Profiltiefe auf 10 bis 12 cm zu erweitern und damit bei geringen Änderungen hinsichtlich der Produktionskosten eine weitere Verbesserung zu erzielen. Für den Bestand ist es vorteilhaft, diese dickere Rahmen zu haben, weil dadurch die erhöhte Wanddicke inklusive Dämmung kaschiert wird sowie Vorteile hinsichtlich der Einbausituation möglich sind. Bei Holz-Alu-Fenstern ist der gleiche Effekt gegeben. Das Erhöhen der Dämmdicke beim ohnehin erforderlichen Anschlussprofil zwischen Holz und Kunststoff ist mit minimalen Kosten möglich, sodass die energetisch hochwertigen Profile mehr oder minder kostenneutral hergestellt werden können, wenn sie in die Massenproduktion gelangen.

Fenster-Kennwerte: Durch die Verbesserung der Komponenten können kostengünstig Fenster mit U_W -Werten von 0,85 bis 0,95 W/(m²K) gebaut werden. Es ist absehbar, dass Passivhausfenster kurzfristig in das gleich günstige Preissegment rücken. Einzelne Hersteller bieten entsprechende Produkte bereits an.

Einbausituation: Die Einbausituation der Fenster ist aus bautechnischer Sicht für alle Fenster gleich. Befestigungstechnik und luftdichte Verklebung sind in jedem Fall gefordert. Bisher ist die Baupraxis nur insofern abgewichen, dass bei Standardfenstern keine angemessene Qualitätssicherung durchge-

führt wurde und deshalb in einzelnen Fällen fälschlicherweise sogar auf die luftdichte Ausführung verzichtet wurde. Als Umkehrschluss ist daraus abzuleiten, dass die Einbaukosten für Standardfenster und Effizienzfenster nicht stark abweichen. Es ist allerdings das höhere Gewicht der Scheiben zu beachten und ggf. die erhöhten Anforderungen für das Versetzen der Fenster in die Dämmebene.

Denkmalschutz: Die Sanierungswelle im Dulsberg-Gebiet Ende der 1980er bis in die 1990er Jahre hat bei zahlreichen Gebäuden zum Einbau sehr einfach gestalteter Holz- und Kunststoff-Fenster geführt. Insbesondere bei Fassaden, die im PPL-Gutachten als hochwertig in den Klassen A und AA klassifiziert werden, muss bei weiteren Erneuerungszyklen überprüft werden, inwieweit höhere Anforderungen erfüllt werden sollten. Dazu eignen sich hervorragend Kastenfenster, die auf der Außenseite als Fenster mit Einscheibenverglasung historische Gestaltungsvorgaben sehr hochwertig reproduzieren können. Das Innenfenster kann mit Dreischeibenverglasung ausgeführt werden, sodass ein U_w -Wert im Bereich 0,65 bis 0,85 $W/(m^2K)$ erreicht werden kann. Gerade bei Fenstern lassen sich auf diesem Weg Denkmalschutz und Energieeffizienz sehr gut verbinden.

Kosten: In der Abbildung werden Fensterkosten für Kunststoff- und Holzfenster gegenüber gestellt (Kostengruppe 300 nach DIN 276 ohne MWSt.) inklusive Nebenkosten wie dem Ausbau der alten Fenster, Einputzarbeiten und dem Erstellen der Fensterbretter. Dabei wird unterteilt nach einem optimierten Standard, der inzwischen bei vielen Herstellern für einfache Fensterlösungen darstellbar ist. Die Mehrinvestitionen für den Standard KfW EH 55 mit $U_w = 0,8 W/(m^2K)$ gegenüber klassischen Fenstern mit Zweischeibenverglasung beträgt bei den meisten Herstellern nur noch 35 bis 50 €/m². Die Differenzkosten von über 100 €/m², wie sie bei den mittleren und höheren Kosten dargestellt werden, sind nur bei der geringeren Anzahl von Anbietern anzutreffen. Für den EnEV-Standard 2009 (Neubau) ist ein Wert für U_w von 1,3 $W/(m^2K)$ angesetzt (blau Hauptposition, grau Nebenpositionen), für den Standard KfW 85 (grün) $U_w = 0,9 W/(m^2K)$, KfW 70 (rot) $U_w = 0,85 W/(m^2K)$ und KfW 55 (schwarz) $U_w = 0,8 W/(m^2K)$.

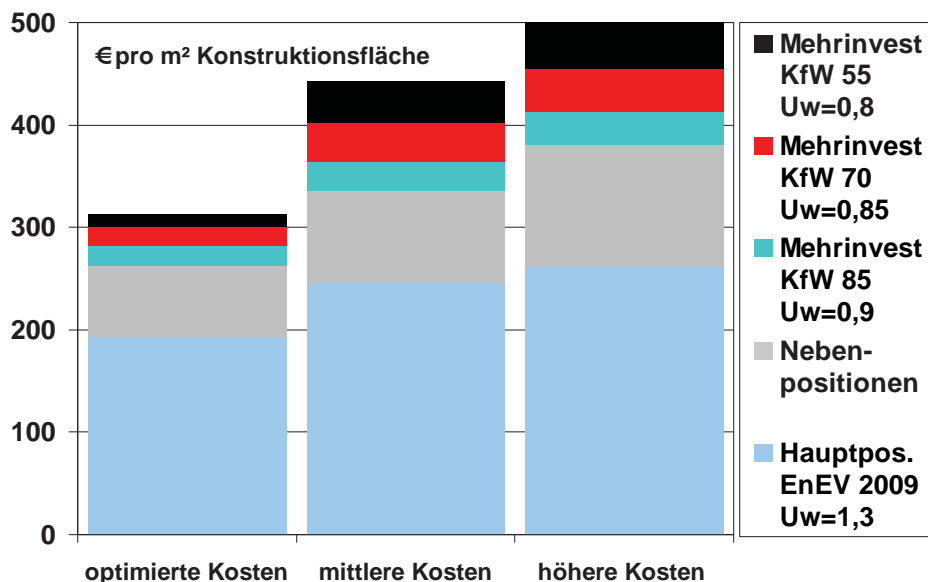


Abbildung 13: Gegenüberstellung von Fensterkosten (Kostengruppe 300 nach DIN 276 ohne MWSt.) inklusive Nebenkosten wie Einputzarbeiten unterteilt nach unterschiedlichen Kostenniveaus. Für den EnEV-Standard 2009 (Neubau) ist ein Wert für U_w von 1,3 $W/(m^2K)$ angesetzt (blau Hauptposition, grau Nebenpositionen), für den Standard KfW 85 (grün) $U_w = 0,9 W/(m^2K)$, KfW 70 (rot) $U_w = 0,85 W/(m^2K)$ und KfW 55 (schwarz) $U_w = 0,8 W/(m^2K)$.

2.5 Türen

Türen sind sehr hochwertige und kostenintensive Produkte. Zugleich ist die Fläche bei Mehrfamilienhäusern sehr begrenzt, sodass hinsichtlich der energetischen Beurteilung bei Einzelaspekten zurückhaltendere Standards möglich sind und die Entscheidung unter anderen Aspekten gefällt werden kann.

Wohnungseingangstüren: Die Wohnungseingangstüren liegen bei den Gebäuden in Dulsberg bis auf die Laubenganghäuser innerhalb der Treppenhäuser, d. h. innerhalb der thermischen Hülle. Deshalb können sie nach üblichen Anforderungen erneuert werden, ohne thermische Anforderungen. Im Bereich der Treppenhäuser sind im Allgemeinen keine Heizkörper erforderlich. Durch die gute Dämmung treten selbstregelnd über die Treppenhauswände Temperaturen von knapp 17 bis 20 °C auf. Nur im Eingangsbereich hinter der Hauseingangstür liegt die Temperatur oftmals etwas niedriger. Gegebenenfalls sollte in diesen Bereichen zu den Wohnungen eine kleine Dämmung aufgebracht werden.

Hauseingangstüren: Da bei üblichen Wohngebäuden die Transmissionsfläche der Hauseingangstür nur im Promillebereich der Hüllfläche liegt, ist der U-Wert der Tür weniger relevant als eine hochwertige Tür hinsichtlich des Schließmechanismus und der Luftdichtheit. Bei Leckagen ist der Einfluss der Thermik im Treppenhaus deutlich höher als der Effekt über die Transmissionsverluste. Sinnvoll sind Türen mit möglichst günstigen Rahmen-U-Werten in Verbindung mit einer energetisch hochwertigen Verglasung mit $U_g = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und vor allem einer sehr guten Schließfähigkeit, um durch gute Luftdichtheit einen erhöhten Luftaustausch zu vermeiden.

Innentüren zum unbeheizten Bereich: Türen zum Keller, Dachgeschoss oder Technikräumen, die direkt vom Treppenhaus abgehen, müssen neben den Brandschutzanforderungen ebenso wie die Hauseingangstür einen sicheren selbstschließenden Schließmechanismus und hohe Luftdichtheit aufweisen. Es gibt zahlreiche Hersteller, die ohne nennenswerte Mehrkosten Türen mit U-Werten von 0,85 bis 1,15 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ anbieten.

3 Qualitätssicherung und Komfortfaktoren

3.1 Bauphysik

Die Beachtung bauphysikalischer Parameter rückt bei Sanierungsentscheidungen zunehmend in den Fokus der Planer und Bauherren. Dabei geht es nicht nur um die energetischen Kennwerte, sondern zunehmend um „weiche“ Faktoren wie Komfort, Behaglichkeit und hohe Raumluftqualität. Mittelfristig werden nur bauphysikalisch hochwertige Wohnungen einer ausreichenden Nachfrage unterliegen.

Behaglichkeits- und Komfortfaktoren beziehen sich zunächst auf die Situation im Winter. Wichtige Faktoren sind dabei die Oberflächentemperaturen auf der Innenseite von Außenbauteilen und die dadurch bedingte Strahlungstemperatur-Asymmetrie sowie Temperaturschichtung, Raumluftbewegung und die Temperaturen in den unterschiedlichen Gebäudezonen.

3.2 Oberflächentemperaturen und Strahlungstemperatur

Nicht hinreichend gedämmte Konstruktionsteile der Transmissionsflächen führen zu einer ungünstigen Situation hinsichtlich der Oberflächentemperaturen und des Komforts im Gebäude. Bestandsgebäude weisen bis in die 1970er Jahre U-Werte im Bereich von 1,0 bis 1,6 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ auf. Bei niedrigen

Außentemperaturen resultieren daraus Oberflächentemperaturen an der innenseitigen Oberfläche der Außenbauteile von vier bis acht Kelvin unterhalb der Raumlufthtemperatur.

Dadurch entstehen eine unbehagliche Situation in den Räumen sowie eine Strahlungstemperatur-Asymmetrie. Die Temperaturdifferenzen im Raum sind sehr hoch und liegen im Allgemeinen bei 5 bis 8 Kelvin, in Verbindung mit ungünstigen Fenster-U-Werten z. T. deutlich darüber. Der geringe Komfort zeigt sich in dem charakteristischen Effekt von „kalten Füßen – heißer Kopf“.

3.3 Kondenswasserniederschlag und Schimmelpilzbildung

Wasserdampf ist ein trockenes Gas, welches keine Bauschäden verursachen kann. Wenn allerdings wasserdampfhaltige Luft abkühlt und sich die relative Luftfeuchte auf 75% bis 100% erhöht, fällt Kondenswasser in Tropfenform an. Kondenswasseranfall und in der Folge Schimmelpilzbildung können auf Grund von Kapillarkondensation bereits bei Feuchten über 75% bzw. 80%, bezogen auf die dazugehörige Oberflächentemperatur, entstehen. Im Wohnbereich stellen Oberflächentemperaturen unterhalb von etwa 15 °C Probleme dar, weil in gestörten Bereichen – z. B. durch eine Möblierung auf der Innenseite der Außenwand – die Temperatur hinter diesem Möbelstück auf Werte unterhalb 12 bis 13 °C sinken kann, was zu Kondenswasserausfall führen kann. Das gilt für alle Außenbauteile mit einem U-Wert ca. $> 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, aber insbesondere auch für Anschlussdetails von Konstruktionen wie z. B. im Sockelbereich oder dreidimensionalen Ecken, die in der Fläche deutlich günstigere U-Werte aufweisen. In der Praxis können in Wärmebrückenbereichen noch bei Konstruktionen mit einem U-Wert um $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ Kondenswasserprobleme auftreten. D. h. erst ab einer Dämmdicke von 16 cm, in schwierigen Bereichen auch darüber, tritt mit hoher Wahrscheinlichkeit auch bei ungünstigem Nutzerverhalten kein diesbezüglicher Schaden mehr auf.

3.4 Raumlufthbewegung

Durch die Strahlungstemperatur-Asymmetrie ist ein Antrieb zur Bewegung der Raumlufth gegeben. An den Außenbauteilen fällt die Luft auf Grund der Abkühlung ab und es entwickelt sich eine Luftwalze z.B. abwärts der Außenwand. Die abgekühlte Luft streicht dann über den Fußboden und erzeugt für die Nutzer einen deutlichen Diskomfort. Kommt dazu ein überlagernder Effekt durch den Luftabtrieb an den Fenstern, so verstärken sich diese Symptome. Eine weitere Verschärfung ergibt sich bei Luftundichtheiten in der Gebäudehülle, insbesondere im Fensterbereich.

Ein Heizkörper unter dem Fenster kann der Luftwalze entgegen wirken. Dennoch bleibt in den Räumen die Tendenz zu einer kühlen Temperatur am Boden und einer deutlich höheren Temperatur unter der Decke bestehen. Bei Anwendung von Wandflächenheizungen kann der Komfort verbessert werden. Allerdings sind aus energetischer Sicht Flächenaktivierungen an Außenwandflächen nur sinnvoll, wenn eine hochwertige Dämmung den direkten Wärmeverlust nach außen verhindert. Mithin ist es bauphysikalisch günstiger, eine ursächliche konstruktive Lösung durch ausreichende Dämmung der Konstruktion zu wählen, bei der die Art der Heizung nur noch eine untergeordnete Rolle spielt.

Ein weiterer Eintrag kann durch den Auftrieb erfolgen, wenn z. B. geöffnete Fenster im Keller in Verbindung mit undichten Keller- und Wohnungstüren zu einem kontinuierlichen Zug führen. Die kalte Luft zieht aus dem Keller über das Treppenhaus in die Wohnungen und entweicht über Leckagen in der Wohnung. Je größer die wirksame Höhe, desto stärker ist dieser Effekt durch die Thermik spürbar.

3.5 Wärmebrücken

Wärmebrücken sind Bereiche der Gebäudehülle, an denen gegenüber der Fläche erhöhte Transmissionswärmeverluste auftreten. Bei mäßiger Detailausbildung liegt ihr Verlustanteil bei 10 bis 20% – in ungünstigen Fällen bei über 30% der Transmissionsverluste über die Transmissionsflächen des Gebäudes. Die Auswirkungen hinsichtlich der niedrigen raumseitigen Oberflächentemperaturen und der sich daraus ergebenden Schimmelpilzproblematik sind gravierend und mindern Komfort und Gesundheitsqualität eines Gebäudes erheblich.

Wärmebrückenverluste werden nach EnEV pauschal mit einem Aufschlag zum U-Wert von 0,1 W/(m²K) gerechnet, bei Einhaltung der vorgegebenen Standarddetails nach DIN 4108 (Beiblatt 2) mit 0,05 W/(m²K). Diese sind allerdings bei der Sanierung nur in neu ausgebildeten Bereichen ausführbar. Bei bestehenden Verbindungen nach unten wie dem Sockel und Innenwandanschlüssen zum Keller sind fast keine Möglichkeiten zur Anwendung gegeben. Jedes Detail muss individuell hinsichtlich der Wärmebrückenwirkung optimiert werden. Dies geschieht vor allem auf dem Weg, dass der Weg des Wärmeabflusses durch flankierende Dämmung etc. verlängert und damit der Psi-Wert reduziert wird.

Es ist sinnvoll, die Details in dieser Form individuell zu verbessern und die Wärmebrücken in der energetischen Berechnung exakt zu bilanzieren. Der Aufwand zur exakten Berechnung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten (Ψ) [EN ISO 10211-2] ist sehr hoch und liegt bei 120 bis 400 € pro Wärmebrücke. Details aus Wärmebrückenkatalogen für die Sanierung stehen in zahlreichen Veröffentlichungen und Internetplattformen zur Verfügung. Nur ein Teil dieser Quellen bietet aber Werte für die hohen Dämmdicken, die bei zahlreichen Projekten umgesetzt wurden [dena 2009, proKlima 2009, Schulze Darup 2004].

Grundsätzlich ist die Qualitätssicherung hinsichtlich der Wärmebrückensituation bei jedem Gebäude durchzuführen, sodass kostenmäßig keine Differenz gegeben ist. Die oft vertretene Ansicht, dass Wärmebrücken erst bei hoch effizienten Gebäuden zu betrachten sind, ist falsch. Gerade bei Gebäuden mit geringer Dämmdicke unter etwa 16 cm Dämmdicke ist die Gefahr von niedrigen Temperaturen auf den Innenoberflächen von Wärmebrückenbereichen gegeben. Unterschreitet die innenseitige Oberflächentemperatur in solchen meist zwei- oder dreidimensionalen Wärmebrückensituationen den Wert von 12,5 bis 13 °C, so ist bei üblichem Lüftungsverhalten mit Kondenswasserniederschlag und Schimmelpilzbildung zu rechnen. Das gilt besonders, wenn Möbel oder Vorhänge an Außenwandflächen positioniert werden.

Besondere Bedeutung erhält die Wärmebrückenoptimierung bei der Ausführung von Innendämmung. Eine bauphysikalisch hochwertige Begleitung ist insbesondere in diesen Fällen von besonderer Bedeutung.

Die schwerwiegendsten Beeinträchtigungen sind allerdings bei ungedämmten Wänden zu erwarten, insbesondere in Verbindung mit dem Einbau neuer Fenster. Bei solchen Gebäudekonfigurationen ist davon auszugehen, dass bei einem nicht unbedeutenden Teil der Wohnungen Probleme mit Kondenswasserniederschlag und Schimmelpilzbildung bestehen. Erkennbar sind diese Mängel nur bei einem Teil der Wohnungen, weil der stärkste Befall hinter Möbeln zu verzeichnen sein wird, die an Außenwände und insbesondere Außenwandecken angrenzen.

3.6 Qualitätssicherung – Luftdichtheit

Gemäß Energieeinsparverordnung müssen Gebäude so ausgeführt werden, dass die Wärme übertragende Umfassungsfläche einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig entsprechend dem Stand der Technik abgedichtet ist. Eine luft- und winddichte Ausführung bewirkt für den Nutzer zahlreiche Vorteile:

- Vermeidung von baukonstruktiven Schäden: Werden undichte Bauteile von innen nach außen mit Luft durchströmt, kondensiert auf Grund der Abkühlung in der Konstruktion der Wasserdampf und fällt im Bauteil in Tröpfchenform an mit der Folge von Bauschäden.
- Funktion der Wärmedämmung: Wenn zwar die innere luftdichtende Schicht funktionsfähig ist, jedoch auf der Außenseite der Dämmung kein winddichter Schutz vorhanden ist, kann die Wärmedämmung von Kaltluft durchströmt werden. In diesem Fall wird die Wärmedämmfähigkeit der Konstruktion in der Praxis deutlich herabgesetzt.
- Luftschallschutz: Jede Leckage verschlechtert den Luftschallschutz. Gute Luftdichtheit ist daher Bestandteil des Schallschutzkonzepts.
- Höhere Luftqualität: Unkontrollierter Eintritt von Luft in Aufenthaltsräume kann zu erhöhter Schadstoffkonzentration führen. So kann Luft, die durch eine Konstruktion strömt, die Raumluft mit faserigen Dämmstoffen oder Partikeln belasten. Wird Luft durch den thermischen Auftrieb aus dem Keller in die darüber liegenden Wohnbereiche geführt, können Belastungen durch Mikroorganismen, Schadstoffe aus im Keller gelagerten Materialien und ggf. erhöhte Konzentrationen von Radon auftreten.
- Funktionsfähigkeit von Lüftungsanlagen: Werden Lüftungsanlagen in einem Gebäude installiert, soll die frische Außenluft dem Innenraum in planungsgemäßer Form zugeführt werden. Das gilt sowohl für Abluftkonzepte, die in eine Disbalance geraten, wenn durch eine Leckage in einem Raum die dort angesaugte Luftmenge deutlich höher liegt, als auch für Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung, bei denen die hohe Wirksamkeit nur gegeben ist, wenn die zu erwärmende Luft tatsächlich über den Wärmetauscher des Gerätes zugeführt wird und nicht durch Leckagen in einzelnen Räumen.

Bei der Sanierung eines Gebäudes muss frühzeitig das Dichtheitskonzept erarbeitet werden. Stichpunktartig einige wichtige Aspekte dazu:

- Möglichst einfaches Konzept für die Abdichtungsflächen mit möglichst wenig Materialwechseln;
- Lage der wind- und luftdichten Ebene festlegen, klare Abtrennung zu unbeheizten Bereichen (z. B. Keller);
- Länge der Anschlüsse minimieren, homogene Flächen ausführen;
- Haustechnik-Durchführungen reduzieren;
- Durchdringungen und Anschlüsse bei der Detailplanung und Abstimmung mit den Handwerkern abklären.

Die luftdichtende Schicht bildet beim Mauerwerk der Innenputz. Bei Leichtbaukonstruktionen wird im Allgemeinen mit der Dampfbremsebene abgedichtet, gleich ob sie als Folie oder mit Platten ausgeführt wird. Bei Anschlüssen in der Fläche und zu angrenzenden Konstruktionen muss auf dauerhafte Abdichtung geachtet werden. Die Bewegung der Konstruktionsteile muss von den Anschlussstellen aufgenommen werden. Auf die Winddichtung außen muss geachtet werden.

Anhang A – Technische Grundlagen

ARGE: Ecofys Germany GmbH, GEF Ingenieur AG, Dr. Burkhard Schulze-Darup, PPL Architektur und Stadtplanung GmbH, büro lucherhandt

Durchdringungen und Durchbrüche, wie z. B. bei Leerrohren und Leitungsführungen der Elektroinstallation sowie Steigschächten und Kaminen erfordern besondere Sorgfalt.

Bei Mehrfamilienhäusern muss jede Wohnung für sich dicht sein. Das gilt insbesondere beim Einsatz von Lüftungsanlagen. Besonders anspruchsvoll kann die Abdichtung einer Geschossdecke in Holzbauweise sein.

Zum Nachweis der Dichtheit eines Gebäudes wird ein Luftdichtheitstest nach DIN EN 13829 durchgeführt. Dazu wird mittels eines Ventilators einer dicht eingebauten Blower-Door eine Druckdifferenz erzeugt. Der resultierende Luftvolumenstrom für die Unterdruck- als auch Überdruckmessung wird für die Druckdifferenz von 50 Pascal ermittelt. Gewöhnlich liegen die beiden Werte eng beieinander, sofern kein Klappenventil-Effekt einer Leckage vorliegt oder die Windeinflüsse zu hoch sind. Der Mittelwert ist der gemessene n_{50} -Wert. Bei Unterdruck können mittels Anemometer, durch Nebel oder Infrarot-Thermografie Leckagen festgestellt werden. Die Kosten für Blower-Door-Messungen liegen für ein Mehrfamilienhaus bei etwa 600 bis 1.500 € und umfassen die Installation der Messtechnik, die Begehung des Gebäudes zur Feststellung der Leckagen sowie ein Messprotokoll, in dem der n_{50} -Wert ermittelt wird.

4 Maßnahmenpakete zur energetischen Sanierung

Eine Sanierung von einzelnen Bauteilen ist nur sinnvoll, wenn hinter diesem Vorgehen ein strategisches Gesamtkonzept steht, das sowohl die technischen als auch wirtschaftlichen Rahmenbedingungen umfasst. Grundsätzlich ist aus technischer und energetischer Sicht festzustellen, dass Gesamtkonzepte als sinnvoller zu bewerten sind, da weniger Schnittstellenproblematiken auftreten und entsprechend weniger doppelte Kosten entfallen, die bei schrittweisem Vorgehen entstehen. Insofern weisen die Handlungsempfehlungen im Gutachten, Kapitel V vor allem solche Gesamtkonzepte aus (Varianten 1 bis 6 gemäß Gutachten, Kapitel III-1) neben den niederschweligen Maßnahmen (Varianten 7 bis 9 / A III-1). Selbstverständlich können solche Gesamtsanierungen aber auch unterteilt in Bauabschnitten durchgeführt worden. Dies kann aus finanzierungstechnischen Gründen ebenso sinnvoll sein als z.B. aus Gründen des Erneuerungszyklus der verschiedenen Bauteile. Sind Gebäude bereits teilsaniert, so können diejenigen Maßnahmen vorgezogen werden, die bisher noch keiner Erneuerung unterzogen wurden.

Sinnvoll sind Bauteilmodernisierungen z. B. in folgenden Fällen:

- Grundsätzlich muss jedes Bauteil der Wärme übertragenden Gebäudehülle, das energetisch modernisiert wird, mit einem höchstmöglichen energetischen Standard ausgeführt werden, der aus Sicht von Denkmalschutz und Wirtschaftlichkeit vertretbar ist, um erneute energetisch bedingte Investitionen vor Ablauf der Abschreibungszeit bzw. Nutzungsdauer eines jeden Bauteils zu vermeiden; die meisten dieser Bauteile weisen eine Lebenserwartung von dreißig bis fünfzig Jahren auf. Mittlere Qualität führt zu dem Dilemma, dass vor Ablauf der Nutzungsdauer aus energetischen bzw. Klimaschutzgründen mit hoher Wahrscheinlichkeit wiederum eine erneute Maßnahme erforderlich sein wird, die dann im doppelten Sinn unwirtschaftlich sein wird.
- Vorhandene Teilmodernisierungen (z. B. Fenster): sind Fenster erst wenige Jahre alt, ist einem Mieter keine weitere Erneuerung zuzumuten, wenn das Gebäude modernisiert wird; in diesem Fall muss nach Lösungen gesucht werden, um Anschlüsse und Schnittstellen technisch und kostengünstig sinnvoll zu gestalten.

- es besteht ein akuter Baumangel an dem Gebäude und nur durch eine Sofortmaßnahme an dem Bauteil kann Abhilfe geschaffen werden.
- relativ unabhängig von einer Gesamtmodernisierung können folgende Bauteile, auch in Form von niederschweligen Maßnahmen, energetisch saniert werden: Kellerdecken, Dächer und Dachböden; zuvor ist jedoch ein energetisches und architektonisches Gesamtkonzept zu erstellen, um im Nachhinein keine erhöhten Kosten durch Schnittstellenprobleme zu erhalten.

Die Entkopplung der Sanierung von Gebäudehülle und Wohnungen ermöglicht eine hochwertige energetische Modernisierung zu relativ günstigen Kosten, weil bei gezielter Auswahl der Maßnahmen nahezu ausschließlich die energetischen Aspekte der Transmissionsflächen aufgewertet werden sowie die Gebäudetechnik. Solche Maßnahmenpakete sind im Rahmen von 350 bis 650 €/m² Wohnfläche möglich (Kostengruppe 300/400 nach DIN 276 inkl. MWSt.). Zudem werden bei diesem Vorgehen alle Bauteile zusammengefasst, die eine Lebenserwartung von 30 bis 50 Jahren aufweisen.

Diese Art von Modernisierung wird im Allgemeinen im bewohnten Zustand ausgeführt, was gegenüber einer Entmietung deutliche Kostenvorteile mit sich bringt.

Parallel dazu werden die Wohnungen jeweils bei Mieterwechsel erneuert. Der Zyklus für diese Maßnahmen kann zwischen 15 und 30 Jahren liegen und dem jeweiligen Bedarf der Mieter angepasst werden. Darüber hinaus sind bei dieser differenzierten Vorgehensweise sinnvolle Finanzierungsmöglichkeiten gegeben.

Maßnahmenpakete am Beispiel von zwei Gebäuden als Prototypen

Am Beispiel von zwei Gebäuden werden je vier Maßnahmenpakete dargestellt, die sukzessive durchgeführt werden bis hin zur jeweils vollständigen Sanierung. Dabei dienen diese beiden Gebäude nur als prototypische Beispiele für diese Sanierungsschritte, die auf vergleichbare Gebäude übertragen werden können. Von der konkreten Planung für diese Gebäude soll in diesem Kapitel abstrahiert werden.

Gebäude 1

Maßnahme 1.1 – Oberste Geschossdecke & Kellerdecke

Maßnahme 1.2 – Fassade & Fenster

Maßnahme 1.3 – Lüftungsanlage mit WRG

Maßnahme 1.4 – Gebäudetechnik Heizung & WW

Gebäude 2

Maßnahme 2.1 – Fernwärme & Dachboden

Maßnahme 2.2 – Fenster, Rückfassade, Dach & KG-Decke

Maßnahme 2.3 – Heizung, Bad, Lüftung

Maßnahme 2.4 – Innendämmung, sukzessive Ausführung bei Mieterwechseln

4.1 Maßnahme 1.1 – Oberste Geschossdecke & KG-Decke

Das erste Maßnahmenpaket beim Gebäude 1 entspricht der beschriebenen niederschwelligen Maßnahme in Gutachten, Kapitel III-1.8. und beinhaltet die Dämmung der obersten Geschossdecke mit 200 mm Wärmedämmung $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$ und unterhalb der Kellerdecke mit 150 mm Wärmedämmung $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$. Dabei wird Bezug genommen auf die untersuchten Gebäude in Anlage B des Gutachtens. Der Heizwärmebedarf reduziert sich rechnerisch um 20% von 171 auf 145 kWh/(m²a). Bei Betrachtung von bewohnten Bestandsgebäuden sollte beachtet werden, dass bei Einbeziehung des Nutzerverhaltens in der Regel Abweichungen von diesen Rechenwerten zu verzeichnen sind. In diesem Fall ist von einem Ausgangswert von etwa 140 kWh/(m²a) auszugehen und eine Reduktion auf i. M. 116 kWh/(m²a) zu erwarten.

Darüber hinaus wird eine Optimierung der Heizungsregelung und ein hydraulischer Abgleich des Heizsystems durchgeführt, was zu einer Verbesserung des Heizenergiekennwertes um 5 bis 7% führt. Die Versorgung des Gebäudes erfolgt bereits durch Fernwärme. Wenn eine z. B. Umstellung von Gas-Niedertemperaturtechnik auf Fernwärme durchgeführt würde, wäre das mit einer deutlichen Verbesserung des Primärenergiekennwertes um gut 40% verbunden.

4.2 Maßnahme 1.2 – Fassade & Fenster

Das zweite Maßnahmenpaket ist das aufwendigste und umfasst die Fenster und die Fassade. Die Fassade erhält, wie im Gutachten empfohlen, eine neue Backstein-Vorsatzschale mit einer Kerndämmung von 200 mm Wärmedämmung $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$.

Die Fenster werden wie folgt saniert: Rahmen $U_f = 0,75 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, Verglasung $U_g = 0,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, g-Wert 0,52, Wärmebrücke Glasrand $\Psi_{\text{Glasrand}} = 0,034 \text{ W/(mK)}$, Wärmebrücke Einbau $\Psi_{\text{Einbau}} = 0,020 \text{ W/(mK)}$.

Daraus resultiert eine deutliche Reduzierung des Heizwärmebedarfs von 145 (nutzerbereinigt 116) kWh/(m²a) auf 51 kWh/(m²a).

4.3 Maßnahme 1.3 – Lüftungsanlage mit WRG

Der Einbau einer Zu- / Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung bildet das dritte Maßnahmenpaket, wobei von einem mittleren Jahresbereitstellungsgrad von 85% ausgegangen wird. Daraus ergibt sich eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs von 51 kWh/(m²a) auf 26 kWh/(m²a).

4.4 Maßnahme 1.4 – Gebäudetechnik Heizung & WW

Die Gebäudetechnik basiert in diesem Beispiel auf Fernwärme. In diesem Maßnahmenpaket wird eine Erneuerung des Systems durchgeführt mit einem Verteil- und Übergabesystem, das an die neue Gebäudehülle angepasst ist. Die Dämmung der Leitungen erfolgt nach dem doppelten EnEV-Standard. Der hydraulische Abgleich ist ein selbstverständlicher Bestandteil dieser Erneuerung, ebenso wie eine optimierte Einstellung der Regelung. Der Heizenergie- und Primärenergiekennwert verbessert sich durch diese Maßnahmen um gut 10%.

4.5 Maßnahme 2.1 – Fernwärme & Dachboden

Bei Gebäude 2, bei dem die Straßenseite unter Denkmalschutz steht, werden vier weitere Maßnahmenpakete schrittweise untersucht. Beim ersten Schritt wird von niederschweligen Maßnahmen ausgegangen. In diesem Fall die Dämmung der Zangenlage zum Dachboden, die Umstellung des Heizsystems von Niedertemperatur-Technik auf Fernwärme in Verbindung mit einem hydraulischen Abgleich und Optimierung der Heizungsregelung.

Der Heizwärmebedarf reduziert sich rechnerisch von 181 auf 165 kWh/(m²a), bei Einbeziehung des Nutzerverhaltens ist von einem Ausgangswert von etwa 145 kWh/(m²a) auszugehen und eine Reduktion auf etwa 132 kWh/(m²a) zu erwarten.

Werden die Optimierungen bei der Gebäudetechnik mit einbezogen, ergibt sich für den Heizenergiebedarf inklusive der Warmwasserbereitung eine Reduktion von 198 auf 172 kWh/(m²a). Das sind etwa 15%. Durch die Umstellung auf Fernwärme wird der Primärenergie-Kennwert für das Gebäude für die Gesamtmaßnahme 2.1 um fast die Hälfte von 217 auf 112 kWh/(m²a) gesenkt.

4.6 Maßnahme 2.2 – Fenster, Rückfassade & KG-Decke

Bei diesem zweiten Maßnahmenpaket wird die Rückfassade mit WDVS und Spaltklinkern hochwertig mit einem U-Wert von 0,16 W/(m²K) saniert. Daraus ergibt sich ein Mittelwert aus ungedämmter Straßenseite und sanierter Rückfassade von 0,87 W/(m²K).

Die Fenster werden erneuert mit folgenden energetischen Kennwerten: Rahmen $U_f = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Verglasung $U_g = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, g-Wert 0,52, Wärmebrücke Glasrand $\Psi_{\text{Glasrand}} = 0,034 \text{ W}/(\text{mK})$, Wärmebrücke Einbau $\Psi_{\text{Einbau}} = 0,020 \text{ W}/(\text{mK})$. Dies kann sowohl mit einem Holzfenster als auch mit einem Kunststofffenster ausgeführt werden. Aus Denkmalschutzsicht wäre zu empfehlen, zumindest zur Olivaer Straße hin Kastenfenster mit authentischer Außenebene und energetisch hochwertiger Innenschale auszuführen (s. Kap. Fenster). Der resultierende Wert für U_w kann in diesem Fall sogar noch günstiger sein als oben beschrieben.

Schließlich wird die Kellerdecke mit insgesamt 170 mm PS mit $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$ gedämmt, wobei 120 mm unterhalb der Decke montiert werden und 5 cm unter dem Estrich.

Durch dieses Maßnahmenpaket ergibt sich eine deutliche Reduzierung des Heizwärmebedarfs von 165 (nutzereinigert 132) kWh/(m²a) auf 86 kWh/(m²a). Der Primärenergiekennwert liegt nun mit 78 kWh/(m²a) um 64% unter dem Ausgangswert.

4.7 Maßnahme 2.3 – Heizung, Bad, Lüftung

Als drittes Maßnahmenpaket wird die Gebäudetechnik komplett erneuert. Angepasst an den verminderten Bedarf wird die Verteilung für Heizung und Warmwasser neu erstellt. Dabei werden möglichst kurze Wege für die Leitungen umgesetzt und die Stränge mit doppelter EnEV-Dämmung versehen. Die Heizflächen und Thermostatventile werden optimiert und für die Regelung eine optimierte neue Einjustierung vorgenommen. In gleicher Form wird mit der Warmwasserseite verfahren. Sinnvoll kann im Zuge dieser Maßnahmen der Einbau neuer Bäder sein.

Durch dieses Paket verbessert sich der Anlagenaufwand um etwa acht Prozentpunkte, was zu einem größeren Teil durch die Verbesserung des bisher ungünstigen Warmwassersystems erzielt wird.

Zusätzlich wird eine Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung mit einem Wärmebereitstellungsgrad von 85% eingebaut.

Anhang A – Technische Grundlagen

ARGE: Ecofys Germany GmbH, GEF Ingenieur AG, Dr. Burkhard Schulze-Darup, PPL Architektur und Stadtplanung GmbH, büro lucherhandt

Der Heizwärmebedarf sinkt von 86 kWh/(m²a) auf knapp 60 kWh/(m²a). Der Primärenergiekennwert liegt nun mit 58 kWh/(m²a) um 73% unter dem Ausgangswert.

4.8 Maßnahme 2.4 – Innendämmung sukzessive

Die Straßenfassade sollte im Zuge der Sanierung (z. B. bei Maßnahmenpaket 2.2) hochwertig mit einer Fugensanierung hergerichtet und ggf. gestalterisch in Abstimmung mit dem Denkmalschutz aufgewertet werden. Obwohl das Gebäude bereits einen recht guten primärenergetischen Kennwert erzielt, ist es für die Bewohner nicht wirklich komfortabel, in den Räumen zur Straße hin zu wohnen. Deshalb wird empfohlen, diese Fassadenflächen sukzessive mit Innendämmung zu versehen. Das kann in Abstimmung mit den Mietern z. B. während deren Urlaub geschehen (ggf. auch bereits während einer der bisherigen Sanierungsphasen). Alternativ können diese Maßnahmen bei Mieterwechsel im Zuge der Aufwertung der Wohnungen durchgeführt werden, sodass eine angemessene Umlegung der Kosten auf die Miete möglich ist. Bei vollständiger Umsetzung dieser Maßnahmen reduziert sich der Heizwärmebedarf von 60 auf 31 kWh/(m²a). Der Primärenergiekennwert liegt mit 34 kWh/(m²a) 84% unter dem Bestandswert.

4.9 Zusammenstellung der Ergebnisse

Beispiel Gebäude 1

Im Folgenden werden die Ergebnisse der vier Maßnahmenpakete 1.1 bis 1.4 für Gebäude 1 in Form von zwei Tabellen und Diagrammen dargestellt. Die Maßnahmen führen zu einer Reduktion des Primärenergiebedarfs um 76 Prozent. Wäre die Umstellung auf Fernwärme noch nicht erfolgt, würde diese Kennzahl noch deutlicher ausfallen.

Tabelle 6: Beispiel 2 / Beispiel Gebäude 1: Tabellarische Aufstellung der Maßnahmenpakete 2.1 bis 2.4

	Konstrukt.- Fläche KF	Bestand	M 1.1	M 1.2	M 1.3	M 1.4
	m ² KF	U-Wert W/(m ² K)	U-Wert W/(m ² K)	U-Wert W/(m ² K)	U-Wert W/(m ² K)	U-Wert W/(m ² K)
Außenwand (gew. Mittelwert)	286,1	1,34	1,34	0,16	0,16	0,15
Oberste Decke zum Dachboden	156,0	0,98	0,16	0,16	0,16	0,16
KG-Decke	156,0	0,59	0,17	0,17	0,17	0,17
Erdberührte Bauteile	6,5	0,55	0,55	0,18	0,18	0,18
Treppenhauskopf / Kellerabgang	70,6	0,44	0,44	0,18	0,18	0,18
Fenster	85,0	2,40	2,40	0,85	0,85	0,85
Außentür	2,9	2,20	2,20	1,25	1,25	1,25
Wärmebrücken	ΔU_{WB}	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
Luftdichtheit	n_{50} [1/h]	3,00	2,50	0,60	0,60	0,60
Lüftung	System	Fensterlüft.	Abluft	Abluft	Zu/Ab WRG	Zu/Ab WRG

Tabelle 7: Kennwerte für Gebäude 1 mit Berechnung nach PHPP mit den vier Maßnahmenpaketen 2.1 bis 2.4: durch die gezielte Planung wird zum Abschluss der Arbeiten unter Beachtung der Vorgaben im PPL-Gutachten ein hochwertiger Energiestandard erreicht.

		Bestand	M 1.1	M 1.2	M 1.3	M 1.4
PHPP-Heizwärmebedarf	kWh/(m ² a)	171	144,9	51,4	25,8	25,8
Heizwärmebedarf gewichtet	kWh/(m ² a)	136	115,9	51,4	25,8	25,8
Heizwärmebedarf Warmwasser	kWh/(m ² a)	20,0	18,0	18,0	18,0	18,0
Anlagenaufwand		1,26	1,20	1,20	1,20	1,07
Heizenergiebedarf	kWh/(m ² a)	197	160,7	83,2	52,6	46,8
PE-bezogener Anlagenaufwand	kWh/(m ² a)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
PE-Bedarf	kWh/(m ² a)	128	104	54	34	30
Im Vergleich (%) zum Bestand	kWh/(m ² a)	100%	82%	42%	27%	24%

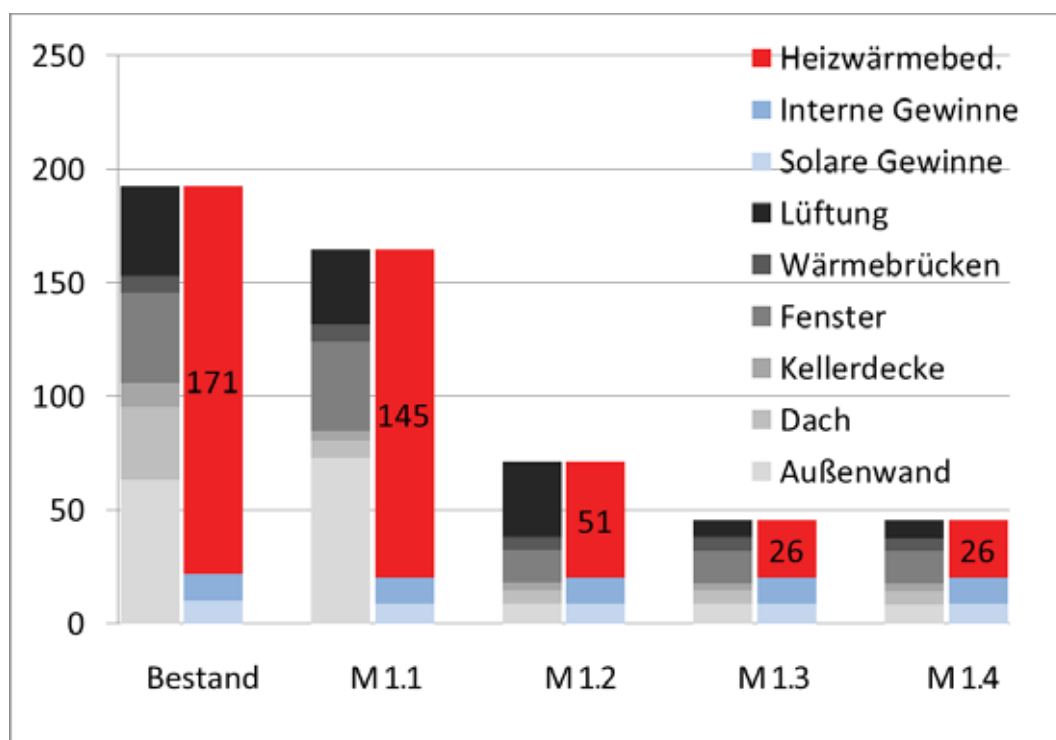


Abbildung 14: Entwicklung des Heizenergiebedarfs für die vier Maßnahmenpakete bei Gebäude1 (nur Einflüsse der Effizienzmaßnahmen ohne Gebäudetechnik; bei Einbeziehung des Nutzerverhaltens liegen die ersten beiden Bedarfswerte etwas günstiger)

Beispiel Gebäude 2

Am Beispiel von Gebäude 2 führen die vier sorgfältig ausgesuchten Maßnahmenpakete 2.1 bis 2.4 zu einer deutlichen Reduktion des Primärenergiebedarfs um 84%. Die Anforderungen des PPL-Gutachtens hinsichtlich des Denkmalschutzes werden dabei vollständig erfüllt.

Tabelle 8: Beispiel 2 / Olivaer Straße: Tabellarische Aufstellung der Maßnahmenpakete 2.1 bis 2.4

	Konstrukt.- Fläche KF	Bestand	M2.1	M2.2	M2.3	M2.4
		U-Wert W/(m²K)	U-Wert W/(m²K)	U-Wert W/(m²K)	U-Wert W/(m²K)	U-Wert W/(m²K)
Außenwand (gew. Mittelwert)	299,7	1,55	1,55	0,87	0,87	0,27
Dach/Decken Außenluft	132,7	0,76	0,76	0,14	0,14	0,14
Zangenlage zum Dachboden	108,5	0,81	0,14	0,14	0,14	0,14
KG-Decke	104,7	0,92	0,92	0,19	0,19	0,19
Erdberührte Bauteile	10,9	1,27	1,27	0,18	0,18	0,18
Kellerabgang	97,6	2,20	2,20	0,18	0,18	0,18
Fenster	83,8	2,40	2,40	0,85	0,85	0,85
Außentür	2,3	2,20	2,20	1,25	1,25	1,25
Wärmebrücken	ΔU_{WB}	0,05	0,05	0,050	0,040	0,040
Luftdichtheit	n_{50} [1/h]	3,0	2,5	0,6	0,6	0,6
Lüftung	System	Fensterlüft.	Abluft	Abluft	Zu/Ab WRG	Zu/Ab WRG

Tabelle 9: Kennwerte für Gebäude 2 mit Berechnung nach PHPP mit den vier Maßnahmenpaketen 2.1 bis 2.4: durch die gezielte Planung wird zum Abschluss der Arbeiten unter Beachtung der Vorgaben im PPL-Gutachten ein hochwertiger Energiestandard erreicht.

		Bestand	M2.1	M2.2	M2.3	M2.4
PHPP-Heizwärmebedarf	kWh/(m²a)	181	164,8	86,3	59,5	30,7
Heizwärmebedarf gewichtet	kWh/(m²a)	145	131,8	86,3	59,5	30,7
Heizwärmebedarf Warmwasser	kWh/(m²a)	20,0	18,0	18,0	18,0	18,0
Anlagenaufwand		1,20	1,15	1,15	1,15	1,07
Heizenergiebedarf	kWh/(m²a)	198	172,3	119,9	89,1	52,1
PE-Faktor		1,10	0,65	0,65	0,65	0,65
PE-Kennwert	kWh/(m²a)	217	112	78	58	34
Im Vergleich (%) zum Bestand	kWh/(m²a)	100%	52%	36%	27%	16%

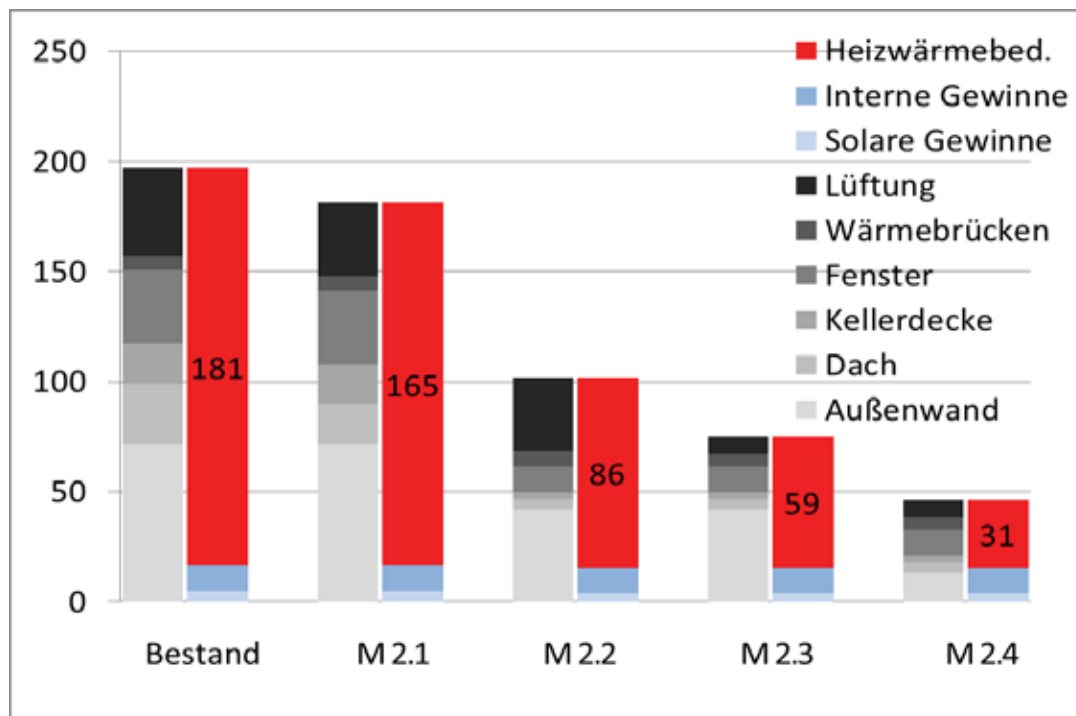


Abbildung 15: Entwicklung des Heizenergiebedarfs für die vier Maßnahmenpakete bei Gebäude 2 (nur Einflüsse der Effizienzmaßnahmen ohne Gebäudetechnik; bei Einbeziehung des Nutzerverhaltens liegen die ersten beiden Bedarfswerte etwas günstiger)

5 Niederschwellige Maßnahmen

Aus der wohnungswirtschaftlichen Betrachtung ist es im Rahmen einer Portfoliobetrachtung sinnvoll, die jeweiligen Bestandsgebäude erst dann zu modernisieren, wenn die Restnutzungszeiten der einzelnen Bauteile möglichst abgelaufen sind. Ein gutes Portfoliomanagement zeichnet sich dadurch aus, die Sanierungsmaßnahmen so zu koordinieren, dass eine grundlegende Modernisierung erst dann erfolgt, wenn möglichst alle Bauteile gleichermaßen einer Erneuerung bedürfen. Dieser betriebswirtschaftliche Aspekt sollte auch auf die volkswirtschaftliche Betrachtungsweise der energetischen Sanierung übertragen werden. Die Sanierungsrate ergibt sich dann aus den jeweils anstehenden Sanierungen und wird im Allgemeinen bei 1,5 bis 2,0% des Bestandes pro Jahr liegen. Ein wesentlicher Aspekt dabei ist der Instandhaltungsanteil an der Modernisierung. Wenn die Bauteile abgenutzt sind

und ohnehin saniert werden müssen, sind 30 bis über 70% der Modernisierungskosten Instandsetzungsbedingt. Die restlichen Kosten für die energetische Modernisierung sind in diesen Fällen unter der Berücksichtigung der Förderstrukturen in den meisten Fällen recht rentierlich durchführbar.

Ist es absehbar, dass ein Gebäude erst in 15 bis 20 Jahren grundsätzlich angefasst wird, gibt es einige niederschwellige Maßnahmen, die mit sehr günstigem Kosten-Nutzen-Verhältnis ausgeführt werden können und zugleich eine sofortige Einsparung der Energiekosten um 15 bis zu 30% ermöglichen. Diese Maßnahmen werden in den folgenden beiden Unterkapiteln dargestellt.

Auf der anderen Seite kann das Zurückstellen von Gebäudemodernisierungen in sehr unterschiedlicher Form genutzt werden, um den Handlungsspielraum für ein Wohnungsunternehmen gezielt zu erhöhen. Die Instandhaltung kann auf ein sinnvolles Minimum zurück gefahren werden, um bei geringen laufenden Kosten über einen absehbaren Zeitraum folgende Vorteile nutzen zu können:

- es werden im Vergleich zu Modernisierungsobjekten niedrigere Mietpreise für den Teil der Mieterschaft sicher gestellt, die Mieterhöhungen nicht tragen können; wird ein eher geringer Teil eines Quartiers in diesem Bestandszustand gehalten, ist davon auszugehen, dass die Mieterstruktur in der neuen Mischung in einem funktionierendem Rahmen bleibt und zugleich die kostengünstigen Wohnungen vollständig vermietet werden können;
- durch die verlängerte Vermietung eines Teils der Bestandsobjekte werden Handlungsoptionen für durchgreifende Modernisierungen in anderen Teilen des Gebietes bzw. des Gesamtbestands ermöglicht;
- bei unklaren Rahmenbedingungen hinsichtlich der Investitionen kann ein Abwarten dazu genutzt werden, gezielte Planungen für den anschließenden Umgang mit den Projekten im Rahmen der Portfolioanalyse zu erstellen;
- Wohnquartiere in günstiger Lage wie derzeit in Dulsberg: es ist über die Restlaufzeit der Gebäude ein günstiger Cash-Flow gegeben, der die Liquidität des Wohnungsunternehmens unterstützt und eine wichtige Basis für Gestaltungsspielräume im Bereich der anstehenden Modernisierungsmaßnahmen anderer Bestandteile bzw. Rückstellungen für die Modernisierung der betreffenden Gebäude ermöglicht.

5.1. Variante 7 Niederschwellige Sanierung 1

Niederschwellige Maßnahmen müssen ohne hohen Aufwand als Einzelmaßnahme durchführbar sein und ein gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen. Zunächst wird eine niederschwellige Sanierung dargestellt, die in Gutachten, Kapitel III-1.7 aufgeführt wird. Dazu werden folgende Maßnahmen im baulichen Bereich durchgeführt:

- Dämmung der obersten Geschossdecke bzw. der Zangenlage, $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- Dämmung von leicht zugängigen KG-Decken (50% der Fläche), $U = 0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, nicht einberechnet sind Aufräummaßnahmen, die ggf. anfallen, um Flächen für die Arbeiten freizuräumen;
- Einfache Luftdichtungsmaßnahmen.

Hinsichtlich der Gebäudetechnik sind im Maßnahmenpaket keinerlei Erneuerungen enthalten. Es geht einfach nur um die Optimierung der Regelungseinstellung, die mit einem objektivierbaren Monitoringverfahren professionell ausgeführt werden sollte, sowie den hydraulischen Abgleich

- Optimierung der Regelungseinstellung – Effekt 3% Einsparung;

- Hydraulischer Abgleich der Heizanlage – Effekt 3% Einsparung.

Mit diesen Maßnahmen kann im Mittel eine Einsparung von 15%, bezogen auf den Endenergiebedarf für das Gesamtgebäude, erreicht werden. Dieser Wert wird für Variante 7 in die Projektmatrix eingegeben. Bei der konkreten Beispielberechnung für das Gebäude Nordschleswiger Straße 74 a wurde eine Endenergie-Einsparung von 22% ermittelt.

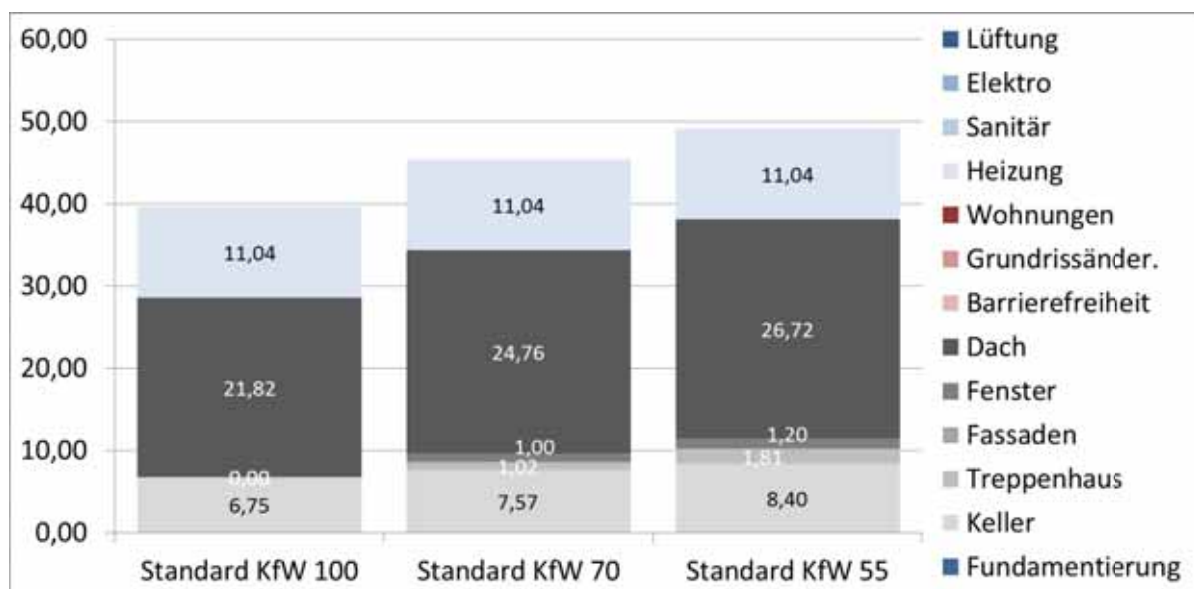


Abbildung 16: Spezifische Kosten pro m² Wohnfläche für die niederschweligen Maßnahmen 1 / Variante 7: die Dämmung von 50% der Kellerdecke kostet je nach Standard etwa 7,00 bis 8,50 € pro m² Wohnfläche, die Dämmung des Dachbodens erfordert im Mittel etwa 25 €/m² Wohnfläche. Die Optimierung der Regelung sowie der hydraulische Abgleich schlägt pro m² Wohnfläche mit gut 10 Euro zu Buche.

5.2. Variante 8 Niederschwellige Sanierung 2

Es wurde ein etwas erweitertes zweites Maßnahmenpaket für niederschwellige Sanierung berechnet, um das dadurch erschließbare Potenzial auszuloten. Dazu wird eine erweiterte niederschwellige Sanierung dargestellt, die in Gutachten, Kapitel IV-1.8 aufgeführt wird. Es werden folgende Maßnahmen im baulichen Bereich durchgeführt:

- Dämmung der obersten Geschossdecke bzw. der Zangenlage, $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- Dämmung der gesamten KG-Decke, $U = 0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, nicht einberechnet sind Aufräummaßnahmen, die ggf. anfallen, um Flächen für die Arbeiten frei zu räumen. Dies kann insbesondere bei der vollständigen KG-Deckendämmung ein relevanter zusätzlicher Kostenfaktor sein. Eine Quantifizierung muss individuell durchgeführt werden und kann den Ausschlag für die Ausführung dieser Maßnahme geben;
- Luftdichtungsmaßnahmen – Durchführung eines Blower-Door-Tests zur Optimierung der Gebäudeteile gemäß Kapitel 3.6.

Im Gebäudetechnikbereich wird die Regelung erneuert und zusätzlich eine Optimierung der Regelungseinstellung durchgeführt inkl. eines hydraulischen Abgleichs.

- Erneuerung der Regelung – Effekt 4% Einsparung;
- Optimierung der Regelungseinstellung – Effekt 1,5% Einsparung zzgl. zur neuen Regelung;

- Hydraulischer Abgleich der Heizanlage – Effekt 3% Einsparung.

Dieses Maßnahmenpaket wird im Mittel mit einer Einsparung von 20% Endenergiebedarf für Variante 8 in die Projektmatrix eingegeben, auf deren Grundlage die Empfehlungen im Gutachten erarbeitet wurden. Bei der konkreten Beispielberechnung für das Gebäude Nordschleswiger Straße 74 a wurde eine Endenergie-Einsparung von 30% ermittelt.

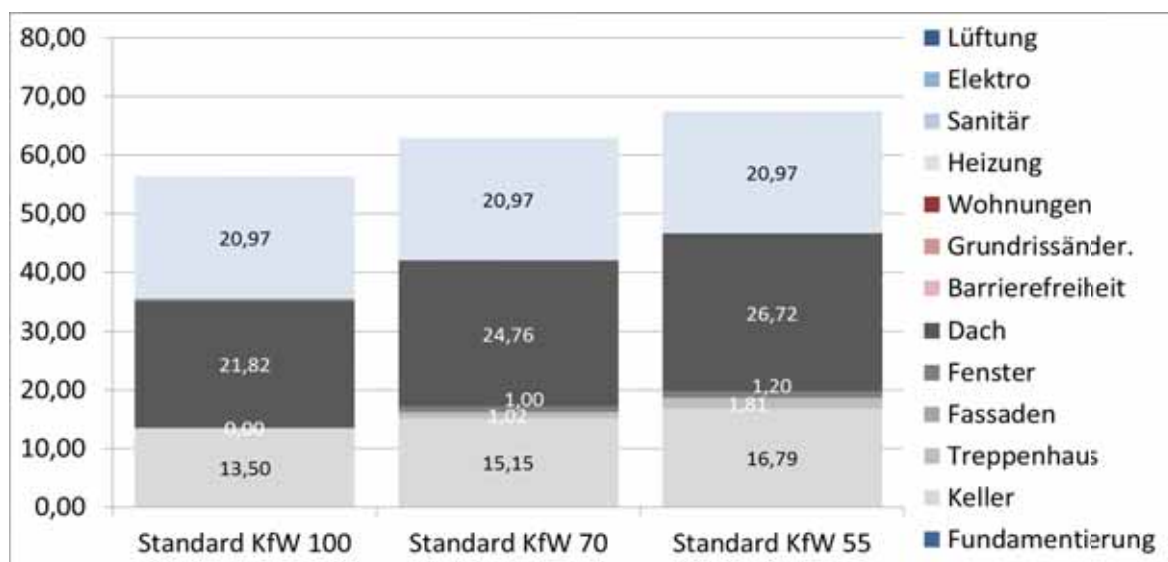


Abbildung 17: Spezifische Kosten pro m² Wohnfläche für die niederschweligen Maßnahmen 2 / Variante 8: die Dämmung der gesamten Kellerdecke kostet je nach Standard etwa 14,00 bis 17,00 € pro m² Wohnfläche, die Dämmung des Dachbodens erfordert im Mittel etwa 25 €/m² Wohnfläche. Die Erneuerung und Optimierung der Regelung sowie der hydraulische Abgleich schlägt pro m² Wohnfläche mit gut 20 Euro zu Buche.

5.3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der niederschweligen Maßnahmen stellen sich wie folgt dar. Bei Maßnahmenpaket 1 (siehe unten Tabelle MN1a), das vor allem die Dämmung des Dachbodens und 50 Prozent der Kellerdecke vorsieht, wird der Heizwärmebedarf um 14% gesenkt, inkl. Warmwasserbereitung und der Maßnahmen an der Regelung und dem Abgleich der Gebäudetechnik (MN1b) beträgt die Einsparung des Heizenergiebedarfs 22%. Bei Maßnahmenpaket 2 (MN2a), das etwas umfassender ausgeführt wird, beträgt die Einsparung des Heizwärmebedarfs 20%, inkl. Warmwasserbereitung und der Maßnahmen an der Gebäudetechnik (MN1b) beträgt die Einsparung des Heizenergiebedarfs 30%.

Die Varianten 7 und 8 bauen auf dieser Berechnung auf. Es wird bewusst eine deutlich niedrigere Einsparung von nur 15 Prozent bei Variant 1 und 20 Prozent bei Variante 2 in Ansatz gebracht.

Tabelle 10: Zusammenstellung der Maßnahmen für die niederschweligen Maßnahmen: MN1a stellt die baulichen Maßnahmen der niederschweligen Sanierung 1 dar, MN1b inkl. der Maßnahmen an der Gebäudetechnik. Analog dazu MN2a und b

	Konstrukt.-	Bestand	MN 1a	MN 1b	MN 2a	MN 2b
	Fläche KF	U-Wert	U-Wert	U-Wert	U-Wert	U-Wert
	m ² KF	W/(m ² K)	W/(m ² K)	W/(m ² K)	W/(m ² K)	W/(m ² K)
Außenwand (gew. Mittelwert)	286,1	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
Oberste Decke zum Dachboden	156,0	0,98	0,16	0,16	0,16	0,16
KG-Decke	156,0	1,04	0,65	0,65	0,19	0,19
Erdberührte Bauteile	6,5	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Treppenhauskopf / Kellerabgang	70,6	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26
Fenster	85,0	2,60	2,60	2,60	2,50	2,50
Außentür	2,9	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Wärmebrücken	ΔU_{WB}	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Luftdichtheit	n_{50} [1/h]	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Lüftung	System	Fensterlüft.	Abluft	Abluft	Abluft	Abluft

Tabelle 11: Ergebnisse der niederschweligen Maßnahmen: bei Maßnahmenpaket 1 (MN1a) wird der Heizwärmebedarf um 14% gesenkt, inkl. Warmwasserbereitung und der Maßnahmen an der Gebäudetechnik (MN1b) beträgt die Einsparung des Heizenergiebedarfs 22%. Bei Maßnahmenpaket 2 (MN2a) beträgt die Einsparung des Heizwärmebedarfs 19%, inkl. Warmwasserbereitung und der Maßnahmen an der Gebäudetechnik (MN1b) beträgt die Einsparung des Heizenergiebedarfs 30%.

		Bestand	MN 1a	MN 1b	MN 2a	MN 2b
PHPP-Heizwärmebedarf	kWh/(m ² a)	186	161,5	161,5	154,1	154,1
Heizwärmebedarf gewichtet	kWh/(m ² a)	149	129,6	129,6	123,7	123,7
Einsparung Heizwärmebedarf	Prozent		15%	15%	20%	20%
Heizwärmebedarf Warmwasser	kWh/(m ² a)	20,0	18,0	18,0	18,0	18,0
Anlagenaufwand vorher		1,26	1,26	1,26	1,26	1,26
Erneuerung Heizungs-Regelung	%-Einsparung					4,0%
Regelungsoptimierung	%-Einsparung			3,0%		1,5%
Hydraulischer Abgleich	%-Einsparung			3,0%		3,0%
Anlagenaufwand nachher		1,26	1,26	1,18	1,26	1,15
Heizenergiebedarf	kWh/(m ² a)	213	186	175	179	163
Einsparung Heizenergiebedarf	Prozent		14%	22%	19%	30%
PE-bezogener Anlagenaufwand	kWh/(m ² a)	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
PE-Bedarf	kWh/(m ² a)	138	121	114	116	106
Im Vergleich (%) zum Bestand	kWh/(m ² a)	100%	14%	22%	19%	30%

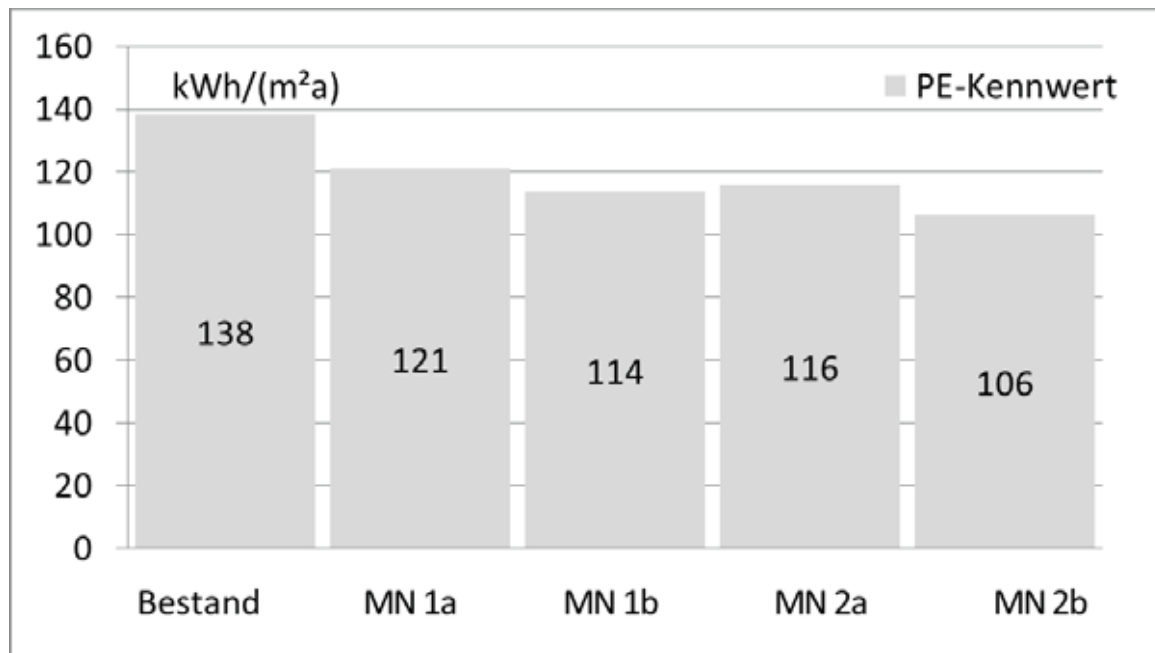


Abbildung 18: Primärenergie-Ergebnisse der niederschweligen Maßnahmen: bei Maßnahmenpaket 1 (MN1a) wird der Primärenergiebedarf um 15% gesenkt, inkl. Maßnahmen an der Gebäudetechnik (MN1b) um 23%. Bei Maßnahmenpaket 2 (MN2a) beträgt die Einsparung des PE-Bedarfs 22%, inkl. Warmwasserbereitung und der Maßnahmen an der Gebäudetechnik (MN1b) 30%. Angaben im Diagramm in kWh/(m²a).

6 Gebäudetechnik - Lüftungstechnik

Die Lüftungsnorm DIN 1946-6 für Wohngebäude wurde im Frühjahr 2009 verabschiedet und ist als anerkannte Regel der Technik zu beachten. Dort werden Anforderungen an den Luftwechsel in Form von vier Lüftungsstufen gestellt. Zudem ist aus aktuellen Gerichtsurteilen zu erkennen, dass vom Nutzer nicht verlangt werden kann, den daraus resultierenden insgesamt etwa zehn- bis fünfzehnfachen Luftwechsel im Laufe eines Tages manuell durchzuführen. Somit sind Eigentümer bzw. Planer in der Verantwortung dafür zu sorgen, dass unabhängig vom Lüftungsverhalten des Nutzers keine erhöhte Raumluftfeuchte und Schimmelpilzbildung auftreten kann. Damit wird das „Lüftungsrisiko“ vom Mieter auf den Vermieter bzw. Planer übertragen. Bereits bei einem einfachen Fensteraustausch müssen daraus resultierend Maßnahmen zum bestimmungsgemäßen Lüften der Wohnung getroffen werden. Daraus ergeben sich umfassende Hinweispflichten und Haftungsrisiken. Nach den Anerkannten Regeln der Technik (ARdT) müssen Wohnungen in Zukunft über nutzerunabhängige Lüftungssysteme verfügen. In der Regel ist davon auszugehen, dass eine ventilatorgestützte Abluftanlage oder eine Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung eingebaut werden muss.

6.1 Aspekte zur Festlegung des Luftwechsels

Die Festlegung des Luftwechsels hat eine zentrale Bedeutung für die Planung der Lüftungsanlage. Dabei sind zahlreiche Aspekte zu beachten. Das Spannungsverhältnis der Anforderungen lässt sich anhand folgender Stichpunkte beschreiben:

1. **Raumluftqualität:** erste Priorität bei der Planung eines Gebäudes genießt eine hygienisch hochwertige Raumluft. Zahlreiche Variablen wirken dabei parallel. Unveränderlich ist der CO₂-Eintrag durch die Nutzer. Daraus resultiert die Anforderung eines stündlichen Luftwechsels von 30 m³ pro

Person. Diese Luftmenge bezieht sich auf eine normale Betätigung. Bei körperlich schwerer Arbeit muss die Luftmenge höher und bei niedrigerer Aktivität kann sie geringer liegen.

Voraussetzung für diese Annahmen ist allerdings, dass Schadstoffeinträge aus Baumaterialien, Einrichtungsgegenständen und den Nutzeraktivitäten so gering sind, dass die beschriebene Luftmenge reicht, die gewünschte Luftqualität zu erreichen. Erfahrungen und Messungen bei vielen Passivhausprojekten belegen, dass dies gewährleistet ist, wenn Bau- und Ausstattungsmaterialien mit sinnvoll geringen Emissionen gewählt werden. Dies ist bei den meisten Möbeln und Einbauten gegeben, die auf dem Markt verfügbar sind.

2. **Raumlufffeuchte:** durch Lüftungsanlagen wird die Raumlufffeuchte besonders im Winter verstetigt. Bei einer sinnvollen Auslegung werden relative Luftfeuchten im Bereich von knapp 50 bis etwa 35% relativer Feuchte erzielt. Der Mindestluftwechsel zur Vermeidung von zu hoher Feuchte im Winter liegt bei 15 bis 20 m³ pro Person in der Stunde. Wird die Luftmenge zu hoch, sinkt die relative Feuchte auf unter 30% rel. Feuchte. Folgen sind trockene Schleimhäute und erhöhte Infektgefahr. Darüber hinaus ändern Baustoffe bei zu starken Feuchteschwankungen ihr Volumen und es kann insbesondere bei Holz im Fall von zu niedriger Raumlufffeuchte zu Rissbildungen führen.

3. **Feuchteschäden:** Kondenswasserniederschlag infolge von Wärmebrücken stellt ein relevantes Problem dar. Bei hochwertigem Wärmeschutz, wie er bei Sanierungen angestrebt wird, reduziert sich diese Problematik, weil die Temperaturen der Gebäudehülle auch in den Wärmebrückenbereichen angemessen hoch liegen. Voraussetzung ist, dass die Dämmdicke möglichst deutlich über 16 cm liegen sollte und Details bei der Planung hinsichtlich der Wärmebrücken optimiert werden.

4. **Investitionskosten:** da die Kosten für Lüftungstechnik proportional zum Luftvolumen steigen, ist es sinnvoll, die Nutzerprofile genau zu analysieren und in jedem Raum so wenig wie möglich aber so viel wie notwendig an Luft zuzuführen. Auf Grundlage dieser Analyse lässt sich die Auslegungsgröße für die Zentrale und die Leitungen minimieren. Zu beachten ist dabei, dass die Stromeffizienz von Lüftungsanlagen mit der dritten Potenz von Strömungsgeschwindigkeiten und Leitungsquerschnitten abhängig ist und deshalb die Auslegung jeweils so gering wie möglich sein sollte – jedoch hygienisch ausreichend. Zudem sollte das Leitungssystem so einfach und kurz wie möglich gestaltet sein.

5. **Schallschutz:** hohe Luftmengen erfordern einen ungleich höheren Aufwand zum Schallschutz, um Ventilator- und Strömungsgeräusche auf einen Wert unter 25 dB(A), möglichst in Richtung von 20 dB(A), zu senken.

6. **Komfort:** Luftmengen und Lüftungskomfort korrelieren miteinander. Wird ein Konzept gewählt, das gegenüber den normativen Anforderungen mit verringerten Luftwechseln in Richtung Mindestfeuchteschutz arbeitet, so muss davon ausgegangen werden, dass ergänzende Fensterlüftung notwendig sein kann. Erfahrungen zeigen, dass die Auslegung auf Grundluftwechsel die Investitionskosten deutlich senken. Es muss aber eine angemessene Möglichkeit für die Nutzer gegeben sein, den manuellen Lüftungspart zu übernehmen. Dies kann auch positiv gesehen werden, dass ein gewisses Maß an tradiertem Lüftungsverhalten auch im Winter beibehalten werden kann. Einschränkung sollte nur sein, dass Kippstellung der Fenster während der Heizperiode ausgeschlossen ist. Messwerte bei Wohnprojekten im sozialen Wohnungsbau zeigen, dass diese Form eines zurückhaltenden Lüftungskonzepts zu sehr guten energetischen und raumlufthygienischen Rahmenbedingungen führt.

6.2 Anforderungen der DIN 1946 Teil 6

Die DIN 1946-6 stellt klare Anforderungen an Lüftungskonzepte für Neubau und Renovierungen. Danach ist eine ausschließlich manuelle Lüftung über die Fenster im Allgemeinen nicht mehr möglich.

Die DIN unterscheidet zwischen vier Lüftungsstufen:

- Lüftung zum Feuchteschutz: Sicherstellung der Feuchteabfuhr und Gewährleistung des Bautenschutzes, damit keine Schimmelpilzbildung aufgrund von Kondenswasserniederschlag entsteht. Diese Stufe muss ständig nutzerunabhängig gesichert sein;
- Reduzierte Lüftung: Erfüllen des hygienischen Mindeststandards zur Abfuhr von Schadstoffen, weitestgehend nutzerunabhängig;
- Nennlüftung: hygienisch-gesundheitliche Anforderungen und Bautenschutz, der Nutzer kann mit aktiver Fensterlüftung beteiligt werden;
- Intensivlüftung: Abbau von Lastspitzen z. B. durch Besuch, Waschen und Kochen, aktive Fensterlüftung kann einbezogen werden.

In der Praxis hat sich erwiesen, dass ventilatorgestützte Lüftungsanlagen eine sehr sinnvolle Lösung zum Erreichen einer guten Luftqualität darstellen. Allerdings gilt es dabei, die Anlagen so auszulegen, dass eine Ausgewogenheit zwischen den oben genannten Aspekten, insbesondere thermischem Komfort, Luftqualität, Energieverbrauch und individuellen Eingriffsmöglichkeiten gegeben ist. Bewährt haben sich bei zahlreichen Projekten Lüftungsanlagen, die von der Auslegung zwischen Nennlüftung und reduzierter Lüftung betrieben werden und bei denen die Nutzer die Möglichkeit haben, individuell durch Fensterlüften einzugreifen.

Aus energetischer Sicht sollten die Anlagen auf jeden Fall mit Wärmerückgewinnung ausgestattet sein. Auf diesem Weg können 75 bis über 90% der Wärme aus der Fortluft auf die frische Außenluft übertragen werden. Das spart gegenüber einer reinen Abluftanlage Heizenergie von 30 kWh/(m²a). Zudem ist der Betrieb von Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung komfortabler als Abluftkonzepte, bei denen kalte Luft direkt von außen zugeführt wird.

6.3 Ventilatorgestützte Abluftanlagen

Eine kostengünstige Lösung zur Erfüllung der Anforderungen der DIN 1946-6 stellt eine ventilatorgestützte Abluftanlage dar. Die Luft wird mittels eines Ventilators aus Küche, Bad, WC und ggf. weiteren durch Gerüche oder Feuchtigkeit belasteten Räumen abgesaugt. Die frische Außenluft strömt durch Wanddurchlässe in den Außenwänden oder Fenstern nach. Die dort eingesetzten Düsen können schalldämpfend ausgeführt und mit Filtern versehen werden. Am sinnvollsten ist die Positionierung unter der Decke und oberhalb von Heizkörpern, um Zugerscheinungen zu vermeiden. Die Integration in Fenster oder Fensterrahmen ermöglicht eine Optik der Fassade ohne Lüftungsgitter. Die Luft strömt gezielt vom Aufenthaltsraum durch Überströmöffnungen zu den Ablufträumen. Zu beachten ist, dass zwischen Gerät und Abluftöffnungen und ggf. vor der Ausblasöffnung nach außen ein Schalldämpfer erforderlich ist.

Der Ventilator des Abluftgerätes sollte eine hohe Elektroeffizienz aufweisen ($p_{el} \leq 0,15 \text{ Wh/m}^3$), d. h. bei einem Abluftstrom von 100 m³ sollte die Ventilatorleistung unter 15 W liegen. Die Kosten einer Abluftanlage betragen 1.000 bis 2.500 € inkl. des Rohrnetzes, der Strömungselemente und Nebenarbeiten.

Abluftanlagen bewirken keine direkte Energieeinsparung, sondern dienen vor allem einer guten Raumluftqualität und einem erhöhten Komfort für die Bewohner. Dennoch kann Heizenergie eingespart werden, wenn der Luftwechsel gezielt eingestellt wird und damit Lüftungswärmeverluste minimiert werden.

Die Abwärme aus der Abluft einer kontrollierten Lüftungsanlage kann mittels einer Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes bzw. die Warmwasserbereitung genutzt werden. Für das Wärmepumpenaggregat wird kostengünstig eine Wärmequelle mit einem hohen Temperaturniveau von 20 bis 22 °C zur Verfügung gestellt. Der Nachteil besteht darin, dass ein hoher technischer und kostenmäßiger Aufwand getrieben wird. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe wird inkl. Lüfterstrom zwischen dem Faktor 3,5 und 4,5 liegen. Zum Vergleich: eine Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung ist drei- bis fünfmal so effizient.

6.4 Zu- / Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung

Bei einer Zu-/Abluftanlage wird das Anlagenkonzept der Abluftanlage um die Zuluftseite ergänzt. Dafür wird die Außenluft gezielt über einen Filter angesaugt und durch einen Wärmetauscher geleitet. Dort wird die Wärme der Fortluft auf die zuströmende frische Außenluft übertragen. Sie wärmt sich so z. B. von 0 °C auf 17 °C auf und wird dann über ein Rohrsystem in die Aufenthaltsräume geführt.

Ein Vergleich der Lüftungswärmeverluste stellt sich wie folgt dar: Während bei der Fensterlüftung bei einem Luftwechsel von 0,7 h⁻¹ die Lüftungswärmeverluste etwa 50 kWh/(m²a) betragen, ist dieser Wert durch eine ventilatorgestützte Abluftanlage mit einem gezielt eingestellten Luftwechsel von z. B. 0,4 h⁻¹ auf unter 30 kWh/(m²a) zu senken. Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung weisen einen Jahresrückwärmegrad von 75 bis über 90% auf bei einer hervorragenden Stromeffizienz von $p_{el} \leq 0,45 \text{ W/m}^3$. Daraus ergibt sich die Reduktion der jährlichen Lüftungswärmeverluste auf Werte bis unter 5 kWh/(m²a). Als Jahresarbeitszahl errechnet sich daraus ein Wert von 8 bis 20, d. h. pro eingesetzte Kilowattstunde werden 8 bis 20 kWh Heizwärme eingespart.

Tabelle 12: Kriterien für eine Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung für ein Passivhaus [PHI 2009]

- Wärmebereitstellungsgrad des Gerätes $\eta_{\text{WBG,t,eff}} \geq 75\%$
- Elektroeffizienz $p_{el} \leq 0,45 \text{ Wh/m}^3$ (Leistungsaufnahme für Ventilator und Regelung pro m³ geförderte Luft)
- Zulufttemperatur $\geq 16,5^\circ\text{C}$ als Behaglichkeitskriterium für den Aufenthaltsraum
- Regelbarkeit der Anlage
- Schallpegel in Aufenthaltsräumen $< 25 \text{ dB(A)}$ in Nebenräumen $< 30 \text{ dB(A)}$
- Abgleich der Zu- und Abluft-Massenströme, Disbalance $\leq 10\%$
- Dichtheit des Gerätes Leckluftstrom $\leq 3\%$ des Nenn-Abluftstroms
- Dämmung des Gerätes: Gesamt-Transmissionsleitwert $\leq 5 \text{ W/K}$
- Frostschutz: Kein Zufrieren des Wärmetauschers
- Außenluftfilter F7 und Abluftfilter G4
- Wartungsmöglichkeit insbesondere für die Zuluftleitungen
- Einfache Inspektion und kostengünstige Wartung des Gerätes

Für Mehrfamilienhäuser stehen vor allem zwei Anlagenkonzepte zur Auswahl:

Dezentrale Anlagen: Bei dezentralen Zu- / Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung befindet sich die gesamte Lüftungstechnik weitgehend in der jeweiligen zu lüftenden Wohnung. Das Lüftungsgerät kann als Schrankgerät oder unter der Decke in Bad, Küche oder Flur oder in einem sonstigen Nebenraum installiert werden. Die Position des Gerätes muss möglichst direkt an der Außenhülle liegen, damit die kalten Außenluft- und Fortluftleitungen kurz gehalten werden können. Dennoch müssen diese Leitungen hochwertig wärmegeklämt werden.

Vorteile dezentraler Anlagen:

- Brandschutz kein Problem
- Planung / Installation weniger komplex
- Stromabrechnung direkt über den Haushaltsstrom.

Nachteile dezentraler Anlagen:

- Platzbedarf für Gerät
- Bei Mietwohnungen: regelmäßige Begehung der Wohnung für die Wartung erforderlich
- Aufstellort in der Wohnung – im Aufstellraum Ventilatorgeräusche hörbar
- Elektroeffizienz geringer.

Zentrale Anlagen: Zentrale Zu- und Abluftanlagen lüften mit einem Zentralgerät mehrere Wohnungen eines Mehrfamilienhauses. Der Steigstrang lässt sich grundsätzlich in zwei Varianten ausführen. Bei der zentralen Ausführung mit dem Vorteil geringerer Schachtquerschnitt werden je eine Zu- und Abluftleitung im Schacht geführt und an den Wohnungen die Abzweige gesetzt. Dabei wird der Brandschutz und Schallschutz wohnungs- oder geschossweise gelöst. Bei der zweiten Variante werden pro Wohnung eine Zu- und Abluftleitung geführt. Dadurch wird der Schachtquerschnitt größer, aber der Brandschutz kann z. B. mittels Brandschutzklappe zum Lüftungsraum zentral ausgeführt werden. Der Vorteil liegt einerseits im einfacheren Brandschutzkonzept mit zentraler Wartungsmöglichkeit und im ebenfalls günstigeren Schallschutz.

Vorteile zentraler Anlagen:

- einfache Wartung ohne Begehung der einzelnen Wohnungen
- geringer Stromverbrauch
- geringer Geräuschanfälligkeit.

Nachteile zentraler Anlagen:

- Aufwendungen für Brandschutz
- Lüftungsraum erforderlich
- Abrechnung des Lüftungsstroms über Allgemeinstrom
- Kalte Leitungen möglichst nicht im Bereich der thermischen Hülle führen.

Zusätzlich gibt es zahlreiche Zwischenlösungen zu den dargestellten Systemen. So können semizentrale Anlagen ausgeführt werden mit Zentralventilatoren und dezentralen Wärmetauschern (Nachteil: kalte Leitungen im beheizten Bereich) oder das umgekehrte Prinzip mit dezentralen Ventilatoren und zentralem Wärmetauscher (Nachteil: viele Ventilatoren mit entsprechender Wartungsanfälligkeit).

6.5 Investitionskosten und Mehrinvestitionen

Lüftungstechnik für den Einsatz im Mietwohnungsbau muss deutlich kostengünstiger werden, um sinnvoll in der Breite eingesetzt zu werden. Das Problem liegt nicht in der Technik, sondern in der Herangehensweise von Industrie und Planern. Da bisher nur einzelne Projekte umgesetzt wurden, wird in jedem Fall eine umfangreiche Neuplanung mit hohem Aufwand durchgeführt - in einer großen Zahl der Fälle von Ingenieurbüros, die üblicherweise Lüftungsanlagen im gewerblichen Bereich planen. Ein großer Anteil der Kosten ist der Erfüllung der Brandschutzanforderungen geschuldet. Durch die neue DIN 1946-6 ist das Anforderungsprofil eher noch höher geworden.

Lüftungsgeräte, insbesondere Zu-/Abluftgeräte mit Wärmerückgewinnung, werden vorwiegend manufaktuell zu eher hohen Kosten hergestellt. Charakteristische Zentralgeräte im Bereich von 500 bis 4.000 m³/h, die für den Wohnungsbau in Frage kommen, liegen kostenmäßig noch einmal höher. Systemlösungen für die immer wiederkehrenden Anforderungen eines drei- bis viergeschossigen Zweispanners gibt es nicht auf dem Markt. Gerade dort liegt aber das Potenzial. Sobald absehbar ist, dass diese Lösungen vermehrt gefragt sind, ist es möglich, entsprechende Konzepte zu erarbeiten mit einem mittelfristigen realistischen Kostenziel pro Wohneinheit von 2.000 € inkl. MWSt. und Einbau. Ab einer Schwelle von 2.500 € wird die Technik zunehmend wirtschaftlich hinsichtlich des Potenzials an eingesparter Energie, wenn davon ausgegangen wird, dass die DIN 1946-6 ohnehin eine Abluftanlage fordert.

Ventilatorgestützte Abluftanlagen kosten zwischen 15 und 35 €/m² Wohnfläche, also zwischen gut 1000 bis über 2500 € pro Wohneinheit. Neben dem Vorteil des sicher gestellten kontinuierlichen Luftwechsels und des einfacheren Anlagenkonzepts haben die Anlagen aber gegenüber den Zu- / Abluftanlagen deutliche Nachteile: der thermische Komfort ist geringer, Zugerscheinungen können deutlich eher auftreten und das Kaschieren der Lüftungsöffnungen in der Fassade ist eher aufwändig. Darüber hinaus benötigt eine Wohnung mit Abluftanlagen 15 bis 30 kWh/(m²a) mehr Energie als eine Wohnung mit hochwertiger Wärmerückgewinnung bei der Lüftungsanlage.

Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung müssen mindestens die Kostenanteile der Abluftanlage bei den Investitionskosten in Abzug gebracht werden.

In Abbildung erfolgt eine Kostengegenüberstellung unterschiedlicher Lüftungskonzepte (Kostengruppe 300 und 400 nach DIN 276 inkl. MWSt.): Für die Standards KfW 100 und 115 werden einfache ventilatorgestützte Abluftanlagen eingeplant, für die Standards KfW 85 und 70 hochwertige Abluftanlagen mit bedarfsgesteuerten Regelungen, für den Standard KfW 55 Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung. Eine zweite Variante wird dargestellt mit Zielkosten von gut 2.000 € für eine Wohnung. Die spezifischen Kosten pro Quadratmeter Wohnfläche belaufen sich auf 15 bis 35 € für Abluftanlagen und auf 45 bis 80 € für Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung. Aktuelle Entwicklungen auf diesem Gebiet geben aber berechtigte Hoffnung, in naher Zukunft einen Kostenrahmen von etwa 30 €/m² zu erreichen.

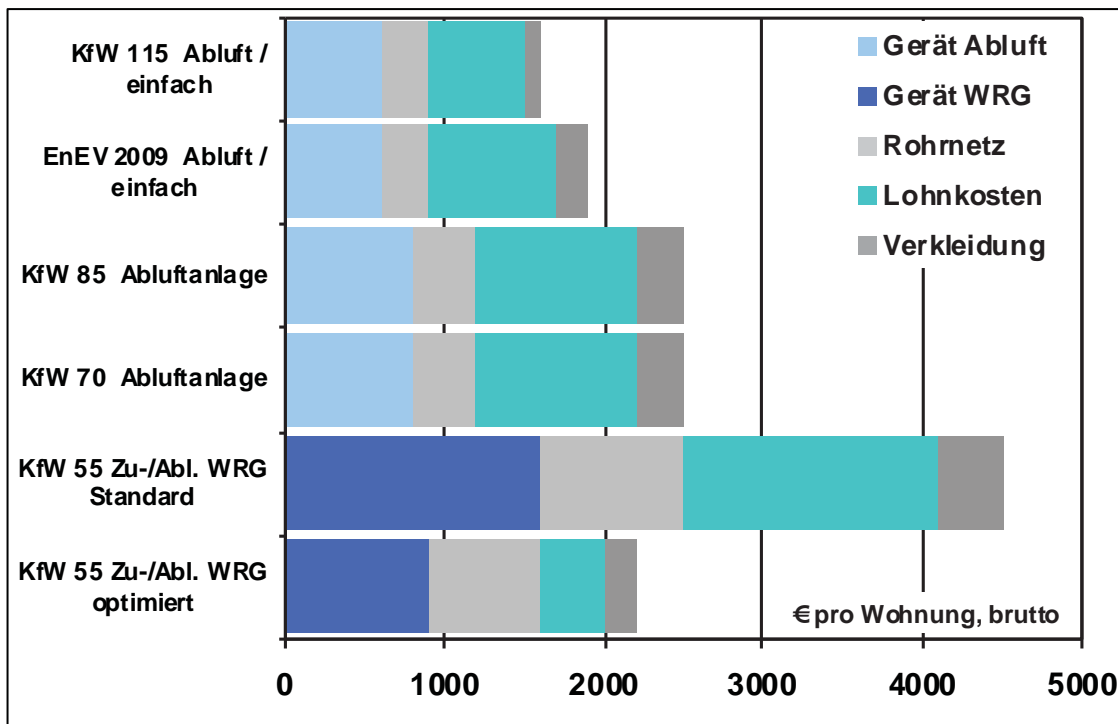


Abbildung 20: Gegenüberstellung von Lüftungsgeräten (Kostengruppe 300 und 400 nach DIN 276 inkl. MWSt.): Für die Standards KfW 100 und 115 werden einfache ventilatorgestützte Abluftanlagen eingeplant, für die Standards KfW 85 und 70 hochwertige Abluftanlagen mit bedarfsgesteuerten Regelungen, für den Standard KfW 55 Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung. Eine zweite Variante wird dargestellt mit Zielkosten von gut 2000 € für eine Wohnung..

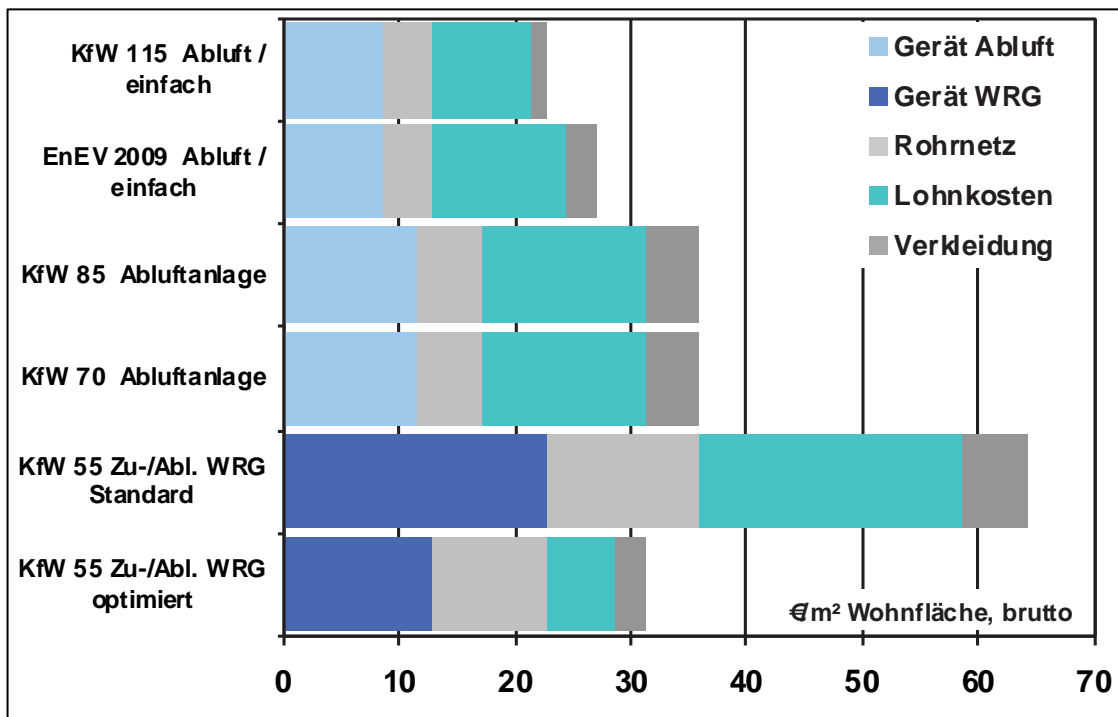


Abbildung 21: Gegenüberstellung von Lüftungsgeräten wie in der vorhergehenden Abbildung, jedoch bezogen auf m² Wohnfläche bei einer Wohnung von 70 m²: Für die Standards KfW 100 und 115 erfordern einfache ventilatorgestützte Abluftanlagen 20 bis 25 €/m², für die Standards KfW 85 und 70 hochwertige Abluftanlagen mit bedarfsgesteuerten Regelungen für etwa 35 €/m², für den Standard KfW 55 Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung im Bereich um 60 €/m². Eine optimierte Variante weist Zielkosten von etwa 30 € pro m² auf.

7 Heizungssysteme

Die Effizienzmaßnahmen bei der Gebäudehülle und Lüftungstechnik ermöglichen eine deutliche Reduzierung der Heizlast in den sanierten Gebäuden. Es ist davon auszugehen, dass in den nächsten Jahren intensive Entwicklungen im Gebäudetechnikbereich stattfinden werden. Bisherige kessel-dominierte Heizanlagen werden zunehmend in Richtung eines vernetzten Systems mit einem möglichst hohen Anteil regenerativer Energien weiter entwickelt werden. Für das Gebiet in Hamburg-Dulsberg ist davon auszugehen, dass der Anschluss an das Fernwärmesystem mittelfristig die sinnvollste Lösung darstellt. Deshalb wird im gebäudetechnischen Teil des Gutachtens diese Option besonders intensiv behandelt.

Dennoch werden in diesem Kapitel die möglichen Versorgungssysteme dargestellt und die jeweiligen Vor- und Nachteile für das Gebiet benannt.

Grundsätzlich sind Heizanlagen erforderlich, um Transmissions- und Lüftungswärmeverluste, die durch interne Quellen und solare Gewinne nicht ausgeglichen werden, den Gebäuden durch Heizsysteme zuzuführen. Durch die Auswahl der Heiztechnik wird intensiv Einfluss auf den dadurch bedingten Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen genommen. Die Energieeinsparverordnung (EnEV) ermöglicht die Bewertung des Versorgungssystems mittels Aufwandszahlen, wodurch Verluste für Übergabe, Verteilung, Speicherung und Erzeugung berechnet werden. Die Aufwendungen für Trinkwassererwärmung und elektrische Hilfsenergien für die Heizanlage werden hinzugerechnet. Mit den Primärenergieaufwandszahlen der eingesetzten Energieträger wird das Ergebnis multipliziert (s. nachfolgende Tabelle). Der Einsatz von regenerativen Energien und der Kraft-Wärme-Kopplung ist mit günstigen Kennwerten verbunden, Stromnutzung wird entsprechend der ungünstigen primärenergetischen Erzeugungskette mit dem Faktor 2,6 belegt (Bearbeitung März 2013 / gem. EnEV 2,4 ab 1.5.2014 und 1,8 ab 2016 / Verdrängungsmix 2,8).

Tabelle 13: Primärenergiefaktoren nach DIN 4701-10 (EnEV) und CO₂-Emissionen nach GEMIS

Energieträger	DIN 4701-10 kWh-prim/kWhEnd	CO ₂ GEMIS 4.14 kg/kWhEnd
Heizöl	1,1	0,31
Erdgas	1,1	0,25
Flüssiggas	1,1	0,27
Steinkohle	1,1	0,44
Holz	0,2	0,05
Strom-Mix	2,6	0,68
Gas-BHKW 70%KWK	0,7	-0,07
Öl-BHKW 70% KWK	0,8	0,10

Im Folgenden werden die für den Mietwohnungsbau relevanten Heizsysteme kurz gegenüber gestellt.

7.1 Heizsysteme mit Gas

Seit den 1970er Jahren hat sich Gebäudeheizung mit Gas auf breiter Ebene durchgesetzt. Brennwertgeräte wurden nach anfänglich hoher Skepsis seit Ende der 1980er Jahre zunehmend zum Stand der Technik. Das Emissionsverhalten wurde extrem optimiert und tendiert bei Bestgeräten zu Werten unter 0,005 g/kWh für Kohlenmonoxid und Stickoxide. Brennwertgeräte nutzen durch die Abkühlung des Abgases die Kondensationswärme des darin enthaltenen Wasserdampfes. Sie nähern sich hinsichtlich der energetischen Optimierung dem physikalischen Grenzbereich. Eine weitere Verbesserung des Anlagenaufwands ist nicht mehr in nennenswertem Umfang möglich.

Der untere Heizwert (H_u) beträgt für Erdgas etwa $10,4 \text{ kWh/m}^3$, der obere Heizwert mit Nutzung der Kondensationswärme $H_o = 11,5 \text{ kWh/m}^3$. Das ergibt eine nutzbare Brennwertdifferenz von 11% (Flüssiggas $H_u = 12,75 \text{ kWh/kg}$). Die Kondensationstemperatur für die Brennwertnutzung beträgt bei Erdgas $59,2 \text{ °C}$. Der Nutzungsgrad von Gasheizgeräten liegt bei Altgeräten um 75 - 85% in Abhängigkeit von der Betriebsweise, bei Gas-Wandheizkesseln bei 93 - 96%, Gas-Spezialheizkesseln bei 94 - 96% und bei Brennwertgeräten bei 105 - 109%, wobei die hohen Werte nur mit sehr guten Geräten und niedrigen Rücklauftemperaturen um 30 °C realisierbar sind.

Die Kosten für Brennwertgeräte liegen nur geringfügig oberhalb von Niedertemperaturkesseln und sollten deshalb ausschließlich zum Einsatz kommen, da sie sich innerhalb kurzer Zeit amortisieren und vor allem mit geringem Aufwand Emissionen reduzieren.

In Dulsberg werden Gasheizungen in zahlreichen Gebäuden betrieben. In dem Maß, wie die Primärenergiefaktoren der Fernwärme verbessert werden, bietet es sich aus Klimaschutzgründen an, diese Anlagen durch den Anschluss an die Fernwärme zu ersetzen. Dennoch ist zu beachten, dass derzeit für zahlreiche Wohnungsbaugesellschaften die Variante mit Gasbrennwerttechnik die wirtschaftlichste Lösung darstellt.

7.2 Heizsysteme mit Öl

Ölheizungen sind in Hamburg-Dulsberg nicht vorhanden und stellen auch künftig keine zukunftsfähige Versorgungsart in diesem städtebaulich verdichteten Quartier dar.

Grundsätzlich wurden die Emissionswerte von Ölkesseln in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich verbessert, reichen aber nicht an Vergleichszahlen von Gasgeräten heran. Die Zahlen für den unteren Heizwert (H_u) von leichtem Heizöl (EL) liegen bei $10,0 \text{ kWh/l}$ ($12,1 \text{ kWh/kg}$). Unter Einberechnung des Kondensationswärme-Anteils wird der obere Heizwert (H_o) mit $10,6 \text{ kWh/l}$ erreicht. Die Kondensationstemperatur liegt bei 48 °C . Die Nutzungsgrade liegen bei guten Öl-Blaubrennern bei 94 bis 96%, bei Geräten mit Brennwertnutzung können Werte von 100 – 102% erreicht werden. Altgeräte liegen je nach Betriebsweise zwischen 70 und 85%. Es ist mithin durch Installation von Neuanlagen eine sehr hohe Energieeinsparung möglich.

7.3 Festbrennstoffe und Biomasse

Biomasse-Brennstoffe aus nachwachsenden regionalen Rohstoffen wie z. B. Holzhackschnitzel und Holz-Pellets stellen eine relevante Form der Nutzung erneuerbarer Energien dar. Die Voraussetzung liegt darin, dass die biogenen Brennstoffe aus regionalen Wirtschaftskreisläufen nachhaltig bereitgestellt werden können. Da die Ressourcen jedoch begrenzt sind und in vielen Kommunen bereits heute nicht genügend nachhaltig bereitgestellte Biomasse für Heizzwecke zur Verfügung steht, sollte diese Technik in dicht bebauten städtischen Gebieten möglichst nicht zur Anwendung kommen. Mittelfristig

können biogene Brennstoffe in Fernwärmesystemen zur Deckung für Spitzenlasten bzw. als chemisch gebundener Energieträger zum Lastmanagement genutzt werden, wenn nicht genügend sonstige regenerative Energien bereitstehen. Dezentraler Einsatz von Biomassenutzung für Einzelgebäude oder Gebäudeblocks ermöglicht diese Option eher nicht.

Zudem muss als wichtige Voraussetzung für den Einsatz von Biomasse eine Minimierung der Emissionen sichergestellt werden. Auch deshalb sind in innerstädtischen Gebieten allenfalls zentrale Biomasse Heizkraftwerke zu empfehlen, die gleichzeitig mit einem hochwertigen Rauchgassystem ausgestattet sind. Falls dezentrale Optionen mit Einbindung in das Fernwärmenetz möglich sind, kann dies eventuell eine sinnvolle Lösung darstellen. Voraussetzung ist die gezielte Einbindung in das regenerativ orientierte Lastmanagement. Langfristig wird im Rahmen der Energiewende Biomasse eher für andere Versorgungssektoren wie Transport und Flug-Treibstoff Verwendung finden und deshalb für den Sektor Heizung eher die Ausnahme werden.

7.4 Direktelektrische Heizung

Durch die Entwicklungen bei der Gewinnung erneuerbarer Energien wird Strom zukünftig noch mehr als bisher als hochwertigste breit verfügbare Energieform die Leitenergie bei der Versorgung darstellen. Beim bundesdeutschen Strommix ist ein Primärenergiefaktor von 2,6 gegeben, gemäß EnEV 2014 beträgt der Primärenergiefaktor 2,4 ab 1.5.2014 und 1,8 ab 2016. Das heißt, es sind im Mittel 2,6 / 2,4 / 1,8 kWh Primärenergie eines anderen Brennstoffs erforderlich, um eine kWh Strom zu erzeugen. Dieser Wert für in den folgenden Jahren sukzessive sinken. Dies liegt darin begründet, dass der Strommix durch den Zubau regenerativer Stromerzeugung kontinuierlich günstiger wird. Dennoch ist eine direktelektrische Beheizung von Gebäuden durch Strom nicht sinnvoll. Da die Leistungsengpässe bei regenerativer Versorgung vor allem in den Hauptheizmonaten Dezember bis Februar liegen werden, müsste bei einem höheren Anteil direktelektrischer Heizung ein unangemessen hoher Aufwand für den Leistungsvorhalt erfolgen. Dies würde zu hohen Aufwendungen und mithin Kosten bei der Vorhaltung von Leistungskapazität im Bereich von Kraftwerken, KWK und Speichern führen, die für die kurzen Zeiten des Winters bzw. Jahres vorgehalten werden müssen, in denen die erneuerbaren Energien nicht genügend zur Verfügung stehen. Im Winter handelt es sich dabei um zwei bis vier Wochen, in denen weder genügend Wind bläst noch die Sonne scheint. Entgegen der Argumentation, dass direktelektrische Heizung die Nutzung erneuerbarer Energien positiv beeinflusst, muss also festgestellt werden, dass im Gegenteil das Lastmanagement durch dieses Vorgehen in hohem Maße aufwändiger würde. Selbstverständlich können allerdings Lösungen sinnvoll sein, bei denen regenerativer Überschussstrom direkt oder über Wandlung in das Wärmenetz eingespeist wird. Insbesondere bei Gebäuden mit gutem Wärmeschutz führt dies zu einem sehr hohen Regelpotenzial, indem die Temperatur in solchen Gebäuden um 0,5 bis 1,5 Grad Celsius bei Bedarf erhöht werden kann. Alternativ können auch Wasserspeicher in den Gebäuden oder in Fernwärmenetzen gespeist werden.

7.5 Wärmepumpe

Elektrisch betriebene Wärmepumpen ermöglichen eine effiziente Stromnutzung zur Wärmeerzeugung. Bei günstigen Rahmenbedingungen liegt die Leistungszahl (ϵ) im Jahresmittel bei 3,5 bis deutlich über 4 für den Bereich der Heizung. Dazu gilt grundsätzlich: Je niedriger der Temperaturabstand zwischen der Wärmequelle und der Vorlauftemperatur der Heizungsanlage, desto höher ist ϵ . Die Wärmequelle kann Umgebungswärme aus dem Erdreich, dem Grundwasser, der Umgebungsluft oder die

Restwärme aus anderen Systemen sein. Niedrigtemperatur-Heizsysteme wie z. B. Flächenheizungen mit Vorlauftemperaturen von 26 - 35 °C sind Voraussetzung für einen effizienten Betrieb.

Bei der Festlegung der Leistungszahl ist die Warmwasserbereitung zu beachten. Aufgrund des höheren erforderlichen Temperaturniveaus werden in diesem Bereich deutlich ungünstigere Leistungszahlen von oftmals deutlich unter 3,0 erzielt. Deshalb ist zu empfehlen, Wärmepumpen mit dem Einsatz von thermischen Solaranlagen zu verbinden, um den weniger effizienten Bereich der Warmwasserbereitung zu einem größeren Anteil regenerativ zu versorgen. Darüber hinausgehend kann in Verbindung mit einer größeren solarthermischen Anlage der solare Eintrag auch als Wärmequelle für die Wärmepumpe genutzt werden. Der Vorteil liegt darin, dass bereits solare Gewinne auf einem minimalen Temperaturniveau durch die Wärmepumpe nutzbar werden. Der Temperaturabstand zwischen der Wärmequelle und der Vorlauftemperatur der Heizungsanlage wird auf diese Weise in weiten Teilen der Heizzeit sehr gering und ermöglicht mithin eine sehr günstige Leistungszahl. Der Nachteil dieses Konzepts liegt allerdings in den hohen Investitionskosten und dem relativ komplexen Regelaufwand.

Wärmepumpen eignen sich in Verbindung mit einem Flächenheizsystem zum Kühlen eines Gebäudes mit nur geringem investivem Mehraufwand. Noch günstiger ist es, den ohnehin vorhandenen Erdkolektorkreislauf auf direktem Weg mit einem Temperaturniveau von 16 bis 18 °C zur Temperierung im Hochsommer zu nutzen, ohne Zwischenschaltung der Wärmepumpe. Die thermische Aufladung des Erdreichs im Sommer ist ein angenehmer Nebeneffekt dieses Systems.

Grundsätzlich lässt sich auch überschüssige Solarthermiewärme im Erdkollektor zwischenspeichern. Die Effekte dürfen aber nicht überbewertet werden. Zudem ist die Wärmepumpe auf die daraus entstehenden Temperaturen abzustimmen. Standardmäßige Wärmepumpen verkraften keine hohen Temperaturen aus dem Primärkreislauf. Zahlreiche Systeme, die auf diesem jahreszeitlichen Speichereffekt aufbauen, zeigten im Monitoring nur einen geringen Effekt und hohe Aufwendungen für die Hilfsenergien. Bei hoher städtebaulicher Dichte ist zudem das Problem gegeben, dass der Grund bzw. das Grundwasser thermisch zu sehr beeinträchtigt wird.

Die unter 7.4 beschriebenen Nachteile der Stromnutzung gelten grundsätzlich auch für Elektro-Wärmepumpen. Da aber die Energieversorgung im Zuge der Energiewende zunehmend strombasiert sein wird, sind Anlagenkonzepte mit hoher Effizienz insbesondere hinsichtlich des Lastmanagements von Vorteil, sodass Wärmepumpen vor allem bei kleinteiliger Gebäudestruktur eine wichtige Säule der Wärmeversorgung übernehmen werden.

Gasmotor-Wärmepumpen als Alternativlösung zur Elektrowärmepumpe erlauben eine erhöhte Ausnutzung des Brennstoffs gegenüber Gasbrennwertgeräten. Auf Grund der höheren Investitions- und Betriebskosten ist im Einzelfall eine sehr genaue Analyse erforderlich, ob die Wärmepumpe effektiv einsetzbar ist. Grundsätzlich könnte in Dulsberg überprüft werden, ob die Abwärme aus dem Hefewerk auf diesem Weg in das Fernwärmesystem eingebracht werden kann. Technisch und ökologisch ist diese Lösung sinnvoll. Entscheidend wird die ökonomische Bewertung sein.

Wärmepumpen-Kompaktaggregate können grundsätzlich bei Gebäuden bzw. Wohnungen mit extrem geringem Heizwärmebedarf eingesetzt werden, insbesondere im Passivhausbereich. Es handelt sich um die Kombination von Zu-/ Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung und Kleinstwärmepumpe. Bei solch einem Wärmepumpen-Kompaktaggregate wird die Restenergie in der Fortluft der Lüftungsanlage mittels einer Kleinstwärmepumpe mit zwei Verflüssigern für die Beheizung des Gebäudes und die Warmwasserbereitung genutzt. Die Wärmepumpe führt die Wärme alternativ entweder in die Zuluft direkt über das Lüftungssystem oder in den Warmwasserspeicher. Den größten Teil des Jahres reicht die Wärmemenge aus, um den Warmwasserbedarf zu decken. Nur bei besonders hohem Warmwasserbedarf muss direktelektrisch nachgeheizt werden: das Warmwasser über den

Warmwasserspeicher und die Raumheizung über kleine Elektroheizkörper oder besser zwei Heizkörper z. B. im Bad und Wohnzimmer, die an den Speicher durch eine einfache Zirkulationsleitung angebunden sind. Durch solch einen zusätzlichen Heizkörper kann die transportierte Wärmemenge in Sondersituationen von der Lüftungsanlage abgekoppelt werden.

Falls ein Wärmepumpenkompaktaggregat im Geschosswohnungsbau wohnungsweise eingesetzt werden soll, muss ein Aufstellraum gefunden werden, der die oftmals auftretenden niederfrequenten Schallemissionen verträgt. Bisher installierte Anlagen wiesen oftmals Probleme unter diesem Aspekt auf und waren zudem aus ökonomischer Sicht eher an der obersten Grenze angesiedelt. Zudem weicht die Anlagenphilosophie vom üblichen Warmwasser-System ab, was bei Mietern möglicherweise zu Akzeptanzproblemen führen kann.

7.6 Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Die Nutzung von regenerativer Kraft-Wärme-Kopplung über ein Nah- bzw. Fernwärmenetz stellt einen wesentlichen Beitrag zur regenerativen Versorgung des Dulsberg-Gebietes dar und wird in den Kapiteln A-III-5 hinsichtlich seines Potenzials dargestellt.

Grundsätzlich werden bei der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) Wärme und Strom mittels eines Motors oder Aggregats bereitgestellt, sodass die Abwärme bei der Stromerzeugung ohne hohen Aufwand vor Ort genutzt werden kann. Der Vorteil dieser Anlagen besteht in der Möglichkeit, Strom- und Wärmebereitstellung individuell auf die jeweilige Anwendung hin zu optimieren und ohne hohe Systemverluste die freiwerdende Wärmeenergie vor Ort für Prozess- oder Heizwärme zu nutzen. Die Verluste bei einem BHKW betragen um 10% gegenüber 35 - 60% bei herkömmlicher getrennter Strom- und Wärmeerzeugung in zentralen Kraftwerken und dezentralen Heizungskesseln. BHKW-Module sparen primärenergetisch 30 bis 40% gegenüber der Standardtechnik ein.

Bei der Nutzung im Wohnbereich zur Raumheizung und Warmwassererwärmung werden die Anlagen vor allem nach den Erfordernissen der Wärmeerzeugung geregelt. Die Leistung des BHKW's wird auf etwa 20 - 30% der maximalen Heizleistung ausgelegt. Auf Grund des Verlaufs der Jahresdauerlinie beträgt der Anteil der geleisteten Arbeit 70 bis über 80%. Die Spitzenleistung wird durch einen Kessel oder sonstigen Energieerzeuger erbracht, der nur eine sehr geringe Jahreslaufzeit aufweist. Ziel der Anlagenkonzeption muss eine möglichst hohe Jahreslaufzeit des BHKW-Moduls von 4.000 bis 6.000 Vollbenutzungsstunden sein, um eine ausreichende Wirtschaftlichkeit zu erzielen. Günstig sind Gebäude mit hohem Wärmedämmstandard, so dass auf Grund der gleichbleibenden Brauchwarmwassererwärmung auch im Sommer noch ein hoher Anteil der Auslegungsleistung erforderlich ist und mithin Laufzeiten für das BHKW von möglichst deutlich über 4.000 Stunden erreicht werden.

Neben noch niedriger liegenden Mikro-BHKW's beginnen die Anlagengrößen für KWK-Module bei $5 \text{ kW}_{\text{elektrisch}}/10 \text{ kW}_{\text{thermisch}}$ und können in Verbindung mit dem Spitzenkessel für eine Heizlastauslegung von 35 bis 50 kW eingesetzt werden. Das entspricht einem hochwertig sanierten Gebäude mit 2.000 bis 3.000 m² beheizter Fläche. Die Kosten für das Aggregat betragen um $1.000 \text{ €/kW}_{\text{elektrisch}}$. Bei sehr kleinen Modulen liegt der spezifische Preis auch höher. Nach oben sind hinsichtlich der Leistung bis hinein in den Megawattbereich keine Grenzen gesetzt, sodass größere Einheiten oder Nahwärmesysteme günstig mit KWK betrieben werden können. Die Kosten für solch große Anlagen betragen für die Aggregate um $500 \text{ €/kW}_{\text{elektrisch}}$.

Die Emissionen von KWK-Anlagen orientieren sich an Werten der TA-Luft. Dies gilt auch für Kleinanlagen, die in ihrer Auslegung der Verordnung über Kleinfeuerungsanlagen unterliegen.

Die heutige Technik ist mit der Befeuerung mittels fossiler Energieträger als Übergangstechnik für die nächsten zwanzig bis dreißig Jahre anzusehen. Ihre günstige Primärenergiebilanz ergibt sich derzeit vor allem aus den aktuell sehr ungünstigen Primärenergiekennwerten für Stromerzeugung. Bei einem deutlich zunehmenden Anteil regenerativer Stromerzeugung sinken die PE-Kennwerte für Strom und in gleichem Maß wird KWK-Technik bilanziell ungünstiger. Auf Dauer muss der Brennstoff der KWK-Aggregate regenerativ bereitgestellt werden.

Hervorragend geeignet ist KWK-Technik für gezieltes Lastmanagement bei einer zunehmenden regenerativen Strom- und Wärmeversorgung. Wenn die Auslegung der Anlage einen gezielten Betrieb in Anforderungszeiten ermöglicht, können die zahlreichen dezentral positionierten Aggregate in Bedarfszeiten gestartet werden und damit ausgleichend zu den Last- und Erzeugungskurven der erneuerbaren Energien eingesetzt werden. Anlagen in Gebäuden mit hoher Effizienz eignen sich besonders für diesen Einsatz, weil einerseits das Gebäude in Anforderungszeiten um 0,5 bis 1,5 Kelvin hochgeheizt werden kann und vorab für kurze Einsatzyklen mit kosten günstigen Pufferspeichern gearbeitet werden kann, die für die Warmwasserbereitung und das gängige Warmwasser-Leistungsmanagement ohnehin vorgesehen werden sollten. Tendenziell sollten diese Speicher unter diesem Aspekt etwas größer gewählt werden.

7.7 Fernwärme

Das Dulsberg-Wohngebiet wird bereits heute zu nennenswerten Teilen mit Fernwärme versorgt. Der Vorteil von solchen zentralen Systemen liegt in der Möglichkeit, die Zentralen in relativ kurzen Zyklen mit den jeweils effizientesten Techniken auszustatten und dabei kontinuierlich den Anteil der erneuerbaren Energien zu erhöhen.

Das Netz im Gebiet wird sich in den kommenden Jahren deutlich weiterentwickeln müssen. Entsprechend den Ergebnissen der Effizienz-Untersuchung muss die Fernwärmenutzung weiterentwickelt werden. Dies beinhaltet einerseits die Reduktion der Leistung durch erhöhte Effizienz, die zunächst durch erhöhte Anschlussdichte ausgeglichen werden kann. Mittelfristig bestehen jedoch darüber hinaus – als Herausforderung und Chance – Möglichkeiten zur Reduzierung der Vor- und Rücklauftemperaturen, wodurch ein Betrieb mit einem günstigeren Anlagenaufwand ermöglicht wird.

Die konkrete Bearbeitung der Gebäudetechnik- und Fernwärmeaspekte befindet sich im Gutachten in Kapitel A III.

7.8 Brennstoffzelle

Wasserstofftechnik verspricht seit Jahren den Ansatz für die regenerative KWK-Wirtschaft. Er wird in einigen Bereichen wie der Chemie und Raumfahrttechnik bereits seit Jahrzehnten angewandt. Die Ansätze der letzten Jahre liegen in der Entwicklung der Brennstoffzelle für Mobilität und KWK-Einsatz. Sie funktioniert nach dem Grundprinzip der ihr verwandten Primärzelle (Batterie), jedoch mit dem Unterschied der kontinuierlichen Zufuhr ihrer Reaktionsstoffe. Dafür kommen Gase oder Flüssigkeiten in Frage, deren Reaktionsprodukte ebenfalls flüssig oder gasförmig sind, besonders Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff (O₂). Derzeit wird vor allem Erdgas als Ausgangsstoff verwandt, aus dem über einen vorgeschalteten Reformator Wasserstoff gewonnen wird. Die Brennstoffzelle besteht vor allem aus zwei porösen Elektrodenflächen mit Gaszuführung (Anode: Brenngas, Kathode: Sauerstoff), getrennt durch einen Elektrolyten. Mittelfristig können Brennstoffzellen als Alternative zu motorischen KWK-Modulen verwandt werden. Die Emissionswerte werden deutlich niedriger liegen. Erste Pilotanlagen laufen bereits seit längerer Zeit. Eine Markteinführung findet in den letzten Jahren langsam statt.

Einzelne Fachleute gehen davon aus, dass dezentrale KWK u. a. mit dieser Technik langfristig eine mögliche Alternative zu Fernwärme-Systemen darstellen kann.

7.9 Verteilsystem und Wärmeübergabe

Das Versorgungssystem des Gebietes wird in Kapitel A-IV-4 (GEF) detailliert behandelt.

Die Verteilung der Wärme im Gebäude erfolgt in Dulsberg nach der Sanierung durchweg mittels eines Warmwassersystems. Dabei ist zu unterscheiden zwischen einem Vierrohr-System, bei dem Heizung und Warmwasser völlig separat verteilt werden, oder einem Zweirohr-System in Verbindung mit Frischwasserstationen, die einen Betrieb auf niedrigerem Temperaturniveau ermöglichen.

Die Leitungsführung sollte innerhalb der thermischen Hülle verlaufen, damit möglichst alle Leitungsverluste dem Gebäude als Heizwärme zur Verfügung stehen. Alle Leitungen, die trotz optimierter Planung in unbeheizten Bereichen geführt werden, sollten möglichst mit der doppelten Dämmdicke der geltenden Vorschriften der Energieeinsparverordnung gedämmt werden.

Innerhalb der Wohnungen ist die Anlagenkonfiguration über einen Verteiler mit jeweiliger Einzelanbindung der Heizkörper möglich, wenn der Bodenaufbau neu erstellt wird und die Leitungen ohne großen Aufwand unter den neuen Unterboden / Estrich verlegt werden können. Ansonsten wird ein Zweirohrsystem verwendet, das entweder innerhalb der Wohnungen im Sockelbereich verteilt wird oder – als einfachere Lösung – die vertikale Verteilung. D. h. es laufen für jeweils ein bis drei Heizkörper Vertikalstränge durch das Gebäude. Die Leitungen können verkleidet werden oder auch frei vor der Wand verlaufen. Der Nachteil dieses Systems liegt darin, dass keine individuelle Messung pro Wohnung über Wärmemengenzähler möglich ist. Die Heizkostenabrechnung erfolgt über Wärmemengenzähler, die an den Heizkörpern angebracht sind.

In jedem Fall ist ein hydraulischer Abgleich Voraussetzung für einen effizienten Betrieb.

Bei sehr gut gedämmten Gebäuden, bei denen keine innere Bauteiloberfläche mehr als 4 Kelvin unterhalb der erforderlichen Raumlufttemperatur liegt, können sehr kurze Heizungsanbindungen gewählt werden – die Heizkörper müssen nicht unter den Fenstern liegen sondern können an den Innenwänden montiert werden.

Hinweise zu Hilfsenergien wie z. B. Pumpenstrom in Kapitel 8.1

Heizflächen

Je besser ein Gebäude gedämmt ist, desto einfacher ist es, die Heizflächen kostengünstig und komfortabel auszubilden. In solch einem Fall liegen die raumseitigen Oberflächentemperaturen der Außenbauteile bereits ohne zusätzliche Heizwärmezufuhr nur knapp unterhalb der Raumtemperatur und die zuzuführende Wärmemenge ist sehr gering. Es ist eher unwesentlich, welche Heizfläche in diesen Räumen eingesetzt wird, weil bereits einfache Heizkörper mit einer niedrigen Vorlauftemperatur von 45 bis 50 °C ausreichend sind.

Es wird bei dieser Art der Sanierung ein hoher thermischer Komfort gewährleistet, der es ermöglicht, die Raumlufttemperatur um 2 bis 3 Kelvin zu senken bei gleichem Behaglichkeitsempfinden. Die Erfahrung zeigt allerdings, dass bei hochwertig gedämmten Wohnungen ein Reboundeffekt eintritt und die mittlere Durchschnittstemperatur in der Folge statt der notwendigen 19 bis 20 °C dennoch 21 bis 23 °C beträgt, was zu einer Erhöhung des Heizwärmebedarfs um etwa 10 bis 15% führt. Das sind bei einem Passivhaus 0,1 bis 0,2 Liter Öläquivalent pro m² beheizter Fläche. Dem steht ein hoher Komfortgewinn gegenüber, der von vielen Menschen seit Jahren bereits als selbstverständlich angenommen wird.

Anhang A – Technische Grundlagen

ARGE: Ecofys Germany GmbH, GEF Ingenieur AG, Dr. Burkhard Schulze-Darup, PPL Architektur und Stadtplanung GmbH, büro lucherhandt

Bei Backsteinfassaden mit Denkmalschutzaufgaben ergeben sich dagegen hohe Anforderungen an die Art der Beheizung. Ist eine hochwertige Dämmung nicht möglich, kann über Flächenheizungen im Bereich der Außenwand der gleiche erhöhte Komfort wie bei hochwertigem Wärmeschutz erreicht werden. Wandflächenheizungen an der Außenwand beinhalten den größten Komfort. Die Folge ist wie bei der guten Dämmung ein verändertes Nutzerverhalten. Der Reboundeffekt ist in der gleichen Form gegeben, allerdings möglicherweise etwas geringer ausgeprägt, weil bei Abschalten der Heizung die Raumtemperatur rasch sinkt. Diesen Vorteilen stehen allerdings auch Nachteile entgegen: die Heizwärme wird an der kältesten Stelle abgegeben und mithin erhöht sich der Wärmeverlust über die Transmission. Der Gegeneffekt einer etwas geringeren Gleichgewichtsfeuchte durch die Beheizung der Außenwand mit einer daraus resultierenden Verbesserung des U-Wertes liegt geringer als die zu erwartenden erhöhten Verluste durch die direkte Wärmeableitung. In Verbindung mit einer sinnvoll ausgelegten Innendämmung kann dieser Nachteil zum großen Teil gemindert oder aufgewogen werden. Als Fazit ist eine Flächenheizung ohne Innendämmung der Wand strikt abzulehnen.

Es sind folgende Faktoren für ein gesundes und ein behagliches Raumklima ausschlaggebend:

- Mittelfristig werden Mieter einen deutlich höheren Komfort fordern, als er derzeit bei den unsanierten Gebäuden im Gebiet gegeben ist. Bereits heute wird kaum mehr ein Mieter in ein ungedämmtes Gebäude ziehen, wenn er eine Weile in Räumlichkeiten nach EnEV-Standard oder besser gewohnt hat. Zukünftig werden von den Nutzern ausgeglichene Temperaturen an den Oberflächen der Aufenthaltsräume gefordert werden. Strahlungsasymmetrie aufgrund ungedämmter Wände mit der Folge schneller Auskühlung der Räume wird in zehn Jahren mit einem deutlichen Mietabschlag verbunden sein.
- Heizflächentemperatur: je geringer, desto besser; Maximaltemperatur 55 °C (bei höheren Temperaturen beginnen Pyrolysereaktionen in Bezug auf Staub und angelagerte Schadstoffe).
- Raumtemperatur-Unterschiede: möglichst gleiche Verteilung der Temperatur, vor allem hinsichtlich der vertikalen Schichtung.
- möglichst geringe Luftbewegung durch Konvektion, einerseits aus Behaglichkeitskriterien, vor allem jedoch zur Vermeidung von Staubaufwirbelung.
- Niedertemperatursysteme erwärmen oftmals direkt oder indirekt Flächen, von denen die Wärme in Form von Strahlung abgegeben wird. Ein hoher Anteil an Strahlungswärme ist bei niedrigen Heiztemperaturen nicht wichtig, weil der negative Einfluss der Konvektion nicht auftritt.
- Reinigungsmöglichkeiten für Staubablagerungen an den Heizflächen müssen gegeben sein.

7.10 Regelung

Die Heizungsregelung hat die Aufgabe, ausreichende Wärme und Behaglichkeit im gesamten Gebäude sicherzustellen und dabei den Heizflächen die geringstmögliche Wärmemenge zukommen zu lassen. Dabei sind zahlreiche Faktoren zu berücksichtigen:

- Transmissionswärmeverluste, bedingt durch die Außentemperatur
- Lüftungswärmeverluste bzw. Änderung der Lüftungsverhältnisse
- Erwärmung durch solare Einstrahlung
- Erwärmung durch interne Quellen (Bewohner, eingeschaltete Elektrogeräte)
- Unterscheidung des Wärmebedarfs einzelner Räume.

Bei schlecht gedämmten Gebäuden überwiegen Transmissionswärmeverluste, so dass andere Einflüsse vergleichsweise gering sind. Je besser der Wärmeschutz ist, desto höhere Anforderungen müssen an die Heizungsregelung gestellt werden, da die Lüftungswärmeverluste den Verbrauch stark beeinflussen.

Die technischen Eingriffsmöglichkeiten bei einer Heizanlage bestehen in:

- Anpassung der Vorlauftemperatur an den Wärmebedarf in Abhängigkeit von Außen- und Raumlufttemperatur
- Regelung der zirkulierenden Wassermenge durch die Pumpenleistung
- Reduzierung des Wasserdurchflusses einzelner Heizflächen zur unterschiedlichen Beheizung verschiedener Räume
- Abstellen von Wärmeerzeuger und Heizungszirkulation bei fehlendem Wärmebedarf
- Temperaturregelung (Sollwertverstellung) durch den Nutzer für individuelle Bedürfnisse der Temperaturgestaltung über einen zentralen Regelmechanismus in der Wohnung oder über die Thermostatventile der Heizkörper.

Intelligente Regelungssysteme auf vernetzter EDV-Basis (BUS-Systeme etc.) werden zunehmend auch im Wohnungsbau eingesetzt. Ein Einbau ist grundsätzlich sinnvoll und ermöglicht viele weitere Regelungsoptionen. Voraussetzung ist, dass pro Wohnung die hierfür zusätzlichen Kosten nicht höher als 300 € liegen und gleichzeitig Funktionen der Regelung, des Monitorings, der Hilfsenergieerduktion und der Heizwärmeabrechnung übernommen werden können. Bei solchen Anlagen ist es auf einfache Art möglich, das Lüftungsverhalten der Nutzer zu lenken, indem in Räumen mit falschem Lüftungsverhalten die Heizleistung reduziert wird, was in Verbindung mit einer einfacher Nutzeranleitung das Verhalten der Bewohner sinnvoll lenken kann.

Solch eine hochwertige Regelung kann langfristig sehr günstige Optionen für eine erneuerbare Energieversorgung bieten. Entsprechend des Lastgangs im übergeordneten Netz kann in einem kleinen, für den Nutzer kaum spürbaren Temperaturfeld durch Aufladen und Entladen das Gebäude als Wärmespeicher genutzt werden.

Als niederschwellige Maßnahme sollten die Regeleinstellungen grundsätzlich regelmäßig überprüft werden und darüber hinaus ein hydraulischer Abgleich durchgeführt werden, wenn dieser in den letzten Jahren nicht nachweisbar erfolgt ist. Eine Optimierung durch solch einen Abgleich kann 2 bis 5 Prozent Energieeinsparung erbringen. Darüber hinaus kann in Bestandsgebäuden ein Monitoring-System mit Datenloggern installiert werden. Auf diesem Weg wird das Nutzungsprofil exakt erfasst und in der Folge die Regelung präzise darauf eingestellt, wodurch mit sehr geringem Aufwand Einsparungen von etwa drei Prozent erreicht werden können. Dieser Wert kann auch deutlich höher liegen, wenn die Einstellungen im Vorfeld besonders ungünstig waren.

7.11 Trinkwassererwärmung

In Mehrfamilienhäusern ist ein relevanter Anteil der Heizwärme für die Bereitstellung der Trinkwassererwärmung erforderlich. Nach EnEV werden rechnerisch $12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ angesetzt. Dabei muss bedacht werden, dass es sich um Nutzwärme handelt. Für den Anlagenaufwand ist dieser Wert mit einem Faktor von 1,05 bei sehr günstigen Anlagen bis hin zu deutlich über 1,2 bei üblichen Bestandsanlagen zu multiplizieren zuzüglich der Wandlungsverluste, wenn die Wärme z. B. über einen Kessel bereitgestellt wird. Darüber hinaus ist zu beachten, dass sich der EnEV-Kennwert auf AN bezieht. AN ergibt sich als Produkt aus dem Gebäudevolumen und dem Faktor 0,32 und liegt 25 bis 35% höher

Anhang A – Technische Grundlagen

ARGE: Ecofys Germany GmbH, GEF Ingenieur AG, Dr. Burkhard Schulze-Darup, PPL Architektur und Stadtplanung GmbH, büro lucherhandt

als die tatsächlich beheizte Fläche. Im Umkehrschluss liegt der Kennwert um diese Prozentzahl günstiger. Die Nutzwärme nach EnEV beträgt also für Mehrfamilienhäuser $12,5 \cdot i \cdot M \cdot 130$ Prozent, also etwa $16,25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ zuzüglich der Anlagenverluste.

Messwerte des Heizenergiebedarfs für die Trinkwassererwärmung liegen bei optimierten Anlagen um $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, bei Standardanlagen im Bestand oftmals im Bereich von 35 bis $45 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Im Gegenzug sinkt der Heizenergieverbrauch um die Anlagenverluste des Warmwasser-Systems während der Heizzeit, was z. T. eine Reduktion von 10 bis über $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ausmachen kann. Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass der tatsächliche Verbrauch beim Warmwasser deutlich stärker von den Nutzern abhängig ist als bei der Heizung. Allerdings sind zahlreiche Einsparmöglichkeiten gegeben:

- Sanitärbereiche horizontal und vertikal eng beieinander anordnen
- Minimierung der Steigstränge und Verteilleitungen in Länge und Querschnitt und Führung innerhalb der beheizten Gebäudehülle
- Optimierung der Zirkulation
- Dämmung des Rohrsystems mit den doppelten Maßen der EnEV-Anforderungen
- Warmwasseranschlüsse für Spülmaschine und Waschmaschine
- Reduzierung der Durchflussmengen an den Zapfstellen und in der Dusche und Verwendung von Einhebel-Spararmaturen, die in der Standard-Mittelstellung kein Warmwasser ziehen.

Sinnvoll ist die Versorgung über Frischwasserstationen, weil dadurch die Vorlauftemperatur des Heizsystems deutlich gesenkt werden kann.

7.12 Solarthermie

Als Solarthermie wird die aktive Umwandlung von Sonnenstrahlung in Wärme mittels Sonnenkollektoren bezeichnet. Sonnenstrahlung (Wellenlängen von $0,29$ bis $2,5 \mu\text{m}$) trifft mit ca. $1.340 \text{ W}/\text{m}^2$ auf die Atmosphäre der Erde, verliert durch Reflexion und Absorption durch die atmosphärische Hülle an Intensität und gelangt bei wolkenlosem Himmel mit etwa $1.000 \text{ W}/\text{m}^2$ auf die Erde. An einem trübem Wintertag kann sich die Leistung auf $50 \text{ W}/\text{m}^2$ verringern. Die jährliche Einstrahlung auf horizontale bzw. 45° nach Süden geneigte Flächen beträgt $900 - 1.200 \text{ kWh}/\text{m}^2$.

Für Gebäude kann diese Technik grundsätzlich in den Bereichen der Wassererwärmung und Heizung Anwendung finden. Bei hochwärmedämmender Ausführung der Gebäudehülle verkürzt sich die relevante Heizzeit allerdings auf die Monate November bis März. Während dieser Zeit ist der solare Eintrag so gering, dass eine aufwändige Heizungseinbindung von Solarthermieanlagen nicht sinnvoll ist.

Die jährlichen Kollektorenergieerträge betragen ohne Berücksichtigung der Wärmeverluste durch Rohrleitungen und Wärmespeicher 400 bis $500 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Pro Person ist in Abhängigkeit vom gewünschten Deckungsgrad der Anlage etwa ein Quadratmeter Absorberfläche anzusetzen. Bei Mehrfamilienhäusern ergeben sich daraus solare Deckungsgrade für die Warmwasserbereitung von 50 bis 60%. In der Tabelle ist eine einfache Darstellung der sich daraus ergebenden Kennwerte zusammengestellt. Im Geschosswohnungsbau ist anzuraten, eine Auslegung auf die Warmwasserbereitung in den Sommermonaten auszuführen, um ein möglichst effizientes und rentables System zu erhalten. Die Absorberflächen liegen dann mit ca. $0,6 \text{ m}^2$ Kollektorfläche etwas niedriger als in der Tabelle und die solare Deckungsrate liegt bei 40 bis 50%. Diese Konfiguration ist die wirtschaftlichste Ausführungsvariante.

Tabelle 14: Größenordnungen für die Dimensionierung von Brauchwarmwasser-Solaranlagen und zu erwartende Wärmegewinne; inkl. Anlagenverluste; Rahmenbedingungen: solare Deckungsrate von ca. 60%, Globalstrahlung 1100 kWh/(m²a); bei Reduktion der Deckungsrate auf bis zu 50% beträgt die Fläche pro Person 0,6 m², was zu einer erhöhten Wirtschaftlichkeit führt. In der Tabelle stünden dann z. B. 24 qm Kollektorfläche für 40 Personen.

Personen	Energiebedarf /Tag	netto Absorberfläche (Flachkollektor)	Speicher- volumen	zu erwartende Wärmegewinne
	kWh	m ²	m ³	kWh/a
2	3,7	3,0	200-300	1.100
3	5,6	4,0	250-300	1.700
4	7,4	6,0	300-400	2.400
6	11,1	7,5	500-600	3.000
10	18,5	12,0	700-1000	5.000
20	37	20,0	1.500-2.000	8.400
40	74	35-40	2.500-3.000	16.000

8 Stromverbrauch

Der Haushaltsstromverbrauch wird durch die Bewohner bestimmt. Dennoch gibt es zahlreiche Eingriffsmöglichkeiten und Öffentlichkeitsmaßnahmen, die von der Wohnungsbaugesellschaft und den Versorgern durchgeführt werden können. Bei Gemeinschafts- und Hilfsstrom kann jedoch gezielt eine Optimierung – insbesondere auch als kosteneffiziente niederschwellige Maßnahme – durchgeführt werden.

8.1 Gemeinschaftsstrom und Hilfsstrom

Bei der Planung der Gebäudetechnikanlagen ist ein Schwerpunkt auf die Reduktion der Hilfsenergien zu legen. Das betrifft alle Regelungen, Pumpen für die Heizaggregate und die Verteilung sowie die Komponenten von Lüftungsanlagen.

Als hoch effiziente niederschwellige Maßnahme können alte Heiz- bzw. Zirkulationspumpen durch Hocheffizienzpumpen ersetzt werden. Denn Bestandspumpen passen sich nicht dem Bedarf an mit der Folge einer deutlich zu hohen Pumpleistung in Zeiten mit geringem Wärmebedarf, in denen die meisten Thermostatventile fast oder ganz geschlossen sind. Neue geregelte Pumpen passen ihre Drehzahl dem Bedarf an und verwenden hocheffiziente EC-Motoren. Dadurch können bei besonders ungünstigen Ausgangssituationen Stromeinsparungen für die Pumpe bis über 80% erzielt werden. Als Faustregel gilt: die Anlage sollte so einreguliert sein, dass für jeden Heizkörper etwa 0,5 bis 1 Watt elektrische Pumpenleistung gegeben sind. Darüber hinaus kann in Verbindung mit einer optimierten Regelung Heizwärme in nicht unbedeutender Höhe eingespart werden. Gleiches gilt analog für die Zirkulationspumpen von Warmwassersystemen.

Für die Gemeinschaftsbereiche sollte für alle Gebäude ein systematischer Stromcheck durchgeführt werden. Das betrifft neben den Anlagen für Heizung, Warmwasserbereitung und Lüftung alle sonstigen Aggregate und den Bereich der Beleuchtung.

Anhang A – Technische Grundlagen

ARGE: Ecofys Germany GmbH, GEF Ingenieur AG, Dr. Burkhard Schulze-Darup, PPL Architektur und Stadtplanung GmbH, büro lucherhandt

Zahlreiche Wohnungsbaugesellschaften haben mit ihren Energieversorgern Verträge über die Lieferung von regenerativem Strom geschlossen. Für beide Vertragspartner ist diese Regelung sinnvoll. Der Lieferant hat einen verlässlichen Kunden, für den sinnvoll neue erneuerbare Energien erschlossen werden können. Die Wohnungsbaugesellschaft kann mit sehr geringen Mehrkosten eine deutlich günstigere Primärenergiebilanz für ihre Gemeinschaftsbereiche vorweisen.

An dieser Stelle ist hinzuweisen auf das Beratungsangebot bei UfR und der Verbraucherzentrale sowie Caritas. Ansprechpartner ist Herr Janssen bei NR (Durchwahl 2135).

8.2 Haushaltsstrom

In keinem Sektor kann mit geringem Aufwand in solch einem hohen Maß Primärenergie eingespart werden wie beim Haushaltsstrom. Das Nutzerverhalten lässt sich mit minimalem Einfluss auf den Komfort verändern. Darüber hinaus kann jeweils bei einer notwendigen Neuanschaffung eines Gerätes ein hocheffizientes Produkt gekauft werden. In den meisten Fällen rechnet sich die Mehrinvestition gegenüber einem Standardgerät innerhalb weniger Jahre. Dabei ist allerdings von den üblichen Erneuerungszyklen auszugehen. Eine Erneuerung vor Ablauf der Nutzungsdauer ist im Allgemeinen aufgrund der eingesetzten grauen Energie kontraproduktiv.

In der Tabelle werden Ansätze für einen Drei- bis Vierpersonenhaushalt gegenüber gestellt. Im linken Bereich sind die relevanten Geräte mit ihren Verbrauchskennzahlen und Nutzungszeiten für eine ungünstige Konstellation dargestellt, auf der rechten Seite eine optimierte Situation. Die Realität wird sich im Allgemeinen im Zwischenbereich abspielen. Es erscheint allerdings mit günstigen Geräten nicht besonders schwierig, in einem Dreipersonenhaushalt Werte von 1.800 bis 2.500 kWh pro Jahr zu erzielen.

In der Abbildung werden neben diesen beiden Standards noch zwei mittlere Situationen dargestellt. Im Folgediagramm werden die gleichen Verbrauchswerte als Primärenergiekennzahl dargestellt. Da der Primärenergiefaktor für Strom bei 2,6 liegt, wirkt sich der Haushaltsstromverbrauch besonders stark auf die Bilanz aus. Es erscheint sinnvoll bei Sanierungskonzepten von Wohnquartieren mit einer Mischung aus Information und Förderung – ggf. gemeinsam mit Stadtwerken o. ä. – eine Reduktion des Haushaltsstromverbrauchs herbeizuführen.

Darüber hinaus können Versorger und Vermieter Konzepte für günstige Tarife ausarbeiten, damit die Mieter möglichst kostenneutral auf erneuerbar gewonnenen Strom umsteigen können. Die Primärenergiebilanz des Gebäudes wird dadurch gravierend verbessert.

Tabelle 15: Gegenüberstellung von Stromnutzung in einem Haushalt mit alten Geräten und einem nicht sparsamen Betrieb gegenüber einem sparsamen Umgang mit effizienten Geräten

	Alte Geräte - nicht sparsam				Bestgeräte - sparsam					
	kWh	Anzahl	Watt	Std/d	kWh/a	kWh	Anzahl/a	Watt	Std/d	kWh/a
Waschmaschine	2,2	300			660	1,02	200			204
Trockner	3,5	200			700	2,1	100			210
Geschirrspüler	2,1	350			735	1,05	300			315
Kühl-Gefriergerät	350	1			350	135	1			135
Gefrierschrank	400	1			400	179	0			0
PC&Bildschirm			300	8	876			12	4	18
Telekommunikation			40	24	350			5	24	44
Fernseher			150	5	274			50	2	37
Radio-HIFI			40	5	73			15	3	16
Beleuchtung			120	7	307			60	5	110
Sonstiges	500	1			500	150	1			150
Stand-by-Betrieb			50	24	438			5	24	44
Summe					5663					1282

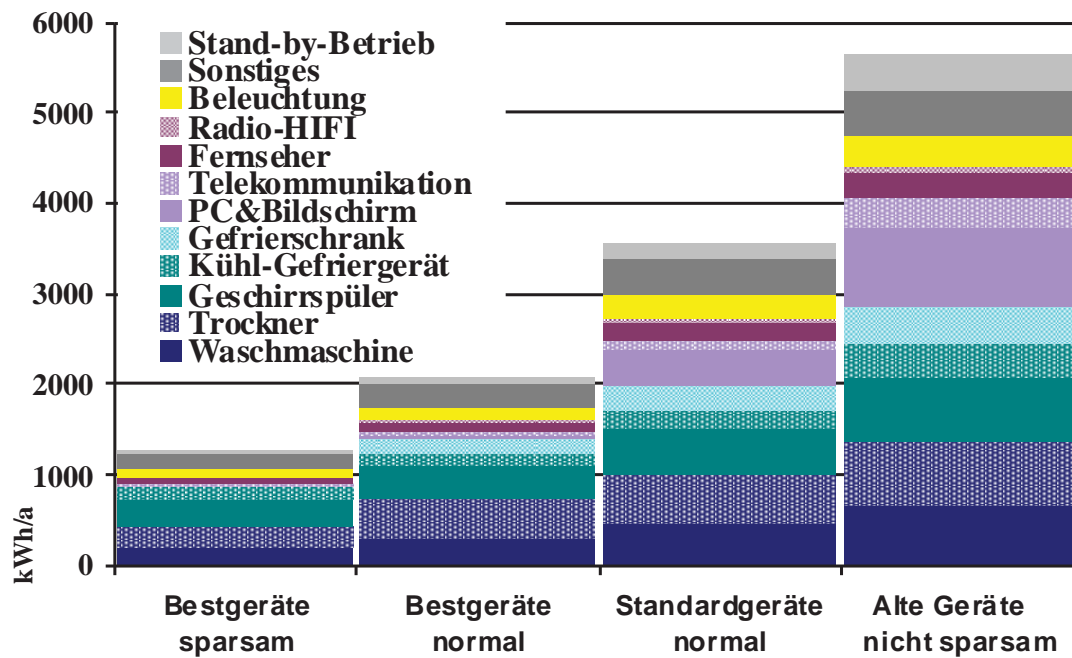


Abbildung 22: Gegenüberstellung unterschiedlicher Stromnutzungen für einen Drei- bis Vierpersonen-Haushalt. Der Endenergiebedarf beträgt zwischen 1200 und deutlich über 5000 kWh/a

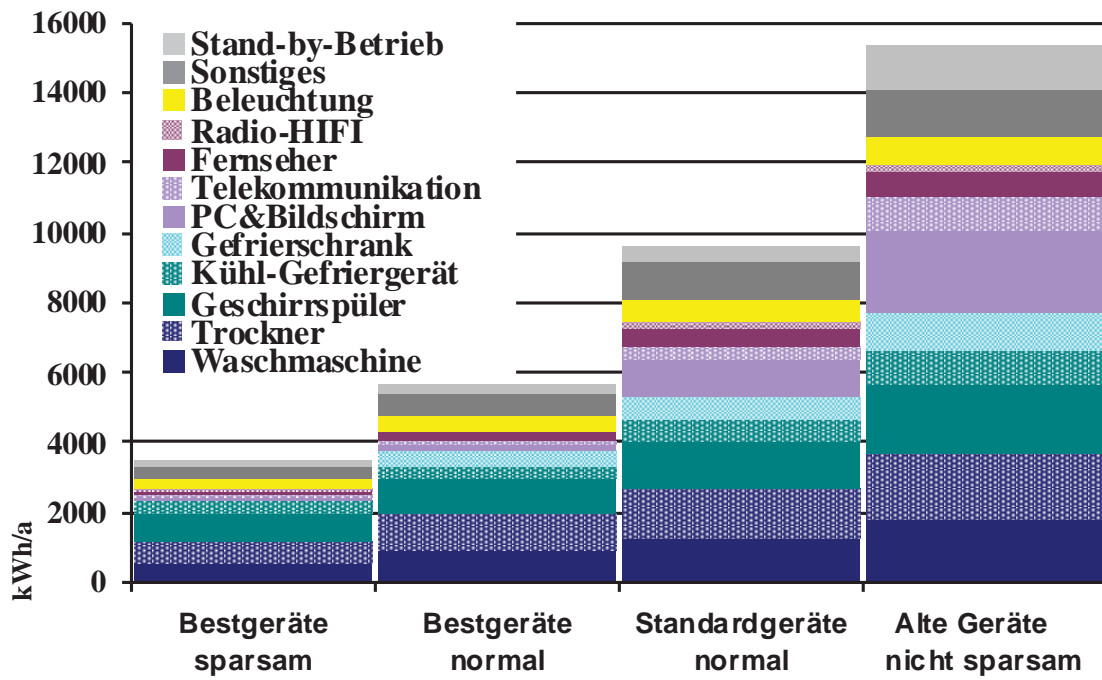


Abbildung 23: Umrechnung der Endenergiewerte aus der vorherigen Abbildung in Primärenergie-Kennwerte

9 Glossar

Abluft: aus einem *Raum* ausströmende belastete Luft

Abluftanlage: Gesamtheit der Bauteile, Baugruppen und Geräte zur Luftabsaugung aus einer oder mehreren Wohnung(en)

Abluft-Gerät (kontrollierte Lüftung): Baueinheit zur un- bzw. geregelten Luftabsaugung aus einer Wohnung oder einem Raum, mit oder ohne Luftfilter

Ablufträume: Gesamtheit der Räume, aus denen bei Schacht- und ventilatorgestützter Lüftung die Abluft abgesaugt wird: z. B. Küche, Badezimmer, WC, Saunaraum und unbewohnte Kellerräume

Absolute Luftfeuchte: Wasser- oder Dampfmenge je Masseinheit trockener Luft

Anlagenaufwandszahl – Verhältnis von Aufwand zu Nutzen bei einem Energiesystem. Anlagenverluste drücken sich durch eine Aufwandszahl $> 1,0$ aus.

Auslegungszeitpunkt - Zeitpunkt mit der kältesten normalen Außentemperatur ($- 12^{\circ}\text{C}$) über eine bestimmte Dauer, die für die Auslegung von Heizanlagen (die maximal benötigte Leistung) herangezogen wird.

Außenluft: aus dem Freien in einen Raum einströmende („Frisch-“)Luft

Bafa- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle ist eine Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

BW- Brennwertkessel - Heizkessel, der die im Abgas enthaltene Energie nutzt, indem der Wasserdampf bei etwa 50°C zur Kondensation gebracht wird.

Dampfdiffusionswiderstand - Maß der Durchlässigkeit eines Baustoffes für Wasserdampf. Dimensionsloser Stoffkennwert, der angibt, wieviel mal größer der Diffusionsdurchlasswiderstand des Stoffes gegenüber Wasserdampf ist als der einer gleich dicken ruhenden Luftschicht gleicher Temperatur

Dena- Deutsche Energie Agentur

DIN 4108 - umfangreiches Normenwerk zu Wärmeschutz im Hochbau

Energiebezugsfläche - die Fläche, auf die sich der Kennwert eines Energiebilanzverfahrens bezieht. Sie wird nach EnEV aus dem Volumen abgeleitet und ist vor allem bei kleineren Gebäude meist deutlich größer als die tatsächliche Wohn- und Nutzfläche.

Energiedurchlassgrad (g-Wert) - Kennzahl von Gläsern, die angibt, wieviel Prozent der auf die Scheibe treffenden Sonnenenergie diese durchdringt. Je höher der g-Wert ist, desto mehr solare Wärmegewinne erhält das Haus durch die Fenster.

Energieeinsparverordnung – Folgeverordnung zur Wärmeschutzverordnung und Heizanlagenverordnung, in Kraft getreten am 1.2.2002

EnEV – siehe „Energieeinsparverordnung“

Fensterlüftung - freie Lüftung eines Raumes über ein geöffnetes Fenster (vgl. freie Lüftung)

Fortluft - ins Freie ausströmende belastete Luft

freie Lüftung - (natürliche) Lüftung von Räumen oder Wohnungen infolge eines durch Wind bzw. thermischen Auftriebs verursachten Druckunterschiedes zwischen dem Raum und dem Freien, bei der

die Luft über Lüftungsschächte, Außenwand-Luftdurchlässe und ungeplante Undichtheiten sowie offene Fenster und (Außen-)Türen in die Wohnung ein- bzw. ausströmt

Fugenlüftung: freie Lüftung eines Raumes über die Fugen geschlossener Öffnungen sowie über baukonstruktiv bedingte Fugen bzw. ähnliche Undichtheiten in der Gebäudehülle; bei üblichen (Inversions)-Wetterlagen beträgt der hierdurch induzierte Luftwechsel gerade einmal 0,05 1/h, was weniger als ein Zehntel des erforderlichen Volumenstroms darstellt

Gebäudehülle: Summe aller Bauteile, die einen Innenbereich vom Freien bzw. von direkt anschließenden Gebäuden abgrenzen

GEMIS: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme

Grundlüftung: vorzugsweise ständige ventilatorgestützte Lüftung zur Gewährleistung des Bautenschutzes sowie der hygienischen und gesundheitlichen Erfordernisse in einer durchschnittlich genutzten Wohnung

g-Wert siehe Energiedurchlassgrad

Heizen: Zuführung von sensibler thermischer Energie in einen Raum

Heizenergiebedarf (Q_H) – Energie, die dem Gebäude für Heizen und Warmwasserbedarf zugeführt wird (Endenergie)

Heizlast: thermischer Energiestrom, der infolge von Transmissions- und Lüftungs-Wärmeverlusten eines Raumes diesem zugeführt werden muss, um eine bestimmte Soll-Raumlufttemperatur aufrecht zu erhalten

Heizleistung: thermischer Energiestrom, der von einem Wärmeerzeuger oder Wärmeübertrager bereitgestellt wird

Heizwärmebedarf (Q_H) – Wärme, die den beheizten Räumen zugeführt werden muss, um die gewünschte Raumtemperatur einzuhalten (Nutzenergie)

Heizwärmebedarf: Notwendige jährliche Wärmezufuhr eines Gebäudes (in kWh/m²_{NA}) zur Aufrechterhaltung normaler Innentemperaturen bei normalen äußeren Klimabedingungen und normalem Luftwechsel; ergibt sich aus Transmissionswärmeverlusten, Lüftungswärmeverlusten, solaren Wärmegegewinnen und inneren Wärmegegewinnen.

Hüllfläche - Fläche, die das beheizte Gebäudevolumen nach außen oder zu unbeheizten Räumen abschließt.

Hygrometer: Messgerät zur Bestimmung der relativen Luftfeuchte der Raumluft

Interne Wärmegegewinne - Energiegegewinne aus Abwärme von elektrisch betriebenen Geräten, von anderen Wärmequellen wie Gasherden und von in den Räumen lebenden Menschen.

Jahreswirkungsgrad - Anteil des Energieinhalts von Gas, Öl, .., der gemittelt über das Jahr als Heizwärme nutzbar ist.

Kraft-Wärme-Kopplung - Nutzung der bei der Stromherstellung mit Motoren anfallenden Abwärme. Pro Kilowattstunde erzeugten Stromes werden etwa 3 Kilowattstunden nutzbarer Wärme abgegeben.

kW_{peak} - Kilowatt Spitzenleistung in Bezug auf die Produktion von Strom über Photovoltaik

Luftbelastung - Veränderung des Luftzustandes im Aufenthaltsbereich durch Aufnahme von Wärme, von Wasserdampf sowie aller Arten und Formen von Beimengungen

Luft-Dichtheit: Zustandsbeschreibung der Hüllkonstruktion hinsichtlich ihrer (Luft-) Durchlässigkeit, Synonym für möglichst geringe Durchlässigkeit; Undichtheit: ungeplante Durchlässigkeit der Hüllkonstruktion, die einen Leckluftstrom zur Folge haben kann

Luft-Durchlass: Öffnung in Anlagen, Geräten, Luftschächten bzw. gebäudetechnischen Hüllkonstruktionen, durch die Luft differenzdruckabhängig planmäßig in einen Raum ein- oder aus diesem ausströmen kann, z. B. Außen(wand)luft-, Überströmluft-, Abluft- und Fortluft-Durchlass

Luftfeuchte (Luftfeuchtigkeit): in trockener Luft enthaltenes Wasser in dampfförmiger, flüssiger oder fester Form

Luft-Filter: technisches Hilfsmittel zum Abscheiden von partikelförmigen Verunreinigungen aus Luftströmen

Luft-Infiltration: ungeplantes Einströmen von Außenluft durch Undichtheiten in der Hüllkonstruktion eines Gebäudes bzw. Raumes infolge eines Druckunterschiedes zwischen außen und innen

Lüftung: Lüfterneuerung in Räumen durch Austausch von Raumluft gegen Außenluft (Luftwechsel)

Lüftungswärme: thermischer Energiestrom für die Erwärmung oder Kühlung eines Außenluft-Massestroms auf Soll-Raumlufttemperatur

Lüftungswärmebedarf - Wärmebedarf für die Erwärmung der Frischluft.

Luftvolumenstrom - Luftvolumen je Zeiteinheit

Luftwechsel - stündlicher Luftvolumenstrom je Volumen einer Raumeinheit bzw. volumenbezogene stündliche Lüfrate

Luftwechselrate - gibt an, wie oft die Innenraumluft, bezogen auf das gesamte Gebäudeluftvolumen, pro Stunde ausgetauscht wird - durch Lüftungsanlagen, mechanisches Lüften oder/und durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle

Nutzfläche (A_N) – Nach Energieeinsparverordnung festgelegt als $= 0,32 \cdot \text{Volumen}$. Dies führt im Einfamilienhausbereich zu deutlich höheren Werten für A_N als die tatsächlich beheizte Wohnfläche beträgt. Dadurch erscheint der Heizwärmebedarf eines Gebäudes niedriger, wenn keine Umrechnung auf die tatsächlich beheizte Fläche erfolgt.

Passivhaus – Gebäude mit einem Heizwärmebedarf von höchstens $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und einem Primärenergiebedarf für Heizen, Warmwasser und (Haushalts)-Stromanwendungen von höchstens $115 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Photovoltaik - Anlagen zur direkten Erzeugung von Strom aus Sonnenlicht.

PlusEnergieHaus – Gebäude mit einem Energieüberschuss in der Bilanz: es wird mehr Energie gewonnen als verbraucht, im Allgemeinen wird dafür die Jahresbilanz gefordert und der Nachweis hinsichtlich der Endenergie- und der Primärenergiebilanz. Es ist sinnvoll, den Effizienzstandard eines Passivhauses als Grundlage zu wählen, das in hohem Umfang mit regenerativen Energien versorgt wird. Zusätzlich weist es Energiegewinne z. B. über Fotovoltaik auf, die höher liegen als die gelieferten Energieträger für Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom.

Primärenergiebedarf (Q_P) – Energiemenge, die zur Deckung des Jahresheizenergiebedarfs und des Trinkwasserbedarfs benötigt wird unter Berücksichtigung der zusätzlichen Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe entstehen.

PV - Photovoltaik

Anhang A – Technische Grundlagen

ARGE: Ecofys Germany GmbH, GEF Ingenieur AG, Dr. Burkhard Schulze-Darup, PPL Architektur und Stadtplanung GmbH, büro luchterhandt

Raumluftechnische oder Lüftungs-Anlage: Gesamtheit der Bauteile, Baugruppen und Geräte zur Aufrechterhaltung eines Raumlufzustandes mittels ventilatorgestützter Lüftung

relative Luftfeuchte: Wasserdampfdruck der Luft bezogen auf den Sättigungsdruck des Wasserdampfes bei gleicher Trockenkugel-Temperatur bzw. Verhältnis der je Raumeinheit feuchter Luft vorhandenen Wasserdampfmenge zur Höchstmenge bei gleichem Druck und gleicher Trockenkugel-Temperatur

Solare Warmegewinne - nutzbare Sonnenenergie, die durch transparente Bauteile ins Haus gelangt

Sonnenkollektoren - Anlagen zur Erzeugung von warmem Wasser mit Sonnenenergie.

Stoßlüftung - Fensterlüftung über ein voll geöffnetes Fenster

thermischer Auftrieb - Druckunterschied aufgrund unterschiedlicher Dichten bzw. Temperaturen zwischen Innen- und Außenluft in Verbindung mit einer Höhendifferenz zwischen den Luftdurchlässen

Transmission - Durchgang von Wärme durch die Hüllfläche eines Hauses, also Wände, Decken, Fußböden, Fenster.

Transmissionswärme: Wärmestrom durch die Hüllkonstruktion eines Raumes infolge eines Temperaturunterschieds

Trinkwasser-Wärmebedarf (Q_{TW}) – Nutzwärme, die zur Erwärmung der gewünschten Menge des Trinkwassers zugeführt werden muss.

Umbauter Raum: von einer Hüllkonstruktion umschlossener Abschnitt einer Wohnung bzw. eines Gebäudes

Unterer Heizwert - Energieinhalt von Brennstoffen wie Gas oder Öl ohne Berücksichtigung der Energie, die mit dem Abgas verloren ist.

U-Wert siehe Wärmedurchgangskoeffizient

Ventilator: Strömungsmaschine zur Förderung von Luft oder anderen Gasen bis zu einem Differenzdruck von 30 000 Pa (auch „Lüfter“) - Gebläse arbeiten mit höheren Drücken.

Ventilatorgestützte Lüftung: Lüftung von Räumen oder Wohnungen infolge eines durch Maschinenkraft (motorbetriebene Ventilatoren) verursachten Druckunterschiedes zwischen dem Raum und dem Freien bzw. unterschiedlichen Räumen der Wohnung, bei der Außenluft über Außenwand-Luftdurchlässe und ungeplante Undichtheiten sowie offene Fenster und (Außen)-Türen vorzugsweise in die Wohnung nach- bzw. einströmt sowie Zuluft über Luftdurchlässe in die Wohnung gefördert und Abluft in jedem Falle über Abluftdurchlässe aus der Wohnung abgesaugt wird

Wärme - thermische Energie

Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) - gibt den Wärmestrom (in Watt) an, der durch einen Quadratmeter eines Bauteils bei einer Temperaturdifferenz zwischen innen und außen von 1 Kelvin fließt. Die Einheit ist $W/m^2 \cdot K$. Der U-Wert eines Bauteils wird aus der Wärmeleitfähigkeit λ und der Schichtdicke s der einzelnen Baustoffe berechnet. Außerdem werden die Wärmeübergangswiderstände an der Innen- und Außenseite (R_{si} und R_{se}) berücksichtigt, die z.B. für Wände geschlossener Räume (Zimmer oder Keller) höher sind als für außenluftumspülte Flächen.

Wärmelast - Oberbegriff für Heiz- und Kühllast

Wärmerückgewinnung - Maßnahme zur Wiedernutzung von thermischer Energie der Abluft

Wärmeleistungsbedarf - Notwendige Wärmeleistung (in kW) zum Ausgleich der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste zum Auslegungszeitpunkt (Außentemperatur -12 °C) bei normaler Raumtemperatur (+20 °C)

Wärmeleitfähigkeit (λ -Wert) - gibt an, welche Wärmemenge durch eine Fläche von 1 m² eines Baumaterials von 1 m Dicke strömt, wenn die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Seiten 1 Kelvin beträgt. Die Maßeinheit ist W/m·K. Je größer der λ -Wert ist, desto besser leitet das Material Wärme

WSVO = Wärmeschutzverordnung - Die auf das Energiespargesetz gestützte Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden von 1977 bis 2002, abgelöst durch die Energieeinsparverordnung (EnEV)

Wärmeverlust: thermische Energiemenge, die aus einem Raum oder einer Anlage in Form von Transmissions- bzw. Lüftungswärme entweicht

10 Literatur und Quellen

[BMU 2008]	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Leitstudie 2008 – Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas, Stuttgart, 2008
[BMU 2011]	Eckpunktepapier der Bundesregierung zur Energiewende. – BMU 6. 6. 2011
[BMU 2011-1]	BMU: Erneuerbare Energien 2010. – Daten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2010 auf der Grundlage der Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (A-GEE-Stat), Berlin 23. März 2011
[BMWi/BMU 2010]	Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. – BMWi und BMU vom 28. September 2010
[EEG]	Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG), Fassung 1. 1. 2012
[EEWärmG]	Erneuerbare Energien Wärmegesetz
[EnEG 2009]	Energieeinsparungsgesetz seit dem 2. April 2009
[EnEV 2014]	Energieeinsparverordnung 2014
[EnOB 2012]	EnOB: Forschung für Energieoptimiertes Bauen. – BMWI http://www.enob.info/
[EPBD]	EU Gebäuderichtlinie 2010 – energieeffizientere Gebäude (European Directive Energy Performance of Buildings) EPBD http://www.enev-online.de/epbd/2010/index.htm
[GdW 2011]	GdW: „Energieeffizienz mit städtebaulicher Breitenwirkung“. – Interdisziplinäres Forschungsvorhaben des GdW mit Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück; Bearbeitung Bereich Technik & Kosten: Dr. Burkhard Schulze Darup, Schulze Darup & Partner, Nürnberg; Berlin 2011
[IÖW 2010]	Hirschl, Aretz, Prah et al: Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien. – Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) in Kooperation mit dem Zentrum für Erneuerbare Energien (ZEE). Im Auftrag der Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) Berlin September 2010
[Löhnert, Lützkendorf, Schulze Darup et.al 2013]	Löhnert, Lützkendorf, Schulze Darup et al.: Energieeffizient Bauen und Modernisieren - Ratgeber für private Bauherren. – Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin 2013
[Lüking, Hauser 2011]	Rolf-Michael Lüking, Gerd Hauser: Die thermische Konditionierung

	von Gebäuden im Kontext eines zukünftigen Energieversorgungssystems. – Stuttgart 2011
[Mc Kinsey 2010]	Mc Kinsey: ROADMAP 2050 – practical guide to a prosperous, low-carbon Europe. – 2010
[Nitsch 2010]	Nitsch et al: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global – „Leitstudie 2010“. Im Auftrag des BMU: Arbeitsgemeinschaft Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Stuttgart Institut für Technische Thermodynamik, Abt. Systemanalyse und Technikbewertung / Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Kassel / Ingenieurbüro für neue Energien (IFNE), Teltow, Berlin 2010
[Ökoinstitut, Prognos 2009]	Ökoinstitut, Prognos: Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken. – Im Auftrag des WWF 2009
[PHI 1998-2014]	Tagungsberichte der jährlichen Internationalen Passivhaustagungen 1998 bis 2014. – Passivhaus Institut Darmstadt 2014
[PHPP 2012]	Feist et al: Passivhaus Projektierungs Paket. – Passivhaus Institut Darmstadt 2012
[Prognos 2011]	Prognos: Anforderungen an einen Sanierungsfahrplan Auf dem Weg zu einem klimaneutralen Gebäudebestand bis 2050. – Im Auftrag von NABU Berlin 2011
[Schulze Darup 2010]	Schulze Darup: CO ₂ -Neutralität im Gebäudesektor bis 2050 –Vision oder Notwendigkeit? – In VME Jahrbuch Energieeffizienz Berlin 2010
[Schulze Darup 2010-1]	Schulze Darup (Herausgeber): Energetische Gebäudesanierung mit Faktor 10. - Broschüre zum Forschungsvorhaben mit Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt Osnabrück, überarbeitete Auflage 2010
[UBA 2010]	Energieziel 2050: 100% Strom aus Erneuerbaren Quellen. - Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau, Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Kassel, 2010
[Vallentin 2011]	Vallentin, Rainer: Energieeffizienter Städtebau. – Cuvillier Verlag Göttingen 2011

