



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Niedrigenergiehaus im Bestand

**Ausarbeitung einer Sanierungsstrategie nach wirtschaftlichen,
ökologischen und ästhetischen Aspekten**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs/ Diplom- Ingenieurin
unter der Leitung

Ass.Prof. Dipl.-Ing.Dr.techn. Karin Stieldorf

E259/2 - Institut für Architekturwissenschaften,
Hochbau und Entwerfen
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13, 1040 Wien

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Bettina Wiedemann Matrikelnummer 0827796

Wien, am 01.04.2015

Kurzfassung

Die thermisch nachhaltige Altbausanierung stellt einen wichtigen Beitrag für eine wirkungsvolle Reduktion der CO₂ - Emissionen im Kyoto-Maßnahmenpaket dar.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Energieeffizienz eines Bestandsgebäudes, einer Doppelhaushälfte aus der 1930er Jahren in Kiel, Schleswig-Holstein (D). Es erfolgt eine Bestandsaufnahme, eine Analyse der Bauteile und eine Berechnung der Wärmeverluste. Es werden Varianten zur Verbesserung der Energieeffizienz vorgestellt und ein Sanierungskonzept herausgearbeitet, durch das der derzeitige Primärenergiebedarf um 87 % gesenkt werden kann. Zu den Sanierungsmaßnahmen werden die möglichen finanziellen Förderungen dargestellt.

Des Weiteren wird ein Vorschlag zur Verdichtung des Wohnraumes auf dem Grundstück in Form eines Anbaus mit flexibel nutzbarem Grundriss skizziert.

Abstract

The renovation of the building stock in a sustainable way represents a major contribution to an effective reduction of CO₂- emissions in the Kyoto package of measures.

The present work deals with the energy efficiency of an existing building, a semi-detached house from the 1930s in Kiel, Schleswig-Holstein (D). There is a stock inventory, an analysis of the outer structural building parts and a calculation of the of heat losses of the house. There are variations introduced to improve energy efficiency and a restructuring plan is worked out to reduce the current primary energy consumption by 87 %. Potential financial incentives for each of the remedial measures are shown additionally.

Furthermore, a proposal for the densification of the living space on the ground in the form of an extension with an adjustable floor plan is outlined.

I. Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	9
2 Aufbau der Arbeit	11
3. Theoretischer Hintergrund und Begriffserklärungen	13
3.1. Energie	13
3.1.1. Energieträger	13
3.1.2. Graue Energie	15
3.1.3. Energiepreise	15
3.2. Verordnungen und Richtlinien zum Energiebedarf von Gebäuden	17
3.2.1. Europa	17
3.2.2. Österreich	17
3.2.3. Deutschland	17
3.3. Gebäude- Zertifikate	19
3.3.1. International	19
3.3.2. Europa	19
3.3.3. Österreich	19
3.3.4. Deutschland	20
3.3.5. Schweiz	20
3.4. Niedrigenergie- Gebäudekonzepte	22
3.5. Förderungen	24
3.6. Wärmebrücken	26
4. Analysewerkzeuge	27
4.1. Rechenformeln für die Ermittlung der Wärmeverluste	27
4.2. Berechnung anfallender Feuchte in Bauteilen	28
4.3. Verfahren für die Ermittlung der ökonomischen Angemessenheit von Sanierungsmaßnahmen	29
4.3.1. Berechnung der dynamischen Amortisationszeit	29
4.3.2. Berechnung des Preises der eingesparten Energie	30
5. Klimadaten Kiel	32
5.1. Mittlere Monatstemperaturen	32
5.2. Globalstrahlung	32
6. Bestandsgebäude	33
6.1. Lage	33
6.2. Geschichte des Hauses/der Siedlung	34
6.3. Luftbilder des nordschleswiger Viertels	34
6.4. Ansichten des Hauses	34
6.5. Entwicklung des Gebäudes	34

6.6. Pläne	35
6.6.1. Lageplan	35
6.6.2. UG	36
6.6.3. EG	37
6.6.4. OG	38
6.6.5. DG	39
6.6.6. Schnitt 01-01	40
6.6.8. Ansicht SO	42
6.6.9. Ansicht SW	43
6.7. Bauteile, Wärmeverluste und -gewinne	45
6.7.1. Außenwand	45
6.7.2. Dach	46
6.7.3. Fenster	47
6.7.4. Gaubenwangen	48
6.7.5. Kellerwand	49
6.7.6. Bodenplatte	50
6.8. Lüftungswärmeverluste	51
6.9. Heizungstechnische Anlage	51
6.10. Wärmegewinne	52
6.9.1. Solare Gewinne	52
6.9.2. Interne Gewinne	52
6.11. Zusammenfassung der Gebäudekennzahlen	53
6.11.1. Flächenvergleich, Flächenberechnungen	53
6.11.2. Spezifischer Transmissionswärmeverlust	54
6.11.3. Gesamtwärmeverluste über Transmission und Lüftung, Bestand (rechnerisch)	55
6.11.3.1. Vergleich Flächenanteil / Anteil an Transmissionsverlusten	55
6.11.3.2. Anteile an Wärmeverlusten	55
6.12. Energieverbrauch	56
6.12.1. Heizenergieverbrauch Bestandsgebäude laut Abrechnung	56
6.12.2. Stromverbrauch	57
6.12.3. Primärenergiebedarf	57
6.12.4. CO ₂ -Ausstoß	57
6.13. Simulation des Heizwärmebedarf	58
6.13.1. Simulation des HWB unter Normnutzung	60
6.13.2. 2-Zonen-Modell-Annäherung an den tatsächlichen HWB	61
6.13.2.1. Variante 1	61
6.13.2.2. Variante 2	61
6.13.2.3. Variante 3	61

7. Sanierung von Bauteilen/ Energiesparmaßnahmen	63
7.1. Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) und bei Möglichkeit auf Förderung (KfW)	63
7.2. Außenwand	64
7.2.1. Kerndämmung	65
7.2.2. Kerndämmung und WDVS	67
7.2.3. WDVS	72
7.2.4. Kerndämmung und Innendämmung	74
7.2.5. Kerndämmung mit neuer Vorsatzschale	78
7.2.6. Gegenüberstellung	81
7.3. Fenster	82
7.3.1. Austausch der Verglasung	82
7.3.2. Vergleich 2- Scheiben- Verglasung zu 3- Scheiben- Verglasung	83
7.3.3. Austausch der Fenster	84
7.3.3.1. Passivhausfenster	84
7.3.3.2. Versetzung der Einbauebene	86
7.3.4. Gegenüberstellung Fenster	88
7.3.5. Fenstervergrößerung	89
7.3.6. Fenstervergrößerung SO- Fassade	90
7.4. Dach	91
7.4.1. Untersparrendämmung	91
7.4.2. Aufsparrendämmung	93
7.4.5. Gegenüberstellung Dach	95
7.5. Bodenplatte	97
7.6. Kellerwand Perimeterdämmung	100
7.7. Gaubenwangen	102
7.8. Gegenüberstellung Wärmeverluste nach Sanierungsmaßnahmen	104
7.9. Gebäudetechnische Anlagen	105
7.9.1. Nutzung der Sonnenenergie	105
7.9.1.1. Verschattung des Gebäudes über das Jahr	105
7.9.1.2. Photovoltaikanlage	106
7.9.1.3. Solarthermische Anlage	110
7.9.2. Lüftungsanlage	114
7.9.3. Heizungstechnische Anlagen	116
7.9.3.1. Kesselaustausch im Bestand	117
7.9.3.2. Kesselaustausch nach Sanierungsmaßnahmen	118
7.9.3.3. Zusammenfassung heizungstechnische Anlagen	119
7.10. Maßnahmenkatalog und Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen	120

8. Referenzgebäudeverfahren	122
8.1. Berechnung des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes	122
9. Ergebnis: Simulationen verschiedener Sanierungsvarianten, Conclusio	124
9.1. Sanierungsmaßnahmen mit Einhaltung der gesetzlichen Mindestdämmstärke nach EnEV2014	124
9.2. Sanierungsmaßnahmen mit Einhaltung der Mindestanforderungen bei KfW- Förderung- Reihenfolge der Sanierungsmaßnahmen nach Wirtschaftlichkeit	126
9.3. Sanierungsmaßnahmen mit Einhaltung der Mindestanforderungen bei KfW- Förderung- Reihenfolge der Sanierungsmaßnahmen nach Effektivität	128
10. Anbaumöglichkeit- Entwurf	131
10.1. Bestandssituation	130
10.2. Anbaumöglichkeiten	131
10.2.1. Anbau Süd	131
10.2.2. Westanbau 1	132
10.2.3. Westanbau 2	133
10.2.4. Nordanbau	134
10.3. Ausführung Variante Westanbau	135
10.3.1. Mögliche Grundrissvariationen	136
10.3.2. Einbindung von Photovoltaik- Modulen	138
10.3.2.1. Verschattung	138
10.3.2.2. Ertrag und Winkel der Module	139
12. Anhang	140
13. Abbildungsverzeichnis	145
14. Literaturverzeichnis	148

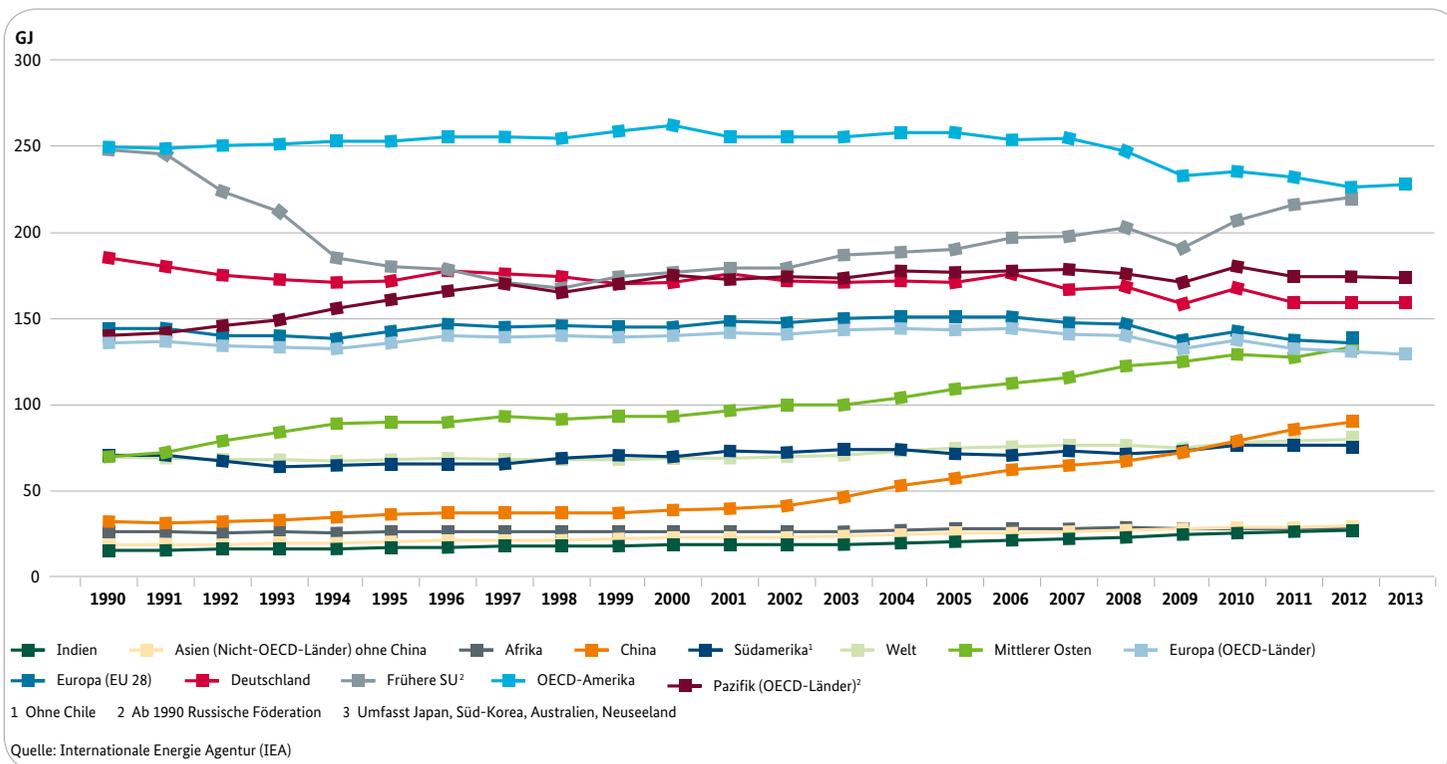


Abb. 1: Energieverbrauch pro Kopf nach Regionen, Quelle : Internationale Energie Agentur (IEA)

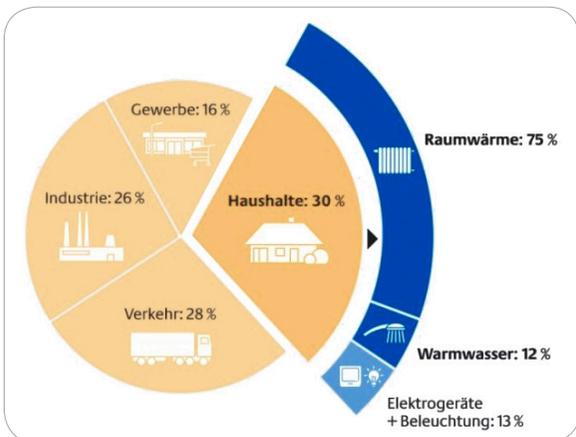


Abb. 2: Anteil der Sektoren am Energieverbrauch (D), Quelle : Deutsche Energie Agentur

I. Einleitung

Der weltweite Energieverbrauch nimmt zu. Prognosen gehen davon aus, dass sich sowohl der Primärenergiebedarf, als auch der CO₂- Ausstoß bis 2050 verdreifachen wird.¹ Grund dafür ist zum einen das Bevölkerungswachstum in einigen Ländern (derzeit weltweit jährliche Wachstumsrate von ca. 7%) und zum anderen die ansteigende Zahl der Menschen im Wohlstand.

In Schwellenländern wie China und Indien verursacht das hohe Bevölkerungswachstum zusammen mit dem Aufstreben der dortigen Industrie den jährlich immer weiter steigenden Energiebedarf. In entwickelten Ländern hingegen steigt der Energieverbrauch trotz Energiesparmaßnahmen und immer effizienteren Elektrogeräten ebenfalls noch leicht an. Ein Grund dafür ist der Drang nach einem immer höheren Lebensstandard: Die Größe der Wohnfläche pro Person und ebenfalls die Anzahl der Haushalte nehmen zu. Es müssen somit immer größere Flächen beheizt werden bzw. geht der Trend auch dahin, im Sommer die Gebäude auf eine angenehme Temperatur zu konditionieren.

Die Grafik des weltweiten Energieverbrauchs pro Kopf (siehe Abb. 1) zeigt, dass entwickelte Länder, deren absoluter Energieverbrauch aufgrund der Bevölkerungszahl niedriger sein kann als der von Schwellenländern, einen sehr hohen pro- Kopf- Energieverbrauch haben. Umgerechnet sind ca. 20% der Bevölkerung für ca. 60 % des Energieverbrauchs verantwortlich.²

Dem Pro-Kopf-Energieverbrauch sehr ähnlich sieht die Verteilung des CO₂ - Ausstoßes pro Kopf aus. Deutschland verursacht nur 2 % des gesamten weltweiten CO₂ Ausstoßes, hat aber mit 10,8t pro Jahr einen relativ hohen

pro- Kopf- Ausstoß (China : 4,9, USA 21,6).³ Ziel ist es, den CO₂- Ausstoß zu vermindern, um die Umwelt nicht weiter zu belasten und weitere Änderungen des Weltklimas in Grenzen zu halten. Ziel der EU ist es, bis 2030 40% weniger der Treibhausgase gegenüber 1990 zu emittieren. Bis 2012 gelang bereits eine Einsparung von 18%.⁴ Der Anteil Erneuerbarer Energien lag im Jahr 2012 bei bereits 13% und soll bis 2020 auf 21%, bis 2030 auf 24 % ansteigen.

Trotz eines leicht sinkenden Energieverbrauchs der privaten Haushalte in Deutschland verbrauchten sie mit 2428 TWh im Jahr 2011 immer noch 27 % der Gesamtenergie in Deutschland.⁵ Hiervon werden allein über 80 % für Raumwärme und warmes Wasser benutzt (siehe Abb.2).⁶ Besonders der Gebäudebestand trägt zu hohen Zahlen bei Bedarf von Heizwärme bei: in Deutschland sind 70 % der Bauten älter als 25 Jahre, verbrauchen aber 95% der Wärme im Gebäudebereich.⁷

Der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden ist daher bei den Klimaschutzzielen der EU eine große Bedeutung zuzuordnen. Weiters spielt die Verdichtung des Bestandes in Form von Anbau, Aufstockung oder Erweiterung eine ebenso große Rolle in der Energieeffizienzsteigerung wie Nutzungsverdichtung und Umnutzungsfähigkeit von Gebäuden durch Flexibilität in der Grundrissgestaltung.

Diese Themen werden in dieser Arbeit aufgegriffen und beispielhaft an einem realen Bestandsgebäude umgesetzt. Es werden energetische und ökonomische Vergleiche zwischen unterschiedlichen Energieeffizienzmaßnahmen aufgestellt. Das Ergebnis ist ein Sanierungsleitfaden zu einem energieeffizienten und zukunftsfähigen Gebäude.

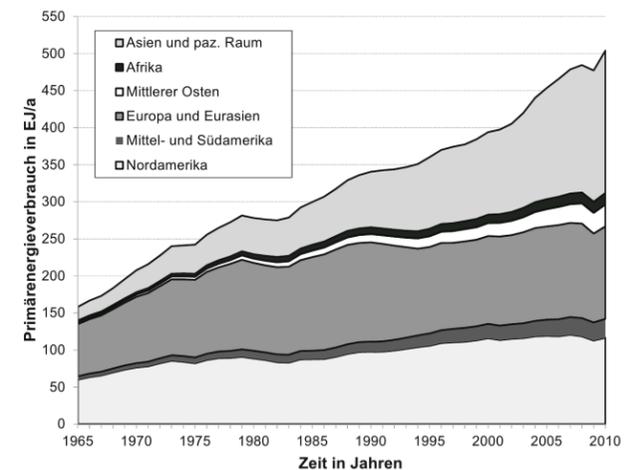


Abb. 3: weltweiter Primärenergieverbrauch 1965-2010

1 RICHARZ, SCHULZ, Energetische Sanierung, S.8
2 <http://www.berlin-institut.org/online-handbuchdemo/grafie/umwelt/energie.html>

3 RICHARZ, SCHULZ, S.11
4 <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0015&from=DE>
5 Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Auswertungstabellen zur Energiebilanz der Bundesrepublik, Deutschland 1990-2011, Stand 09/2012
6 http://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Filme/weiter-vorm_4-11_08_Energieproduzent_Gebaeude.pdf, S.10
7 RICHARZ, SCHULZ, S. 6

2. Aufbau der Arbeit

Der erste Teil der Arbeit beschreibt die Hintergründe zur Thematik. Zum einen werden Begriffserklärungen und den Energiebedarf von Gebäuden betreffende Verordnungen und Richtlinien, verschiedene vorhandene Konzepte von Energieeffizienz- Häusern und Zertifizierungen über die Nachhaltigkeit von Gebäuden genannt. Zum Anderen werden im ersten Teil die Analysewerkzeuge wie die angewandte Methode der Wirtschaftlichkeitsberechnung und die Formeln für die Energiebedarfsrechnung sowie die für die Simulation benötigten Klimadaten des Standortes Kiel angeführt.

Im zweiten Teil erfolgt eine Bestandsaufnahme des zu simulierenden Gebäudes durch Bestandspläne, Fotoansichten und Bauteilaufbauten. Es werden in diesem Teil Transmissions-wärmeverluste durch die Bauteile berechnet und miteinander verglichen.

Im dritten Teil, dem Hauptteil, werden Energieeffizienzmaßnahmen, d.h. zum einen für die Hüllflächenbauteile mögliche Sanierungsmaßnahmen und zum Anderen Effizienzmaßnahmen in Form von haustechnischen Anlagen, vorgestellt. Diese werden in ihrem Aufbau beschrieben und in ihrer Wirtschaftlichkeit bei verschiedenen Dämmstärken untersucht. Verschiedene Varianten für ein Bauteil werden jeweils miteinander verglichen. Letztendlich werden drei verschiedene Sanierungsstrategien/- reihenfolgen vorgestellt: Erstere mit der Reihenfolge nach Wirtschaftlichkeit bei der Einhaltung der gesetzlichen Dämmstärke nach EnEV2014, eine weitere ebenso nach Wirtschaftlichkeit sortierte Reihenfolge bei Einhaltung der geforderten Dämmstärken bei Anstreben auf KfW(Kreditbank für Wiederaufbau Deutschland)- Förderung, und eine letzte sortiert nach Effektivität bei Einhaltung derselben Dämmstärken.

Die Baupreise und Förderungen können zwischen den unterschiedlichen Sanierungsstrategien verglichen werden.

Der vierte Teil ist ein Vorschlag für eine volumetrisch kompakte Vergrößerung des Bestandsgebäudes. Der Grundriss ist flexibel gestaltbar und je nach Bedarf kann der Nutzer eine Wohnflächenvergrößerung, einen Arbeitsplatz oder eine zusätzlich vermietbare Wohnung dadurch erhalten. In jedem Fall kommt es auf dem Grundstück zu einer Verdichtung nutzbarer Fläche.

3. Theoretischer Hintergrund/ Begriffserklärungen

3.1. ENERGIE

Der Begriff "Energie" reicht bis in die Antike zum griechischen Philosophen Aristoteles zurück. Er bezeichnete mit "energeia" die Wirkkraft, durch die Möglichen in Seiendes übergeht. Erst im 19. Jahrhundert wurde der Begriff "Energie" wissenschaftlich fundiert und folgendermaßen definiert: "die im System gespeicherte Arbeit oder die Fähigkeit des Systems zur Verrichtung von Arbeit."

Energie kann in verschiedenen Erscheinungsformen auftreten, zum Beispiel Lichtarbeit, mechanische Arbeit oder Wärme.

Hermann Helmholtz entdeckte bzw. formulierte 1847 den Energieerhaltungssatz, der besagt, dass Energie nicht erzeugt, sondern nur in eine andere Form umgewandelt werden kann.

Primärenergie Unter Primärenergie werden alle Energieträger verstanden, deren Energie noch nicht umgewandelt wurde, also noch im ursprünglichen Zustand zur Verfügung stehen, zum Beispiel in Form von Brennstoff, Kohle, Erdgas, Sonne und Wind.

Die eigentlichen Quellen für Primärenergie auf der Erde sind Solarstrahlung, Erdwärme, Gravitation und Kernenergie, wobei die solare Strahlung 99,9% ausmacht. Diese sorgt für Photosyntheseprozesse in organischen Substanzen, wodurch Energie in Form von Biomasse gespeichert wird. Die Biomasse wird in dem Fall zum Energieträger. Es gibt aber auch vorratsbedingte Primärenergieträger, die ebenfalls durch Sonnenenergie entstanden sind und diese in sich speichern. -> siehe *Fossile Energieträger*

Da jede Art der Energieerzeugung, bzw. Umwandlung von der Energie des Energieträgers in nutzbare Energie (=Nutzenergie) aufgrund der Herstellung (Erzeugung/Förderung) und Verteilung verschiedene große Verluste aufbringt, hat jeder Energieträger einen Primärenergiefaktor,

mit dem sich aus der Endenergie die benötigte Primärenergie errechnen lässt.

Aus welchen Energieträgern beispielsweise in Deutschland die Primärenergie bezogen wird, zeigt Abbildung 14.

Sekundärenergie: Nutz-/Endenergie Durch Umwandlung von Primärenergie (mit eventuellen Verlusten) entsteht Sekundärenergie, die dem Verbraucher als Endenergie in Form eines Energieträgers wie Benzin, Heizöl, Flüssiggas oder Strom zur Verwendung bereitgestellt wird. Die Nutzenergie letztendlich ist die physikalische Umsetzung unserer Anforderung, also zum Beispiel die Lichtenergie oder die Raumwärme. Bei der Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie kommt es zu Anlagenverlusten, die abhängig sind vom Gerät der Energieumwandlung (z.B. Heizkessel, Haushaltsgerät, Wärmepumpe).

3.1.1. Energieträger

FOSSILE ENERGIETRÄGER

Wird die Energie in Form von Biomasse nicht verwertet und kann die Biomasse aufgrund eines Luftabschlusses von der Atmosphäre nicht verrotten, entsteht über einen langen Zeitraum gesehen (bis zu 400 Millionen Jahre) ein fossil- biogener Energieträger mit gespeicherter chemischer Energie, wie Erdöl, Erdgas, Braun- und Steinkohle. Zusammen mit den fossil- mineralischen Energieträgern (z.B. Uran) bilden sie die fossilen/nicht erneuerbaren Energieträger bzw. Energiereserven der Erde. Sie werden als nicht erneuerbar gesehen, da bei ihrer Nutzung mehr Energie freigesetzt wird, als dem System Erde in dem Moment zugeführt wird (die Umwandlung in fossile Energieträger braucht

	Energieträger	f _p
Brennstoffe	Heizöl	1,1
	Erdgas/Flüssiggas	1,1
	Steinkohle/Braunkohle	1,2
	Holz	0,2
Nah- und Fernwärme aus KWK	fossiler Brennstoff	0,7
	erneuerbarer Brennstoff	0,0
Nah- und Fernwärme aus Heizwerken	fossiler Brennstoff	1,3
	erneuerbarer Brennstoff	0,1
Strom	Strommix	2,4
Umweltenergie	Solarnenergie, Umgebungswärme	0,0
Biomasse	fest und flüssig	0,5

Abb. 13: Primärenergiefaktoren 2014 (nicht erneuerbar) nach EnEV

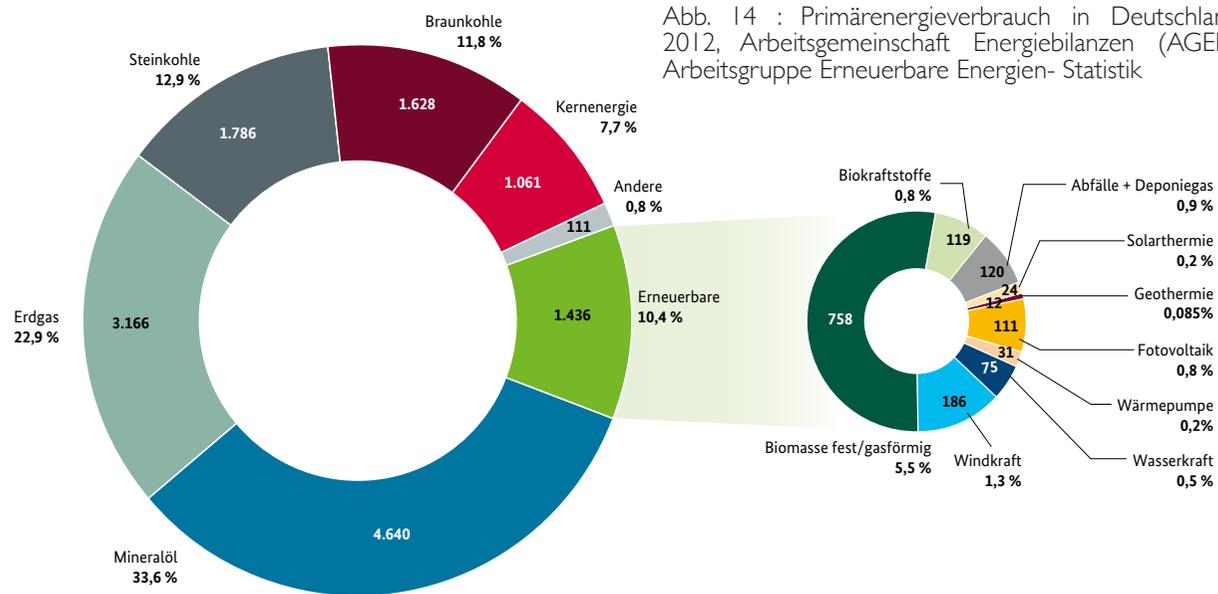
Jahrillionen).¹ Die Abgrenzung zu erneuerbaren Energieträgern der Biomasse bildet Torf.

Geschätzt sind die nicht erneuerbaren Energieträger-Reserven auf umgerechnet $10,41 \cdot 10^{15}$ kWh. Diese Energie könnte für ca. 100 Jahre reichen. Das noch nicht erschlossen geschätzte Vorkommen wird auf $46 \cdot 10^{15}$ kWh geschätzt.² Neben der endlichen Verfügbarkeit der fossilen Energieträger haben sie einen weiteren Nachteil: bei der Verbrennung mit Sauerstoff, die für die Freisetzung ihrer Energie nötig ist, wird neben Feinstaub das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid (CO₂) freigesetzt, welches zur Erderwärmung beiträgt.

Erdgas Etwa die Hälfte aller Haushalte in Deutschland wird mit Erdgas beheizt. Erdgas ist ein

¹ HEGGER, Energieatlas, S. 44f

² LÜLING, Energizing Architecture, S. 32



hochwertiger Energieträger und kann mit geringen Schadstoffemissionen verbrannt werden. Allerdings stammt der Großteil der Gasreserven aus politisch schwierigen Ländern (ca. 55% aus Russland, Iran, Katar³).

In ländlichen Gebieten ohne ausgebautes Erdgasnetz bietet sich die Alternative zu Flüssiggas, welches allerdings etwas teurer ist und für das man einen Tank benötigt.⁴

Heizöl Der Einsatz von Heizöl als Heizmittel geht kontinuierlich zurück, und anderem wegen Preisschwankungen, zu hohem CO₂- Ausstoß bei Verbrennung, geringerer Effizienz bei Brennwertnutzung gegenüber Gas und Geruchsbelästigung.

ERNEUERBARE ENERGIE

Als erneuerbare Energieträger gelten Quellen, die ständig zur Verfügung stehen und somit in menschlichen Dimensionen unerschöpflich sind. Dazu zählen die Sonnenenergie, die Gravitation und die Erdwärme und daraus abgeleitet Formen wie Wind, Gezeiten und Biomasse. Aus diesen natürlichen Phänomenen können, ohne Ausstoß von Kohlendioxid, Wärme und elektrische Energie gewonnen werden.

Biomasse Pflanzliche Biomasse ist ein CO₂-neutraler Energieträger, da die Menge an CO₂, die bei der Verbrennung freigesetzt wird, beim Wachstum der Pflanzen von diesen aufgenommen wurde.

Als Biomasse generell werden alle organischen (kohlenstoffhaltigen) Produkte von Pflanzen beschrieben. Sie sind das Produkt von Solarstrahlung ausgelöster Photosyntheseprozesse und bestehen hauptsächlich aus Zellulose (65%), Hemizellulose und Lignin.

Biomasse kann verschiedene Formen haben : Ernterückstände, wie Rest- und Schwachholz, organische Nebenprodukte wie Gülle oder industrielles Restholz, organische Abfälle wie Klärschlamm oder Deponiegas oder die sogenannten Energiepflanzen, die das größte Potenzial zur energetischen Nutzung von Biomasse haben. Darunter fallen zum Beispiel ölhaltige Pflanzen wie Raps und Soja, schnell wachsende Gräser mit hoher Zellulosemasse.

Als Primärprodukte für biogene Energieträger gelten Holz und alle weiteren direkt nutzbaren Pflanzen. Um diese optimal zur Wärmeversorgung von Gebäuden zu benutzen, müssen sie aufbereitet werden zu sogenannten Sekundärprodukten. Diese sind bereits bearbeitet, wie z.B. Gülle, Klärschlamm, Hackschnitzel, Pellets, Pflanzenöl.

Als Brennstoff eignet sich am besten holz- und halmgutartige Biomasse. Darunter fällt Restholz aus Wäldern und der Verarbeitungsindustrie. Diese werden durch Zersägen, Spalten, Zerhacken (Hackschnitzholz) oder verdichtetes Pressen von Holzmehl (Holzpellets) aufbereitet.⁵

Die energetische Nutzung von Biomasse erfolgt durch Verfeuerung in bestimmten Kesseln. Die Beschickung des Brennstoffes in den Kessel erfolgt meistens automatisch. Dafür müssen Lager und die Logistik der Anlieferung des Rohstoffs geplant werden.

Hackschnitzel ist aufgrund des geringen Aufbereitungsaufwands kostengünstig, ist aber wegen eines sehr großen Wartungsaufwands des Kessels nur für große Anlagen sinnvoll.

Einen ebenfalls sehr hohen Wirkungsgrad weist die Verbrennung von Holzpellets auf. Sie ist emissionsarm und die Pellets sind aufgrund des minimalen Wassergehalts über eine gesamte Heizperiode lagerfähig. In der Dimensionierung nimmt man pro kW Heizlast ca. 0,9m³ benötigten Lagerraum an. Der Heizwert von Erdöl ist mit 10.000 kWh/m³ zwar dreimal so hoch wie der von 1m³ Holzpellets. Dennoch bietet der biogene Energieträger auf dem Weg in eine CO₂- neutrale Zukunft eine gute Alternative.

3 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
4 GABRIEL, Vom Altbau zum Effizienzhaus, S. 132

5 HEGGER, Energieatlas S 116

WEITERE ENERGIETRÄGER

Strom Durch den zunehmenden Anteil an regenerativer Stromerzeugung sinkt zum einen der Primärenergiefaktor für Strom (2014 auf 2,4, 2016 auf 1,8), zum anderen steigt der Anteil jener, die mit Strom durch Umwandlung von Strom in Wärme mittels Wärmepumpen heizen. Der notwendige Strom hierzu wird oft selbst über Photovoltaik-Module erzeugt und ist dadurch umweltfreundlich.

Auch elektrische Direktheizungen sind bei kleineren Energiemengen sinnvoll (etwa die Abdeckung von Spitzenlasten bei Passivhäusern).

3.1.2. Graue Energie

Unter grauer Energie versteht man jene Energie, die für Herstellung, Transport, Lagerung und Entsorgung eines Produktes aufgewendet wird. Dies kann zum einen der Primärenergiegehalt eines Baustoffes, also jene Energie, die in die Gewinnung und Verarbeitung des Baustoffes geflossen ist, sein, oder z.B. die für die Erstellung, Instandhaltung, Modernisierung und evtl. Demontage eines Gebäudes nötige Energie sein.

In einem bewussten Umgang mit Energie sollte also nicht nur die zum Zeitpunkt direkt genutzte Energie sein, sondern auch die bereits für das Produkt benötigte.

Bei einem Gebäude kann alleine die graue Energie, inkl. Ersatz- und Erneuerungsmaßnahmen, 20-40 % des gesamten Primärenergieverbrauchs über die Nutzungsdauer von 60 Jahren ausmachen, welche umgerechnet im Jahr 20-50 kWh wären. Innerhalb der grauen Energie liegt die Erstellung des Rohbaus oft bei 40 %.

Abbildung 16 zeigt den Primärenergieverbrauch der Herstellung verschiedener Baustoffe.

Strategien für Energieeinsparungen im Bereich der grauen Energie sind recyclefähige Materialien, die Benutzung von Materialien mit einem geringen Primärenergiegehalt sowie einer langen Lebensdauer.

So lässt sich, ähnlich zu ökonomischen Aufwands- Nutzen-Rechnungen, die energetische Amortisationszeit berechnen und damit sehen, ob der Energieaufwand des Baustoffs größer ist als die Einsparungen, die dieser bezweckt.

Das relative Treibhauspotential bzw. das CO₂-Äquivalent ist eine Maßzahl zum Beitrag der globalen Erwärmung. Die Zahl wird meist in kg angegeben und sagt aus, um wieviel mal der Stoff stärker zum Treibhauseffekt beiträgt als 1 kg CO₂. So lassen sich auch Baustoffe, bei deren Herstellung nicht nur Energie, sondern auch Kohlenstoff ausgestoßen wird, CO₂-Äquivalente zuordnen und sich wirklich klimaschädliche von nachhaltigen Baustoffen unterscheiden.

3.1.3. Energiepreise

Ein niedriger Endenergieverbrauch macht bei steigenden Energiepreisen auch wirtschaftlich Sinn. Der Heizölpreis, ein Orientierungswert auch für Gas und Fernwärme, ist von 1990 - 2010 auf das 2,5fache gestiegen und der weltweit steigende Ressourcenverbrauch wird die Energiepreise auch in Zukunft jährlich etwa 5-10 % in die Höhe steigen lassen.⁶

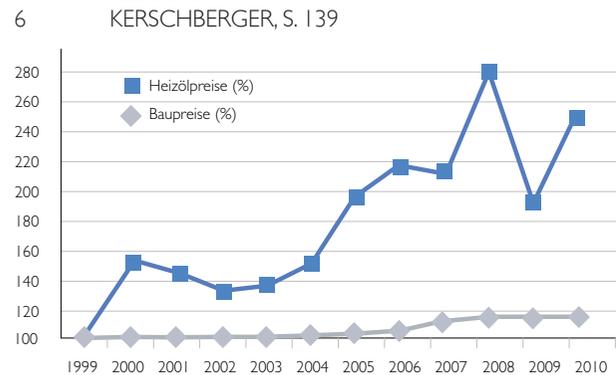


Abb. 15: Baupreissteigerung (Statist. Landesamt Baden-Württemberg) und Preissteigerung für Heizöl (Bundeswirtschaftsministerium), beide Werte nicht inflationsbereigt

Quelle: KERSCHBERGER, Energieeffizienz Sanieren, S.139

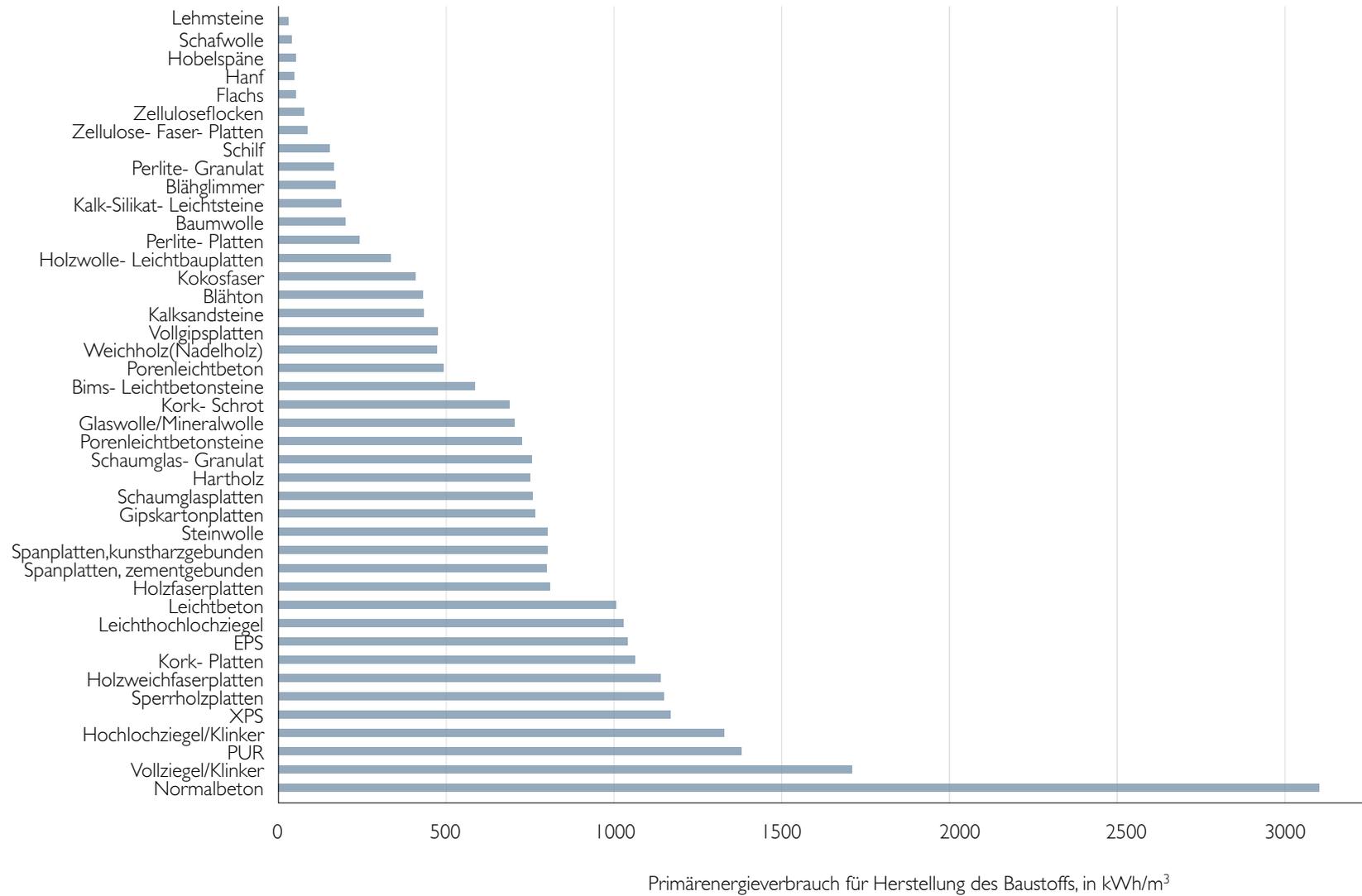


Abb. 16 : Primärenergieverbrauch verschiedener Baustoffe, Quelle: KADEL, Gebäudeenergieberatung S.225

3.2. VERORDNUNGEN UND RICHTLINIEN ZUM ENERGIEBEDARF VON GEBÄUDEN

3.2.1. Europa

Die einheitliche energetische Bilanzierung von Gebäuden wird in der EU in Form von Richtlinien vorgegeben.

Die einzelnen Mitgliedsstaaten können dazu eigene Regelungen erlassen, wie zum Beispiel in Deutschland das Energieeinspargesetz (EnEG) und als zugehörige Ausführungsverordnung die Energieeinsparverordnung (EnEV), die wiederum die DIN- Normen mit den geltenden Rechenregeln koordiniert.

2002 wurde die Europäische Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ GEEG I (2002/91/EG vom 16.12.2002) umgesetzt. Sie umfasst Berechnungsmethoden zur Gesamtenergieeffizienz, Regelungen zur Klimatisierung und elektrischen Beleuchtung von zu errichtenden Gebäuden und umfassenden Sanierungen und verpflichtet zur Erstellung von Energieausweisen.

Die Mitgliedsstaaten der EU waren ebenfalls dazu verpflichtet, die Novellierung jener Richtlinie, die EPBD / GEEG2 (2010/31/EU) vom 19.Mai 2010, in nationales Recht umzuwandeln.

Ab 2019 muss man mit einer Pflicht der Einhaltung des Niedrigenergiestandards (in etwa dem Passivhausstandard entsprechend) bei öffentlichen Gebäuden und ab 2021 bei Wohngebäuden rechnen. Alles, was über dem Energiestandard liegt, muss über regenerative Energien erzeugt bzw. eingespeist werden.

Grundlage und Randbedingungen für nationale Richtlinien wie die EnEV bildet die EN 832, in der die allgemeine Bilanzierung und das wärmetechnische Verhalten von Gebäuden beschrieben wird.

3.2.2. Österreich

In Österreich fällt das Baurecht in den Kompetenzbereich der Länder. Die Umsetzungen von Gebäuderichtlinien sind dann meist Vereinbarungen von Bund und Ländern. Um die Normen länderübergreifend zu vereinheitlichen, veröffentlicht das Österreichische Institut für Bautechnik (OIB) die OIB- Richtlinien, in die auch die Richtlinien der EU inhaltlich einfließen. Die 6 OIB- Richtlinien ergänzen und harmonisieren die rechtlichen Bauvorschriften und die Normen.

Die OIB- Richtlinie 6 zu Energieeinsparung und Wärmeschutz von 10/2011 gibt für Neubauten und Bestandsbauten, bei denen eine größere Renovierung durchgeführt werden soll, maximal zulässige Werte des jährlichen Heizwärmebedarf, der „pro m² konditionierter Brutto- Grundfläche in Abhängigkeit der Geometrie (charakteristische Länge l_c) und bezogen auf das Referenzklima“ (OIB- Richtlinie 6- Seite 3, Kap.3.2.) gerechnet wird. Diese Werte betragen für den Neubau von Wohngebäuden $16 * (1+3,0/l_c)$, höchstens jedoch 54,4 kWh/m²a für Gebäude ab 100m² Brutto-Grundfläche. Bei Renovierung von Bestandsgebäuden lautet die Formel für den maximalen Heizwärmebedarf $25*(1+2,5/l_c)$, höchstens jedoch 87,5 kWh/m²a.¹ Es gibtzusätzlich Verweise auf verbindliche Normen.

Mit der Einführung des Energieausweis- Vorlage- Gesetz (EAVG) im Mai 2006 waren Hausbesitzer und- vermietet verpflichtet, einen Energieausweis, der nach Landesgesetz zum Teil unterschiedlich berechnet wird, zu besitzen. Normlich ist der Energieausweis in ÖNORM H 5055 geregelt.

Die Höhe der Einspeisetarife von Strom wird jährlich in der Ökostromverordnung (ÖSVO) festgesetzt. Die Einspeisetarife gelten für 13 Jahre.

¹ OIB- Richtlinie 6- Seite 3, Kap.3.2. und 3.4.

3.2.3. Deutschland

Verordnungen zum Wärmeschutz traten erstmal 1952 durch die Regelung eines Mindestwärmeschutzes in der DIN 4108 in Kraft, bei der es hauptsächlich um die Vermeidung von Feuchteschäden sowie den Schutz vor Überhitzung im Sommer ging. Hier wurden U- Werte für verschiedene Bauteile festgelegt, die beim Bau nicht unterschritten werden durften. Bis heute existiert diese Vorgabe. Die aktuellen Werte befinden sich in der DIN 4108-2 2003-07.

Aufgrund von Ölkrise und Klimawandel wurden in den kommenden Jahrzehnten verschärfte Verordnungen, den Wärmeschutz betreffend, eingeführt.

Am 1.11.1977 wurde die erste Wärmeschutzverordnung erlassen, die auf dem Energieeinsparungsgesetz vom 22.7.1976 basiert. Hier wurde erstmals das Verhältnis von der Hüllfläche zu dem beheizten Volumen eines Gebäudes auf 0,85 begrenzt. In der zweiten Wärmeschutzverordnung vom 1.1.1984 wurde dieser Wert auf 0,66 herabgesetzt. Erstmals wurden auch für Sanierungsarbeiten Mindestanforderungen an den Wärmeschutz verschiedener Bauteile gestellt. Die 3. Wärmeschutzverordnung vom 1.1.1995 führte den Heizwärmebedarf in Abhängigkeit zum Verhältnis Hüllfläche zu beheiztem Volumen als Kenngröße ein und senkte den Wert für die Mindestanforderungen an den Wärmeschutz bei Sanierungen.

In der Energiesparverordnung von 2002 und ihrer Novellierung 2004 wurde erstmals die Anlagentechnik in der Gesamtenergiebilanz eines Gebäudes berücksichtigt. Der Primärnergiebedarf, der auch ein Kennzeichen für den CO₂- Ausstoß ist, wurde begrenzt und getrennte Anforderungen an Wohn- und Nichtwohngebäude gestellt. Außerdem wurde der auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust als neuer Wert für den Wärmeschutz eingeführt und

entsprechend begrenzt. Bauteilbezogene U- Werte gelten allerdings ebenfalls noch weiterhin.

Die EnEV 2007 lässt die Energiebewertung von Gebäuden deutlich umfassender und komplexer werden: Bei Nichtwohngebäuden muss nun bei der Berechnung des Primärenergiebedarfs auch der Energiebedarf für Beleuchtung, Belüftung und Kühlung berücksichtigt werden. DIN 18599 V, welche durch eine EU- Forderung entstand, ist Bestandteil der EnEV2007 und regelt die Erfassung der Werte für die Bilanzierung.

Mit der EnEV2009 wurde erstmal die Berücksichtigung von regenerativ erzeugtem Strom in der Ermittlung des Primärenergiebedarfs eingeführt und konnte von diesem abgezogen werden. Des Weiteren wurden die Grenzwerte für den Wärmeschutz, der wahlweise nach DIN 4106-6, DIN 4106-10 oder DIN 18599 berechnet wird, weiter herabgesetzt.²

Mit Einführung der EnEV2014 ist der EnEV- Nachweis nicht mehr wie bisher mit dem vereinfachten Heizperiodenbilanzverfahren zu führen, sondern muss mit dem Monatsbilanzverfahren berechnet werden.³

Der Energieeffizienz zuzuordnende Normen sind DIN 4108 („Wärmeschutz und Energie- Einsparung in Gebäuden“) mit 8 Teilen, DIN 4701-10 („Energetische Bewertung heizungs- und raumluftechnischer Anlagen“) und unter Anderem DIN V 18599.

EEWärmeG

Das Erneuerbare- Energien- Wärme- Gesetz, gültig ab 1.1.2009, richtet sich sowohl an neu zu errichtende Wohn- und Nichtwohngebäude ab 50 m², als auch an Kernsanierungen und Um- und Anbauten von Bestandsbauten, wenn diese Maßnahmen mehr als 50m² des Gebäudes erfassen. Das Gesetz sieht eine Nutzungspflicht von erneuerbaren Energien vor, die erfüllt ist, wenn ein bestimmter Prozentsatz des Wärmeenergiebedarfs des Gebäudes durch erneuerbare Energien gedeckt wird. Hierbei gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- mindestens 15% durch die Nutzung solarer Strahlungsenergie
- mindestens 30% durch gasförmige Biomasse (Biogas)
- mindestens 50% durch flüssige Biomasse (Bioöl)
- mindestens 50% durch feste Biomasse
- mindestens 50% durch Geothermie/ Umweltwärme
- mindestens 50% durch Abwärme

Als Ersatzmaßnahmen können folgende eingesetzt werden: Deckung des Wärmeenergiebedarfs durch mindestens 30% Kraft- Wärme- Kopplung mit Biogas, mindestens 50% durch Kraft- Wärme- Kopplung mit Erdgas, mindestens 50 % durch Nah- oder Fernwärme oder eine mindestens 15 prozentige Unterschreitung des nach der aktuellen Energieeinsparverordnung geltenden Jahresprimärenergiebedarfs oder des erforderlichen Dämmwertes der Gebäudehülle.⁴

² RICHARZ SCHULZ, S. 24
³ EnEV2014

⁴ SCHILD, Energieeffizienzbewertung von Gebäuden, S.33ff

3.3. GEBÄUDE- ZERTIFIKATE

3.3.1. International

Das World Green Building Council ist die Dachorganisation der weltweiten *Green Building Labels*, zu denen die meisten national und international anerkannten Zertifizierungssysteme der verschiedenen Ländern gehören.¹ Die meisten der Bewertungssysteme der verschiedenen Länder entstanden durch die Teilnahme an der Green Building Challenge in den 90er Jahren.

Als Vorreiter von Gebäudezertifizierungen, die die Nachhaltigkeit von Gebäuden beurteilen und diese somit vergleichbar untereinander machen, zählen die Systeme BREEAM und LEED. Neben dem Energiebedarf eines Gebäudes bei seiner Nutzung werden auch die Herstellungsenergie und weitere Auswirkungen auf die Umwelt in die Berechnungen einbezogen.²

BREEAM Als ältestes Bewertungssystem für nachhaltige Gebäude gilt die Building Research Establishment Environmental Assessment Method, die ab 1990 öffentlich wurde. Zunächst wurden ausschließlich Gebäude in Großbritannien bewertet, inzwischen wurde jedoch die Bewertung mit der Variante „BREEAM International“ auf internationale Standards erweitert und das System auch auf die verschiedensten Nutzungsarten wie Industrie, Bürogebäude und Handel, ergänzt.

Es gibt vielfältige Systemvarianten nach Nutzungsart und Hauptkategorien: Management, Health & Wellbeing, Energy, Transport, Water, Materials, Waste, Pollution und Land Use & Ecology.³

Weltweit weist es die höchste Zahl an Zertifizierungen aus, im Jahre 2009 waren es 115.000 Gebäude. Das liegt

1 BAUER HAUSLADEN HEGGER, S. 162

2 KERSCHBERGER, S.221

3 BAUER HAUSLADEN HEGGER, S. 163

unter anderem auch daran, dass es in Großbritannien vom Gesetzgeber empfohlen wird, dass ein neues Gebäude die Mindestvorgaben des BREEAM erfüllt bzw. es danach zertifizieren zu lassen.⁴

LEED Der US Green Building Council (USGBC), eine von mehr als 18.000 Organisationen und Firmen aus der Bauwirtschaft bestehende gemeinnützige Vereinigung, entwickelte Ende der 1990er Jahre, kurz nach dem Entstehen des BREEAM- Standards, nicht zuletzt weil man hierin ein großes Vermarktungspotenzial sah, ebenfalls ein Verfahren für die freiwillige ökologische Bewertung von Gebäuden: das Zertifizierungsverfahren LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Es wurden kurz darauf angepasste Systeme für Länder wie Brasilien und Kanada gemacht.

Die Bewertungskriterien reichen von der Nachhaltigen Grundstücksauswahl „Sustainable Sites“ über die Wassereffizienz („Water Efficiency“) zu Energie und Atmosphäre („Energy & Atmosphere“). Ebenfalls bewertet werden die eingesetzten Materialien und Rohstoffe („Materials & Resources“) und der Innenraum sowie die Luftqualität („Indoor Environmental Quality“). Des Weiteren gibt es Bonuspunkte für innovatives Design und für Schwerpunkte auf lokale Besonderheiten („Regional Priority“).

Die erreichte Punktzahl entscheidet über den Zertifizierungsgrad, der von *Certified* über *Silver* zu *Gold* und *Platinum* reicht.

3.3.2. Europa

Das GreenBuilding- Programm der Europäischen Kommission konzentriert sich ausschließlich auf den Energieverbrauch eines Gebäudes. Im Unterschied zu den meisten Zertifizierungssystemen in Europa, wird

4 KERSCHBERGER, S.221

hier jedoch nicht das Gebäude, sondern der Bauherr als sogenannter GreenBuilding- Partner ausgezeichnet. Um ein Green Building- Partner zu werden, muss man die national höchst zulässigen Verbrauchsziele um 25 Prozent unterschreiten (in Österreich geregelt in der OIB Richtlinie 6 bzw. Bauordnungen der Länder). -> EN 15643-1

3.3.3. Österreich

In Österreich gibt es drei Standards, Niedrigenergiehaus B, Niedrigstenergiehaus A und Niedrigstenergiehaus A+.

Ein eigener Energiestandard, klima:aktiv- Gebäudestandard, wurde von der Klimaschutzinitiative des Österreichischen Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft und Umwelt eingeführt. Seine Kernthemen sind Bauen & Sanieren, Erneuerbare Energie, Energiesparen und Mobilität und er ist ein Qualitätsnachweis für Energieeffizient, ökologische Qualität und soll zur Reduzierung von CO2 führen. Folgende weitere Zertifizierungen und Bewertungsverfahren gibt es:

- ÖGNI (Österreichische Gesellschaft für nachhaltigen Immobilienwirtschaft)

- Heizwärmebedarf ÖNORM H5055

- TQB (Total Quality Building)- Bewertungsverfahren:

Dies ist ein umfassendes Bewertungssystem der ÖGNB und existiert seit Mitte der 90er Jahre. Bewertet werden Standort und Ausstattung, wirtschaftliche und technische Qualität, Energie und Versorgung, Gesundheit und Komfort und Baustoffe und Ressourceneffizienz (Lebenszyklusplanung). Das TQB bewertet in einem 1000- Punkte- System, durch welches die Ergebnisse mit weiteren nationalen und internationalen Bewertungssystemen vergleichbar sind.

Seit 1.1.2010 wurde in Österreich eine Norm für die Rahmenbedingungen von Gebäudebewertungen eingeführt.

3.3.4. Deutschland

DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)

Die DGNB ist ein „gemeinnütziger Verein zur Förderung des nachhaltigen Bauens und Betriebens der gebauten Umwelt“ (http://www.dgnb.de/de/verein/dgnb_leitbild/) und wurde 2007 von Architekten und Ingenieuren sowie Wissenschaftlern und Bauwirtschaftlern gegründet. 2014 besteht er aus über 1200 Mitgliedsorganisationen weltweit. Das Zertifizierungssystem der DGNB, welches zusammen mit dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) als Gegengewicht zu angloamerikanischen Zertifizierungssystemen (z.B. LEED) entwickelt wurde, existiert seit 2008 und baut auf europäischen und internationalen Normen auf.⁵ Es bewertet die Nachhaltigkeit von Stadtquartieren und Gebäuden im gesamten Lebenszyklus in 5 Hauptkriterien: Ökologische Qualität, Ökonomische Qualität, soziokulturelle und funktionale Qualität, technische Qualität des Bauwerks sowie die prozessbezogenen Kriterien aus Planung, Bau und Betrieb der Prozessqualität. Zusätzlich wird die Standortqualität bewertet, welche jedoch nicht in die Note eingeht.⁶

Beim DGNB-Label ist das erste mal darauf geachtet worden, dass bei jedem Kriterium jeweils der gesamte Lebenszyklus mit einbezogen wird, sowie die Lebenszykluskosten und eine komplette Ökobilanz.

Verliehen wird das Zertifikat in den 3 Kategorien Bronze, Silber und Gold.

Da es bei der Zertifizierung des DGNB über die reine Energieeffizienz hinausgeht, und auch soziokulturelle Aspekte bewertet werden, handelt es sich bei zertifizierten Gebäuden um sogenannte „blue buildings“, bei denen der Nutzer des Gebäudes im Vordergrund steht.

Energiebedarfs- und Verbrauchsausweise

Die europäische Richtlinie über die Gesamteffizienz von Gebäuden von 2002 (2002/91/EG) forderte die Mitgliedsstaaten zur Einführung von Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs auf. Als Ergebnis wurde der Energieausweis eingeführt, welcher über die energetische Qualität und sinnvolle Energieeinsparpotenziale informiert und als verlässliche Orientierungs- und Entscheidungshilfe beim Kaufen und Mieten von Wohnungen und Häusern dient.

Die EnEV2009 unterscheidet zwischen dem Energiebedarfsausweis, der auf einer Energiebilanzierung und technischen Analyse bei Neubauten beruht und Energieverbrauchsausweisen, die bei Bestandsgebäuden auf Basis des Energieverbrauchs der letzten drei Jahre ausgestellt werden. Der Energiebedarfsausweis stellt keinen Bezug zum tatsächlichen Energieverbrauch des Gebäudes, da die Energiebilanzrechnungen mit standardisierten Randbedingungen (Standardklima) erfolgt und man noch keine tatsächlichen Daten, sondern nur Vermutungen über das Nutzerverhalten hat.

Anders ist es beim Energieverbrauchsausweis, bei welchem das Mittel der letzten drei Werte des Jahresenergieverbrauchs ermittelt wird und so der tatsächliche Endenergieverbrauch abhängig vom Nutzerverhalten und den vorhandenen Klimaverhältnissen am Standort des Gebäudes gezeigt wird.

Es ist Pflicht, einen Energieausweis des Gebäudes zu erstellen, wenn ein Neubau ab 50 m² Gebäudenutzfläche errichtet wird, wenn Änderungen von Außenbauteilen gemäß Anlage 3 Nr. 1-6 der EnEV2009 vorgenommen werden, ein Bestandsgebäude um mehr als die Hälfte erweitert wird oder ein Gebäude ab 50 m² Gebäudenutzfläche oder eine Wohnung verkauft, vermietet, verpachtet oder geleast wird. Ausstellungsberechtigt sind für zu errichtende Neubauten in der Regel Sachverständige für Schall- und Wärmeschutz, ist aber abhängig vom Bundesland unterschiedlich

geregelt. Energieverbrauchsausweise können von staatlich anerkannten Technikern, z.B. von Hochschulabsolventen mit Schwerpunkt im Bereich des energiesparenden Bauens oder von Personen mit bestimmten Berufsausbildungen ausgestellt werden.⁷

Inhalt des Energiebedarfs- und - Energieverbrauchsausweises sind der jährliche Endenergiebedarf für Heizung, Warmwasser und eventuelle Hilfsgeräte und der jährliche Primärenergiebedarf. Bei Energiebedarfsrechnungen ist anzugeben, mit welchem Rechenverfahren angewandt wurde (DIN 4108-6 und DIN 4701-10 oder DIN V 18599 und EnEV§9 Abs.2).

KfW-Effizienzhäuser

KfW-Effizienzhäuser orientieren sich an den Werten der EnEV und unterschreiten diese um einen gewissen Prozentsatz. Insgesamt gibt es sieben Kategorien. (40,55,70,85,100,115).

Ein KfW- 70- Effizienzhaus beispielsweise verbraucht nur 70 % der Primärenergie des Referenzneubaus.

Bei Bestandsbauten darf der Jahresprimärenergiegehalt nach einer Sanierung 40% mehr betragen als bei einem Neubau. (siehe Kap. 3.5.1. KfW- Förderungen)

3.3.5. Schweiz: Minergie, MinergieA, MinergieP

Minergie ist ein geschütztes Label und ein Verein in der Schweiz, der seit 1998 existiert und Gebäude nach eigenen Standards im Hinblick auf ihren Energiebedarf mittels Energiekennzahlen zertifiziert.⁸ Die Energiekennzahl schwankt hierbei je nach Gebäudetyp.

Das erste Minergie- Label entsprach ungefähr dem deutschen Niedrigenergiehaus- Standard. Der darauf folgende MinergieP- Standard ist mit dem Passivhausstandard bei Neubauten zu vergleichen.

5 KERSCHBERGER, S.226f

6 BAUER, HAUSLADEN, HEGGER, S. 166

7 SCHILD, S. 43 ff

8 www.minergie.ch

Der Zusatz „Eco“ weist auf die Umweltverträglichkeit der verwendeten Baustoffe und deren graue Energie sowie weiteren Qualitäten wie Tageslicht, Nutzungsflexibilität, Rückbaufähigkeit und Lärmschutz hin.

MinergieA- Standard gilt zunächst nur für Wohngebäude und berücksichtigt zum Einen die für den Bau oder die Sanierung erforderliche Energie, zum Anderen muss bei diesem Standard die erforderliche Energie für Haushaltsstrom, Heizung und Warmwasser über lokal gewonnene, regenerative Energien gewonnen werden.

Das MinergieP- Label ist an das Passivhauskonzept angelehnt, unterscheidet sich jedoch in einigen Anforderungen und der Systematik der Berechnungen. Der Heizwärmebedarf darf bei diesem Standard zwischen 15 und 52 kWh/m²a liegen. Wegen unterschiedlicher Bezugsgrößen liegt der MinergieP-Standard zwischen dem des Passiv- und des Niedrigenergiehauses.

Der Energiewert zum Heizen, Kühlen, Warmwassererwärmung und Lüften darf bei Wohngebäuden 30kWh/m²a nicht überschreiten und erfordert daher oft den Einsatz erneuerbarer Energien.⁹

Es existieren in der Schweiz ca. 18.000 Gebäude mit dem Minergie- Standard, von denen ca. 1600 Sanierungen von Bestandsgebäuden sind.¹⁰

9 GONZALO, VALLENTIN, Passivhäuser entwerfen, S.30

10 KERSCHBERGER, S.217f

3.4. NIEDRIGENERGIE GEBÄUDEKONZEPTE

Eine zentrale Rolle bei Energie-Effizienz-Konzepten von Gebäuden stehen verschiedene Energie-Kennzahlen, von denen jedoch einige, wie der Heizwärmebedarf (HWB), allein nichts über die Gesamt- Energie- Effizienz des Gebäudes aussagen, da das gesamte Konzept zu hinterfragen ist. Warmwasser, Strom- und Hilfsenergiebedarf z.B. sind in den Heizwärmebedarfswert nicht mit eingerechnet.

Niedrigenergiestandard Das Niedrigenergiehaus definiert den gesetzlichen Mindeststandard für Neubauten seit der EnEv2009. Der maximal zulässige Jahresheizwärmebedarf beträgt 70 kWh/a.

Passivhaus Der Passivhaus- Standard ist länderübergreifend angesehen und heute mit mehr als 12.500 Wohneinheiten und zahlreichen Nicht- Wohngebäuden der in Europa am weitesten verbreitete Standard bei Energieeffizienz- Bauten.¹¹ Das Ziel der EU ist es, den Passivhaus- Standard ab 2015 europaweit als Mindeststandard für Neubauten gesetzlich vorzuschreiben.

Das Passivhaus gilt als Weiterentwicklung des Niedrigenergiehauses. Das Grundprinzip eines Passivhauses ist, dass eine thermisch so hochwertige Hülle bei herkömmlichen Gebäuden benötigte Heizenergie durch solare und innere Wärmegewinne im Zusammenhang mit einer Wärmerückgewinnung aus der Lüftung ersetzt. Von dem sogenannten aktivem Heizsystem redet man, wenn die Zuluftheizung als alleinige Wärmequelle ausreicht. Sie funktioniert dann, wenn die erforderliche Heizlast weniger als 10 W/m² beträgt.¹² Die Zuluft wird oft durch einen Erdwärmetauscher; ein Rohrnetz in ca. 2m Tiefe, im Winter durch Erdwärme erwärmt bzw. im Sommer gekühlt und anschließend in den Wärmetauscher geleitet. Dieser entzieht je nach Wirkungsgrad des Wärmetauschers der Abluft die

vorhandene Wärme und führt sie der Frischluft hinzu, ohne dass sie sich dabei vermischen.¹³ Die Einströmgeschwindigkeit der Frischluft muss so eingestellt sein, dass es zu keinen Zugerscheinungen kommt. Auch Feuchterückgewinnungsgeräte können eingesetzt werden, um die relative Feuchte der Innenluft entsprechend der Jahreszeit zu regeln. Wichtige Kriterien für ein funktionierendes Passivhaus ist die Südorientierung mit einer verglasten (Süd-) fassade und eine hohe Kompaktheit der Gebäudes (A/V-Verhältnis).

Um als Passivhaus zertifiziert zu werden, muss ein Haus folgende Kriterien erfüllen:

- HWB max. 15 kWh / m²a
- Heizlast max. 10 kW/m²
- Primärenergiebedarf max. 120 kWh/m²a
- Luftdichtheit („n50 - Wert“-> Druckdifferenz von 50 Pascal bei Blower-Door-Test) 0,6/h

¹³ HEGGER, Energieatlas, S. 53

Passivhäuser weisen nicht nur einen sehr geringeren Heiz- und Kühlbedarf auf, sondern auch eine äußerst hohe Behaglichkeit, da die Oberflächentemperaturen der Innenwände gleichmäßig und dem Innenklima angepasst sind. Das Lüftungssystem sorgt konstant für frische, hygienische und gefilterte Luft.

Die Baukosten belaufen sich heutzutage um ca. 5-10% mehr als bei herkömmlichen Bauten.¹⁴

Immer mehr werden auch Bestandsbauten mit Passivhauskomponenten ausgestattet, wodurch sie ebenfalls den Passivhaus- Standard erreichen können.

Neben einer sehr guten Wärmedämmung (ca. 0,15 W/m²K bei allen Bauteilen) werden bei einem Passivhaus auch durch die Luftdichtheit der Gebäudehülle Transmissionswärmeverluste eingespart.

Die Energieersparnis gegenüber einem herkömmlichen Haus beträgt 50- 80 %.

¹⁴ Passivhaus Institut Darmstadt

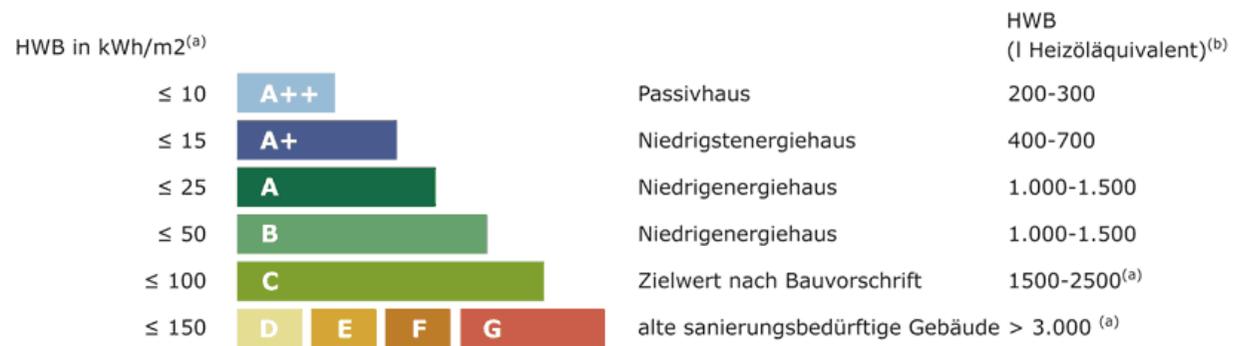


Abb.22 Heizwärmebedarf von Gebäuden nach Konzepten, A++ bis G, Bezugsgröße: BGF

¹¹ FRICK KNÖLL, Baukonstruktionslehre I, S. 671

¹² FRICK KNÖLL, S. 671

Sonnenhaus Nach Definition des Sonnenhaus-Instituts in Straubing (Bayern) ist ein Sonnenhaus ein Gebäude, welches mindestens 50 % des Energiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser über Sonnenenergie deckt. Der Rest wird über Holz oder Biomasse erzeugt. Der Primärenergiebedarf liegt bei 15 kWh/m²a. Oft sind die Kollektorflächen 60- 70° geneigt, um die im Winter flach eintreffenden Sonnenstrahlen einzufangen. Ein Wassertank von etwa 5-15 m³ ist notwendig, der die Wärme speichert und der bei Bedarf mittels Pellet- oder Kaminofen aufgewärmt werden kann.

Nullenergiestandard Der Nullenergiestandard müsste eigentlich „Netto-Nullenergiestandard“ heißen, weil die Null nur aus der Energiebilanz kommt. Das Gebäude benötigt trotzdem Energie, die es jedoch selber durch Eigenproduktion decken kann. In einigen Fällen wird auch nur der Energiebedarf für Raumwärme in die Bilanz mit einbezogen, und die Energie für Warmwasser und Strom außen vor gelassen, wodurch es zu einer Verfälschung der „Null“ führt.

Nicht berücksichtigt wird beim Nullenergiestandard ebenfalls die graue Energie der Baustoffe und der Gebäudeerstellung. Ein Nullenergiegebäude müsste also eigentlich ein Plusenergiegebäude in der Bilanz ergeben, da sich die graue Energie (ca. 20-50 kWh/a) im Jahr noch abzieht.

Nach der neuen Definition von Nullenergiehäusern in der DIN 18599, mit der die monatliche Bilanzierung Pflicht wird, ist es in hiesigen Klimazonen praktisch nicht realisierbar, da sommerliche Überschüsse rechnerisch nicht mehr den winterlichen Bedarf decken dürfen.

Plusenergiestandard Erzeugt ein Gebäude mehr Energie als es produziert, wird es zum Plusenergiehaus. Dieser Standard ist jedoch noch nicht verbindlich definiert. Plusenergiegebäude besitzen meist im Gegensatz zu energieautarken Gebäuden noch einen Netzanschluss, über den sie bei Bedarf (meist im Winter) Strom beziehen können.

International gesehen ist das „nur- Strom- Gebäude“ im Vormarsch, das durch die in den letzten Jahren sehr gut entwickelte Wärmepumpentechnologie Energie für Heizung und Warmwasser alleine durch Strom, der durch PV- Anlagen erzeugt wird, produzieren kann.

3.5. FÖRDERUNGEN

Um die Bereitschaft der Gebäudebesitzer zu bestärken, ihr Haus energetisch zu verbessern, gibt es verschiedene Förderprogramme. Im Folgenden werden Fördermöglichkeiten in Deutschland in den Vordergrund gestellt, da sich das Beispielobjekt an diesen orientiert.

3.5.1. Deutschland

In Deutschland gibt es unter anderem Förderprogramme der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) und Marktanzreizprogramme des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit ("BAFA-Förderungen") für die Anschaffung von energiesparender Anlagentechnik bei Wohngebäuden im Bestand.

BAFA-Förderungen Gefördert werden als Basisförderungen unter anderem thermische Solaranlagen (max. 40m², 90€/m², mind. 1.500€), Biomasseheizungen (Pelletofen 36€/kW Nennleistung bei mind. 89% Wirkungsgrad, mind. 2.400 €) und Wärmepumpen (Wasser-Wasser-WP: 20€/m², max. 3000€, Luft- Wasser- WP 10€/m², max. 1500€).

Zusätzlich gibt es die sogenannten Innovationsförderungen, unter die bestimmte neue Arten von Wärmepumpen und zum Beispiel die Abgaskondensation (500€) fallen. Eine Energieberatung bei Einfamilienhäusern wird von der BAFA mit 300 € bezuschusst. Eine sogenannte "Förderampel" gibt Auskunft über die zur Verfügung stehenden Fördermittel.

KfW-Förderungen Bezuschusst werden energetische Sanierungen von Gebäuden, deren Bauantrag vor dem 1.1.1995 gestellt wurden. Je nach Erreichen eines bestimmten Wertes des Jahresprimärenergiebedarfs werden die Zuschüsse gestaffelt, oder aber Einzelsanierungsmaßnahmen werden bezuschusst. Das Energieverbrauchs-niveau eines KfW-Effizienzhaus 70 zum Beispiel liegt bei 70 % des nach der aktuellen Energieeinsparverordnung vorgeschriebenen Höchstwertes des Jahresprimärenergiebedarf bzw. spezifischen Transmissionswärmeverlustes. Ein KfW-Energieeffizienzhaus 100 liegt entsprechend bei 100 %, also genau bei Einhaltung der Höchstwerte. Der Zuschuss bei einem KfW70- Haus liegt bei 20 % der förderfähigen Investitionskosten der Sanierung,

bzw. bei maximal 15.000 € pro Wohneinheit. Bei Erreichen eines KfW100- Standards liegen die Zuschüsse bei 12,5 % der Investitionskosten bzw. maximal 9.375 €.¹

Für Förderungen bei Altbausanierungen durch Investitions- und Tilgungszuschüsse oder günstige Kredite durch die KfW sind sowohl spezielle Überschreitungswerte in Bezug auf den Primärenergiebedarf, als auch auf den Transmissionsverlust des Referenzgebäudes (-55% bis - 30%) zu erreichen (siehe Tabelle unten).²

Auch einzelne Sanierungsmaßnahmen werden bezuschusst. Darunter fallen zum Beispiel die Wärmedämmung einer Außenwand oder des Daches, die Erneuerung der Fenster oder der Einbau einer Lüftungsanlage. Der Zuschuss beträgt 10 % der Investitionskosten, mindestens aber 300€ und maximal 5000 € pro Wohneinheit.³ Statt des Investitionszuschusses kann bei Einzelmaßnahmen auch ein Kredit aufgenommen werden. Der Zinssatz beträgt 0,75% bei maximal 50.000 €.

Hinzu kommen regionale und kommunale Förderungsprogramme.

3.5.2. Österreich :

Ähnliche Förderungen für die Aktivierung erneuerbarer Energien sowie zur energetischen Sanierung gibt es in Österreich durch den Klima- und Energiefonds in Kooperation mit den Umweltministerien.⁴

KfW- Förderungen¹

	zulässiger Höchstwert bezogen auf das Referenzgebäude Q_p und H'_T		Höhe des Zuschusses und/oder Höhe des Tilgungszuschusses je Wohneinheit	Höhe des Tilgungszuschusses je Wohneinheit (bei KfW-Kredit (max.75.000€) von 0,75% Zins)
KfW- EH 115	115 %	130 %	10 % (max. 7.500€)	7,5 % (max. 7.500€)
KfW- EH 100	100 %	115 %	12,5 % (max. 9.375€)	10 % (max. 9.375€)
KfW- EH 85	85 %	100 %	15 % (max. 11.250€)	12,5 % (max. 11.250€)
KfW- EH 70	70 %	85 %	20 % (max. 15.000€)	17,5% (max. 15.000€)
KfW- EH 55	55 %	70 %	25 % (max. 18.750€)	22,5 % (max. 18.750€)
Einzelmaßnahmen	lt. Tabelle		10 % (max. 5.000€, mind. 300)	

1: [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Sanieren-Zuschuss-\(430\)/#2](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Sanieren-Zuschuss-(430)/#2)

1 <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-1-1>
 2 GABRIEL LADENER, S.31 ff
 3 www.energiefoerderung.info
 4 <https://www.klimafonds.gv.at/foerderungen/aktuelle-foerderungen/fuer-private/>, <http://www.klimaaktiv.at/foerderungen.html>, <http://www.lea.at/foerderungsservice-fuer-private/>

max. zulässiger Wärmedurchgangskoeffizient U bei Änderungen im Bestand

	nach EnEv 2014 ¹	bei KfW- Förderung von Einzelmaßnahmen ²
Außenwand*	0,24 W/m ² K	0,2 W/m ² K
AW bei Hohlraumverfüllung	$\lambda = 0,035$ W/mK	$\lambda = 0,035$ W/mK
AW wenn Dämmschichtdicke begrenzt	$\lambda = 0,045$ W/mK	-
Fenster (komplett)	1,3 W/m ² K	1,3 W/m ² K
Verglasungen	1,1 W/m ² K	1,1 W/m ² K
Vorhangfassaden	1,5 W/m ² K	1,5 W/m ² K
Dach	0,24 W/m ² K	0,14 W/m ² K
Dachfläche von Gauben	0,2 W/m ² K	0,2 W/m ² K
Gaubenwangen	0,2 W/m ² K	0,2 W/m ² K
Decken und Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich	0,3 W/m ² K	0,25 W/m ² K
Fußbodenaufbauten	0,5 W/m ² K	0,25 W/m ² K

* sofern nicht nach 31.12.1983 normgerecht errichtet

1: GABRIEL,LADENER,S.32

2: [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Förderprogramme-\(Inlandsförderung\)/PDF-Dokumente/6000003071_M_Anlage_151_152_430.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Förderprogramme-(Inlandsförderung)/PDF-Dokumente/6000003071_M_Anlage_151_152_430.pdf)

Abb. 25: Grenzwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei Sanierung nach EnEV bzw. KfW

3.6. WÄRMEBRÜCKEN

Wärmebrücken sind örtliche Unregelmäßigkeiten des Wärmedurchgangs und entstehen aus geometrisch, konstruktiv bzw. stofflich bedingten Gründen. Die Folgen im Bereich der Wärmebrücke sind niedrigere Oberflächentemperaturen an der Innenwand, wodurch es zu Tauwasserbildung und Schimmel im betreffenden Bauteil sowie zu erhöhten Wärmeverlusten kommen kann. Obwohl Wärmebrücken Kälte im Inneren des Gebäudes verursachen, bezeichnet man sie als Wärme- und nicht Kältebrücken, da nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik der Wärmestrom immer von höherer zu niedrigerer Temperatur fließt.¹ Prinzipiell kann davon

¹ Wärmebrückenberechnung, S. 9

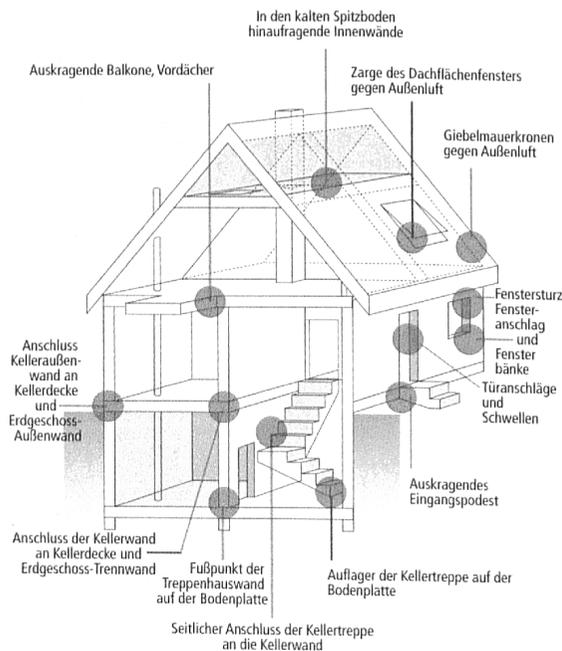


Abb. 26a: auftretende Wärmebrücken bei Gebäuden

ausgegangen werden, dass eine Wärmebrücke bei einem Bauteil vorliegt, wenn die Richtung des Wärmestroms dem üblich senkrechten Verlauf zur Oberfläche abweicht. Berücksichtigt werden Wärmebrückenverluste in der energetischen Bilanzierung eines Gebäudes mit Zuschlägen bei den U-Werten der Bauteile der Hüllfläche oder durch detaillierte Berechnungen der Wärmebrücken mittels Simulationen.²

Geometrische Wärmebrücken liegen vor, wenn (zum Beispiel bei einer Außenwanddecke) ein Unterschied zwischen Innen- und Außenoberfläche besteht (Abb. 26). Stofflich bedingte Wärmebrücken entstehen aufgrund "einer vollständigen oder teilweisen Durchdringung der Gebäudehülle durch Baustoffe mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit" (DIN/ÖNORM EN ISO 10211, 2008), wie zum Beispiel bei durchgehenden Balkonplatten oder Fensterstürzen. Stofflich bedingt können auch geometrische Wärmebrücken verstärken und andersherum.

Nach DIN 4108-6:2004-06 müssen folgende Wärmebrücken berücksichtigt werden :

- Gebäudekanten
- umlaufende Tür- und Fensterlaibungen
- Wand- und Deckeneinbindungen
- Deckenaufleger
- Balkonplatten

Die Berechnung von Wärmebrücken kann auf verschiedenen Wegen nach unterschiedlichen Normen erfolgen. DIN/ÖNORM EN ISO 10211 (2008) bildet die Grundlage für Berechnungen und definiert Randbedingungen, beschreibt Rechenverfahren und gibt Beispiele vor. Präzisere Randbedingungen werden in DIN 4108- 2 und

² RICHARZ SCHULZ ,S.41

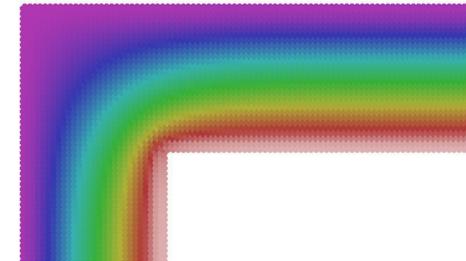


Abb. 26b: geometrische Wärmebrücke

Beiblatt 2 (2006) vorgestellt.³

Berechnet man den Heizwärmebedarf eines Gebäudes nach dem Monatsbilanzverfahren, wird bei Neubauten, deren Details der Anschlüsse nach dem Stand der Technik (bzw. nach Berücksichtigung der DIN 4108 Beiblatt 2) ausgeführt wurden, dem Transmissionswärmeverlust pauschal ein Wärmebrückenzuschlag von $U = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ hinzugefügt. Bei Konstruktionen, die nicht dem Beiblatt 2 der DIN 4108 entsprechen, liegt der Zuschlag bei $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ und bei vorliegender Innendämmung bei $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient Ψ ist ein Korrekturfaktor und beschreibt die bei der Berechnung des U- Wertes nicht berücksichtigten zusätzlichen Wärmeverluste.

³ SCHOCH, Wärmebrückenberechnung, S. 64ff

4. Analysewerkzeuge

4.1. RECHENFORMELN FÜR DIE ERMITTLUNG DER WÄRMEVERLUSTE¹

Die U- Werte und Wärmeverluste über Hüllflächenbauteile und Lüftung werden in Kap. 6.7. und 6.8. mit folgenden Formeln berechnet. Bei den errechneten Wärmeverlusten pro Jahr wird von einer Heizperiode von 1.9.-31.5. ausgegangen.

Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten:

(DIN EN ISO 6949)
 $U = 1 / (R_{si} + \sum (d_i / \lambda_i) + R_{se})$
d: Schichtdicke [m]
 λ_i : Wärmeleitfähigkeit [W/mK]

spezifischer Transmissionswärmeverlust

$H_T = U * A * F_{xi} + H_{WB}$ [W/K]
 $H_{WB} = \Delta U_{WB} * A$ [W/K]
 F_{xi} : Temperatur- Korrekturfaktor
 H_{WB} : Transmissionswärmeverluste über Wärmebrücken

spez. Transmissionswärmeverluste über die gesamte Außenhülle des Gebäudes :

$H_{T,ges.} = \sum (U_i * A_i * F_{xi}) + H_{WB}$ [W/K]
 $H_{WB,ges.} = \Delta U_{WB} * A_{ges}$ [W/K]

Monatliche Wärmeverluste über einen Bauteil

$Q_{T,M} = H_T * 24h * t_M * (\Theta_i - \Theta_{eM}) * 1/1000$ [kWh]
 Θ_i : Innentemperatur : 19°C
 Θ_{eM} : Mittlere Monatstemperatur
 t_M : Heiztage im Monat

Gesamtverluste pro Jahr über einen Bauteil

$$Q_{T,J} = \sum (H_T * 24h * t_M * (\Theta_i - \Theta_{eM})) * 1/1000 \text{ [kWh]}$$

spezifischer Transmissionswärmeverlust

$$Ht' = H_T / A_{ges}$$

$$A_{ges} = \text{Gesamthüllfläche}$$

belüftetes Nettovolumen (nach EnEV)

$$V_n = 0,76 * V_{brutto}$$

Lüftungswärmeverluste bei freier Lüftung

$$H_V = V_n * 0,34 * n$$

Lüftungsverluste pro Jahr

$$Q_V = \sum (H_V * 24h * t_M * (\Theta_i - \Theta_{eM})) * 1/1000 \text{ [kWh]}$$

monatliche Wärmeverluste

$$Q_M = (H_T + H_V) * 24h * t_M * (\Theta_i - \Theta_{eM}) * 1/1000 \text{ [kWh]}$$

Gesamtverluste pro Jahr über einen Bauteil

$$Q_{T,J} = \sum (H_T * 24h * t_M * (\Theta_i - \Theta_{eM})) * 1/1000 \text{ [kWh]}$$

Wärmestrom nach außen über	F_{xi} : Temperatur-Korrekturfaktor
Außenwand, Fenster	1
Dach	1
Oberste Geschossdecke an unbeheizten Dachraum	0,8
Wände und Decken zu unbeheiztem Raum	0,35
Fußboden des beheizten Kellers	0,2- 0,45
Wand des beheizten Kellers	0,4-0,6
Fußboden gegen Erdreich ohne Randdämmung	0,25-0,6
Aufgeständerter Fußboden	0,9

Abb. 27a: Pauschale Temperatur- Korrekturfaktoren F_{xi} des Monatsbilanzverfahren nach DIN V 4108-6

Wärmeübergangswiderstand	Richtung des Wärmestroms				
	aufwärts	horiz.	abw.		
R_{si} - Innenraum	0,1	0,13	0,17		m ² K/W
R_{si} - Außenluft, nicht abgedeckt	0,04	0,04	0,04		m ² K/W
R_{si} - Außenluft, abgedeckt und hinterlüftet	0,13	0,13	0,13		m ² K/W

Abb. 27b: Wärmeübergangswiderstände R_{si} nach Din 4108-6

¹: nach DIN V 4108-6

4.2. BERECHNUNG VON ANFALLENDER FEUCHTE IN BAUTEILEN

Da sich bei Anbringen einer Dämmung, ob Kern-, Außen- oder Innendämmung, die Temperaturen innerhalb des Bauteils ändern und es eventuell zu Tauwasserbildung innerhalb des Bauteils kommen kann, muss eine feuchtetechnische Beurteilung vorgenommen werden.

Die Berechnung erfolgt nach Din 4108-3, in der das sogenannte Glaser-Verfahren zur Beurteilung der Diffusionsströme zu zwei bestimmten Zeiträumen beschrieben ist. Voraussetzung für die Berechnung ist, dass keine Baufeuchte innerhalb der Konstruktion durch Konvektion oder erhöhte Schlagregenbeanspruchung vorhanden ist, dass also eine dichte Konstruktion vorliegt.

Im Glaser-Diagramm ist zu erkennen, ob und wo im Bauteil der Taupunkt bzw. der Wasserdampf-sättigungsdruck erreicht wird.

Die beiden Zeiträume der feuchtetechnischen Berechnung sind zum einen die Tauperiode, die Winterzeit (Dauer 60 Tage, Temperatur innen: 20°C, außen: -10°C, rel. Luftfeuchte innen: 50%, außen: 80%). In der Tauperiode besteht ein Partialdampfdruckgefälle von innen nach außen und es besteht daher die Gefahr, dass Feuchte mittels Wasserdampfdiffusion von innen in das Bauteil gelangt. In der Verdunstungsperiode (Dauer 90 Tage, Temperatur innen und außen: 12°C, rel. Luftfeuchte innen und außen: 70%) wird die in der Tauperiode angefallene Feuchte wieder an die Umgebung abgegeben. Die Menge an Tauwasser im Bauteil und die Verdunstungsmenge kann errechnet werden. Ist die Verdunstungsmenge größer als die Tauwassermenge und überschreitet die Tauwassermenge nicht den Grenzwert von 500 g/m² bzw. 1000 g/m², gilt die Konstruktion als zulässig, da das Bauteil in der Verdunstungsperiode wieder austrocknen kann.

Ist die Tauwassermenge jedoch größer als die zulässige Menge bzw. größer als jene Menge, die in der Verdunstungsperiode nach außen abweichen kann, besteht Gefahr

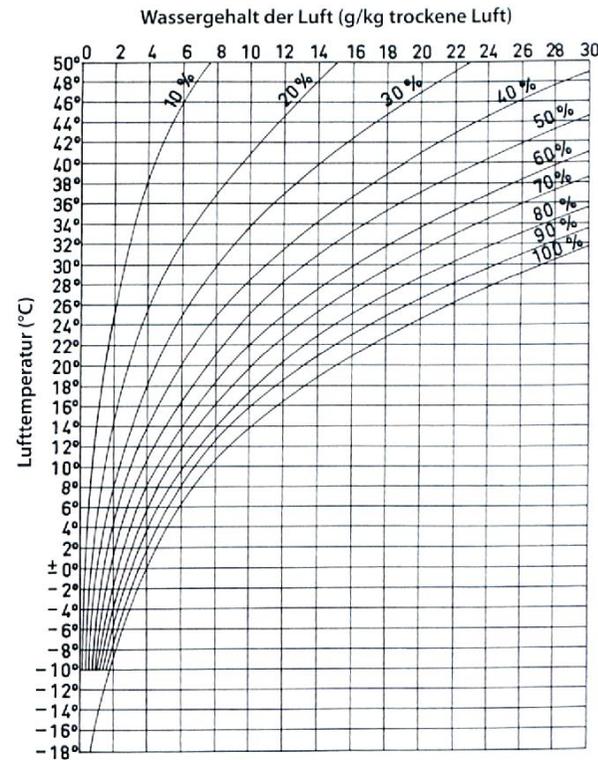


Abb.28a: Das Mollier-Diagramm zeigt den Zusammenhang zwischen relativer Luftfeuchte, Temperatur der Luft, Wassergehalt der Luft und Taupunkt.

folgender Szenarien :

- Die Wärmedämmfähigkeit der Baustoffe sinkt
- Frostsprünge (Wasser vergrößert sein Volumen um 9,5% unter 0°C)
- Ausblühungen von Salzen
- Verrottung, Fäulnis, Korrosion
- Schimmel- und Pilzbefall (gesundheitsschädlich)¹

¹ LOHMEYER, Praktische Bauphysik, S. 276

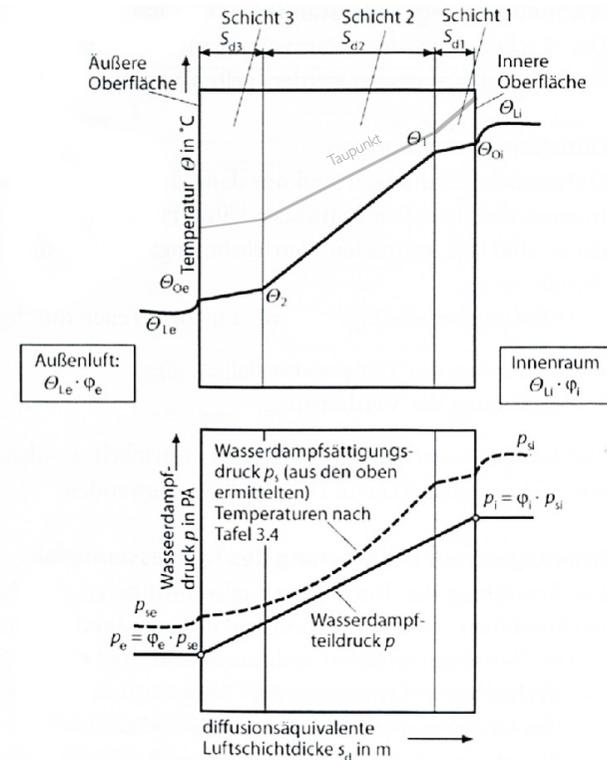


Abb. 28b: Darstellung des Temperatur- und Dampfdruckverlaufes nach dem Glaser-Verfahren durch ein mehrschichtiges Bauteil

4.3. VERFAHREN FÜR DIE ERMITTLUNG DER ÖKONOMISCHEN ANGEMESSENHEIT VON SANIERUNGS-MAßNAHMEN

4.3.1. Berechnung der dynamischen Amortisationszeit

Damit sich eine Investition lohnt, muss sie sich innerhalb ihrer Lebensdauer amortisieren. Bei einer energetischen Sanierung sollten also die eingesparten Kosten, die durch die eingesparte Energie zustande kommen, die Maßnahme refinanzieren. Zu berücksichtigen sind bei Sanierungsmaßnahmen bei ohnehin anstehendem Sanierungsbedarf (z.B. bei Ablauf der Lebensdauer von Bauteilen) die ohnehin notwendigen Instandhaltungskosten für das Bauteil. Die Kosten für energetische Verbesserungen können also bei ohnehin anfallender Sanierung getrennt von Instandhaltungskosten betrachtet werden.

Bei der Berechnung der dynamischen Amortisationszeit wird ein Zinssatz für die Investition sowie die Preissteigerung des Energieträgers angenommen und der Kapitalwert

der Investition berechnet. Die Amortisationszeit einer Investition ist die Zeit, zu der der Kapitalwert der Investition gerade gleich Null ist.¹

Beim gegebenen Zinssatz kann sowohl die jährlich zu zahlende Rate (Annuität), bestehend aus Zins und Zilgung, als auch das gesamte eingesparte Kapital über die Kreditdauer, bzw. die Lebensdauer der Maßnahme berechnet werden.

Die Investition lohnt sich, wenn die Erträge durch die aufgezinnten Einsparungen höher sind als die über die Kreditdauer zu zahlenden Kosten für die Investition. Die Amortisationszeit ist in dem Fall kleiner als die Lebensdauer der Maßnahme.

Als Lebensdauer werden bei technischen Anlagen 15-20

Jahre angenommen, bei baulichen Maßnahmen 30 Jahre. Je kleiner die Amortisationszeit, desto effizienter ist die Maßnahme.²

Die Berechnung der Amortisationszeit ermöglicht ein schnelles Abschätzen der Wirtschaftlichkeit einer Investition, gibt jedoch keine Auskunft über die Rentabilität.³ Ein weiterer Nachteil ist, dass die Annahmen über die Energiepreisteigerung schon in der Berechnung eingerechnet sind, daher lässt sich das Ergebnis nicht unabhängig von diesen Annahmen betrachten. Der Preis der eingesparten Energie (siehe Kap. 4.3.2.) ist ein objektiveres Ergebnis einer Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Annahmen für Rechnungen in dieser Arbeit:

Energiepreis Gas : 6,5 cent/kWh (2014)

Energiepreisteigerung : 7% pro Jahr

Zinssatz für Investitionen : 5 %

Berechnung des eingesparten Kapitals über die Lebensdauer¹

$$K_n = R \cdot \frac{r^n - 1}{r - 1}$$

K_n : eingespartes Kapital, €

R : Einsparungen im ersten Jahr, €

r : Preissteigerungsfaktor (zB 1,05)

n : Dauer der Einsparungen in Jahren (zB Lebensdauer des Bauteils)

¹ <http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/dynamische-amortisationsrechnung/dynamische-amortisationsrechnung.htm>

² RICHARZ, SCHULZ, S. 31 f

³ <http://www.zum.de/Faecher/kurse/boeing/udb/infin/Amortisationsvergleichsrechnung-Bewertung.pdf>

Berechnung der Amortisationszeit

$$TA = \frac{\ln \left(1 - \frac{K_0 (q-r)}{R} \right)}{\ln (r/q)}$$

TA : Amortisationszeit

K_0 : Investitionssumme

R : Einsparungen im ersten Jahr, €

r : Preissteigerungsfaktor (zB 1,07)

q : Zinsfaktor für Investitionen (zB 1,05)

Die Erträge bzw. die Einsparungen an Kosten durch Energieeinsparungen sollten innerhalb der Lebensdauer des Bauteils größer sein als die Investitionskosten für die Baumaßnahme, damit sich die Sanierungsmaßnahme refinanziert.

-> Die Amortisationszeit muss kürzer sein als die Lebensdauer der Sanierungsmaßnahme damit sich die Maßnahme finanziell lohnt

$$\underline{TA < n}$$

$$\underline{K_0 < K_n}$$

Rechnungsmethode nach : RICHARZ, SCHULZ, Energetische Sanierung, S. 31 f

4.3.2. Berechnung des Preises der eingesparten Energie

Wirtschaftlichkeitsberechnungen sollten möglichst unabhängig von künftigen Preisentwicklungen, in diesem Fall Energiepreisentwicklungen, getätigt werden, da diese unsicher sind und nur angenommen werden können. Die Berechnung des Preises für eine eingesparte Kilowattstunde dient als Methode zur Wirtschaftlichkeitsbewertung und ist in der Richtlinie VDI 2067 beschrieben.¹

Methode: In einem ersten Schritt wird über die Kapitalwertmethode der Kapitalwert aller im Lebenszyklus anfallenden Kosten (Investitions-, Instandhaltungs-, Betriebs- und

1 BMVBS, S. 19

Energiekosten) mit Berücksichtigung des Kapitalzinssatzes berechnet.

Bei den Investitionskosten kann unterschieden werden zwischen den gesamten Kosten für die Sanierungsmaßnahme und den Kosten, die ausschließlich für die energetische Verbesserung anfallen. Bei letzteren können die Kosten, die bei einer notwendigen Sanierung ohnehin anfallen (z.B. Putzerneuerung, Dachneueindeckung = "Ohnehin-Kosten"), abgezogen werden.² Viele Energieeinsparmaßnahmen werden nur dann wirtschaftlich, wenn

2 BMVBS, S. 20

ohnehin Sanierungsmaßnahmen anstehen.

Nach der dynamischen Annuitätenmethode wird der Kapitalwert auf einen über einen bestimmten Zeitraum (z.B. Lebensdauer der Maßnahme) jährlich konstanten Kapitalkosten (K_I) umgelegt. Die daraus errechnete Annuität entspricht der jährlichen Zahlung an die Bank, die Zins und Tilgung beinhaltet.³

3 BMVBS, S. 19

$$\begin{aligned}
 &K_I = \text{jährliche Kapitalkosten} \\
 &I = \text{Investition} \\
 &a = \text{Annuitätsfaktor} \\
 &p = \text{Zinssatz (z.B. 5\%)} \\
 &n = \text{Nutzungsdauer} \\
 &Z = \text{Hilfsenergie/andere Zusatzkosten} \\
 &K_I = a * I \\
 &a = p / (1 - (1+p)^{-n})
 \end{aligned}$$

Sind die jährlichen Kosten für die Sanierungsmaßnahme größer als die durch die Sanierungsmaßnahme entstehenden Einsparungen ($E_{\text{eingesp./a}} * P$), ist die Maßnahme unwirtschaftlich, sind sie niedriger, ist die Maßnahme wirtschaftlich.

$$\begin{aligned}
 E_{\text{eingesp./a}} &= \text{eingesparte Energie / a} \\
 P &= \text{(aktueller) Energiepreis für eine Einheit Energie} \\
 K_{\text{eingesp}} &= \text{eingesparte Energiekosten / a} \\
 P_{\text{eingesp. kWh}} &= \text{Preis für eine eingesparte Einheit Energie}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &K_{\text{eingesp}} = E_{\text{eingesp./a}} * P \\
 &K_I > K_{\text{eingesp}} \rightarrow \text{Maßnahme nicht wirtschaftlich} \\
 &K_I < K_{\text{eingesp}} \rightarrow \text{Maßnahme wirtschaftlich} \\
 &P_{\text{eingesp. kWh}} = (a * I + Z) / E_{\text{eingesp./a}} \\
 &P < P_{\text{eingesp. kWh}} \rightarrow \text{Maßnahme nicht wirtschaftlich} \\
 &P \geq P_{\text{eingesp. kWh}} \rightarrow \text{Maßnahme wirtschaftlich}
 \end{aligned}$$

Um die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Maßnahmen miteinander vergleichbar zu machen, kann man den Preis für eine durch die Maßnahme eingesparte Einheit (kWh) Energie mit dem aktuellen Preis für eine Einheit Energie (kWh) vergleichen. Ist dieser Preis kleiner oder gleicht dem aktuelle Energiepreis, ist die Maßnahme wirtschaftlich, ist der Preis größer, ist sie nicht wirtschaftlich. Mit dieser Methode lässt sich eine Art "ranking" alternativer, aber auch völlig unterschiedlicher Maßnahmen in Bezug auf deren Wirtschaftlichkeit aufstellen.¹

1 BMVBS, Bewertung energetischer Anforderungen, S. 28

Der Vorteil dieser Methode ist, dass die Energiepreissteigerung nicht als Eingabegröße in die Rechnung miteingeht und das Ergebnis somit nicht von diesem abhängt. Am Preis für eine eingesparte Einheit Energie lässt sich schnell erkennen, aber welcher Energiepreissteigerung eine Maßnahme wirtschaftlich und ab welcher unwirtschaftlich wird.

Beispiel

Kerndämmung

Angenommen wird ein Zinssatz von $p = 3,27\%$ und ein aktueller Energiepreis von 6,5 cent (2014). Die Investitionskosten für die Kerndämmung des Hohlraumes der Außenwand betragen 2800€. Durch die Kerndämmung werden jährlich 7486 kWh eingespart. Die Investition wird über 20 Jahre gerechnet, obwohl die Lebensdauer der Dämmung eventuell länger sein kann.

$$a = p / (1 - (1+p)^{-n}) = 0,0689 = 6,89\%$$

$$K_1 = a * I = 0,0689 * 2800 \text{ €} = 192,92 \text{ €}$$

$$K_{\text{eingesp}} = E_{\text{eingesp/a}} * P = 486,59 \text{ €}$$

da $K_1 < K_{\text{eingesp}}$ ->> Maßnahme wirtschaftlich

Die Kerndämmung verursacht keine Zusatzkosten wie Wartung und Instandhaltung.

$$P_{\text{eingesp. kWh}} = (a * I + Z) / E_{\text{eingesp/a}} = 192,92 \text{ €} / 7486 \text{ kWh} = 0,0258 \text{ €} = 2,58 \text{ cent.}$$

Wie erwartet liegt auch der Preis einer eingesparten Einheit Energie unter dem aktuellen Energiepreis von 6,5 cent.

$$\begin{aligned} p &= 3,27\% \\ I &= 2800 \text{ €} \\ n &= 20 \text{ Jahre} \\ E_{\text{eingesp/a}} &= 7486 \text{ kWh} \\ P &= 0,065 \text{ €/kWh} \end{aligned}$$

Untersparrendämmung

Das Dach erhält eine Zwischensparrendämmung und zusätzlich 8 cm Untersparrendämmung. Die Investition dafür beträgt 12.329 € (113/m²) und erzielt 12.675 kWh Einsparungen pro Jahr. Die Investition wird über 20 Jahre gerechnet, obwohl die Lebensdauer der Dämmung länger sein kann.

$$a = p / (1 - (1+p)^{-n}) = 0,0689 = 6,89\%$$

$$K_1 = a * I = 0,0689 * 12329 \text{ €} = 850,70 \text{ €}$$

$$K_{\text{eingesp}} = E_{\text{eingesp/a}} * P = 823,875 \text{ €}$$

da $K_1 > K_{\text{eingesp}}$ ->> Maßnahme nicht wirtschaftlich

Die Dachdämmung verursacht keine Zusatzkosten wie Wartung und Instandhaltung.

$$P_{\text{eingesp. kWh}} = (a * I + Z) / E_{\text{eingesp/a}} = 850,70 \text{ €} / 12675 \text{ kWh} = 0,0671 \text{ €} = 6,71 \text{ cent.}$$

Wie erwartet liegt der Preis einer eingesparten Einheit Energie über dem aktuellen Energiepreis von 6,5 cent.

$$\begin{aligned} p &= 3,27\% \\ I &= 12329 \text{ €} \\ n &= 20 \text{ Jahre} \\ E_{\text{eingesp/a}} &= 12675 \text{ kWh} \\ P &= 0,065 \text{ €/kWh} \end{aligned}$$

Bei einer ohnehin nötigen Erneuerung der Innenverkleidung des Daches lägen die Investitionskosten für die Dachdämmung nur noch bei 4146 € (39€/m²).

$$P_{\text{eingesp. kWh}} = (a * I + Z) / E_{\text{eingesp/a}} = 286 \text{ €} / 12675 \text{ kWh} = 0,0226 \text{ €} = 2,26 \text{ cent.}$$

Eine Untersparrendämmung ist nur bei ohnehin notwendiger Erneuerung der Innenverkleidung des Daches wirtschaftlich.

5. Klimadaten Kiel

5.1. MITTLERE TEMPERATUR¹

Die Monatsmitteltemperatur kann auch als Monatsdurchschnittstemperatur bezeichnet werden und berechnet sich aus dem monatlichen Durchschnitt der Tagesmitteltemperaturen. Die folgenden Messwerte wurden über die Jahre 1981- 2010 gemittelt und stammen vom Deutschen Wetterdienst.

Am Standort Kiel-Holtenau liegt die höchste Monatsmitteltemperatur bei 17,3 °C im Juli, die niedrigste bei 1,5 °C im Januar und Februar.

Die Jahresmitteltemperatur liegt bei 8,86°C. (Vergleich Wien: 9,9°C²)

5.2. GLOBALSTRAHLUNG³

Globalstrahlung besteht aus Direktstrahlung, die direkt und ungehindert auf die Erdoberfläche auftrifft, und aus Diffusstrahlung, die durch Wolken, Wasser und Staubteilchen gestreut wird und anschließend auf die Erdoberfläche trifft. An trübigen Tagen ist der Anteil an der Diffusstrahlung hoch im Gegensatz zur Direktstrahlung. An klaren sonnigen Tagen ist die Diffusstrahlung im Vergleich zur Direktstrahlung verschwindend gering. Beide Strahlungsanteile ergeben die Globalstrahlung eines Standortes.⁴

Die Intensität der Globalstrahlung ist abhängig von geografischer Lage, Witterung, Tageszeit und Jahreszeit.⁵

¹ Deutscher Wetterdienst : http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU1/KU12/Klimadaten/Gradtagzahl/GTZ_aktuell_VDI_2067,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/GTZ_aktuell_VDI_2067.pdf

² <http://at.wettertv.de/wetterlexikon/jahresmitteltemperatur>

³ Werte nach PVgis

⁴ HEGGER, Energieatlas, S. 53

⁵ KADEL , S. 69

Temperaturmittelwerte 1981-2010	
Standort: Kiel-Holtenau , 27m ü.NN 54°23' n.B., 10°09' ö.L.	
	°C
JAN	1,5
FEB	1,5
MÄR	4,0
APR	7,6
MAI	11,9
JUN	14,8
JUL	17,3
AUG	17,0
SEP	13,6
OKT	9,7
NOV	5,2
DEZ	2,2
JAHRESMITTEL : 8,86 °C	



Abb. 32a: Verlauf der Monatsmitteltemperaturen

Tagessummen der Globalstrahlung			
Standort: Kiel-Holtenau 27m ü.NN 54°23' n.B., 10°09' ö.L.		Anteil der Diffusstrahlung	
	Wh/m2	Faktor	Wert, Wh/m2
JAN	515	0,74	381
FEB	1080	0,7	756
MÄR	2640	0,57	1505
APR	4410	0,44	1940
MAI	5360	0,45	2412
JUN	5590	0,49	2739
JUL	5370	0,5	2685
AUG	4280	0,5	2140
SEP	3000	0,56	1680
OKT	1740	0,58	1009
NOV	693	0,67	464
DEZ	401	0,73	293
JAHRESSUMME : 35.079 Wh/m2			

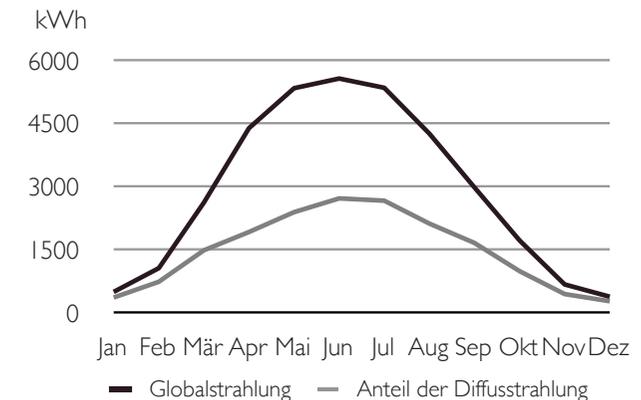


Abb. 32b: monatliche Globalstrahlung

6. BESTANDSGEBÄUDE

6.1. Lage



Abb.31a: Lageplan Deutschland



Abb.31b: Lageplan Kiel

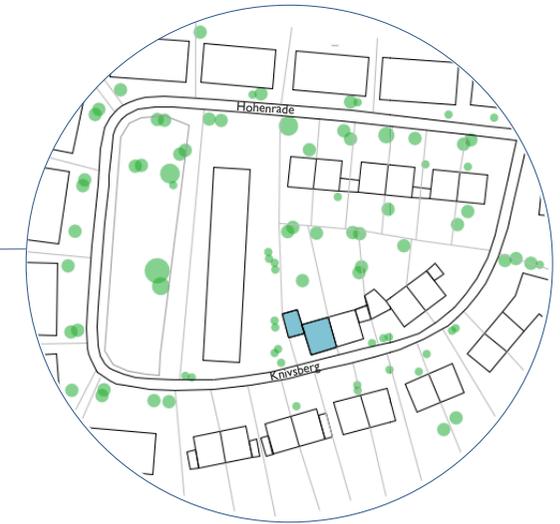


Abb.31c: Lageplan 1:2000

6.2. Geschichte des Hauses/der Siedlung



Abb. 31d: Flensburger Straße im ersten Winter (1937)¹



Abb. 31e: Hausansicht Südwest, Anfang 50er Jahre



Abb. 31f: Hausansicht Südost, Anfang 50er Jahre

Das Gebäude befindet sich in einer Siedlung von Doppelhäusern des gleichen Typus. Sie wurden 1937 fertiggestellt, als der Stadtteil noch einen sehr dörflichen Charakter besaß, und wurden unter anderem für die Familien der Mitarbeiter der Handelsmarine in Kiel gebaut. Die Straßennamen erinnern an damals deutsche Orte, die 1920 Dänemark angegliedert wurden.

6.3. Luftbilder des nordschleswiger Viertel



Abb. 34a :Vogelperspektive Süd



Abb. 34a :Vogelperspektive Nord

6.4. Ansichten des Hauses



Abb. 34c :Ansicht Südost



Abb. 34d :Ansicht Nordwest

6.5. Entwicklung

Das Haus wurde 1994 modernisiert. Es wurde eine neue Heizungsanlage angeschafft, der Dachboden und das Kellergeschoss ausgebaut und gedämmt. Die Fenster wurden erneuert in Isolierglas mit Kunststoffrahmen. Die nordwestliche Gaube wurde Richtung Dachfirst verlängert.

6.6. PLÄNE

6.6.1. Lageplan

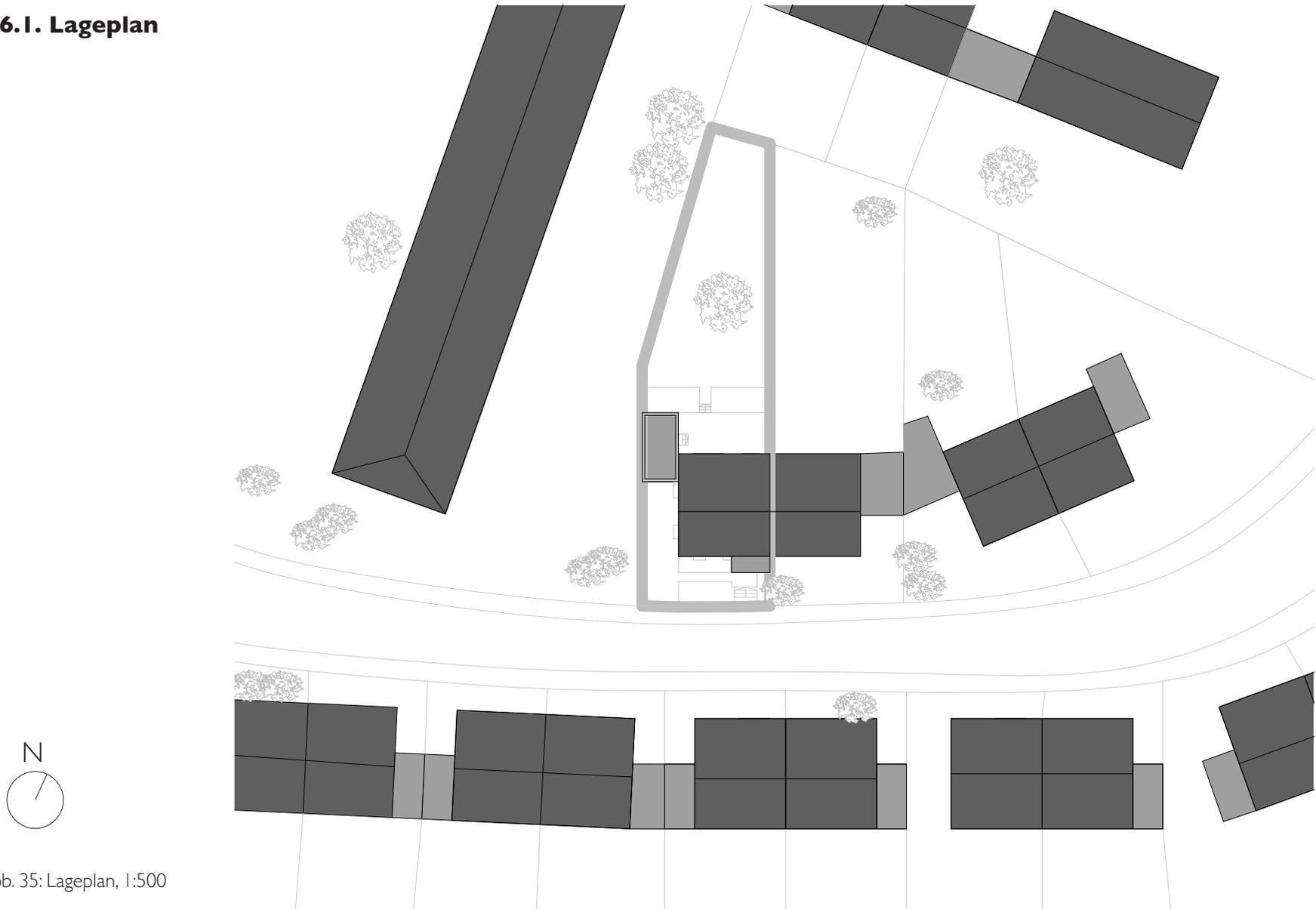


Abb. 35: Lageplan, 1:500

6.6.2. Untergeschoss M1:100

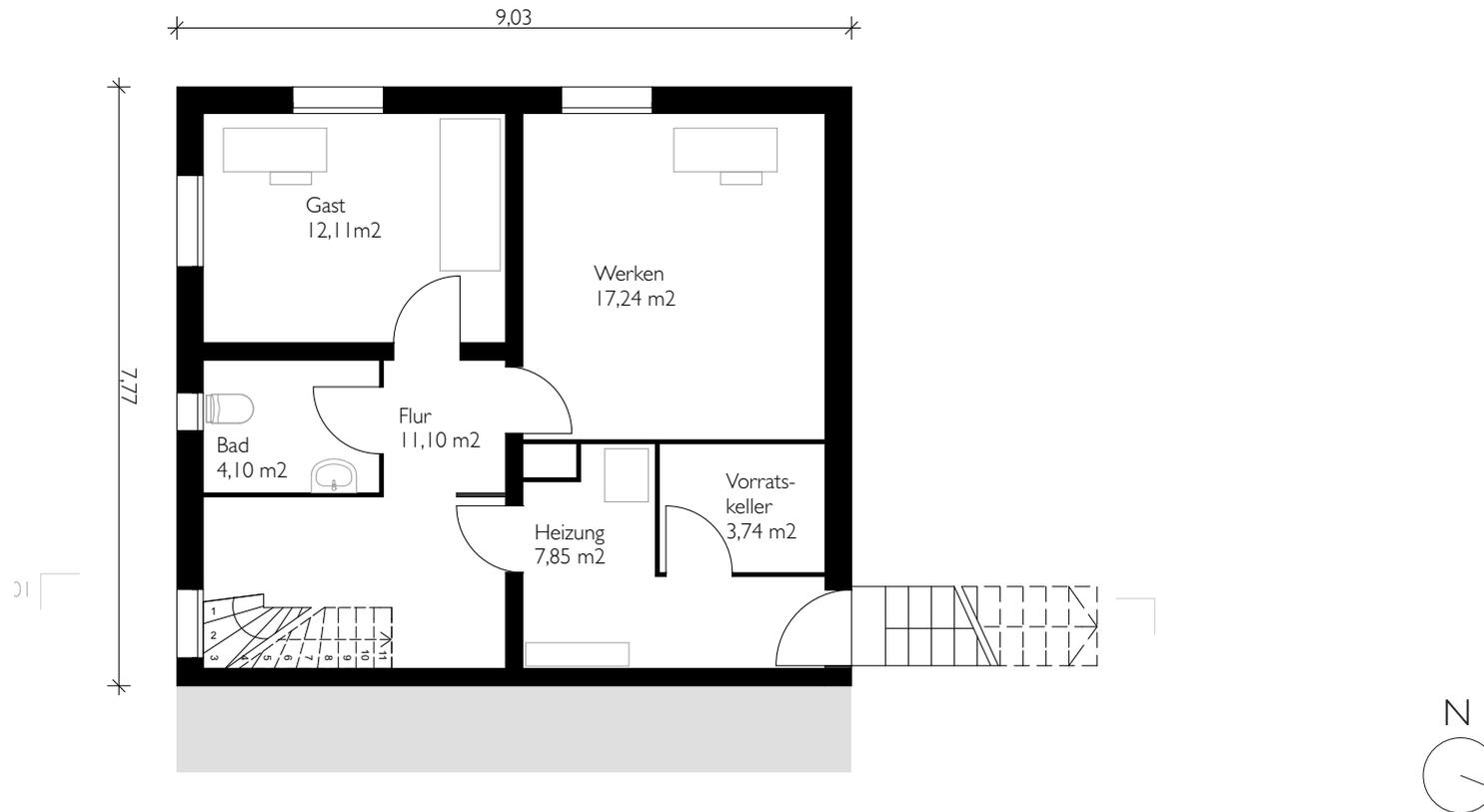


Abb. 36: Untergeschoss, M 1:100

6.6.3. Erdgeschoss M1:100

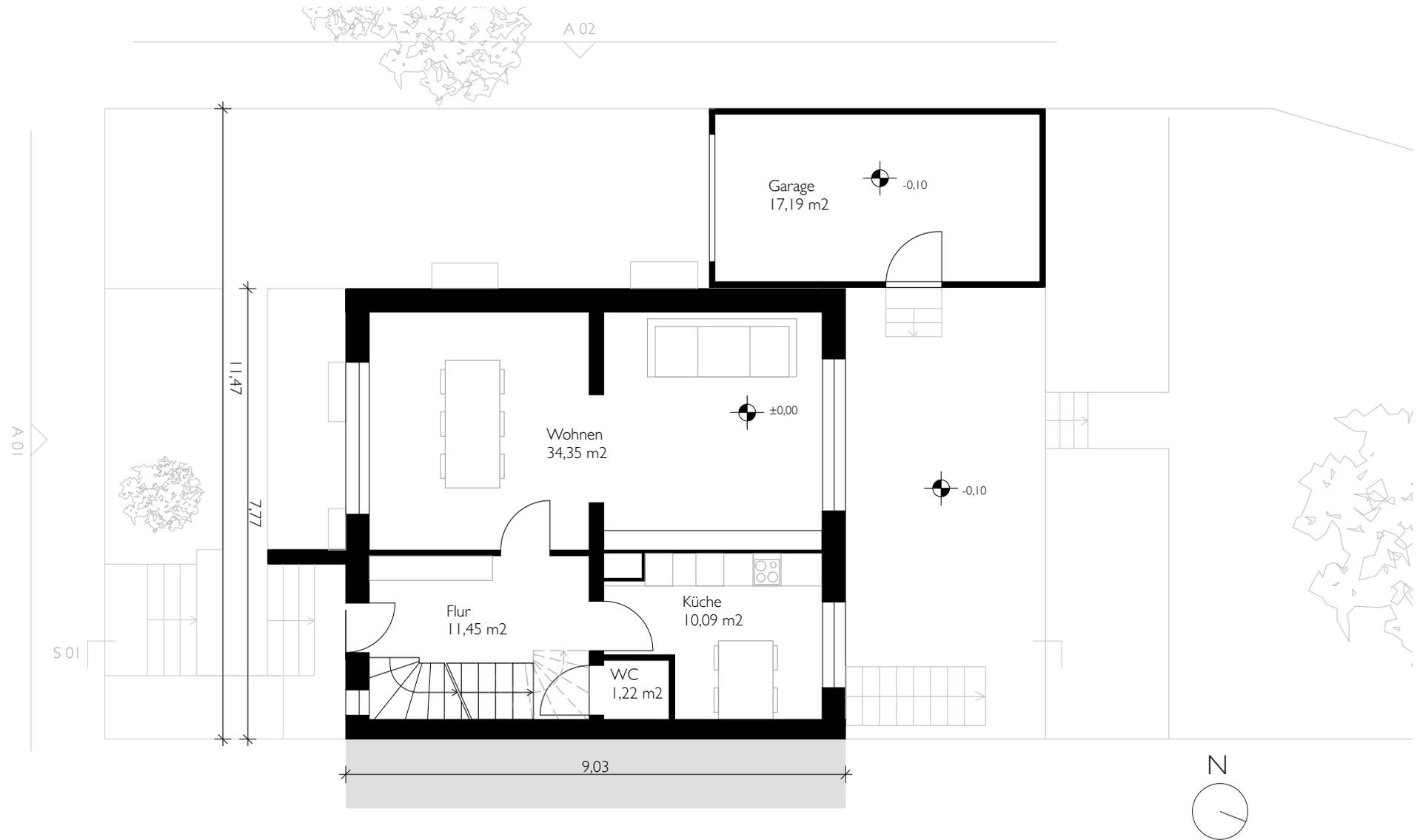


Abb. 37: Erdgeschoss, M 1:100

6.6.4. Obergeschoss M1:100

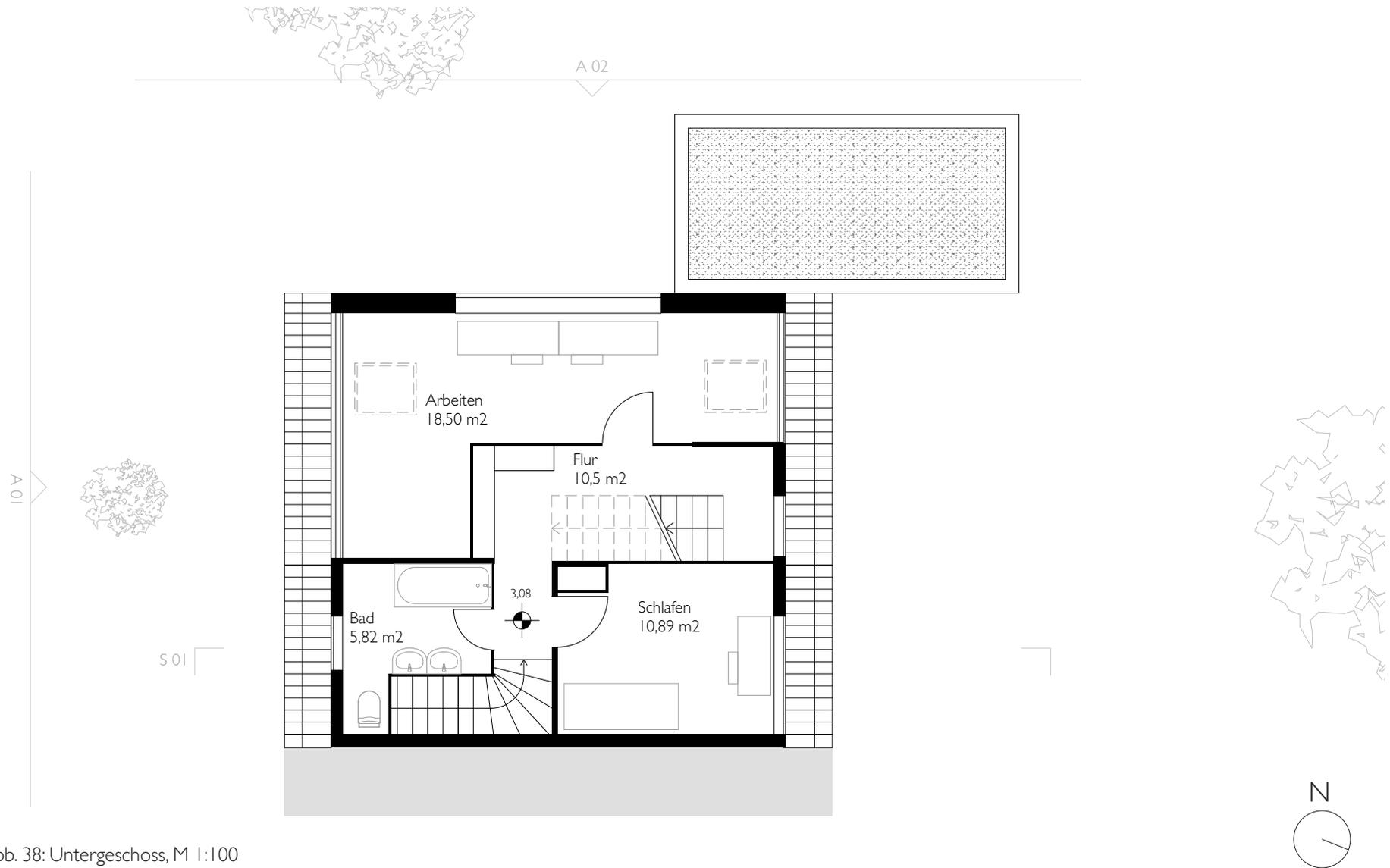


Abb. 38: Untergeschoss, M 1:100

6.6.5. Dachgeschoss MI:100

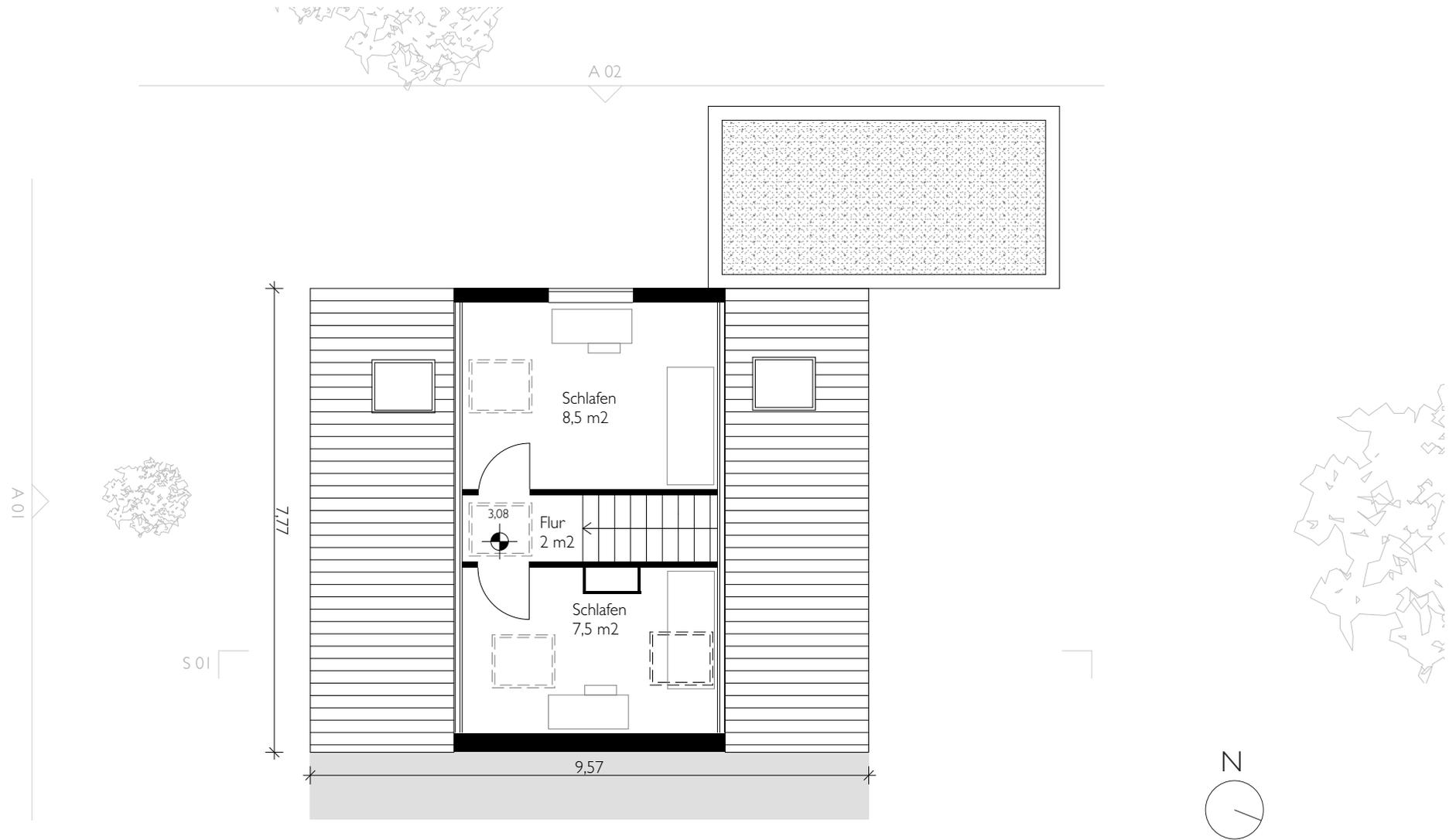


Abb. 39: Erdgeschoss, M I:100

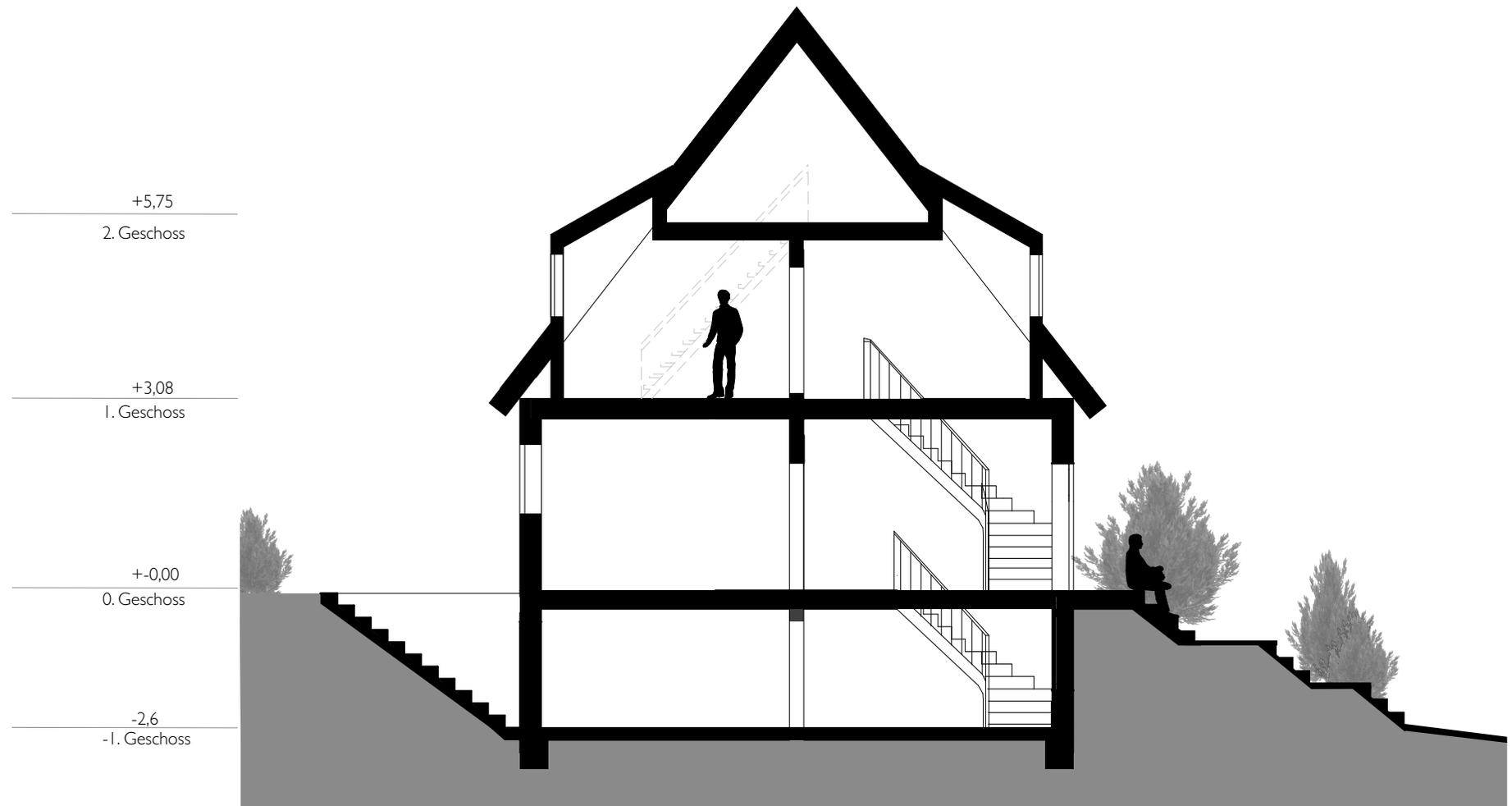
6.6.6. Schnitt A-A M1:100

Abb. 40 Schnitt 01-01 M 1:100

6.6.7. Ansicht SO M1:100

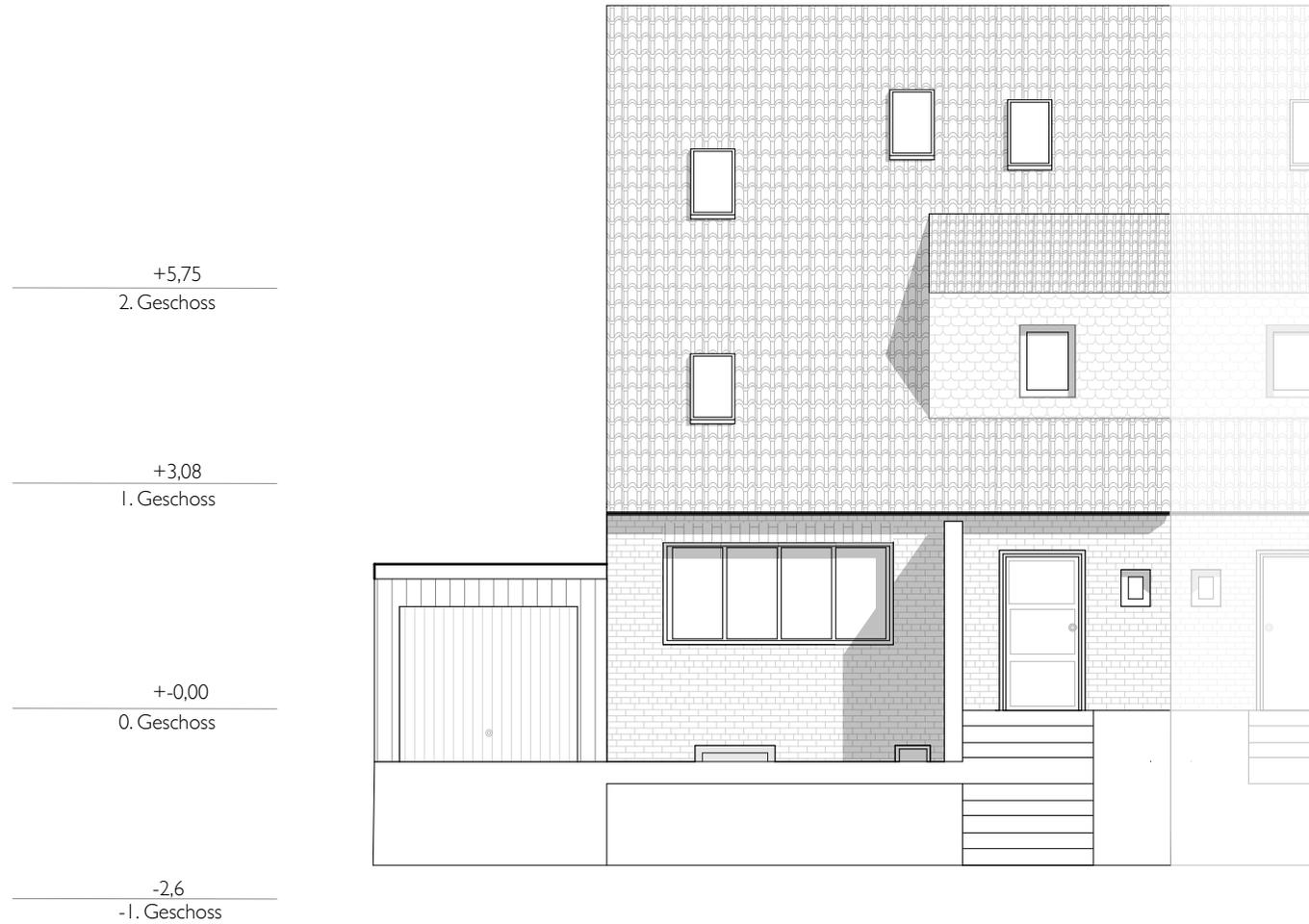


Abb. 42: Ansicht I, M 1:100

6.6.8. Ansicht SW M1:100

Abb. 43: Ansicht 2 , M 1:100

6.7. BAUTEILE

6.7.1. Außenwand Bestand

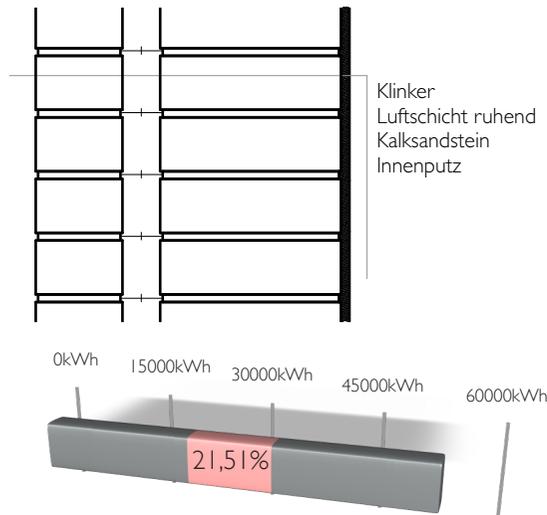


Abb. 45a: Anteil an den Gesamtwärmeverlusten

Fläche	93,46	m ²
U-Wert Bestand	1,406	W/m ² K
L _T	131,4	W/K

Transmissionsverluste AW	11422	kWh/a*
--------------------------	--------------	--------

transmissionsbedingter CO ₂ - Ausstoß	2787	kgCO ₂ /kg/a
--	-------------	-------------------------

Anteil an Gesamthüllefläche	26,07	%
Anteil an gesamten Wärmeverlusten	21,51	%

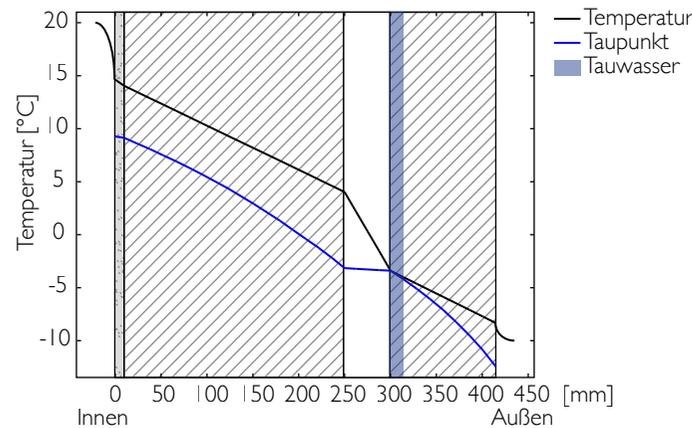
* rechnerisch bei einer angenommenen Heizperiode von 1.9.-31.5.

Baustoff	Dicke	λ	R
Einheit	m	W/mK	m ² K/W
			R _s 0,13
Innenputz	0,015	0,8	0,019
Kalksandstein	0,24	1	0,24
Luftschicht	0,05	0,035	0,139
Vormauerschale	0,115	0,8	0,144
			R _s 0,04
			R _{t, ges} 0,711
U=			1,406 W/m ² K



Die Außenwand besteht aus einer für die Region Norddeutschland und die Bauzeit der 1930er Jahre typischen zweischaligen Konstruktion. Der tragende Teil besteht aus Kalksandstein. Vor einer 5cm dicken Luftschicht ist ein Verblendmauerwerk aus rotem Backstein vorgemauert. Dieser bietet Schutz gegen

Schlagregen und Wind und ist sowohl in Norddeutschland, als auch besonders in der Siedlung vorzufinden. Aufgrund der fehlenden Dämmschicht verursacht die Wand 26% der gesamten Transmissionswärmeverluste.



Oberflächentemperatur innen: 12,7°C
 anfallendes Tauwasser: Innenseite Klinker: 190 g/m² (Grenzwert 500 g/m²)
 Trocknungsdauer: **38 Tage**

Abb. 45b: Temperaturverlauf innerhalb des Bauteils

6.7.2. Dach + Gaubendach Bestand

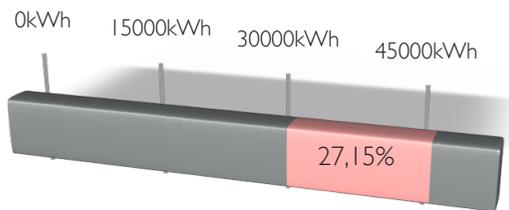
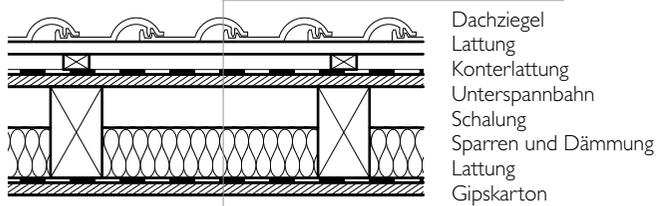


Abb. 46a: Anteil an den Gesamtwärmeverlusten

Fläche	109,11	m ²
U-Wert Bestand	1,52	W/m ² K
L _T	165,85	W/K

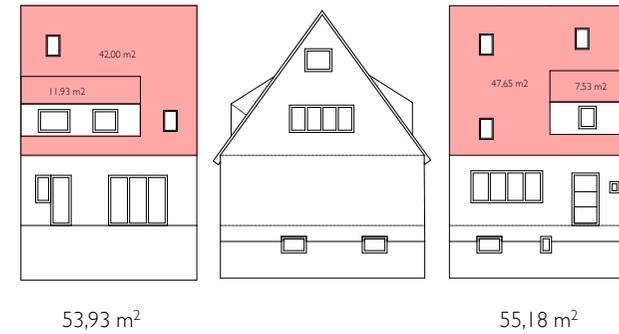
Transmissionsverluste DACH	14416	kWh
-----------------------------------	--------------	-----

transmissionsbedingter CO₂- Ausstoß	3518	kgCO ₂ /kg
---	-------------	-----------------------

Anteil an Gesamthüllefläche	30,44	%
------------------------------------	--------------	---

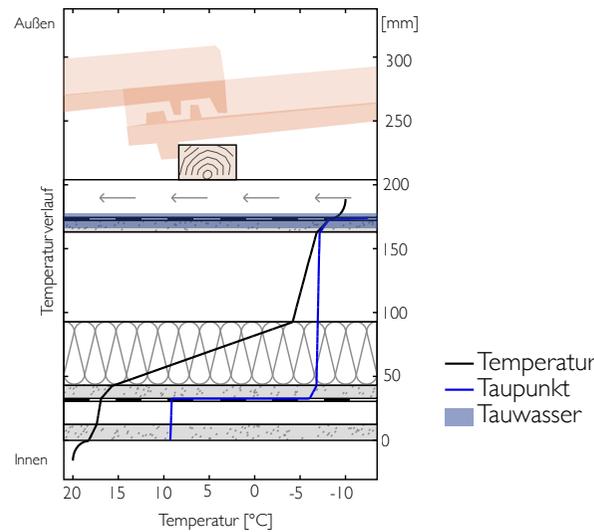
Anteil an gesamten Wärmeverlusten	27,15	%
--	--------------	---

Baustoff	Dicke	λ	R
Einheit	m	W/mK	m ² K/W
			R _{Si} 0,1
Gipskarton	0,015	0,21	0,071
Dämmung,Sparren	0,12	0,345	2,353
Schalung	0,02	0,75	0,04
			R _{Si} 0,04
			R _{t,ges} 0,658
	U=	1,52	W/m²K



ges. 109,11 m²

Das Dachgeschoss wurde 1994 ausgebaut und eine Zwischensparrendämmung mit Luftschicht eingebaut.



Oberflächentemperatur innen:
16,5°C
anfallendes Tauwasser: Außenseite Dämmung :
äußere Schalung 110g/m²
(Grenzwert 500 g/m²)
Trocknungsdauer :
77 Tage

Abb. 46b: Temperaturverlauf innerhalb des Bauteils

6.7.3. Fenster Bestand

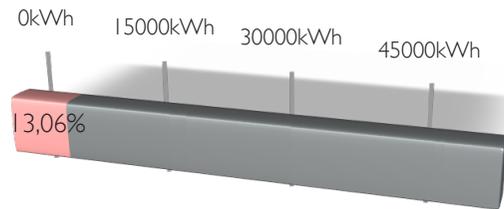


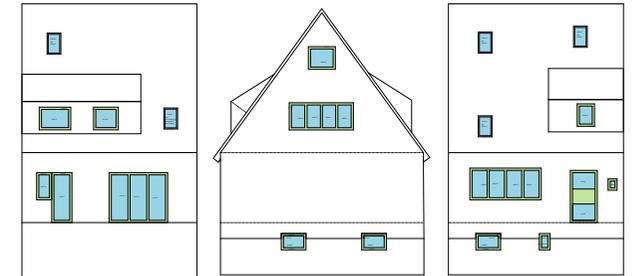
Abb. 47: Anteil an den Gesamtwärmeverlusten

a) Fassadenfenster:

Rahmen: REHAU (Kunststoffrahmen),
 $U_f = 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Rahmenanteil 30%)
 Glas : ISOLAR 01 234 94
 $U_g = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $U_w = 0,3 * 2,2 + 0,7 * 2,8 = 2,62 \text{ W/m}^2\text{K}$
 g-Wert : 0,7

b) Dachfenster: VELUX GGL 206 0000

Rahmen : Holz $U =$
 Glas : $U =$
 $U_F = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
 g-Wert : 0,79



NW 90° : 7,87 m ²	SW 90° : 4,1 m ²	SO 90° : 5,77 m ²
Rahmen : 3,04 m ²	Rahmen : 2,11 m ²	Rahmen : 3,52 m ²
NW 52° : 1,02 m ²		SO 52° : 2,04 m ²
Rahmen : 0,32 m ²		Holzrahmen: 0,64 m ²

Fensterfläche (Glas): 20,8 m²
 Rahmenfläche (Holz) : 0,97 m²
 Rahmenfläche (Kunststoff): 8,67 m²

ges. 30,44 m²

Die Fenster wurden bei der Modernisierung 1994 ausgetauscht . Es wurden 2- Scheiben. Isolierglas mit Kunststoffrahmen verwendet.

Fläche	30,44	m ²
U- Wert _{Bestand}	2,62	W/m ² K
L _T	79,75	W/K

Transmissionsverluste FENSTER	6932	kWh
-------------------------------	------	-----

transmissionsbedingter CO ₂ - Ausstoß	1691	kgCO ₂ /kg
--	------	-----------------------

Anteil an Gesamthüllefläche	8,49	%
Anteil an gesamten Wärmeverlusten	13,06	%

6.7.4. Gaubenwangen

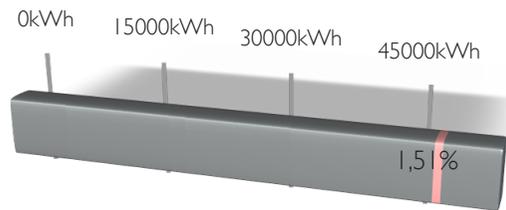
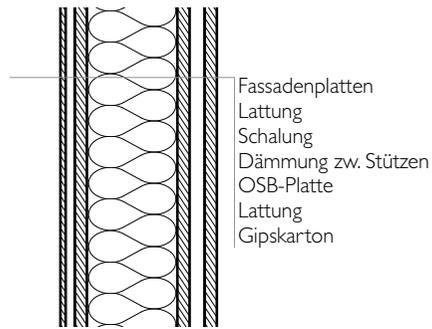
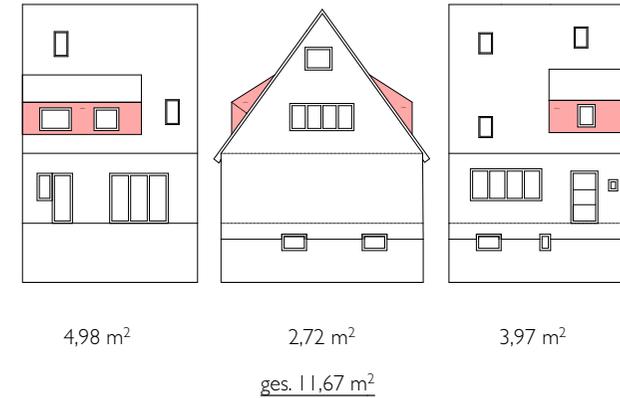


Abb. 48a: Anteil an den Gesamtwärmeverlusten

Baustoff	Dicke	λ		R
Einheit	m	W/mK		m ² K/W
			R_{Si}	0,13
Schalung	0,015	0,13		0,115
Dämmung und Stützen	0,12	0,18		0,667
OSB-Platte	0,02	0,13		0,154
Installationsebene	0,02	0,36		0,056
Gipskarton	0,015	0,21		0,071
			R_{Si}	0,04
			$R_{t_{ges}}$	1,265
			U=	0,79
				W/m²K



Fläche	11,67	m ²
U-Wert Bestand	0,79	W/m ² K
L_T	9,22	W/K
Transmissionsverluste GAUBE	801,4	kWh
transmissionsbedingter CO₂-Ausstoß	195,5	kgCO₂/kg
Anteil an Gesamthüllefläche	3,26	%
Anteil an gesamten Wärmeverlusten	1,51	%

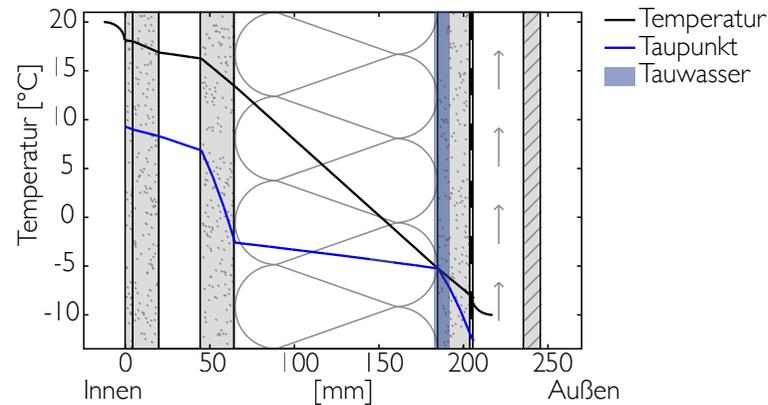


Abb. 48b: Temperaturverlauf innerhalb des Bauteils

Oberflächentemperatur innen:
 18,1°C
 anfallendes Tauwasser: Außenseite
 Dämmung :
 770 g/m²
 (Grenzwert 500 g/m²)
 Trocknungsdauer :
 93 Tage

6.7.5. Kellerwand Bestand

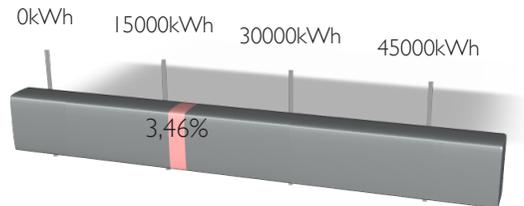
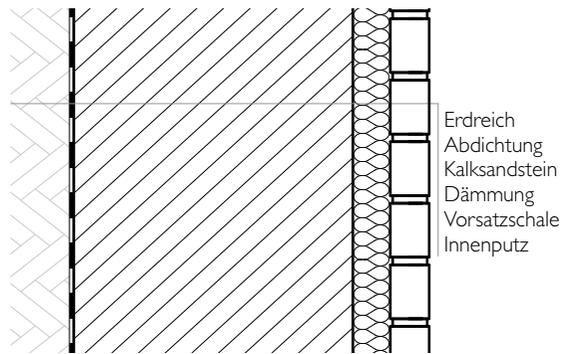
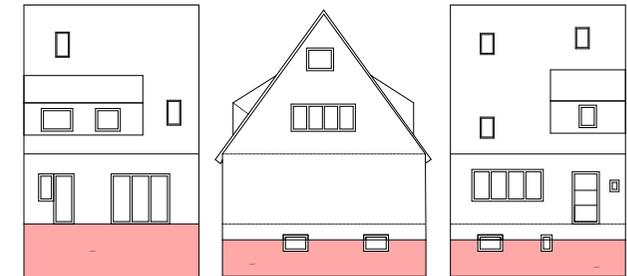


Abb. 49: Anteil an den Gesamtwärmeverlusten

Baustoff	Dicke	λ		R
Einheit	m	W/mK		m ² K/W
			R_{Si}	0,13
Vorsatzschale Kalksandstein	0,052	0,9		0,058
Dämmung	0,05	0,04		1,25
Beton	0,37	2,1		0,176
			R_{Se}	0,04
			$R_{t,ges}$	1,654
			U=	0.605 W/m²K



18,65 m²

13,35 m²

11,64 m²

ges. 43,64 m²

Die erdberührende Wand erhielt 1994 eine Innendämmung und eine raumseite Vormauerschale.

Fläche	43,64	m ²
U-Wert _{Bestand}	0,605	W/m ² K
Temperaturkorrekturfaktor F_x	0,8	
L_T	21,12	W/K

Transmissionsverluste KW	1836	kWh
---------------------------------	-------------	-----

transmissionsbedingter CO₂- Ausstoß	448	kgCO ₂ /kg
---	------------	-----------------------

Anteil an Gesamthüllefläche	12,17	%
Anteil an gesamten Transmissionsverlusten	3,46	%

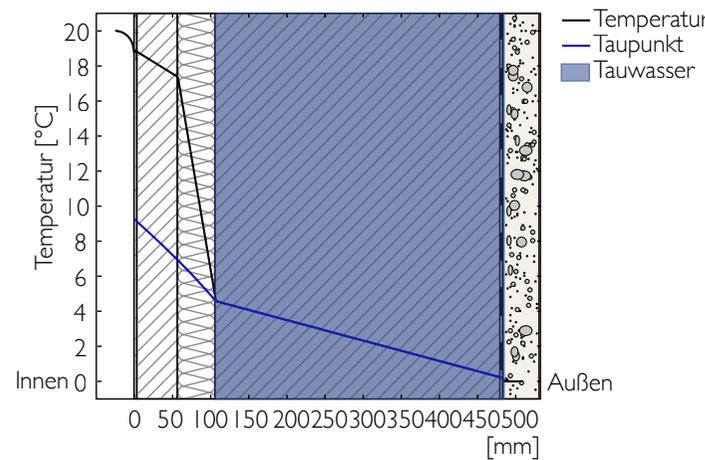


Abb. 49b: Temperaturverlauf innerhalb des Bauteils

Oberflächentemperatur innen: 18,8°C
anfallendes Tauwasser pro Tauperiode:
 - an der Außenseite der Innensämmung : 550 g/m²
 (8,4 % des Gewichts des Bauteils)
 (Grenzwert 500 g/m²)
 Trocknungstage : 71 Tage

6.7.6. Bodenplatte

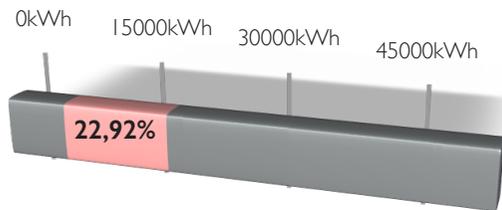
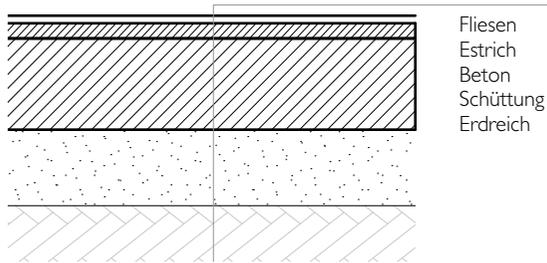


Abb. 50a: Anteil an den Gesamtwärmeverlusten

Fläche	70,16	m ²
U-Wert <small>Bestand</small>	3,99	W/m ² K
Temperaturkorrekturfaktor F _x	0,5	
L _T	140	W/K

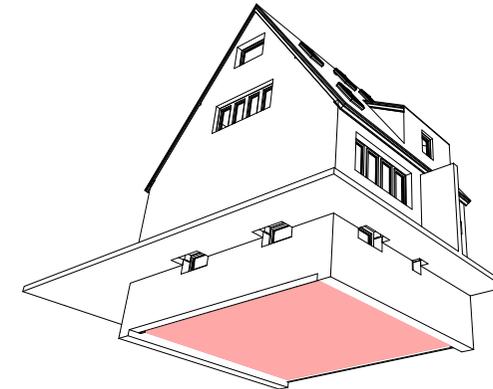
Transmissionsverluste AW	12169	kWh
--------------------------	--------------	-----

transmissionsbedingter CO ₂ - Ausstoß	2969	kgCO ₂ /kg
--	-------------	-----------------------

Anteil an Gesamthüllefläche	19,57	%
Anteil an gesamten Transmissionsverlusten	22,92	%

Baustoff	Dicke	λ	R
Einheit	m	W/mK	m ² K/W
			R _{Si} 0,17
Fliesen	0,01	1,2	0,008
Estrich	0,02	1,3	0,015
Beton	0,12	2,1	0,057
			R _{Si} 0
			R _{t, ges} 0,2514
	U=	3,99	W/m²K

Beim Kellerausbau erhielt die Bodenplatte einen Estrich und Fliesenbelag, jedoch keine Dämmung (eventuell aufgrund der geringen Raumhöhe)



ges. 70,16 m²

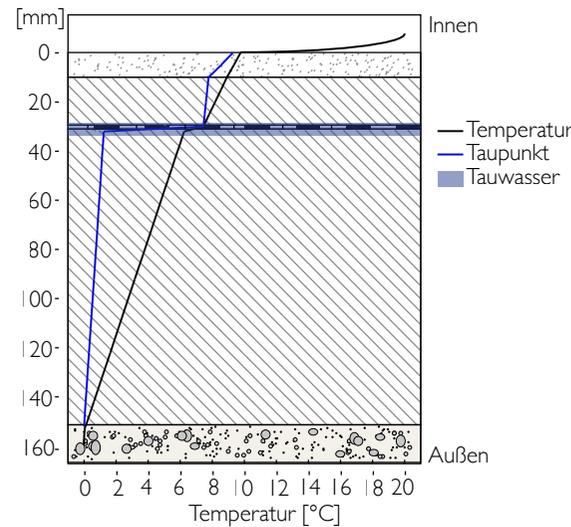


Abb. 50b: Temperaturverlauf innerhalb des Bauteils

6.8. LÜFTUNGSWÄRMEVERLUSTE

belüftetes Nettovolumen ($=0,76 \cdot V_{\text{brutto}}$)	446,64	m ³
Luftwechselrate	0,4	l/h
L_v	63,46	

Lüftungsverluste bei Fensterlüftung	5516	kWh
-------------------------------------	------	-----

lüftungsbedingter CO ₂ - Ausstoß	1345,8	kgCO ₂ /kg
---	--------	-----------------------

Anteil an gesamten Wärmeverlusten	10,39	%
-----------------------------------	-------	---

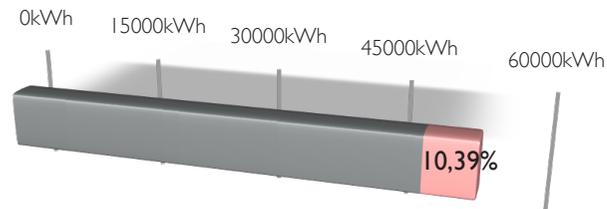


Abb. 51: Anteil der Lüftungswärmeverluste an den Gesamtwärmeverlusten

6.9. HEIZUNGSTECHNISCHE ANLAGE

Bestand

Das Bestandsgebäude erzeugt Wärme über den Niedertemperatur- Gas- Kessel ("Gas- Spezial- Heizkessel") BUDERUS G134 LP aus dem Jahr 1994. Der durchschnittliche Wirkungsgrad liegt bei 87 %. Erzeugeraufwandszahl: 1,69
 Die Heizlast liegt im Bestand bei 16 kW = 65 W/m².
 Die Rohrleitungen sind teilweise gedämmt.

6.10. ERMITTLUNG DER WÄRMEGEWINNE

6.10.1. Solare Wärmegewinne

Solare Gewinne durch transparente Bauteile (nach DIN V 4108-6)

$$Q_{s,M} = \sum I_{s,M} * F_F * F_S * F_C * 0,9 * g_g * A_W * 24h * t_M * 1/1000 \text{ [kWh]}$$

$I_{s,M}$: auftreffende Solarstrahlung pro Monat,
abhängig von Richtung und Neigung [W/m²]

F_F : Abminderungsfaktor Rahmenanteil

F_S : Abminderungsfaktor Verschattung

F_C : Abminderungsfaktor bei vorhandenem Sonnenschutz

g_g : Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases

A_W : Fensterfläche (Rohbaumaß)

t_M : Tage im Monat

Um die Fensterneigung und die Verschattung in der Berechnung zu berücksichtigen, wurden die solaren Gewinne aus der Simulation des Bestandsgebäudes nach EUROWAEBED mit den Strahlungsdaten des deutschen Wetterdienstes entnommen.

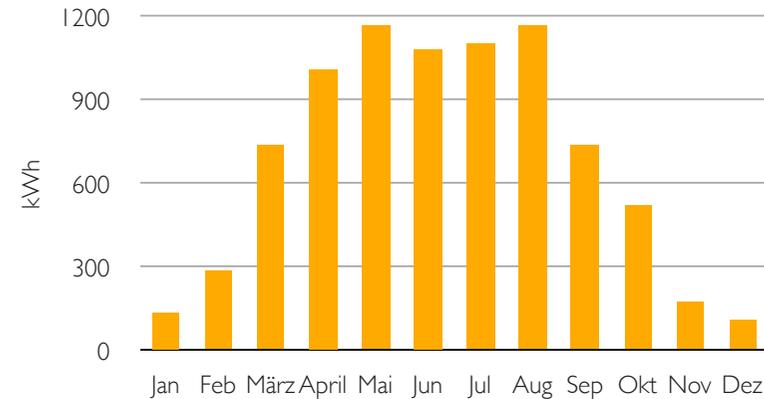


Abb. 52a : solare Wärmegewinne durch transparente Bauteile

6.10.2. Interne Wärmegewinne

Interne Wärmegewinne entstehen durch Personen und Elektrogeräte. Als Pauschale kann bei Wohngebäuden nach DIN V 4108-6 $q_i = 5 \text{ W/m}^2$ angenommen werden.

$$q_i = 5 \text{ W/m}^2 * A_n$$

$$A_n \text{ (Gebäudenutzfläche)} = 0,32 * V = 0,32 * 614 \text{ m}^3 = 196,48 \text{ m}^2$$

$$q_i = 5 \text{ W/m}^2 * 196,48 \text{ m}^2 = 982,4 \text{ W/Monat}$$

$$Q_{i,M} = 0,024 * 982,4 \text{ W/Monat} * t_M$$

$$= 0,024 * 982,4 * 31$$

$$= \mathbf{730,91 \text{ kWh/Monat}}$$

Im Winter bilden die internen Wärmegewinne einen hohen Anteil an den gesamten Wärmegewinnen. Wichtig sind Wärmegewinne in den Übergangszeiten, da besonders zu dieser Zeit der Heizwärmebedarf durch solare Wärmegewinne gesenkt oder sogar ausgeglichen werden kann.

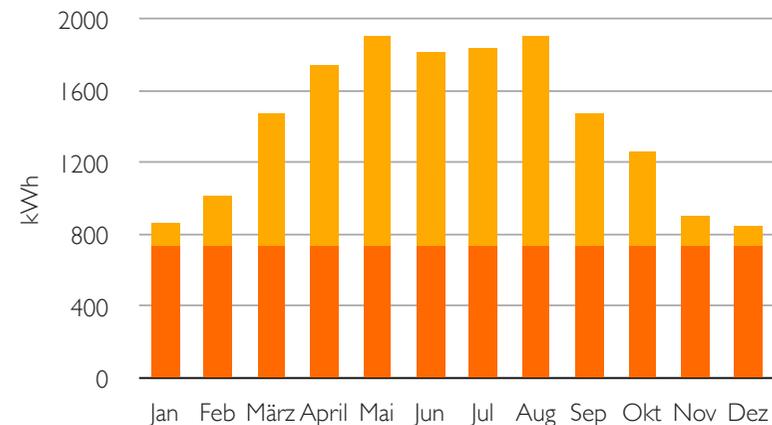


Abb. 52b : interne und solare Wärmegewinne

6.1.1. ZUSAMMENFASSUNG DER GEBÄUDEKENNZAHLEN

6.1.1.1. Flächenvergleich, Flächenberechnungen

Bauteil	Orientierung	Fläche			Flächenanteil	Flächenanteil gesamt
AW NW	NW 90°	15,48 m2			4,32 %	
AW SW	SW 90°	56,34 m2	93,46 m2		15,72 %	26,07 %
AW SO	SO 90°	21,64 m2			6,04 %	
Fenster NW	NW 90°	7,87 m2			2,20 %	
Fenster NW	NW 52°	1,02 m2			0,28 %	
Fenster SW	SW 90°	4,1 m2	20,8 m2		1,14 %	5,80 %
Fenster SO	SO 90°	5,77 m2			1,61 %	
Fenster SO	SO 52°	2,04 m2			0,57 %	
Rahmen Holz		0,97 m2			0,27 %	
Rahmen Kunststoff		8,67 m2	9,64 m2		2,42 %	2,69 %
Dach NW	NW 52°	53,93 m2			15,04 %	
Dach SO	SO 52°	55,18 m2	109,11 m2		15,39 %	30,44 %
Gaubenwand	NW 90°	3,97 m2			1,11 %	
Gaubenwand	SW 90°	2,72 m2	11,67 m2		0,76 %	3,26 %
Gaubenwand	SO 90°	4,98 m2			1,39 %	
Erdber.Wand NW	NW 90°	18,65 m2			5,20 %	
Erdber.Wand SW	SW 90°	13,35 m2	43,64 m2		3,72 %	12,17 %
Erdber.Wand SO	SO 90°	11,64 m2			3,25 %	
Bodenplatte	0°	70,16 m2	70,16 m2		19,57 %	19,57 %

Die Tabelle zeigt die Bauteilflächen der Hüllfläche nach Orientierung. Das Dach nimmt prozentuale den größten Teil der gesamten Hüllfläche (358,5 m²) ein, die Fensterrahmen und die Gaubenwangen den kleinsten.

Das beheizte Gebäudevolumen beträgt 614 m³, wodurch sich eine Kompaktheit von 0,58 ergibt.

Bei einer Bruttogeschossfläche von 246,61 m² ergibt sich eine Wohnfläche von 155,7 m².

Gesamthüllfläche **358,5 m²** **100 %** **100 %**

beheiztes Gebäudevolumen **Ve= 614 m³**

Gebäudenutzfläche **An= 0,32*Ve= 196,48 m²**

Kompaktheit **A/V= 0,58**

Bruttogeschossfläche(=Bruttogrundfläche)

70,16 (UG) + 70,16 (EG) + 70,16 (OG) + 36,13(DG)=
246,61 m²

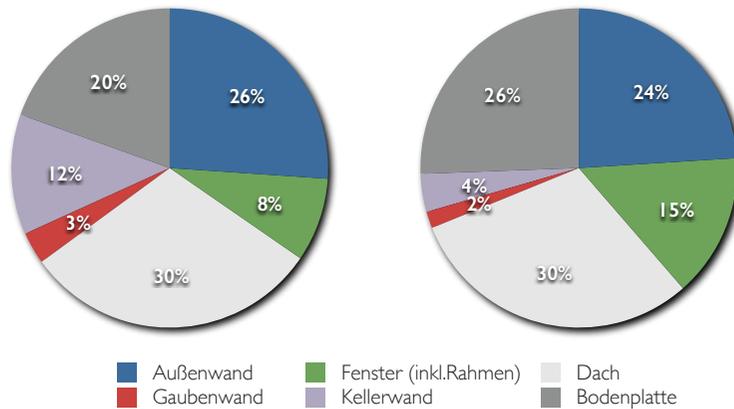
Wohnfläche

44,55 (UG) + 57,26 (EG) + 40 (OG) + 13,9 (DG)=
155,7 m²

6.1.1.3. GESAMTWÄRMEVERLUSTE ÜBER TRANSMISSION UND LÜFTUNG, BESTAND (rechnerisch)

6.1.1.3.1. Vergleich Flächenanteil / Anteil an Transmissionsverlusten

Flächenanteil an Gesamthüllfläche Anteil an gesamten Transmissionsverlusten



Bei einem Vergleich der Flächenanteile zu den Transmissionsverlustanteilen ist Folgendes festzustellen: Der Beitrag zu den Transmissionsverlusten der Außen- und Gaubeiwand, sowie besonders der Kellerwand ist kleiner als der Hüllflächenanteil dieser Bauteile. Das heißt, diese Bauteile verursachen im Verhältnis zu ihrer Fläche wenig Wärmeverluste. Bei der Kellerwand verursacht dies unter anderem der Korrekturfaktor 0,8. Eine Dämmung dieser Bauteile ist bei Energieeffizienzmaßnahmen daher eher zweitrangig, wobei die Außenwanddämmung aufgrund ihres großen Hüllflächenanteils und immerhin 24 % Anteil an den Gesamttransmissionsverlusten eine wichtige Maßnahme darstellt. Sowohl die Bodenplatte, trotz Korrekturfaktor 0,5, als auch die Fenster haben einen überproportional großen Anteil an den Transmissionswärmeverlusten. Eine Dämmung dieser Bauteile ist für eine bessere Energiebilanz des Gebäudes daher besonders wichtig. Nicht berücksichtigt ist beim Bauteil Dach, dass Wärme im Gebäude generell nach oben steigt und so vorrangig durch das Dach entweicht. So bekommt die Dämmung des Daches eine noch höhere Priorität.

Abb. 55a: Vergleich der Flächenanteile

6.1.1.3.2. Anteile an Wärmeverlusten

Gesamtverluste pro Jahr (bei einer angenommenen Heizperiode vom 1.9.- 31.5.)

$$Q_i = \sum ((H_T + H_V) * 24h * \tau_M * (\Theta_i - \Theta_{eM})) * 1/1000 \text{ [kWh]}; \quad \underline{Q_i = 53092 \text{ kWh/a}}$$

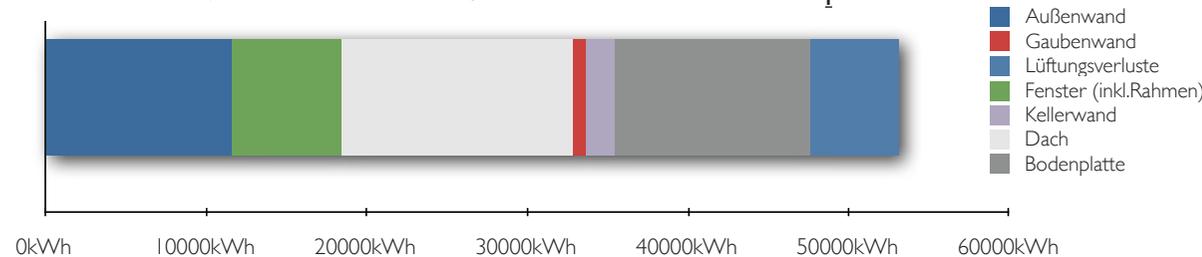


Abb. 55 b: Gesamtwärmeverluste nach Anteilen

Die Wärmeverluste durch Transmission und Lüftung betragen 53.092 kWh/a. Der Anteil der Lüftungsverluste an den gesamten Wärmeverlusten liegt beim Bestand bei knapp 6:1. Dieses Verhältnis ist für einen Altbau sehr typisch. Nach verschiedenen Dämmmaßnahmen, bzw. bei energieeffizienten Neubauten können die Lüftungswärmeverluste bei freier Fensterlüftung bei einem Anteil von bis zu 2:1 liegen. Abhilfe schafft hier eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

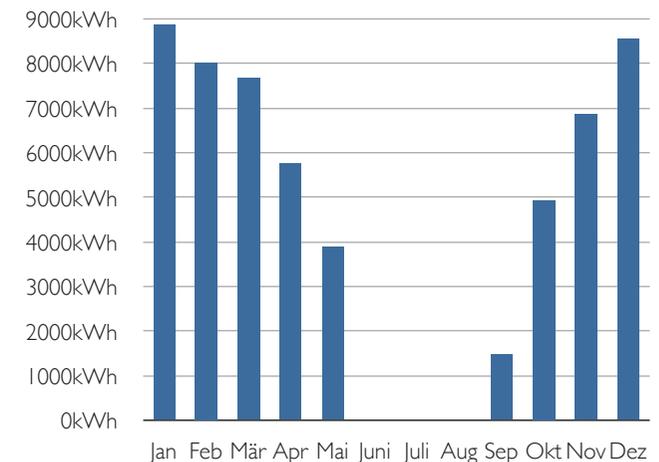


Abb. 55 c: monatliche Wärmeverluste gesamt (Transmission und Lüftung)

6.12. ENERGIEVERBRAUCH DES BESTANDSGEBÄUDES

6.12.1. Heizenergieverbrauch Bestandsgebäude laut Abrechnung

Die folgende Tabelle zeigt den Energieverbrauchswert des Bestandsgebäudes laut den Energieabrechnungen der Jahre 2011 - 2013. Um den Heizwärmebedarf zu ermitteln, werden der Warmwasserbedarf und 20% Anlagenverluste abgezogen. Dieser Wert wird durch die Bruttogeschossfläche geteilt, um den Heizwärmebedarf pro m² und Jahr zu ermitteln, welcher im Folgenden als Vergleichswert verwendet wird.

	2011	2012	2013
Endenergieverbrauchswert (inkl. Warmwasser; ohne Strom)	25.000 kWh	30.000 kWh	28.000 kWh
Warmwasserbedarf im Haushalt (1 Person)	40 l / Tag		
Energie f. Warmwasser (Erhitzung von 10° auf 60°), spez. Wärmekapazität v. Wasser 4,19 kJ/kg	40 l * 1,16 Wh/lK * 50 K = 2,32 kWh/Tag = 847 kWh/Jahr + 30 % Verluste (254 kWh) = 1101 kWh		
Endenergiebedarf für Raumheizung (inkl. Anlagenverluste)	23899 kWh	28899 kWh	26899 kWh
abzüglich 20% Anlagenverluste	19119,2 kWh	23119,2 kWh	21519,2 kWh
HWB (BGF=247m ²)	77,41 kWh/m ²	93,6 kWh/m ²	82,12 kWh/m ²

Tabelle 1: Energieverbrauchswert der letzten 3 Jahre (lt. Abrechnung):

Wie aus der Tabelle abzulesen ist, treten Schwankungen des Energieverbrauchswert der drei verschiedenen Jahre auf. Diese Schwankungen betragen bis zu 20 %. Grund für diese Schwankungen könnten unterschiedliche Temperaturverläufe der jeweiligen Jahre sein.

In Tabelle 2 lassen sich Schwankungen in den Temperaturverläufen der drei Jahre erkennen. Die Schwankungen der Jahresmitteltemperaturen liegen in einem Bereich von bis zu 6%.

Es lässt sich ablesen, dass das Jahr 2012 mit einem Jahresmittel von 8,99°C das kälteste der drei Jahre und 2011

mit 9,55°C im Jahresmittel das wärmste der drei Jahre war. Dies bestätigen die Schwankungen der Energieverbrauchswerte mit dem höchsten Wert 2012 und dem niedrigsten Wert im Jahr 2011.

Das Jahr 2012 weist zudem im Jahresmittel die geringsten Abweichungen von den in der Simulation verwendeten Temperaturwerten, den vom Deutschen Wetterdienst ermittelten Mittelwerten der Monate von 1981-2010, auf und sollte daher als Vergleichswert zum errechneten Wert durch die Simulation dienen.

Tabelle 2: zeigt die Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur und die Temperatur im Jahresmittel der jeweiligen Jahre, sowie deren Abweichungen vom Mittelwert von 1981- 2010.

Jahr	2011	2012	2013	Mittelwert 1981-2010
Temperatur im Monatsmittel (Abweichung) [°C]				
Jan	1,1(-0,4)	2,8(1,3)	1,3(-0,2)	1,5
Feb	0,9(-0,6)	0,1(-1,4)	0,6(-0,9)	1,5
März	3,9(-0,1)	6,6(2,6)	0,4(-3,6)	4
Apr	10,7(0,9)	7,0(-0,6)	7,6(0)	7,6
Mai	12,8(0,9)	12,6(0,7)	12,3(0,4)	11,9
Jun	16(1,2)	13,9(-0,9)	14,9(0,1)	14,8
Jul	16,6(-0,7)	16,6(-0,7)	18,4(1,1)	17,3
Aug	16,7(-0,3)	17,5(-0,5)	18,0(1)	17
Sep	14,9(1,3)	13,6(0)	13,7(0,1)	13,6
Okt	10,4(0,7)	9,6(-0,1)	11,7(2)	9,7
Nov	6,2(1)	6(0,8)	6,1(0,9)	5,2
Dez	4,4(2,2)	1,6(-0,6)	5,2(3)	2,2
Jahresmittel	9,55(0,7)	8,99(0,13)	9,18(0,32)	8,86

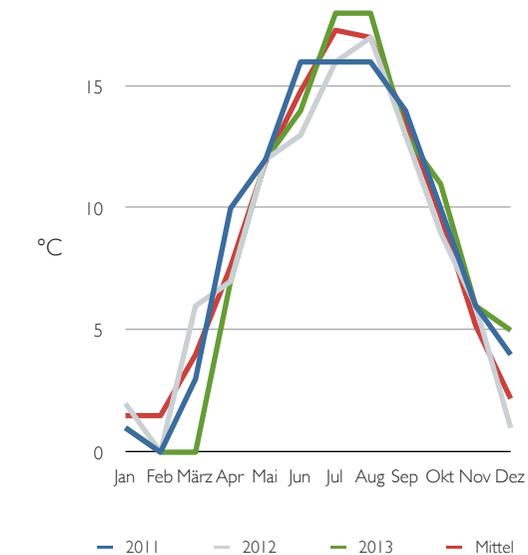


Abb. 56: Monatsmitteltemperaturen der Jahre 2011-2013, Mittelwert 1981-2010

6.12.2. Strombedarf laut Abrechnung

Der Strombedarf beträgt laut der letzten 3 Abrechnungen durchschnittlich 3000 kWh.
Daraus ergibt sich ein strombezogener Primärenergiebedarf von
 $2,4 * 3.000 \text{ kWh} = 7.200 \text{ kWh}$

6.12.3. Primärenergiebedarf des Bestandsgebäudes

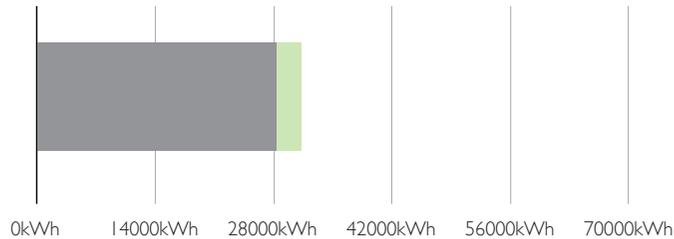


Abb. 57a: Endenergiebedarf Bestandsgebäude lt. Abrechnung

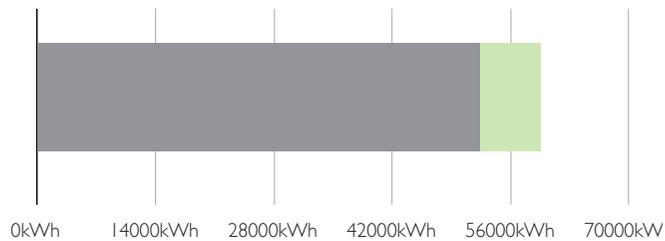


Abb. 57b: Primärenergiebedarf Bestandsgebäude lt. Abrechnung

$$28.000 \text{ kWh} * 1,69 * 1,1 \text{ (Gas (Heizung und WW))} + 3.000 \text{ kWh} * 2,4 \text{ (Strom)}$$

$$= 52.052 \text{ kWh/a}$$

$$= 210,74 \text{ kWh/m}^2$$

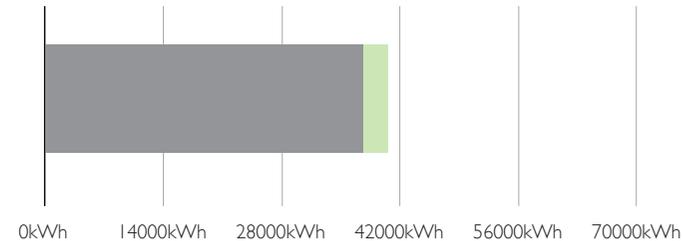


Abb. 57c: Endenergiebedarf Bestandsgebäude lt. Simulation

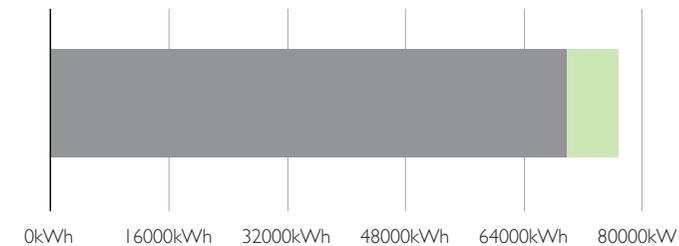


Abb. 57d: Primärenergiebedarf Bestandsgebäude lt. Simulation

$$37.311 \text{ kWh} * 1,69 * 1,1 \text{ (Heizung)} + 1.100 \text{ kWh} * 1,2 \text{ (WW)} + 3.000 \text{ kWh} * 2,4 \text{ (Strom)}$$

$$= 69361 \text{ kWh/a}$$

$$= 280,81 \text{ kWh/m}^2$$

primärenergiebezogene
Erzeugeraufwandzahl e_p
des Heizkessels Bestand: 1,69

strom
gas

6.12.4. CO₂- Ausstoß

CO₂- Ausstoß :
244 g/kWh (Gas)
559g/kWh/a (Strommix D)
gesamt : **8509 kg CO₂/a**

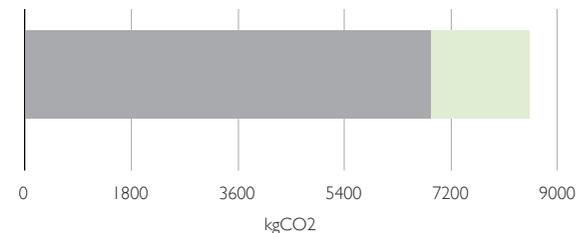


Abb. 56e: CO₂- Ausstoß Bestand

6.13. SIMULATION DES HEIZWÄRMEBEDARFS DES BESTANDSGEBÄUDES

6.13.1. Simulation des Heizwärmebedarfs unter Normbedingungen

Eingabedaten:

Simulation mit dem Programm EUROWAEBED
 Eingabegrößen :
 Bauteilflächen- und U-Werte : siehe Bauteilaufbauten Bestand (siehe Kap. 6.7.)
 Speichermassen des Gebäudes :
 Wände und Decken : Bauweise : schwer , Abdämmung : keine
 Fußboden (Estrich) : Bauweise : mittel, Abdämmung : mittel
 beheizbare Brutto- Geschossfläche : 247 m²
 Fugenlänge pro m² Fensterfläche : 3m
 Dichteklasse der Fenster : 3 (max. 6)
 Klimadaten siehe oben (siehe Kap. 5.1.-5.2.)
 Wärmebrückenanteil : 10 % der flächenbezogenen Transmissionsheizlast

Nutzung (Normnutzungsdaten) :

Luftwechselzahl für mindesterforderliche Lüftung : 0,4/h
 gewünschte Raumlufttemperatur : 20°C (gesamtes Gebäude)
 Betriebszeit Heizung : 6- 24 h
 Personenbelegung : 1 pro 45 m²
 Hygienische Lüftungsrate : 30 m³/Person,h
 Beleuchtung und Geräte : Leistung : 3 W/m², Einschaltdauer : 0-24h

Die hygienische Lüftungsrate gibt an, welche Raumlufthmenge in m³ pro Stunde und pro Person durch Frischluft ersetzt werden sollte.

Die Luftwechselzahl zeigt an, wie oft das gesamte Luftvolumen eines Raumes pro Stunde gegen Frischluft ersetzt wird bzw. werden sollte. In einem beheizten Wohnraum sollte die Luftwechselzahl bei mind. 0,4/h liegen. Ist in der Simulation der Mindestluftwechsel nicht schon durch die bautechnische Lüftung (Fugen) gegeben, wird die Differenz bis zum angegebenen Mindestluftwechsel ausgeglichen. Es fallen dementsprechende Lüftungswärmeverluste an.

Heizsaison vom 30. 8. bis einschliesslich 18. 6.

W Ä R M E B I L A N Z					
Monat	Transmission QT (kWh)	Lueftung QL (kWh)	Sonne QS (kWh)	Innenwaermen QI (kWh)	Heizung Q (kWh)
1	6747.	1115.	136.	1044.	6682.
2	5975.	982.	286.	943.	5729.
3	5881.	951.	735.	1044.	5055.
4	4504.	706.	1012.	1010.	3188.
5	3314.	492.	1169.	1044.	1597.
6	1418.	196.	683.	606.	334.
7	---	---	---	---	---
8	127.	17.	56.	67.	19.
9	2393.	353.	738.	1010.	983.
10	3913.	625.	522.	1044.	2971.
11	5170.	848.	175.	1010.	4833.
12	6309.	1043.	111.	1044.	6196.
	(45751.)	+ 7328.)	- (5622.)	+ 9867.)	= 37588.
	Besonnungsanteil: .057		Bestrahlungsanteil: .130		

Abb. 58: Ergebniswerte der Wärmebilanz aus der Simulation mit EuroWaedbed

Die **Wärmebilanz** (Abb. 58) zeigt die monatlichen Wärmeverluste über Transmission und Lüftung, die monatlichen Wärmegevinne aus passiven solaren Gewinnen und Gewinne aus Innenwärmen sowie deren Jahressummen. Die Differenz der beiden Summen ergibt die monatlich bzw. jährlich benötigte Heizenergie in Kilowattstunden.

Das Verhältnis von Transmissionswärmeverlusten zu den Lüftungswärmeverlusten ca. 6:1. Ein Verhältnis von 6-7 : 1 ist für Altbauten aufgrund der schlecht gedämmten Bauteile der Außenhülle typisch. Je besser das Gebäude gedämmt ist, desto größer wird bei herkömmlicher Fensterlüftung der relative Anteil der Lüftungsverluste (siehe auch Kap.7.8., S104).

Ab einem bestimmten Dämmgrad lässt sich die benötigte Heizenergie nicht mehr effektiv durch weitere Dämmungen einschränken. Sinnvoll ist in dem Fall eine Herabsetzung der Lüftungswärmeverluste durch den Einbau einer kontrollierten Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung (siehe Kap. 7.9.2. S.114-115).

beheizte Brutto-Geschossflaeche: 247.0 qm

Heizsaison vom 30. 8. bis einschliesslich 18. 6.

Monat	Transmission QT (kWh)	Heizung Q (kWh)	HWB q (kWh/qm)
1	6747.	6682.	27.05
2	5975.	5729.	23.19
3	5881.	5055.	20.47
4	4504.	3188.	12.91
5	3314.	1597.	6.47
6	1418.	334.	1.35
7	---	---	---
8	127.	19.	.08
9	2393.	983.	3.98
10	3913.	2971.	12.03
11	5170.	4833.	19.56
12	6309.	6196.	25.09
	-----	-----	-----
	45751.	37588.	HWB: 152.18

Abb. 59b: Ergebnis Heizwärmebedarf

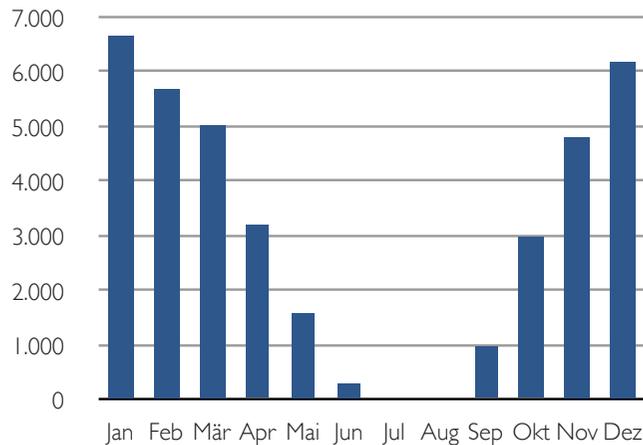


Abb. 59c: Heizwärmebedarf Bestand nach Simulation, pro Monat in kWh

RAUM NR.	TEMPERATUREN ! AUSLEGUNG ! AUSSEN ! (GRAD CELSIUS)	RAUM- ! INNEN ! LUFT	TRANSMISSIONS ! HEIZLAST ! (KW)	LUEFTUNGSHEIZLAST ! BAU- ! TECHNISCH ! (KW)	NUTZUNGSBEDINGT ! BETRIEBL. ! (KW)	HYGIEN. ! DURCH ! PERSONEN ! (KW)	WAERME- ! GEWINNE ! (KW)	RAUM- ! HEIZLAST ! (KW)
1	!-10.0 !	20.0 ! 20.0 !	14.044 !	.000 !	.937 !	1.494 !	.000 !	.000 !

Abb. 59a: Ergebnis Heizlast nach EuroWaebed

Heizlast

Unter der Heizlast versteht man jene Heizleistung, die einem Raum bzw. der Raumluft eines Gebäudes zugeführt werden muss, um bei bestimmten Auslegungsbedingungen (jene Bedingungen, bei denen die größtanzunehmende Heizleistung auftritt bzw. wie in diesem Fall die Norm-Außentemperatur von -10°C) die gewünschte Raumlufttemperatur (unter Norm- Bedingungen 20 °C) zu halten.

Die gesamte Heizlast setzt sich zusammen aus der Heizlast zur Deckung der Transmissionsverluste (Transmissionsheizlast), der Heizlast zur Deckung der bautechnischen Lüftungswärmeverluste (bautechnische Lüftungsheizlast) und der Heizlast zur Deckung der nutzungsbedingten Lüftungswärmeverluste (nutzungsbedingte Lüftungsheizlast). Die Wärmegewinne durch Personen und weitere innere Wärmequellen werden durch die hygienische Mindestluftwechselrate ausgeglichen und betragen daher in diesem Fall null.¹

Dauer der Heizsaison

Die Heizsaison ist keine fixierte Dauer, sondern ein Ergebnis der Heizwärmebedarfsberechnung und somit abhängig von Transmissionsverlusten und Wärmegewinnen. Ist "der Tagesmittelwert alle Wärmeverluste kleiner als der bei ausgeschalteter Heizung ergebene Tagesmittelwert aller Innenwärmern" [Krec, S. 144], wird davon ausgegangen, dass die Heizung nicht in Betrieb genommen wird.²

Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf setzt sich zusammen aus den über die gesamte Heizsaison addierten Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten abzüglich der monatlichen Wärmegewinne aus Strahlung und Innenwärmern, die aus den angegebenen Bauteil- und Nutzerdaten berechnet werden.

Ebenfalls beim Heizwärmebedarf berücksichtigt wird die Speicherfähigkeit der Bauteile.

Um einen gebäudegrößenunabhängigen Wert zu erhalten, wird die Jahressumme der benötigten Heizenergie durch die Bruttogeschossfläche dividiert. So erhält man den Heizwärmebedarf pro m2 und Jahr (HWB/m2a), der oft als Vergleichswert zwischen verschiedenen Gebäuden verwendet wird.

Wichtig ist hierbei, dass beim Vergleich zwischen unterschiedlichen Werten jeweils die gleiche Fläche (**Bruttogeschossfläche** bzw. **Bruttogrundfläche** in Österreich vs. **Energiebezugsfläche** in Deutschland) als Bezugsgröße verwendet wird, da es sich um unterschiedliche Werte handelt und es hierbei zu Verwechslungen kommen kann.

1 KREC, PANZHAUSER Benutzerhandbuch Programmpaket EuroWAEBED, 2001, S. 133ff

2 KREC, PANZHAUSER, S. 144

tatsächlicher Energieverbrauch für Raumheizung (lt. Abrechnung) :

	2011	2012	2013
Endenergie Heizung (BGF=247m ²)	77,41 kWh/m²	93,6 kWh/m²	82,12 kWh/m²

errechneter Energieverbrauch für Raumheizung (Normnutzung, lt. Simulation):

152,18 kWh/m^{2a}

Die Differenz zwischen tatsächlichem Energieverbrauch des Gebäudes und dem errechneten Verbrauch aus der Simulation besteht aufgrund des nur schwierig feststellbar tatsächlichem Nutzverhalten der/des Bewohner(s). Dazu zählt gewünschte die Raumtemperatur, die Anzahl der Bewohner, das Lüftungsverhalten der Bewohner, die Betriebszeit der Heizung und Heizunterbrechungen, nicht geheizte Räume, die Lüftungsintensität und die Intensität und Anzahl der Innenwärmen. Das Nutzerverhalten hat großen Einfluss auf den Heizwärmebedarf und lässt sich in einer Simulation nur pauschalisiert und oft nur geschätzt eingeben. Ob die eingegebenen Größen der Realität entsprechen, lässt sich nicht nachweisen, ist jedoch an dem Endergebnis des Heizwärmebedarfs durch den Vergleich mit der tatsächlich benötigten Heizenergie ungefähr einsehbar.

Eine weitere Unsicherheit besteht durch eventuelle Differenzen der errechneten U- Werte (siehe Kap.6.7.) zum tatsächlichen U-Wert. Die Bauteilaufbauten wurden den Bestands- (-detail)

plänen entnommen und deren Werte zur Wärmeleitfähigkeit aus Fachliteratur ausgelesen. Da die Werte eines Baustoffs jedoch je nach Dichte und aufgrund anderer Eigenschaften variieren und keine Prüfung der verwendeten Baustoffe vorgenommen wurde, kann es auch hier zu leichten Differenzen zwischen errechnetem und tatsächlichem Wert kommen.

Eine Änderung des U- Wertes der Außenwand um 0,3 beispielsweise (durch geringere Dichte des Mauerwerks und besserer Dämmfähigkeit der Luftschicht als angenommen) hätte einen um 10 kWh/m^{2a} geringeren Heizwärmebedarfs zur Folge.

Im Folgenden wird durch die in der Simulation veränderten Nutzungsdaten (gewünschte Raumtemperatur, Anzahl der Bewohner, Lüftungsverhalten, verschiedene Temperaturzonen) ein Versuch einer Annäherung an den tatsächlichen Heizwärmebedarf vorgenommen.

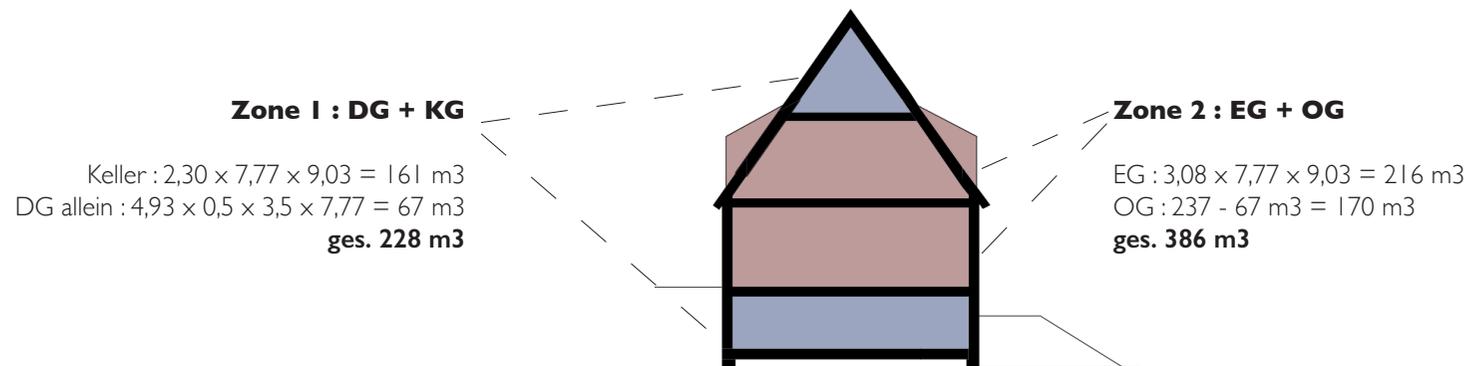
6.13.2 2- Zonen - Modell; Annäherung an den tatsächlichen Heizwärmebedarf

Die Aufenthaltsräume befinden sich hauptsächlich im Erd- und Obergeschoss, daher werden diese Geschosse als Temperaturzone zusammengefasst. Kellergeschoss und Dachgeschoss dienen als Schlaf- und Stauraum, daher wird dies als kühler angenommene Temperaturzone zusammengefasst.

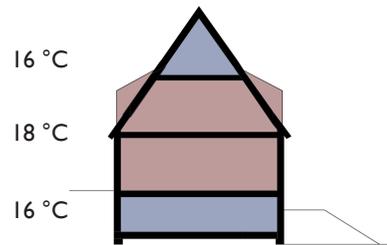
Es werden in beiden Temperaturzonen jeweils unterschiedliche Temperaturen angenommen

und anschließend mit dem tatsächlichem HeizenergieWert laut Abrechnung verglichen.

So kann eine eventuelle Annäherung an das tatsächliche Nutzverhalten vorgenommen werden.



6.13.2.1 2- Zonen- Modell, Variante I



Nutzungsdaten :

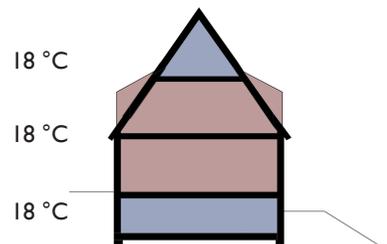
gewünschte Raumlufttemperatur : 18°C (EG und OG)
 16 °C (DG und KG)
 Betriebszeit Heizung : 6- 18 h
 Personenbelegung : 1
 Hygienische Lüftungsrate : 30 m3/Person,h
 Wärmeabgabe pro Person : 90 W/Person
 Beleuchtung und Geräte : Leistung : 3 W/m2, Einschaltdauer : 0-24h

Heizsaison vom 15. 9. bis einschliesslich 25. 5.

Monat	Transmission QT (kWh)	Heizung Q (kWh)	HWB q (kWh/qm)
1	5295.	5302.	21.47
2	4674.	4494.	18.19
3	4489.	3737.	15.13
4	3239.	1998.	8.09
5	1834.	550.	2.23
6	---	---	---
7	---	---	---
8	---	---	---
9	872.	198.	.80
10	2655.	1782.	7.21
11	3846.	3575.	14.47
12	4878.	4836.	19.58

	31784.	26471.	HWB: 107.17

6.13.2.2. 2- Zonen- Modell, Variante 2



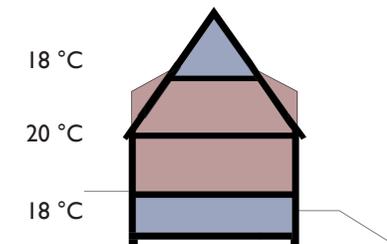
Nutzungsdaten :

gewünschte Raumlufttemperatur : 18°C (EG und OG)
 18 °C (DG und KG)
 Betriebszeit Heizung : 6- 18 h
 Personenbelegung : 1
 Hygienische Lüftungsrate : 30 m3/Person,h
 Wärmeabgabe pro Person : 90 W/Person
 Beleuchtung und Geräte : Leistung : 3 W/m2, Einschaltdauer : 0-24h

Monat	Transmission QT (kWh)	Heizung Q (kWh)	HWB q (kWh/qm)
1	5630.	5681.	23.00
2	4977.	4836.	19.58
3	4825.	4117.	16.67
4	3565.	2368.	9.59
5	2498.	926.	3.75
6	840.	88.	.36
7	---	---	---
8	---	---	---
9	1409.	397.	1.61
10	2988.	2161.	8.75
11	4169.	3941.	15.95
12	5215.	5217.	21.12

	36116.	29731.	HWB: 120.37

6.13.2.3. 2- Zonen- Modell, Variante 3



Nutzungsdaten :

gewünschte Raumlufttemperatur : 18°C (EG und OG)
 18 °C (DG und KG)
 Betriebszeit Heizung : 6- 18 h
 Personenbelegung : 1
 Hygienische Lüftungsrate : 30 m3/Person,h
 Wärmeabgabe pro Person : 90 W/Person
 Beleuchtung und Geräte : Leistung : 3 W/m2, Einschaltdauer : 0-24h

Heizsaison vom 31. 8. bis einschliesslich 13. 6.

Monat	Transmission QT (kWh)	Heizung Q (kWh)	HWB q (kWh/qm)
1	5985.	6111.	24.74
2	5297.	5224.	21.15
3	5182.	4550.	18.42
4	3907.	2780.	11.25
5	2797.	1277.	5.17
6	859.	165.	.67
7	---	---	---
8	52.	4.	.02
9	1951.	721.	2.92
10	3341.	2590.	10.49
11	4516.	4360.	17.65
12	5572.	5649.	22.87

	39460.	33432.	HWB: 135.35

Variante I des 2- Zonen- Modells kommt mit 107,17 kWh/m²a am nächsten an den Wert des tatsächlichen Verbrauchs (77,41- 93,60 kWh/m²a) heran. Offenbar werden nicht alle Räume stark geheizt, da das Gebäude die meiste Zeit nur von einer Person bewohnt ist. Der Grund für weitere Schwankungen sind, wie schon in Kap. 6.13.1 (S.60) erwähnt die Unsicherheiten im tatsächlichen Nutzerverhalten und in den tatsächlichen U- Werten.

Ziel dieser Arbeit ist es nicht, den aus der Simulation

errechneten Wert an den tatsächlichen anzupassen. Mit der Festlegung der verschiedenen Temperaturzonen und der Änderungen im Nutzerverhalten sollte lediglich gezeigt werden, dass aufgrund von bestimmten Unsicherheiten Differenzen zwischen den Werten auftreten, welche durch Anpassungen bestimmter Eingabegrößen der Simulation durchaus minimierbar sind. Der weitere Ausgleich der Differenzen wird in dieser Arbeit nicht weiter vorgenommen.

tatsächlicher Energieverbrauch für Raumheizung lt. Abrechnung :

	2011	2012	2013
Endenergie Heizung (BGF=247m ²)	77,41 kWh/m²	93,6 kWh/m²	82,12 kWh/m²

errechneter Energieverbrauch für Raumheizung im 2- Zonen- Modell ,Variante I (16°C,18°C):

107,17 kWh/m²a

Um einen vergleichbaren Wert für eine Vorher- Nachher Energiebilanz zu haben, wird als Energiebedarfs des Bestandsgebäudes jener Heizwärmebedarfwert der Simulation (aus 6.13.1.) mit den Nutzungsdaten 20°C Soll- Raumtemperatur im gesamten Gebäude verwendet. Aufgrund des relativ großen Wertes der Bruttogeschossfläche wird sowohl beim Warmwasser- als auch beim Strombedarf ein 4 - Personen-Haushalt angenommen.

7. SANIERUNG VON BAUTEILEN / ENERGIESPARMAßNAHMEN

7.1. Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) und bei Möglichkeit der Förderung (KfW)

Die Anforderungen an Bauteile bzw. den Primärenergiebedarf bei Sanierungen bestehender Wohngebäude richten sich nach Art der Veränderung des Gebäudes.

Bei einer Gebäudeerweiterung um mehr als 50 m² ist das Gebäude einem Neubau gleichzusetzen und muss die EnEV- Anforderungen an einen Neubau erfüllen.

Handelt es sich um eine Gebäudeerweiterung von weniger als 50 m² oder um Bauteiländerungen von mehr als 10%, muss entweder der laut der aktuellen EnEV maximal zulässige U- Wert des sanierten Bauteils (siehe unten) eingehalten werden oder darf laut EnEV für Neubau maximal zulässige Primärenergiebedarf und spezifische Transmissionswärmeverlust (bei einem einseitig angebauten Gebäude wie in diesem Fall $H'_{T,max} = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$ (EnEV 2014) bzw. 0,376 (EnEV2016)) um nicht mehr als 40% unterschritten werden.

Ausgeschlossen hiervon werden begründete Einzelfälle z.B. bei Fachwerkbauten und bei Innendämmung.

Für Förderungen bei Altbausanierungen mit Anstreben eines KfW- Effizienzhausstandards durch Investitions- und Tilgungszuschüsse oder günstige Kredite durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) sind zum Teil noch strengere Werte in Bezug auf den Primärenergiebedarf und Transmissionsverlust des Referenzgebäudes (-55% bis - 30%) als in der EnEV zu erreichen.¹

Die Förderung bei Einzelmaßnahmen durch die KfW beträgt maximal 10 % der Kosten, bzw. bei Aufnahme eines Kredits statt Zuschuss darf dieser max. 50.000 € betragen.

¹ GABRIEL, LADENER, S.31ff

max. zulässiger Wärmedurchgangskoeffizient U bei Änderungen im Bestand

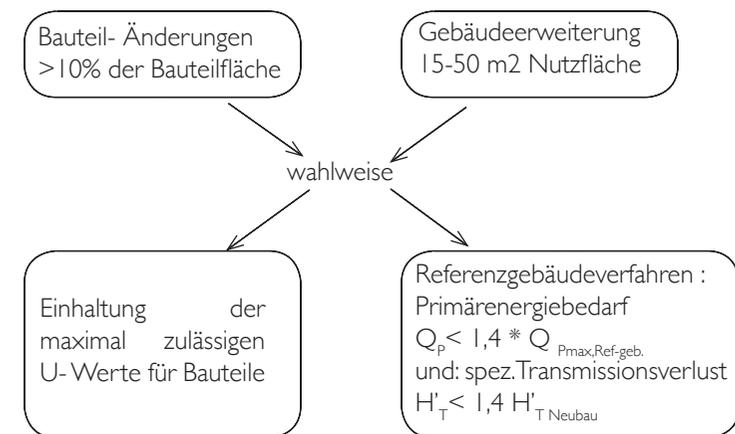
	nach EnEv 2014 ¹	bei KfW- Förderung von Einzelmaßnahmen ²
Außenwand*	0,24 W/m ² K	0,2 W/m ² K
AW bei Hohlraumverfüllung	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
AW wenn Dämmschichtdicke begrenzt	$\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$	-
Fenster (komplett)	1,3 W/m ² K	1,3 W/m ² K
Verglasungen	1,1 W/m ² K	1,1 W/m ² K
Vorhangfassaden	1,5 W/m ² K	1,5 W/m ² K
Dach	0,24 W/m ² K	0,14 W/m ² K
Dachfläche von Gauben	0,2 W/m ² K	0,2 W/m ² K
Gaubenwangen	0,2 W/m ² K	0,2 W/m ² K
Decken und Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich	0,3 W/m ² K	0,25 W/m ² K
Fußbodenaufbauten	0,5 W/m ² K	0,25 W/m ² K

* sofern nicht nach 31.12.1983 normgerecht errichtet

1: GABRIEL, LADENER, S.32

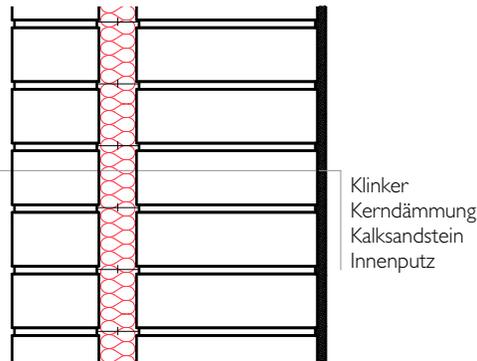
2: [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Förderprogramme-\(Inlandsförderung\)/PDF-Dokumente/6000003071_M_Anlage_151_152_430.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Förderprogramme-(Inlandsförderung)/PDF-Dokumente/6000003071_M_Anlage_151_152_430.pdf)

Anforderungen an bestehende Wohngebäude nach EnEV



7.2. AUSSENWAND

7.2.1. Kerndämmung



Baustoff	Dicke	λ	R
Einheit	m	W/mK	m^2K/W
			R_{Si} 0,13
Innenputz	0,015	0,8	0,019
Kalksandstein	0,24	1	0,24
Kerndämmung	0,05	0,035	1,429
Vormauerschale	0,115	0,8	0,144
			R_{Si} 0,04
			$R_{t_{res}}$ 2,001
	U=		0,500 W/m^2K

herkömmlicher Dämmstoff:

Silikatschaumgranulat

PEI: 6,45 MJ/kg
Dichte : 90 kg/m³
GWPI00 : 0,295 kgCO₂/kg

nachhaltiger Dämmstoff: Zellulose

PEI: 7,18 MJ/kg
Dichte : 54 kg/m³
GWPI00 : -0.885 kgCO₂/kg baubook.at

Fläche	93,46	m ²
Transmissionsverluste AW Bestand	11422	kWh
U-Wert _{neu}	0,55	W/m ² K
L _T	51,40	W/K
Transmissionsverluste neu	4467	kWh
jährliche Einsparungen AW	6954	kWh/a
jährliche Einsparungen AW in Prozent	60,89	%

PEI der Sanierungsmaßnahme	771 (500)	kWh
Energetische Amortisation d. Maßnahme	0,11 (0,07)	Jahre
CO ₂ - Produktion durch Herstellung	127(-223)	kgCO ₂ /kg
CO ₂ - Einsparungen	1697	kgCO ₂ /kg

Kosten der Sanierungsmaßnahme	2804	€
Eingepartetes Kapital pro Jahr	448,56	€
Amortisationszeit¹	6,44	Jahre

¹: nach Kap.4.3.1.

- + das äußere Erscheinungsbild bleibt erhalten
- + kostengünstig
- + die Speichermasse der tragenden Wand bleibt erhalten

- Dämmstoffdicke ist begrenzt
- bestehende Wärmebrücken bleiben weiterhin erhalten, werden aber gemildert
- zT nicht komplette Ausfüllung der Luftschicht mit Dämmstoff

Baukosten		
Herstellen und Verschließen der Öffnungen, Einblasdämmung	30	€/m ²
Gesamtbetrag (93,46m ²)	2804	€

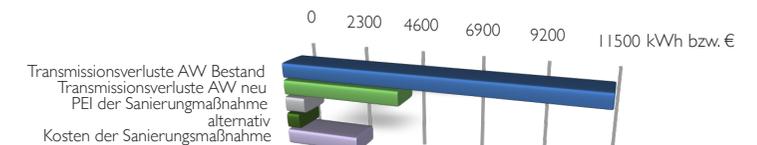


Abb. 64a: Energie und Kosten AW

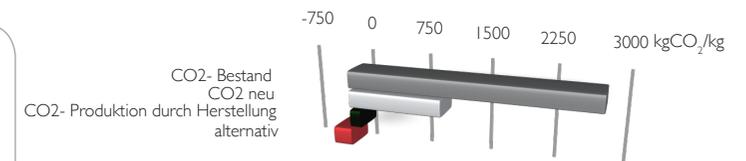
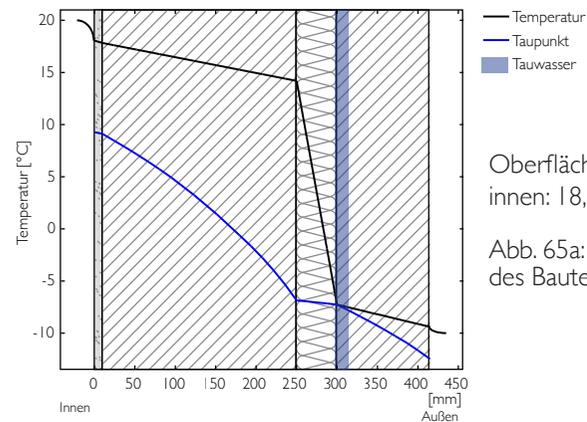


Abb. 64b: CO₂ Ausstoß durch AW pro Jahr

Die Dämmung der Luftschicht zwischen den zwei Wandschichten kann nur bei intakten äußeren Mauerschalen geschehen. Um Wärmebrückeneffekte zu vermeiden, muss eine durchgängige Luftschicht vorliegen, die nicht durch Gegenstände versperrt ist. Ein dauerhaft wasserabweisender (hydrophober) und

rieselfähiger Dämmstoff wie Perlite (Europerl), Mineralfasergranulat oder Polystyrolschaumperlen muss verwendet werden, da durch Winddruck Regenwasser durch die Vormauerschale transportiert werden kann. Aber auch nicht rieselfähige Dämmstoffe wie Steinwollegranulat und Dämmschäume auf Kunstharzbasis (Ecoschaum) können angewendet werden, solange sie hydrophob sind. Die Vormauerschale darf nicht dampfdicht oder mit einem dampfdichtem Anstrich versehen sein.

Der Dämmstoff wird durch Bohrlöcher oder herausgelöste Mauersteine durch die äußere Mauerschale mit einem Schlauch über ein Gebläse eingebracht bzw. eingeblasen. Bei gut rieselfähigen Dämmstoffen wie Silikatschaumgranulat oder Aerogel ist pro 10-15 m² ein Bohrloch notwendig, bei der Dämmung mit Mineralwollfaser hingegen alle 0,5 -1 m². Die Anforderungen an die Energiesparverordnung ist erfüllt, wenn der gesamte Lufthohlraum mit Dämmstoff gefüllt ist, der die Wärmeleitfähigkeit von maximal 0,035 W/K aufweist.



Oberflächentemperatur innen: 18,9°C

Abb. 65a: Feuchtverhalten des Bauteils

anfallendes Tauwasser:
 an der Außenseite der Kerndämmung bzw. Innenseite des Klinkers : **210 g/m²**
 (Grenzwert : 500g/m²)
 Gewichts des Bauteils: **8,2 % (KD)**
0,1 % (Klinker)
 Trocknungsdauer: **86 Tage**

Wirtschaftlichkeit der Dämmmaßnahme

Als Dämmstärke steht die vorhandene Luftschicht zwischen tragendem Mauerwerk und Fassadenmauerwerk zur Verfügung. Bei einer Dämmung würde man die gesamte Luftschicht verfüllen, daher erfolgt keine Berechnung der wirtschaftlich gesehen optimalen Dämmstärke. Die Anforderungen der EnEV und für Förderungen der KfW gelten als erfüllt wenn der Dämmstoff eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/K aufweist.

Dämmstärke	U- Wert neu	Kosten für Dämmung	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20	Heizwärmebedarf Q	Eingesparte Energie pro Jahr ΔQ	Kosten der eingesp. kWh
cm	W/m ² K	€/m ²	€	kWh	kWh	€/kWh
Bestand	1,406			37311		
5	0,5	30	193,46	30518	6793	0,0285

Abb. 65b: Berechnung des Preises der eingesparten Kilowattstunde bei Kerndämmung

Die Kosten für die eingesparte kWh liegen bei 2,85 Cent. Diese Maßnahme ist wirtschaftlich sehr sinnvoll. Es sind keine "Ohnehin- Maßnahmen" notwendig.

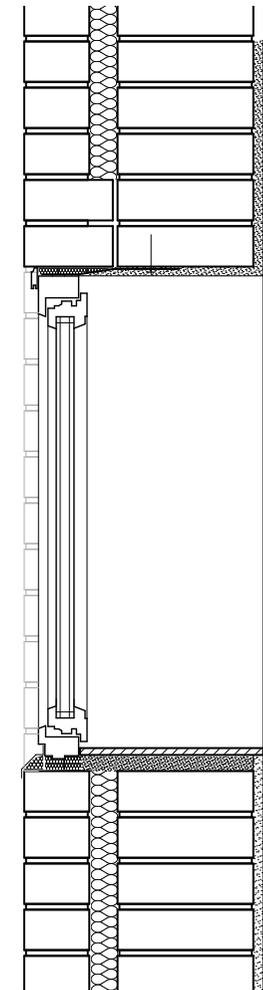
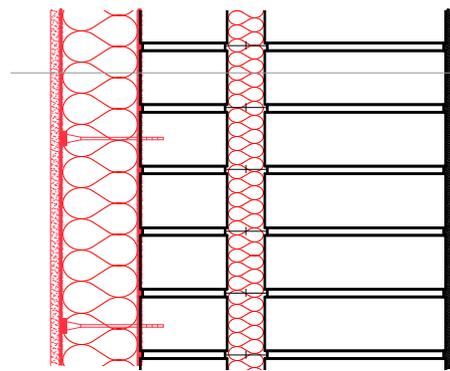


Abb. 65c: Fensteranschluss bei Kerndämmung, M 1:10

Fensteranschluss Bestandssituation :

Die Fenster liegen außenbündig auf einer Achse mit der Vormauerschale. Die bestehende Wärmebrücke des Fensteranschlusses kann nicht beseitigt werden.

7.2.2. Kerndämmung und Wärmedämmverbundsystem



Riemchen- Fassadensteine
 Dünnbettmörtel
 Glasfasergewebe
 Armierungsmörtel
 Dämmplatten,
 bef. mit Thermodübeln
 Klebemasse
 Vormauerschale
 Kerndämmung
 Kalksandstein

Baustoff	Dicke	λ	R
Einheit	m	W/mK	m^2K/W
			R_{s_i} 0,13
Innenputz	0,015	0,8	0,019
Kalksandstein	0,24	1	0,24
Kerndämmung	0,05	0,035	1,429
Vormauerschale	0,115	0,8	0,144
WDVS	0,1	0,04	2,5
Riemchen	0,014	0,68	0,021
			R_{s_e} 0,04
			$R_{t_{ges}}$ 4,522
U=			0,221 W/m²K

Fläche	93,46	m ²
Transmissionsverluste AW Bestand	11422	kWh
U- Wert _{neu}	0,23	W/m²K
L _T	21,5	WK
Transmissionsverluste neu	1868	kWh
jährliche Einsparungen AW	9553	kWh/a
jährliche Einsparungen AW in Prozent	83,64	%

PEI der Sanierungsmaßnahme	7262 (2846)	kWh
Energetische Amortisation d. Maßnahme	2,52 (0,86)	Jahre
CO ₂ - Produktion durch Herstellung	848 (-1425)	kgCO ₂ /kg
CO ₂ - Einsparungen	2331	kgCO ₂ /kg

Kosten der Sanierungsmaßnahme	14954	€
Eingespartes Kapital pro Jahr	616,19	€
Amortisationszeit¹	20,95	Jahre

+ Wärmebrücken können deutlich verbessert werden (z.B. an Fensterrahmen)
 + Speichermasse der tragenden Wand bleibt erhalten
 + hohe Dämmwirkungen der Wand erreichbar

- genügend Abstand zur Grundstücksgrenze erforderlich
 - Bestandsfassade nicht mehr sichtbar, optische Veränderung
 - höhere Wandstärke verursacht Leistenschattungen im Bereich der Fenster, dadurch weniger solare Gewinne

Baukosten		
Kerndämmung	30	€/m ²
WDVS inkl. Baustelleneinrichtung, Gerüst, Dämmung, Putz, neue Fensterbänke, Versetzen der Fallrohre, Arbeit (10cm) ¹	100	€/m ²
Riemchen-Fassadensteine	30	€/m ²
gesamt	160	€/m²
Gesamtbetrag (93,46m ²)	14954	€

herkömmlicher Dämmstoff: EPS

PEI: 98,9 MJ/kg
 Dichte : 15,8 kg/m³
 GWPI00 : 4,17 kgCO₂/kg

nachhaltiger Dämmstoff: Kork

PEI: 6,45 MJ/kg
 Dichte : 125 kg/m³
 GWPI00 : -1,22 kgCO₂/kg baubook.at

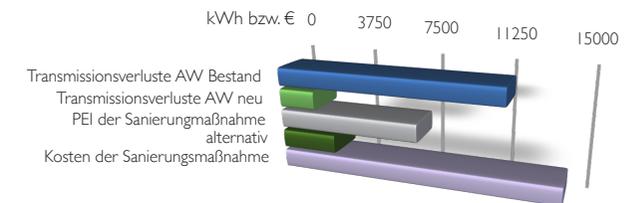


Abb. 67a: Energie und Kosten AW

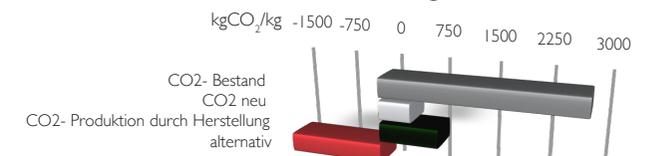


Abb. 67b: CO₂ Ausstoß durch AW pro Jahr

Zusätzlich zur Kerndämmung besteht die Möglichkeit, vor die vorgemauerte Klinkerfassade ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS) anzubringen. So kann die Dämmwirkung der Wand beliebig stark verbessert werden. Das Wärmedämm Verbundsystem (WDVS) ist das am meisten verbreitete Dämmsystem von Außenwänden und Deckenuntersichten im Neubau und in der Gebäudesanierung. Es ist vergleichsweise kostengünstig und bietet bei Putzbauten einen weitestgehenden Erhalt des

¹: nach Kap.4.3.1.

Erscheinungsbildes des Bestandsgebäudes.

Bei Verwendung eines WDVSs sollte darauf geachtet werden, dass alle Komponenten von dem gleichen Hersteller stammen, da sonst die Systemzulassung ihre Gültigkeit verliert.¹

Nach DIN 55699 sind die Komponenten folgende:

- Klebemörtel / mechanische Befestigungsmittel
- Wärmedämmstoff
- Unterputz mit Armierung
- Oberputz/ dekorative Schicht

Damit der Kleber auf dem Untergrund haftet, muss dieser entsprechend tragfähig, trocken, eben, frei von Verschmutzungen wie Fett, oder Staub sein. Die Prüfung des Untergrundes erfolgt durch Kratzprüfung mit einem spitzen Gegenstand oder es wird mittels Haftzuggerät die Abrissfestigkeit des Untergrundes bestimmt.² Auf eine Verdübelung der Dämmplatten kann verzichtet werden, wenn die Abreißfestigkeit des Untergrundes mind. 0,8 N/mm²

- 1 RÖHNER, Altbaumodernisierung S. 39
- 2 SCHILD, WEYERS, Praxisbuch WDVS, S. 173



Abb. 68a: Dämmung der Außenwand mit WDVS, Verschattung der Fensterlaibungen

aufweist.³ Ist jedoch eine Verdübelung statisch notwendig, variiert die Anzahl der notwendigen Dübel je nach Gebäudehöhe und Windbelastung am Standort (mind. 4/ m²). Unter Umständen bzw. bei vielen notwendigen Dübeln z.B. an Gebäudeecken können die Dübel eine erhebliche Wärmebrücke bilden und den U- Wert der Wand auf bis zum 50 % erhöhen.⁴

Weitere Befestigungsmethoden sind Schienen und justierbare Verankerungen für Hinerlüftungsschichten.

Als Dämmstoffe werden verwendet :

- EPS
- Mineralwolle
- Holzweichfaserplatten
- Kork
- PUR
- XPS
- Holzwolle- Dämmplatten

Als Dämmstoff wird in den meisten Fällen EPS (Polystyrol-Hartschaum) verwendet, welches eine Wärmeleitfähigkeit von 0,032- 0,04 W/mK aufweist.

Bei höheren Anforderung bezüglich des Brandschutzes wird Mineralwolle angewendet (Brandschutzklasse A1/A2), welche etwas teurer ist und nur eine Wärmeleitfähigkeit von 0,045 W/mK, aber auch einen niedrigeren Primärenergieaufwandswert aufweist.

Auf der Außenseite wird der Dämmstoff mit einem armierten Unterputz versehen, der Zug- und Druckspannungen aufnehmen kann und zusammen mit dem Oberputz den notwendigen Wetterschutz herstellt. An Gebäudekanten wird ein zusätzliches Gewebe als Stabilisierung verwendet. Die Oberfläche des WDVS bildet der Oberputz.

Um eine dem Bestand und dem Umfeld entsprechende Fassadenoptik mit Klinkersteinen zu erzielen, können sogenannte Flachverbler auf den bewehrten Unterputz aufgebracht werden. Dies sind ca. 4-6 mm starke kunstharzgebundene Fassadensteine, die mit kunstharzgebundenem

- 3 FEIST, Altbaumodernisierung mit Passivhaus-Komponenten, S. 40
- 4 FEIST, S. 43

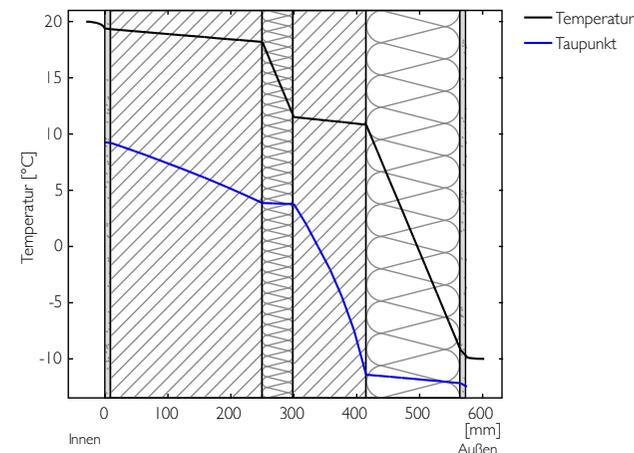


Abb. 68b: Feuchtverhalten des Bauteils

Oberflächentemperatur
innen: 18,6°C
anfallendes Tauwasser pro Tauperiode:
-

Ansetzmörtel auf dem Unterputz befestigt werden.

Riemchen- Fassadensteine haben ähnlich zu den Flachverbler den Effekt der Klinkeroptik der Fassade, sind jedoch ca. 0,7-1,4 cm starke keramische Steine und es entstehen erhöhte Anforderungen an die Wärmedämmung. Aufgrund des erhöhten Gewichts der Fassadensteine müssen die Dämmplatten durch das Gewebe hindurch gedübelt werden. Das Befestigen der Steine erfolgt nach dem Floating- Buttering- Verfahren, bei dem der Ansetz-/ Dümmbettmörtel sowohl auf der Wand, als auch auf den Riemchen- Rückseiten aufgetragen wird. Der Unterputz muss dafür mindestens eine Woche getrocknet sein. Anschließend erfolgt die Verfugung durch Kellen- oder Schlämmverfugung.⁵

Die Anforderungen der EnEV 2009 sind erfüllt, wenn die außengedämmte Wand einen Uwert von 0,24 W/m²K erreicht.

- 5 NEUMANN, Praxishandbuch WDVS, S. 215 f

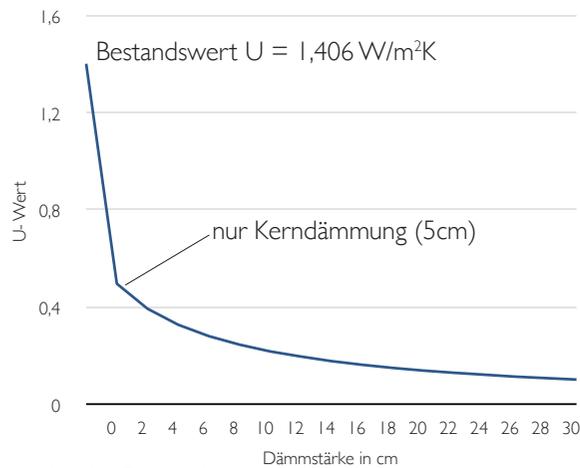


Abb. 69a: Entwicklung des U- Wertes bei Innendämmung

Eine Kerndämmung mit zusätzlichem Wärmedämmverbundsystem ist nur bei ohnehin notwendiger Sanierung der Außenwand wirtschaftlich (siehe Abb. 69b). Nach den Anforderungen der EnEV müsste eine Dämmstärke von 10 cm aufgebracht werden (10,57 cent/ eingesparte kWh). Für die Förderungen der KfW ist eine Dämmstärke von 12 cm bei zusätzlicher Kerndämmung notwendig. In diesem

Wärmebrücken Um Wärmebrücken zu vermeiden sollten die Dämmplatten so weit wie möglich an den Fensterrahmen herangezogen werden und diesen überdämmen. Nach DIN 4108-2 Bbl.2 sollten mind. 3 cm außen überdämmt werden und mind. 2,5 cm in der Leibung außen. Für eine passivhaustaugliche Konstruktion sollten mind. 5 cm außen überdämmt werden. Aufgrund der gegebenen Höhe des Rahmenprofils kann dies nur mit einer Dämmstärke von ca. 3 cm geschehen. Für den Anschluss an den Rahmen werden

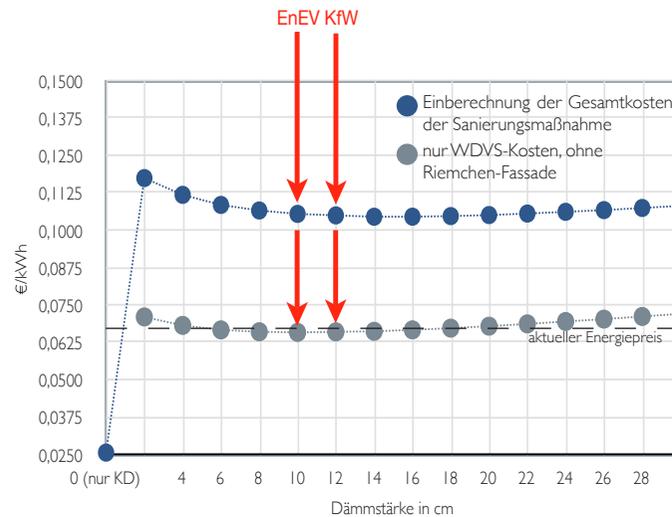


Abb. 69b: Preis der eingesparten Kilowattstunde

Fall ist es wirtschaftlicher, auf die Kerndämmung zu verzichten (siehe S. 71), und die KfW- Anforderungen nur durch die WDVS zu erreichen. Der Preis liegt hier bei 6,96 cent/kWh statt wie bei zusätzlicher Kerndämmung bei 10,52 cent/kWh.

Fugendichtbänder (Kompriband) des Herstellers der Dämmplatten benutzt. Bei Verwendung von PU- oder PS- Hartschaumplatten von mehr als 10 cm Dämmstärke muss beachtet werden, dass aufgrund des Brandschutzes im Sturzbereich mind. 20 cm hohe Dämmstreifen der Branschutzzklasse A und seitlich mind. 30 cm angebracht werden. Sie schützen den Rettungsweg durch das Fenster vor abschmelzendem Dämmmaterial.¹

¹ RICHARZ, SCHULZ, S. 59

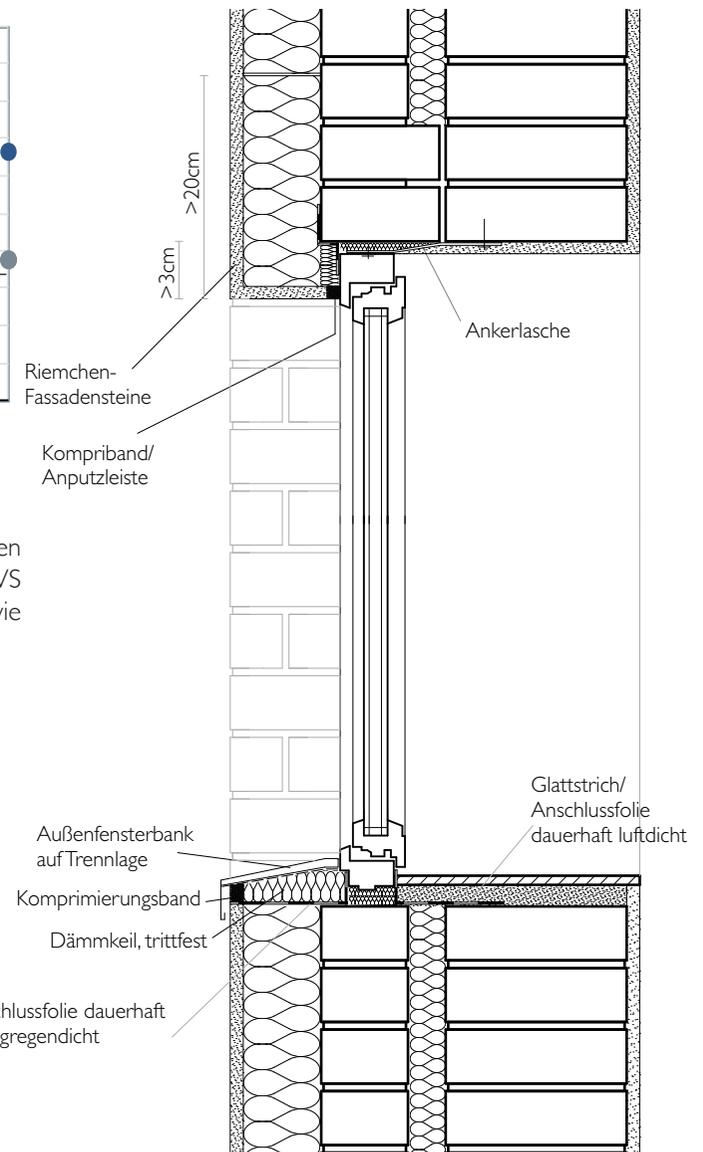
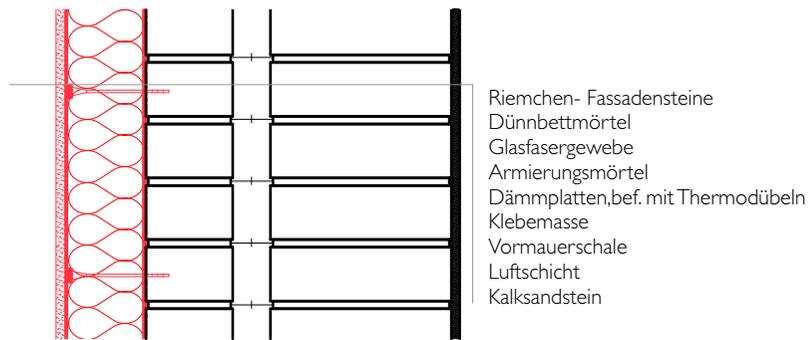


Abb. 69 c: Bestandsfenster bei Kerndämmung mit zusätzlichem WDVS, MI:10

Verhalten des Bauteils ohne zusätzliche Kerndämmung



Bei ausschließlicher Außendämmung erhöht sich die gesetzlich notwendige Dämmstärke von 10 auf 16 cm bzw. 20 cm bei KfW-Förderung (siehe Abb. 71c).

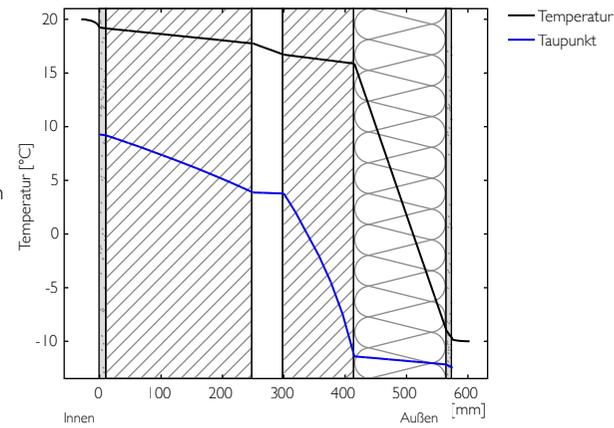


Abb. 71b: Feuchtverhalten des Bauteils

Oberflächentemperatur
 innen: 18,1°C
 anfallendes Tauwasser pro Tauperiode:
 -

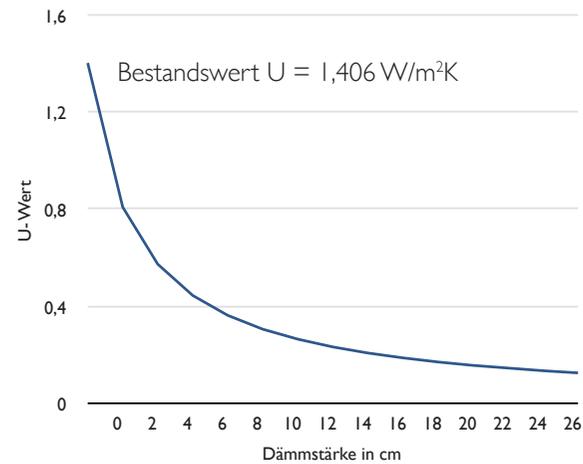


Abb. 71a: Entwicklung des U-Wertes

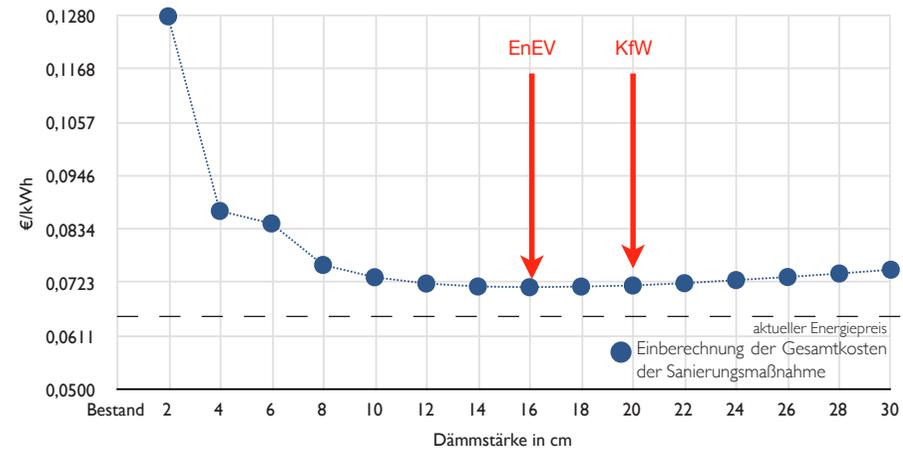
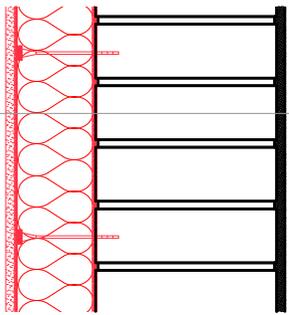


Abb. 71c: Preis der eingesparten Kilowattstunde

7.2.3. Abbruch der Vormauerschale,WDVS



Riemchen- Fassadensteine
Dünnbettmörtel
Glasfasergewebe
Armierungsmörtel
Dämmplatten,bef. mit Thermodübeln
Klebmasse
Kalksandstein

Baustoff	Dicke	λ		R
Einheit	m	W/mK		m ² K/W
			R _{si}	0,13
Innenputz	0,05	0,04		1,25
Kalksandstein	0,24	1		0,24
WDVS	0,16	0,04		4
Riemchen-Fassadensteine	0,014	0,68		0,021
			R _{se}	0,04
			R _{t,ges}	4,462
			U=	0,224 W/m²K

Fläche	93,46	m ²
Transmissionsverluste AW Bestand	11422	kWh
U- Wert _{neu}	0,22	W/m ² K
L _T	20,56	W/K
Transmissionsverluste neu	1820	kWh
jährliche Einsparungen AW	9602	kWh/a
jährliche Einsparungen AW in Prozent	84,07	%

+ Fenster können bei gleichzeitigem Austausch in die Dämmebene versetzt werden
+ solare Gewinne werden nicht verringert durch nicht allzu hohe Wandstärke

- Abriss der Fassade ist nicht notwendig und verursacht hohe Kosten
- Klinkerfassade schützt Bausubstanz besser als eine Wärmedämmung vor Wind und Regen

PEI der Sanierungsmaßnahme	6489 (96)	kWh
Energetische Amortisation d. Maßnahme	0,68 (0,01)	Jahre
CO ₂ - Produktion durch Herstellung	984 (-18)	kgCO ₂ /kg
CO ₂ - Einsparungen	2343	kgCO ₂ /kg

Kosten der Sanierungsmaßnahme	14.954	€
Eingespartes Kapital pro Jahr	619,32	€
Amortisationszeit	20,88	Jahre

Baukosten		
Abbruch Vormauerschale	30	€/m ²
WDVS inkl. Baustelleneinrichtung, Gerüst, Dämmung (EPS), Putz, neue Fensterbänke, Versetzen der Fallrohre, Arbeit (10cm) ¹	100	€/m ²
Riemchen-Fassadensteine	30	€/m ²
gesamt	160	€/m²
Gesamtbetrag (93,46m ²)	14.954	€

1: KONIGSTEIN, S. 62

herkömmlicher Dämmstoff: EPS

baubook.at
PEI: 98,9 MJ/kg
Dichte : 15,8 kg/m³
GWPI00 : 4,17 kgCO₂/kg

nachhaltiger Dämmstoff: Kork

PEI: 6,45 MJ/kg
Dichte : 125 kg/m³
GWPI00 : -1,22 kgCO₂/kg

Es gelten die gleichen Dinge zu beachten wie bei Kap. 7.2.2. Angewendet werden Plattendämmstoffe wie Holzfaser,Kork,Mineralschaum oder Phenolharzschaum.¹ Steinwolle ist nachhaltiger und brandschutztechnisch sicherer als zum Beispiel der Dämmstoff EPS, obwohl dieser eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit hat (0,025-0,035W/K). Bei der Anwendung von WDVS können alle Wärmebrücken,wie zum Beispiel der Anschluss von Decken an Mauerwerk vermieden werden.

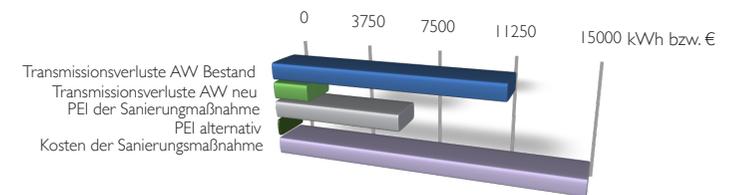


Abb. 72a: Energie und Kosten AW

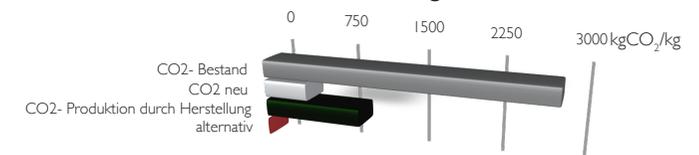


Abb. 72b: CO2 Ausstoß durch AW pro Jahr

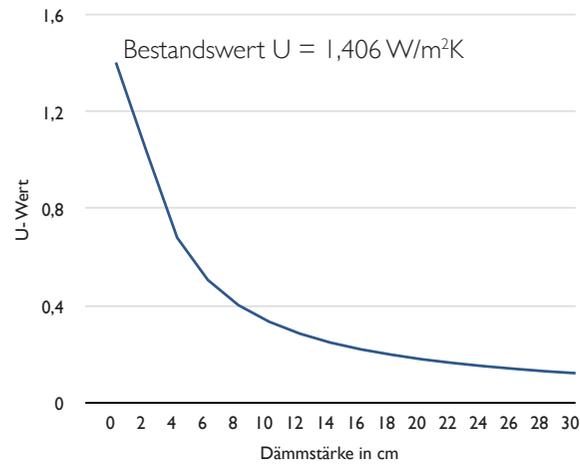


Abb. 73a: Entwicklung des U- Wertes bei Innendämmung

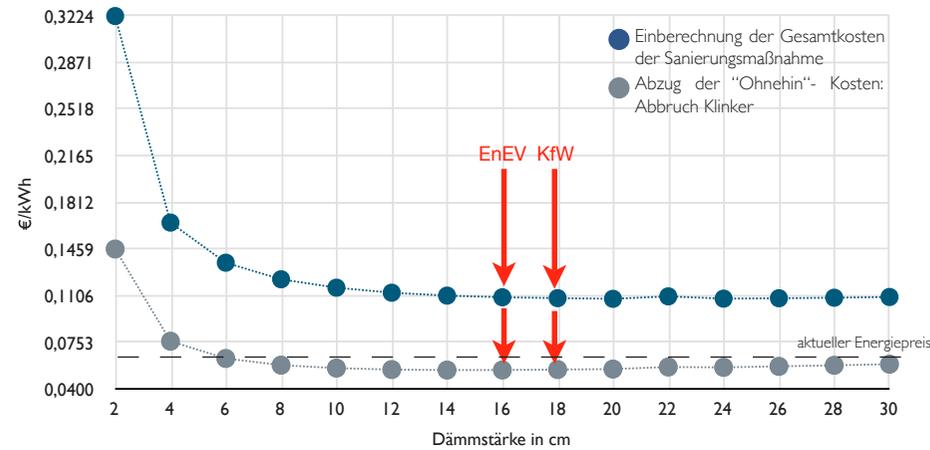


Abb. 73b: Preis der eingesparten Kilowattstunde

Das wirtschaftliche Optimum einer Außendämmung bei Verzicht auf die Vormauerschale liegt bei 12-30 cm Dämmstärke, ist jedoch nur bei sehr stark steigendem Energiepreis für den Investierenden wirtschaftlich (siehe Abb 73b).

Der Abbruch der bestehenden Fassade ist teuer und aufgrund einer gut erhaltenden Bausubstanz ökologisch und ökonomisch unsinnig. Da genügend Abstand zur Grundstücksgrenze vorhanden ist, ist es ebenfalls denkbar, die Außendämmung auf der vorhandene Fassade zu befestigen (siehe Kap. 7.2.2., S. 67).

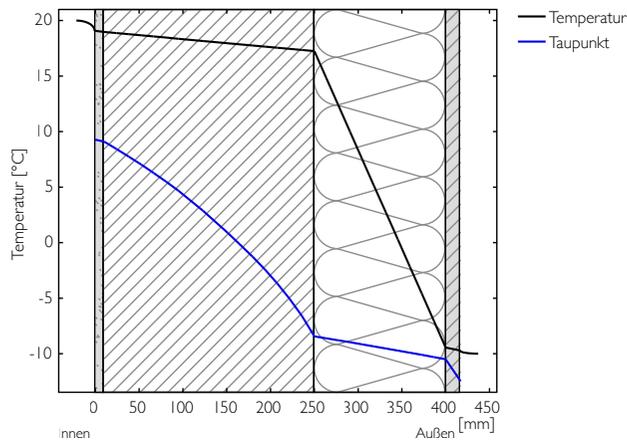
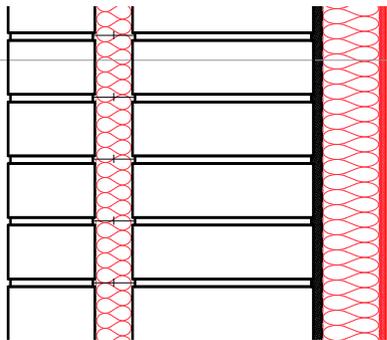


Abb. 73c: Feuchtverhalten des Bauteils

Oberflächentemperatur
innen: 18,7°C
anfallendes Tauwasser pro Tauperiode:
-

7.2.4. Kerndämmung und Innendämmung



Vormauerschale
Kerndämmung
Kalksandstein
Innenputz (kein Gipsputz)
Kleber, dampfdiffusionsoffen
Calciumsilikatplatte
Spachtelung, Tapete/Anstrich (diffusionsoffen)

Baustoff	Dicke	λ	R
	Einheit m	W/mK	m ² K/W
			R _{si} 0,13
Calciumsilikatplatte	0,05	0,04	1,25
Innenputz	0,015	0,9	0,017
Kalksandstein	0,24	1	0,24
Kerndämmung	0,05	0,04	1,25
Vormauerschale	0,115	0,8	0,144
			R _{se} 0,04
			R _{t,ges} 3,07
U=			0,326 W/m²K

herrkömmlicher Dämmstoff:
Kalzium- Silikatplatte:
 PEI: 12,3 MJ/kg
 Dichte : 112 kg/m³
 GWPI00 : 1,01 kgCO₂/kg

nachhaltiger Dämmstoff:
Flachs-Dämmplatten
 PEI: 31,5 KJ/kg
 Dichte : 40 kg/m³
 GWPI00 : 0,218 kgCO₂/kg
bäubook.at

Fläche	93,46	m ²
Transmissionsverluste AW Bestand	11422	kWh
U- Wert _{neu}	0,326	W/m ² K
L _T	36,08	W/K
Transmissionsverluste neu	3136	kWh
jährliche Einsparungen AW	8286	kWh/a
jährliche Einsparungen AW in Prozent	72,55	%

+ äußeres Erscheinungsbild bleibt erhalten
 + durch die Kombinationen von Kern- und Innendämmung werden Wärmebrücken gemindert
 + aufgrund der Innendämmung heizen sich die Räume im Winter schneller auf, es entstehen höhere Oberflächentemperaturen

- Verlust von Wohnfläche
 - Wärmespeicherfähigkeit der Wand ist aufgrund Innendämmung nicht mehr gegeben

PEI der Sanierungsmaßnahme	1788 (1636)	kWh
Energetische Amortisation d. Maßnahme	0,22 (0,2)	Jahre
CO ₂ - Produktion durch Herstellung	528 (41)	kgCO ₂ /kg
CO ₂ - Einsparungen	2022	kgCO ₂ /kg

Kosten der Sanierungsmaßnahme	7074	€
Eingespartes Kapital pro Jahr	543,45	€
Amortisationszeit	12,45	Jahre

Baukosten		
Untergrund vorbereiten	4	€/m ²
Calcium- Silikatplatte (5cm)	70	€/m ²
Anstrich	3	€/m ²
gesamt	77	€/m²
Gesamtbetrag (93,46m ²)	7.196	€

Kosten nach : Modernisierungsempfehlungen im Rahmen der Ausstellung eines Energieausweises, Fraunhofer Institut,S. 61

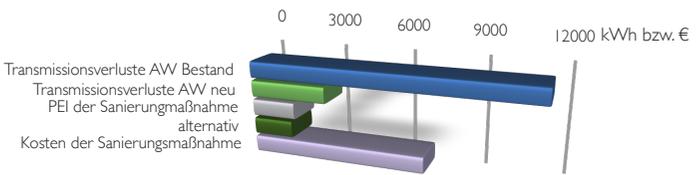


Abb. 74a: Energie und Kosten AW

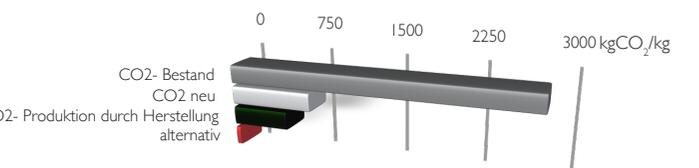


Abb. 74b: CO2 Ausstoß durch AW pro Jahr

Um die Transmissionsverluste durch die Außenwand zusätzlich zur Kerndämmung zu verbessern ohne dabei die Fassade anzugreifen, können an der Innenseite der tragenden Wand Dämmplatten angebracht werden. Diese werden entweder geklebt oder gedübelt. Da bei Innendämmung die Taupunkttemperatur oft in Inneren der Dämmung liegt, ist hierbei wichtig, dass eine für die Temperatur- und Feuchteverhältnisse am Standort geeignete Konstruktion

gewählt wird. Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten :

1) Anwendung von nicht kapillar leitfähigen Dämmstoffen : eine Dampfbremse von mind. $s_d = 15 \text{ m}$ wird an der Raumseite der Dämmplatten befestigt, wenn diese nicht auf den Platten (sogenannte Verbundplatten) oder in der Dämmung an sich (EPS ist dampfbremsend) bereits integriert ist. So kann Wasserdampf aus der Raumluft nicht in das Innere der Dämmung vordringen, sondern zum Innenraum hin verdunsten. Die Dämmplatten werden verputzt oder mit einer Intallationsebene durch eine Vorsatzschale auf der Unterkonstruktion versehen.

Als Material können Bläherlit- Platten, Mineralwolle, EPS, PU, Zellulose, Holzfaser, Schafwolle, Mineralschaum, VIP, Schaumglas oder Aerogel verwendet werden.

Wichtig ist bei einem diffusionsdichtem Aufbau, dass keine undichten Stellen entstehen, an denen die warme Innenluft hinter die Dämmung an die kalte Innenoberfläche der Außenwand strömen kann. In einem nur 4mm dicken Spalt hinter der Dämmung kann bis zu $11/\text{m}^2$ Feuchtigkeit in einer Tauperiode anfallen.¹

1 FEIST, Altbaumodernisierung mit Passivhaus - Komponenten S. 68

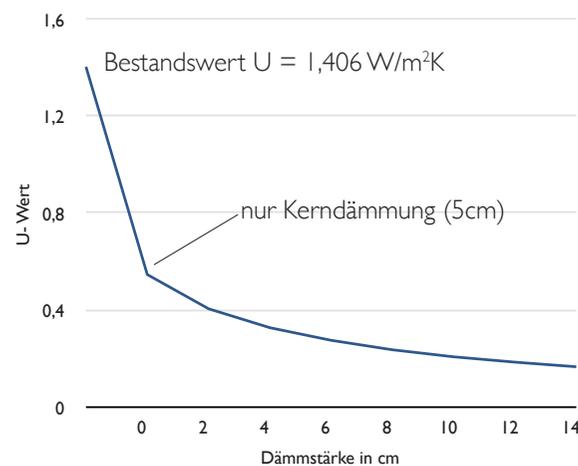


Abb. 75a: Entwicklung des U-Wertes bei Innendämmung

2) Anwendung von kapillaraktiven Dämmstoffen :

Alternativ zu Dampferre und Vorsatzschale bieten sich Kalzium- Silikat- Platten oder eine Zellsulosedämmung als Innendämmplatten an. Die Konstruktion ist nach innen diffusionsoffen aufgebaut. Kalzium- Silikatplatten sind feuchteresistent und hemmen das Wachstum von Schimmelpilz, denn sie können viel Feuchtigkeit des Innenraums aufnehmen und speichern, und sie gegen das Dampfdruckgefälle wieder zum Innenraum hin transportieren. So kann auch eine gewisse Menge an Feuchtigkeit, die von außen her durch hohe Schlagregenbelastung durch die Wand geleitet wird, nach innen hin abtransportiert werden. Damit dieser Vorgang nicht beeinträchtigt wird, darf raumseitig keine dampfbremsende/r Tapete, Anstrich oder Fliesenbelag angebracht werden. Es ist jedoch trotzdem eine luftdichte Schicht notwendig, damit die Dämmung nicht von warmer relativ feuchter Luft konvektiv hinterströmt werden kann.²

2 FEIST, S. 69

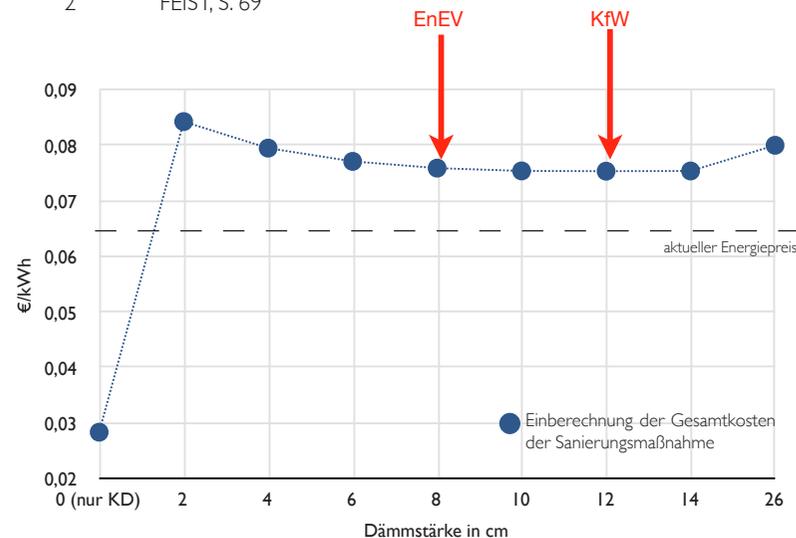


Abb. 75b: Preis der eingesparten Kilowattstunde

Eine sinnvolle Dämmstärke einer Innendämmung liegt bei 4-10 cm. Ein Grund für die relativ niedrige Dämmstärke liegt bei dem Verlust immer mehr Wohnraum bei zunehmender Dämmstärke, ein anderer ist das steigende Risiko für Tauwasserschäden bei zunehmender Dämmstärke. Die Temperatur der Außenwand sinkt bei zunehmender Dämmstärke immer weiter ab, wodurch Feuchteschäden innerhalb der Wand bzw. zwischen Außenwand und Innendämmung verstärkt auftreten können.

Ein großer Nachteil von Innendämmungen ist, dass sie bestehende Wärmebrücken bei an die Außenwand anschließenden Innenwänden oder Decken kaum verbessert. Da die Wand nach einer Innendämmung kaum mehr von innen her erwärmt wird, kann es daher unter Umständen im Bereich der Wärmebrücken zu Tauwasserschäden führen. Bei der Energiebilanz eines Gebäudes mit Innendämmung müssen Wärmebrücken berücksichtigt werden, z.B. ändert sich der pauschale Wärmebrückenzuschlag auf $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Eine höhere Dämmstärke als 10 cm ist also auch

Abb. 75b: Wirtschaftlichkeit: Mit einem Preis von 2,74 Cent der eingesparten kWh ist die Kerndämmung ohne Innendämmung am wirtschaftlichsten. Wenn man den U-Wert jedoch weiter als die Kerndämmung es zulässt senken möchte, ist eine Dämmstärke von 10-14 cm am wirtschaftlichsten. Nach Anforderungen der EnEV wären 8 cm Innendämmung ausreichend bei zusätzlicher Kerndämmung. Allerdings wurden in der Berechnung die Wärmebrückenverluste nicht mit berücksichtigt. Empfohlen ist daher eine Dämmstoffstärke von max. 8 cm, da eine höhere Stärke aufgrund der bei Innendämmungen weiterhin bestehenden Wärmebrücken keine großen Energiespargewinne mit sich bringen würde.¹

1 KÖNIGSTEIN, S. 58

aus dem Grund nicht sinnvoll, weil Wärmebrücken trotz hoher Dämmstärke nicht vermieden werden können und es dadurch nur noch zu kaum bemerkbaren Energieeinsparungen kommt.

Um Tauwasser- und Schimmelpilzbildung zu vermeiden, müssen Öffnungen, die in der Dämmebene liegen, möglichst mit einem 1 cm starken Dämmstoffstreifen überklebt werden.¹

Nach EnEV2014 muss der U-Wert der Außenwand bei Innendämmung 0,35 W/m²K (ohne Kerndämmung) betragen. Bei einer Innendämmung von 8 cm wäre der U-Wert der Wand ohne Kerndämmung 0,328 W/m²K.

Sieht man sich die Feuchteentwicklung im Bauteil an, ist zu erkennen, dass der Taupunkt im Bauteil zweimal (an der Innenseite des Mauerwerks und der Innenseite der Vormauerschale) erreicht bzw. knapp erreicht wird und daher ein Ausgleich zwischen äußerer und innerer Dämmung gefunden werden muss.

Bei 5cm Innendämmung und Kerndämmung ist die Oberflächentemperatur des Mauerwerks so hoch, dass der Taupunkt nicht erreicht wird (Abb. 76a). Bei mehr als 5 cm Innendämmung fällt am Übergang der Innendämmung zum Mauerwerk Tauwasser an, da die Oberflächentemperatur des Mauerwerks durch zu starke Abdämmung

ebenfalls abfällt (Abb. 76b). Daher sollte die Dämmstärke der Innendämmung nicht mehr als 5 cm sein.

Ebenfalls sollte vermieden werden, eine Innendämmung bei fehlender Kerndämmung anzubringen, da in diesem Fall die Oberflächentemperatur des Mauerwerks beim Übergang zur Innendämmung relativ niedrig ist und der Taupunkt an dieser Stelle erreicht wird (siehe Abb. 76c).

Kerndämmung + 5 cm Innendämmung

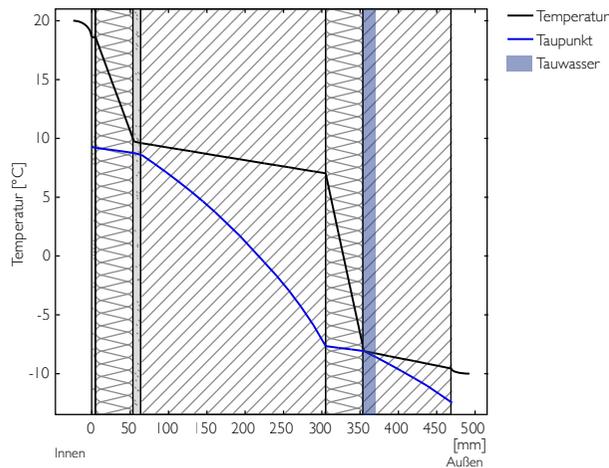


Abb. 76a: Feuchtverhalten bei Kerndämmung und 5 cm Innendämmung

Oberflächentemperatur innen: 17,9°C
 anfallendes Tauwasser pro Tauperiode: an der Außenseite der Kerndämmung bzw. Innenseite des Klinkers : **205 g/m²**, (Grenzwert : 500g/m²)
 Trocknungsdauer: **56 Tage**

Kerndämmung + 8 cm Innendämmung

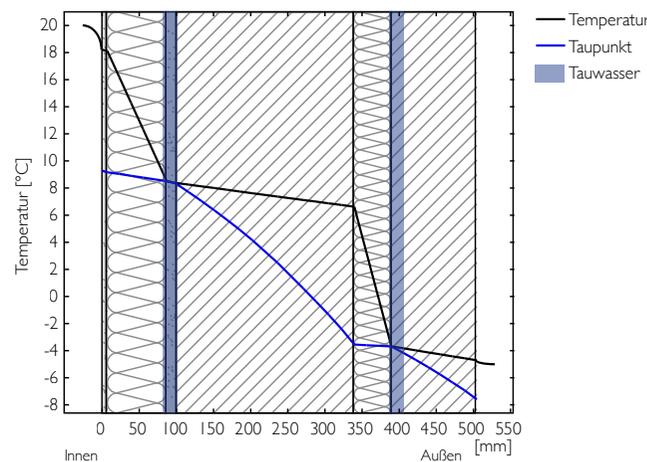


Abb. 76b: Feuchtverhalten bei Kerndämmung und 8 cm Innendämmung

Oberflächentemperatur innen: 18,2°C
 anfallendes Tauwasser pro Tauperiode: Calciumsilikatplatte : **0,16 kg/m²**, an der Außenseite der Kerndämmung bzw. Innenseite des Klinkers : **0,15 kg/m²**
 Trocknungsdauer: **47 Tage**

Innendämmung ohne Kerndämmung

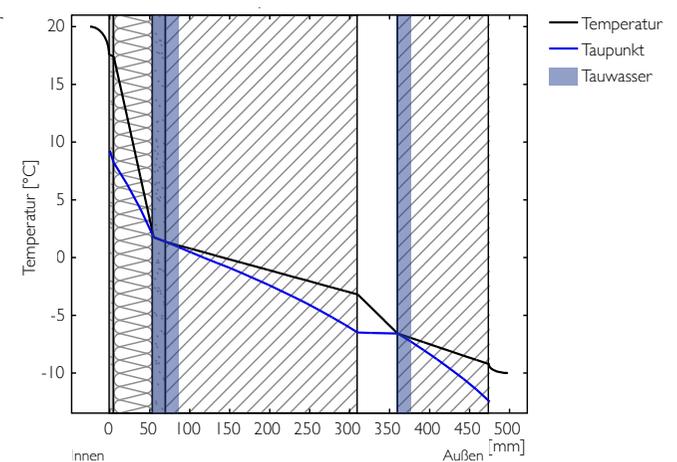


Abb.76c: Feuchtverhalten bei Innendämmung ohne Kerndämmung

Oberflächentemperatur innen: 16,3°C
 anfallendes Tauwasser pro Tauperiode: Calciumsilikatplatte : **2,9 kg/m²**, Innenputz: **2,9 kg/m²**
 Luftschicht : **0,039 kg/m²**, (Grenzwert : 500g/m²)
 Trocknungsdauer: **73 Tage**

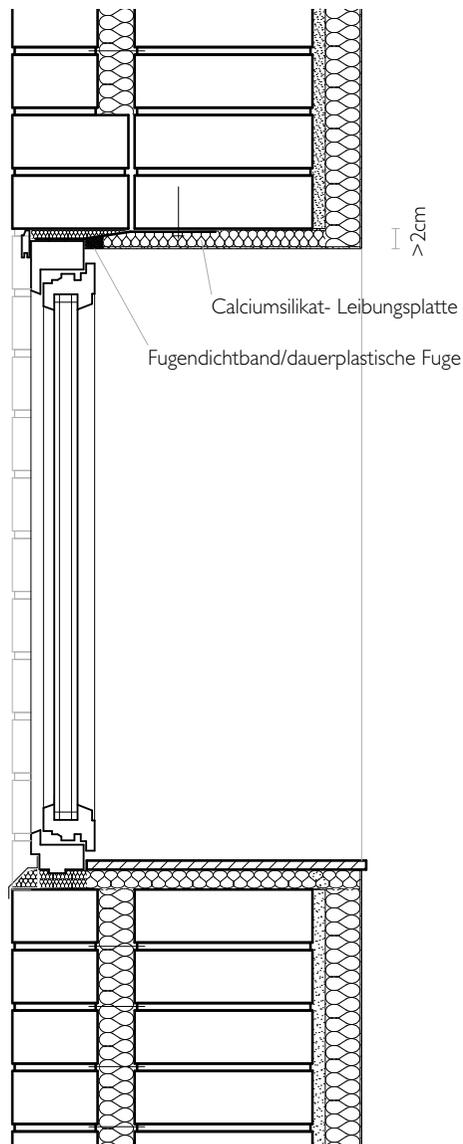


Abb. 77a: Detail Fensterleibung bei Innendämmung M 1:10

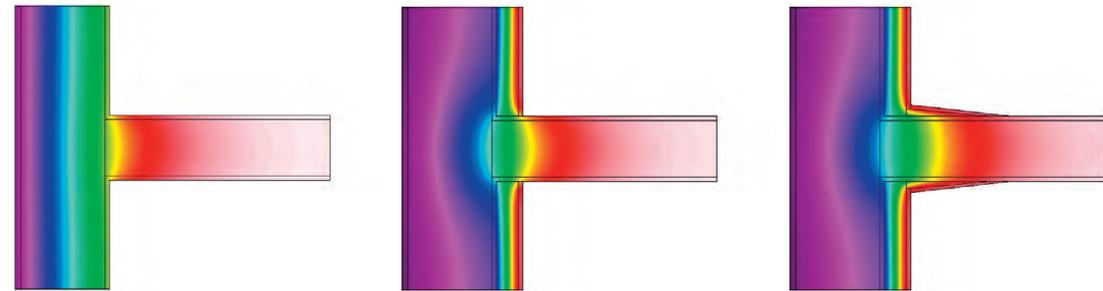
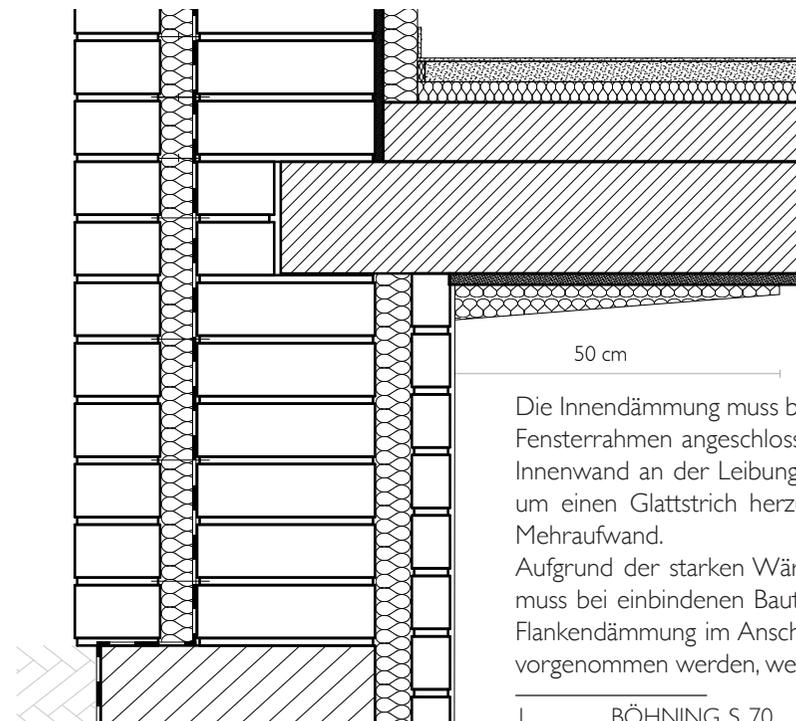


Abb. 77 b. Temperaturverlauf in einer Ziegeldämmung ohne (li.), mit (mi.) und mit Innendämmung mit Dämmkeil im Deckenanschlussbereich (re.)



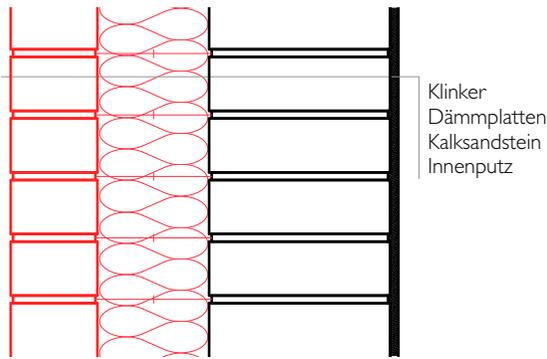
Die Innendämmung muss bis die Leibung hineingezogen und direkt am Fensterrahmen angeschlossen werden (Abb. 77a). Der Oberputz der Innenwand an der Leibung muss eventuell vorer abgetragen werden, um einen Glatzstrich herzustellen. Dies erfordert einen erheblichen Mehraufwand.

Aufgrund der starken Wärmebrückenwirkung von Innendämmungen muss bei einbindenen Bauteilen wie Decken oder Innenwänden eine Flankendämmung im Anschlussbereich von mind. 50 cm in den Raum vorgenommen werden, wenn die Deckenhöhe es zulässt (Abb. 77b).¹

¹ BÖHNING, S. 70

Abb. 77c: Detail Deckenschluss bei Innendämmung M 1:10

7.2.5. Gemauerte Vorsatzschale (neu) mit gedämmten Schalenzwischenraum



Baustoff	Dicke	λ	R
Einheit	m	W/mK	m ² K/W
			R _{Si} 0,13
Innenputz	0,015	0,8	0,019
Kalksandstein	0,24	1	0,24
Kerndämmung	0,15	0,04	3,75
Vormauerschale	0,115	0,8	0,144
			R _{Si} 0,04
			R _{t,ges} 4,323
	U=		0,231 W/m²K

Fläche	93,46	m ²
Transmissionsverluste AW Bestand	11422	kWh
U- Wert _{neu}	0,23	W/m ² K
L _t	21,50	W/K
Transmissionsverluste neu	1868	kWh
jährliche Einsparungen AW	9553	kWh/a
jährliche Einsparungen AW in Prozent	83,64	%

PEI der Sanierungsmaßnahme	3000(276)	kWh
Energetische Amortisation d. Maßnahme	0,31 (0,03)	Jahre
CO ₂ - Produktion durch Herstellung	554(7,53)	kgCO ₂ /kg
CO ₂ - Einsparungen	2331	kgCO ₂ /kg

Kosten der Sanierungsmaßnahme	14084	€
Eingespartes Kapital pro Jahr	616,19	€
Amortisationszeit	19,95	Jahre

Die Maßnahme einer nachträglich gemauerten Vorsatzschale mit gedämmtem Schalenzwischenraum wird sehr selten durchgeführt, da sie arbeits-, platz- und kostenintensiv ist. Dennoch gibt es Gründe, die für diese Sanierungsvariante der Außenwand sprechen: Witterungsbeständigkeit der Vorsatzschale, Wartungsfreiheit, erhöhter Schall- und Brandschutz, fast unbegrenzte Lebensdauer, solider Schutz für die tragende Wand, ein hoher solarer Absorptionsgrad und die identische Optik und Konstruktion zur Bestandswand (kein Klinkerimitat). Für die Kerndämmung (ohne Luftschicht) sind hydrophobierte Dämmstoffe zu verwenden, die wasserabweisend sind und sich bei Feuchtigkeit nicht zersetzen (z.B. Mineralstoffplatten). Die maximale Dämmstoffstärke beträgt 15

Baukosten		
Fassade abbrechen	30	€/m ²
Dämmstoffplatten (13cm)	40	€/m ²
Vormauerschale	80	€/m ²
gesamt	150	€/m²
Gesamtbetrag (93,46m ²)	15510	€

Steinwolle

PEI: 21,4 MJ/kg
 Dichte : 50 kg/m³
 GWPI00 : 1,93 kgCO₂/kg

alternativ: Schafwolle

PEI: 19,7 MJ/kg
 Dichte : 18 kg/m³
 GWPI00 : 0,537 kgCO₂/kg

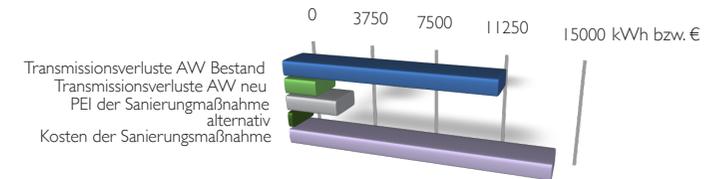


Abb. 78a: Energie und Kosten AW in kWh

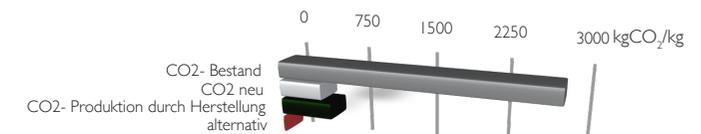


Abb. 78b: CO2 Ausstoß durch AW pro Jahr in kgCO2

+ Wärmebrücken können deutlich verbessert werden
 + dem Bestand ähnliche Fassade ist wieder herstellbar
 + sehr dauerhaft und wartungsfrei

- sehr teuer
 - nimmt viel Platz ein
 - aufwendige Anschlusspunkte an Fenstern und Türen

cm, da nach DIN 1053 der Abstand der tragenden Wand zur Vormauerschale nicht mehr als 15 cm betragen darf. Die Vorsatzschale wird pro Geschoss mit 2-3 Ankern aus rostfreiem Stahl oder Kunststoff im Abstand von 80-100 cm befestigt. Sie müssen Zug- und Druckkräfte senkrecht zur Mauerebene übertragen, da die Außenwand (Verformung durch Belastung, Schwinden und Kriechen) sich anders bewegt als die Vorsatzschale (Temperatureinflüsse). Die Lagerfugen werden mit einer Armierung versehen.¹ Bei einer Abstützung der Vormauerschale durch die Edelstahlkonsolen an der tragenden Wand muss geprüft werden, ob die Wärmebrückenwirkung durch die Konsolen den Wärmeschutz der Außenwand maßgebend verschlechtert.² Bei hohen Dämmstärken werden dazu die Befestigungstechniken aufwändiger. Die Vormauerschale darf nicht dampfdicht oder mit einem dampfdichtem Anstrich versehen sein.

Am Fußpunkt der Dämmung muss eine Folie an der Außenseite der tragenden Wand befestigt werden, um eingedrungenes Wasser über eine Stoßfuge nach außen abzuleiten.³

Für die neue Vormauerschale ist eine nachträgliche, frostsichere Gründung notwendig oder eine Auflagerung auf Edelstahlkonsolen, die an die tragende Mauerschale im Bereich der Kellerdecke angedübelt werden. Beide Maßnahmen verteuern die Fassade zusätzlich um 20 %. Eine frostsichere Gründung für die Vormauerschale bietet sich dann am besten an, wenn aufgrund Kellerdämmung oder Abdichtungsmaßnahmen ohnehin ein Bodenaushub erfolgt.

Um die Anforderungen der EnEV2014 zu erfüllen, ist ein U-WEert von 0,24 W/m²K erforderlich, bzw. für eine KfW-Förderung 0,2 W/m²K.

- 1 DEPLAZES, S. 39
- 2 FEIST, S. 51 f.

- 3 FEIST, S. 52

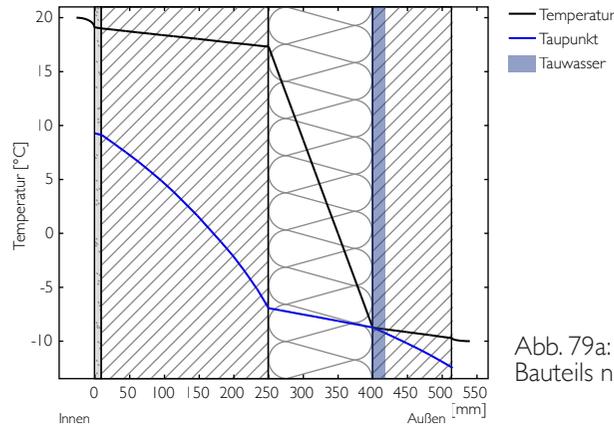


Abb. 79a: Feuchtverhalten des Bauteils nach Dämmung

Oberflächentemperatur
innen: 19,3°C
anfallendes Tauwasser pro Tauperiode:
Außenseite Dämmung : **130 g/m²**
Innenseite Klinker : **130 g/m²**
(Grenzwert : 500g/m²)
Trocknungsdauer: **18 Tage**

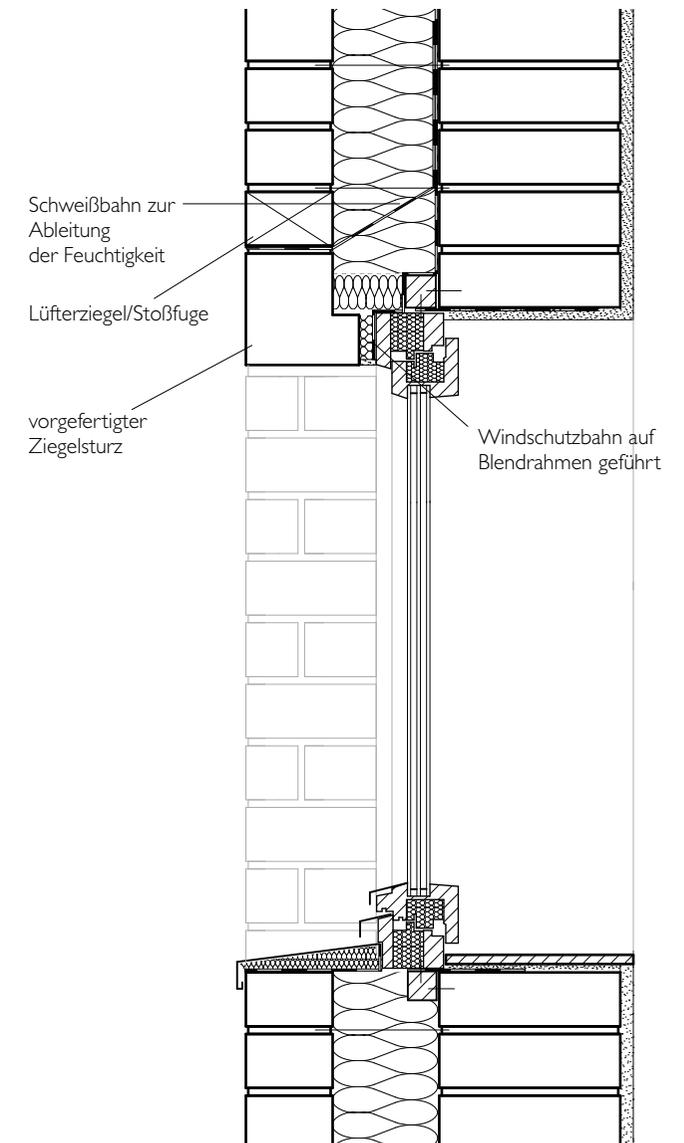


Abb. 79b: Detail Fensterleibung M 1:10

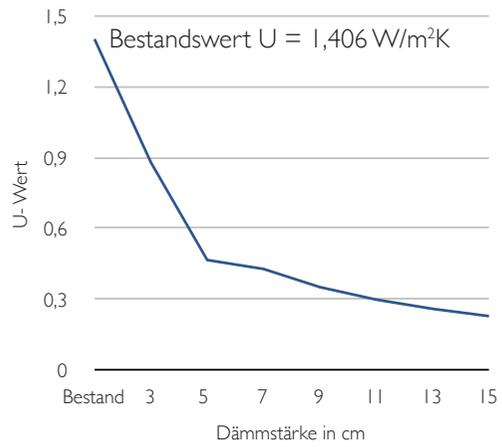


Abb. 80a: Entwicklung des U- Wertes

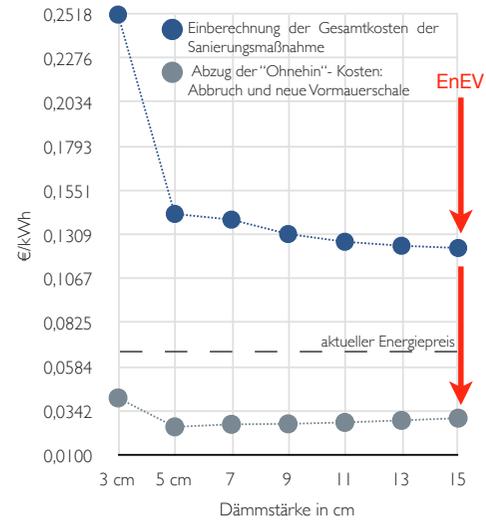


Abb. 80b: Preis der eingesparten Kilowattstunde

7.2.6 . Gegenüberstellung der Sanierungsmaßnahmen Außenwand

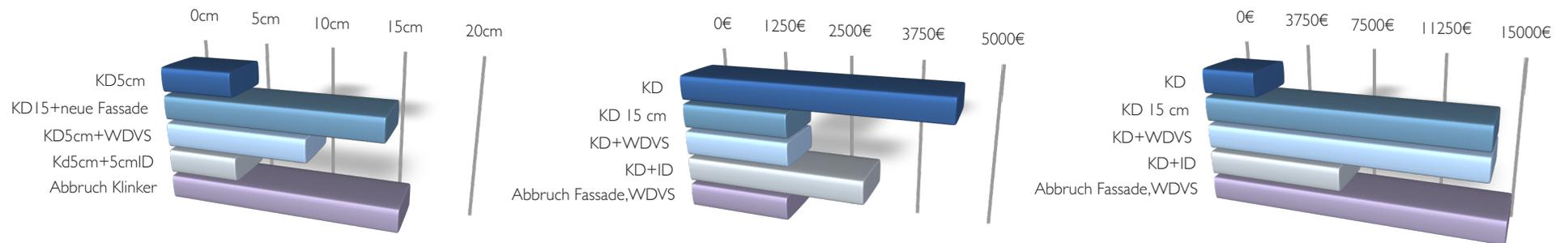


Abb. 81 a: notwendige gesetzliche Dämmstärke bei Sanierung Abb. 81 b: Wärmeverluste durch Außenwand nach Sanierung Abb. 81 c: Kosten der Sanierungsmaßnahme

Die Grafiken zeigen die notwendigen gesetzlichen Dämmstärken nach EnEV, die Kosten der Sanierungsmaßnahme, die Wärmeverluste durch die Außenwand nach Sanierung dieser und die Wirtschaftlichkeit der Dämmmaßnahmen im Vergleich zu den anderen in 7.2. vorgestellten Maßnahmen.

Es ist zu erkennen, dass die Kerndämmung die kostengünstigste und zugleich wirtschaftlichste Dämmmaßnahme ist, die Dämmstärke jedoch konstruktiv auf 5cm begrenzt ist, bei der auch die gesetzliche Mindestdämmstärke erreicht ist. Die Maßnahme ist wirtschaftlich, da der Preis der eingesparten Kilowattstunde unter dem aktuellen Energiepreis liegt.

Eine zusätzliche Innendämmung ist die nächste wirtschaftlichere Variante. Aufgrund des Feuchteverhaltens im Bauteil (siehe Abb. 76 a-c) sollte eine Innendämmung nur zusätzlich zur Kerndämmung angebracht werden und eine Dämmstärke von 5 cm nicht überschritten werden, da es sonst zu Tauwasserbildung an der Außenseite der Innendämmung kommen kann. Da man wie bei der Kerndämmung das Dämmpotenzial der Außenwand mit der Innendämmung ebenfalls nicht ganz

ausnutzen kann, verbleiben die Wärmeverluste durch die Außenwand trotz Innendämmung relativ hoch (Abb. 81 b). Deutliche Einsparungen können nur über eine zusätzliche Außendämmung erreicht werden. Die kann in Form eines Wärmedämmverbundsystems sein, welches zusätzlich zur Kerndämmung auf der Vormauerschale befestigt wird (KD5cm+WDVS10cm) oder bei Abbruch der Vormauerschale mit höherer Dämmstärke (14cm) direkt auf dem tragenden Mauerwerk. Da diese beiden Varianten in der Wirtschaftlichkeit sehr nah beieinander liegen, ist die zusätzliche Wärmedämmung auf der Vormauerschale der Dämmung auf dem tragenden Mauerwerk bei gleichzeitigem Abbruch der Vormauerschale vorzuziehen, da ausreichend Abstand zu Nachbarbebauung und Grundstücksgrenze gegeben ist und daher die Wandstärke nicht begrenzt ist. Der Erhalt der Vormauerschale schützt die vorhandene Bausubstanz und den Wert des Gebäudes.

Mit 12,39 cent/kWh ist eine Kerndämmung mit neu errichteter Vormauerschale die unwirtschaftlichste Dämmmaßnahme der Außenwand. Mit dem höchsten Preis

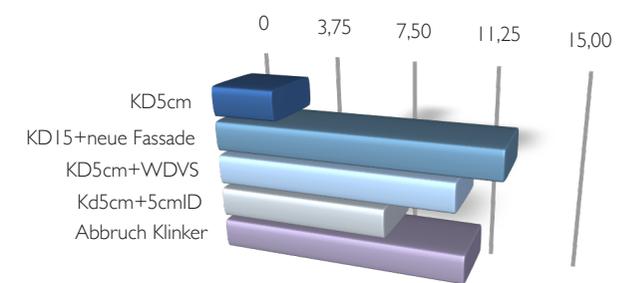
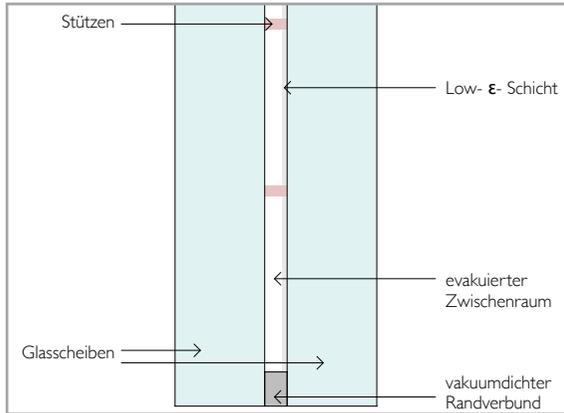


Abb. 81 d: Wirtschaftlichkeit der Dämmmaßnahme

der eingesparten Energie ist diese Variante nur zu empfehlen, wenn Abstandsflächen eingehalten werden müssen und man trotzdem nicht auf eine Sichtmauerwerkfassade in voller Tiefe verzichten möchte.

7.3. FENSTER

7.3.1. Austausch der Verglasung



U_g neu = 0,6 W/m²K (Dreifachverglasung,) (Vakuumverglasung 6,2 mm , 2fach-Gas: $U=1,1$)
 U_i Bestand = 2,2 (Bestandsrahmen)
 U_w neu = $0,3 * 2,2 + 0,7 * 0,6 = 1,08$ W/m²K

Wärmeschutzglas

PEI : 700 MJ/m²
 GWP100 : 40,8 kgCO₂/m²

1 GABRIEL LADENER , S. 106
 2 baubook.at

Der bestehende PVC- Rahmen ist 20 Jahre alt und weist keine Schäden auf.
 Eine kostensparende Lösung ist der Austausch des Isolierglases (U_g - Wert = 2,6 W/m²K) durch eine Dreifachverglasung/ Wärmeschutzverglasung oder einer Vakuumverglasung ($U_g=0,6$ W/m²K). Da die Falztiefe bei bestehenden Rahmen jedoch beschränkt ist, kommt nur eine Vakuumverglasung, die mit einer Stärke von nur 6,2 mm einen U_g -Wert von 1,1 W/m²K aufweist, in Frage.

- weniger Sonnenenergie wird durchgelassen, da niedrigerer g- Wert (0,5) bzw. bei Vakuumverglasung 0,7 + Weiterverwendung des PVC- Rahmens

Preis der eingesparten kWh :
 (a=0,069)
 0,069* 6088€ / 4075 kWh= **11,34 cent/kWh**

Fläche		m ²
Transmissionsverluste Fenster Bestand	6932	kWh
U - Wert _{neu}	1,08	W/m ² K
L_T	32,86	W/K
Transmissionsverluste neu	2858	kWh
jährliche Einsparungen Fenster	4075	kWh/a
jährliche Einsparungen Fenster in Prozent	58,78	%

PEI der Sanierungsmaßnahme	6697	kWh
Energetische Amortisation d. Maßnahme	1,64	Jahre
CO ₂ - Produktion durch Herstellung	1242	kgCO ₂ /kg
CO ₂ - Einsparungen	994,21	kgCO ₂ /kg

Kosten der Sanierungsmaßnahme	6697	€
Eingespartes Kapital pro Jahr	262,81	€
Amortisationszeit	6,44	Jahre

Baukosten		
Dreifachverglasung inkl. Einbau ¹	240	€/m ²
Zweifachverglasung inkl. Einbau ²	200	€/m ²
Vakuumverglasung	240	€/m ²
gesamt	200-240	€/m²
Gesamtbetrag (30,44 m ²)	6.088 €	

1: <http://www.schmidinger.me/pdf/glastausch.pdf>
 2: JUNG, Handbuch Energieberatung , S. 470
 3: <http://www.detail.de/architektur/themen/ultraschlanke-vakuumverglasungen-fuer-optimalen-waermeschutz-001724.html>

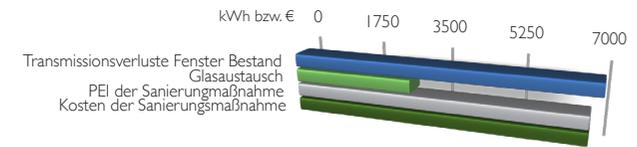


Abb. 82a: Energie und Kosten Fenster in kWh

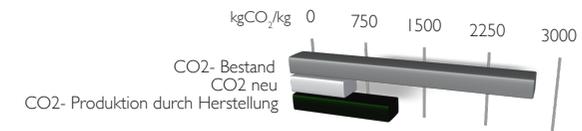


Abb. 82b: CO₂ Ausstoß durch Fenster pro Jahr in kgCO₂

7.3.2. Vergleich von 3- Scheiben zu 2- Scheibenverglasung, Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf

Gezeigt wird der Heizwärmebedarf des Bestandes im Vergleich zu jenem nach einem Glasaustausch der Fenster mit einem U-Wert von zum Einen $U = 0,7 \text{ W/m}_2\text{K}$ (Wärmeschutzglas, Krypton beschichtet, bzw. Vakuumverglasung, $g = 0,48$), und zum Anderen $U = 1,1 \text{ W/m}_2\text{K}$ (2- Scheiben- Wärmeschutzglas, $g = 0,62$).

	Bestand	Glastausch(U=0,7)	Glastausch(U=1,1)	Kombi(NW:0,7,SO,SW:1,1)
Jan	6409	5796	5888	5844
Feb	5497	5010	5056	5026
Mär	4837	4510	4458	4452
Apr	3021	2923	2784	2807
Mai	1489	1537	1358	1407
Jun	290	388	243	284
Jul	0	0	0	0
Aug	8	31	0	7
Sep	908	885	790	808
Okt	2826	2603	2563	2557
Nov	4620	4165	4221	4190
Dez	5940	5357	5447	5404
	37311	31740	31343	31321
Heizzeit	30.8.-18.6.	27.8.-24.6.	31.8.-17.6.	29.8.-20.6.
HWB (kWh/m ²)	151,06	128,50	126,89	126,81

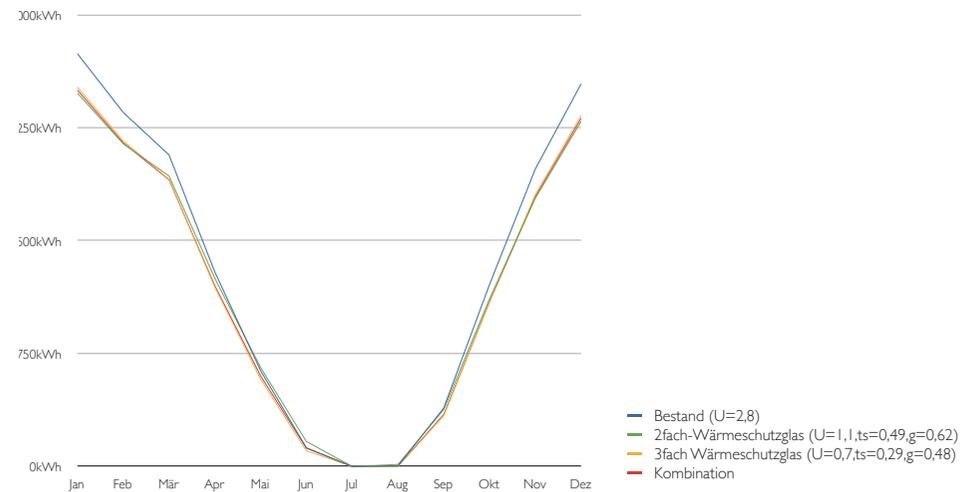


Abb. 83: HeizwärmebedarfVarianten nach Glasaustausch

Der Heizwärmebedarf über das gesamte Jahr addiert ist beim Einsatz von 2-Scheiben-Glas niedriger, obwohl sich die Heizperiode beim Einbau von 3-Scheiben- Wärmeschutzglas um 10Tage verlängert. Ebenso sind die Verluste im Winter (von November bis Februar) hierbei größer. Jedoch gleichen diese sich beim 2- Scheiben- Glas durch den deutlich höheren Energiedurchlassgrad und die dadurch höheren solaren Gewinne in der Übergangszeit aus und es bildet sich letztendlich eine kleinere Summe an benötigter Heizenergie als beim Einsatz von 3- Scheiben- Glas. Die Einsparungen liegen beim 3-Scheiben-Glas bei 5571 kWh/a gegenüber 5968 kWh/a beim 2-Scheiben-Glas. Trotz der höheren Kosten von 3- Scheiben- Wärmeschutzglas (240 €) gegenüber 2- Scheiben- Glas (200 €)

bringen sie beim Glasaustausch der Bestandsfenster also keinen Vorteil, außer dass die Oberflächentemperaturen im Winter an der Innenseite des Glases beim Einsatz von 3-Scheiben- Wärmeschutzglas etwas niedriger ist und zu mehr Behaglichkeit jedoch führt. Zu Heizenergieeinsparungen führt dies jedoch nicht.

Eine Optimierung des Jahresheizwärmebedarfs ergibt eine Kombination beider Gläser (3-Scheiben-Glas im NW (-> wenig solare Gewinne), 2- Scheiben-Glas im SO und SW). Trotz etwas längerer Heizperiode bringt sie wiederum eine leichte Senkung des Jahres-Heizwärmebedarfs und zu einer Einsparung von 5990 kWh/a gegenüber dem Bestand.

7.3.3. Austausch der Fenster

7.3.3.1. Passivhausfenster



Austausch der kompletten Fenster durch hochwärmegedämmte Holzfenster:
U=0,8 W/m²K, g- Wert: 55%

Das komplette Fenster mit dem PVC- Rahmen wird ausgetauscht in kerngedämmte Holzfenster. Die Wärmeverluste des Rahmens sind so gegenüber konventionellen Holzfenstern mit $U_f = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ nochmals um 35 % geringer. Zusammen mit einer Dreifachverglasung ($U = 0,6$) ergibt sich so ein U_w - Wert von etwa 0,7 bei einem g- Wert von 0,5.

Wärmeschutzglas

PEI : 260 kWh/m²
 GWPI00 : 40,8 kgCO₂/kg,m²

Holzrahmen

PEI: 60 kWh/m² bzw. 306 kWh/m²
 GWPI00: -33 Rahmen kgCO₂/kg,m²
 Vom Altbau zum Effizienzhaus , S. 106

Fläche		m ²
Transmissionsverluste AW Bestand	6932	kWh
U- Wert _{neu}	0,8	W/m ² K
L _T	24,35	W/K
Transmissionsverluste neu	2117	kWh
jährliche Einsparungen AW	4815	kWh/a
jährliche Einsparungen AW in Prozent	69,47	%

- + geringere Wärmeverluste als bei reinem Glasaustausch
- + neue Fenster auf Stand der Technik (dicht und geringere Wärmebrücken)
- höhere Kosten
- PVC- Rahmen muss entsorgt werden obwohl noch in Takt

PEI der Sanierungsmaßnahme	17229	kWh
Energetische Amortisation d. Maßnahme	3,58	Jahre
CO ₂ - Produktion durch Herstellung	237,43	kgCO ₂ /kg
CO ₂ - Einsparungen	1175	kgCO ₂ /kg

Preis der eingesparten kWh :
 (a=0,069)
 0,069* 17046€ / 4815 kWh= **24,43 cent/kWh**

Kosten der Sanierungsmaßnahme	17046	€
Eingespartes Kapital pro Jahr	310,6	€
Amortisationszeit	39,26	Jahre

Baukosten	€/m²	
Wärmeschutzfenster inkl. Einbau ¹	560	€/m ²
gesamt	560	€/m²
Gesamtbetrag (30,44 m ²)	17.046 €	

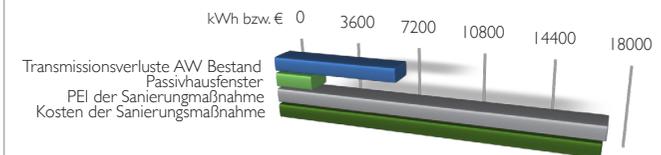


Abb. 84a: Energie und Kosten Fenster in kWh bzw. €



Abb. 84b: CO₂ Ausstoß durch Fenster pro Jahr in kgCO₂

Fenster mit höchstem Dämmstandard bestehen aus thermisch entkoppelten Rahmenprofilen (z.B. aus Holz) mit Dämmkern (meist PU- Hartschaum) und einer dreifachen Wärmeschutzverglasung. Der Scheiben- Randverbund wird mit thermisch getrennten Abstandshaltern (z.B. "Swisspacer" aus GFK mit Alufolie als Diffusionssperre) ausgeführt und bei einem tiefen Glaseinstand durch den gedämmten

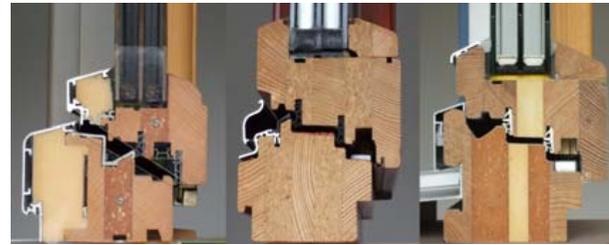
Rahmen überdeckt.

Die Verglasung besteht aus 4mm starken Floatgläsern, wobei eisenfreie Gläser von Vorteil sind, da diese einen höheren g- Wert aufweisen. Beschichtet sind sie durch Metalloxide, wodurch die Emissionszahl der Infrarotstrahlung sinkt, und somit weniger Raumwärme nach außen geleitet wird, sondern an der Glasscheibe nach innen reflektiert. Um den Wärmeverlust durch Konvektion zu vermindern, sind die Zwischräume der Glasscheiben mit Edelgasen (Argon, Krypton) gefüllt.¹

Einbau neuer Fenster Die Fenster müssen mit ihrem Blendrahmen so in der Mauerwerksöffnung befestigt werden, dass ihr Eigengewicht und die äußeren Einwirkungen (Wind- und Verkehrslasten) auf das Bauwerk übertragen werden können.² Der dichte Anschluss von Mauerwerk und Blendrahmen erfolgt durch das Aufkleben von Folien (mit Butylkleberbändern oder Klebplatten), die innen für Luftdichtheit sorgen, außen für Schlagregendichtheit. Die innere Folie muss stets einen höheren Dampfdichtheitswert aufweisen als die äußere, damit eintretende Feuchtigkeit nach außen abweichen kann. Zudem muss die äußere Folie überputzbar sein. Das Anbringen der Folien kann beim Altbau zum Problem werden, wenn keine glatten Oberflächen vorzufinden sind, auf denen die Folie gut haften kann. Daher ist das Anbringen eines Glattputzes auf den alten Fensterleibungen notwendig, der im trockenen Zustand einen tragfähigen Untergrund für die Folie herstellt. Der Zwischenraum zwischen Mauerwerk und Blendrahmen wird vollständig mit Mineralwolle gefüllt.

Voraussetzung für den Einbau neuer Fenster (es sei denn, der erforderliche Luftwechsel kann garantiert werden) ist, dass ebenfalls die Außenwände gedämmt werden müssen. Neue Fenster weisen in der Regel eine bessere Luftdichtheit auf. Diese Dichtheit in Kombination mit niedrigen Oberflächentemperaturen innen (die eventuell

¹ ÖIBÖ, Passivhaus- Bauteilkatalog S. 252 f
² FRICK, KNÖLL, Baukonstruktionslehre 2, S. 357



v.l.: Alu-
Vorsatzschale,
Holz- Kork,
Holz- PUR,
PVC- Alu, PVC

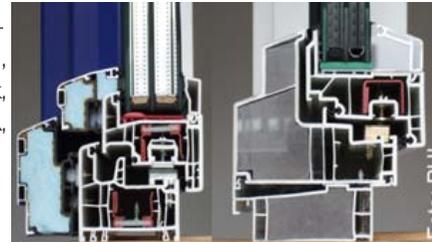


Abb. 85a: gedämmte Fensterrahmen mit 3fach-Verglasung
Quelle: PHI

zu Kondensat führen) können in Zusammenhang mit einem schlechten Luftwechsel zu Schimmelbildung führen.³ Wärmeschutzfenster sorgen dafür, dass die innere Fensteroberfläche eine relativ hohe Oberflächentemperatur hat. Dadurch sind keine Heizkörper unter den Fenstern zwingend nötig wie unter herkömmlichen Fenstern, um behagliche Wohnbedingungen herzustellen. Für optimalen thermischen Komfort (Komfortkategorie A nach DIN EN ISO 7730) ist die Bedingung, dass alle den Raum begrenzenden inneren Oberflächentemperaturen nicht mehr als 4,2 K unter der mittleren operativen Temperatur des Raumes liegen.

Die Breite der Fensterrahmenansichten kann schon bei 10 cm liegen, um die Rohbauöffnung und die solaren Gewinne bestmöglich auszunutzen. Ein Verzicht auf Fensterteilung erhöht zusätzlich die Belichtung die solaren Gewinne.

³ FEIST, S. 126,

Wärmebrücken

Um die Wärmebrückenwirkung an Fensteranschlüssen so weit wie möglich zu reduzieren, sollten Fenster in der Dämmebene eingebaut werden. Dies kann mittels Montageschienen, Blindstock oder Montagewinkeln durchgeführt werden.¹

Ein Fenstereinbau innerhalb der Dämmebene ist konstruktiv schwierig auszuführen, daher empfiehlt sich der Einbau an der Innenseite der Dämmung direkt vor der Mauerwerkskante. Ein Einbau innerhalb der Mauerwerksleibung ist aufgrund der Wärmebrückewirkung nicht zu empfehlen (siehe Abb. 85b). Des weiteren sind die solaren Gewinne höher, je weiter das Fenster nach außen rückt, da die Leibungverschattung dann geringer ist.

Der Rahmen sollte so viel wie möglich außen überdämmt werden, um die Wärmebrücke des Fensteranschlusses zu vermindern. Dies hat jedoch den Nachteil, dass dadurch die Belichtung des Raumes verschlechtert und die solaren Wärmegewinne ebenfalls verringert werden. Lösung dafür ist eine Abschrägung der äußeren Dämmung im Leibungsbereich.²

¹ FEIST, Altbaumodernisierung, S. 137
² FEIST, Altbaumodernisierung, S. 142

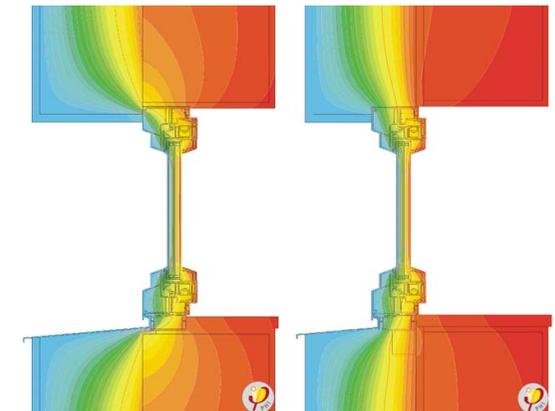


Abb. 85b: Vergleich eines thermisch ungünstigen (li.) und thermisch günstigen (re.) Einbaus eines Fenster
Quelle : PHI

7.3.3.2. Versetzung der Einbauebene

Beim Einbau neuer Fenster kann die Einbauebene in der Laibung je nach Dämmweise der Außenwand variieren, um die beste Dämmwirkung zu erhalten und um eine Verschattung der solaren Strahlung zu vermeiden. Auch nach ästhetischen Aspekten kann entschieden werden.

Im Folgenden sind verschiedene Sanierungsvarianten der Außenwand mit dem Einbau von neuen Fenstern kombiniert.

Kerndämmung mit Wärmedämmverbundsystem:

Ausführungsvariante mit Blindstock (Abb. 86a):

Der Fensterstock wird auf dem Blindstock befestigt, welcher mit dem Mauerwerk verschraubt ist. So sitzt das Fenster in der Dämmebene und muss auf der Außenseite überdämmt werden, um Wärmebrückeneffekte zu vermeiden.¹ Bei hoher Dämmstärke und starker Überdämmung kann es zu ungewünschten Verschattungen von Sonnenstrahlen kommen. Abhilfe schafft hier eine Abschrägung der Überdämmung.

Kerndämmung mit Wärmedämmverbundsystem:

Ausführungsvariante mit Ankerschiene (Abb. 86b):

Alternativ kann das Fenster auch mit einer Ankerschiene am Mauerwerk befestigt werden, wenn es in der Dämmebene sitzen soll. Eine äußerliche Überdämmung ist in diesem Fall ebenfalls unerlässlich. Je weiter der Fensterstock über die Fensteröffnung hinaus auf das Mauerwerk gesetzt wird, umso größer kann letztendlich die Fensterfläche in der bestehenden Wandöffnung sein.

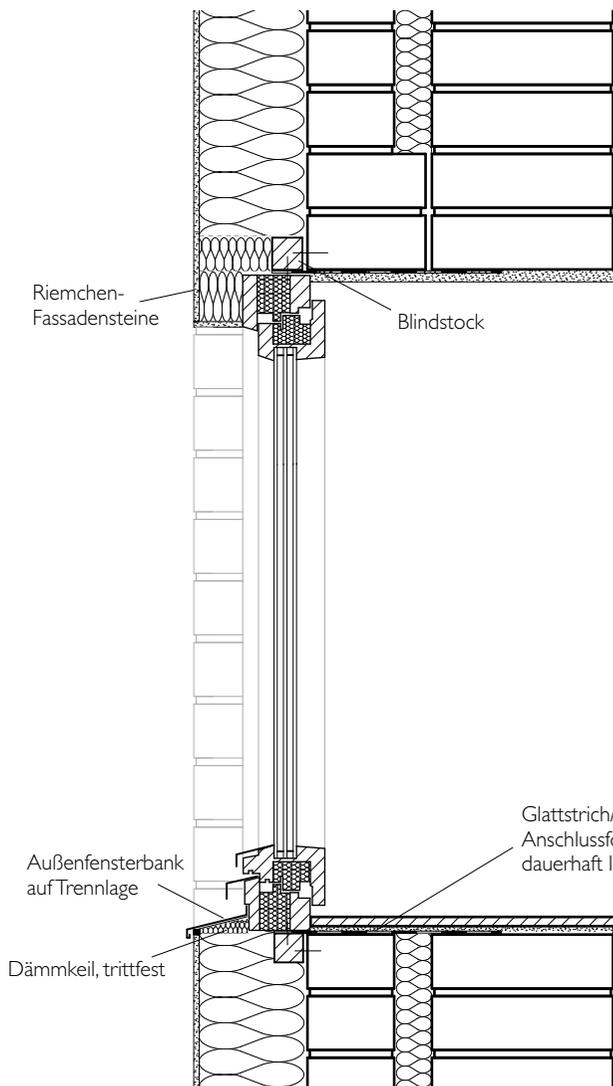


Abb. 86a: Fensterdetail, Befestigung am Mauerwerk mit Blindstock, M 1: 10

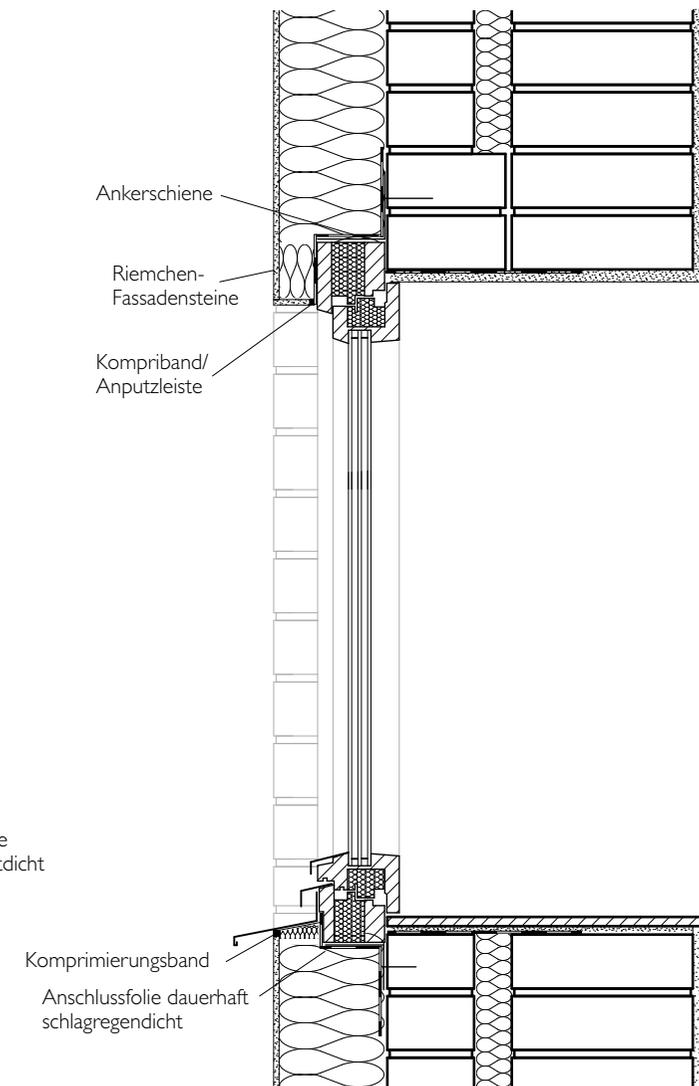


Abb. 86b: Fensterdetail, Befestigung am Mauerwerk mit Ankerschiene, M 1:10

¹ ÖIBÖ, Passivhaus- Bauteilkatalog, S. 212

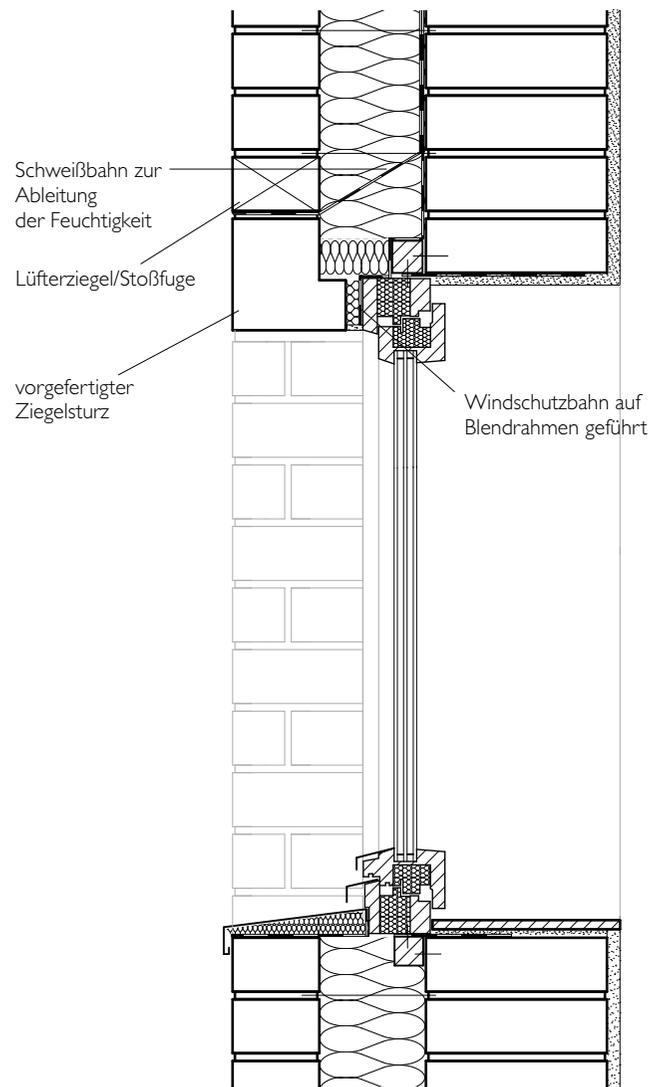


Abb. 87a: Fensterdetail, Kerndämmung mit Vorsatzschale neu, M 1:10



Abb. 87b: Nutzungsmöglichkeit breiter Fensterlaibungen, die durch Außendämmung und Versetzen der Fensterebene oder bei Innendämmung entstehen können

7.3.4. Gegenüberstellung Fenster

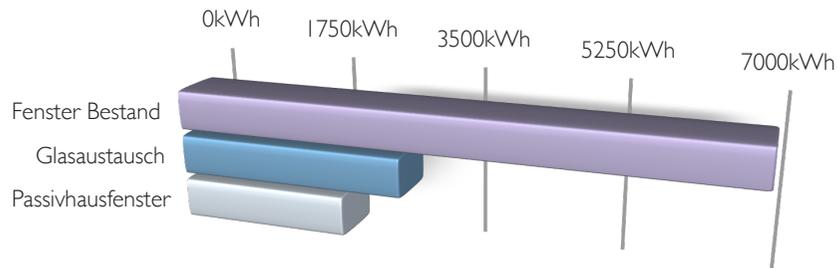


Abb. 88a: Wärmeverluste durch Fenster nach Sanierung

Die Sanierung der Fenster ist beim Anstreben eines Niedrigenergie- Standards unerlässlich. Der Austausch des Glases in eine Vakuumverglasung bringt knapp 60 % Einsparungen in den Transmissionsverlusten durch die Fenster, ein Komplet- Austausch der bestehenden Fenster in Passivhausfenster mit kerngedämmten Rahmen verursacht knapp 70 % Einsparungen bei jedoch mehr als doppelt so hohen Kosten. Diese hohen Kosten lassen die Maßnahme mit einem errechneten Preis von 24,43 cent/ eingesparte kWh gegenüber 11,34 cent/kWh bei einem Glasaustausch sehr unwirtschaftlich werden.

Ein kompletter Fensteraustausch ist jedoch bei dem Bestreben eines KfW- Effizienzhaus- Standards unerlässlich, da dieser nur mit einer Wärmerück- gewinnung der Abluft einer Komfort- Lüftungsanlage erreicht werden kann, was wiederum eine Dichtheit des Gebäudes voraussetzt, die unter Anderem nur mit sehr dichten Fenstern erreicht werden kann.

Der Vorteil neuer Fenster ist, dass die Einbauebene versetzt werden kann. So können bei Einbau in der Dämmebene Wärmebrückeneffekte verringert werden. Gleichzeitig entsteht bei hoher Dämmstärke oder bei Innendämmung mit der innen liegenden breiten Leibung ein Fensterraum, der auf verschiedenste Weise, z.B. als Sitznische genutzt werden kann (siehe Abb. 87b).

Die Wahl zwischen einem reinen Glasaustausch und der Erneuerung der kompletten Fenster hängt also davon ab, welcher Energie- Standard erreicht werden soll und ob eine hohe Dichtheit des Gebäudes aufgrund eines Einbaus einer Lüftungsanlage gegeben sein muss.

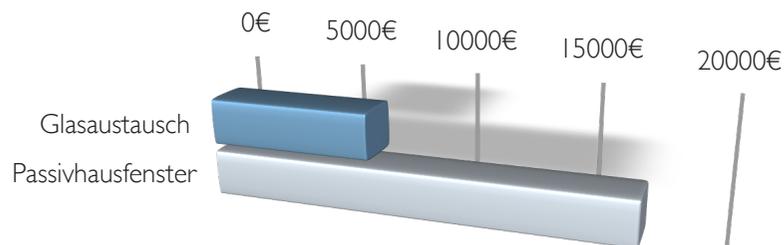


Abb. 88b: Kosten der Sanierungsmaßnahme

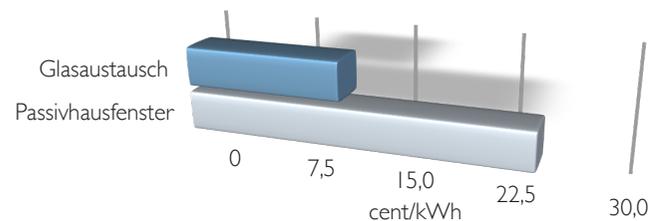


Abb. 88c: Kosten der eingesparten Kilowattstunde bei Fenstersanierung

7.3.5. Fenstervergrößerung

Die Tabelle beschreibt die anfallenden Energieeinsparungen des Bestandsgebäudes, die bei einer Fenstervergrößerung abhängig von der Orientierung der Fassade auftreten würden. Bei der Südost- und Südwestfassade wäre es möglich, die Parapethöhe der bestehenden Fenster bis auf Fußbodenniveau zu senken, und so mehr solare Einstrahlung bzw. passive Wärme und mehr Tageslicht im Innenraum zu haben. Das Dach bietet ebenfalls Platz für mehr Fensterfläche, jedoch scheint es wirtschaftlicher, die vorhandene Dachfläche für Photovoltaik- Module zu verwenden.

	Bestand	SO + 5,69m2	SO Dach + 2,55m2	SW + 2,12m2	SO + 5,69m2 SO Dach +2,55m2	SO + 5,69m2 SO Dach+2,55m2 SW + 2,12m2
Jan	6632	6735	6675	6654	6776	6798
Feb	5686	5716	5689	5690	5717	5721
Mär	5020	4900	4930	4972	4808	4760
Apr	3168	2954	3007	3079	2794	2708
Mai	1587	1369	1415	1499	1212	1138
Jun	332	182	216	267	89	55
Jul	0	0	0	0	0	0
Aug	19	0	0	0	0	0
Sep	975	833	878	922	732	686
Okt	2948	2860	2889	2910	2799	2760
Nov	4795	4860	4820	4802	4883	4889
Dez	6149	6252	6193	6172	6294	6316
Q gesamt (kWh)	37311	36661	36712	36967	36104	35831
Heizzeit	30.8.-18.6.	1.9.- 14.6.	2.9.-13.6.	1.9.-15.6.	6.9.-6.6.	7.9.-4.6.
HWB (kWh/m2)	151,06	148,43	148,63	149,66	146,17	145,06
Einsparungen im Jahr (kWh)		650	599	344	1207	1480

Abgesehen vom erhöhten Komfort durch mehr Tageslicht und die Energieeinsparungen durch weniger Kunstlichtbedarf sind die Energieeinsparungen bei einer Fenstervergrößerung im Gegensatz zu Dämmmaßnahmen der Gebäudehülle verhältnismäßig gering. Zudem beruhen die Berechnung auf Heizwärmebedarfs- Niveau des unsanierten Bestandsgebäudes. Berechnet man die Energieeinsparungen durch eine Fenstervergrößerung nach einer vorangegangenen Verbesserung der Gebäudehüllfläche, werden die Einsparungen noch kleiner (siehe folgende Seite, Abb.90a-c). Da eine Vergrößerung der Fensterfläche durch konstruktive Veränderungen der Wand sehr kostenintensiv ist, ist die Maßnahme als Energiesparmaßnahme relativ unwirtschaftlich:



Abb. 89: Fenstervergrößerung rechnerisch und skizziert

Bsp. SO- Fassade: Kosten : ca. 2.500 €
Einsparungen : 650 kWh

Preis der eingesparten kWh :
2.500 € * 0,069 / 650 kWh = 26,54 cent/kWh

Bsp. SO- Dach: Kosten : ca. 3.500 €
Einsparungen : 599 kWh

Preis der eingesparten kWh :
3.500 € * 0,069 / 599 kWh = 40,32 cent/kWh

Abgesehen von energetischen und finanziellen Einsparungen kann eine Vergrößerung der Fensterfläche durchaus attraktiv sein, da mehr Tageslicht in die Innenräume trifft. Die Attraktivität, die Qualität und der Komfort des Innenraum kann so stark gesteigert werden.

7.3.6. Senkung des Heizwärmebedarfs durch eine Vergrößerung der Fensterfläche am Beispiel der Südost-Fassade

Berechnungsbeispiel nach verschiedenen Sanierungsmaßnahmen

Die Tabelle beschreibt die benötigte Heizenergie des Bestandes im Vergleich zur benötigten Heizenergie nach einem Glasaustausch an der SO-Fassade (in 2-Scheiben-Wärmeschutzglas) und im Vergleich zu einer Fenstervergrößerung um 5,69 m² an der Südostfassade bei gleichzeitigem Glasaustausch (gleiches Glas).

Der Glasaustausch alleine spart 828 kWh/a ein. Bei einer zusätzlichen Fenstervergrößerung und ebenfalls Glasaustausch kann ca. dreimal so viel, 2198 kWh, eingespart werden. Es stellt sich dabei jedoch die Frage, ob diese Einsparungen in Form einer Fenstervergrößerung wirtschaftlich Sinn macht, da es eine sehr aufwendige und kostspielige Maßnahme ist.

Da es wirtschaftlich sinnvoller ist, anstatt einer Fenstervergrößerung alternative Energiesparmaßnahmen wie eine zusätzliche Dämmungen auszuführen, zeigt die Tabelle in Spalte 4 den Heizwärmebedarf nach einer Wand- und

Dachdämmung. Die neuen U-Werte betragen U=0,55 W/m²K für die Wand und U=0,48 W/m²K für das Dach. Im Vergleich zu diesem Wert zeigt Spalte 5 die benötigte Heizenergie nach einer zusätzlichen Fenstervergrößerung.

Bei der unsanierten Variante (siehe Tabelle.1) betragen die Einsparungen nach einer Fenstervergrößerung und Einsatz eines neuen Glases (U=1,1W/m²K) 2198 kWh/a. Bei der sanierten Variante (Tabelle 2) betragen die Einsparungen durch eine Fenstervergrößerung nur noch 1647 kWh. Tabelle 3 zeigt das gleiche Prozedere, jedoch bei einer noch stärker gedämmten Außenhülle. Die Einsparungen nach der Fenstervergrößerung werden noch kleiner und liegen bei 1437 kWh/a.

Ergebnis : Je stärker die Außenhülle gedämmt ist, desto weniger Gewinne verursacht eine Vergrößerung der Fensterfläche. Wirklich lohnenswert wäre diese nur bei ungedämmten Altbauten, da die Transmissionsverluste in den

Übergangszeiten so durch die erhöhten solaren Gewinne ausgeglichen werden können. Sind die Verluste in den Übergangszeiten bzw. kurz vor und kurz nach der Heizperiode aufgrund der guten Dämmung eh schon relativ gering, gibt es keine Verluste, die die solaren Gewinne in dieser Zeit ausgleichen können und es entstehen über das Jahr gesehen geringere Einsparungen.

Vorteil von Fenstervergrößerung ist die Notwendigkeit von weniger Kunstlicht durch mehr Tageslichteinfall in das Gebäude.

Die Heizenergieeinsparung durch Fenstervergrößerung ist des Weiteren abhängig von der Klimazone des Gebäudes bzw. der Intensität der Sonnenstrahlung. In der Alpenregion würde die Energiesparmaßnahme der Fenstervergrößerung durchaus mehr Sinn machen.

	Bestand (kWh)	SO (U=1,1 W/m ² K)	SO + 5,69m ² (U=1,1)
Jan	6632	6397	6330
Feb	5686	5511	5412
Mär	5020	4928	4734
Apr	3168	3168	2941
Mai	1587	1634	1421
Jun	332	387	247
Jul	0	0	0
Aug	19	37	0
Sep	975	988	855
Okt	2948	2887	2750
Nov	4795	4621	4558
Dez	6149	5925	5865
Q gesamt (kWh)	37311	36483	35113
Heizzeit	30.8.-18.6.	28.8.-21.6.	1.9.-15.6.
HWB (kWh/m²)	151,06	147,70	142,16
Einsparungen im Jahr (kWh)		828	2198
Einsparungen pro Jahr (€)		53,82	142,87

Abb. 90a: Tabelle 1: Heizwärmebedarf bei Fenstervergrößerung, U- Wert des Fensters: 1,1 W/m²K

	AW=0,55, Dach=0,48	AW=0,55, Dach=0,48 Fenster SO,U= 1,1	AW=0,55, Dach=0,48 SO +5,69 m ² (U=1,1)
Jan	4008	3770	3769
Feb	3377	3199	3158
Mär	2779	2685	2548
Apr	1516	1509	1333
Mai	496	540	366
Jun	0	0	0
Jul	0	0	0
Aug	0	0	0
Sep	234	236	164
Okt	1484	1420	1322
Nov	2798	2621	2609
Dez	3689	3462	3465
Q gesamt (kWh)	20381	19442	18734
Heizzeit	14.9.-27.5.	13.9.-30.5.	17.9.-23.5.
HWB (kWh/m²)	82,51	78,71	75,85
Einsparungen im Jahr (kWh)		939	1647
Einsparungen pro Jahr (€)		61,035	107,055

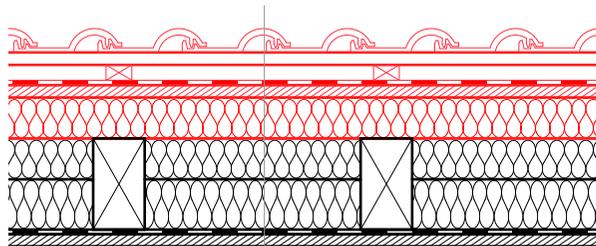
Abb. 90b: Tabelle 2: Heizwärmebedarf bei Fenstervergrößerung nach Sanierungsmaßnahmen

	AW=0,23, Dach=0,28	AW=0,23, Dach=0,28 Fenster SO,U= 1,1	AW=0,23, Dach=0,28 SO +5,69 m ² (U=1,1)
Jan	3300	3060	3085
Feb	2753	2574	2556
Mär	2176	2081	1965
Apr	1079	1068	916
Mai	227	255	138
Jun	0	0	0
Jul	0	0	0
Aug	0	0	0
Sep	96	95	53
Okt	1090	1025	942
Nov	2259	2081	2089
Dez	3026	2799	2825
Q gesamt (kWh)	16006	15038	14569
Heizzeit	20.9.-18.5.	19.9.-21.5.	23.9.-13.5.
HWB (kWh/m²)	64,80	60,88	58,98
Einsparungen im Jahr (kWh)		968	1437
Einsparungen pro Jahr (€)		62,92	93,405

Abb. 90c: Tabelle 3: Heizwärmebedarf bei Fenstervergrößerung nach Sanierungsmaßnahmen

7.4. DACH

7.4.1. Auf- und Zwischensparrendämmung



Dachziegel
Lattung
Konterlattung
diffusionsoffene Unterdeckbahn
Aufsparrendämmung
Sparren und Dämmung
Dampfbremse
Gipskarton

Fläche	109,11	m ²
Transmissionsverluste Dach Bestand	13481	kWh
U- Wert _{neu}	0,28	W/m ² K
L _T	25,10	W/K
Transmissionsverluste neu	2182	kWh
jährliche Einsparungen Dach	11299	kWh/a
jährliche Einsparungen Dach in Prozent	83,82	%

PEI der Sanierungsmaßnahme	3007	kWh
Energetische Amortisation d. Maßnahme	0,27	Jahre
CO ₂ - Produktion durch Herstellung	518	kgCO ₂ /kg
CO ₂ - Einsparungen	2757	kgCO ₂ /kg

Kosten der Sanierungsmaßnahme	16.367	€
Eingespartes Kapital pro Jahr	728,79	€
Amortisationszeit	18,68	Jahre

Baustoff	Dicke	λ	R
Einheit	m	W/mK	m ² K/W
			R _{si} 0,1
Gipskarton	0,015	0,21	0,071
Dämmung,Sparren	0,12	0,345	2,353
Aufsparrendämmung	0,06	0,04	1,5
Schalung	0,02	0,75	0,027
			R _{si} 0,04
			R _{t,ges} 4,11
U=			0,24 W/m²K

+ keine Reduzierung des Innenraumvolumens
+ durch Aufsparrendämmung wird Wärmebrücke über die Sparren reduziert

- neue Dachdeckung nötig (bestehende Ziegel können aber wiederverwendet werden)
- Veränderungen in vielen Anschlüssen

Baukosten	€/m ²
Abbruch vorh. Dachdeckung	20
Dachdeckung, Unterspannbahn, Dachlattung, Mineralwollendämmung	95
Aufsparrendämmung (5cm)	35
gesamt	150
Gesamtbetrag (109,11 m ²)	16.367 €

Hartschaum (EPS)

PEI: 98,9 MJ/kg (baubook.at)
Dichte : 27,5 kg/m³
GWPI100 : 4,17 kgCO₂/kg

alternativ: Holzweichfaserplatten

PEI: 14,4 MJ/kg (baubook.at)
Dichte : 130 kg/m³
GWPI100 : -0,804 kgCO₂/kg

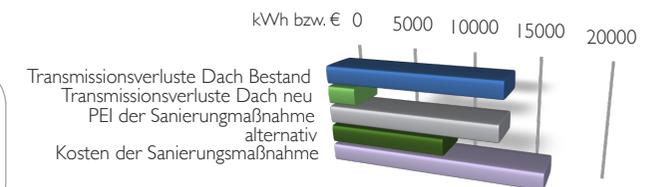


Abb. 91a: Energie und Kosten Dach

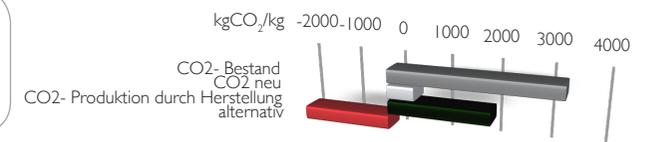


Abb. 91b :CO₂ Ausstoß durch Dach pro Jahr

Der Hohlraum zwischen den Sparren wird vollständig mit Dämmstoffaufgefüllt. Hierfür eignen sich Matten aus Glaswolle, keilförmig gegeneinander verschiebbare Platten oder lose Dämmstoffe wie Zellulose- oder Mineralfaserflocken. Diese können sich gut an die Unregelmäßigkeiten der Bestandskonstruktion anpassen. Wichtig ist, dass keine Lücken zwischen Sparren und Dämmstoff bestehen, da sonst eine Luftzirkulation entstehen kann, die die Dämmwirkung stark

herabsetzen kann.¹

Bei einer Aufsparrendämmung ist sicherzustellen, dass die Tragfähigkeit der Dachkonstruktion ausreicht, um zusätzliche Lasten abzutragen. Als Dämmstoff werden druckfeste wasserabweisende Platten zum Beispiel aus Holzweichfaser oder Hartschaum verwendet. Fertigteilelemente wie bituminierte Faserplatten bestehen aus einer Kombination aus Wärmedämmung, Unterspannbahn und Dachlattung und bilden gleichzeitig ein dichtes Unterdach.

Die Unterspannbahn bildet die winddichte Schicht und verhindert, dass Dämmstoffe mit kalter Luft durchspült werden. Sie sollte maximal eine äquivalente Luftschichtdicke von 0,1 m haben. Gleichzeitig verhindert die Unterspannbahn das Eindringen von Feuchtigkeit wie Sprüh- und Schmelzwasser in den Dachraum und sorgt dafür, dass temporäre Feuchtigkeit nach außen abgeleitet werden kann. Eine weitere Voraussetzung ist die Ebenheit des Untergrundes, damit die Platten passgenau aneinandergesetzt werden können. Eventuell müssen Zwischenräume aufgefüttert werden.

Werden keine Fertigteilelemente verwendet, sollte die

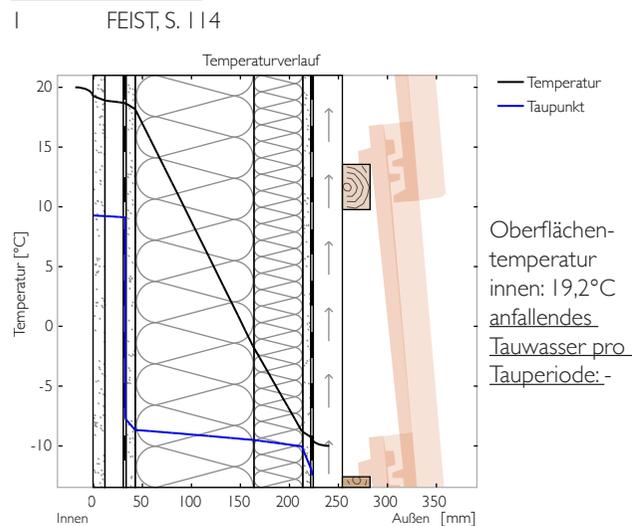


Abb. 92a: Feuchterhalten der Aufsparrendämmung

Aufsparrendämmung auf einer Schalung verlegt werden, um die Durchtrittssicherheit während der Bauarbeiten und die Verlegung einer ordnungsgemäße Luftdichtheitsschicht zu gewährleisten.² Wichtig ist, dass der Diffusionswiderstand der einzelnen Dämmschichten nach außen hin abnimmt. Wärmebrücken durch die Sparren werden durch die Aufsparrendämmung vermieden.

Da sich der Dachaufbau um die Stärke der Aufsparrendämmung erhöht, ist zu prüfen, ob eine baurechtliche Genehmigung notwendig ist. Die Anschlüsse an Ortsgang und Traufe müssen neu geplant werden. Im Falle von Reihenhäusern oder Doppelhaushälften wie in diesem Falle macht es Sinn, beide Hälften zu sanieren, da sich sonst ein Dachversatz in der Mitte des Daches bildet.

Nach EnEV2014 muss das Dach einen U-Wert von 0,24 W/m²K aufweisen.

² BÖHNING, Altbaumodernisierung im Detail, S. 174

Wirtschaftlichkeit

Der Tabelle in Abb. 92c ist zu entnehmen, dass nur eine Zwischensparrendämmung allein aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll wäre. Die zu hohen Kosten einer zusätzlichen Aufsparrendämmung machen diese unwirtschaftlich. Würde man sie dennoch hinzufügen, liegt die wirtschaftlichste Dämmstärke bei 8 cm.

Um die Anforderungen der EnEV 2014 zu erfüllen, reichen 6 cm Dämmstärke aus. Um eine Förderung des KfW für die Maßnahme zu bekommen, benötigt man eine Dämmstärke von 18 cm.

Bei einer ohnehin anstehenden Sanierung der Dachhaut und der Eindeckung liegt der Preis einer eingesparten Kilowattstunde bei jeder Dämmstärke unter dem aktuellen Energiepreis. Die Kurve zeigt keinen lokalen Tiefpunkt, daher nimmt die Wirtschaftlichkeit mit steigender Dämmstärke ab. Da der Wert der eingesparten Kilowattstunde aber auch noch bei hoher Dämmstärke weit unter dem Energiepreis liegt, lohnt es sich, so weit wie die Konstruktion es zulässt, zu dämmen.

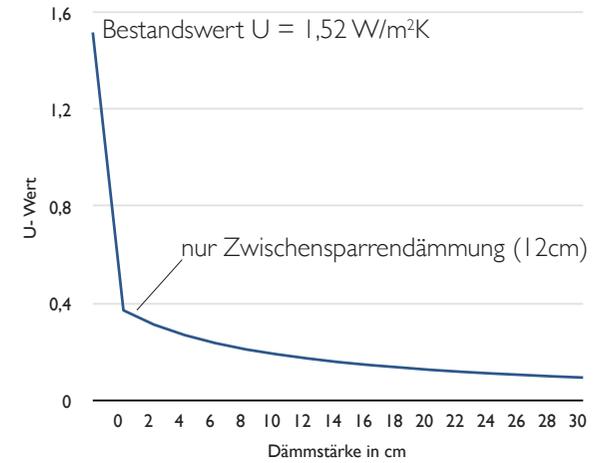


Abb. 92b: Entwicklung des U-Wertes

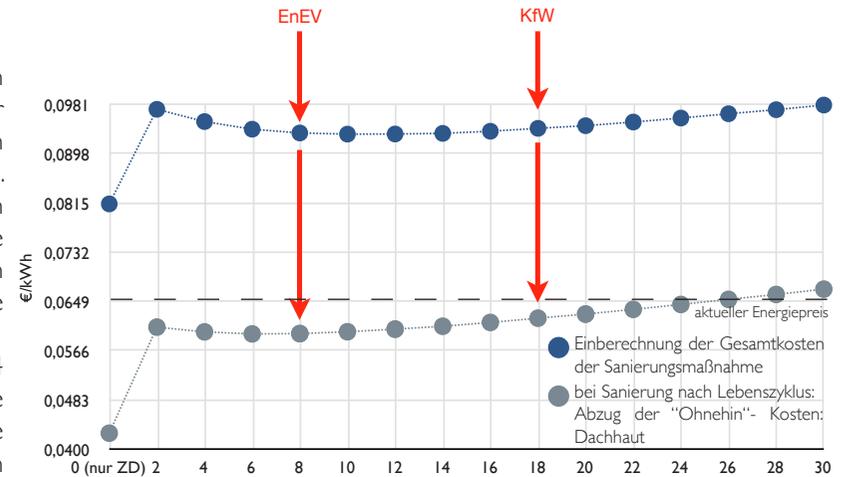
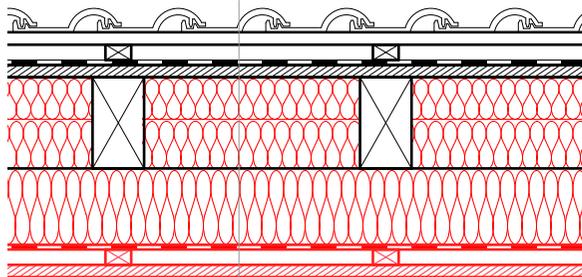


Abb. 92c: Preis der eingesparten Kilowattstunde

7.4.2. Zwischen- und Untersparrendämmung



Dachziegel
Lattung
Konterlattung
diffusionsoffene Unterdeckbahn
Sparren und Dämmung
Untersparrendämmung
Dampfbremse
Lattung
Gipskarton

Baustoff	Dicke	λ	R
Einheit	m	W/mK	m ² K/W
			R _{Si} 0,1
Gipskarton	0,015	0,21	0,071
Installationsebene	0,015	0,2	0,075
Untersparrendämmung	0,06	0,26	1,714
Dämmung,Sparren	0,12	0,051	2,353
Schalung	0,02	0,75	0,04
			R _{Si} 0,04
			R _{t,ges} 4,453
		U=	0.225 W/m²K

Mineralwolle (Steinwolle)

PEI: 21,4 MJ/kg (baubook.at)
Dichte : 50 kg/m³
GWPI100 : 1,93 kgCO₂/kg

alternativ: Schafwolle

PEI: 19,7 MJ/kg (baubook.at)
Dichte : 30 kg/m³
GWPI100 : 0,537 kgCO₂/kg

Fläche	93,46	m ²
Transmissionsverluste Dach Bestand	13481	kWh
U- Wert _{neu}	0,48	W/m ² K
L _T	44,86	W/K
Transmissionsverluste neu	3740	kWh
jährliche Einsparungen Dach	9741	kWh/a
jährliche Einsparungen Dach in Prozent	72,25	%

+ keine erneute Dachdeckung nötig
+ Ausführung ist witterungsunabhängig

- Reduzierung der Wohnfläche, daher max. 10 cm Dämmung, Kombination mit anderer Dämmmaßnahme im Dach notwendig
- Wärmebrücken im Dach bleiben erhalten

PEI der Sanierungsmaßnahme	35886	kWh
Energetische Amortisation d. Maßnahme	0,37	Jahre
CO ₂ - Produktion durch Herstellung	574	kgCO ₂ /kg
CO ₂ - Einsparungen	2377	kgCO ₂ /kg

Kosten der Sanierungsmaßnahme	10.911	€
Eingespartes Kapital pro Jahr	628,26	€
Amortisationszeit	15,81	Jahre

Baukosten	€/m ²	
Abbruch vorh. Unterkonstruktion	30	€/m ²
Mineralwolle (12cm ZSD)	20	€/m ²
Untersparrendämmung (cm)	20	€/m ²
Dampfbremse, Gipskartonbekleidung, Anstrich	40	€/m ²
gesamt	100-120	€/m ²
Gesamtbetrag (109,11m ²)	10.911 €	

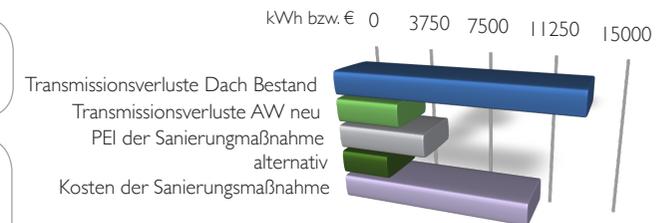


Abb. 93a: Energie und Kosten Dach

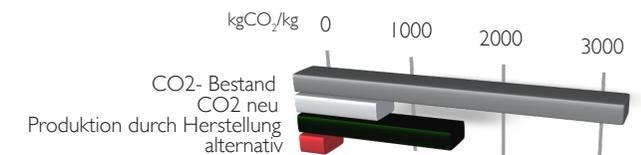


Abb. 93b :CO₂ Ausstoß durch Dach pro Jahr

Die Maßnahme einer Untersparrendämmung kann bei funktionsfähiger Dachhaut und Dachdeckung eingesetzt werden. Der Sparrenzwischenraum wird mit Dämmmatten, vorzugsweise aus Mineralwolle oder einer Dämmschüttung ausgefüllt. Wichtig ist, dass die Dämmung dicht bis an die Sparren verlegt wird.

Eine weitere Dämmschicht aus Platten oder Dämmmatten mit einer senkrecht zu den Sparren laufenden Lattung wird innen an den Sparren befestigt. Diese kann entweder aus Verbundplatten aus Dämmstoff und Gipskartonplatten, die verputzt oder verspachtelt werden oder Holzwolleleichtbauplatten mit integrierter Dampfsperre sein. Durch diese Untersparrendämmung werden die Wärmebrückeneffekte durch die Sparren des Daches vermindert, aber nicht beseitigt.

Wichtig ist, dass der Diffusionswiderstand der einzelnen Dämmschichten nach außen hin abnimmt.

Zum Schutz der Dampfbremse ist es sinnvoll, diese direkt zwischen Sparren und der Untersparrendämmung anzubringen, wenn letztere nur eine geringe Dämmstärke aufweist.

Die raumseitige Dichtungsschicht ist mit einer ausreichenden äquivalenten Luftschichtdicke auszuführen und ist sehr wichtig, um das Eindringen von Feuchtigkeit in die Konstruktion zu verhindern.

Nachteil einer Untersparrendämmung ist, dass sie den nutzbaren Wohnraum unter dem Dach verkleinert. Allerdings verursacht die Untersparrendämmung nicht so hohe Kosten wie eine Aufsparrendämmung, bei der das Dach neu eingedeckt werden muss. Sie eignet sich also vor allem dann, wenn die Dachdeckung noch eine lange Lebensdauer hat.¹

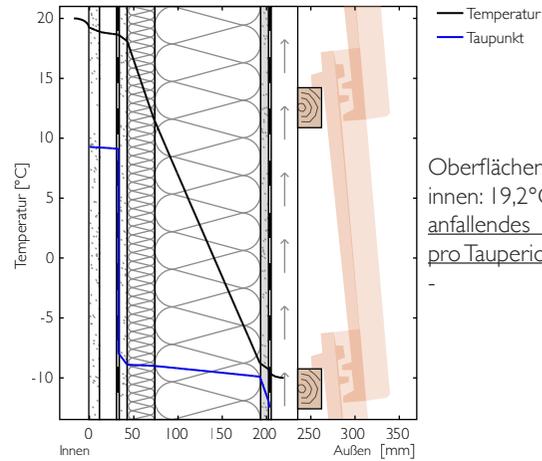


Abb. 94a: Feuchtverhalten der Aufsparrendämmung

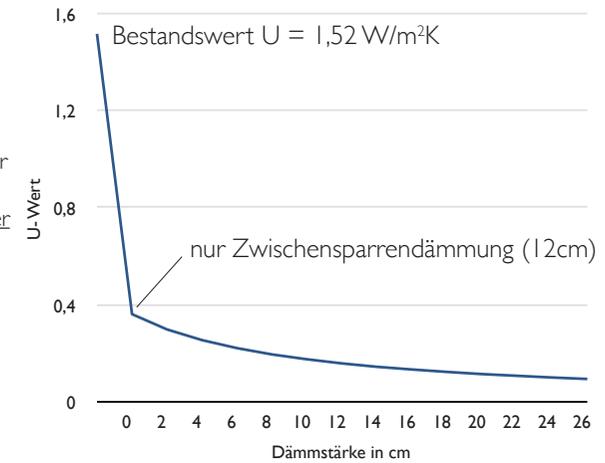


Abb. 94b: Entwicklung des U- Wertes

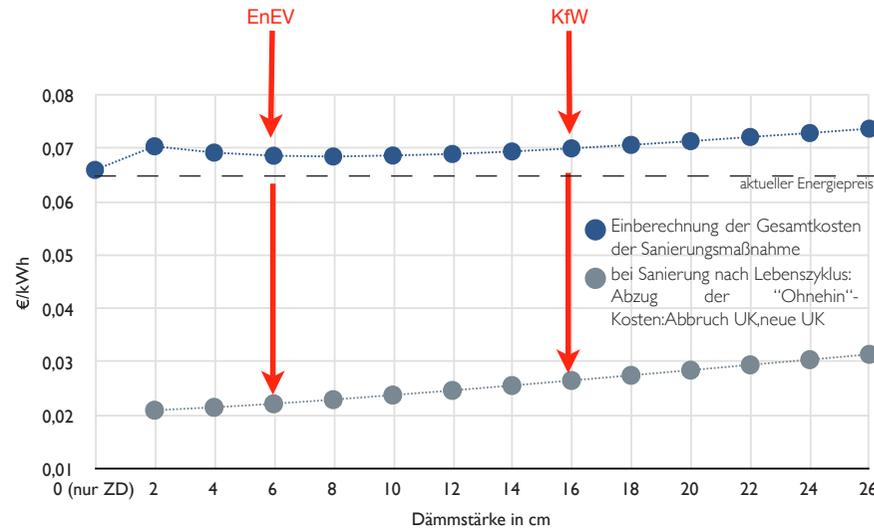


Abb. 94c: Preis der eingesparten Kilowattstunde

¹ FEIST, S. 115

3.1. Gegenüberstellung der Sanierungsmöglichkeiten DACH

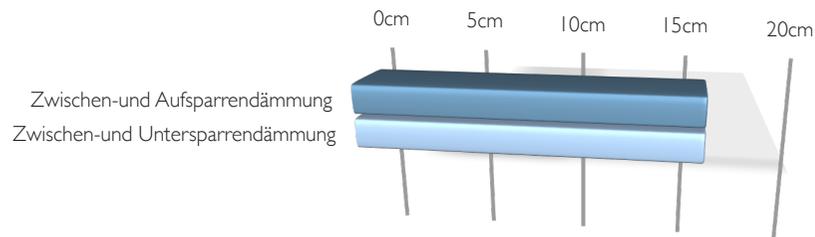


Abb. 95a: notwendige gesetzliche Dämmstärke bei Sanierung

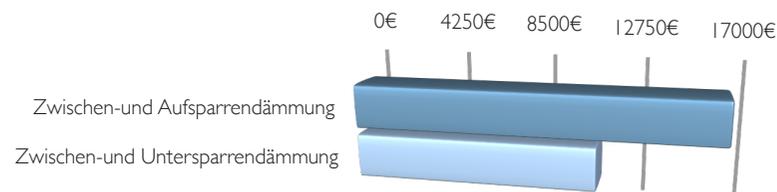


Abb. 95b: Kosten der Sanierungsmaßnahme in €

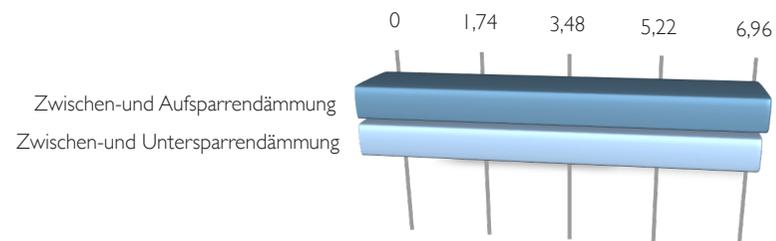


Abb. 95c: Wirtschaftlichkeit der Dämmmaßnahme in cent/kWh

Die Dämmung des Dachs ist bei einer energetischen Sanierung eines Gebäudes eine der wichtigsten Dämmmaßnahmen, da zum einen je nach Haustyp das Dach oft den größten Hüllflächenanteil einnimmt und zum Anderen Raumwärme nach oben (Richtung Dach) aufsteigt und daher bei einer schlechten Dachdämmung durch Transmission verloren geht.

Beide Dämmmaßnahmen des Dachs erfordern die gleiche gesetzliche Mindestdämmstärke (Auffüllen der Sparrenzwischenräume + 6cm Unter- bzw. Aufsparrendämmung) im Falle einer Sanierung des Bauteils bzw. Änderung um mehr als 10%.

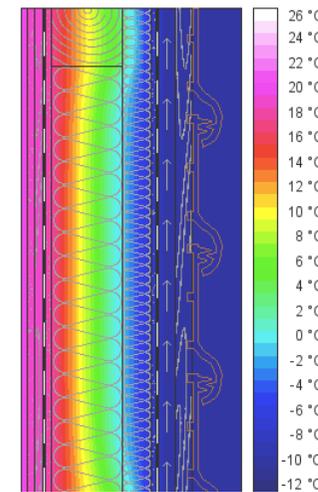


Abb. 95d: Temperaturverlauf des Daches bei Aufsparrendämmung

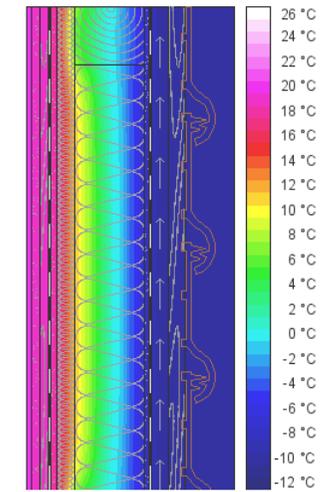
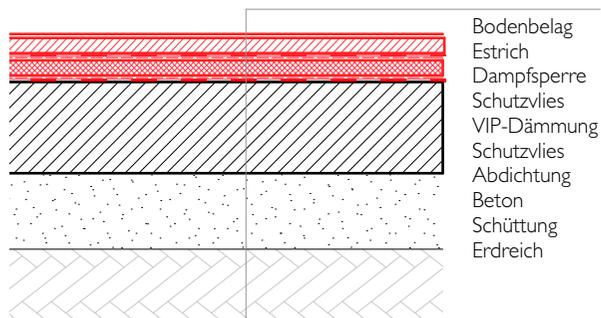


Abb. 95e: Temperaturverlauf des Daches bei Untersparrendämmung

Die Vorteile der Untersparrendämmung liegen in den niedrigeren Kosten, die dadurch entstehen, dass keine erneute Dacheindeckung notwendig ist. Will man jedoch große Einsparungen erzielen und dämmt man über die gesetzliche Mindestdämmstärke hinaus, geht bei dieser Dämmvariante relativ viel Raumvolumen verloren. Daher ist die Untersparrendämmung eher nur bei niedrigen Dämmstärken zu empfehlen. Abb. 100b zeigt einen weiteren Nachteil der Untersparrendämmung: Die Wärmebrückeneffekte über die Sparren können nicht verringert werden, die Isobaren verlaufen im Bereich der Sparren nicht senkrecht zur Konstruktion. Die Temperatur an den Sparreninnenseiten ist deutlich niedriger als bei einer Aufsparrendämmung.

Eine Aufsparrendämmung hat die Vorteile der besseren Wärmebrückenabdämmung und, dass kein Raumvolumen verloren geht. Aufgrund der erhöhten Kosten durch die nötige Außenerneuerung des Daches ist sie aber erst dann zu empfehlen, wenn höhere Dämmstärken angestrebt werden, da in diesen auch erst das wirtschaftliche Optimum liegt (vgl. Abb. 92c) und sich eine Neueindeckung des Daches lohnt.

7.5. Dämmung der Bodenplatte durch Vakuum-Isolationspaneele



Baustoff	Dicke	λ		R
Einheit	m	W/mK		m ² K/W
			R _{si}	0,17
Fliesen	0,01	1,2		0,008
Estrich	0,02	1,3		0,015
VIP	0,02	0,006		3,333
Beton	0,12	2,1		0,057
			R _{se}	0
			R _{t,ges}	3,584
			U=	0.279 W/m²K

Vakuumdämmplatten

PEI: 4653 kWh/m³
Dichte : 250 kg/m³
GWPI00 : 3,62 kgCO₂/kg
Kosten: ca. 130€/m²
 baubook.at

Fläche	70,16	m ²
Transmissionsverluste BP Bestand	12169	kWh
U- Wert _{neu}	0,28	W/m ² K
L _T	19,64	W/K
Transmissionsverluste neu	854	kWh
jährliche Einsparungen BP	11.315	kWh/a
jährliche Einsparungen BP in Prozent	92,98	%

PEI der Sanierungsmaßnahme	6665	kWh
Energetische Amortisation d. Maßnahme	0,29	Jahre
CO ₂ - Produktion durch Herstellung	1270	kgCO ₂ /kg
CO ₂ - Einsparungen	5520	kgCO ₂ /kg

Kosten der Sanierungsmaßnahme	13471	€
Eingespartes Kapital pro Jahr	1459	€
Amortisationszeit	8,98	Jahre

Aufgrund der bestehenden geringen Raumhöhe kann auf der Bodenplatte kein gewöhnlicher Dämmstoff eingesetzt werden. Vakuum- Isolations- Paneele (VIPs) haben aufgrund des Vakuums eine 5 - 10 mal stärkere Dämmleistung. Daher ist eine geringere Dämmstärke notwendig.

Bei Altbausanierung wird meist eine Dämmung auf der Bodenplatte angebracht, was feuchtetechnisch eine klassische Innendämmung darstellt, und wodurch es zu Wärmebrücken im Bereich der aufgehenden Wände kommt.

Da man im gewachsenen Erdreich von bis zu 100 % vorliegender Bodenfeuchtigkeit ausgehen muss, muss eine intakte Bodenabdichtung vorhanden sein, da sonst

Baukosten		
Abbruch des Estrichs+ Bodenbelag	22	€/m ²
VIP-Dämmplatten (2cm) anbringen	130	€/m ²
neuer Estrich + Bodenbelag	40	€/m ²
gesamt	192	€/m²
Gesamtbetrag (70,16m ²)	13471	€

die Feuchtigkeit über Hohlräumdiffusion oder kapillaren Wassertransport (wenn keine kapillarbrechende Schicht wie Kies oder Schotter unter der Bodenplatte vorhanden ist) in und über die Bodenplatte gelangen kann. Beim nachträglichen Anbringen einer Abdichtung muss die Bodenplatte frei von Staub und anderen organischen Substraten sein.

Anders als bei Innendämmungen von Außenwänden sollte bei Bodendämmungen keine Dampfbremse über der Dämmung angebracht werden. Alternativ wird hier zur

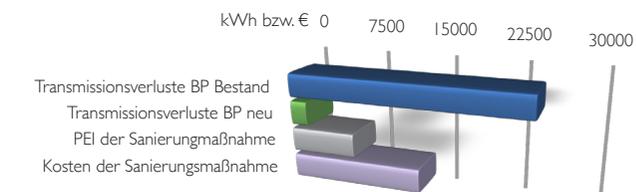


Abb. 97a: Energie und Kosten BP

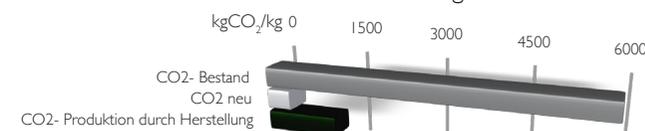


Abb. 97b: CO2 Ausstoß durch BP pro Jahr

Sicherstellung eines ausreichenden Luftwechsels (evtl. durch Lüftungsanlage) empfohlen, um die Raumluftfeuchte auch im Winter niedrig zu halten.¹

Eine Ergänzung zur Bodenplattendämmung für die Vermeidung von Wärmeverlusten durch das Erdreich ist eine Dämmschürze, die vertikal oder bis zu einem Winkel von 45° am Fundament ins Erdreich herunter gezogen werden. Sinn macht dies jedoch nur, wenn ohnehin ein Bodenaushub erfolgt.²

VIPs bestehen aus einem mikroporösen Füllkern aus einem offenporigen Kunststoffschaum, Glasfasern oder Perlit und sind druckbelastbar. Eine Hochbarrierefolie aus Kunststoff und eine Aluminiumfolie sorgen für den luftdichten Abschluss und ist entscheidend für die Qualität und die Langlebigkeit des VIPs.³

1 FEIST, Altbaumodernisierung, S. 99f

2 FEIST, S. 101

3 <http://www.va-q-tec.com/de/Platten-daemmung-Boden-40.html>

Ein erheblich größerer Kostenaufwand ergibt sich durch die Vakuumpaneele an sich, aber auch besonders durch die Sonderanfertigungen, die nötig werden, um einen gesamten Raum damit komplett auszulegen, da sie sich nicht zuschneiden lassen.

Sehr wichtig Bei Vakuum- Isolations- Paneelen ist die Unversehrtheit der Hülle. Bei beschädigten Paneelen sinkt sonst die Dämmwirkung auf die eines herkömmlichen Dämmstoffes ab.

Des Weiteren ist die effektive Dämmwirkung von VIPs stark abhängig von der Größe der auf der Wand/dem Boden aufgetragenen Paneelen und deren Einbauweise und entspricht daher nicht dem vom Hersteller angegebenen Wärmedurchgangskoeffizienten. Grund dafür sind die entstehenden Wärmebrücken, die durch Luftschlitze sowie die Aluminiumfolie am Rand bei zwei aufeinander treffenden Paneelen entstehen.⁴

4 http://www.vip-bau.de/d_pages/technik/vip/aufbau.htm

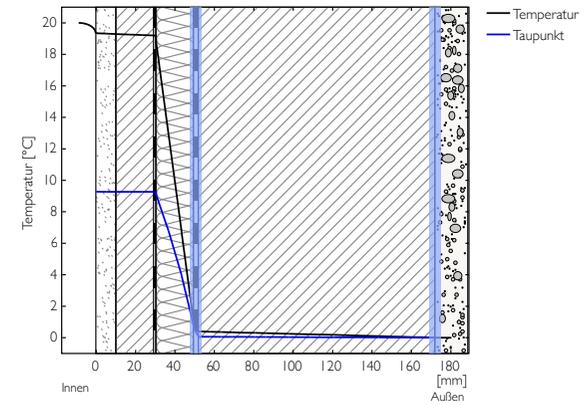


Abb. 98a: Feuchtverhalten der Bodenplatte

Oberflächentemperatur innen: 19,3°C
anfallendes Tauwasser: -

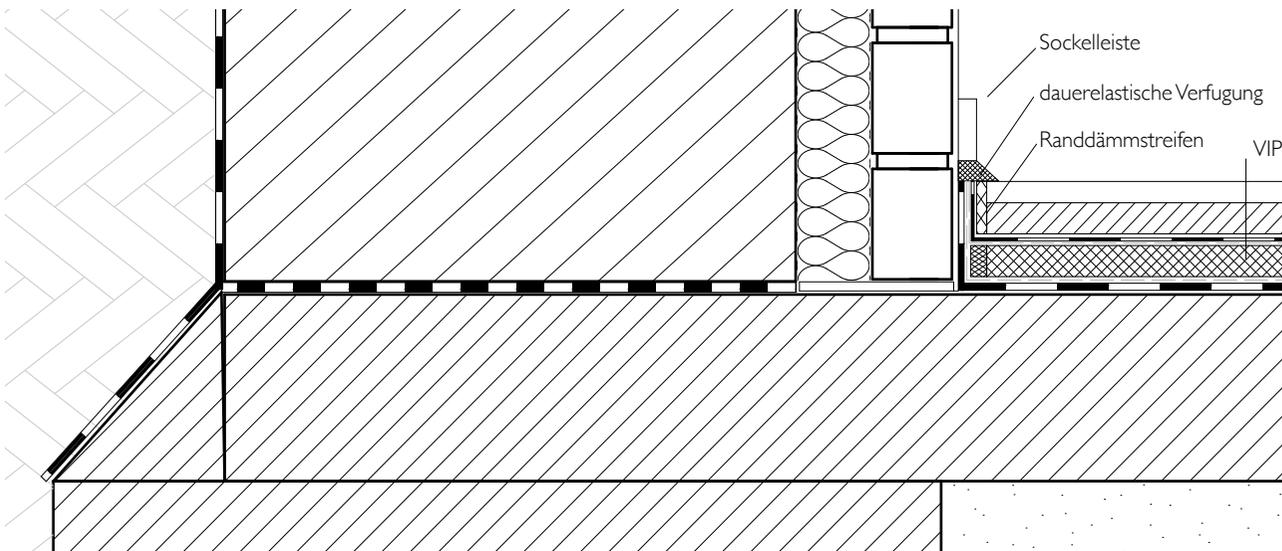


Abb. 98b: Detail Anschluss Bodenplatte Kellerwand M 1:5

Wirtschaftlichkeit

13471 €
K= 929,5 €
Einsparungen = 3182 kWh/a
Kosten der eingesparten kWh : 29,72cent

Obwohl der U- Wert der Bodenplatte auf ein Achtel des Bestandwertes gesenkt werden kann, bringt die Maßnahme aufgrund des Korrekturfaktors der Bodenplatte 0,5 (weniger Verluste durch Erdreich als durch an Luft grenzende Bauteile) verhältnismäßig wenig Einsparungen und ist daher wirtschaftlich gesehen nicht sinnvoll.

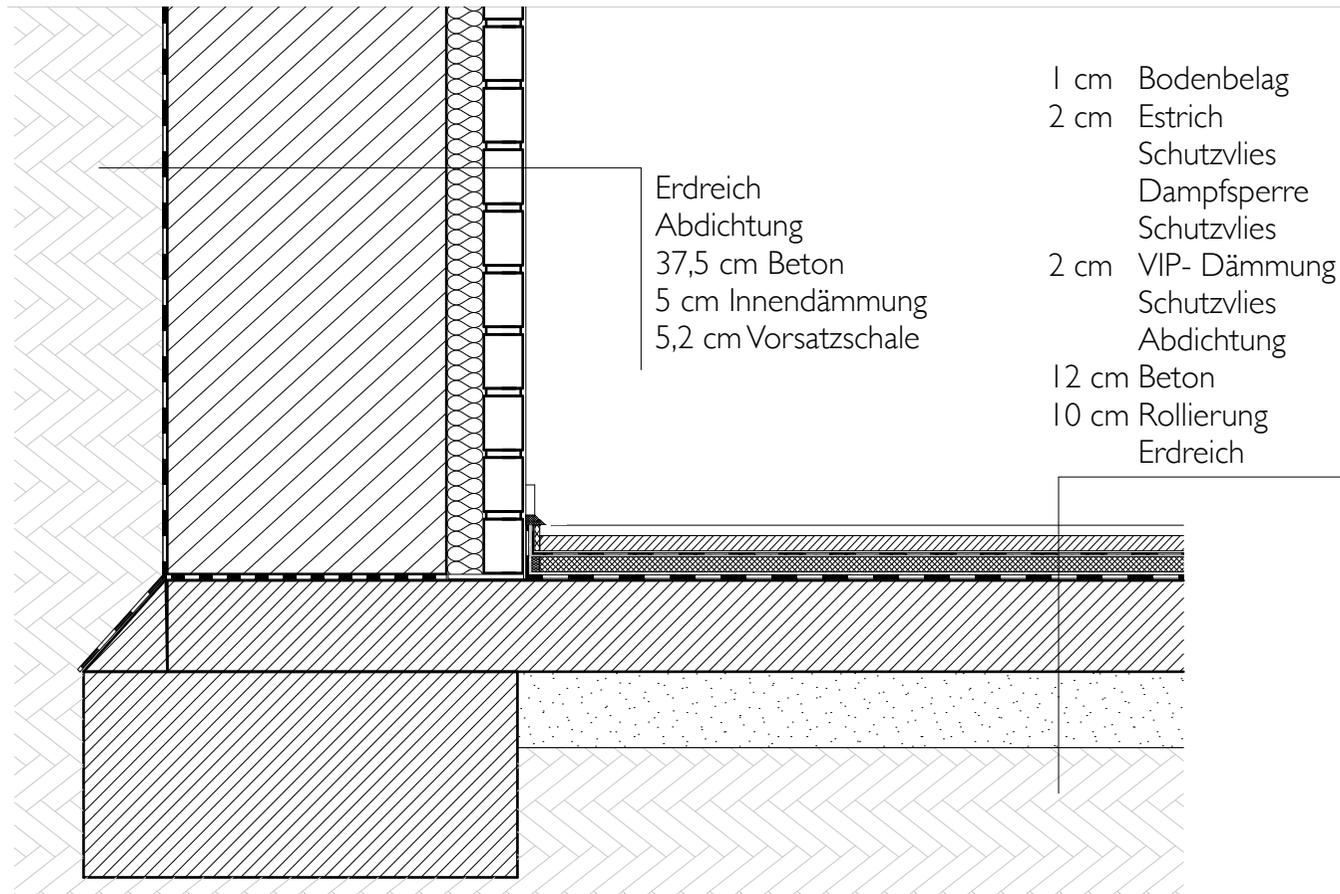
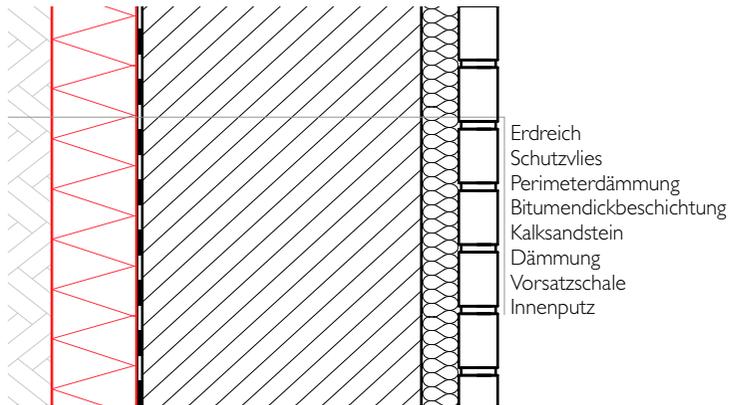


Abb. 99: Detail Anschluss Bodenplatte Kellerwand M 1: 10

7.6. Perimeterdämmung der Kellerwand



Baustoff	Dicke	λ		R
Einheit	m	W/mK		m ² K/W
			R_{Si}	0,13
Vorsatzschale Kalksandstein	0,052	0,9		0,058
Dämmung	0,05	0,04		1,25
Beton	0,37	2,1		0,176
Perimeterdämmung	0,08	0,04		2,000
			R_{Si}	0,04
			$R_{t,ges}$	3,654
U=				0.274 W/m²K

- + starke Verringerung der Wärmebrücken
- + Schutz der Abdichtung vor mechanischer Beschädigung

- aufwendige und kostenintensive Erdarbeiten nötig
- ausreichend Platz und Abstand zur Nachbarbebauung nötig

Fläche	43,46	m ²
Transmissionsverluste KW Bestand	1836	kWh
U- Wert _{neu}	0,273	W/m ² K
$L_T (F_x = 0,8)$	9,56	W/K
Transmissionsverluste neu	831	kWh
jährliche Einsparungen KW	1005	kWh/a
jährliche Einsparungen KW in Prozent	54,74	%

PEI der Sanierungsmaßnahme	kWh
Energetische Amortisation d. Maßnahme	Jahre
CO ₂ - Produktion durch Herstellung	kgCO ₂ /kg
CO ₂ - Einsparungen	kgCO ₂ /kg

Kosten der Sanierungsmaßnahme	6598	€
Eingespartes Kapital pro Jahr	64,82	€
Amortisationszeit	58,58	Jahre

Baukosten ¹		
Ausschachten und Aushub lagern	85	€/m ³
Deponie	25	€/m ³
gesamt	110	€/m³
Gesamtbetrag (43,64m³)	4781	€
Bitumendickbeschichtung	10	€/m ²
Perimeterdämmung 10 cm XPS	30	€/m ²
gesamt	40	€/m²
Gesamtbetrag (43,64 m ²)	1738	
Containeran- und abfahrt	80	€
Gesamtbetrag Perimeterdämmung	6598	€

¹ GRAEFE, Kellersanierung, S. 73

Polystyrol-Hartschaum

PEI: 93,6 MJ/kg
Dichte : 20 kg/m³
GWPI00 : 4,2 kgCO₂/kg
Kosten: ca. 30€/m²

alternativ: Schaumglas

PEI: 113 kWh/m³¹
Dichte : 100 kg/m³
GWPI00 : 2,43 kgCO₂/kg
Kosten: ca. 57€/m²

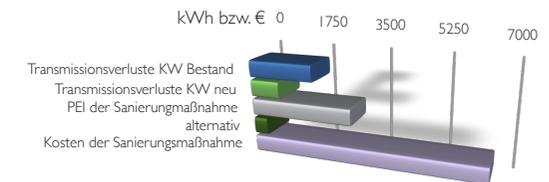


Abb. 100a: Energie und Kosten KW

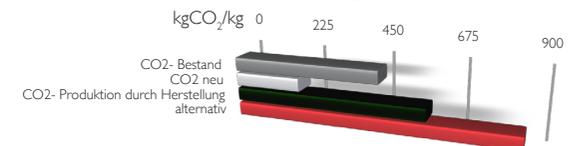


Abb. 100b: CO₂ Ausstoß durch KW pro Jahr

Die bestehende Kelleraußenwand ist innen hinter einer Vorsatzschale gedämmt und weist einen U-Wert von 0,6 W/m²K auf. Möchte man diesen Wert weiter herabsenken, gibt es nur die Möglichkeit einer äußeren Perimeterdämmung. Diese Maßnahme ist sehr arbeits- und kostenintensiv, da ein Bodenaushub erfolgen muss. Daher lohnt sich diese Maßnahme am meisten, wenn ohnehin ein Bodenaushub zwecks

Feuchtigkeitsabdichtung erfolgen soll, da die Kosten für die Dämmung an sich sehr gering sind und der größte Teil durch den Bodenaushub bedingt sind.

Für das Dämmen der Kelleraußenwände ist eine Baugenehmigung erforderlich.

Es erfolgt eine Dickbeschichtung auf der äußeren Mauerwerkswand. Bei vorhandener Abdichtung wird diese dadurch ausgebessert.

Auf die Abdichtung wird mittels punktuellen Kleber (bei Bitumendickbeschichtungen übernehmen diese gleichzeitig die Klebefunktion) die Wärmedämmung angebracht. Diese besteht aus als Perimeterdämmung zugelassenen Dämmplatten wie Hartschaumplatten aus extrudiertem Polystyrol (XPS) oder Schaumglas (recyceltes Altglas), welches etwas teurer ist.¹ Sie müssen feuchteresistent und frostbeständig sein, dem Erddruck standhalten und

1 GRAEFE, Kellersanierung, S. 97

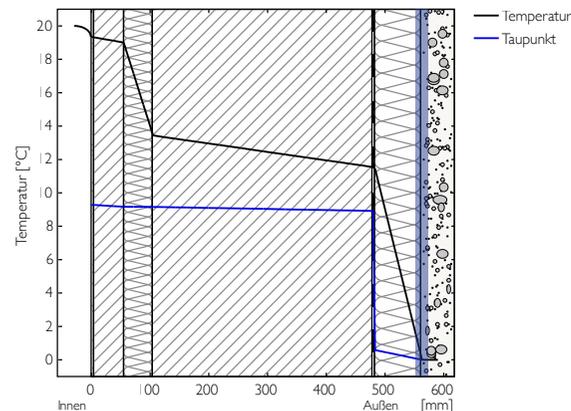


Abb. 101a: Feuchtverhalten der Kellerwand bei zusätzlicher Innendämmung

Oberflächentemperatur innen: 19,5°C
anfallendes Tauwasser pro Tauperiode:
 - der Taupunkt liegt außerhalb der Konstruktion an der Außenseite der Perimeterdämmung. Die Dämmplatten sollten feuchteresistent sein.

die anfallenden Verkehrslasten aufnehmen können. Die Dämmplatten bewahren zusätzlich zur dämmenden Wirkung auch einen mechanischen Schutz vor Beschädigungen für die Abdichtung. Zusätzlich kann die Dämmung außen durch einen Anfüllschutz aus Kunststoff-Noppenbahnen vor dem Zuschüttung des Erdreiches geschützt werden. Empfehlenswert ist es, zusätzlich zur Wärmedämmung im Sohlenbereich eine Ringdränage mit überliegender Kiesschicht einzubauen.

Liegt drückendes Wasser vor, müssen die Dämmplatten vollflächig mit der abgedichteten Wand verklebt werden, um ein Aufschwimmen der Platten zu vermeiden.

Die Perimeterdämmung muss 30 cm über das Erdreich an die Außenwand hochgezogen und außen mit einem Sockelputz versehen werden.²

Eine weniger aufwendige Dämmmaßnahme ist

2 GABRIEL, LADENER, S. 69 f

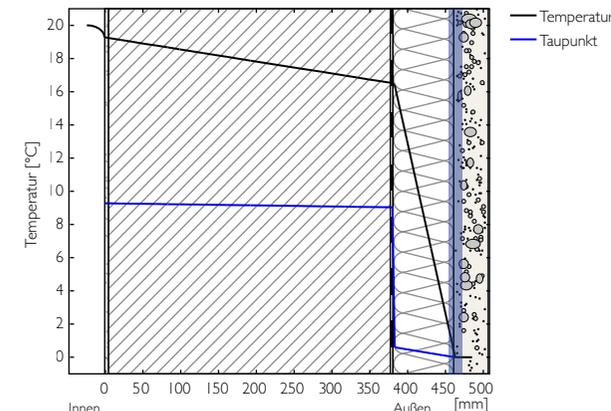


Abb. 101b: Feuchtverhalten der Kellerwand ohne Innendämmung

Oberflächentemperatur innen: 19,3°C
anfallendes Tauwasser pro Tauperiode:
 - der Taupunkt liegt außerhalb der Konstruktion an der Außenseite der Perimeterdämmung. Die Dämmplatten sollten feuchteresistent sein.

die Schirmdämmung. Im Traufenpflaster werden feuchtebeständige und trittsichere Dämmplatten in den Erdboden eingelassen. Dadurch wird das darunter liegende Erdreich durch kalte Außenlufttemperaturen von oben kommend gedämmt.

Es ist ein U-Wert von 0,3 W/m²K nötig, um die Anforderungen der EnEV bei Sanierung zu erfüllen. Die Förderung durch KfW setzt einen U-Wert von 0,25 W/m²K voraus.

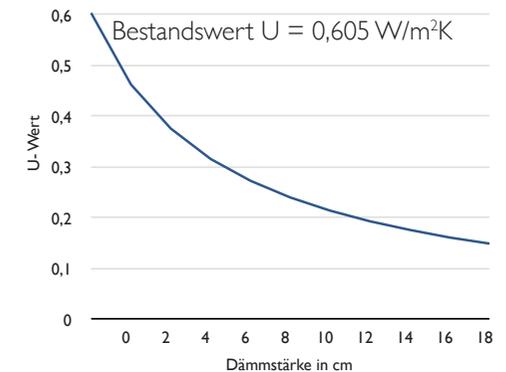


Abb. 101c: Entwicklung des U-Wertes

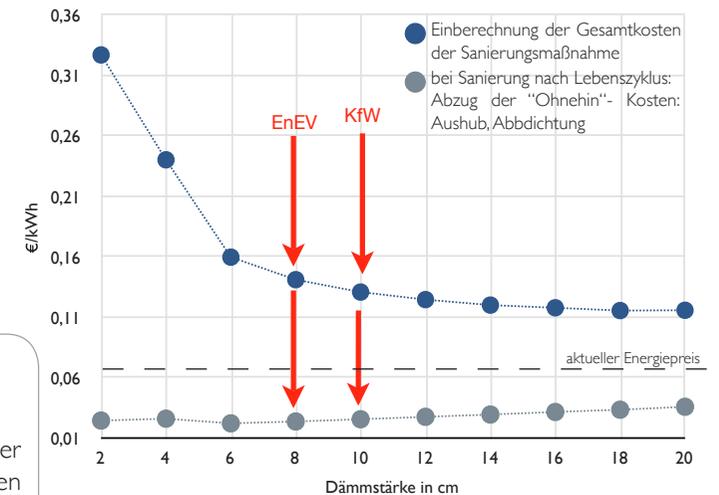
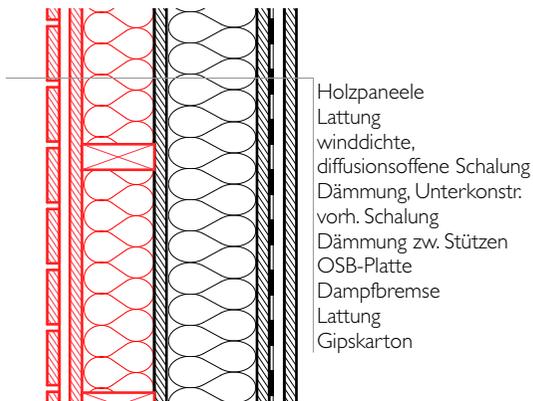


Abb. 101d: Preis der eingesparten Kilowattstunde

7.7. Dämmung der Gaubenwand (hinterlüftete Fassade)



Baustoff	Dicke	λ		R
Einheit	m	W/mK		m ² K/W
			R _{Si}	0,13
Schalung	0,015	0,13		0,115
Dämmung	0,11	0,04		2,75
Schalung	0,015	0,13		0,115
Dämmung und Stützen	0,12	0,18		0,667
OSB-Platte	0,02	0,13		0,154
Installationsebene	0,02	0,36		0,056
Gipskarton	0,015	0,21		0,071
			R _{Si}	0,04
			R _{t,ges}	4,131
U=				0.242 W/m²K

Fläche	11,67	m ²
Transmissionsverluste Gaube Bestand	801	kWh
U- Wert _{neu}	0,28	W/m²K
L _T	3,28	W/K
Transmissionsverluste neu	285	kWh
jährliche Einsparungen Gaube	516	kWh/a
jährliche Einsparungen AW in Prozent	64,42	%

PEI der Sanierungsmaßnahme	210	kWh
Energetische Amortisation d. Maßnahme	0,27	Jahre
CO ₂ - Produktion durch Herstellung	-142	kgCO ₂ /kg
CO ₂ - Einsparungen	192,81	kgCO ₂ /kg

Kosten der Sanierungsmaßnahme	1751	€
Eingespartes Kapital pro Jahr	33,28	€
Amortisationszeit	38,10	Jahre

+ hinterlüftete Fassaden lassen sich im Gegensatz zu WDVS auch bei Temperaturen unter 5°C montieren
 + Feuchtigkeit in der Konstruktion kann wirksam abgeführt werden
 + bauphysikalisch unproblematisch

- es entstehen Wärmebrücken, da die Unterkonstruktion der Fassade der Dämmebene durchdringt
 - teurer als WDVS

Baukosten		
Abbruch und Entsorgen der vorh. Fassade	35	€/m ²
Mineralwolle 8 cm	20	€/m ²
Bekleidung auf UK, Holz,gestrichen	95	€/m ²
gesamt	150	€/m²
Gesamtbetrag (11,67m ²)	1751	€

Mineralwolle

PEI: 46,2 MJ/kg
 Dichte : 32 kg/m³
 GWPI100 : 2,45 kgCO₂/kg

alternativ: Korkplatten

PEI: 6,45 MJ/kg = 1,8 kWh/kg
 Dichte : 100 kg/m³
 GWPI100 : -1,22 kgCO₂/kg

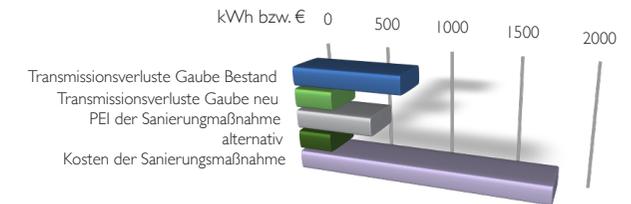


Abb. 102a: Energie und Kosten Gaube

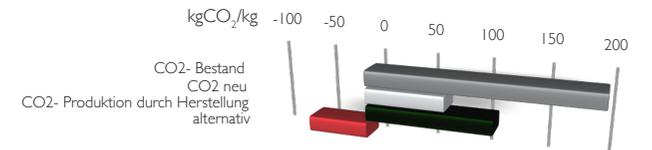


Abb. 102b: CO2 Ausstoß durch Gaube pro Jahr

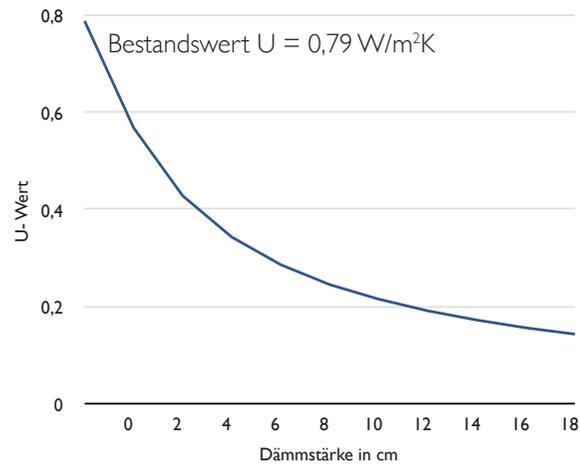


Abb. I03a: Entwicklung des U- Wertes

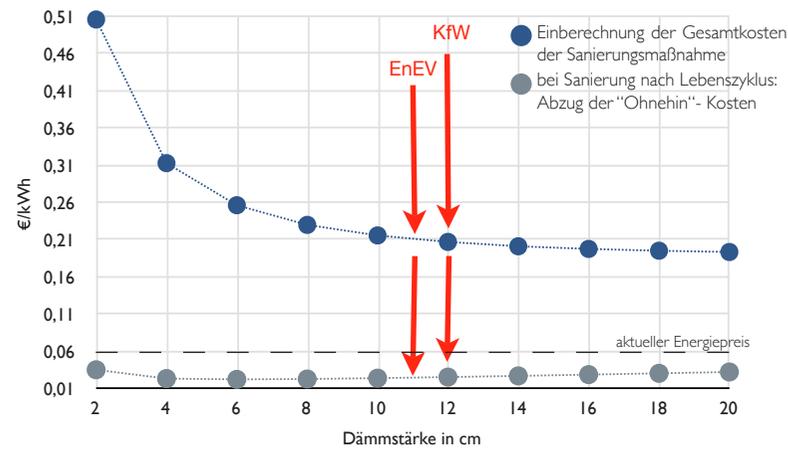


Abb. I03b: Preis der eingesparten Kilowattstunde

Die vorhandenen Fassadenplatten werden entfernt und den Gaubenwangen wird eine Konstruktion aus Dämmplatten mit einer winddichten Schalung und einer hinterlüfteten Fassade aus Holzpaneelen vorgesetzt. Dämmstoffhalter sind Aluminiumunterkonstruktionen bei der Befestigung der Dämmplatten vorzuziehen, da diese nicht so starke Wärmebrückeneffekte hervorbringen. Aufgrund des Kamineffektes müssen die Materialien hinter der Bekleidung feuerbeständig sein. Nach EnEV müssen Gaubenwangen bei Sanierung einen U-Wert von $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ aufweisen.

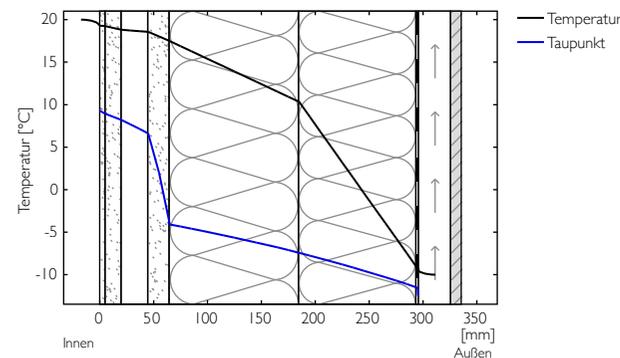


Abb. I03c: Feuchtverhalten der Gaubenwand bei zusätzlicher Dämmung

Oberflächentemperatur innen:
19,1°C

7.8. GEGENÜBERSTELLUNG DER WÄRMEVERLUSTE NACH SANIERUNGSMABNAHMEN

Die Grafiken zeigen die Wärmeverluste (Transmissionswärme- und Lüftungswärmeverluste) in kWh des Bestands (Abb.104a), nach einer Sanierung mit den gesetzlich einzuhaltenden U- Werten (Abb.104b) und nach einer aufwendigeren und kostenintensiveren Sanierung zu einem KfW- Effizienzhausstandard mit Förderung (Abb. 104c).

Mit einer Sanierung nach EnEV- Standard mit Kerndämmung der Außenwand, Austausch der Fenstergläser, Dachdämmung, Perimeterdämmung und Dämmung der Bodenplatte können knapp 70 % der Wärmeverluste eingespart werden. Die Lüftungsverluste machen bei weiterer Fensterlüftung knapp 1/3 der gesamten Wärmeverluste aus.

Die Sanierung nach Mindestanforderungen bei KfW- Förderung ist weit kostenintensiver und fordert bei Einbau einer Lüftungsanlage den Komplett- Austausch der Fenster; sowie eine großzügigere Dachdämmung (Aufsparrendämmung) und zusätzlich zur Kerndämmung eine weitere Dämmung der Außenwand (Wärmedämmverbundsystem), um einen KfW- Effizienzhausstandard zu erreichen. Bei Installation einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung können die Lüftungswärmeverluste bis auf ein Minimum reduziert werden.

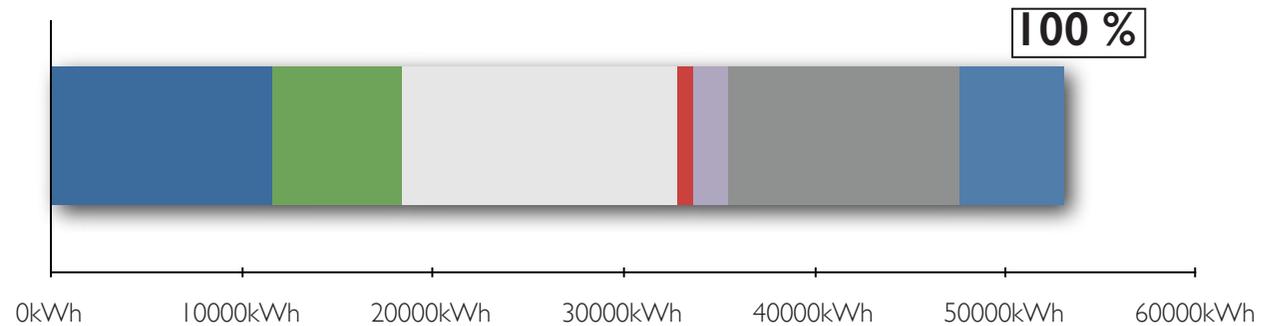


Abb. 104a: Wärmeverluste nach Bauteilen Bestand

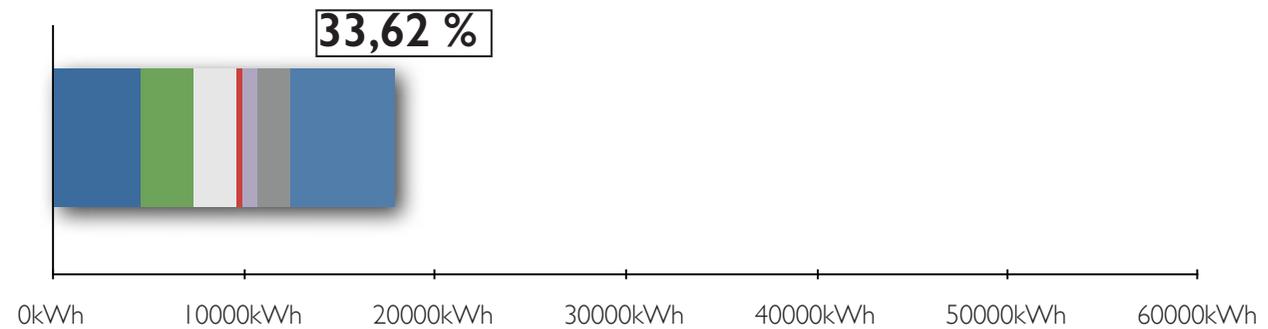


Abb. 104b: Wärmeverluste nach Sanierung mit EnEV- Mindestanforderungen, nach Bauteilen

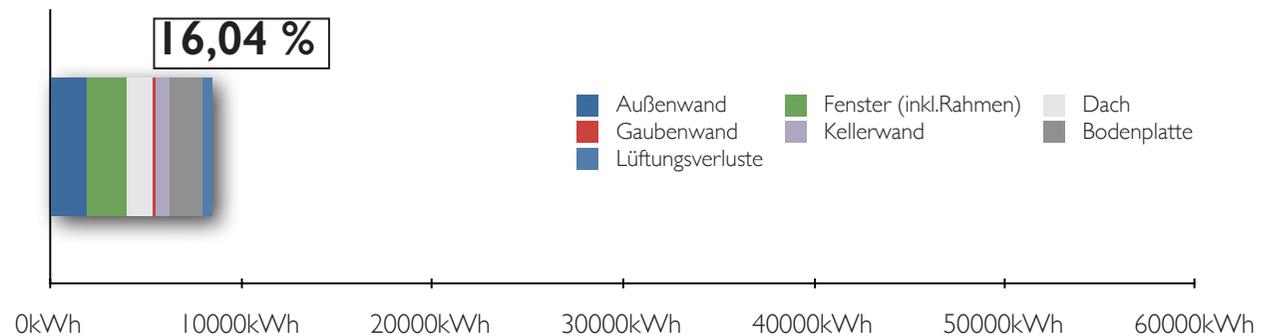


Abb. 104c: Wärmeverluste nach Sanierung mit Mindestanforderungen bei KfW- Förderung

7.9. GEBÄUDETECHNISCHE ANLAGEN

7.9.1. Nutzung der Sonnenenergie

7.9.1.1. Verschattung des Gebäudes - Verlauf über das Jahr



Aus dem Verschattungsverlauf über das Jahr ist zu entnehmen, dass die umliegenden Gebäude das Dach des Bestandsgebäudes nur bei einer sehr tief stehenden Sonne wie im Dezember teilweise verschatten. Dies betrifft jedoch nur die unteren 2 -3 m des Daches. Der Großteil des Daches ist das ganze Jahr über tagsüber besonnt.

Die Sonnenenergie kann dementsprechend in Form von Photovoltaikmodulen oder Solarthermie-Kollektoren ertragreich genutzt werden. Welche Erträge zu erwarten sind, zeigen die folgenden Seiten.

Abb. 105: Verschattungsdiagramm Bestandshaus

7.9.1.2. Photovoltaik

Da das Dach sogar im Winter größtenteils unverschattet bleibt, bietet sich hier eine PV-Anlage an. Die Neigung des Daches beträgt 52°. Das Gaubendach, welches eine Neigung von 35° aufweist, kann ebenfalls genutzt werden. Photovoltaik-Anlagen dienen der Stromerzeugung und können Sonnenstrahlung in elektrische Energie umwandeln. Dieser Effekt wurde bereits 1839 von Edmond Becquerel entdeckt und später für die Raumfahrttechnik weiterentwickelt. Ziel waren energieautonome Raumstationen mittels solar erzeugtem Strom.

Die Funktionsweise basiert auf dem fotoelektrischen Effekt, bei dem energiereiche Strahlung die Elektronen eines Halbleiters (meist Silizium) aus ihrer Atomhülle freisetzen und damit einen Gleichstrom bewirken. Eine einzelne Zelle ist typischerweise 10x10 oder 15 x 15 cm groß und erreicht bei maximaler Sonneneinstrahlung eine Leistung von 1,5 W. Viele solcher Zellen, parallel und in Reihe geschaltet, werden zum Schutz in Glas- oder Kunststoffabdeckungen eingebettet und als Modul bezeichnet. Die meisten Modulhersteller produzieren Größen von 0,5m² bis 1,5 m². Beliebig viele solcher Module können nebeneinander installiert werden.¹

Über einen Wechselrichter wird der in den Zellen produzierte Gleichstrom in Wechselspannung umgewandelt (230V, 50Hz), um den erzeugten Strom für Haushaltsgeräte nutzen zu können oder ihn in das öffentliche Netz einzuspeisen. Hierbei fallen Verluste von 5-15% an.

Es gibt verschiedene Technologien von Photovoltaikzellen, die sich in Herstellungsmaterial, Zellstruktur und elektrischen Wirkungsgraden unterscheiden:

- **kristalline Siliziumzellen** (mono- oder polykristalline): Monokristalline Zellen erzielen den höchsten Ertrag (Wirkungsgrad 15-17 %), sind aber teurer als andere Zellen.

Polykristalline Zellen sind mit einem Marktanteil von 60 % die am meist verbreitetsten, da sie ein gutes Verhältnis von Ertrag (Wirkungsgrad 13-15 %) und Anschaffungskosten aufweisen

- **Dünnschichtsolarzellen** aus amorphem Silizium wurden in der 1970er Jahren entwickelt und sparen in der Produktion Material- sowie Energiekosten ein. Sie weisen den niedrigsten Wirkungsgrad auf, sind aber sehr flexibel in der Gestaltung und können auf beliebig glatte Oberflächen aufgebracht werden

Es gibt auch neue Entwicklungen von Halbleiterverbindungen für Photovoltaikanlagen wie Cadmium- Tellurid (CdTe) oder Kupfer- Indium- Selen (CIS)- Zellen, jedoch haben sie noch einen Marktanteil von < 1%.

Die Leistung von Photovoltaikzellen wird in kW_p (p für Peak) beschrieben. Je nach Wirkungsgrad der Zelle bzw. des Moduls ändert sich der Flächenbedarf von Photovoltaikzellen für die gewünschte Leistung.

Die tatsächlich erzielte Leistung hängt jedoch noch von anderen Faktoren ab :

- der Globalstrahlung am geografischen Standort
- der Orientierung und Neigung (siehe Abb. 02)
- der Verschattung
- Oberflächentemperatur der Anlage/Einbausituation (erhöhte Temperatur senkt den Wirkungsgrad, -> Hinterlüftung notwendig)²

EINSPEISEN UND SELBST NUTZEN Ob das Gebäude an das öffentliche Stromnetz angeschlossen ist oder nicht, entscheidet über das Konzept der Photovoltaikanlage.

Beim sogenannten Inselssystem ist das Gebäude ganzjährig autark in der Stromversorgung. Der Strom muss also, da Versorgungs- und Ertragszeiten

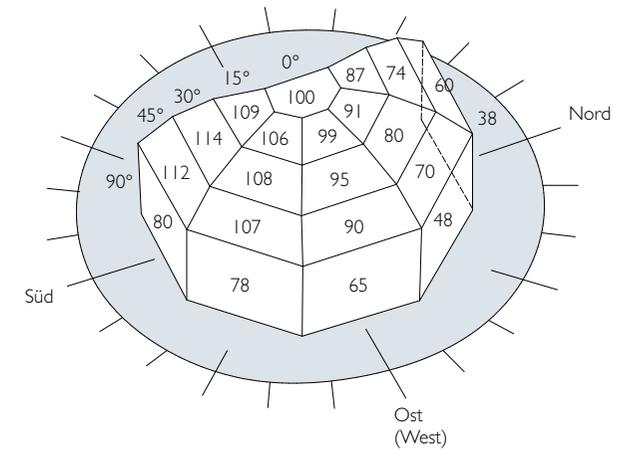


Abb. 106a : relative Werte zur jährlichen Einstrahlung in Bezug auf die Horizontale

schwanken, gespeichert werden bzw. sollte über einen weiteren Energieerzeuger nachgedacht werden, um eine Versorgungssicherheit zu garantieren. Ist das Gebäude an das öffentliche Netz angeschlossen kann die überschüssige Energie ins Netz eingespeist werden und bei Strombedarf die benötigte Menge vom Netz bezogen werden.

Die Einspeisevergütung des EEG für solar erzeugten Strom ist dem Betreiber einer Photovoltaikanlage für 20 Jahre in gleich bleibender Höhe garantiert und richtet sich nach Standort und Größe der Anlage. Die Investition in PV-Anlagen soll sich so refinanzieren.

Die Einspeisevergütung ist in den letzten Jahren stark zurückgegangen und beträgt für Anlagen bis 10 kWp 12,5 cent/kWh (Stand : März 2015).

Da der Strompreis zu diesem Zeitpunkt bei 25,55 cent, und somit über der Einspeisevergütung liegt, ist es sinnvoll, so viel Strom wie möglich selber zu nutzen. Eine zusätzliche

¹ HEGGER, Energieatlas, S. 151f

² HEGGER, Energieatlas, S. 152

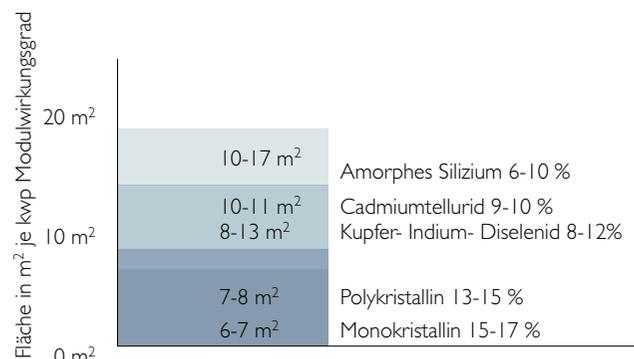


Abb. 107 : benötigte Fläche pro kW_p

Vergütung für selbst verbrauchten Strom wurde 2012 abgeschafft.

Bei Selbstnutzung ist darauf zu achten, dass große Stromverbraucher wie Waschmaschine, Wäschetrockner etc. tagsüber, bzw. wenn die Sonne scheint, betrieben wird.

Überschüssige Sonnenenergie, die nicht direkt verbraucht wird, kann in Solarbatterien aus Blei- Gel oder Lithium-Ionen gespeichert werden.

FÖRDERUNGEN Das Programm "Erneuerbare Energien Standard" (Programm 274) der KfW bietet zinsgünstige Darlehen für die Realisierung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien. Ein Kredit von maximal zehn Jahren kann bis zu 100 % gefördert werden, mit einer tilgungsfreien Laufzeit von 2 Jahren, sofern zumindest ein Teil der erzeugten Energie ins Netz eingespeist wird. Solarbatterien werden nach dem KfW- Förderprogramm 275 bei gleichzeitiger Installation einer PV- Anlage gefördert mit 30 % der Investitionskosten des Speichers, maximal jedoch bis zu 600 € pro kWp.³

³ www.kfw.de

Berechnung der Erträge einer Photovoltaikanlage

Strombedarf : ca. 3000 kWh/a (z.B. 4- Personen- Haushalt)

Dach: verfügbare Dachfläche : 28 m² ->

3- 3,5 kW_p - Anlage erreichbar (siehe Abb.)

Anlage : 3 kW_p

-> zB polykristalline Zellen (Wirkungsgrad 13-15%)

Gaubendach: verfügbare Dachfläche : 10 m² ->

1 kW_p - Anlage erreichbar (siehe Abb.)

Anlage : 1 kW_p

-> zB polykristalline Zellen (Wirkungsgrad 13-15%)

Standort: 54°19'n.B., 10°7' ö.L.18m üNN Orientierung : 95°,Neigung 52°		
Anlage : 3 kW _p , polykristalline Zellen,Aufdach- Konstruktion		
Quelle : PVgis ¹		
Verluste		
Temperaturverluste	6,6 %	
Reflexionsverluste	2,9 %	
andere (Kabel, Inverter etc.)	14 %	
gesamte Verluste	23,5 %	
	monatliche Einstrahlung kWh/m ²	produzierte Energie (Verluste berücksichtigt) kWh
JAN	28,9	69,4
FEB	54,7	128
MÄR	81,3	184
APR	127	275
MAI	156	331
JUN	132	279
JUL	145	303
AUG	138	290
SEP	100	217
OKT	69,8	157
NOV	39,7	92,8
DEZ	22,4	54,5
Σ	1100 kWh/m ²	2380 kWh

Standort: 54°19'n.B., 10°7' ö.L.18m üNN Orientierung : 95°,Neigung 35°		
Anlage : 1 kW _p , polykristalline Zellen,Aufdach- Konstruktion		
Quelle : PVgis ¹		
Verluste		
Temperaturverluste	6,6 %	
Reflexionsverluste	2,9 %	
andere (Kabel, Inverter etc.)	14 %	
gesamte Verluste	23,5 %	
	monatliche Einstrahlung kWh/m ²	produzierte Energie (Verluste berücksichtigt) kWh
JAN	26,2	21,1
FEB	50,8	40,1
MÄR	80,4	61,2
APR	130	94,6
MAI	167	118
JUN	145	102
JUL	158	110
AUG	145	102
SEP	100	72,5
OKT	66,1	50,1
NOV	36	28,3
DEZ	20,1	16,4
Σ	1120 kWh/m ²	815 kWh

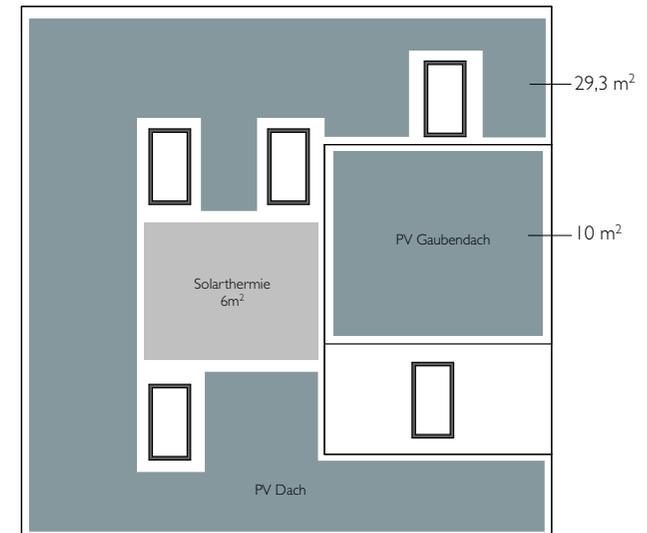


Abb. 108 c: verfügbare Dachfläche für Photovoltaik

Bei einem Vergleich der Strahlungswerte auf Dach (52°) und Gaubendach (35°) ist zu erkennen, dass die Werte im Winter auf das Dach höher sind. Grund ist, dass die flache Winter- Strahlung so näher am rechten Winkel auf die Module trifft. Anders ist dies im Sommer, wo die Strahlung eher senkrecht auf die Erde trifft, und so flachere Neigungen von Vorteil sind.

Abb. 108 a: Erträge einer PV- Anlage 3kWp bei 52° Neigung Abb. 108 b: Erträge einer PV- Anlage 1kWp bei 35° Neigung

1: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

Ökonomische Berechnung Photovoltaik

Einsparungen : 3195 kWh/a
 Lebensdauer : 20 Jahre
 Kosten : ca. $4000/\text{kW}_p * 3\text{kW}_p$ (für die Deckung des Eigenstrombedarfs) = 12.000 €

ingespartes Kapital pro Jahr:

$R = 2973,6 \text{ kWh} * 29 \text{ cent} = 862,3 \text{ €}$

ingespartes Kapital Lebensdauer :

$K_n = 862,3\text{€} * 20 = 17.246 \text{ €}$

Energetische Amortisation

PEI- Aufwand Photovoltaikanlage :
 6 MWh/kW_p (polykristallin)
 6.000 kWh * 3 kW_p = 18.000 kWh
 -> Primärenergieeinsparungen : $3195 * 2,4$ (Strommix D)
 = 7768 kWh/a
 -> Energetische Amortisation : $7768/18000 = 0,43$ Jahre

Förderung : KfW- Programm Erneuerbare Energien

Kreditförderung : 1,36 % (Stand 03/2015)

-> Amortisationszeit:

$$TA = \frac{\ln \left(1 - \frac{12.000 \text{ €} * (1,0136 - 1,034)}{862,30 \text{ €}} \right)}{\ln (1,034/1,0136)} = 12,54 \text{ Jahre}$$

l: <http://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/stromspeicher/foerderung>

Strompreis (03/2015) : 29 cent

Strompreissteigerung (1998-2014) : 3,4 % pro Jahr

Wirtschaftlichkeit der Maßnahme in cent / kWh:

$12.000 * 0,069 = 828 \text{ € monatlich}$
 -> $828 / 3195 \text{ kWh} = 0,259 \text{ €/kWh}$

-> liegt unter dem Strompreis (29 cent (03/2015))
 -> ist wirtschaftlich, wenn der Strom direkt verbraucht wird und der Rest eingespeist wird
 -> Einspeisevergütung 03/2015 : 12,50 cent/kWh - 1,87 cent/kWh EEG- Abgabe = 10,63 cent/kWh
 -> wird der Strom gespeichert, ist eine Solarbatterie notwendig

Solarbatterie ¹

Kosten : ca. 7.000 € bei einer Speicherkapazität von ca. 6kWh und 4.000 Vollzyklen (Blei- Gel- Akku)

-> entspricht einem Aufpreis von ca. 50 cent /kWh

Förderung durch KfW :

$0,3 * 7000 = 2100 \text{ €}$, bzw. maximal 600 €/kW_p -> 1800 €
 Förderung

Restkosten Batterie :

$7000 - 1800 = 5200 \text{ €}$

Da die Einspeisevergütung in den letzten Jahren stark gesunken ist (von 19,5 cent April 2012 auf 12,50 cent März 2015) ist eine Selbstnutzung des erzeugten Stroms am sinnvollsten. Notwendig ist dafür ein Umdenken des Nutzers. Stromverbraucher müssen am besten dann genutzt werden, wenn Sonnenstrahlung verfügbar ist. Möglich ist eine Selbststeuerung einiger Stromverbraucher, deren Einsatz zeitlich flexibel ist, wie zum Beispiel eine automatische Inbetriebnahme einer Waschmaschine wenn Strom verfügbar ist.



Abb. 109: Skizze Photovoltaik-Module

Wirtschaftlichkeit von PV und Solarbatterie:

$17.200 * 0,069 = 1187 \text{ €}$

-> $1187\text{€} / 3195 = 37,15 \text{ cent/kWh}$

7.9.1.2. Solarthermische Anlage

Thermische Solaranlagen werden zur Erwärmung des Brauchwassers, zur Heizungsunterstützung, zur Schwimmbadbeheizung und für die Prozesswärmeerzeugung eingesetzt werden.

Das Grundprinzip von solarthermischen Anlagen ist die Umwandlung von kurzwelliger Sonnenstrahlung in langwellige Wärmestrahlung, die von einem Trägermedium (meist Wasser mit einem Frostschutzmittel) aufgenommen wird. Ein Regler und eine Pumpe sorgen dafür, dass das erwärmte Medium abgeführt wird und anschließend das sich in einem getrennten Kreislauf befindliche Brauchwasser mittels eines Wärmetauschers erwärmt.

Der Wirkungsgrad einer Anlage beschreibt das Verhältnis der auftreffenden Strahlung in umgewandelte Wärmeenergie.

Ein Teil der auf den Kollektor treffenden Strahlung wird vom Glas reflektiert und absorbiert, sowie ein weiterer Teil am Absorber reflektiert, abhängig von Material und Farbe (optischer Wirkungsgrad). Hinzu kommen thermische Verluste durch Konvektion, Wärmeleitung des

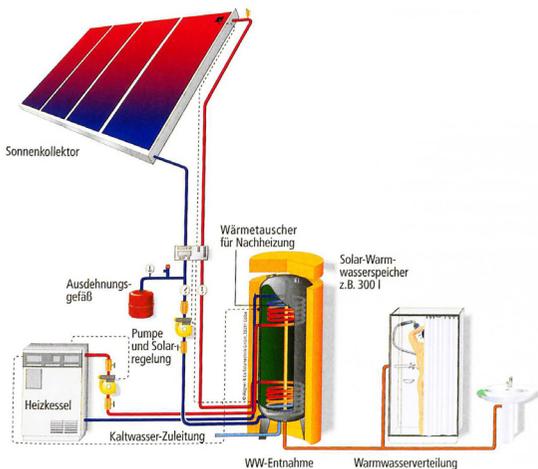


Abb. 110a: Schema einer Solarthermieanlage mit Speicher und Nachheizung

Kollektormaterials und Wärmeabstrahlung des Absorbers. Zusätzlich sinkt der Wirkungsgrad bei höher werdender Differenz zwischen Kollektor- und Umgebungstemperatur, z.B. bei fallender Außenlufttemperatur oder steigender Betriebstemperatur der Anlage. Daher werden die Kollektoren auf der sonnenabgewandten Seite gedämmt und auf der sonnenzugewandten Seite durch spezielle Solargläser, die bei hoher Dämmung viel solare Strahlung durchlassen, abgedeckt.¹

Kollektortypen

Offene Absorber bestehen aus Absorbermatten aus Kautschuk mit Sammler- und Verteilungsrohren, durch die direkt das Wärmeträgermedium fließt. Diese Art von Solarkollektoren wird vor allem für Schwimmbäder benutzt. Ihr Wirkungsgrad ist allerdings gering.

Flachkollektoren besitzen beschichtete Absorberbleche aus Kupfer oder Aluminium, die meist schwarz und in ein rechteckiges Gehäuse eingebaut sind. Integriert sind in ihnen die Röhren für das Trägermedium. Die Luft um Gehäuse kann mit Edelgas gefüllt werden, um eine bessere Dämmwirkung zu erreichen. Ein typischer Wirkungsgrad liegt bei 70 % und die Kosten für einen Flachkollektor liegen bei 120-450 € pro m². Flachkollektoren sind in Europa haben in Europa den größten Marktanteil und sind die Standardkollektoren für die Warmwasserbereitung.²

Luftkollektoren werden bei Luftheizsystemen eingesetzt. Die Luft wird durch Vorbeiströmen an Absorberblechen erwärmt. Besteht kein Bedarf an Raumluftwärme, kann die

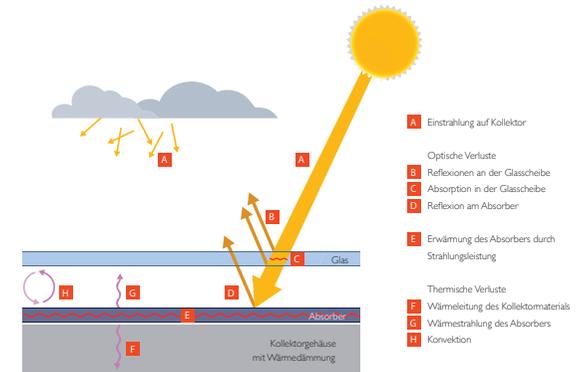


Abb. 110b: Darstellung der Strahlungsgewinne- und -verluste von Solarkollektoren

erwärmte Luft mittels einer Luft-Wasser- Wärmepumpe zur Brauchwassererwärmung beitragen.

Vakuumröhrenkollektoren weisen den höchsten Wirkungsgrad auf. Sie sind aufgrund des Vakuums in den Glasröhren, in denen sich der Absorber befindet, am besten gedämmt. Der Marktanteil von Vakuumröhren liegt in Deutschland nur bei 12 %, während im Hauptabnehmerland von Solarthermieanlagen China ausschließlich Vakuumröhrenkollektoren eingebaut werden. Mit 500-900 € pro m² gehören Vakuumröhrenkollektoren zu der kostenintensivsten Variante und sind nur dann für die Warmwasserbereitung empfehlenswert, wenn nicht genug Dachfläche vorhanden ist.

Bei heutigen Energiepreisen ist bei Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung ein Deckungsgrad von ca. 70 % wirtschaftlich. So kann die Heizungsanlage nach Ende der Heizperiode abgeschaltet werden, wodurch die Lebensdauer des Heizkessels zusätzlich verlängert werden kann.³

¹ HEGGER, S. 119f

² https://www.hft-stuttgart.de/Forschung/Kompetenzen/zafh/Publikationen/publikationen_download/2011/Eicker_Solarthermische_Anlagen_Recknagel_2011.pdf

³ JANSEN, Energieberatung für Wohngebäude, S. 201

Bei intensiverer Nutzung müsste ein zu hoher Speicher- und Regelungsaufwand betrieben werden. Der Speicher ist so ausgelegt, dass er trotz nicht vorhandener Strahlung den Warmwasserbedarf für 2-3 Tage garantieren kann.⁴

Ein Speicher kann die Ungleichzeitigkeiten von Bedarf und solarem Strahlungsangebot ausgleichen. Als Speichermedium wird Wasser (bei einem monovalenten Speicher sogar Trinkwasser) genommen, da es eine hohe Wärmekapazität besitzt. Bei Trinkwassererwärmung wird ein Standspeicher aus Edelstahl / emailliertem Stahl von mehreren hundert Litern (EFH) verwendet, bei Heizungsunterstützung muss der Speicher mehrere m³ umfassen.

Der Speicher (ein bivalenter Speicher, wenn das Wasser durch zwei verschiedenen Quellen erwärmt wird) sollte gut gedämmt sein und eine möglichst gut Zonierung der Temperaturschichten halten können. Schlanke Speicher sind daher von Vorteil.

Bei einer Vergrößerung des Pufferspeichers kann ebenfalls eine Heizungsunterstützung vorgenommen werden. Wegen der zeitlichen Diskrepanz zwischen Einstrahlung und Wärmebedarf kommt es jedoch zu relativ hohen Verlusten.⁵

4 GABRIEL, LADENER, S. 177

5 RICHARZ, SCHULZ, S. 88

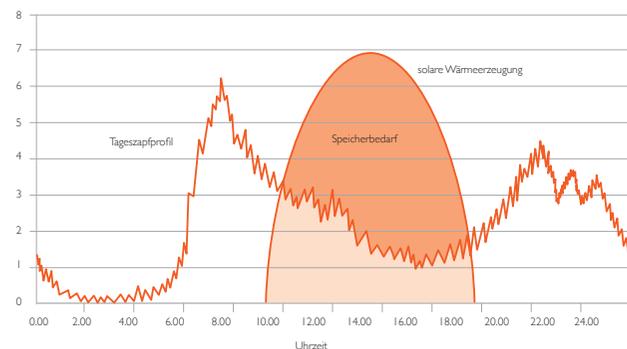


Abb. 111: Tagesverlauf des typischen Warmwasserbedarf eines Mehrfamilienhauses

Wartung

Der Frostschutz muss nach spätestens 5 Jahren überprüft und eventuell ausgetauscht werden.

Förderung

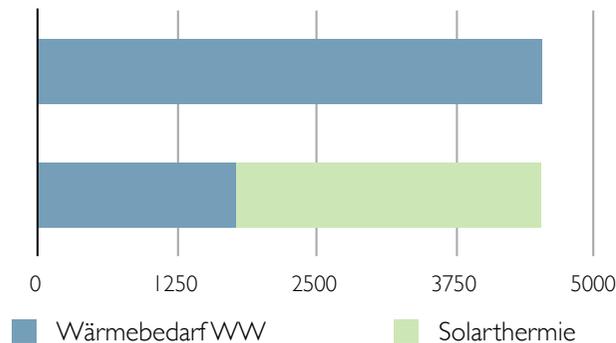
Die BAFA fördert Solarthermieanlagen für Warmwasserbereitstellung nur in Kombination mit Heizungsunterstützung. Die Mindestgröße für die Kollektoren liegt hier bei 7 m² für Vakuumkollektoren und bei mind. 9 m² für Flachkollektoren. Die Förderung liegt dann bei 90€/m² bzw. bei mind. 1.500€. Solarthermieanlagen. Zur ausschließlichen Warmwasserbereitstellung werden nur bei innovativen Anlagen (z.B. bei Nichtwohngebäuden mit min. 500 m² Nutzungsfläche) über die Innovationsförderung angeboten⁶ oder bei Kombination der Solarthermieanlage mit einem Biomassekessel (zB Pelletkessel) und einer förderfähigen Wärmepumpe. Die Förderung liegt dann bei 500 €.⁷

6 http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/solarthermie/

7 <http://www.solaranlagen-portal.com/solar/wirtschaftlichkeit/foerderung>

Berechnung der Erträge einer solarthermischen Anlage

	Einstrahlung W/m ²	Energieeintrag kWh
SO 52°		
JAN	34	24,48
FEB	70	50,4
MÄR	95	68,4
APR	156	112,3
MAI	187	134,6
JUN	169	121,7
JUL	179	128,9
AUG	165	118,8
SEP	120	86,4
OKT	80	57,6
NOV	47	33,84
DEZ	23	16,56
Σ	1325 W/m²	954 kWh/a



Rechnungsweg nach :
 Energetische Sanierung, DETAIL, RICHAZ, SCHULZ, S. 99
<http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien899.pdf>

Warmwasserbedarf : ca. = 4500 kWh/a (4 Personen- Haushalt)

Strahlungsangebot am Standort (SO 52°) : 1325 W/m²a

Energieeintrag : 1325 W/m² * 24h * 30d = 954 kWh/m²a

nutzbare Energie:
 954 kWh/m²a * 0,6 (Wirkungsgrad von Flachkollektoren)
 = 572,4 kWh/m²a

zB 6 m² Kollektorfläche + 300 l Speicher :
 6m² * 572,4 kWh/m²a = 3434,4 kWh/a

abzüglich 20 % Verluste: = 2747 kWh/a

-> Deckungsrate : 2747 / 4500 = 61 %

Einsparungen : 2747 kWh/a

Restbedarf : 1753 kWh/a

**Kosten gesamte Anlage
 (6m² Kollektoren und 350 l Speicher):
 5500 € inkl. Speicher**

Förderung (BAFA): 1500 €

Ökonomische Berechnung Solaranlage:

Einsparungen : 2747 kWh/a
 Lebensdauer : 20 Jahre
 Kosten : 5.500 € - 1.500 € = 4.000 €

eingespartes Kapital pro Jahr:
 R = 2747 kWh * 6,45 cent = 221,50 €

eingespartes Kapital Lebensdauer :

Kn = 221,50 * 33,1 = 7331,7,18 €

Amortisationszeit:

$$TA = \frac{\ln \left(1 - \frac{4000 \text{ €} * (1,05 - 1,07)}{221,50 \text{ €}} \right)}{\ln (1,07/1,05)} = 16,34 \text{ Jahre}$$

Preis der eingesparten Energie :

4000€ * 0,069 / 2747 = 13,82 cent/kWh

7.9.2. Lüftungsanlage

Da ein Ziel einer energetischen Sanierung neben dem Herabsetzen des U- Wertes der Wände die Luftdichtheit des Gebäudes ist, um durch unkontrollierte Fugenlüftung und Durchzug weitere Transmissionswärmeverluste zu vermeiden, muss auf anderem Wege für genügend Frischluftzufuhr gesorgt werden.

Laut DIN 1946-6 muss ein hygienischer Mindestluftwechsel von 25-30m³/h pro Person eingehalten werden. Andernfalls kann es zu gesundheitsschädlichen Auswirkungen wie Schimmelbildung und zu hohem CO₂- Gehalt kommen. Unabhängig von der Personenanzahl sollte der Luftwechsel eines Raumes 0,3/h sein, d.h. 30 % der Luft sollten in der Stunde ausgetauscht werden.

Die manuelle Fensterlüftung bringt viele Wärmeverluste mit sich, da Wärmeenergie während der Lüftung entweicht. Das Verhältnis von Lüftungswärmeverlusten zu Transmissionswärmeverlusten vergrößert sich je stärker das Gebäude gedämmt ist. Der Anteil der Lüftungsverluste an den gesamten Wärmeverlusten liegt beim Bestand bei knapp 6:1. Nach Dämmung der Gebäudehüllflächenbauteile machen die Lüftungsverluste ca. 1/3 der gesamten Wärmeverluste aus. Hier würde es sich nicht lohnen, die Transmissionsverluste durch weitere Dämmmaßnahmen weiter zu minimieren, sondern die Lüftungsverluste herabzusetzen durch eine Lüftungsanlage.

Eine kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung kann die Lüftungswärmeverluste um 80 % reduzieren.

Der Wärmebereitstellungsgrad einer solchen Anlage beträgt 80 bis zu derzeit 92 %¹, was auch abhängig von der Luftdichtheit der Gebäudehülle ist, d.h. wie viel Luft ungehindert ohne Wärmerückgewinnung davonströmt. Die Anforderungen an die Luftdichtheit der Gebäudehülle liegen bei einem nL50- Wert von max. 1,0 / h. Dieser Wert

kann über einen Blower- Door- Test gemessen werden.

Kosten (zentrale Anlage): 40-70 €/ m²

-> ca. 12.500 € für 247 m²

Bei einer zentralen Anlage ist auf eine genügend hohe Raumhöhe aufgrund der doppelten Leitungslegung (Zu- und Abluftleitungen) und eventueller Notwendigkeit abgehängter Decken zu achten. Die Anlage ist meist im obersten oder untersten Geschoss untergebracht, um den Schall des Ventilators in den Aufenthaltsräumen möglichst gering zu halten.

Ein Wärmetauscher in der Lüftungsanlage gibt die Wärme der Abluft an die kalte Frischluft (Außenluft) ab.

Das Leitungsnetz transportiert die Luft in die Aufenthaltsräume, in der sie durch Düsen oder andere Zulufteinlässe (Weitwurfdüsen), die möglichst weit im Raum liegen, in die Raumluft eingebracht wird.

Die Luft strömt zur Überströmzone (meist Flure, Treppenhäuser oder Wohnküchen).

Abluftdüsen befinden sich in Räumen mit Geruchs- und Feuchtebelastung (WCs, Badezimmern und Küchen) und sind stets im oberen Teil des Raumes angeordnet. Sie transportieren die Luft zurück zum Lüftungsgerät, bevor sie durch den Fortluftkanal ins Freie gelangt.²

Die Lüftungskanäle sollten möglichst kurz gehalten werden, da eine zu hohe Länge der Leitungen zu hohe Druckverluste verursacht und so den Stromverbrauch unnötig erhöht.³

Alternativ zu einem Lüftungssystem wie diesem kann die warme Abluft auch für die Warmwassererwärmung mittels einer Luft-Wasser-Wärmepumpe genutzt werden. Ein zweites Leitungsnetz entfällt dadurch (das Zuluftnetz).

Der Strombedarf einer Lüftung beträgt ca. 2-5 % des Gesamtstrombedarfs.

² HAAS-ARNDT S. 116 ff

³ FEIST, Altbaumodernisierung, S. 160

Wartung

Der Grobfilter muss alle 2-4 Monate gereinigt werden, der Feinfilter alle 6-12 Monate je nach Außenluftqualität ausgetauscht. Der Wärmetauscher muss alle 12-24 Monate ausgesaugt und gespült werden und auch das Rohrsystem bedarf nach 36 - 60 Monaten einer Reinigung.⁴

Vorteile von einem Lüftungssystem mit WRG:

- gefilterte Luft für Allergiker gut geeignet
- minimale Lüftungswärmeverluste
- individuelle Regelung zur CO₂- und Feuchtesteuerung

Nachteile:

- Geräuschentwicklung bei hoher Luftleistung
- aufwendige Leitungsführungen bei nachträglichem Einbau
- Platzbedarf für Lüftungsgerät
- Wartungsaufwand

⁴ GABRIEL, LADENER, S. 173

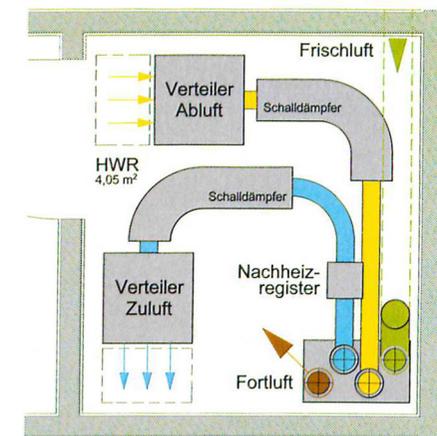


Abb. 114 : Installationsplan einer Lüftungsanlage

¹ FEIST, Altbaumodernisierung, S. 157

Wirtschaftlichkeitsberechnung :

eingesparte Energie durch Lüftungsanlage mit WRG (nach Simulation): **4494 kWh/a**

Kosten einer Lüftungsanlage mit WRG :

50€/m² -> 50 €/m² * 247 m² = 12.500 €

12.500 € * 0,069 / 4494 = **19,19 cent/kWh**

Abzug der Ohnehin- Kosten (30€/m² Einbau einer Abluftanlage nach EnEV):

Kosten : 50-30 = 20 €/m²

20 €/m² * 247 m² = 4940 €

4940 € * 0,069 / 4494 kWh = **7,58 cent/kWh**

Die Kosten für die eingesparte Energie durch eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung liegen nur bei Abzug der Ohnehin- Kosten bei einer Sanierung (die EnEV schreibt eine Abluftanlage vor, die bei ca. 30€/m² liegt) im nahezu wirtschaftlichen Bereich, bzw. im wirtschaftlichen Bereich, wenn der Energiepreis auf über 7,5 cent/kWh ansteigt.

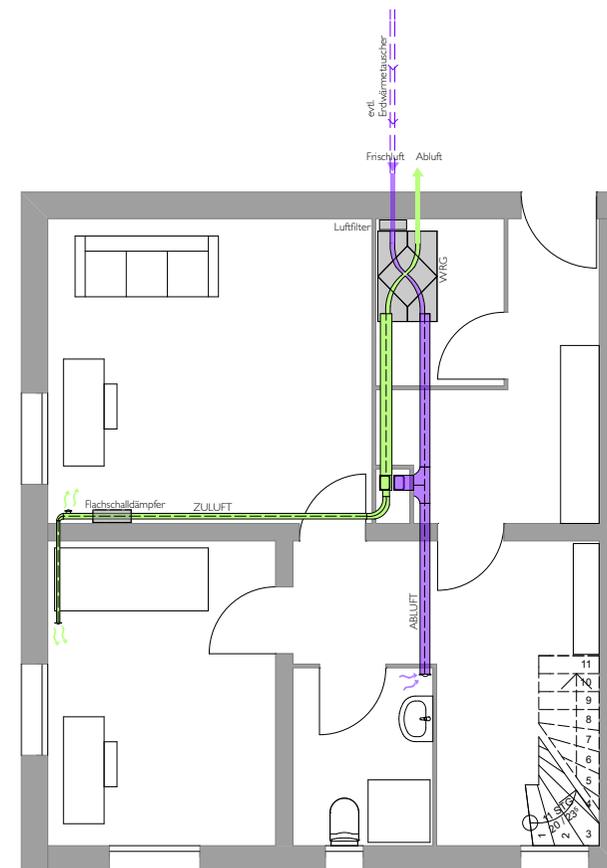
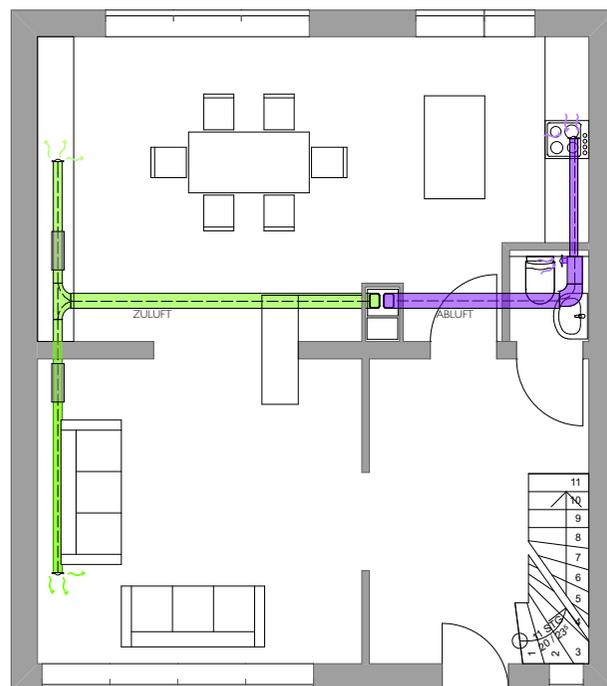


Abb. 115: Möglichkeit der Leitungsführung einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung , UG und EG , M 1:100

7.9.3. Heizungstechnische Anlagen

Überdimensionierung

Bei thermischer Verbesserung der Außenhülle, dem Einbau einer Solaranlage und dadurch fallendem Heizenergiebedarf käme es zu einer Überdimensionierung der bestehenden Heizungsanlage inklusive Umwälz- und Zirkulationspumpe. Die erforderliche Kesselleistung richtet sich nach dem Dämmstandard des Gebäudes bzw. nach der Heizlast des Gebäudes.

Brennwertkessel

Brennwertkessel haben einen Wirkungsgrad von 103-109 %. Gegenüber dem Niedertemperaturkessel hat dieser eine um 11 % besser Brennstoffausnutzung. Ein Brennwertkessel ist effizient, platzsparend und nur mit relativ geringen Investitionskosten verbunden.

Es entstehen nur geringe Abgastemperaturen, da in der Anlage eine Abgaswärmerückgewinnung stattfindet: Die frei werdende Kondensationswärme im Wasserdampf des Abgases wird rückgewonnen.

Die Anlage muss regelmäßig gewartet und die Heizflächen des Kessels gereinigt werden, da eine Verschmutzung starke negative Auswirkungen auf den Nutzungsgrad hat.¹

Ein Zuschuss bekommt man bei Modernisierung des Heizungskessels in einen Brennwertkessel entweder von der BAFA mit 500 € oder der KfW durch Förderung von Einzelmaßnahmen mit 10 % oder beim Erreichen eines KfW- Effizienzhauses mit bis zu 20 % oder einem Tilgungszuschuss bei Kreditaufnahme.

Pelletkessel

Ein Pelletkessel arbeitet vollautomatisch, die Beschickung des Kessels mit Pellets erfolgt über Förderschnecken oder ein Saugsystem. Ein Pelletkessel muss jedoch 1-2 mal pro Jahr gewartet werden, was die Betriebskosten höher werden lässt als die eines Brennwertkessels. Ebenfalls liegen die Anschaffungskosten eines Pelletkessels über einem Gaskessel. Der Primärenergiefaktor von Pellets mit 0,2 ist jedoch sehr gering, genauso wie der fossile Teil der CO₂-Emissionen. Die Kosten betragen ca. 16.000 €.

Für einen Heizwärmebedarf von maximal 10.000 kWh/a, wie zum Beispiel bei Passivhäusern, reicht ein Pelletofen, der zum einen günstiger ist, und auch im Wohnbereich aufgestellt werden kann. Allerdings kann es Feinstaubbelastung im Wohnbereich führen. Die Asche muss ca. alle drei Tage entfernt werden. Die Kosten für einen Pelletofen betragen ca. 6000 €.

Von der BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) werden automatisch beschickte Biomasseanlagen zur Verfeuerung von Holzpellets mit einer Nennwärmeleistung von 5- 100 kW mit einem Betrag von 2.400 € gefördert.

	CO ₂ -Emm. kgCO ₂ / kWh	Brennst- offkosten cent/kWh	Primärenergie- faktor	Energieinhalt
Pellets	0,014	5,4	0,2	5,2 kWh/kg
Erdgas	0,248	6,8	1,1	10 kWh/m ³
Strom	0,559	29	2,4	-
Öl	0,312	9,2	1,1	11 kWh/l

1: nach DIN V 4701-10 Bbl.1

Abb. 116: Energieträger im Vergleich

Wärmepumpen

Mithilfe einer Wärmepumpe ist es möglich, mehr Nutzenergie (z.B. Wärme) zu erzeugen als Antriebsenergie in Form von Strom benötigt wird. Ideal ist eine Arbeitszahl von 4 (1 Teil Strom und 3 Teile Umweltwärme ergibt 4 Teile Heizwärme). Als Energiequelle einer Wärmepumpe kann gespeicherte Sonnenenergie im Erdreich, der Luft oder im Grundwasser genutzt werden. Ein Wärmeträgermedium führt die Wärme der Energiequelle weiter zum Erhitzen des Trinkwassers oder der Raumluft.

Der Temperaturunterschied von Umweltwärmequelle und Heizwärme sollte maximal bei 35 K liegen.

Am besten funktioniert eine Wärmepumpe bei Nutzung der Erdwärme (1-2m Tiefe) und einer Niedertemperatur-Flächenheizung (Fußboden / Wandflächenheizung).

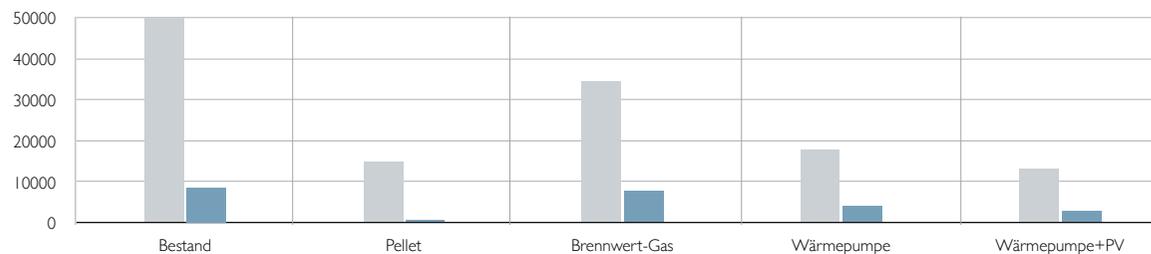
Eine Kopplung mit einer thermischen Solaranlage für die Warmwasserbereitung ist ebenso möglich wie mit einer PV-Anlage, die den Antriebsstrom der Wärmepumpe erzeugt.

Es ist immer ein Pufferspeicher nötig, damit sich die Wärmepumpe so wenig wie möglich einschalten muss.

Die Kosten liegen ca. bei 18.000 -22.000 € inkl. Bohrungen.

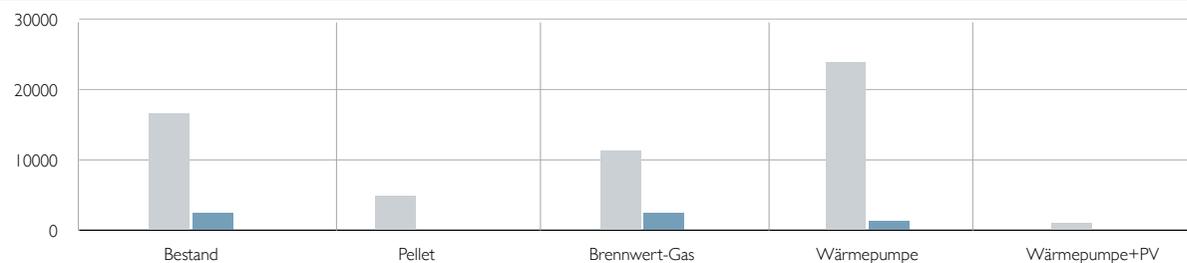
7.9.3.1. Bestand - Austausch der Heizungsanlage

	Niedertemperaturkessel Gas (Bestand)	Pelletkessel	Brennwertkessel Gas	Wärmepumpe	selbst strom erz. 2 kWp
Wärmeerzeuger komplett		12.000 €	3800 €	20000 €	20000 €+ 8000 €
Lagerung/Anschluss/Bohrung		3000 €	2200 €	7000 €	70000
WW/Pufferspeicher		1.500 €	800 €	-	
Schornstein/Abgasleitung		1.700 €	1000 €	-	
Montage/Anschluss		2.000 €	1000 €	800	800
gesamte Investitionskosten	-	20.200 €	8800 €	27800	35800
Förderung		2.400 €	880 €	2800	2800
übrige Investitionskosten		17.800 €	7920 €	25000	33000
jährl. Kosten (p=3,3%, n=20a)		1228 €/a	546 €/a	1725 €/a	2277 €/a
Wartung/Reinigung/Instandh.	120	220 €/a	120 €/a	100	100 + 100 €/a
Schornsteinfeger	60	120 €/a	60 €/a	-	
jährliche Gesamtkosten (Betrieb und Investition)	180	1568 €/a	726 €/a	1825 €/a	2477€/a
Erzeugeraufwandszahl	1,16	1,18	1,03	AZ: 3	AZ: 3
Anlagennutzungsgrad	84 %	85 %	97 %	300 %	300 %
Brennstoffkosten	6,8 cent/kWh	5,4 cent/kWh	6,8 cent/kWh	29 cent/kWh	29 cent/kWh
Jahresbrennstoffbedarf (bei 30.000 kWh)	34800 kWh/a	35400 kWh/a	30900kWh/a	7500 kWh	5500 kWh
Verbrauchsdaten	2366 €/a	1912 €/a	2101 €/a	2175 €/a	1595 €
Einsparungen ggü. Bestandskessel pro Jahr	-	454 €/a	265 €/a	191 €/a	771 €
Gesamtkosten/a	2546 €/a	3170 €/a	2827 €/a	4000 €/a	4072 €/a
spez. Wärmekosten (HWB)	8,49 cent/kWh	10,57 cent/kWh	9,42 cent/kWh	13,33 cent/kWh	13,57 cent/kWh
CO2- Emissionen/Jahr	8630 kg/a	495,6 kg/a	7663 kg/a	4193 kg/a	3074 kg/a
primärenergiebezogene Anlagenaufwandszahl e_p	1,69	0,5	1,15 (mit Solaranlage)	0,8	0,8
PRIMÄRENERGIEBEDARF	50700 kWh	15000 kWh	34500 kWh	18000 kWh	13200 kWh
Amortisationszeit (mit Förderung, ohne Verbrauchskosten)	-	3,42 Jahre	2,74 Jahre	8,60 Jahre	3,19 Jahre



7.9.3.2. Kesselaustausch nach Sanierungsmaßnahmen

	Niedertemperaturkessel Gas (Bestand)	Pelletkessel	Brennwertkessel Gas	Wärmepumpe	Wärmepumpe mit PV 2kW _p
Wärmeerzeuger komplett		12.000 €	3800 €	20000 €	20000 + 8000€ (PV)
Lagerung/Anschluss/Bohrung		3000 €	2200 €	7000 €	7000 €
VWV/Pufferspeicher		1.500 €	800 €	-	-
Schornstein/Abgasleitung		1.700 €	1000 €	-	-
Montage/Anschluss		2.000 €	1000 €	800 €	800 €
gesamte Investitionskosten	-	20.200 €	8800 €	27800 €	35800 €
Förderung		2.400 €	880 €	2800 €	2800 €
übrige Investitionskosten		17.800 €	7920 €	25000 €	33000 €
jährl. Kosten (p=3,3%, n=20a)		1228 €/a	546 €/a	1725 €/a	2277 €/a
Wartung/Reinigung/Instandh.	120	220 €/a	120 €/a	100 €/a	100+100 €/a
Schornsteinfeger	60	120 €/a	60 €/a	-	
jährliche Gesamtkosten (Betrieb und Investition)	180	1568 €/a	726 €/a	1825 €/a	2477 €
Erzeugeraufwandszahl	1,16	1,18	1,03	AZ: 3	AZ: 3
Anlagennutzungsgrad	84 %	85 %	97 %	300 %	300 %
Brennstoffkosten	6,8 cent/kWh	5,4 cent/kWh	6,8 cent/kWh	29 cent/kWh	29 cent/kWh
Jahresbrennstoffbedarf (bei 9865kWh)	11443 kWh/a	11641 kWh/a	10161 kWh/a	2466 kWh	466
Verbrauchskosten	778 €/a	613 €/a	691 €/a	715 €/a	135 €
Einsparungen gegenüber Bestandskessel	-	165 €/a	87 €/a	63 €/a	643 €
Gesamtkosten/a	958,12 €/a	2181 €/a	1417 €/a	2240 €/a	2612 €
spez. Wärmekosten (HWB)	9,71 cent/kWh	22,11 cent/kWh	14,36 cent/kWh	22,71 cent/kWh	26,47 cent/kWh
CO ₂ - Emissionen/Jahr	2446 kg/a	158,83 kg/a	2520 kg/a	1378 kg/a	261 kg/a
primärenergiebezogene Anlagenaufwandszahl e _p	1,69	0,5	1,15 (mit Solaranlage)	0,8	0,8
PRIMÄRENERGIEBEDARF	16672 kWh	4933 kWh	11345 kWh	24000 kWh	1118 kWh
finanzielle Amortisationszeit (mit Förderung, ohne Verbrauchskosten)		8,56 Jahre	7,65 Jahre	20,7 Jahre	3,79 Jahre



7.9.3.3. Zusammenfassung Heizungstechnische Anlage

Die Tabellen zeigen die Auswirkungen auf den Primärenergieverbrauch und den CO₂-Ausstoß bei zwei unterschiedlichen Szenarien, dem Heizenergieverbrauch des Bestands (Tab. 117) und dem Heizenergieverbrauch nach Dämmung der Gebäudehüllfläche (Tab. 118). Es werden verschiedene Energieerzeuger mit unterschiedlichen Energieträgern (Gas, Pellets, Strom) als Alternativen der Heizungsanlage im Bestand, einem Niedertemperaturkessel Gas, vorgestellt und die damit verbundenen Investitions- und Nebenkosten aufgeführt.

Abhängig vom Energieträger ergibt sich jeweils ein unterschiedlicher Brennstoff- bzw. Primärenergiebedarf. Aus den Einsparungen, die sich gegenüber dem Bestand bei einer effizienteren Heizungsanlage einstellen, und den jährlichen Investitions- und Betriebskosten lässt sich jeweils eine Amortisationszeit errechnen. Nach dieser Zeit hat sich die Investition für die neue Heizungsanlage zurückbezahlt.

Wie in Tabelle 117 abzulesen ist, bringt ein Pelletkessel sehr niedrige Werte des Primärenergieverbrauchs und der CO₂-Emissionen. Bei der Umstellung von Gas auf Holzpellets ist trotz der nachhaltigen Heizmethode jedoch abzuwägen, ob Holzpellets nahe des Standorts hergestellt werden. Wird das Holz für die Pellets in das Land importiert, sinkt die Nachhaltigkeit des Brennstoffes stark, bzw. könnte der Preis in Zukunft durch Holzangel steigen.

Bei der Anschaffung eines Gas- Brenntwertkessels bildet sich die geringste Amortisationszeit, aber sogar eine Wärmepumpe kommt trotz der hohen Anschaffungs- und Bohrkosten und den relativ hohen Stromkosten bei einer Arbeitszahl von 3 auf eine Amortisationszeit weit unter der Lebensdauer der Anlage. Mit einer zusätzlichen Installation einer PV- Anlage, die ca. 2000 kWh Strom im Jahr produziert, können der Primärenergiebedarf, die CO₂-Emissionen und die Amortisationszeit noch weiter herabgesetzt werden.

Tabelle 118 zeigt die Möglichkeiten einer Sanierung der Heizungsanlage bei einem reduzierten Heizwärmebedarf ($9865 \text{ kWh/a} = 40 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF,a}}$). Die Amortisationszeiten liegen im Allgemeinen höher, da bei kleineren Energieumsätzen auch die anfallenden Verluste eher gering sind. Somit sind auch die anfallenden Verluste eines wenig effizienten Altgerätes und die Energieeinsparungen bei Sanierung des Kessels kleiner als bei einem hohen Heizwärmebedarf. Jedoch ist in jedem Fall ein Austausch der Heizungsanlage sinnvoll, da bei sinkendem Heizwärmebedarf der Bestands- Heizkessel überdimensioniert wäre. Die meisten Geräte bringen nur bei voller Leistung das Maximum ihres Nutzungsgrades, laufen sie nur auf geringer Leistung, ist der Nutzungsgrad umso kleiner und die Verluste höher.

Die CO₂-Emissionen bei Einsatz eines Pelletkessels sind verschwindend gering, ebenso der Primärenergiebedarf ist kleiner als bei Einsatz eines Brenntwertkessels. Der Einsatz einer Wärmepumpe macht nur bei Selbst- Erzeugung des Großteils des benötigten Stroms sinnvoll, da zum Einen andernfalls die Kosten für den benötigten Strom zu hoch bzw. die finanziellen Einsparungen gegenüber dem Bestandskessel zu gering sind. Zum Anderen ist aufgrund des Energieträgers Strom der Primärenergiebedarf relativ hoch und es würde wenig Sinn machen (außer bei rein regenerativer Erzeugung), den Strom mit Verlusten verbunden anderenorts zu erzeugen (z.T. aus Gas/Öl), um diesen letztendlich zur Wärmeerzeugung zu verwenden, wodurch wiederum Umwandlungsverluste anfallen. Da die Dachfläche ausreichend Platz bietet, eignet sich eine Kombination aus Photovoltaik und Wärmepumpe, um den Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen auf ein Minimum zu beschränken. Aufgrund der hohen finanziellen Einsparungen aus der Eigen- Strom- Produktion beträgt die Amortisationszeit für diese Sanierungsvariante nur 3,79 Jahre.

Nicht eingerechnet ist, dass der Zinssatz bei KfW- Förderung (Kesselaustausch und PV- Integration) bei 1% liegt statt bei den gerechneten 3,3%. Zur Vergleichbarkeit zwischen der Wirtschaftlichkeit eines Kesselaustauschs mit den baulichen Sanierungsmaßnahmen wurde bei beiden Rechnungen stets mit dem gleichen Zinssatz gerechnet, obwohl dieser bei KfW- Förderung nur bei 1% liegt. Der Investitionszeitraum wurde stets auf 20 Jahre angenommen.

7.10. MAßNAHMENKATALOG UND WIRTSCHAFTLICHKEIT VON SANIERUNGSMABNAHMEN

	Einhaltung der EnEV2014			wirtschaftlichste Dämmstärke		
	Sanierungsmaßnahme	U- Wert	cent/kWh	Sanierungsmaßnahme	U- Wert	cent/kWh
Wand	KD 5cm	0,5	2,85	KD 5cm	0,5	2,85
	WDVS 14cm ohne KD	0,24	7,16	WDVS 16cm ohne KD	0,21	7,15
	KD + ID 8cm	0,24	7,6	KD + ID 14 cm	0,17	7,55
	KD + WDVS 10 cm	0,23	10,57	KD + WDVS 14cm	0,18	10,47
	Abbruch Klinker+WDVS 14 cm	0,24	10,99	Abbruch Klinker+WDVS 20cm	0,18	10,87
	KD 15cm+ Klinker neu	0,23	12,39	KD 15cm+ Klinker neu	0,23	12,39
Dach	ZSD + 6cm USD	0,23	6,88	ZSD + USD 8cm	0,2	6,86
	ZSD + ASD 6 cm	0,24	9,4	ZSD + ASD 12cm	0,18	9,32
Fenster	Austausch Verglasung	1,08	11,34	Austausch Verglasung	1,08	11,34
	Austausch Fenster	0,7	24,43	Austausch Fenster	0,7	24,43
Bodenplatte	VIP 1,5cm	0,364	44,19	VIP 2cm	0,28	42,8
Gaubenwand	Dämmung 10cm	0,24	21,66	Dämmung 20 cm	0,15	19,43
Erderührende Wand	Perimeterdämmung 8cm	0,27	14,15	Perimeterdämmung 18cm	0,16	11,6
Lüftungsanlage				WRG = 0,9, n=0,4/h	-	13,02
Solaranlage				6m2 + 350 l Speicher	-	13,82
PV				38 m2	-	24,08

1) Tab. 1: Gegenüberstellung von Sanierungsmaßnahmen: Mindestdämmstärken nach EnEV zu wirtschaftlichsten Dämmstärken

	KfW Mindestanf.			wirtschaftlichste Dämmstärke		
	Sanierungsmaßnahme	U- Wert	cent/kWh	Sanierungsmaßnahme	U- Wert	cent/kWh
Wand	KD 5cm	0,5	2,85	KD 5cm	0,5	2,85
	WDVS 18cm ohne KD	0,2	7,15	WDVS 16cm ohne KD	0,21	7,15
	KD + ID 12 cm	0,19	7,55	KD + ID 14 cm	0,17	7,55
	KD+WDVS 12 cm	0,2	10,52	KD + WDVS 14cm	0,18	10,47
	Abbruch Klinker+WDVS 18 cm	0,2	10,93	Abbruch Klinker+WDVS 20cm	0,18	10,87
	KD 15cm+ Klinker neu	nicht erreichbar		KD 15cm+ Klinker neu	0,23	12,39
Dach	ZSD+ 16 cm USD	0,14	7,01	ZSD + USD 8cm	0,2	6,86
	ZSD + ASD 18 cm	0,14	9,14	ZSD + ASD 12cm	0,18	9,32
Fenster	Austausch Verglasung	1,08	11,34	Austausch Verglasung	1,08	11,34
	Austausch Fenster	0,7	24,43	Austausch Fenster	0,7	24,43
Bodenplatte	VIP 2,5cm	0,23	44,08	VIP 2cm	0,28	42,8
Gaubenwand	Dämmung 13cm	0,2	20,2	Dämmung 20 cm	0,15	19,43
Erderührende Wand	Perimeterdämmung 10cm	0,24	13,13	Perimeterdämmung 18cm	0,16	11,6
Lüftungsanlage				WRG = 0,9, n=0,4/h	-	13,02
Solaranlage				6m2 + 350 l Speicher	-	13,82
PV				38 m2	-	24,08

2) Tab. 2: Gegenüberstellung von Sanierungsmaßnahmen: Mindestdämmstärken nach EnEV zu wirtschaftlichsten Dämmstärken

Die beiden Tabellen zeigen einen Maßnahmenkatalog mit U- Werten der Bauteile bei Sanierung dieser 1) nach Mindestanforderung der EnEV und 2) bei Förderung nach KfW mit der entsprechenden Dämmstärke und dem Preis der eingesparten Kilowattstunde für die Maßnahme. Die Reihenfolge der Maßnahmen innerhalb eines Bauteils geht von der wirtschaftlichsten Maßnahme zur unwirtschaftlichsten Maßnahme. Die wirtschaftlichste Dämmstärke ist bei jedem Bauteil gleich der oder größer als die Mindestdämmstärke nach EnEV.

Die rot umrahmten Felder markieren die aus wirtschaftlicher Sicht sinnvollen Dämmstärken:

Ist der Preis der eingesparten Kilowattstunde bei der wirtschaftlichsten Dämmstärke der Sanierungsmaßnahme kleiner als jener von der gesetzlichen Mindestdämmstärke, macht es Sinn, die Dämmstärke auf das berechnete wirtschaftliche Optimum anzupassen (rechte Spalte).

Bei einer Sanierung mit gesetzlichen Mindestdämmstärken ist es aus wirtschaftlicher Sicht beispielsweise sinnvoller, die Dämmstärke der Außenwand, wenn diese nicht allein eine Kerndämmung erhalten soll, statt den gesetzlich notwendigen 10 cm auf 14 cm anzupassen: Der U- Wert der Wand liegt dann bei 0,18 W/m²K statt 0,23 W/m²K, und die Maßnahme wird durch die verminderten Wärmeverluste bei nicht erheblichen Mehrkosten wirtschaftlicher.

Bei Sanierung nach KfW- Anforderungen liegt der U- Wert bei der wirtschaftlichsten Dämmstärke des Bauteils teilweise über dem vom KfW geforderten U- Wert, daher muss beispielsweise bei der Dachsanierung aufgrund der erhöhten Anforderungen an den U- Wert die wirtschaftlichste Dämmstärke deutlich überschritten werden.

Anhand der Preise der eingesparten Energie in cent/kWh lässt sich eine Reihenfolge aufstellen, die mit der für den Bauherren wirtschaftlichste Sanierungsmaßnahme

beginnt und mit der unwirtschaftlichsten endet. Natürlich kann jedes Bauteil nur einmal vorkommen, bzw. wird aus den verschiedenen Sanierungsvarianten eines Bauteils jeweils das wirtschaftlichste gewählt.

Heizungstechnische Anlagen sind von dem Ranking ausgeschlossen, da der Zeitpunkt dieser Sanierungsmaßnahme nicht beliebig wählbar ist und nicht aus rein von der Wirtschaftlichkeit bestimmt werden darf. Grund dafür ist, dass die Dimensionierung der Heizungsanlage abhängig vom Heizwärmebedarf des Gebäudes ist. Bei einer weiteren nachträglichen Senkung des Heizwärmebedarfs nach Einbau eines neuen Kessels käme es zu einer Überdimensionierung der Heizungsanlage. Da der volle Wirkungsgrad von Heizungsanlagen nur bei voller Auslastung dieser erreicht wird, käme es somit zu einer Senkung der Effizienz der Anlage und zu erhöhten Verlusten. Daher sollte überlegt werden, bis zu welchem Grad eine Sanierung der Hüllfläche des Gebäudes vorgenommen werden soll, um somit eine Dimensionierung der Heizungsanlage vornehmen zu können.

8. Referenzgebäudeverfahren

Das Gebäudereferenzverfahren ist notwendig, um den maximal zulässigen Primärenergiebedarf nach den Anforderungen der EnEV zu ermitteln. Bei Neubauten entspricht dieser dem Wert des maximalen Primärenergiebedarfs des zu bauenden Gebäudes. Bei der Sanierung von Altbauten darf der Primärenergiebedarf des sanierten Gebäudes den des Referenzgebäudes um maximal 40 % überschreiten (siehe Abb. 25). Zusätzlich darf jedoch auch der spezifische Transmissionswärmeverlust HT' nicht höher sein als 40 % über dem zulässigen spezifischen Transmissionswärmeverlust HT' des entsprechenden Gebäudetyps nach der aktuellen Energiesparverordnung. Das Referenzgebäude umfasst die gleiche Geometrie sowie

die gleiche Gebäudenutzfläche und Ausrichtung wie das zu sanierende Gebäude. Die U-Werte der Außenbauteile des Referenzgebäudes sind in einer Tabelle festgehalten, die anlagentechnischen Parameter sind ebenfalls vorgegeben (siehe Abb.122). Der Primärenergiebedarf ist unter Berücksichtigung der Anlagenaufwandszahl und der Primärenergiefaktoren so zu ermitteln. Will man den Standard eines KfW- Effizienzhauses erreichen, gelten bestimmte Prozentsätze, die der Primärenergiebedarf und der spezifische Transmissionswärmeverlust des zu sanierenden Gebäudes in Bezug auf das Referenzgebäude erreichen darf.

Wärmedurchgangskoeffizienten U des Referenzgebäudes

	U- Wert
Außenwand	0,28 W/m ² K
Fenster	1,3 W/m/ g=0,6
Dachflächenfenster	1,4 W/m ² K/g =0,6
Dach	0,2 W/m ² K
Decken und Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich	0,35 W/m ² K
Wärmebrückenzuschlag	0,05 W/m ² K

KfW- Förderungen¹

	zulässiger Höchstwert bezogen auf das Referenzgebäude Q_p und H'_T		Höhe des Zuschusses je Wohneinheit	oder	Höhe des Tilgungszuschusses je Wohneinheit (bei KfW-Kredit (max.75.000€) von 1% Zins)
KfW- EH 115	115 %	130 %	10 % (max. 7.500€)		7,5 % (max. 7.500€)
KfW- EH 100	100 %	115 %	12,5 % (max. 9.375€)		10 % (max. 9.375€)
KfW- EH 85	85 %	100 %	15 % (max. 11.250€)		12,5 % (max. 11.250€)
KfW- EH 70	70 %	85 %	20 % (max. 15.000€)		17,5 % (max. 15.000€)
KfW- EH 55	55 %	70 %	25 % (max. 18.750€)		22,5 % (max. 18.750€)
Einzelmaßnahmen		lt. Tabelle	10 % (max. 5.000€, mind. 300)		

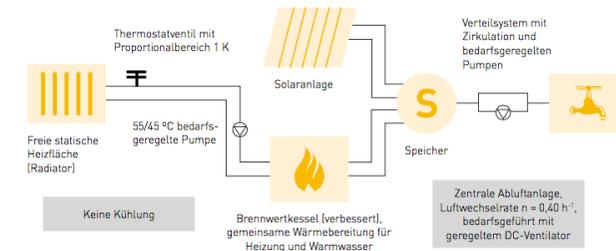


Abb. 122: Standard der Anlagentechnik im Referenzgebäudeverfahren

8.1. Referenzgebäude - Berechnung des Primärenergiebedarfs

Die Eingabedaten ergeben sich aus den Größen der Hüllflächenbauteile und dem dazugehörigen U- Wert, der im Referenzgebäudeverfahren jeweils für den Bauteil vorgesehen ist (siehe oben). Der Wärmebrückenzuschlag auf die gesamte Gebäudehülle beträgt 0,05 W/m²K.

Anlagenaufwandszahl Brennwertkessel (247m² BGF): $e_p = 1,15$

Primärenergiefaktor Gas: $f_p = 1,1$

Primärenergiefaktor Strom (2014): $f_p = 2,4$

<http://www.enev-online.com>

<http://www.kfw.de>

beheizte Brutto-Geschossflaeche: 247.0 qm
 Heizsaison vom 3. 10. bis einschliesslich 2. 5.

Monat	Transmission QT (kWh)	Heizung Q (kWh)	HWB q (kWh/qm)
1	2204.	2182.	8.83
2	1954.	1795.	7.27
3	1929.	1317.	5.33
4	1506.	494.	2.00
5	87.	9.	.04
6	---	---	---
7	---	---	---
8	---	---	---
9	---	---	---
10	1231.	500.	2.02
11	1691.	1403.	5.68
12	2058.	1980.	8.02
	-----	-----	-----
	12660.	9680.	HWB: 39.19

Abb. 123a: Heizwärmebedarf des Referenzgebäudes nach EUROWAEBED

ANGABEN ZU DEN RAUMBEGRENZENDEN BAUTEILEN VON INNENRAUM NR. 1

 I. PLATTENFOERMIGE BAUTEILE (1D)

BAUTEIL NUMMER	KENNUNG (F,A,...)	AUSSEN- ODER NACHBARRAUM NUMMER	TIEFEN KLASSE	HOEHEN KLASSE	K-WERT (W/QM*K)	WAND/FENSTER TYPNUMMER	FLAECHE (QM)	TEMPERATUR ANDERE SEITE (GRD. CELS.)
1	G	1			1.296	1	7.870	GLAS NW FASS
2	G	2			1.296	1	1.020	GLAS NW DACH
3	G	3			1.296	1	4.100	GLAS SW FASS
4	G	4			1.400	2	5.770	GLAS SO FASS
5	G	5			1.400	2	2.040	GLAS SO DACH
6	A				.280		93.460	AW
7	A				.200		109.110	DACH
8	A				1.300		8.670	RAHMEN KUNSTST
9	A				1.400		.970	RAHMEN HOLZ
10	V		1	4	.350		11.040	KW ZONE 1
11	V		2	4	.350		12.920	KW ZONE 2
12	V		3	4	.350		23.610	KW ZONE 3
13	H		3	4	.350		39.200	BP ZONE 3
14	H		5	4	.350		30.960	BP ZONE 5
15	A				.280		11.670	gaubenwand

Abb. 123b: Eingabedaten für das Referenzgebäude

benötigte Heizenergie Referenzgebäude :

Q = 9680 kWh

Warmwasser : wird durch Solaranlage erzeugt, Deckungsrate unbekannt
 (angenommen 3000 kWh->Rest : 1000 kWh/a)

Endenergie Heizung und Warmwasser :

(9680 kWh+ 1000 kWh) * 1,15 = 12282 kWh

Strombedarf : 4000 kWh/a

Ergebnis:

Q_{P,Ref} = 12282 kWh * 1,1 + 4000 kWh * 2,4 = **23.110 kWh (93,56 kWh/m²a)**

zum Erreichen der KfW- Effizienzhausstandards
 gilt der folgende maximale Primärenergiebedarf :

sowie

der folgende maximale
 spezifische Transmissionsverlust H't:

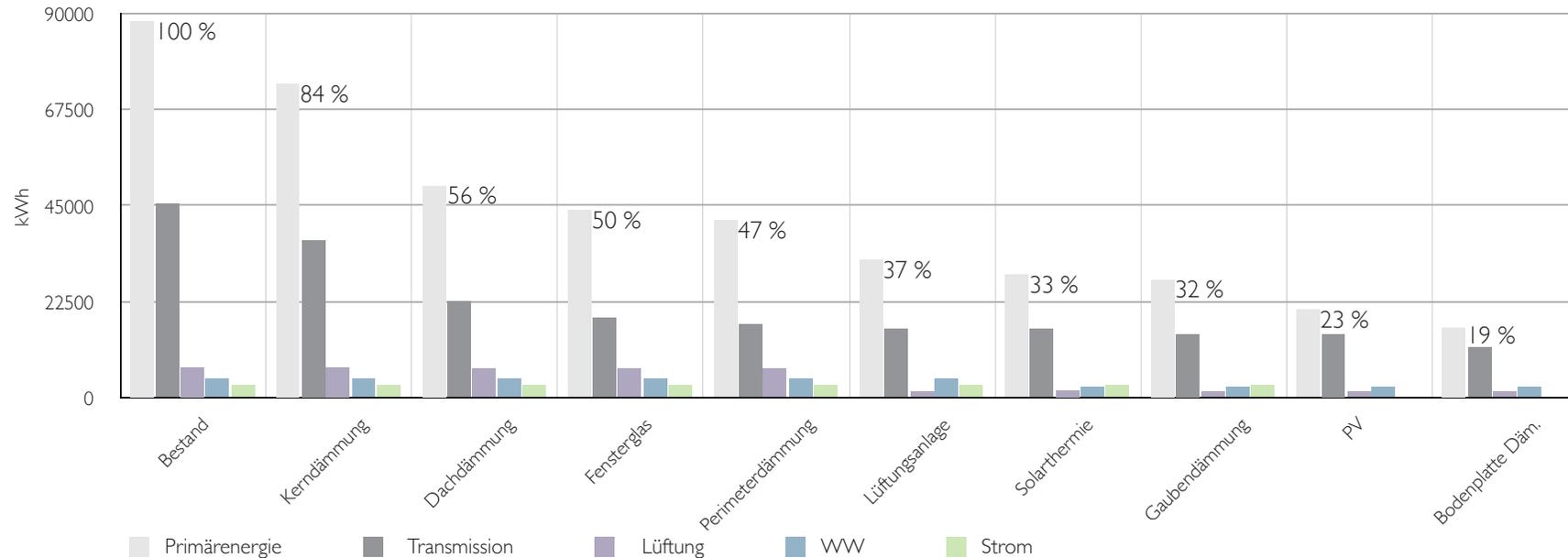
	Q _{P,max} (in Bezug auf das Referenzgebäude)	Q _{P,max}
KfW- EH 115	115 %	26.577 kWh (107,60 kWh/m²a)
KfW- EH 100	100 %	23.110 kWh (93,56 kWh/m²a)
KfW- EH 85	85 %	19.644 kWh (79,53 kWh/m²a)
KfW- EH 70	70 %	16.177 kWh (65,49 kWh/m²a)
KfW- EH 55	55 %	12.711 kWh (51,46 kWh/m²a)

	H' _T (in Bezug auf H' _{T,max} NeubauEnEV)	H' _{T,max}
KfW- EH 115	130 %	0,59 W/K
KfW- EH 100	115 %	0,45 W/K
KfW- EH 85	100 %	0,38 W/K
KfW- EH 70	85 %	0,32 W/K
KfW- EH 55	70 %	0,21 W/K

9. Ergebnis: Simulation des Heizwärmebedarfs nach verschiedenen Sanierungsmaßnahmen

9.1. SANIERUNGSMABNAHMEN MIT EINHALTUNG DER GESETZLICHEN MINDESTDÄMMSTÄRKE NACH ENEV2014

	Bestand	Kerndämmung U=0,5 W/m ² K	Dachdämmung ZSD+USD 8cm U=0,2 W/m ² K	Fensterglas Austausch	Perimeterdäm- mung 18 cm U=0,16 W/m ² K	Lüftungsanlage	Solarthermie	Gaubendämmung 20cm U=0,15 W/m ² K	PV	Bodenplatte VIP U =0,28 W/m ² K
Heizung [kWh]	37311	29827	17389	14402	13307	8525	8525	7947	7947	5852
Transmission [kWh]	45393	37126	22788	18752	17391	16033	16033	15253	15253	11922
Lüftung [kWh]	7328	7236	6886	6867	6783	1714	1747	1694	1694	1551
WW [kWh]	4500	4500	4500	4500	4500	4500	2747	2747	2747	2747
Strom [kWh]	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	0	0
HWB [kWh/m²(BGF)a]	151,06	120,76	70,40	58,31	53,87	34,51	34,51	32,17	32,17	23,69
Primärenergie [kWh]	88460	73915	49741	43936	41808	32514	29107	27984	20784	16712
Baukosten [€]		2800	12300	6700	7420	12500	5500	1900	12000	13000
Baukosten kumuliert [€]		2800	15100	21800	29220	41720	47220	49120	61120	74120
Amortisationszeit (p=5%)		5,46	10,53	12,91	16,02	18,59	19,63	19,97	18,03	20,38



Tab.124: Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen auf den Heizwärme- und Primärenergiebedarf bei Einhaltung der gesetzlichen Mindestdämmstärken nach EnEV2014

zu Tabelle I24:

Die Tabelle zeigt Sanierungsmaßnahmen der verschiedenen Bauteile bei Einhaltung der EnEV- Mindest- U- Werte. Sie werden angewendet in der Reihenfolge ihrer Wirtschaftlichkeit (von der wirtschaftlichsten zur unwirtschaftlichsten). Als Ergebnis zeigt die Tabelle die Auswirkungen der Sanierungsmaßnahmen auf den Heizwärme- und Primärenergiebedarf. Es ist zu erkennen, dass die wirtschaftlichsten Sanierungsmaßnahmen nicht die effektivsten sein müssen, da es bei der Wirtschaftlichkeit lediglich um das Verhältnis von Kosten zu Energieeinsparungen geht. Da es bei Energieeinsparungen jedoch oft auch um finanzielle Einsparungen geht, macht es durchaus dann Sinn, wenn die Sanierung des Gebäudes Schritt für Schritt durchgeführt werden soll, die Wirtschaftlichkeit einer Sanierungsmaßnahme zu kennen.

Bei der Berechnung wird angenommen, dass der Wärmeerzeuger zwischen den Sanierungsschritten jeweils gleich bleibt. Um eine Überdimensionierung zu vermeiden und eine bessere Effizienz zu erzielen, ist ein Austausch der bestehenden veralteten Heizungsanlage bei einer Senkung des Heizwärmebedarfs jedoch unerlässlich. Aufgrund eines verbesserten Wirkungsgrades eines neuen Kessels ist der Primärenergiebedarf dann noch kleiner, als die Grafik zeigt.

Letztendlich kann man mit 9 Sanierungsmaßnahmen 81% des Primärenergiebedarfs des Bestandsgebäudes einsparen. Berücksichtigt man den besseren Wirkungsgrad eines neuen Heizkessel, z.B. eines Gas-Brennwertkessels, lägen die Einsparungen sogar bei 88% des Primärenergiebedarfs.

Der Heizwärmebedarf beträgt nach den Sanierungsmaßnahmen mit $23,69 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a}$ nur noch knapp 16 % des bestehenden Heizwärmebedarfs laut Simulation. So kann das Energieniveau eines Niedrigenergiegebäudes ($<25 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}} \cdot \text{a}$) erreicht werden.

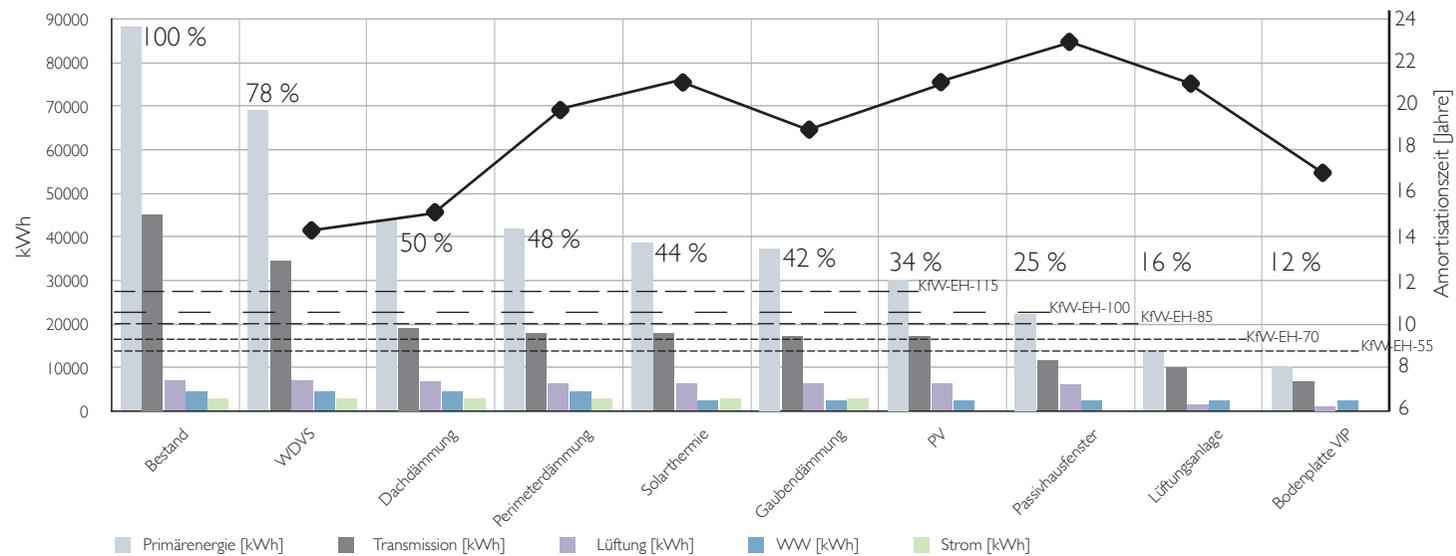
Die Bezugsgröße für den Wert des HWB ist nach **deutscher Energiesparverordnung** die **Energiebezugsfläche** ($A_{\text{N}} = 0,32 * V_{\text{brutto}}$) statt der in dieser Arbeit verwendeten Bruttogeschossfläche. Nach deutscher Norm beträgt der HWB nach der letzten Sanierungsvariante $\text{HWB} = 5852 \text{ kWh} / (0,32 * 614 \text{ m}^3) = 5852 / 196,48 \text{ m}^2 = 29,78 \text{ kWh/m}^2_{\text{En.bez.}} \cdot \text{a}$.

9.2. SANIERUNGSMABNAHMEN MIT EINHALTUNG DER MINDESTANFORDERUNGEN BEI KFW-FÖRDERUNG

Reihenfolge der Sanierungsmaßnahmen gestaffelt nach Wirtschaftlichkeit

Bestand	WDVS 18cm U=0,2 W/m2K	Dachdämmung ZSD+ ASD 18cm) U=0,14W/m2K	Perimeterdämmung 18cm U=0,16 W/ m2K	Solarthermie	Gaubendämmung 20cm, U=0,15 W/m2K	PV + Stromspeicher	Fensteraustausch U= 0,7 W/m2K	Lüftungsanlage	Bodenplatte VIP U =0,23 W/m2K	
Heizung [kWh]	37311	27379	14503	13433	13433	12829	12829	8803	4420	2584
Transmission [kWh]	45393	34444	19328	17954	17954	17253	17253	11784	10027	6762
Lüftung [kWh]	7328	7207	6736	6643	6643	6614	6614	6351	1491	1254
WW [kWh]	4500	4500	4500	4500	2747	2747	2747	2747	2747	2747
Strom [kWh]	3000	3000	3000	3000	3000	3000	0	0	0	0
H't	1,63	1,31	0,89	0,85	0,85	0,83	0,83	0,66	0,66	0,3
Energiestandard KfW										KfW-EH-70
HWB [kWh/m2(BGF)a]	151,06	110,85	58,72	54,38	54,38	51,94	51,94	35,64	17,89	10,46
Primärenergie [kWh]	88460	69157	44132	42053	38646	37472	30272	22447	13929	10361
Energiestandard KfW								KfW-EH-115	KfW-EH-70	KfW-EH-55
Kosten [€]		10100	17700	7420	5500	1900	12000	17000	12500	13000
Kosten kumuliert [€]		10100	27800	35220	40720	42620	54620	71620	84120	97120
Förderung KfW- Einzelmaßnahme (10 %) bzw. BAFA, [€] (Stand: 03/2015)		1010	1770	742	1500	190		1700	1250	1300
Förderung Einzelmaßnahmen kumuliert [€]		1010	2780	3522	5022	5212	5212	6912	8162	9462
Förderung KfW- EH Invest.Zuschuss [€]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	p=20% 15000
Förderung KfW- EH Tilgungs-Zuschuss [€]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	p=17,5% 13125
Restbetrag Investition [€]		9090	25020	31698	35698	37408	49408	64708	75958	82120
Amortisationszeit (n=20a,p=5%) [Jahre]		14,43	15,41	19,83	21,09	18,74	21,66	22,85	21,30	p=0,75% 17,53

KfW70->20%, max. 15.000€
 KfW70-> 17,5% von max.75.000, max. 15.000€



Tab.126: Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen auf den Heizwärme- und Primärenergiebedarf bei Förderungsmöglichkeit der KfW

zu Tabelle I25/ Conclusio:

Die Tabelle zeigt einen Sanierungsleitfaden bei Einhaltung der Mindestdämmstärken bei Anstreben einer KfW- Förderung und in der Reihenfolge der Wirtschaftlichkeit der Sanierungsmaßnahmen.

Aus der Simulation mit EuroWaebed wird die benötigte **Heizenergie** berechnet, sowie die Heizenergieanteile aufgrund Transmission und Lüftung berechnet. Der **Warmwasser- sowie Strombedarf** basiert auf einer Annahme eines 4- Personen-Haushalts.

Der spezifische Transmissionswärmeverlust $H't$ berechnet sich aus den gesamten U-Werten der Gebäudehülle im Verhältnis zur Hüllfläche (siehe Kap. 6.1.1.2., S. 54).

Der **Heizwärmebedarf** pro m^2 Bruttogeschossfläche errechnet sich aus der benötigten Heizenergie in kWh (Zeile 1) und der Bruttogeschossfläche von $247m^2$.

Der **Primärenergiebedarf** ergibt sich aus den Anteilen der Energie für Heizung, Warmwasser und Strom mit den entsprechenden Primärenergiefaktoren (f_p (Gas)= 1,1, f_p (Strom)=2,4).

Strebt man einen KfW- Effizienzhaus- Standard mit den dazugehörigen Förderungen an, müssen bestimmte Grenzwerte des spezifischen **Transmissionswärmeverlustes $H't$** sowie des **Primärenergiebedarfs** (ein bestimmter Prozentsatz nach dem Referenzgebäude, siehe Kap.8, S.123) eingehalten werden. Ist dies der Fall, sind die Werte rot markiert. Jedoch müssen beide Werte den Grenzwert des jeweiligen Effizienzhausstandards eingehalten werden.

Die Tabelle zeigt die **Baukosten** der jeweiligen Sanierungsmaßnahme sowie die kumulierten Baukosten nach mehreren aufeinanderfolgenden Maßnahmen. Die mögliche Förderung von Einzelmaßnahmen beträgt 10% der Baukosten (ausgenommen Solarthermie (-> BAFA- Förderung) und PV). Des Weiteren werden die kumulierten **Förderungen** nach verschiedenen Maßnahmen berechnet, sowie der Betrag der restlichen Investitionskosten, die bei den Sanierungsmaßnahmen nach Abzug der Förderung anfallen.

Die **Amortisationszeit** des Sanierungsstandes errechnet sich aus den Investitionskosten, den Energiekosteneinsparungen gegenüber dem Bestand ($p_{Gas} = 6,5$ cent, $p_{Strom} = 29$ cent), dem Zinssatz (z.B. $p=5\%$) und der Energiepreissteigerung (Annahme: 7%) (Rechnungsweg siehe auch S.29).

Bei dieser Sanierungsstrategie ist das Erreichen eines KfW- Effizienzhaus- Standards erst nach der letzten (unwirtschaftlichsten) Maßnahme der Fall: mit der Dämmung der Bodenplatte kann ein $H't$ - Wert erreicht werden, durch den der Effizienzhausstandard 70 erreicht werden kann. Obwohl der Primärenergiebedarf nach dieser Sanierungsmaßnahme auf dem Niveau eines Effizienzhaus 55 liegt, gilt die Förderung eines Effizienzhaus 70, da beide Werte die Grenzwerte unterschreiten müssen. Der Heizwärmebedarf bei Anwendung aller Sanierungsmaßnahmen beträgt $10,46 \text{ kWh/m}^2_{BGF,a}$ und liegt somit knapp über dem eines Passivhauses.

Gegen **eine Schritt- für Schritt- Sanierung** spricht, dass bei Erreichen eines KfW- Effizienzhausstandards die Amortisationszeit der Investition stark verkürzt ist, sich also die Sanierungsmaßnahmen schneller wieder abbezahlen. Grund dafür ist zum einen der vergünstigte Kredit mit 0,75% (max. 75.000€), der bei Erreichen eines Effizienzhausstandards von der KfW mit einem Tilgungszuschuss von 17,5% (max. 15.000€) angeboten wird. Alternativ können auch erhöhte Investitionszuschüsse (bei KfW70 20% der Baukosten bzw. max. 15.000€) bei der KfW beantragt werden, jedoch nicht bei gleichzeitiger Kreditaufnahme. Da der (Tilgungs-) Zuschuss höher liegt als der kumulierte Zuschuss der Einzelmaßnahmen bei Förderung von 10%, lohnt sich eine Komplett- Sanierung, bei der der Effizienzhausstandard erreicht wird nicht nur aus energetischer, sondern auch aus finanzieller Sicht.

Die **Schritt- für Schritt- Sanierung** nach Wirtschaftlichkeit macht Sinn, wenn nur ein bestimmtes Budget vorhanden ist bzw. kein hoher Kredit aufgenommen werden kann. So können nach und nach bzw. bei Ablauf der Lebensdauer die Bauteile erneuert und energetisch saniert werden. Die ohnehin nötigen Maßnahmen an einem oder mehreren Bauteilen macht eine energetische Maßnahme (z.B. Dämmung) rentabler, da ohnehin zum Beispiel ein Gerüst aufgebaut werden muss und dies ebenso für die Wärmedämmung der Außenwand und des Dachs verwendet werden kann oder eventuell ein Bodenaushub erfolgt bei Kellerabdichtung.

Mehrkosten können jedoch dadurch entstehen, dass Anschlüsse an angrenzende Bauteile bei einer nach und nach folgenden Sanierung immer wieder neu geplant und ausgeführt werden müssen.

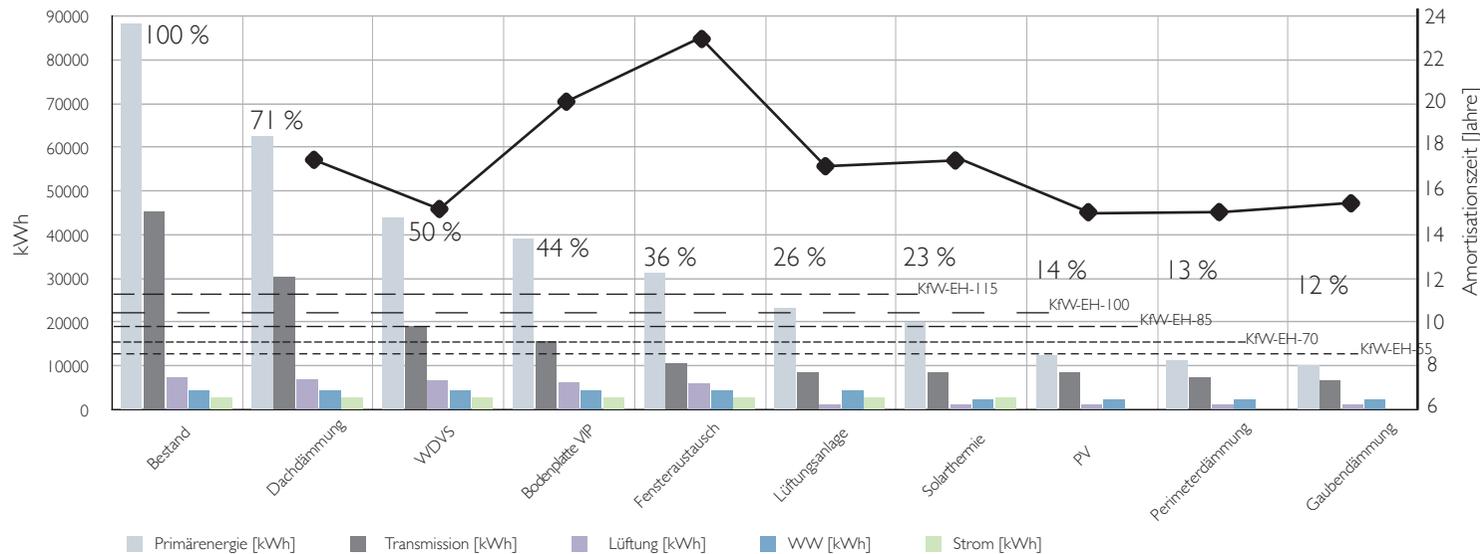
Die Kurve der Amortisationszeiten lässt erkennen, dass zum Beispiel die Sanierung der Außenwand in Kombination mit einer Dachdämmung sich trotz fast doppelter Investitionskosten schneller refinanziert als eine alleinige Dachdämmung. Lediglich das Risiko, dass die Energiekosten fallen anstatt um 7% steigen, wie in der Rechnung angenommen, kann die Amortisationszeit der Maßnahmen in Höhe steigen lassen.

9.3. SANIERUNGSMABNAHMEN MIT EINHALTUNG DER MINDESTANFORDERUNGEN BEI KfW-FÖRDERUNG

Reihenfolge der Sanierungsmaßnahmen nach Effektivität

Bestand	Dachdämmung ZSD+ ASD18cm) U=0,14W/m2K	WDVS 18cm U=0,2 W/m2K	Bodenplatte VIP U=0,23W/m2K	Fenster austausch U= 0,7 W/m2K	Lüftungsanlage	Solarthermie	PV + Stromspeicher	Perimeterdämmung 18cm U=0,16 W/m2K	Gaubendämmung 20cm, U=0,15 W/m2K	
Heizung [kWh]	37311	24074	14503	11978	8030	3837	3837	3837	3036	2584
Transmission [kWh]	45393	30629	19328	15933	10577	8855	8855	8855	7539	6762
Lüftung [kWh]	7328	7123	6736	6438	6115	1401	1401	1401	1314	1254
WW [kWh]	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	2747	2747	2747
Strom [kWh]	3000	3000	3000	3000	3000	3000	0	0	0	0
H't	1,63	1,21	0,89	0,52	0,36	0,36	0,36	0,36	0,32	0,3
Energiestandard KfW				KfW-EH-115	KfW- EH- 85	KfW- EH- 85	KfW- EH- 85	KfW- EH- 85	KfW- EH- 70	KfW-EH-70
HWB [kWh/m2(BGF)a]	151,06	97,47	58,72	48,49	32,51	15,53	15,53	15,53	12,29	10,46
Primärenergie [kWh]	88460	62734	44132	39225	31552	23403	19996	12796	11239	10361
Energiestandard KfW-EH	-	-	-	-	-	KfW-EH-115	KfW-EH-100	KfW-EH-70	KfW-EH-55	KfW-EH-55
Kosten [€]		17700	10100	13000	17000	12500	5500	12000	7420	1900
Kosten kumuliert [€]		17700	27800	40800	57800	70300	75800	87800	95220	97120
Förderung KfW- Einzelmaßnahme (10 %) bzw. BAFA [€], (Stand: 03/2015)		1770	1010	1300	1700	1250	1500	-	742	190
Förderung Einzelmaßnahmen kumuliert [€]		1770	2780	4080	5780	7030	8530	8530	9272	9462
Förderung KfW- EH Invest.Zuschuss [€]	-	-	-	-	-	10% 7030	12,5% 9375	15% 11250	20% 15000	20% 15000
Förderung KfW- EH Tilgungs-Zuschuss [€]	-	-	-	-	-	7,5% 5723	10% 7580	12,5% 10975	17,5% 15000	17,5% 15000
Restbetrag Investition [€]		15930	25020	36720	52020	64577	68220	76825	80220	82120
Amortisationszeit (n=20a,p=5%) [Jahre]		17,60	15,41	19,55	23,11	p=0,75% 17,43	p=0,75% 17,47	p=0,75% 15,35	p=0,75% 15,62	p=0,75% 15,77

KfW70->20%, max. 15.000€
 KfW70->17,5% von max.75.000, max. 15.000€



Tab.128: Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen auf den Heizwärme- und Primärenergiebedarf bei Förderungsmöglichkeit der KfW

zu Tabelle I25 / Vergleich zu Tabelle I24 / Conclusio

Die Tabelle zeigt einen Sanierungsleitfaden bei Einhaltung der Mindestdämmstärken bei Anstreben einer KfW- Förderung und in der Reihenfolge der Effektivität der Sanierungsmaßnahmen.

Diese Reihenfolge der Sanierungsmaßnahmen ist dann sinnvoll, wenn mit möglichst wenig Sanierungsmaßnahmen möglichst viel Energie eingespart werden soll.

Die Dachdämmung und die Dämmung der Außenwand sind die effektivsten Energiesparmaßnahmen. Mit einer Kombination aus beiden kann der Primärenergiebedarf um 50 % gesenkt werden bei einer Amortisationszeit, die mit 15,41 Jahren unter der Lebensdauer der Konstruktionen liegt (ca. 20 Jahre).

Werden jedoch mehr Energiesparmaßnahmen angestrebt bei gleichzeitig möglichst hoher Förderung, ist die zusätzliche Dämmung der Bodenplatte und den Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sinnvoll. Letztere Maßnahme setzt hohe Ansprüche an die Dichtheit des Gebäudes, daher ist ein gleichzeitiger Fensteraustausch ratsam, obwohl die Maßnahme teuer und nicht sehr rentabel ist (Amortisationszeit nach Fensteraustausch: 23,11 Jahre), aber durchaus höheren Komfort durch höhere innere Oberflächentemperaturen der Fenster.

Ebenso die Dämmung der Bodenplatte ist kostenintensiv und wenig wirtschaftlich, ist jedoch notwendig, um den H'T- Wert auf ein förderfähiges Niveau zu senken. Bei der wirtschaftlichen Variante nach Tab. I24 ist die Bodenplatte die unwirtschaftlichste und somit letzte Maßnahme, ohne die aber kein Effizienzhaus- Standard erreicht werden kann.

Nach der Tabelle I25 kann schon durch 5 Maßnahmen der Primärenergiebedarf um 74 % gesenkt und somit ein KfW- Effizienzhaus I15 erreicht werden. Bei der Sanierung nach Tab. I24 wird der Standard dieses Niveau des Primärenergiebedarfs erst nach 7 Maßnahmen erreicht. Da in letzterem Fall aufgrund des erhöhten H'T- Wertes kein Effizienzhaus- Standard erreicht wird, ist die Kombination der Maßnahmen nach Tab. I24 unwirtschaftlicher und braucht längerer Zeit, um sich zu refinanzieren (Amortisationszeit 22,85 Jahre gegen 17,43 Jahre bei Tab. I25). Die Kombination der ersten 5 Maßnahmen nach Tab. I25 ist deswegen so sinnvoll, weil schon nach 5 Maßnahmen ein Effizienzhaus- Standard erreicht wird und so ein vergünstigter Kredit von 0,75 % mit einem Tilgungszuschuss von 7,5% bei der KfW beantragt werden kann. Sinnvoll ist dieser Weg also aufgrund des niedrigen Zinssatzes der KfW auch bei fehlendem Eigenkapital.

Alle weiteren Maßnahmen nach Einbau einer Lüftungsanlage liegen ebenfalls im förderfähigen Bereich des Effizienzhaus- Standards, und bringen durch weitere Senkungen

des Primärenergiebedarfs einen höheren Standard (KfW-EH100 mit Solarthermie, KfW-EH85 mit PV, KfW- EH70 mit Kellerdämmung) und somit immer höherer Tilgungszuschüsse- oder Investitionszuschüsse.

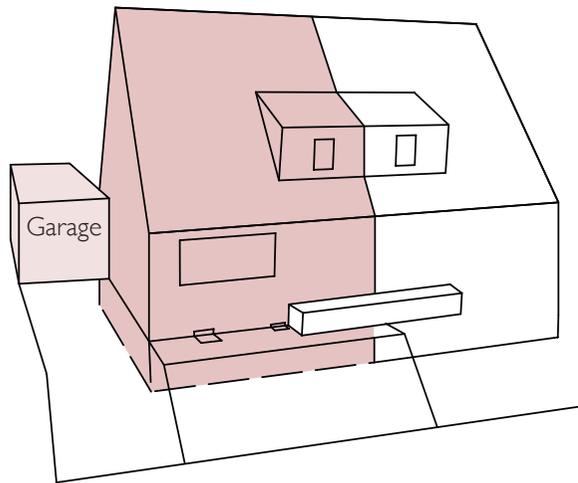
Da die Effizienzhaus- Förderungen der KfW nur bei Komplett- Sanierungen mit Tilgungs- und erhöhten Investitionszuschüssen bestehen, ist eine Schritt- für Schritt- Sanierung nur dann sinnvoll, wenn eine begrenzte Anzahl von Energiesparmaßnahmen geplant ist:

Die Einzelmaßnahmen werden jeweils nur mit 10% gefördert. Nach Tab. I25 ist eine Schritt- für- Schritt- Sanierung bis zum Erreichen des KfW- Effizienzhaus- Standards 85 sinnvoll, da bei mehr Energieeinsparungen die KfW- EH- Förderung über jenen der kumulierten Einzelmaßnahmen liegt (9375 € > 8530€). Wie bereits erwähnt hat eine Schritt- für Schritt- Sanierung den Nachteil, dass beim Austausch der Heizungsanlage diese neu dimensioniert werden muss und somit entweder schon vorher gewusst werden muss, welches Energieverbrauchslevel erreicht werden soll oder die Heizungsanlage erst nach Ausführung verschiedener Maßnahmen ausgetauscht wird und diese bis dahin überdimensioniert ist und bei schlechter Effizienz arbeitet.

Ergebnis der Arbeit ist, dass es mit einer Komplett- Sanierung und dem errechneten finanziellen Aufwand möglich ist, ein energieeffizientes, behagliches und nachhaltiges Gebäude zu schaffen. Der Heizwärmebedarfswert liegt fast auf dem Passivhaus- Niveau. Die Sanierung schafft ein klimafreundliches Gebäude, welches unabhängig von fossilen Brennstoffen und deren Brennstoffkosten sein kann. Sie trägt dazu bei, den CO₂- Ausstoß zu vermindern, den Anteil an erneuerbaren Energien zu vergrößern und fördert die Ziele des Kyoto- Maßnahmenpaketes und somit die Änderungen des Weltklimas in Grenzen zu halten.

10. Anbaumöglichkeit - Entwurf

10.1. BESTANDSSITUATION



Wohnfläche:

$$\text{UG} + \text{EG} + \text{OG} + \text{DG} = 44,55 \text{ m}^2 + 57,26 \text{ m}^2 + 40 \text{ m}^2 + 13,9 \text{ m}^2 = \mathbf{156 \text{ m}^2}$$

Zimmer :

8 + Küche, 2 Bäder, WC

- Kellerräume wenig belichtet, wenig Aufenthaltsqualität
- generell kleine Räume

Das Bestandshaus bietet bei einer Wohnfläche von 156 m² und 8 Zimmern relativ viel Platz für z.B. eine 4-köpfige Familie. Jedoch sind viele Räume eher klein, und besonders die Kellerräume sind trotz ihrer Nutzbarkeit schlecht belichtet und bieten keine angenehme Aufenthaltsqualität.

Im Falle eines Anbaus könnte die zusätzliche Fläche als Wohnflächenerweiterung für die Bewohner des Bestandsgebäudes dienen. So werden neue Räume geschaffen, und bestehende Räume können eventuell zusammengelegt und vergrößert werden. So steigt der Komfort und die Aufenthaltsqualität der Wohnräume.

Alternativ könnte die zusätzliche Fläche des Anbaus als vermietbare Einliegerwohnung oder als Arbeitsplatz genutzt bzw. vermietet werden. Um den Anbau nachhaltig zu gestalten, ist es wichtig, dass dieser flexibel nutzbar ist, d.h. dass zum Beispiel je nach Situation des Besitzers ohne aufwendige bauliche Veränderungen eine andere Nutzung stattfinden kann.

Wie ein derartiger Anbau aussehen könnte, wird in den folgenden Seiten diskutiert und eine Variante in Grundrissen und Nutzungsvorschlägen ausgeführt.

10.2. ANBAUMÖGLICHKEITEN

10.2.1. Anbau Süd

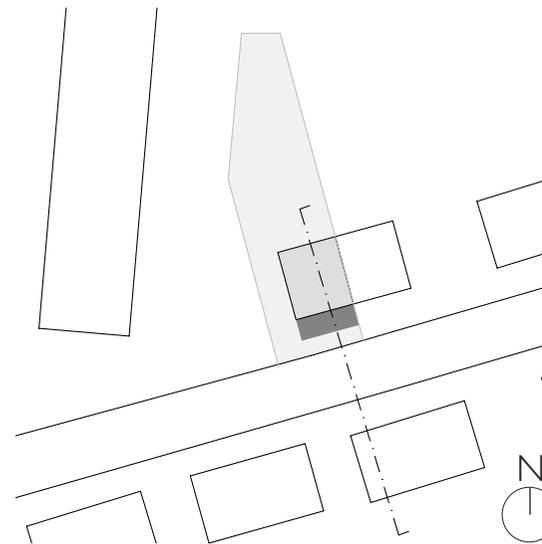


Abb. 131b: Lageplan Anbau Süd

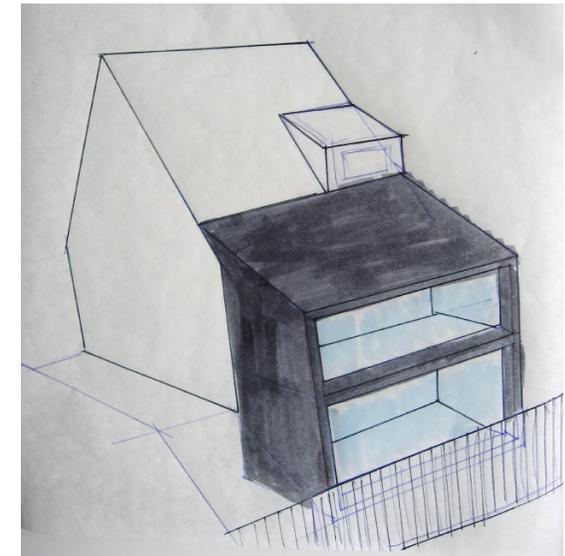


Abb. 131c: Skizze Anbau Süd

Vorteile :

- große Fenster nach Süden möglich, bringen in der Übergangszeit solare Gewinne
- PV- Fläche auf Dach in Übergangszeit ertragreich

Nachteile:

- Anbau im Süden wäre im Winter weitestgehend verschattet (keine solare Gewinne)
- wenig Privatsphäre da Anbau straßenseitig
- Bild der Siedlung wird verändert, baurechtlich schwierig
- Belichtung der Bestandsräume (EG und UG) wird verschlechtert

Abb. 131a: Nutzung der Sonnenstrahlung bei südlichem Anbau, Schnitt: Azimuth 165° (SSO)

10.2.2. Westanbau I (UG und EG)



Abb. 132a: Nutzung der Sonnenstrahlung bei westlichem Seitenanbau, Schnitt: Azimuth 165° (SSO)

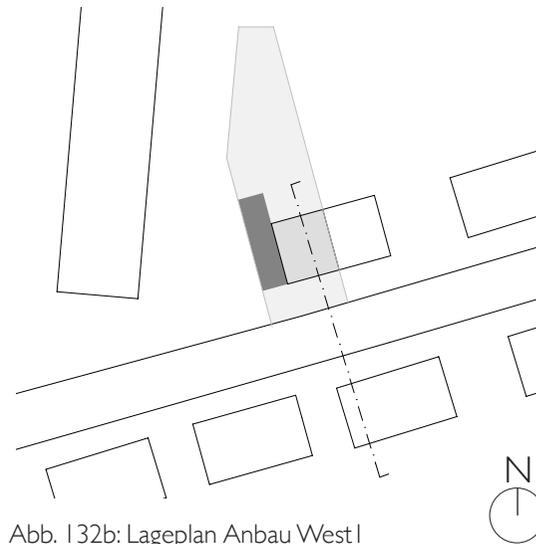


Abb. 132b: Lageplan Anbau West I

Vorteile:

- Aufenthaltsqualität der Kellerräume wird deutlich verbessert durch bessere **Belichtung**
- in Übergangszeit solare Gewinne (bes. im EG)
- Westteil des Grundstücks bietet viel Platz
- **barrierefreie** Übergänge möglich
- niedrige Gesamthöhe des Anbaus -> wenig Verschattung der Umgebung
- Bild des Bestandsgebäudes bleibt erhalten, optische Trennung von Alt und Neu
- Fenster zum Garten hin bieten gute Privatsphäre, es bildet sich eine Art Hof
- viel Fläche für PV auf Dach (50 m²) oder **Grünfläche** möglich

- > mögliche Wohnfläche : 40m²+40m²=80m² inkl. Garage
- > mögliche PV- Fläche : je nach Neigung 817-965 kWh/a
- > **ca. 2,5 - 5,5 kW_p**

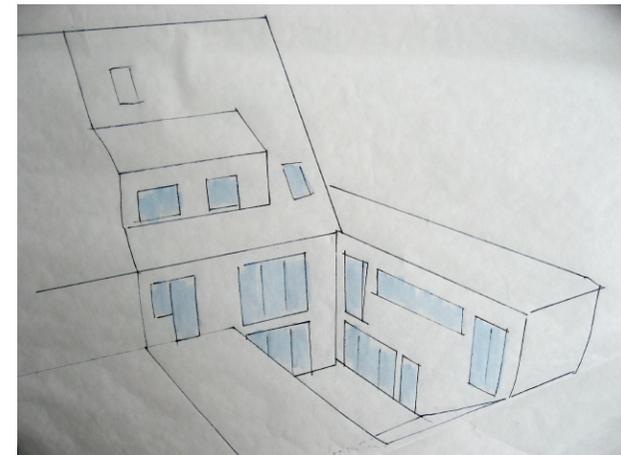
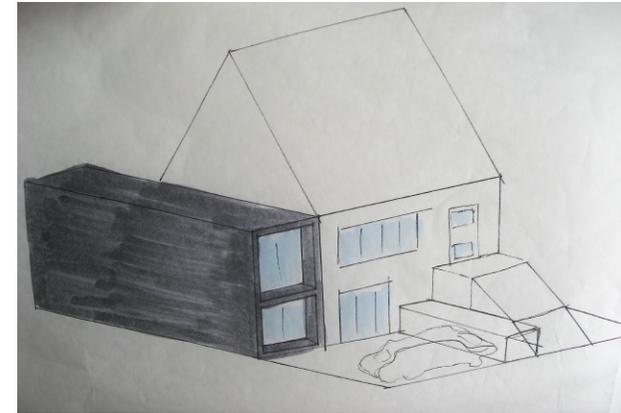


Abb. 132c: Skizze Anbau West I

Nachteile:

- Anbau im Westen im Winter weitestgehend verschattet
- Stellplatz müsste verlegt werden
- Dachfläche des Anbaus im Winter größtenteils durch Bestandshaus verschattet

10.2.3. Westanbau 2

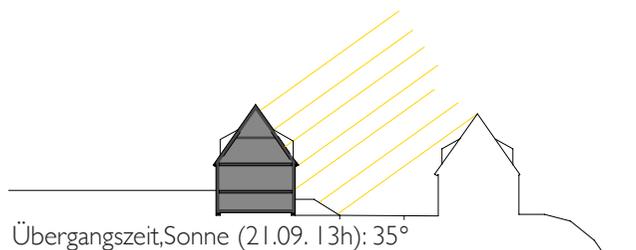
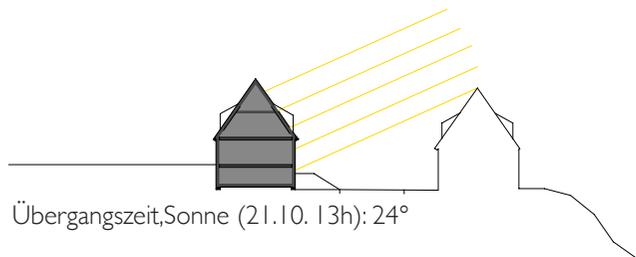
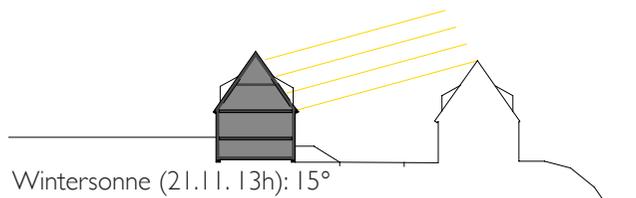
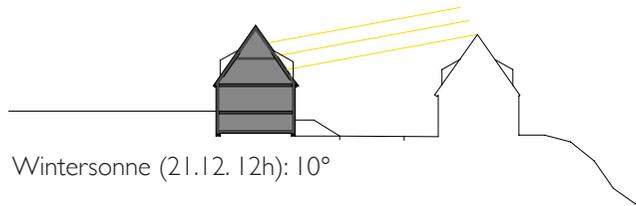
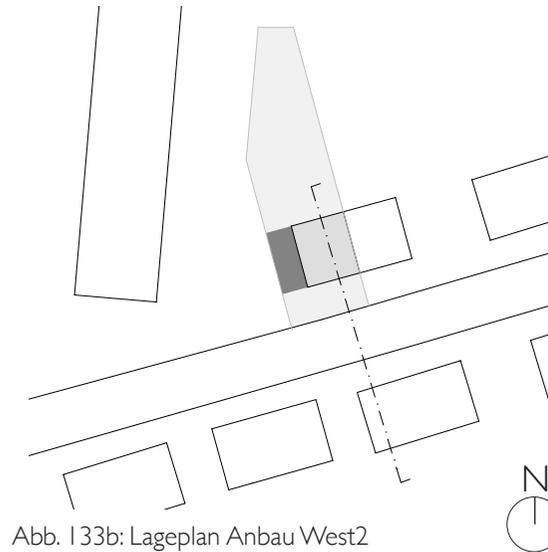


Abb. 133a: Nutzung der Sonnenstrahlung bei westlichem Anbau, Schnitt: Azimuth 165° (SSO)



Vorteile :

- am meisten nutzbare PV- Fläche -> im Winter nicht verschattet
- > bester Energieeintrag

Nachteile:

- Gebäude verliert seine Proportionen
- Stellplatz müsste verlegt werden
- Kellerräume verlieren ihr Tageslicht
- Höhe baurechtlich problematisch
- starke Verschattung der Umgebung

mögliche Wohnfläche : $40\text{m}^2 + 40\text{m}^2 + 17\text{m}^2 = \mathbf{124\text{m}^2}$ (inkl. Garage)
 mögliche PV- Fläche : $3,40\text{m} \times 8,00\text{m} = 27,2\text{m}^2$
 Summe Strahlung bei 52° Neigung: 945 kWh/a
 -> **ca. 2,5 kW_p**

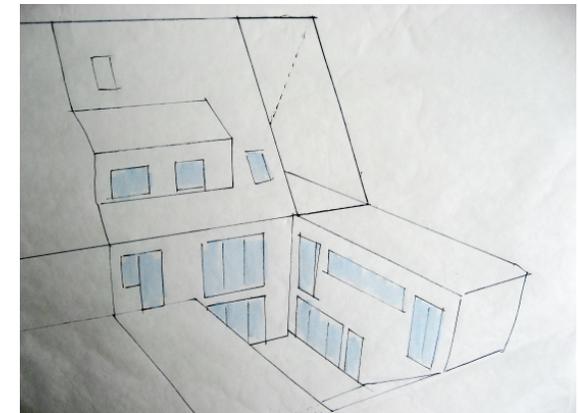
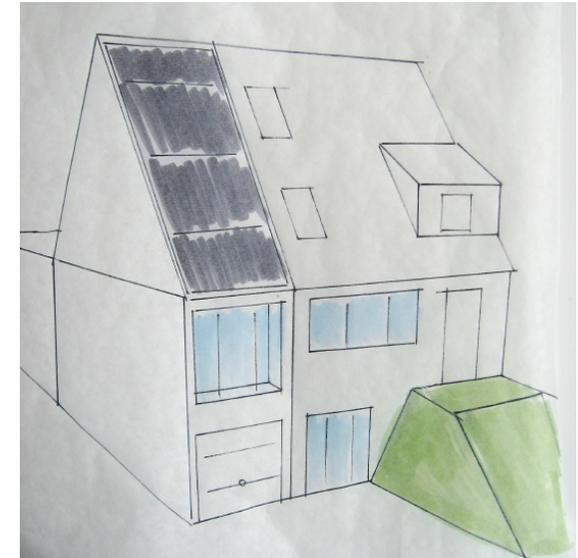


Abb. 133c: Skizze Anbau West2

10.2.3. Nordanbau

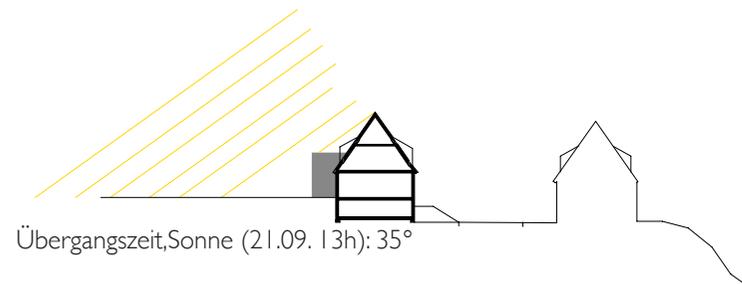
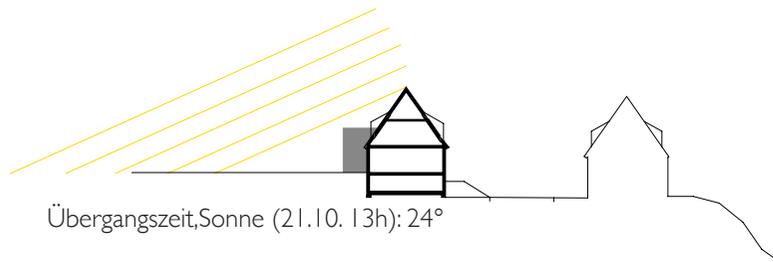
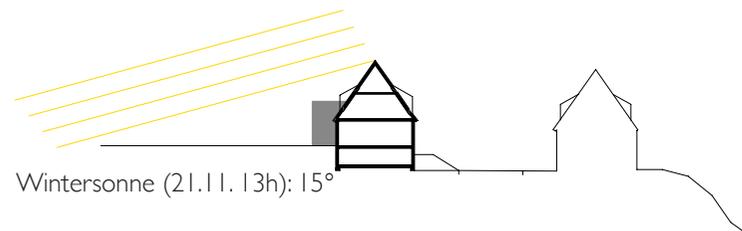
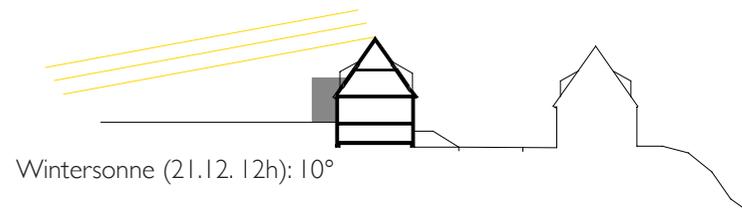
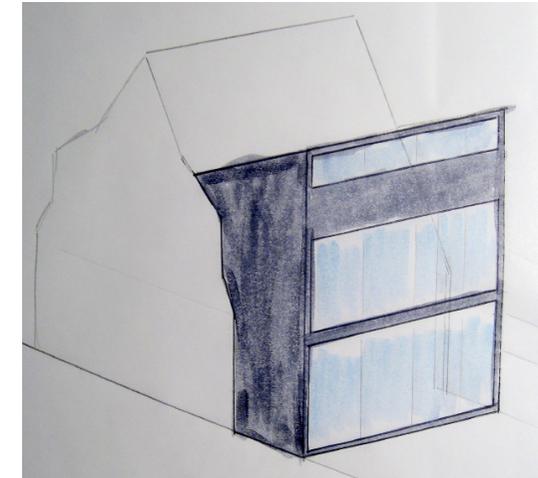
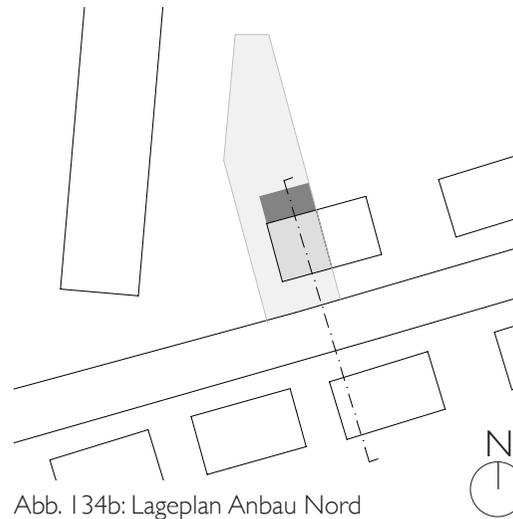


Abb. 134a: Nutzung der Sonnenstrahlung bei nördlichem Anbau, Schnitt: Azimuth 165° (SSO)



- Vorteile :**
- Kompaktheit des Gebäudes
 - keine Änderung der straßenseitigen Gebäudeansicht

- Nachteile:**
- ungünstige Ausrichtung für solare Gewinne bei PV- Modulen, da sehr verschattet, besonders im Winter
 - Belichtung der Bestandsräume wird deutlich verschlechtert

10.3. VARIANTE WESTANBAU

Aufgrund der vielen Vorteile, die ein ebenerdiger Westanbau bietet, wird die Variante Westanbau I (aus 10.2.) weiter ausgeführt: dieser bietet viele Möglichkeiten:

Ein mit der Ebene des Untergeschosses anschließender Anbau bei gleichzeitigem Abtrag des Erdreiches bietet einen barrierefreie Übergang sowohl vom Bestandsgebäude im EG und UG, als auch im UG vom Außenraum aus. Ein großer Vorteil ist, dass im UG ein separater Zugang zum Gebäude bzw. zum Anbau möglich ist, und so eine (evtl. vermietbare) Nutzereinheit unabhängig von der Nutzung des Bestandsgebäudes geschaffen werden kann. Andererseits sind beide Ebenen des Anbaus durch eine innenliegende Treppe vertikal miteinander verbunden, sodass je nach Nutzung beide auch zusammengeschlossen werden können und untereinander erschließbar sind.

4 Variationsmöglichkeiten --> Grundrissflexibilität

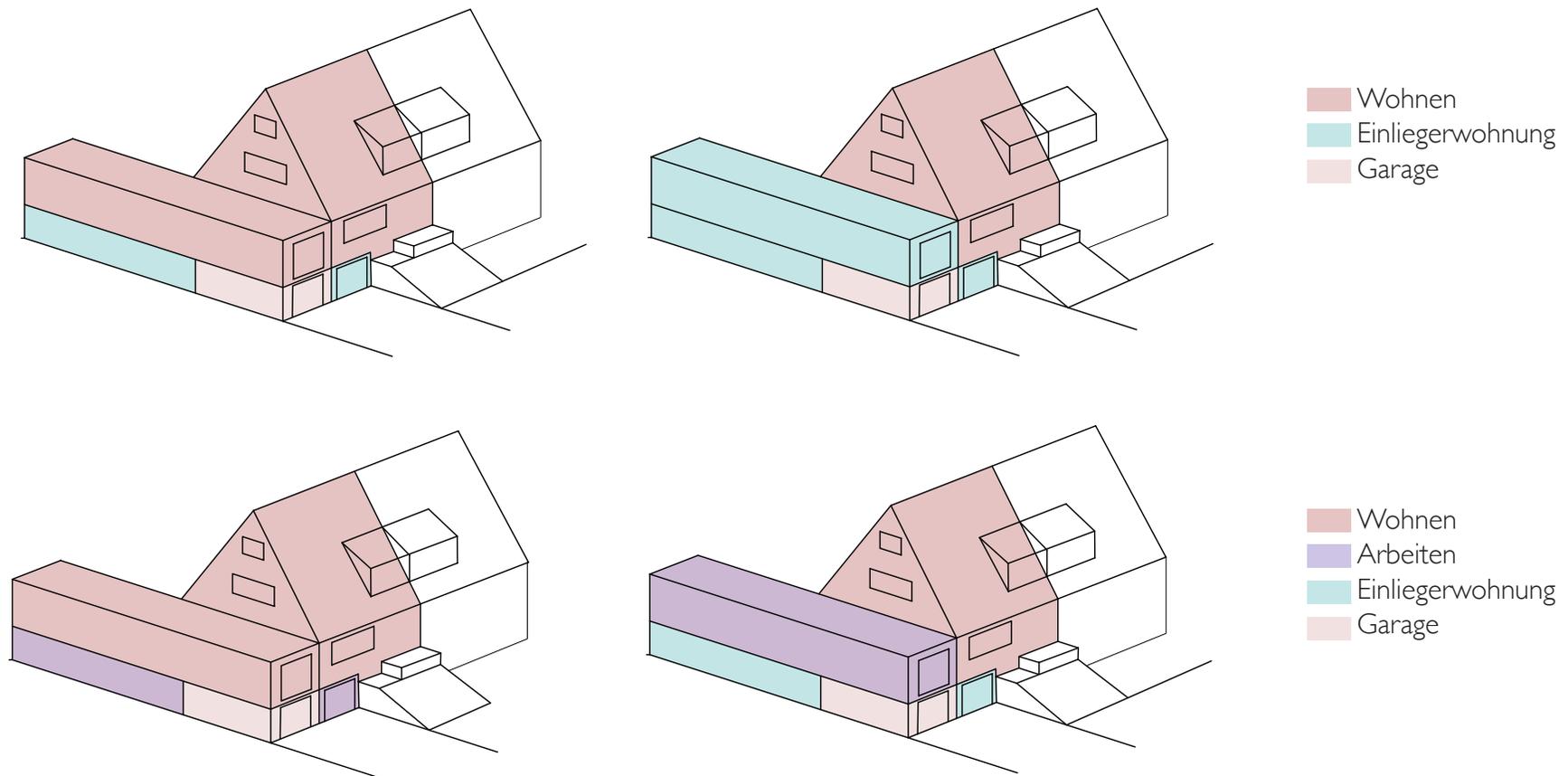


Abb. 135: Variationsmöglichkeiten der Nutzung des Anbaus

10.3.1.MÖGLICHE GRUNDRISSVARIATIONEN

Die folgenden Seiten zeigen die nötigen Änderungen im Grundriss sowie mögliche Grundrissvarianten bei einem westlichen Anbau.

Als Vorschlag für eine bessere Wohnqualität im Wohn- und Essbereich des Bestandsgebäudes wird die Wand zwischen Küche und Wohnzimmer entfernt, sodass eine große Wohnküche entsteht. Am vorhandenen Schornstein kann im Wohnbereich ein Kamin ebenfalls zur Wohnqualität beitragen. Im Untergeschoss wird das Bad leicht vergrößert und ein Zugang, sowie ein Flur geschaffen, durch den man weitere Räume des Untergeschosses separat und barrierefrei erreichen kann.

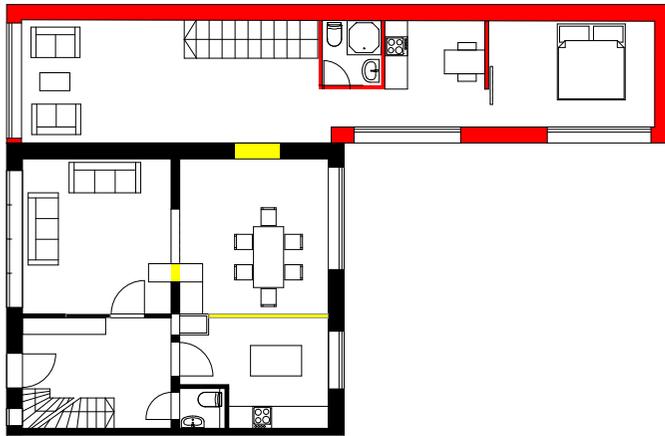


Abb. 136a: Änderungen im Grundriss des Bestands

ERDGESCHOSS- GR- VARIANTEN



Abb. 136c: EG- Anbau Variante mit Einliegerwohnung

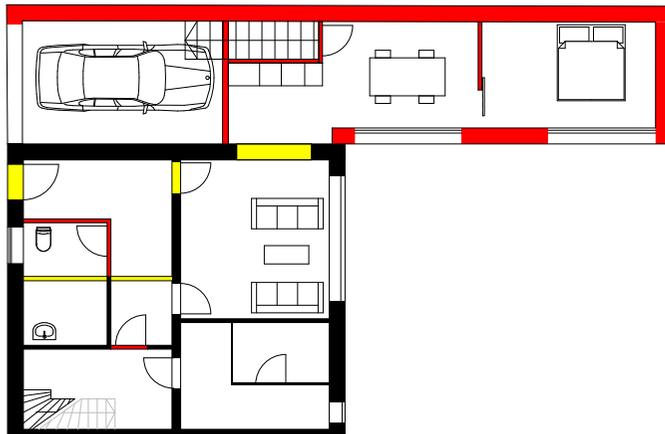


Abb. 136b: Änderungen im Grundriss des Bestands

UNTERGESCHOSS- GR- VARIANTEN



Abb. 136d: UG- Anbau- Variante mit Einliegerwohnung

NEUBAU

ABBRUCH



Wohnen

Arbeiten

Einliegerwohnung

Garage



Es werden sowohl Erdgeschoss- als auch Untergeschossnutzungsvarianten gezeigt. Alle Varianten sind miteinander kombinierbar: Möglich ist beispielsweise eine (vermietbare) 65 m² große Wohnung im Untergeschoss, die durch den separaten Eingang im UG erschlossen werden kann (Abb. 136c). Eine Einliegerwohnung im EG des Anbaus mit 40,5 m² ist ebenfalls möglich (Abb. 136d). Da diese jedoch über keinen separaten Eingang verfügt, macht diese Variante nur Sinn, wenn UG und EG des Anbaus durch die Stiege zusammengeschaltet werden und sich so eine 105,5 m² große Wohnung bildet.

Denkbar ist auch eine Büronutzung von Teilen des Anbaus. Möglich ist dies ebenso im UG durch den separaten Zugang (Abb. 137b). Eine Büronutzung im EG allein (Abb. 137c) ist nur bei

Privatnutzung sinnvoll. Besonders vorteilhaft ist eine Kombination von Büronutzung im UG und EG, da somit sowohl ein separater Zugang für Mitarbeiter, als auch ein privater Zugang zum Bestandsgebäude im EG möglich ist.

Denkbar ist ebenso eine Selbstnutzung, also eine Wohnflächenerweiterung des Bestandsgebäudes im UG sowie im EG des Anbaus (Abb. 137a und Abb. 137d).

ERDGESCHOSS- GR-VARIANTEN

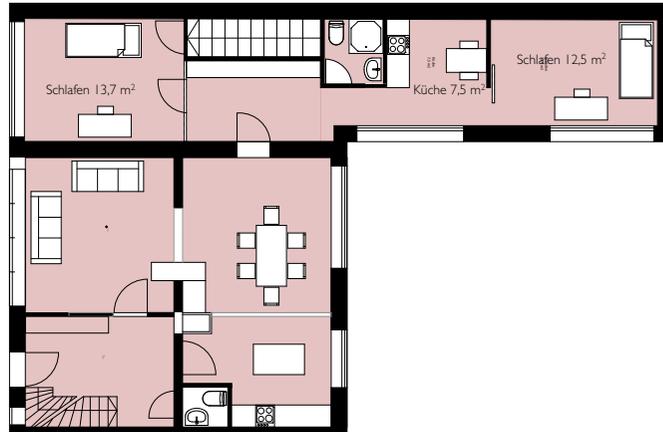


Abb. 137a: EG- Anbau Variante mit Selbstnutzung/
Wohnflächenerweiterung

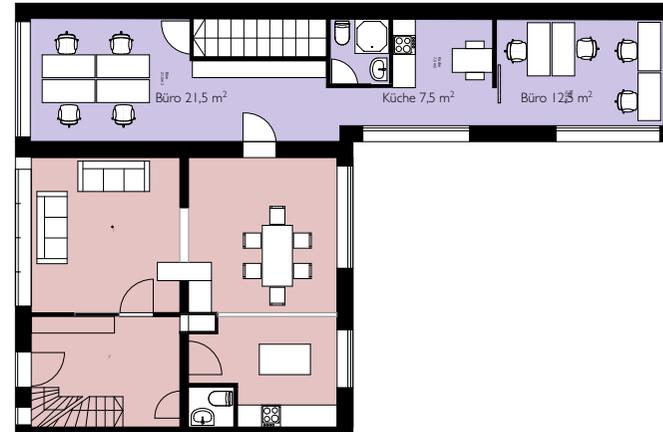


Abb. 137c: EG- Anbau Variante mit Büronutzung

UNTERGESCHOSS- GR-VARIANTEN

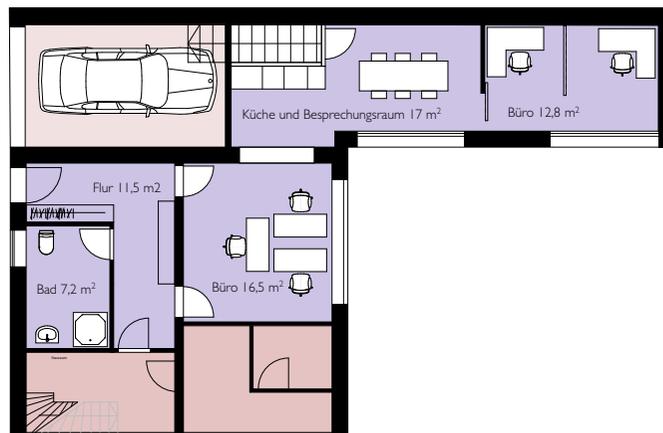


Abb. 137b: UG- Anbau- Variante Büronutzung

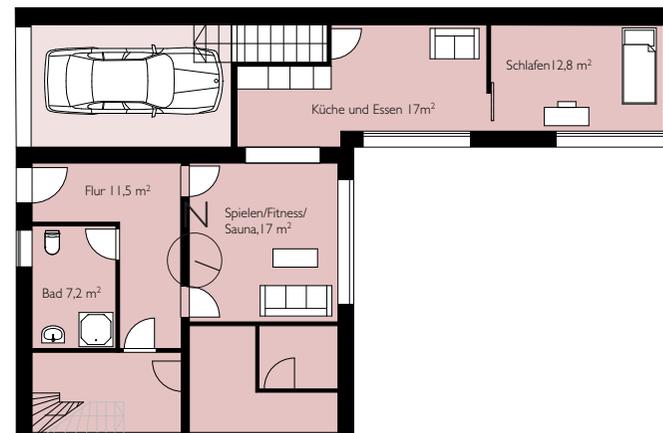


Abb. 137d: UG- Anbau- Variante mit Selbstnutzung/
Wohnflächenerweiterung

Wohnen Arbeiten Einliegerwohnung Garage



10.3.2. EINBINDUNG VON PHOTOVOLTAIK- MODULEN

10.3.2.1. Verschattung



Im Verschattungsverlauf über das Jahr ist zu erkennen, dass das Dach des Anbaus in der Übergangszeit und im Sommer teilweise, besonders am Morgen, und im Winter sowohl durch das Dach des Bestandsgebäudes, als auch durch das gegenüberliegende Gebäude relativ stark verschattet ist. Ob sich eine Nutzung von Photovoltaik-Modulen bei der Verschattung lohnt, müsste durch eine genaue Berechnung ermittelt werden. Andernfalls könnte ein begrüntes Dach eine nachhaltige und optisch ansprechende Alternative sein.

Mit wie viel Strahlung bei Nutzung der Dachfläche durch Photovoltaik-Module zu rechnen ist und welcher Winkel am ertragreichsten ist, liefert die folgende Berechnung:

Abb. 138a: Verschattungsverlauf

10.3.2.2. Ertrag und Winkel der Module

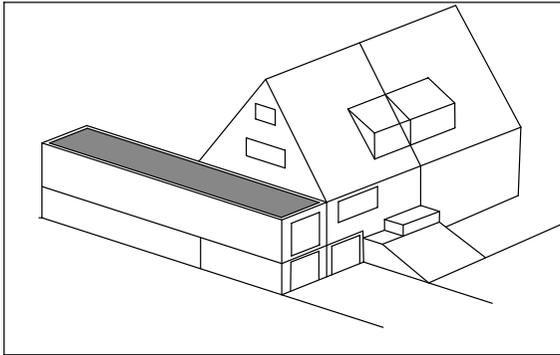


Abb. 139a: mögliche Fläche für PV auf dem Anbau

Das Ziel bei der Einbindung von Photovoltaik-Modulen ist eine möglichst harmonische Einbindung in das Gebäude bei möglichst hohem Energieeintrag. Abb. 138b zeigt die Unterschiede bei Anbringung der PV-Module nach verschiedenen Neigungen. Energetisch gesehen ist die optimale Neigung 38°, da bei diesem Winkel über das Jahr summiert am meisten Strahlung auf die Module treffen. Besonders ist diese Neigung optimiert für den Winter, da bei einer höheren Neigung mehr von der flach strahlenden Wintersonnenstrahlung eingefangen wird. Da jedoch im Winter das Dach des Anbaus dem Verschattungsverlauf folgend relativ stark verschattet ist, lohnt sich keine Optimierung der Neigung für den Winterfall. In dem Fall könnte man die Module besser für die Sommersonne bzw. Übergangszeit optimieren. Eine Neigung von 0° ist somit am effektivsten und sie müssen nicht aufgeständert werden.

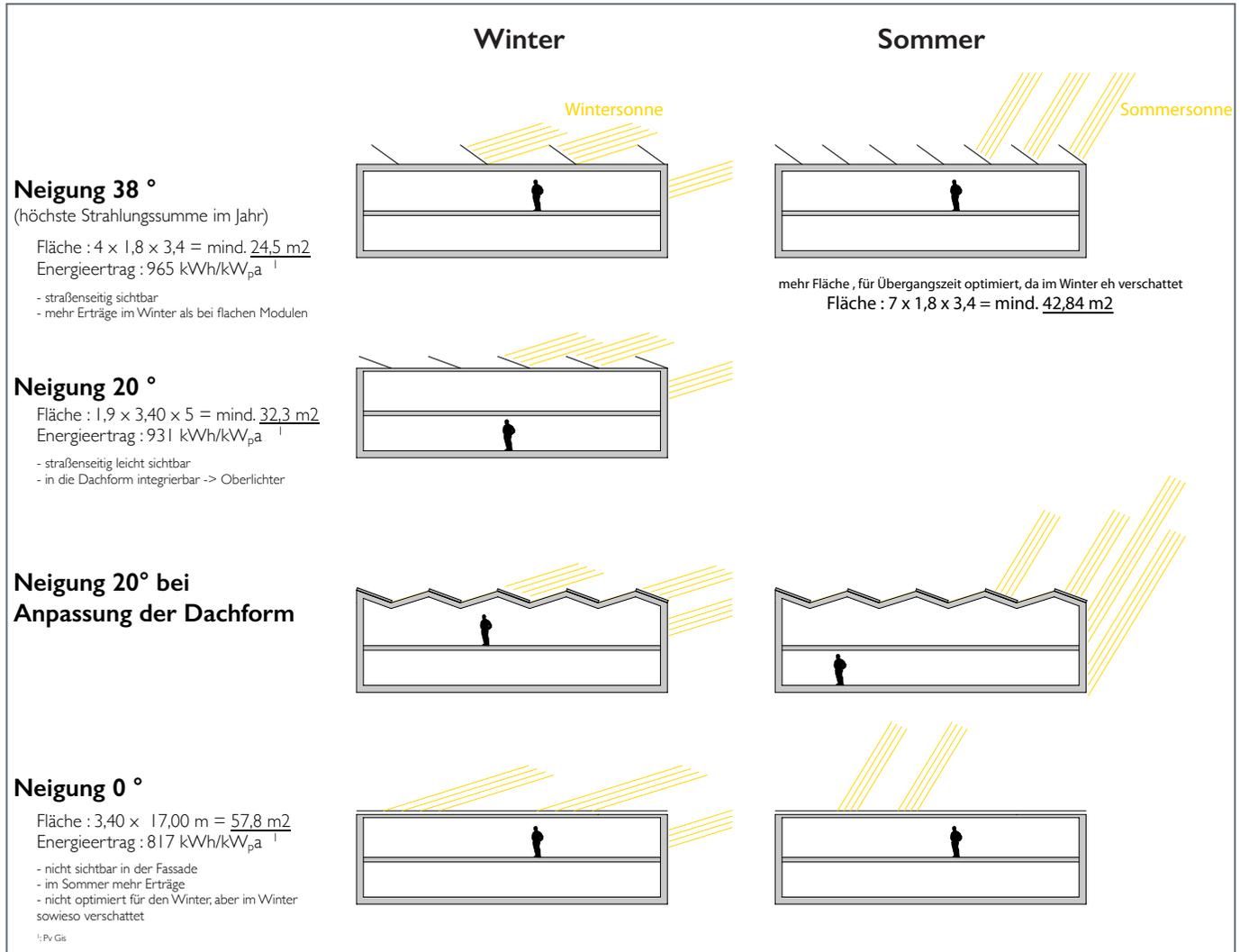


Abb. 139b: Energieeintrag von PV- Dachmodulen in Abhängigkeit ihrer Neigung

II. Anhang

II.1. Tabellen zur Berechnung der wirtschaftlichsten Dämmstärke der Sanierungsmaßnahmen

KERNDÄMMUNG UND WDVS (ZU 7.2.1.)

Dämmstärke	U- Wert neu	Kosten für Dämmmaßnahme mit Riemchen und KD	Kosten nur WDVS (ohne Riemchen)	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20,	Heizwärmebedarf Q	Eingesparte Energie pro Jahr ΔQ	Kosten der eingesp. kWh	Kosten der eingesp. kWh (nur Dämmmaßnahmen)
cm	W/m2K	€/m2	€/m2	€	€	kWh	kWh	€/kWh	€/kWh
Bestand	1,406					37311			
0 (nur KD)	0,5	30	0	193,46	0	29827	7484	0,0259	
2	0,397	152	92	980,21	593,28	28980	8331	0,1177	0,0712
4	0,331	154	94	993,11	606,18	28448	8863	0,1121	0,0684
6	0,284	156	96	1006,00	619,08	28055	9256	0,1087	0,0669
8	0,249	158	98	1018,90	631,98	27773	9538	0,1068	0,0663
EnEV 10	0,221	160	100	1031,80	644,87	27548	9763	0,1057	0,0661
KfW 12	0,2	162	102	1044,70	657,77	27379	9932	0,1052	0,0662
14	0,181	164	104	1057,59	670,67	27213	10098	0,1047	0,0664
16	0,166	166	106	1070,49	683,57	27092	10219	0,1048	0,0669
18	0,153	168	108	1083,39	696,46	26988	10323	0,1049	0,0675
20	0,142	170	110	1096,29	709,36	26899	10412	0,1053	0,0681
22	0,133	172	112	1109,18	722,26	26827	10484	0,1058	0,0689
24	0,125	174	114	1122,08	735,16	26763	10548	0,1064	0,0697
26	0,117	176	116	1134,98	748,05	26699	10612	0,1070	0,0705
28	0,111	178	118	1147,88	760,95	26650	10661	0,1077	0,0714
30	0,105	180	120	1160,77	773,85	26602	10709	0,1084	0,0723

WDVS OHNE KERNDÄMMUNG (ZU 7.2.2.)

Dämmstärke	U- Wert neu	Kosten für Dämmung+ Neueindeckung/ m2	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20	Heizwärmebedarf Q	Eingesparte Energie pro Jahr ΔQ	Kosten der eingesp. kWh
cm	W/m2K	€/m2	€	kWh	kWh	€/kWh
Bestand	1,406			37311		
2	0,812	92	593,28	32675	4636	0,1280
4	0,577	94	606,18	30373	6938	0,0874
6	0,448	96	619,08	30007	7304	0,0848
8	0,366	98	631,98	29007	8304	0,0761
10	0,309	100	644,87	28542	8769	0,0735
12	0,268	102	657,77	28204	9107	0,0722
EnEV 14	0,236	104	670,67	27946	9365	0,0716
16	0,211	106	683,57	27745	9566	0,0715
KfW 18	0,191	108	696,46	27583	9728	0,0716
20	0,174	110	709,36	27434	9877	0,0718
22	0,16	112	722,26	27321	9990	0,0723
24	0,149	114	735,16	27233	10078	0,0729
26	0,138	116	748,05	27145	10166	0,0736
28	0,129	118	760,95	27072	10239	0,0743
30	0,121	120	773,85	27008	10303	0,0751

ABBRUCH VORMAUERSCHALE, WDVS
(ZU 7.2.3.)

Dämmstärke	U- Wert neu	Kosten für Dämmung+ Neueindeckung/ m2	Kosten nur für Dämmmaßnahme (ohne Abbruch und Neueindeckung)	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20, nur Dämmmaßnahme	Heizwärmebedarf Q	Eingesparte Energie pro Jahr ΔQ	Kosten der eingesp. kWh	Kosten der eingesp. kWh (nur Dämmmaßnahme)
cm	W/m2K	€/m2	€/m2	€	€	kWh	kWh	€/kWh	€/kWh
Bestand						37311			
0	1,406								
2	1,039	152	69	980,21	444,96	34271	3040	0,3224	0,1464
4	0,684	154	71	993,11	457,86	31341	5970	0,1663	0,0767
6	0,51	156	73	1006,00	470,76	29916	7395	0,1360	0,0637
8	0,406	158	75	1018,90	483,66	29061	8250	0,1235	0,0586
10	0,338	160	77	1031,80	496,55	28504	8807	0,1172	0,0564
12	0,289	162	79	1044,70	509,45	28095	9216	0,1134	0,0553
14	0,252	164	81	1057,59	522,35	27797	9514	0,1112	0,0549
EnEV 16	0,224	166	83	1070,49	535,25	27572	9739	0,1099	0,0550
KfW 18	0,202	168	85	1083,39	548,14	27395	9916	0,1093	0,0553
20	0,183	170	87	1096,29	561,04	27229	10082	0,1087	0,0556
22	0,168	172	89	1109,18	573,94	27281	10030	0,1106	0,0572
24	0,155	174	91	1122,08	586,84	27004	10307	0,1089	0,0569
26	0,144	176	93	1134,98	599,73	26915	10396	0,1092	0,0577
28	0,134	178	95	1147,88	612,63	26835	10476	0,1096	0,0585
30	0,126	180	97	1160,77	625,53	26771	10540	0,1101	0,0593

KERNDÄMMUNG UND INNENDÄMMUNG
(ZU 7.2.3.)

Dämmstärke	U- Wert neu	Kosten für KD+ ID/m2	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20	Heizwärmebedarf Q	Eingesparte Energie pro Jahr ΔQ	Kosten der eingesp. kWh
cm	W/m2K	€/m2	€	kWh	kWh	€/kWh
Bestand	1,406				37311	
0 (nur KD)	0,55	30	193,46	30518	6793	0,0285
2	0,409	104	670,67	29363	7948	0,0844
4	0,331	106	683,57	28724	8587	0,0796
6	0,279	108	696,46	28292	9019	0,0772
EnEV 8	0,24	110	709,36	27978	9333	0,0760
10	0,211	112	722,26	27745	9566	0,0755
KfW 12	0,189	114	735,16	27568	9743	0,0755
14	0,17	116	748,05	27402	9909	0,0755
26	0,12	128	825,44	27008	10303	0,0801

KERNDÄMMUNG MIT NEUER
VORMAUERSCHALE
(ZU 7.2.4.)

Dämmstärke	U- Wert neu	Kosten für Dämmung+ Neueindeckung/ m2	Kosten nur für Dämmmaßnahme n (ohne Abbruch und neue Fassade)	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20, nur Dämmmaßnahme	Heizwärmebedarf Q	Eingesparte Energie pro Jahr ΔQ	Kosten der eingesp. kWh	Kosten der eingesp. kWh (nur Dämmmaßnahme)
cm	W/m2K	€/m2	€/m2	€	€	kWh	kWh	€/kWh	€/kWh
Bestand	1,406					37311			
3 cm	0,883	169	28	1089,84	180,56	32983	4328	0,252	0,0417
5 cm	0,469	171	31	1102,73	199,91	29576	7735	0,143	0,0258
7	0,431	174	34	1122,08	219,26	29263	8048	0,1394	0,0272
9	0,354	177	37	1141,43	238,60	28633	8678	0,1315	0,0275
11	0,301	180	40	1160,77	257,95	28192	9119	0,1273	0,0283
13	0,262	183	43	1180,12	277,30	27878	9433	0,1251	0,0294
EnEV 15	0,231	186	46	1199,47	296,64	27628	9683	0,1239	0,0306

UNTERSPPARENENDÄMMUNG
(ZU 7.4.1)

Dämmstärke	U- Wert neu	Kosten für Dämmung+ Neueindeckung/ m2	Kosten nur für Dämmmaßnahme n (ohne Abbruch und Neueindeckung)	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20, nur Dämmmaßnahme	Heizwärmebedarf Q	Eingesparte Energie pro Jahr ΔQ	Kosten der eingesp. kWh	Kosten der eingesp. kWh (nur Dämmmaßnahme)
cm	W/m2K	€/m2	€/m2	€	€	kWh	kWh	€/kWh	€/kWh
Bestand	1,52					37311			
0 (nur ZD)	0,365	95	20	715,22	0,00	26491	10820	0,0661	
2	0,302	107	32	805,56	240,91	25889	11422	0,0705	0,0211
4	0,258	109	34	820,62	255,97	25477	11834	0,0693	0,0216
EnEV 6	0,225	111	36	835,67	271,03	25157	12154	0,0688	0,0223
8	0,199	113	38	850,73	286,09	24913	12398	0,0686	0,0231
10	0,179	115	40	865,79	301,14	24727	12584	0,0688	0,0239
12	0,162	117	42	880,85	316,20	24561	12750	0,0691	0,0248
14	0,148	119	44	895,90	331,26	24431	12880	0,0696	0,0257
KfW 16	0,137	121	46	910,96	346,32	24323	12988	0,0701	0,0267
18	0,127	123	48	926,02	361,37	24230	13081	0,0708	0,0276
20	0,118	125	50	941,07	376,43	24147	13164	0,0715	0,0286
22	0,111	127	52	956,13	391,49	24081	13230	0,0723	0,0296
24	0,104	129	54	971,19	406,54	24009	13302	0,0730	0,0306
26	0,098	131	56	986,25	421,60	23953	13358	0,0738	0,0316

**AUFSPARRENDÄMMUNG
(ZU 7.4.2)**

Dämmstärke	U- Wert neu	Kosten für Dämmung+ Neueindeckung/ m2	Kosten nur für Dämmmaßnahmen (ohne Abbruch und Neueindeckung)	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20, nur Dämmmaßnahmen	Heizwärmebedarf Q	Eingesparte Energie pro Jahr ΔQ	Kosten der eingesp. kWh	Kosten der eingesp. kWh (nur Dämmmaßnahmen)
cm	W/m2K	€/m2	€/m2	€	€	kWh	kWh	€/kWh	€/kWh
Bestand	1,52					37311			
0 (nur ZD)	0,375	116	61	873,32	459,24	26585	10726	0,0814	0,0428
2	0,316	146	91	1099,17	685,10	26020	11291	0,0973	0,0607
4	0,273	148	93	1114,23	700,16	25617	11694	0,0953	0,0599
EnEV 6	0,24	150	95	1129,29	715,22	25297	12014	0,0940	0,0595
8	0,214	152	97	1144,35	730,27	25054	12257	0,0934	0,0596
10	0,194	154	99	1159,40	745,33	24867	12444	0,0932	0,0599
12	0,177	156	101	1174,46	760,39	24708	12603	0,0932	0,0603
14	0,162	158	103	1189,52	775,44	24561	12750	0,0933	0,0608
16	0,15	160	105	1204,57	790,50	24449	12862	0,0937	0,0615
KfW 18	0,14	162	107	1219,63	805,56	24356	12955	0,0941	0,0622
20	0,13	164	109	1234,69	820,62	24258	13053	0,0946	0,0629
22	0,122	166	111	1249,75	835,67	24184	13127	0,0952	0,0637
24	0,115	168	113	1264,80	850,73	24119	13192	0,0959	0,0645
26	0,109	170	115	1279,86	865,79	24062	13249	0,0966	0,0653
28	0,103	172	117	1294,92	880,85	24000	13311	0,0973	0,0662
30	0,098	174	119	1309,97	895,90	23953	13358	0,0981	0,0671

**BODENPLATTE
(ZU 7.5)**

Dämmstärke	U- Wert neu	Kosten für Dämmung+ Neueindeckung/ m2	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20	Heizwärmebedarf Q	Eingesparte Energie pro Jahr ΔQ	Kosten der eingesp. kWh
cm	W/m2K	€/m2	€	kWh	kWh	€/kWh
Bestand				37311		
0	3,99					
EnEV 1,5	0,364	182	1173,67	34655	2656	0,4419
2	0,28	192	1238,16	34418	2893	0,4280
KfW 2,5	0,226	210	1354,24	34239	3072	0,4408

KELLERWAND
(ZU 7.6.)

Dämmstärke	U- Wert neu	Kosten für Dämmung + Abdichtung + Aushub/m2	Kosten nur für Dämmmaßnahme	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20, nur Dämmmaßnahme	Heizwärmebedarf Q	Eingesparte Energie pro Jahr ΔQ	Kosten der eingesp. kWh	Kosten der eingesp. kWh (nur Dämmmaßnahme)
cm	W/m2K	€/m2	€/m2	€	€	kWh	kWh	€/kWh	€/kWh
Bestand	0,605					37311			
2	0,464	130	10	104,68	8,05	36991	320	0,3271	0,0252
4	0,377	135	15	108,71	12,08	36859	452	0,2405	0,0267
6	0,317	140	20	112,73	16,10	36607	704	0,1601	0,0229
EnEV 8	0,274	145	25	116,76	20,13	36486	825	0,1415	0,0244
KfW 10	0,241	150	30	120,78	24,16	36391	920	0,1313	0,0263
12	0,215	155	35	124,81	28,18	36313	998	0,1251	0,0282
14	0,194	160	40	128,84	32,21	36242	1069	0,1205	0,0301
16	0,177	165	45	132,86	36,24	36188	1123	0,1183	0,0323
18	0,162	170	50	136,89	40,26	36131	1180	0,1160	0,0341
20	0,15	175	55	140,92	44,29	36099	1212	0,1163	0,0365

GAUBENWANGEN
(ZU 7.7.)

Dämmstärke	U- Wert neu	Kosten für Dämmung+ Neueindeckung/ m2	Kosten nur für Dämmmaßnahme (ohne Abbruch und Neueindeckung)	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20	Annuitätische Kapitalkosten pro Jahr (a=6,9%),n=20, nur Dämmmaßnahme	Heizwärmebedarf Q	Eingesparte Energie pro Jahr ΔQ	Kosten der eingesp. kWh	Kosten der eingesp. kWh (nur Dämmmaßnahme)
cm	W/m2K	€/m2	€/m2	€	€	kWh	kWh	€/kWh	€/kWh
Bestand	0,79					37311			
2	0,57	141	10	113,54	8,05	37087	224	0,5069	0,0359
4	0,43	143	11	115,15	8,86	36944	367	0,3138	0,0241
6	0,345	145	13	116,76	10,47	36857	454	0,2572	0,0231
8	0,288	147	15	118,37	12,08	36798	513	0,2307	0,0235
EnEV 10	0,247	149	17	119,98	13,69	36757	554	0,2166	0,0247
KfW 12	0,217	151	19	121,59	15,30	36726	585	0,2078	0,0262
14	0,193	153	21	123,20	16,91	36701	610	0,2020	0,0277
16	0,174	155	23	124,81	18,52	36682	629	0,1984	0,0294
18	0,158	157	25	126,42	20,13	36666	645	0,1960	0,0312
20	0,145	159	27	128,03	21,74	36652	659	0,1943	0,0330

12. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abb. 1 Energieverbrauch pro Kopf, www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energiestatistiken-grafiken
- Abb. 2: Anteil der Sektoren am Energieverbrauch, Deutschland, Deutsche Energie Agentur, Quelle : Deutsche Energie Agentur
- Abb. 3: weltweiter Primärenergieverbrauch 1965-2010, Erneuerbare Energien, Martin Maltschmitt, Springer Verlag, Wien, 2010, S. 6
- Abb.13: eigene Abbildung, Quelle: EnEV2014
- Abb.14: Primärenergieverbrauch in Deutschland 2012, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien- Statistik
- Abb.15: eigene Abbildung, Baupreise, Energiepreise, Quelle: KERSCHBERGER, S. 226
- Abb.16: eigene Abbildung: Primärenergieverbrauch verschiedener Baustoffe, Quelle : KADEL, Gebäudeenergieberatung S.225
- Abb.22: Heizwärmebedarf von Gebäuden nach Konzepten, <http://www.fox-haus.at/content/energie-schlau-haus/technik/>
- Abb.25 Grenzwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei Sanierung nach EnEV bzw. KfW
- Abb.26a auftretende Wärmebrücken bei Gebäuden, LADENER GABRIEL, S. 49
- Abb.26b geometrische Wärmebrücke, eigene Abbildung
- Abb.27a Pauschale Temperatur- Korrekturfaktoren, nach DIN V 4108-6
- Abb.27b Wärmeübergangswiderstand R_{si}, nach EnEV2014
- Abb.28a Mollier- Diagramm, BOBRAN, Handbuch der Bauphysik, S. 83
- Abb.28b Temperatur- Dampfdruckverlauf, LOHMEYER, Praktische Bauphysik, S. 316
- Abb.32a Verlauf der Monatsmitteltemperaturen, Quelle: Deutscher Wetterdienst
- Abb.32b monatliche Globalstrahlung, Quelle: PVGIS
- Abb.33a Lageplan Deutschland
- Abb.33b Lageplan Kiel
- Abb.33c Lageplan 1:2000
- Abb. 33d Flensburger Straße im ersten Winter (1937), Die Wik- mein Stadtteil, mein Zuhause, Schlenz, Lang Verlag , Kiel 1998 , S.54
- Abb. 33e Hausansicht Südwest, Anfang 50er Jahre, eigene Abbildung
- Abb. 33f Hausansicht Südost, Anfang 50er Jahre, eigene Abbildung
- Abb. 34a Vogelperspektive Süd, Quelle: bingmaps
- Abb. 34b Vogelperspektive Nord, Quelle: bingmaps
- Abb. 34c Ansicht Südost, eigene Abbildung
- Abb. 34d Ansicht Nordwest, eigene Abbildung
- Abb. 35 Lageplan, 1:500
- Abb. 36 UG, M 1:100
- Abb.37 EG, M 1:100
- Abb.38 OG, M 1:100
- Abb.39 DG, M 1:100
- Abb.40 Schnitt 01-01, M 1:100
- Abb.41 Ansicht 1, M 1:100
- Abb.42 Ansicht 2, M 1:100
- Abb.45a Anteil an Gesamtwärmeverlusten Außenwand, rechnerisch
- Abb.45b Temperaturverlauf des Bauteils:Außenwand, Quelle: u-wert.net
- Abb.46a Anteil an Gesamtwärmeverlusten Dach, rechnerisch
- Abb.46b Temperaturverlauf des Bauteils: Dach, Quelle: u-wert.net
- Abb.47 Anteil an Gesamtwärmeverlusten Fenster, rechnerisch
- Abb.48a Anteil an Gesamtwärmeverlusten Gaubenwangen, rechnerisch
- Abb.48b Temperaturverlauf des Bauteils:Gaubenwangen Quelle: u-wert.net
- Abb.49a Anteil an Gesamtwärmeverlusten Kellerwand, rechnerisch
- Abb.49b Temperaturverlauf des Bauteils:Kellerwand, Quelle: u-wert.net
- Abb.50a Anteil an Gesamtwärmeverlusten Bodenplatte, rechnerisch
- Abb.50b Temperaturverlauf des Bauteils:Bodenplatte, Quelle: u-wert.net
- Abb.51 Anteil der Lüftungswärmeverluste an den Gesamtwärmeverlusten
- Abb.52a Solare Wärmegewinne durch transparente Bauteile
- Abb.52b Interne und solare Wärmegewinne
- Abb.55a Flächenanteile
- Abb.55b Gesamtwärmeverluste nach Anteilen
- Abb.55c monatliche Wärmeverluste gesamt
- Abb.56 Monatsmitteltemperaturen der Jahre 2011-2013
- Abb.57a-d Endenergie- und Primärenergiebedarf des Bestandsgebäudes real und nach Simulation
- Abb.58 Ergebniswerte der Simulation mit EuroWaebed
- Abb.59a Heizlast
- Abb.59c Ergebnis Heizwärmebedarf
- Abb.59c Heizwärmebedarf pro Monat
- Abb.64a Energie und Kosten KD
- Abb.64b Co₂ KD
- Abb.65a Feuchteverhalten KD
- Abb.65b Berechnung des Preises der eingesparten Energie bei KD
- Abb.65c Fensteranschluss bei KD, M 1:10
- Abb.67a Energie und Kosten KD WDVS
- Abb.67b Co₂ KD WDVS
- Abb.68a Dämmung der Außenwand mit WDVS
- Abb.68b Feuchteverhalten KD WDVS

- Abb.69a Entwicklung des U- Wertes bei Innendämmung
 Abb.69b Preis der eingesparten Kilowattstunde
 Abb.69c Bestandsfenster bei Kerndämmung mit zusätzlichem WDVS, M1:10
 Abb.70a Entwicklung des U- Wertes
 Abb.70b Feuchtverhalten des Bauteils
 Abb.70c Preis der eingesparten Kilowattstunde
 Abb.72a Energie und Kosten AW
 Abb.72b CO₂ Ausstoß durch AW pro Jahr
 Abb.73 Feuchtverhalten des Bauteils
 Abb.74a Energie und Kosten AW ID
 Abb.74b CO₂ Ausstoß durch AW pro Jahr
 Abb.75a Entwicklung des U- Wertes bei Innendämmung
 Abb.75b Preis der eingesparten Kilowattstunde
 Abb.76a Feuchtverhalten bei Kerndämmung und 5 cm Innendämmung
 Abb.76b Feuchtverhalten bei Kerndämmung und 8 cm Innendämmung
 Abb.76c Feuchtverhalten bei Innendämmung ohne Kerndämmung
 Abb.77a Detail Fensterleibung bei Innendämmung M 1:10
 Abb.77b Temperaturverlauf in einer Ziegeldämmung ohne (li.),mit (mi.) und mit Innendämmung mit Dämmkeil im Deckenanschlussbereich (re.),Atlas Sanierung, S. 37
 Abb.77c Detail Deckenschluss bei Innendämmung M 1:10
 Abb.78a Energie und Kosten AW in kWh
 Abb.78b CO₂ Ausstoß durch AW pro Jahr in kgCO₂
 Abb.79a Feuchtverhalten des Bauteils nach Dämmung
 Abb.79b Detail Fensterleibung M 1:10
 Abb.80a Entwicklung des U- Wertes
 Abb.80b Preis der eingesparten Kilowattstunde
 Abb.81a notwendige gesetzliche Dämmstärke bei Sanierung
 Abb.81b Wärmeverluste durch Außenwand nach Sanierung
 Abb.81c Kosten der Sanierungsmaßnahme
 Abb.81d Wirtschaftlichkeit der Dämmmaßnahme
 Abb.82a Energie und Kosten Fenster in kWh
 Abb.82b CO₂ Ausstoß durch Fenster pro Jahr in kgCO₂
 Abb.83 HeizwärmebedarfVarianten nach Glasaustausch
 Abb.84a Energie und Kosten Fenster in kWh bzw. €
 Abb.84b CO₂ Ausstoß durch Fenster pro Jahr in kgCO₂
 Abb.85a gedämmte Fensterrahmen mit 3fach- Verglasung
 Abb.85b Vergleich eines thermisch ungünstigen (li.) und thermisch günstigen (re.) Einbaus eines Fenster; Quelle : PHI
 Abb.86a Fensterdetail, Befestigung am Mauerwerk mit Blindstock, M 1: 10
 Abb.86b Fensterdetail, Befestigung am Mauerwerk mit Ankerschiene, M 1:10
 Abb.87a Fensterdetail, Kerndämmung mit Vorsatzschale neu, M 1:10
 Abb.87b Nutzungsmöglichkeit breiter Fensterleibungen, die durch Außendämmung und Versetzen der Fensterebene oder bei Innendämmung entstehen können
 Abb.88a Wärmeverluste durch Fenster nach Sanierung
 Abb.88b Kosten der Sanierungsmaßnahme
 Abb.88c Kosten der eingesparten Kilowattstunde bei Fenstersanierung
 Abb.89 Fenstervergrößerung rechnerisch und skizziert
 Abb.90a Tabelle 1: Heizwärmebedarf bei Fenstervergrößerung, U- Wert des Fensters: 1,1 W/m²K
 Abb.90b Tabelle 2: Heizwärmebedarf bei Fenstervergrößerung nach Sanierungsmaßnahmen
 Abb.90c Tabelle 3: Heizwärmebedarf bei Fenstervergrößerung nach Sanierungsmaßnahmen
 Abb.91a Energie und Kosten Dach
 Abb.91b CO₂ Ausstoß durch Dach pro Jahr
 Abb.92a Feuchtverhalten der Aufsparrendämmung
 Abb.92b Entwicklung des U- Wertes
 Abb.92c Preis der eingesparten Kilowattstunde
 Abb.93a Energie und Kosten Dach
 Abb.93b CO₂ Ausstoß durch Dach pro Jahr
 Abb.94a Feuchtverhalten der Aufsparrendämmung
 Abb.94b Entwicklung des U- Wertes
 Abb.94c Preis der eingesparten Kilowattstunde
 Abb.95a notwendige gesetzliche Dämmstärke bei Sanierung
 Abb.95b Kosten der Sanierungsmaßnahme
 Abb.95c Wirtschaftlichkeit der Dämmmaßnahme
 Abb.95d Temperaturverlauf der Aufsparrendämmung
 Abb.95e Temperaturverlauf der Untersparrendämmung
 Abb.97a Energie und Kosten BP
 Abb.97b CO₂ Ausstoß durch BP pro Jahr
 Abb.98a Feuchtverhalten der Bodenplatte
 Abb.98b Detail Anschluss Bodenplatte Kellerwand M 1: 10
 Abb.99 Detail Anschluss Bodenplatte Kellerwand M 1: 50
 Abb.100a Energie und Kosten KW
 Abb.100b CO₂ Ausstoß durch KW pro Jahr
 Abb.101a Feuchtverhalten der Kellerwand bei zusätzlicher Innendämmung
 Abb.101b Feuchtverhalten der Kellerwand ohne Innendämmung
 Abb.101c Entwicklung des U- Wertes
 Abb.101d Preis der eingesparten Kilowattstunde
 Abb.102a Energie und Kosten Gaube

- Abb. I 02b CO₂ Ausstoß durch Gaube pro Jahr
- Abb. I 03a Entwicklung des U- Wertes
- Abb. I 03b Preis der eingesparten Kilowattstunde
- Abb. I 03c Feuchtverhalten der Gaubenwand bei zusätzlicher Dämmung
- Abb. I 04a Wärmeverluste nach Bauteilen Bestand
- Abb. I 04b Wärmeverluste nach Sanierung mit EnEV- Mindestanforderungen, nach Bauteilen
- Abb. I 04c Wärmeverluste nach Sanierung mit Mindestanforderungen bei KfW- Förderung
- Abb. I 05 Verschattungsdiagramm Bestandshaus
- Abb. I 06a relative Werte zur jährlichen Einstrahlung in Bezug auf die Horizontale, eigene Abbildung, Quelle ; HEGGER, Aktivhaus
- Abb. I 07a benötigte Fläche pro kW_p, eigene Abbildung, Quelle: Energizing Architecture, S. 22
- Abb. I 08a Erträge einer PV- Anlage 3kWp bei 52° Neigung
- Abb. I 08b Erträge einer PV- Anlage 1kWp bei 35° Neigung
- Abb. I 08c verfügbare Dachfläche für Photovoltaik
- Abb. I 09 Skizze Photovoltaik-Module
- Abb. I 10a Schema einer Solarthermieanlage mit Speicher und Nachheizung, <http://www.wagner-solar.com/waerme/produkte.html>
- Abb. I 10b Darstellung der Strahlungsgewinne- und verluste von Solarkollektoren, http://www.viessmann.de/content/dam/internet-global/pdf_documents/sonstige/planungshandbuch-solarthermie.pdf
- Abb. I 11 Tagesverlauf des typischen Warmwasserbedarf eines Mehrfamilienhauses, http://www.viessmann.de/content/dam/internet-global/pdf_documents/sonstige/planungshandbuch-solarthermie.pdf
- Abb. I 14 Installationsplan einer Lüftungsanlage, GABRIEL, LADENER, Vom Altbau zum Effizienzhaus , S. 168
- Abb. I 15 Möglichkeit der Leitungsführung einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung , UG und EG , M 1:100
- Abb. I 16 Energieträger im Vergleich
- Abb. I 20a Tab. 1: Gegenüberstellung von Sanierungsmaßnahmen: Mindestdämmstärken nach EnEV zu wirtschaftlichsten Dämmstärken
- Abb. I 20b Tab. 2: Gegenüberstellung von Sanierungsmaßnahmen: Mindestdämmstärken nach EnEV zu wirtschaftlichsten Dämmstärken
- Abb. I 22 Standard der Anlagentechnik im Referenzgebäudeverfahren, Quelle: <http://www.ytong-silka.de/de/docs/ytong-porenbeton-silka-kalksandstein-enev-broschuere.pdf>
- Abb. I 23a Heizwärmebedarf des Referenzgebäudes nach EUROWAEBED
- Abb. I 23b Eingabedaten für das Referenzgebäude
- Abb. I 24 Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen auf den Heizwärme- und Primärenergiebedarf bei Einhaltung der gesetzlichen Mindestdämmstärken nach EnEV2014
- Abb. I 26 Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen auf den Heizwärme- und Primärenergiebedarf bei Förderungsmöglichkeit der KfW
- Abb. I 28 Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen auf den Heizwärme- und Primärenergiebedarf bei Förderungsmöglichkeit der KfW
- Abb. I 31a Nutzung der Sonnenstrahlung bei südlichem Anbau, Schnitt: Azimuth 165° (SSO)
- Abb. I 31b Lageplan Anbau Süd
- Abb. I 31c Skizze Anbau Süd
- Abb. I 32a Nutzung der Sonnenstrahlung bei westlichem Seitenanbau, Schnitt: Azimuth 165° (SSO)
- Abb. I 32b Lageplan Anbau West 1
- Abb. I 31c Skizze Anbau West 1
- Abb. I 32a Nutzung der Sonnenstrahlung bei westlichem Seitenanbau, Schnitt: Azimuth 165° (SSO)
- Abb. I 32b Lageplan Anbau West 2
- Abb. I 33a Nutzung der Sonnenstrahlung bei westlichem Anbau, Schnitt: Azimuth 165° (SSO)
- Abb. I 33b Lageplan Anbau West 2
- Abb. I 33c Skizze Anbau West 2
- Abb. I 34a Nutzung der Sonnenstrahlung bei nördlichem Anbau, Schnitt: Azimuth 165° (SSO)
- Abb. I 34b Lageplan Anbau Nord
- Abb. I 34c Skizze Anbau Nord
- Abb. I 35 Variationsmöglichkeiten der Nutzung des Anbaus
- Abb. I 36a Änderungen im Grundriss des Bestands
- Abb. I 36b Änderungen im Grundriss des Bestands
- Abb. I 36c EG- Anbau Variante mit Einliegerwohnung
- Abb. I 36d UG- Anbau- Variante mit Einliegerwohnung
- Abb. I 37a: EG- Anbau Variante mit Selbstnutzung/ Wohnflächenerweiterung
- Abb. I 37b: UG- Anbau- Variante Büronutzung
- Abb. I 37c: EG- Anbau Variante mit Büronutzung
- Abb. I 38a: Verschattungsverlauf
- Abb. I 39a: mögliche Fläche für PV auf dem Anbau
- Abb. I 39b: Energieeintrag von PV- Dachmodulen in Abhängigkeit ihrer Neigung

14. LITERATURVERZEICHNIS

- BAUER HAUSLADEN HEGGER, Nachhaltiges Bauen: Zukunftsfähige Konzepte für Planer und Entscheider, Beuth Verlag, Berlin 2011
- BEINHAUER DI Peter, Standard- Detail- Sammlung, Bauen im Bestand, Rudolf-Müller-Verlag, Köln 2009
- BOBRAN Hans W. , Handbuch der Bauphysik, Rudolf- Müller Verlag, Köln, 2010
- BÖHNING Jörg, Altbaumodernisierung im Detail, Rudolf Müller Verlag, Köln 2011
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG/ BUNDESAMT FÜR BAUWESEN UND RAUMORDNUNG (Hrsg.), Bewertung energetischer Anforderungen im Lichte steigender Energiepreise für die EnEV und die KfW- Förderung, B, BBR- Online- Publikation 18/2008
- DEPLAZES Andrea, Architektur konstruieren: Vom Rohmaterial zum Bauwerk. Ein Handbuch, Birkhäuser-Verlag AG, Basel, 2008
- ETTRICH, HAUSER; HOPPE, Modernisierungsempfehlungen im Rahmen der Ausstellung eines Energieausweises, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2010
- FEIST, EnerPHit Planerhandbuch, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2012
- FEIST Dr. Wolfgang, Altbaumodernisierung mit Passivhaus Komponenten, , Passivhaus- Institut Darmstadt, 2009
- FEIST, Protokollband Nr. 42, Ökonomische Bewertung von Energieeffizienz- Maßnahmen, Passivhaus Institut, Darmstadt, Mai 2013
- FRICK KNÖLL, Baukonstruktionslehre I, 35. Auflage, Vieweg+ Teubner-Verlag, 2009
- GABRIEL, LADENER, Vom Altbau zum Effizienzhaus, Ökobuch Verlag, 2014
- GIEBELER, FISCH, KRAUSE, Atlas Sanierung, Edition Detail, Birkhäuser Verlag, Basel, 2008
- GONZALO, VALLENTIN, Passivhäuser entwerfen, Detail Green Books, Detail Verlag, 2013
- GRAEFE Robert, Kellersanierung, Rudolf Müller Verlag, Köln 2014
- HAAS Karl-Heinz, Der Weg zum Nullenergiehaus, VDE- Verlag, Berlin, 2013
- HAAS-ARNDT, RANFT, Altbauten sanieren- Energie sparen, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2010
- HECK Friedrich, Energiekosten senken, Kosten und Nutzen von Wärmedämmmaßnahmen, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2007
- HEGGER FUCHS STARK ZEUMER, Energieatlas, Nachhaltige Architektur, Institut für internationale Architektur- Dokumentation (Hrsg.), München, 2007
- INSTITUT FÜR INTERNATIONALE ARCHITEKTUR- DOKUMENTATION (Hrsg.) ,Mauwerkatlas, Rudolf- Müller- Verlag, München, 1996
- JANSSEN, Heinz, Energieberatung für Wohngebäude, Müller Rudolf Verlag, 2010
- JUNG, Ulrich, Handbuch Energieberatung: Recht und Technik in der Praxis - für Energieberater, Bauingenieure und Architekten, Bundesanzeiger Verlag, 2009
- KADEL , Gebäude- Energieberatung, Hüthig& Pflaum Verlag, München, 2010
- KAISER Christian, Ökologische Altbausanierung, VDE- Verlag, Berlin 2012
- KERSCHBERGER Alfred, Energieeffizientes Bauen im Bestand, Vde Verlag, 2012
- KÖNIGSTEIN Thomas, Ratgeber Energiesparendes Bauen und Sanieren, Fraunhofer IRB Verlag, 2014
- KREC Prof. Klaus, Benutzerhandbuch Programmpaket EuroWAEBED Version 1.0, Österreich, 1998-2004
- LOHMEYER, Praktische Bauphysik, , S. 276
- LÜCKMANN Rudolf , Baudetail- Atlas Hochbau, WEKA Media GmbH, Kissing, 2011
- LÜLING Claudia, Energizing Architecture, Jovis Verlag, Berlin, 2009
- NEUBAUER Reinhard, Dämmung, Konstruktion- Bauphysik- Umsetzung, Weka Media GmbH, Kissing, 2014
- NEUMANN Dr. Hans- Hermann, Praxis- Handbuch Wärmedämm- Verbundsysteme, Rudolf- Müller- Verlag, München, 2009
- ÖSTERR. INSTITUT FÜR BAUBIOLOGIE UND - ÖKOLOGIE (Hrsg.), Passivhaus- Bauteilkatalog, Ökologisch bewertete Konstruktionen, Springer- Verlag , Wien, 2008
- RICHARZ, SCHULZ, Energetische Sanierung, Edition Detail, Institut für internationale Architektur- Dokumentation, München, 2011
- RÖHNER Elisabeth, Altbaumodernisierung, Fraunhofer IRB, Stuttgart, 1984

RÜHM Bettina, Energieplushäuser, Deutsche Verlags-Anstalt, 2013
SCHILD Kai, Energieeffizienzbewertungen von Gebäuden, Henrik Brück, Vieweg+Teubner Verlag, 2010
SCHILD, WEYERS, Praxisbuch WDVS, Fraunhofer IRB, Berlin, 2010
SCHOCH Torsten, Wärmebrückenberechnung, , 2013, Beuth Verlag, Berlin
SCHUCK Judith, Passivhäuser, Bewährte Konzepte und Konstruktionen, W. Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 2007
STEMPEL Ulrich E, Häuser energetisch sanieren und dämmen, Franzis Verlag, Poing, 2010

INTERNET: ABRUFDATUM: 26.03.2015

<http://www.berlin-institut.org/online-handbuchdemografie/umwelt/energie.html>
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0015&from=DE>
http://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Filme/weiter-vorn_4-11_08_Energieproduzent_Gebaeude.pdf, S.10
www.minergie.ch
[https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Sanieren-Zuschuss-\(430\)/#2](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Sanieren-Zuschuss-(430)/#2)
<https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-I>
www.energiefoerderung.info
<https://www.klimafonds.gv.at/foerderungen/aktuelle-foerderungen/fuer-private/>, <http://www.klimaaktiv.at/foerderungen.html>, <http://www.lea.at/foerderungsservice-fuer-private/>
[https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Foerderprogramme-\(Inlandsfoerderung\)/PDF-Dokumente/6000003071_M_Anlage_151_152_430.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Foerderprogramme-(Inlandsfoerderung)/PDF-Dokumente/6000003071_M_Anlage_151_152_430.pdf)
<http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/dynamische-amortisationsrechnung/dynamische-amortisationsrechnung.htm>
<http://www.zum.de/Faecher/kurse/boeing/udb/infin/Amortisationsvergleichsrechnung-Bewertung.pdf>
http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU1/KU12/Klimadaten/Gradtagzahl/GTZ__aktuell__VDI__2067,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/GTZ_aktuell_VDI_2067.pdf
<http://at.wetter.tv/de/wetterlexikon/jahresmitteltemperatur>
<http://www.va-q-tec.com/de/Platten-daemmung-Boden-40.html>
http://www.vip-bau.de/d_pages/technik/vip/aufbau.htm
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
<http://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/stromspeicher/foerderung>
https://www.hft-stuttgart.de/Forschung/Kompetenzen/zafh/Publicationen/publikationen_download/2011/Eicker_Solarthermische_Anlagen_Recknagel_2011.pdf
http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/solarthermie/
<http://www.solaranlagen-portal.com/solar/wirtschaftlichkeit/foerderung>
<http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien899.pdf>
<http://www.enev-online.com>
<http://www.kfw.de>