

Evaluation von Vorschlägen zur energetischen Sanierung einzelner Bauteile am Beispiel der Hufeisensiedlung in Berlin

Solare Architektur



**Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin**

University of Applied Sciences

Fachbereich 1

Autoren:

Sven SCHWÄRMER

Markus ZERER

Till GOTTSCHALK

Benjamin TILLNER

David LUDWIG

Betreuerin:

Prof. Dr. -Ing. Susanne REXROTH

16.02.2012

Zusammenfassung

Die auf der Internetseite http://www.hufeisensiedlung.info/no_cache/denkmal-basisinfo.html vorgeschlagenen Maßnahmen zur energetischen Sanierung von denkmalgeschützten Reihenhäusern am Beispiel der Hufeisensiedlung in Berlin Britz werden mithilfe von drei Kriterien kritisch analysiert und bewertet. Der technische Teil beinhaltet eine Simulation der Bauteile vor und nach der Sanierung und gewährleistet somit eine verlässliche Aussage über den Temperaturverlauf, den Wärmestrom, den Wärmedurchgangskoeffizienten U-Wert, sowie über etwaig auftretende Probleme wie Schimmel und Kondensatbildung. Neben der Verträglichkeit der Maßnahmen mit dem Denkmalschutz wird auch die wirtschaftliche Umsetzbarkeit ermittelt. Durch eine einfache Kosten-Nutzen-Bilanzierung wird ein spezifischer Vergleichswert berechnet, der die Grundlage für die wirtschaftliche Analyse von Angeboten zur energetischen Maßnahmen darstellen soll und eine Hilfestellung für Hausbesitzer und Investoren ist.

Eine Auswahlmatrix ermöglicht einen einfachen Vergleich der Maßnahmen auf Grundlage der drei Kriterien: Denkmalschutz, technische Simulation und wirtschaftliche Umsetzbarkeit.

Eine kritische Bewertung zeigt deutlich, dass die vorgeschlagenen Maßnahmen schwer als Einzelmaßnahme umzusetzen sind, da eine Schimmelbildung nicht ausgeschlossen werden kann. Eine Sanierung ist in diesem Zusammenhang immer als Gesamtmaßnahme umzusetzen. Des Weiteren sollte die technische Realisierung in Bezug auf den Denkmalschutz mit der zuständigen Behörde geklärt werden. Die Ausführung der Maßnahmen sollte in jedem Fall durch ein Fachunternehmen in Begleitung eines spezialisierten Architektur- oder Ingenieurbüros durchgeführt werden.

Eine energetische Sanierung von denkmalgeschützten Reihenhäusern auf Grundlage aktueller Normen und Richtlinien (EnEV) sollte vermieden werden, da durch eine übermäßige Dämmung eines Baudenkmales dieses in seiner Substanz beschädigt werden kann. Der Erhalt von Baudenkmalern und denkmalgeschützten Gebäuden steht an erster Stelle gegenüber der energetischen Komplettsanierung. Die in dem Eckpunktepapier festgeschriebenen Ziele der Bundesregierung zur Einsparung von CO₂ durch Wärmedämmung sind nicht vorrangig anzusetzen, da das Einsparpotential von denkmalgeschützten Häusern relativ gering ist und somit der Erhalt der alten Bausubstanz im Vordergrund steht.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Historie Hufeisensiedlung	3
1.2	Aufgabenstellung Gruppe 5	4
1.3	Vorstellung der energetischen Sanierungsmaßnahmen	4
2	Technische Grundlagen	6
2.1	Wärmeleitwert	6
2.2	U-Wert	6
2.3	Gradtagzahl	7
3	Rechtliche Rahmenbedingungen	8
3.1	Baurecht	8
3.2	Denkmalschutz	10
3.2.1	Begrifflichkeit	10
3.2.2	Denkmalrecht	10
3.2.3	Fensterinstandsetzung und Fenstersanierung	12
3.2.4	Dämmung der Kellerdecke	13
3.2.5	Eingangstüren	13
3.2.6	Dächer	14
3.3	Regelung für energetische Sanierungen an denkmalgeschützten Bauwerken durch die EnEV 2009	14
4	Software/Simulation	16
4.1	Vorstellung von AnTherm	16
4.2	Durchführung der Simulation	18
5	Technische Betrachtung der Sanierungsmaßnahmen	22
5.1	Methodik	22
5.2	Dämmung der Kellerdecke	22
5.3	Fenster	23
5.3.1	Einfachverglasung	24
5.3.2	Kastendoppelfenster	28
5.3.3	Eingangstür	35
5.4	Satteldach	37
5.5	Flachdächer	41
5.5.1	Flachdach mit Sparrenkonstruktion	42
5.5.2	Flachdächer mit Stahlsteindecke	47

5.6	Innendämmung	56
5.7	Energetische Sanierung der Heizungsanlage	60
5.7.1	Solarkollektoren	60
5.7.2	BHKW Heizungsanlage	60
5.7.3	Konventionelle Heizsystem mit Brennwerteffekt	61
5.7.4	Pellet-Heizung	62
6	Wirtschaftliche Betrachtung	63
6.1	Berechnung der Energieeinsparung mithilfe von Gradtagzahlen	63
6.2	Einsparung über eine Laufzeit von 20 Jahren	65
6.3	Wirtschaftliche Bewertung der energetischen Maßnahmen	66
6.3.1	Einfachfenster	67
6.3.2	Kellerdecke	68
6.3.3	Tür	69
6.3.4	Doppelkistenfenster	70
6.3.5	Satteldach	72
6.3.6	Flachdach	73
6.3.7	Innendämmung	77
6.4	Wirtschaftliche Abschlussbewertung der Maßnahmen	80
7	Abschließende Bewertung der Maßnahmen	81

1 Einleitung

1.1 Historie Hufeisensiedlung

Beginnend durch die im Zuge der industriellen Revolution im 19. Jahrhundert auftretenden Siedlungsströme der arbeitslos gewordenen Landbevölkerung hin zu städtischen, und somit dichter besiedelten Gebieten, entstand besonders in Ballungsgebieten ein extremer Bedarf an (billigem) Wohnraum, der zu desolaten und unwürdigen Lebensbedingungen für die Arbeiterklasse führte und zum Ende des 1. Weltkrieges den bislang traurigen Höhepunkt des Lebens in Großstädten wie z.B. in Berlin bildete. Die berüchtigten Mietskasernen bestimmten zur damaligen Zeit das Stadtbild.

Unter diesem Eindruck entstand eine Art "architektonische Gegenströmung" unter dem Namen "Neues Bauen", welche über rein bauliche Veränderungen weit hinaus ging und ein neues Wohn- und damit auch Lebenskonzept für die einfache Arbeiterbevölkerung schaffen wollte. Verfechter dieser Bewegung waren u.a. Bruno Taut, Walter Gropius, Martin Wagner und Hans Scharoun, um hier nur einige zu nennen.

Die dabei in Berlin, meist unter Führung von Bruno Taut und/oder Martin Wagner, entstandenen Wohnsiedlungen, die beinahe quer durch die gesamte Stadt verteilt sind, stellten zu damaliger Zeit hinsichtlich Form, Farbe und Anordnung eine absolute Revolution dar. Erst durch die Machtergreifung Hitlers am 30.1.1933 wurde dieser, den architektonischen Vorstellungen der Faschisten nahezu konträre Baustil zunächst eingedämmt und letztendlich vollständig eingestellt. Für viele der, diesen Stil vertretenden, Architekten blieb meist nur der Ausweg in das Exil, was gleichzeitig das Ende für weitere Projekte in Deutschland bedeutete.

Die bis dahin sechs verwirklichten Wohnsiedlungen sind bis heute, denkmalgeschützt, erhalten und gehören seit 2008 zum Weltkulturerbe der UNESCO. Die größte und wohl auch bekannteste Berliner Siedlung stellt die von Bruno Taut 1925-30 geschaffene Großsiedlung Britz dar, deren markantestes Merkmal ein hufeisenförmiges Wohnhaus ist, weshalb die Siedlung wohl eher unter dem Namen Hufeisensiedlung bekannt geworden ist.

In Betracht der architekturhistorischen Bedeutung dieser Siedlung(en) stellen Modernisierungen, die ein zeitgemäßes und lebensnahes Wohnen unter den Gesichtspunkten der Energieeffizienz und -einsparung ermöglichen sollen, notwendige, schwer zu bewerkstellende und vor allen Dingen viele unterschiedliche Seiten zu berücksichtigende Maßnahmen dar. Jedoch muss die Prämisse gelten, dass bei aller Notwendigkeit von Modernisierungen der einmalige Charakter der Siedlungen als Ausdruck des damaligen Zeitgeistes moderner Architekten unbedingt erhalten bleiben muss.

In dieser Arbeit sollen unterschiedliche Maßnahmen der Modernisierung für die Hufeisensiedlung untersucht und bezüglich ihres ökologisch-ökonomischer Nutzens bewertet werden. Dass eine Umsetzung für das gesamte Siedlungsareal stattfindet, ist aufgrund des seit 2000 laufenden Verkaufs von Häusern an Dritte und den damit einhergehenden unterschiedlichen Interessen eher unwahrscheinlich, würde aber einmal mehr Walter Gropius' Ausspruch bestätigen: "Die Krankheit unserer heutigen Städte und Siedlungen ist das traurige Resultat unseres Versagens, menschliche Grundbedürfnisse über wirtschaftliche und industrielle Forderungen zu stellen."

1.2 Aufgabenstellung Gruppe 5

Untersuchung zu Möglichkeiten der energetischen Ertüchtigung von denkmalgeschützten Gebäudehüllen - Beispiel Hufeisensiedlung in Berlin-Britz. Bewertung der Effizienz der vorgeschlagenen Maßnahmen für Reihenhäuser im Denkmal-Basis-Info (U-Wert-Ermittlung, Kosten-Nutzen-Bilanzierung)

1.3 Vorstellung der energetischen Sanierungsmaßnahmen

Wie in Kapitel 2 aufgeführt wird, stellen sich an Sanierungsvorhaben von denkmalgeschützten Gebäuden besondere Vorgaben. Der Verein "Freunde und Förderer der Hufeisensiedlung" hat ein Architekturbüro beauftragt, Vorschläge zur energetischen Sanierung, die nicht im Konflikt mit dem Denkmalschutz stehen, zu erarbeiten. Diese Vorschläge sollen nun vorgestellt werden, bevor im nächsten Kapitel näher auf die rechtlichen Bestimmungen des Denkmalschutzes eingegangen wird. Diese Vorschläge umfassen:

- Einbau einer modernen und effizienten Heizungsanlage oder Erneuerung/Umtausch einer alten Heizungsanlage
- Dämmung der Kellerdecke bei ausreichender Kellerhöhe (Vorschlag Denkmal-Basis Info: Dämmdicke von max. 5cm)
- Dämmung der Außenwände des Gebäudes mithilfe einer innenliegenden Dämmung, da auf Grund denkmalschutzrechtlicher Vorgaben eine Außendämmung, wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, nur mit großen Anstrengungen zulässig ist
- Dämmung und Dichtung der Hauseingangstüren
- Abdichten der Fenster und evtl. Einbau moderner Fenster
- Dämmung der Dächer

Nicht aus allen der durch das Architektenbüro vorgeschlagenen Modernisierungsmaßnahmen resultiert eine energetische Verbesserung der Reihenhäuser. Die Maßnahmen, die keinen Einfluss auf den Wärmeverlust und Heizwärmebedarf des Gebäudes haben, werden hier stichpunktartig aufgeführt, im Rest der Arbeit jedoch nicht mehr gesondert behandelt:

- Lichtschachtabdeckung aus Plexiglas in der Sockelzone
- Modernisierung der Hauseingänge: Hausnummernschild verkleinern und Installation einer Kugelleuchte / Vordach über den Hauseingängen

- Dachzone: Abdeckung für Schornsteine als Witterungsschutz. Abdeckungen dürfen bezüglich des Denkmalschutzrechtes weder über die Mauerwerkskanten herausragen, noch eine Abtropfkante besitzen.

2 Technische Grundlagen

Bevor die Vorschläge zur energetischen Sanierung der Hufeisensiedlung evaluiert werden, werden die für die Bewertung maßgeblichen rechtlichen und technischen Kriterien erläutert. Im ersten Teil dieses Kapitels wird aufgeführt, nach welchen technischen Gesichtspunkten die Maßnahmen zu bewerten sind und welche Vergleichsgrößen dabei helfen.

Der zweite Teil beschäftigt sich mit den gesetzlichen Rahmenbedingungen. Aufgrund der Tatsache, dass die Hufeisensiedlung unter Denkmalschutz steht, gelten hier neben den üblichen baurechtlichen Anforderungen die Gesetze des Denkmalschutzes, die unter allen Umständen beachtet werden müssen.

2.1 Wärmeleitwert

Der Wärmeleitwert λ in $\left[\frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}}\right]$ beschreibt das Vermögen eines Stoffes, thermische Energie mittels Wärmeleitung zu transportieren. Neben der Wärmeleitung kann Wärme auch über Strahlung und Konvektion übertragen werden. Während die Konvektion in den U-Wert einbezogen wird, spielt die Strahlung in den meisten Fällen keine signifikante Rolle und wird in der energetischen Betrachtung von Gebäuden oft vernachlässigt.

2.2 U-Wert

Der Wärmedurchgangskoeffizient ist ein Maß für den Wärmestrom durch ein Bauteil hindurch aufgrund unterschiedlicher Temperaturen auf beiden Bauteilseiten. Üblicherweise bezieht sich dieser sogenannte k-Wert oder U-Wert auf eine Fläche von einem m^2 . Die Einheit des Wärmedurchgangskoeffizienten ist $\left[\frac{\text{W}}{\text{K}\cdot\text{m}^2}\right]$.

Die allgemeine Berechnung des U-Wertes erfolgt nach ISO 6946 [ISO6946]. Für die Berechnung wird am Beispiel einer unendlich großen, gleichförmig aufgebauten Wand erläutert:

Die Wand sei aus hintereinanderliegenden Schichten der Dicken d_i mit der Wärmeleitfähigkeit λ_i aufgebaut.

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + R_{si}} \quad (2.1)$$

mit

U	Wärmedurchgangskoeffizient in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$
R_T	Wärmedurchgangswiderstand in $\frac{m^2 \cdot K}{W}$
R_{se}	Äußerer Wärmeübergangswiderstand in $\frac{m^2 \cdot K}{W}$
d_i	Schichtdicke der Schicht i in m
λ_i	Spezifische Wärmeleitfähigkeit der Schicht i in $\frac{W}{m \cdot K}$
R_{si}	Innerer Wärmeübergangswiderstand in $\frac{m^2 \cdot K}{W}$

Der U-Wert ist die Grundlage für die Ermittlung der Transmissionswärmeverluste und er gibt an wie viel Energie entweichen kann. Kleine U-Werte stehen für gut gedämmte Bauteile und große U-Werte sind nachteilig, da viel Wärme verloren geht. Bei Passivhäusern sollten die U-Werte generell unterhalb von $0,16 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ liegen.

2.3 Gradtagzahl

Die Gradtagzahl ist ein Maß für den Wärmebedarf eines Gebäudes während der Heizperiode. Sie bezeichnet die Differenz zwischen der Raumtemperatur und der Außenlufttemperatur innerhalb eines Tages. Sie bezieht sich auf die Tage, bei denen die Außentemperatur unterhalb der gewünschten Heizgrenze liegt. Eine mögliche Berechnungsmethode ist diese nach VDI Richtlinie 2067[2067] / DIN 4108 T6 4108[4108], in der die Heizgrenze bei $15 \text{ }^\circ\text{C}$ und die Innentemperatur bei $20 \text{ }^\circ\text{C}$ festgelegt sind. Die Gradtagzahl stellt somit die Summe aus der Differenz der angenommenen Rauminnentemperatur und der jeweiligen Tagesaußentemperatur dar. Diese basiert auf Messwerten des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Werden alle Tage in der Heizperiode betrachtet, erhält die Kennzahl die Einheit Kd/a (Kelvin x Tag / Jahr). Diese Kennzahl ist ortsabhängig und kann für eine überschlägige Berechnung aus der oben genannten VDI Richtlinie mittels einer Übersichtskarte bestimmt werden.

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

3.1 Baurecht

Im Rahmen der Lehrveranstaltung “Interdisziplinäre Rahmenbedingungen” werden an dieser Stelle die Themen Baurecht und Bauplanungsrecht behandelt. Darüber hinaus wird der Denkmalschutz in Bezug auf solare Architektur thematisiert. Grundsätzlich wird das deutsche Baurecht in privates und öffentliches Baurecht unterteilt.

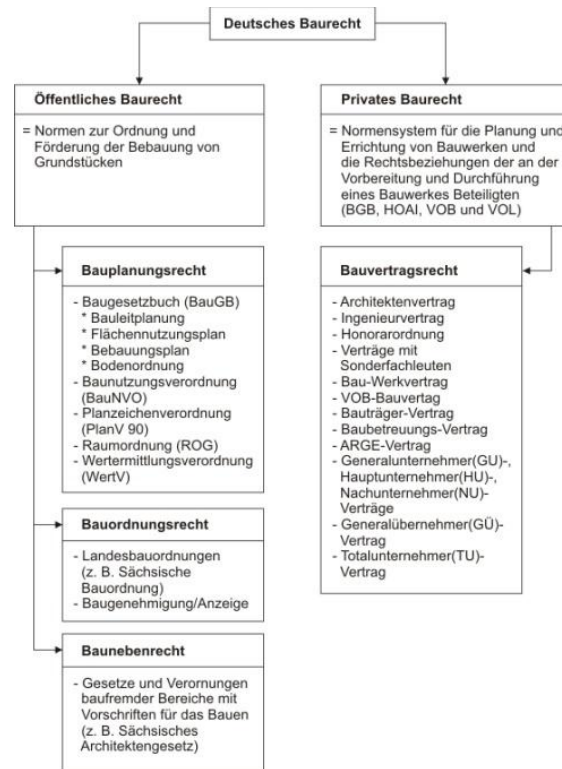


Abbildung 3.1: Übersicht über das deutsche Baurecht [BPRO]

1. Privates Baurecht: Das private Baurecht regelt die Rechtsverhältnisse zwischen dem Bauherr, dem Ingenieur /Architekt und den ausführenden Baufirmen. Im Gegensatz zum öffentlichen Baurecht ist es den Beteiligten freigestellt vertragliche Regelungen zu treffen, die über die gesetzlichen Rahmenbedingungen (BGB, VOB, HOAI) hinausgehen. Diese dürfen jedoch in keinem Konflikt zu geltendem Recht stehen. Das Werksvertragsrecht regelt den Austausch von Leistungen und Vergütung. Gesetzliche Grundlage für private Werksverträge stellt in Deutschland der Paragraph §631ff. BGB dar. Oftmals wird aber auch die Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) in den Teilen B und C herangezogen. Die Honorare für Architekten und Ingenieure werden in der sogenannten HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) auf Bundesebene vertraglich festgelegt.

2. Öffentliches Baurecht: Das öffentliche Baurecht regelt die bauliche Nutzung von Grund und Boden und wird unterteilt in Bauplanungsrecht und Bauordnungsrecht. Bauplanungsrecht ist Angelegenheit des Bundes und Bauordnungsrecht liegt in der Verantwortung des jeweiligen Landes.

2.1 Bauplanungsrecht (Städtebaurecht): Grundlage des Bauplanungsrechts ist das Baugesetzbuch (BauGB), die Baunutzungsverordnung (BauNVO) und die Planzeichenverordnung (PlanZVO). Des Weiteren ist das Grundgesetz mit dem Art. 14 Abs.2 "Eigentum verpflichtet" einzuhalten. Das Baugesetzbuch regelt die Zulässigkeit der Bauvorhaben auf Basis der jeweiligen Lage des Grundstückes. Diese befindet sich:

- Im Geltungsbereich eines qualifizierten Bebauungsplans (§30 BauGB)
- Innerhalb eines im Zusammenhang bebauten Ortsteils, im Innenbereich ohne qualifizierten Bebauungsplans (§34 BauGB)
- Im Außenbereich (§35 BauGB)

Die Bauleitplanung sichert die städtebauliche Entwicklung der Gemeinden in Deutschland. Wesentliche Aufgabe ist es, die bauliche und sonstige Nutzung der Grundstücke gemäß BauGB zu leiten. Wichtiges Instrument für die Bauleitplanung ist der Bebauungsplan, in dem rechtsverbindliche Festsetzungen für die städtebauliche Ordnung festgelegt werden. Er regelt die Nutzung der Flächen und wird aus dem aktuell vorliegenden Flächennutzungsplan entwickelt.

2.2 Bauordnungsrecht: Das Bauordnungsrecht wird durch die Bundesländer in den jeweiligen Landesbauordnungen geregelt. Die Umsetzung und Überprüfung erfolgt in der Regel in den Bauaufsichtsbehörden der Landkreise und Städten. Folgende Punkte werden überprüft:

- Gefahrenabwehr
- Einhaltung gesetzlicher Rahmenbedingungen
- Gewährleistung sozialer Mindeststandards
- Überprüfung der Einhaltung der zu Grund liegenden Bauleitplanung
- Verhütung von Verunstaltung

2.3 Nebenrecht: Zusätzlich findet bei einem Bauvorhaben auch noch das Bau-Nebenrecht seine Anwendung. Es umfasst fachliche Vorschriften, die an die zu bebauenden Fläche weitere Anforderungen stellen:

- Denkmalschutzrecht
- Straßenrecht
- Wärmeschutzgesetze
- Immissionsschutzrecht
- Wasserrecht / Landschaftsschutzrecht
- Bodenschutz / Altlastenrecht

Auf Grund der Tatsache, dass die Objekte der Hufeisensiedlung denkmalgeschützt sind, wird das Denkmalschutzrecht in Bezug auf die energetische Sanierung detaillierter aufgeführt.

3.2 Denkmalschutz

3.2.1 Begrifflichkeit

Der Denkmalschutz in Deutschland dient der Erforschung, dem Schutz, der Erhaltung und Pflege von besonderen Kulturgütern. Diese sind einzigartiger Ausdruck epochalen menschlichen und gesellschaftlichen Schaffens. Kulturdenkmale werden in viele unterschiedliche Arten unterteilt. Diese sind zum Beispiel Baudenkmale, Technische Kulturdenkmale, Industriedenkmale, Kunst- denkmale und kunsthandwerkliche Denkmale. Im Zuge dieser Arbeit wird besonderes Interesse auf den Erhalt von Baudenkmalen gelegt. Momentan gibt es nach Angaben der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger (Zusammenschluss der Denkmalfachbehörden) ungefähr 1 Millionen denkmalgeschützte Immobilien. Ziel ist die Instandhaltung der Baudenkmale mit so geringem Eingriff in die originale Bausubstanz wie möglich.

3.2.2 Denkmalrecht

Den rechtlichen Rahmen zum Denkmalschutz bildet das Denkmalrecht. Das Denkmalrecht ist Teil der Kulturhoheit der Bundesländer und ist somit unterschiedlich gestaltet, beruht aber auf denselben Grundprinzipien. Der Denkmalschutz wird als ein öffentliches Interesse angesehen und hat ungefähr seit Mitte des 19. Jahrhunderts im Zuge der Säkularisierung und der Industrialisierung und der damit verbundenen, enorm schnellen, städtebaulichen Veränderung rechtliche Grundlagen erhalten.

Es gibt zwei Systeme nach denen ein Objekt rechtlich als Denkmal klassifiziert wird. Im Nachrichtlichen System reicht es aus, wenn ein Objekt bestimmte Bedingungen erfüllt. Im konstitutiven System muss neben den erfüllten Bedingungen durch einen Verwaltungsakt der zuständigen Behörde ein Objekt zum Denkmal erklärt werden. Die oft privaten Eigentümer von Baudenkmalen stehen dann in finanzieller Verantwortung das Baudenkmal so optimal wie möglich, aber im Rahmen des Zumutbaren instand zuhalten, was oft zu Interessenskonflikten zwischen Behörden und Eigentümern führt.

Das unterschiedliche Denkmalrecht der Bundesländer bildet unterschiedliche Systeme von Denkmalbehörden. Es wird erstens zwischen Denkmalschutzbehörden und Denkmalfachbehörden unterschieden. Denkmalschutzbehörden können hierarchisch zwei- bzw. dreistufig aufgebaut sein und sind Vollzugsbehörden, die Entscheidungen darüber treffen, ob ein Denkmal beseitigt, transloziert, instandgehalten oder in seinem Aussehen verändert werden darf. Die Denkmalfachbehörden stehen außerhalb der Hierarchie der Vollzugsbehörden und bestehen aus einer Bündelung von Fachleuten der Denkmalpflege. Diese haben hauptsächlich einen beratenden und informierenden Charakter, legen aber auch ein schützendes Auge auf alle Denkmäler. Es kann sein, dass die Denkmalschutzbehörde nur in Einvernehmen mit der Denkmalfachbehörde Entscheidungen treffen darf.

In Berlin gibt es ein zweistufiges Behördensystem. Oberste Denkmalschutzbehörde ist die Senatsverwaltung. Die unteren Denkmalschutzbehörden sind die Bezirksämter und ihnen unterliegen alle dem Denkmalschutzgesetz betreffenden Ordnungsaufgaben. Die untere Denkmalschutzbehörde kann nur in Einvernehmen mit der Denkmalfachbehörde ihres Amtes walten. Andernfalls trifft die oberste Denkmalschutzbehörde innerhalb von 2 Wochen die Entscheidung.

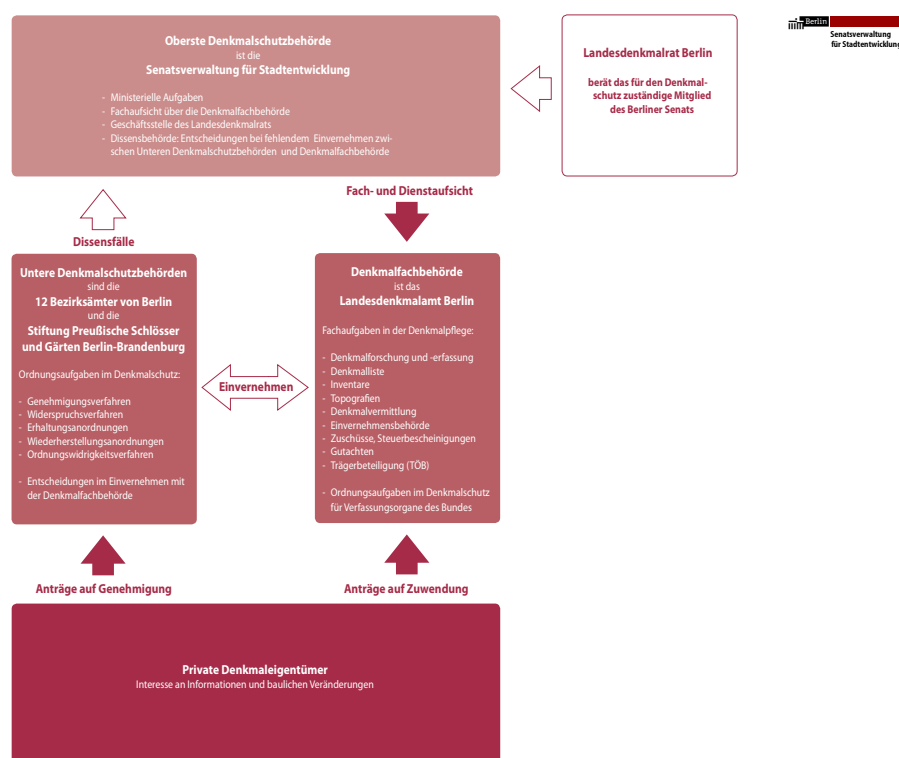


Abbildung 3.2: Struktur des Berliner Denkmalrechts [BDR]

Eines der wichtigsten Mittel zum Schutz und zur Pflege von Denkmälern ist das der Instandsetzung. Die Instandsetzung von Denkmälern bedeutet eine Wiederherstellung des Denkmals, also

die Beseitigung von Schäden. Dabei wird besonderer Wert darauf gelegt, dass keine irreversiblen Eingriffe in die Bausubstanz erfolgen. Die Verwendung von traditionellen Mitteln und Materialien ist notwendig. Der Begriff der Sanierung findet im Denkmalrecht keine Verwendung, da für diesen eben erwähnte Eigenschaften nicht zutreffen und dieser einen modernisierenden Charakter hat. Folgender Paragraph aus dem Denkmalschutzgesetz zeigt aber, dass die entsprechende Behörde einen großen Ermessensspielraum hat:

§11 Abs. 1:

1. in seinem Erscheinungsbild verändert, 2. ganz oder teilweise beseitigt, 3. von seinem Standort oder Aufbewahrungsort entfernt oder 4. instand gesetzt und wiederhergestellt werden. Dies gilt auch für das Zubehör und die Ausstattung eines Denkmals. Die Genehmigung nach Satz 1 ist zu erteilen, wenn Gründe des Denkmalschutzes nicht entgegenstehen oder ein überwiegendes öffentliches Interesse die Maßnahme verlangt.

Im Zusammenhang mit diesem Paragraphen werden oft Maßnahmen genehmigt, die nicht mehr den denkmalgerechten Ansprüchen der Instandhaltung und -setzung genügen.

3.2.3 Fensterinstandsetzung und Fenstersanierung

Die am meisten gefährdeten Bauteile eines Denkmals sind die Fenster, die mit als erstes einer energetischen Ertüchtigung zum Opfer fallen. Diese werden dann oft nicht denkmalgerecht konserviert, restauriert oder renoviert, sondern saniert. Das bedeutet irreversible Eingriffe in die Bausubstanz des Denkmals und somit dessen Zerstörung. Außerdem wird in Hinblick auf eine CO₂-Verminderung, oft in Unkenntnis der gesamten bauphysikalischen Gebäudestruktur, die Klima- und Feuchtebilanz verändert, was zur Schimmelbildung im historisch bewährten Gebäude und letztendlich auch zu dessen Zerstörung führt.

Im Rahmen dieser Arbeit werden hier die vom beauftragten Architekturbüro vorgeschlagenen Maßnahmen zur energetischen Ertüchtigung der Einfach- und Doppelkistenfenster anhand der fachlichen Unterstützung der Fensterhandwerker Volker Marten und Frank Nischik[FEHA] unter denkmalrechtlichen Aspekten bewertet. Diese Fensterhandwerker sind sehr an einem Austausch interessiert, damit in Zukunft auch an Fachhochschulen und Universitäten "die nachhaltige Zerstörung noch bestehender historisch wertvoller Fensterbestände im Baudenkmalim Zuge des jetzigen "Dämmwahns" wahr genommen wird und es nicht die "Sisyphusarbeit" der Fensterhandwerker bleibt, historische Fensterbestände in Baudenkmalen zu schützen.

Das Denkmalrecht lässt sich aufgrund von §11 Abs.1 sehr weit auslegen. Inwiefern Maßnahmen zur energetischen Ertüchtigung mit Eingriff in die originale Bausubstanz genehmigt werden oder eben gerade wegen der Entscheidung "pro Sanierung contra Instandhaltung" abgelehnt werden, liegt in der Auslegung des jeweiligen Sachverständigen.

Einfachfenster

Die Installation eines inneren Vorfensters ist aus Sicht des Denkmalschutzes vertretbar und eine gängige Methode zur Energieeinsparung, da dieser Vorgang reversibel ist und die Bausubstanz des historischen Gebäudes nicht zerstört wird.

Das Ausschäumen der Zwischenräume ist nicht denkmalgerecht, da keine traditionellen Baustoffe verwendet werden und wird daher seit ca. 10 Jahren nicht mehr bei der Denkmalinstandhaltung verwendet. Alternativ sollte auf Hanf, Hanfstricke, entfettete und mit Kaolin behandelte Schafwolle oder neuerdings auch Leinfasern zurückgegriffen werden.

Doppelkastenster

Bei beiden Varianten soll die originale Verglasung durch unterschiedliche moderne Isolierverglasungen ausgetauscht werden. Hierbei handelt es sich um eine irreversible Beseitigung originaler, denkmalgeschützter Bausubstanz. Die Umsetzung dieser Maßnahme ist mit dem zuständigen Amt für Denkmalschutz zu klären. Ohne eine Freigabe ist eine Durchführung nicht zu empfehlen.

Außerdem soll die Lippendichtung Dichtungsprofil Nr. F2320 verwendet werden. Aus denkmalrechtlicher Sicht kann diesem irreversiblen Eingriff in die originale Bausubstanz nicht zugestimmt werden. Außerdem hat diese Methode weitere Nachteile. Die gefräste Nut vermindert den Querschnitt des Fensterrahmens, was zu verminderter Stabilität führt. Zusätzlich entsteht zwischen Gummi und Rahmen ein kapillarer Effekt, der auf Dauer Feuchtigkeit eindringen, aber nicht mehr verdunsten lässt. Die Folge ist eine unbemerkte innere Verrottung der Fenster. Die verminderte Luftwechselrate durch die nicht mehr vorhandene Fugenlüftung kann auf Dauer zu Schimmelbildung in den benachbarten Wänden führen.

3.2.4 Dämmung der Kellerdecke

Eine nicht gedämmte Kellerdecke ist in älteren Gebäuden einer der häufigsten Gründe für hohe thermische Verluste. Je nach Gebäudetyp und Umgebungsbedingungen können bis zu 20 % der Energieverluste durch eine Dämmung der Kellerdecke verringert werden.

Auf Grund dessen wurde vom Architekturbüro diese Maßnahme vorgeschlagen. Aus Sicht des Denkmalschutzes ist die Dämmung der Kellerdecke unbedenklich und auch nicht genehmigungspflichtig. Nach §11 des Berliner Denkmalschutzgesetzes ist eine genehmigungspflichtige Maßnahme eine Veränderung des Erscheinungsbildes, eine ganze oder teilweise Beseitigung, eine Entfernung von seinem Standort oder Aufbewahrungsort bzw. Instandsetzung und Wiederherstellung des Denkmals.

Dennoch ist darauf zu achten, dass ein ganzheitliches Gesamtkonzept für die Dämmung entworfen wird. Nach §9 ist der Eigentümer verpflichtet das Denkmal so zu nutzen, dass die Erhaltung auf Dauer gewährleistet ist. Deshalb ist es wichtig diffusionsfähige und auf biologischer Basis aufgebaute Dämmwerkstoffe zu verwenden. Bei der Begehung eines Kellers in der Hufeisensiedlung ist aufgefallen, dass eine hohe Luftfeuchtigkeit vorherrscht. Um die schädigende Wirkung der hohen Luftfeuchtigkeit zu reduzieren sollte von außen eine vertikale und horizontale Sperrschicht aufgebracht werden. Dadurch kann ebenfalls das Schimmelrisiko im Gebäude verhindert werden.

Nach §8 ist der Verfügungsberechtigte sogar verpflichtet, ein Denkmal im Rahmen des Zumutbaren instand zu halten und instand zu setzen. Damit wird der Erhalt des Denkmals gewährleistet.

3.2.5 Eingangstüren

Die Betrachtung der Türsanierungen behandelt lediglich die Hauseingangstüren und nicht etwa auch die Wohnungstüren. Da die Hauseingangstüren ebenfalls zum äußeren Erscheinungsbild beitragen, verbieten sich Maßnahmen wie Komplettaustausch oder aus dem Rahmen fallende Verstärkungen.

Der vorgeschlagene Einsatz von Lippendichtungen und einer Senkdichtung im Sockelbereich geht problemlos mit dem Denkmalrecht d'accord, da praktisch keine augenscheinliche Veränderung der Tür stattfindet. Auch der geplante Austausch der Verglasung gegen Isolierglas sowie die innenseitige Wärmedämmung des Türblattes sollten im Rahmen des Denkmalschutzes stattfinden. Es ist bei letzterer Maßnahme unbedeutend, ob es sich dabei um die Tür zu einem Wohnhaus oder zu einem Familienhaus handelt.

Da die geplanten Briefkästen an der Türinnenseite angeklebt werden und daher nur minimal Material aus der Tür entfernt werden muss, wäre diese Maßnahme zumindest in Hinblick auf den Denkmalschutz denkbar.

3.2.6 Dächer

Satteldächer: Die vorgeschlagenen Maßnahmen unterscheiden sich nur geringfügig in der Form der Traufe und/oder der Länge des Überdaches, sind aber im wesentlichen Kern nahezu identisch.

Dem empfohlenen Einbau einer bis zu 18cm dicken, mit U-Stahlblech verstärkten Wärmedämmschicht, die nach außen von einer Unterspannbahn und nach innen von einer bauphysikalisch notwendigen Dampfsperre bedeckt wird, aufgrund der Nichtbeeinträchtigung des Erscheinungsbildes zu zustimmen. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass die äußere Dachfläche nicht angehoben wird, um die Proportionen des Hauses nicht zu verändern. Diese Tatsache bedingt eine Zwischen- oder Untersparrendämmung, da hier das Dämmmaterial nicht zu einer Anhebung des Daches führt. Der Verwendung einer Aufsparrendämmung kann keine Empfehlung ausgesprochen werden.

Pulldach: Für das Pulldach wird ebenfalls auf die Variante der Innendämmung mit nach innen anschließender Dampfsperre gesetzt. Zusätzlich dazu gibt es die Option eine Dämmung aus Puren FD-L mit einer Stärke von 8 cm auf dem Dach anzubringen. Es wird zwar von eigener Seite darauf hingewiesen, dass diese Dämmung "von unten nicht sichtbar sein darf". Neben der sich verändernden Geometrie des Daches ist vor allen Dingen aber auch die Formulierung "von unten nicht sichtbar" nicht eindeutig und relativ. Insofern dürfte diese Maßnahme vom Denkmalschutz negiert werden.

3.3 Regelung für energetische Sanierungen an denkmalgeschützten Bauwerken durch die EnEV 2009

Um heutzutage Veränderungen und Sanierungen an Gebäuden vornehmen zu dürfen, bedarf es der Beachtung einiger gesetzlicher Regularien, deren Einhaltung und Umsetzung dringend erforderlich ist, da die umgesetzten Maßnahmen nachträglich aufgehoben und rückgängig gemacht werden dürfen.

Eines dieser gesetzlichen Instrumente ist die Energieeinsparverordnung [EnEV], die in der ersten Fassung seit dem 1. Februar 2002 in der BRD in Kraft getreten und für Wohn-, Büro- und einige Industriegebäude zuständig ist. Diese praktisch für alle Sanierungsmaßnahmen und Neubauten verpflichtende Verordnung gibt Auskunft über das Mindestmaß an Energieeinsparungen und regelt die Höchstwerte der U-Werte verschiedener baulicher Komponenten.

Hinsichtlich der vorzuschlagenden Sanierungsmaßnahmen in der Hufeisensiedlung ist in der aktuellen EnEV von 2007 vor allen Dingen der §24 "Maßnahmen" interessant:

§24 Abs. 1:

Soweit bei Baudenkmalern oder sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz die Erfüllung der Anforderungen dieser Verordnung die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigen oder andere Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führen, kann von den Anforderungen dieser Verordnung abgewichen werden.

Besonders der Aspekt der Beeinträchtigungen des Erscheinungsbildes ist zu beachten, da diese u.a. durch Wärmedämmungen an der Häuserfassade oder auch den Einsatz von isolierten Außenfenstern eintreten würden und daher als gesetzlich nicht verpflichtend gelten. Als Quintessenz dieser Ausnahmeregelung ist festzuhalten, dass bei Sanierungsarbeiten kein gesetzliches Mindestmaß der EnEV erfüllt werden muss, wie es bei gewöhnlichen Wohngebäuden vorgeschrieben wäre. Bspw. könnten auch Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden, die nur eine Energieersparnis von 10 % ermöglichen, sofern sie wirtschaftlich sinnvoll sind.

4 Software/Simulation

4.1 Vorstellung von AnTherm

Für die Simulation von Bauteilen und deren Untersuchung hinsichtlich Wärmebrücken gibt es eine große Auswahl an Programmen. In dieser Arbeit wird das Programm AnTherm [AnTherm] benutzt. Die Entscheidung fiel auf dieses Programm, da es für alle in dieser Arbeit behandelten Fragen geeignet ist und außerdem der Support von Seiten des Autors des Programms hervorragend ist. Im Folgenden werden die Schlüsseleigenschaften- und Funktionen von AnTherm vorgestellt.

AnTherm erlaubt die Simulation von 2D- sowie 3D-Bauteilen. Für dieses Projekt werden alle Bauteile ausschließlich in 2D simuliert. Dies hat mehrere Gründe:

- Es liegen keine Zeichnungen vor, die die Konstruktion eines 3D-Modells ermöglichen. Die dafür notwendigen Annahmen würden das Endergebnis zu stark beeinflussen.
- Die Bauteile sind sehr gut zweidimensional beschreibbar.

Die Beschränkung auf 2D-Zeichnungen hat zur Folge, dass manche Bauteile, wie etwa Fenster, in zwei Schritten simuliert werden müssen. So wird bei den Fenstern jeweils eine Simulation an jeweils einem Modell aus dem horizontalen sowie dem vertikalen Schnitt des Bauteils durchgeführt. So wird im horizontalen Schnitt der Fensterrahmen an der Seite des Fensters simuliert, während der vertikale Schnitt das Fensterbrett und den oberen Teil des Fensterrahmens abbildet. Der U-Wert kann dann anteilig gemittelt werden. Da die Verglasung und der Wandaufbau in beiden Schnitten gleich sind, gibt es hier keinen nennbaren Genauigkeitsverlust. Da der Fensterrahmen in beiden Schnitten außerdem sehr ähnlich aufgebaut und die Verglasung der mit Abstand wichtigste Teil für die energetische Bilanz eines Fensters ist, weichen die beiden U-Werte aus beiden Schnitten nur marginal voneinander ab (vgl. Kapitel 5).

Die Konstruktion der Bauteile erfolgt wie bei fast allen vergleichbaren Programmen ausschließlich über die Eingabe von rechteckigen Elementen. Jedem dieser Elemente müssen Baustoffeigenschaften zugewiesen werden. Im Gegensatz zu einem CAD-System wie etwa AutoCAD gibt es weder Polylinien noch runde Elemente. Jedes Rechteck liegt auf einem eigenen Layer, wobei nur der jeweils höchste Layer bei der Simulation berücksichtigt wird. In Bild 4.1 ist dieses Prinzip gut zu erkennen.

Während dieses System für einfache, rechtwinklig aufgebaute Bauteile sehr gut funktioniert, können schräge Elemente-, wie Bild 4.2 sichtbar, nur durch sehr viele kleine, räumlich versetzte Rechtecke, nachgebaut werden.

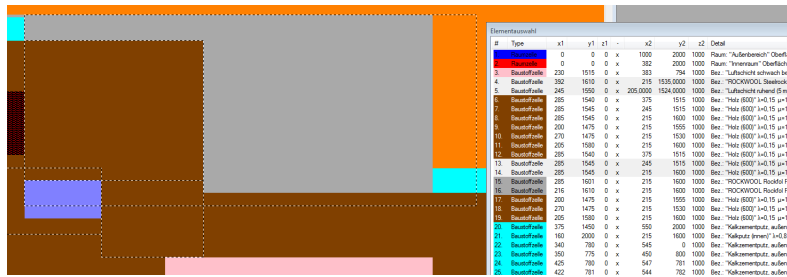


Abbildung 4.1: Für die Simulation wird nur das Rechteck berücksichtigt, das auf dem höchsten Layer liegt

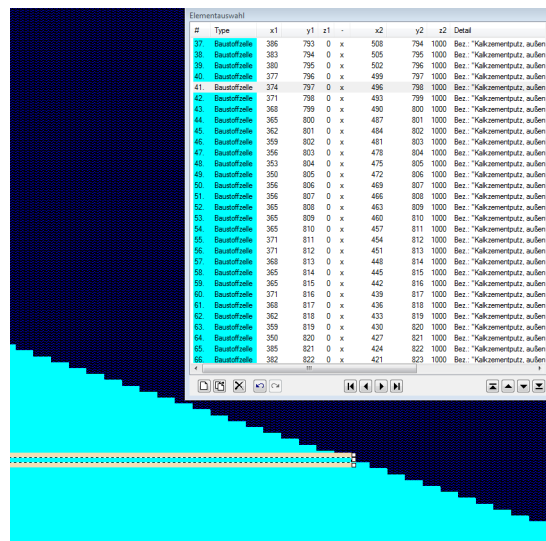


Abbildung 4.2: Schräge Flächen werden durch leicht versetzte Rechtecke nachgebildet

Sobald das Bauteil konstruiert ist, müssen Außen- und Innenbereich in der Zeichnung definiert werden, bevor die Simulation gestartet werden kann. Als erster Simulationsschritt wird der thermische Leitwert λ und der Leitwert für Dampfdiffusion in $\left[\frac{mg}{m \cdot Pa \cdot h}\right]$ berechnet. Hierbei ist zu beachten, dass der thermische Leitwert äquivalent mit dem verbreiteten U-Wert ist. Allerdings ist der Leitwert nicht flächen- sondern längenbezogen. Danach findet eine umfassende Betrachtung des Bauteils unter Randbedingungen statt. Diese Randbedingungen bestehen aus der Innen- und Außentemperatur sowie der jeweiligen relativen Luftfeuchtigkeit. Das Simulationsergebnis besteht aus verschiedenen Teilergebnissen, die, wie in Bild 4.3 gezeigt, jeweils grafisch ausgewertet werden können:

- Temperaturverlauf durch das Bauteil
- Wärmefluss im Bauteil
- Sättigungsdampf- und Partialdruck

- Differenz von Sättigungsdampf- und Partialdruck
- relative Kernfeuchte
- Dampfstrom im Bauteil
- relative Raumfeuchte bei der Kondensation/Schimmel/Rost auftritt

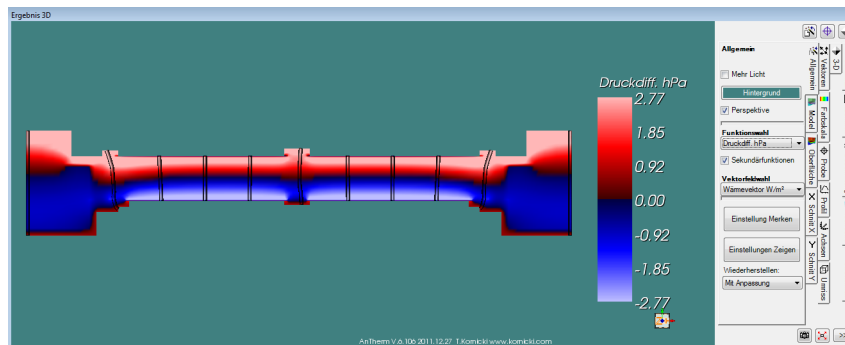


Abbildung 4.3: Grafische Auswertung der Druckdifferenz

Diese verschiedenen Teilergebnisse erlauben einen detaillierten Vergleich der vorgeschlagenen Maßnahmen nach unterschiedlichen Gesichtspunkten. Für die energetische Sanierung ist hauptsächlich die Verbesserung des thermischen Leitwerts relevant. Jedoch dürfen die Faktoren der Kondensatbildung und Schimmelgefahr nicht außer Acht gelassen werden. Insbesondere bei der Sanierung von Fenstern kann es zur Kondensatbildung und Schimmelgefahr in den umliegenden Wandabschnitten kommen.

4.2 Durchführung der Simulation

Bevor im nächsten Abschnitt die einzelnen Verbesserungsvorschläge simuliert werden, müssen die Rahmenbedingung der Simulation geklärt werden. Dies ist insbesondere wichtig, da die Mauern der Häuser unterschiedliche Dicken aufweisen und zum anderen, da nur unvollständige Zeichnungen des Bestandes sowie der Sanierungsmaßnahmen vorliegen. Da manche Materialien und Maße abgeschätzt werden müssen, ist es wichtig, dies für alle Simulationen einheitlich zu tun. Es wird z.B. davon ausgegangen, dass es sich beim Mauerwerk um ein Ziegelmauerwerk handelt. Die angenommenen Leitwerte aller Materialien können Tabelle 4.1 entnommen werden.

Da in dieser Arbeit vor allem die relative Verbesserung gegenüber dem Bestand überprüft wird, ist es für die Genauigkeit der Ergebnisse nicht ausschlaggebend, ob die gewählten Leitwerte exakt die Realität wiedergeben. Neben den Leitwerten werden auch die Wand- und Putzdicken für alle Modelle festgelegt, wie in Tabelle 4.2 gezeigt. Dadurch, dass die Wandstärken üblicherweise mit der Höhe abnehmen, werden hier unterschiedliche Werte gewählt. Außerdem gibt es in der Hufeisensiedlung im Dachbereich zwei unterschiedliche Wandstärken, 25 cm und 38 cm. Bei allen Pultdächern wird im Sinne optimaler Vergleichbarkeit die Wandstärke 25 cm simuliert, während das Satteldach mit einer Wandstärke von 38 cm evaluiert wird.

Tabelle 4.1: Leitwerte und Dampfdiffusionswiderstände der benutzten Baustoffe

Material	Leitwert λ in $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$	Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ
Vollziegelmauer	0,83	10
Außenputz	0,8	10
Innenputz	0,7	15
Gipskartonplatte	0,21	10
Hartholz	0,2	100
Holz im Dachbereich	0,13	50
Glas(unbeschichtet)	0,76	5000000
PU-Ausschäumung	0,035	30
Zwischensparrendämmung	0,035	1
PUREN Flachdachdämmplatte	0,024	100
Bitumen Teerdachversiegelung	0,23	50000
Rockfol PE Dampfsperre	0,35	100000

Tabelle 4.2: Angenommene Bauteildicken in der Simulation

Bauteil	Stärke in mm
Mauer, Fenstersimulation	280
Mauer, Pultdachsimulation	250
Mauer, Satteldachsimulation	380
Außenputz	20
Innenputz	10
Glas, Bestandsverglasung	4

Insbesondere bei Kastendoppelfenstern stellt die Simulation der Luftschicht zwischen den Fensterebenen ein Problem dar. Da AnTherm wie alle gängigen Simulationsprogramme für Wärmebrücken den Einfluss von Konvektion nicht simulieren kann, muss hier eine andere Lösung gefunden werden. Der Leitwert von Luft ist mit $\lambda_{\text{Luft}} = 0,026 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ sehr gering. Dieser Leitwert gilt jedoch nur für ruhende, trockene Luftschichten, in denen keine Konvektion auftritt.

Da bei einem Scheibenabstand von 13,2 cm und einem zu erwartenden erheblichen Temperaturunterschied zwangsweise Konvektion auftritt, muss diese auf jeden Fall berücksichtigt werden. Die genaueste Möglichkeit dies zu tun wäre die Bestimmung der Konvektion zwischen den beiden Scheiben bei einer definierten Raum- und Außentemperatur. Da die Konvektion jedoch die Temperatur der Scheiben und somit den für die Konvektion entscheidenden Parameter selbst beeinflusst, wären hierfür etliche iterative Rechenschritte notwendig.

Sinnvoller ist eine Berechnung nach DIN EN ISO 6946 [ISO6946]. Hier wird der Wärmeleitwert für die Luftschicht auf Basis der Dicke, der Wärmestromrichtung und der Einbausituation vergrößert. Wärmeleitwerte von Schichtdicken, die in dieser Arbeit verwendet werden, können Tabelle 4.3 entnommen werden.

Tabelle 4.3: Wärmeleitwerte für ausgewählte Luftschichten

Luftschicht	Breite in mm	lambda in $\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$
ruhend	10	0,0666
leicht belüftet	10	0,1334
ruhend, hor.	50	0,2777
leicht belüftet, hor.	50	0,5556
ruhend, hor.	100	0,5556
leicht belüftet, hor.	100	1,25
leicht belüftet, hor.	135	1,499
leicht belüftet, aufw.	150	1,875
ruhend, hor.	150	0,8333

Eine Luftschicht gilt dann als schwach belüftet, wenn pro m^2 Oberfläche der Luftaustausch über einen Spalt mit einer Fläche zwischen 500 mm^2 und 1500 mm^2 stattfinden kann [ISO6946]. Da für die Mindestfläche von 500 mm^2 ein Spalt von $1000 \times 0,5 \text{ mm}$ ausreicht, wird angenommen, dass im Bestand aufgrund fehlender Abdichtung der Fenster alle Kastendoppelfenster schwach belüftet sind. Dasselbe gilt für die Lufträume im Dachbereich, zumal hier die Volumina, z.B. bei einer abgehängten Decke erheblich größer sind, was wiederum Konvektion begünstigt. Die genauen äquivalenten Wärmeleitwerte werden direkt im Programm AnTherm berechnet.

Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Bewertung von Sanierungsmaßnahmen ist, ob und wie viel Kondensat im Bauteil anfällt. Es ist bekannt, dass beim Einbau neuer Fenster ohne energetische Sanierung der Wände bei Altbauten Feuchtigkeit und Schimmel im Mauerwerk um das Fenster herum auftreten können. Dies liegt einerseits daran, dass sich das Lüftungsverhalten der Bewohner evtl. ändert, da sich kein Kondensat mehr an den Scheiben sammelt und so der Eindruck entstehen kann, dass es nicht notwendig ist zu lüften. Andererseits sind moderne Fenster oft nicht mehr die kälteste Oberfläche des Raumes. Dies begünstigt eine Kondensation im Mauerwerk im Bereich um die Fenster, da hier das Mauerwerk üblicherweise eine geringere Dicke aufweist und Wärmebrücken entstehen können.

Da die Kondensatbildung sehr stark von der individuellen Einbausituation abhängt, ist es schwer

diese anhand von einzelnen Bauteilen abzuschätzen. Allerdings gibt es auch hier Normen und Richtwerte, an denen man sich bei der Auslegung von Sanierungsmaßnahmen orientieren kann.

Die Bewertung der Schimmelgefahr wird nach DIN4108[4108] vorgenommen. Hier wird der Vergleichswert ft_{Rsi} eingeführt, der ebenfalls mithilfe von AnTherm bestimmt werden kann. DIN4108 besagt, dass f_{Rsi} den Wert 0,7 unter Randbedingungen (Innentemperatur 20 °C, die Außentemperatur -5 °C) nicht unterschreiten darf. Um die Sicherheit des Ergebnisses zu erhöhen, wird die Außentemperatur auf -10 °C abgesenkt.

5 Technische Betrachtung der Sanierungsmaßnahmen

5.1 Methodik

Die technische Betrachtung der Bauteile erfolgt nach einer festgelegten Struktur, um die Vergleichbarkeit der Simulationsergebnisse zu garantieren. Diese umfasst folgende Arbeitsschritte:

- qualitative Bewertung der Ist-Situation
- Simulation und Auswertung der Ist-Situation
- Erläuterung und Simulation der Sanierungsvorschläge
- Bewertung der Sanierungsvorschläge, evtl. Verbesserungsvorschläge

Das Hauptkriterium bei der Bewertung von Bauteilen ist der Heizwärmeverlust, der maßgeblich durch den U-Wert beeinflusst wird. Parallel dazu werden auch die Kondensatbildung und Schimmelgefahr berücksichtigt, da AnTherm (vgl. Kapitel 4.1) keine Aussagen zur Kernfeuchte über mehrere Jahre hinweg macht.

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Eckpunkte der Simulationsergebnisse abgedeckt. Alle Modelle sowie die Ergebnisse der Simulationen befinden sich auf der beiliegenden CD. Die Modelle können mit der kostenlosen Testversion von AnTherm[AnTherm] betrachtet und mit geringer Genauigkeit simuliert werden.

5.2 Dämmung der Kellerdecke

Der erste Vorschlag umfasst eine unterseitige Dämmung der Kellerdecke. Da die Keller in der Hufeisensiedlung jedoch oftmals unter 2 m hoch sind, entsteht hier ein Problem bzgl. der Begehbarkeit. Es wird deshalb vorgeschlagen, die Kellerdecke als Variante A mit einer Dämmschicht von 5 cm zu versehen. Im Folgenden wird diese Maßnahme an einer angenommenen Kellerdecke aus Stahlbeton mit einer Dicke von 18 cm und einem typischen Dielenboden simuliert.

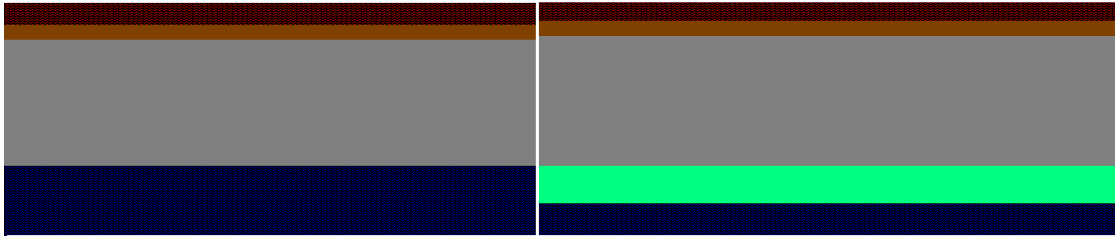


Abbildung 5.1: Bestand(links) und Vorschlag(rechts)

In Abbildung 5.1 wird eine Schnittzeichnung der Kellerdecke aufgeführt. Die Temperatur des Kellers wird für die Simulation mit $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ angenommen. Durch eine 5 cm starke Dämmung sinkt der U-Wert der Kellerdecke von $2\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$ auf $0,5\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$. Aus technischer Sicht spricht nichts gegen eine Dämmung der Kellerdecke. Neben der erheblichen Verbesserung des U-Wertes beeinflusst diese Maßnahme positiv das Wohnklima der darüber liegenden Räume. Des Weiteren ist diese Maßnahme denkmalschutzverträglich, da sie das Bild und die Proportionen des Hauses nach außen nicht sichtbar verändert.

Ob dieser Maßnahme auch in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit eine Empfehlung ausgesprochen werden kann, wird in Kapitel 6.3.2 erörtert.

5.3 Fenster

Wie in Abschnitt 1.3 beschrieben, sind im Bestand zwei Arten von Fenstern verbaut: Kastendoppelfenster und Fenster mit einer alten Einfachverglasung. Während Kastendoppelfenster heute zwar technisch veraltet sind, bieten sie durch den Luftraum zwischen den beiden Fenster-ebenen immerhin eine rudimentäre Isolierung. Die Einfachverglasung hingegen ist aus heutiger Sicht weder energetisch noch unter anderen Gesichtspunkten, wie z.B. der Behaglichkeit, vertretbar.

Allerdings muss bei allen energetischen Sanierungsmaßnahmen der Denkmalschutz im Mittelpunkt stehen. Dies bedeutet nicht nur, dass alle Maßnahmen denkmalschutzkonform sein müssen, sondern darüber hinaus muss auch bedacht werden, dass Maßnahmen aus der normalen Altbausanierung, selbst wenn die Maßnahmen mit dem Denkmalschutz vereinbar sind, nicht eins zu eins übertragen werden können. Das liegt daran, dass vor allem Fenster in alten Gebäuden einen sehr großen Einfluss auf die Luftfeuchtigkeit in den Wohnräumen haben. Dadurch, dass alte Fenster nicht luftdicht sind, findet insbesondere im Winter ein Austausch zwischen der feuchten Innen- und der trockenen Außenluft statt, wodurch die Luftfeuchtigkeit im Innenraum abgesenkt wird. Darüber hinaus stellen Fenster im Altbau ein Element dar, an dem Kondensation erwünscht ist, da diese so im Mauerwerk umgangen werden kann. Werden im Bestand ohne weitergehende energetische Sanierungen moderne Fenster eingebaut, führt dies sehr oft dazu, dass die Fenster einen energetisch besseren U-Wert haben als die Wände. Dadurch kondensiert der Wasserdampf, der sich im Bestand an den Fenstern niedergeschlagen hätte, im Mauerwerk. Die Tatsache, dass moderne Fenster luftdicht sind und so einen Feuchtigkeitsaustausch mit der Außenluft verhindern, verstärkt diesen Effekt.

Nachdem in den letzten Jahren klar wurde, dass ein einfaches Ersetzen der Fenster eines Altbaus sehr oft zu Schimmelproblemen führt, wurde dazu übergegangen, neue Fenster nur in

Verbindung mit anderen energetischen Sanierungsmaßnahmen wie einer Fassadendämmung einzubauen. Da dies in denkmalgeschützten Gebäuden jedoch nicht möglich ist, sind Einzelmaßnahmen bzgl. des Austauschs von Fenstern prinzipiell kritisch zu hinterfragen.

5.3.1 Einfachverglasung

Bestandsaufnahme: Das einfach verglaste Fenster ist oft Bestandteil von denkmalgeschützten Häusern. Auf Grund des Alters und der leichten Konstruktion sind diese Fenster undicht und sehr schlecht isoliert. Dadurch kühlen die Räume schnell aus und es entsteht ein klammes Raumklima. Des Weiteren bieten diese Fenster nur einen geringen Schallschutz.

Simulation und Auswertung der Ist-Situation: Wie in Abschnitt 4.2 beschrieben, wird für jedes Bauteil ein 2D-Modell angelegt. Um den Wärmedurchgangskoeffizient zu berechnen, wird jeweils ein horizontaler und vertikaler Schnitt erstellt.

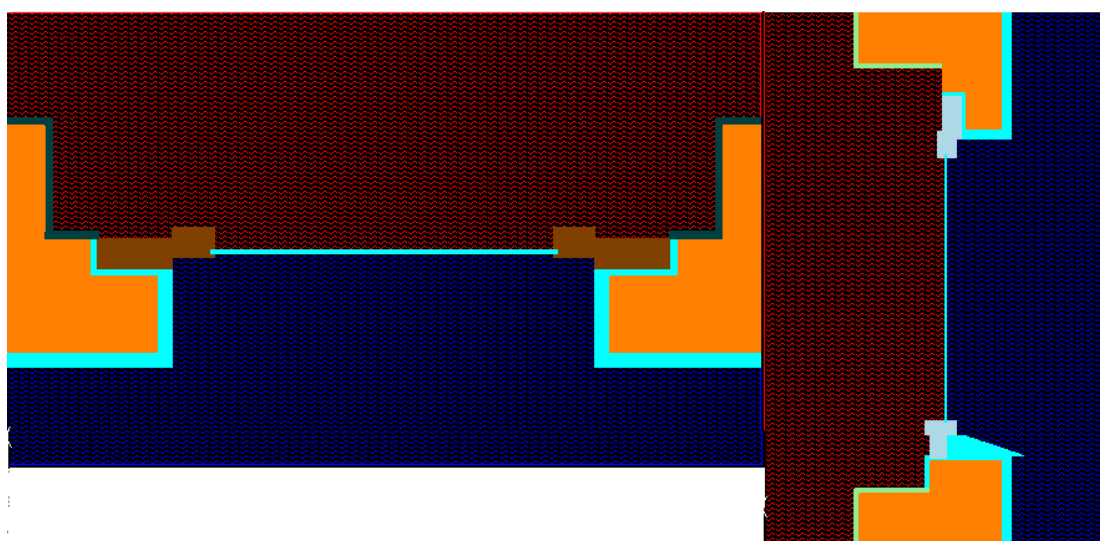


Abbildung 5.2: Schnittzeichnungen des Einfachfensters in AnTherm.

Im Ergebnis der Simulation des Fensters mit Einfachverglasung zeigt sich deutlich, dass der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) mit $4,24 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ sehr hoch liegt. Die dadurch entstehenden Wärmeverluste sind als zu hoch zu bewerten.

Erläuterung und Simulation der Sanierungsvorschläge: Zur energetischen Sanierung des Einfachfensters und zur Minimierung der Transmissionswärmeverluste wird zusätzlich ein Innenfenster mit Isolierglas oder Wärmeschutzverglasung angebracht. Diese Art der energetischen Sanierung findet meist in historischen Gebäuden Anwendung, da auf Grund des Denkmalschutzes das gesamte Fenster nicht gegen ein modernes Fenster getauscht werden kann. Durch ein zusätzliches wärmeschutzverglastes Innenfenster kann der Energieverbrauch gesenkt werden. Dadurch wird ebenfalls die Isolierung verbessert und ein Luftzug verringert. Diese energetische Maßnahme ist in jedem Fall mit der zugehörigen Denkmalschutzbehörde abzuklären. In der EnEV 2009 §9

Absatz 3 wird für Bestandsgebäude die sog. “Bagatellgrenze” geregelt. Wenn weniger als 10% der Fensterfläche des Hauses erneuert werden sollen, müssen diese nicht dem Mindest-U-Wert entsprechen. Eine Verbesserung gegenüber dem Bestandsfenster muss jedoch erzielt werden.[EnEV] Die energetische Sanierung des Einfachfensters umfasst folgende Maßnahmen(Rot dargestellt in Abbildung 5.3).

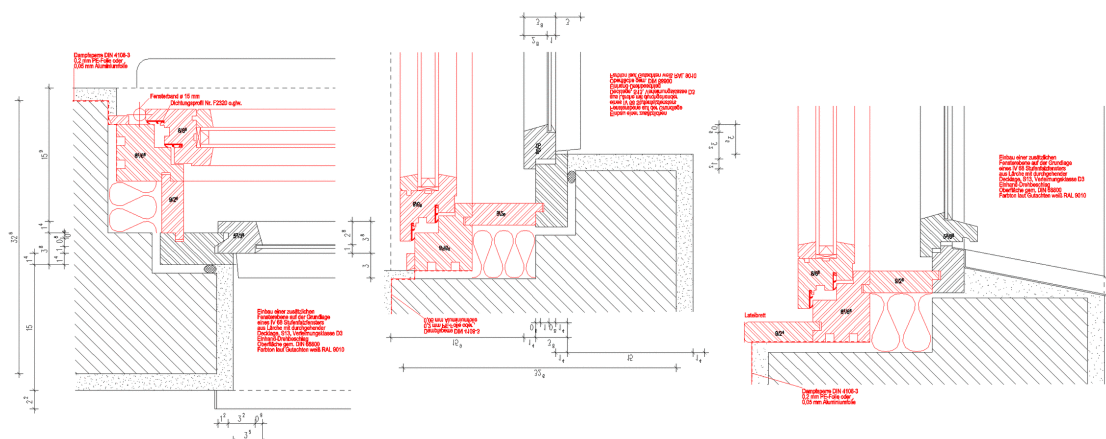


Abbildung 5.3: Vorschläge zur energetischen Sanierung der Einfachfenster

- zusätzliche Fensterebene, IV 68 Stufenfalzfenster Lärche mit durchgehender Decklage, S13, Verleimungsklasse D3, Einhand Drehbeschlag, Oberfläche gem DIN 68800, Farbton RAL 9010
- Ausschäumen der Hohlräume zwischen Mauerwerk und Fensterrahmen
- Dampfsperre DIN 4108-3, 0,2mm PE Folie oder 0,005 mm Aluminiumfolie

Diese Maßnahmen werden in der Simulation, wie in Abbildung 5.4 dargestellt, umgesetzt.

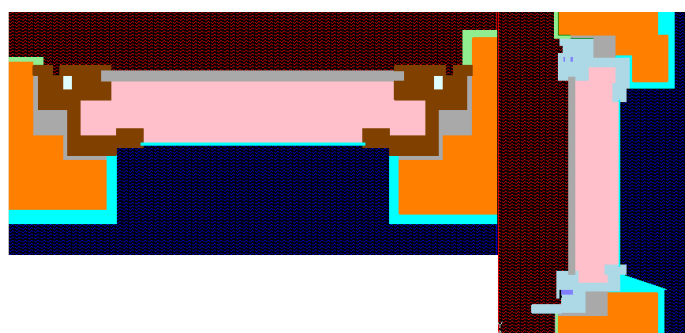


Abbildung 5.4: Umsetzung der Vorschläge in AnTherm

Durch die Sanierungsmaßnahme sinkt der U-Wert auf $1,07 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$, was eine Verbesserung von ca. 75 % darstellt. Aus energetischer Sicht ist diese Maßnahme sehr empfehlenswert.

Vergleich der Vorschläge mit der Ist-Situation: Die Simulation zeigt, dass die Temperatur an dem einfachen Bestandsfenster bei einer angenommenen Außentemperatur von -10°C auch an dem Innenfenster die Temperaturgrenze von 0°C unterschreitet. Auch die Temperatur des Mauerwerks sinkt wesentlich schneller ab. Nach den Sanierungsvorschlägen jedoch zeigt sich eine erhebliche Verbesserung der Innentemperatur. Diese liegt auf der gesamten Innenfläche des Fensters durch das Einziehen einer zusätzlichen Fensterebene oberhalb von $+10^\circ\text{C}$ und schützt somit den Innenraum besser vor Auskühlung.

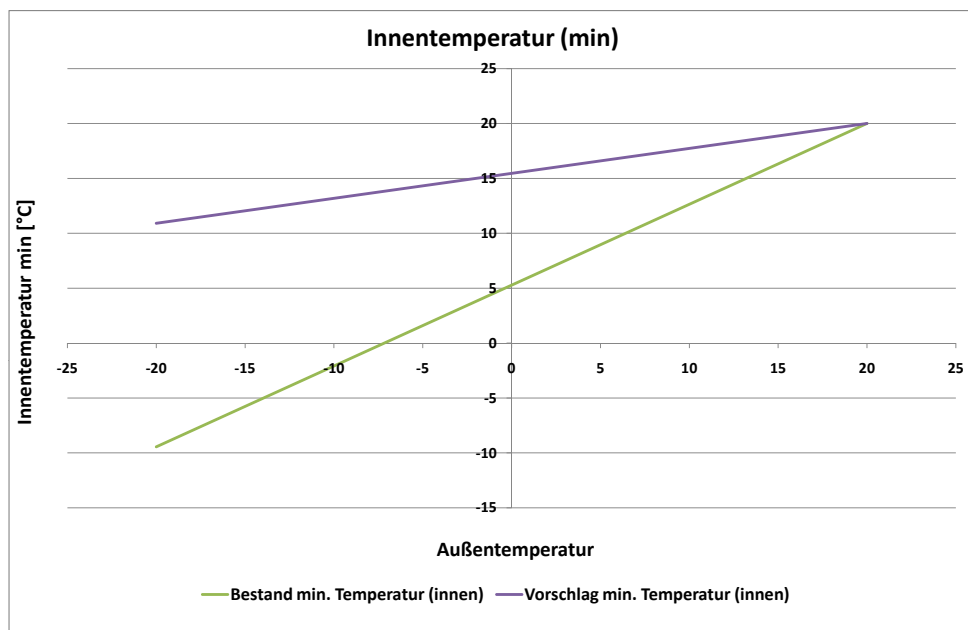


Abbildung 5.5: Temperaturverlauf im Bauteil vor und nach der Sanierung

Das Temperaturverhalten des Einfachfensters wurde in einer Simulationsreihe bei unterschiedlicher Außentemperatur in AnTherm überprüft. Anhand der Innentemperatur an den Fenstern ist deutlich zu erkennen, dass das Bestandsfenster bei geringen Temperaturen von bis zu -20°C gegenüber dem sanierten Fenster im Nachteil ist. Nach den Sanierungsmaßnahmen liegt die Innentemperatur auch bei -20°C über 10°C , was einer erheblichen Verbesserung entspricht und einen Grund für die Reduzierung der Wärmeverluste darstellt.

Die Auswertung des Wärmestroms ergibt, dass bei dem einfach verglasten Fenster im Bestand der Wärmestrom an der Scheibe wesentlich höher ist als nach der Sanierung. Dort liegt der

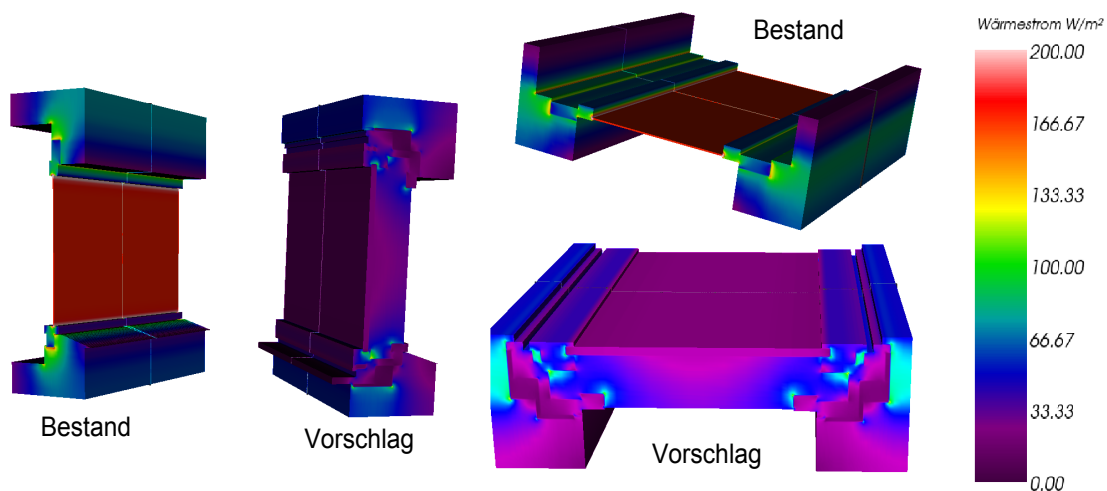


Abbildung 5.6: Verteilung des Wärmestroms des einfachen Fensters im Bestand und nach Sanierung

Wärmestrom mit ca. $40 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ weit unter dem Wert des Bestandsfensters von ca. $160 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$. Durch die Sanierungsmaßnahmen kann der Wärmestrom stark verringert und somit Heizenergie eingespart werden.

Die Druckdifferenz wird berechnet aus Sättigungsdampfdruck minus Partialdruck. Somit liegen Bereiche mit negativer Druckdifferenz unter dem Taupunkt und es fällt Kondensat an.

Tabelle 5.1: U-Wert-Verbesserung durch die Sanierungsmaßnahmen

	U-Wert in $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$	Verbesserung zu Bestand in %
Bestand	4,24	—
Vorschlag	1,07	75

Durch das Innenfenster wird der Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters um ca. 75 % verbessert. Ein Ausschäumen der Hohlräume verbessert das Raumklima und verhindert einen erhöhten Luftstrom im Zimmer.

Durch die energetische Maßnahme kommt es zu einer erhöhten Gefahr der Kondensatbildung. Zu beachten ist auch, dass das Schimmelrisiko dadurch ansteigt. Dieser Gefahr ist durch ein korrektes Lüftungsverhalten vorzubeugen.

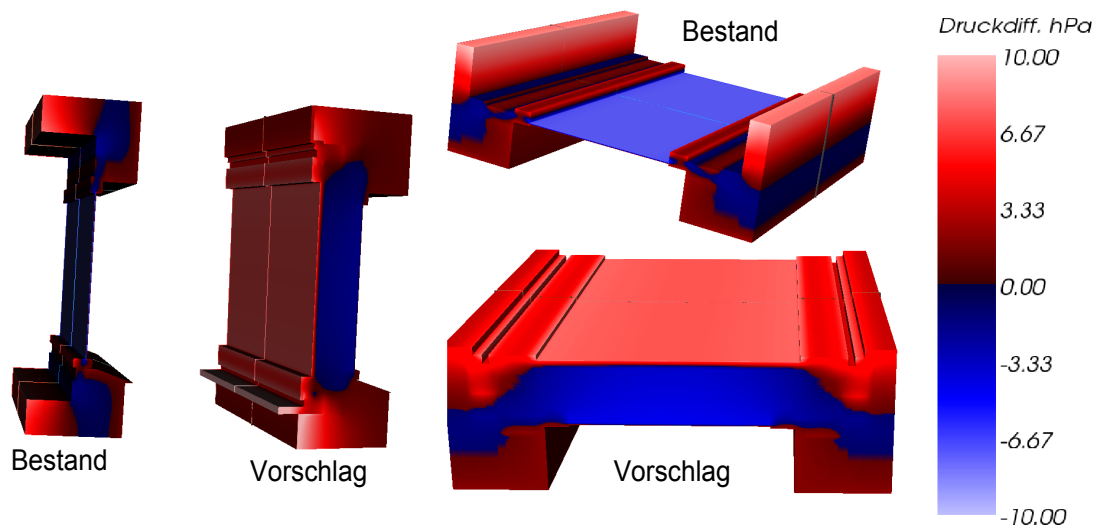


Abbildung 5.7: Verteilung der Druckdifferenz (Sättigungsdruck-Partialdruck) des einfachen Fensters im Bestand und nach Sanierung

5.3.2 Kastendoppelfenster



Abbildung 5.8: Typisches Kastendoppelfenster in der Hufeisensiedlung[DBINFO]

Bestandsaufnahme: Die Kastendoppelfenster im Bestand bestehen aus zwei Einfachverglasungen eingefasst in einen Holzrahmen. Holzfenster dieser Bauart sind nicht so dicht wie moderne Isolierglaskonstruktionen, da die Luft zwischen den Fenstern kühler ist als in der Wohnung. Dadurch kann es zu Kondensation an der Innenseite der Außenscheibe kommen. Neben der Tatsache,

dass diese Fenster oft klemmen und sehr instabil sind, bieten sie keinerlei Schutz vor Lärm.

Simulation und Auswertung der Ist-Situation: Wie in Abschnitt 4.2 beschrieben, wird für jedes Bauteil ein 2D-Modell angelegt. Um den Wärmedurchgangskoeffizient für das Doppelkassenfenster zu berechnen, wird jeweils ein horizontaler und vertikaler Schnitt erstellt.

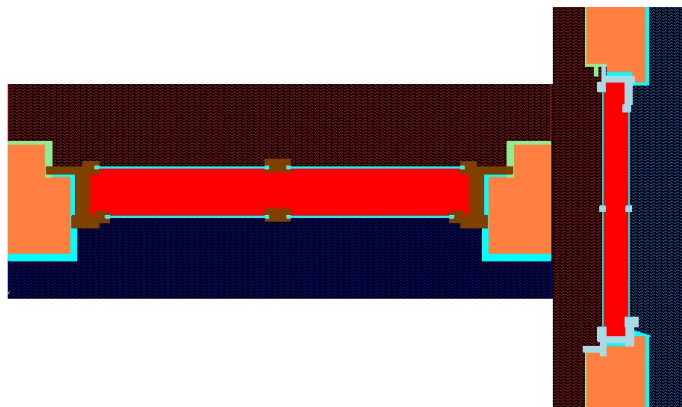


Abbildung 5.9: Schnittzeichnungen horizontal/vertikal in AnTherm

Erläuterung und Simulation der Sanierungsvorschläge: Zur energetischen Sanierung des Doppelkassenfensters stehen drei Vorschläge zur Auswahl. Alle drei Varianten mit den vorgeschlagenen Maßnahmen wurden planungstechnisch konform zum Denkmalschutzrecht ausgelegt. Aus diesem Grund betreffen die Maßnahmen nur den inneren Flügel der Fenster, der nicht von der Straße aus sichtbar ist.

Doppelkassenfenster Variante A Lippendichtung: Um den Falz des Innenflügels wird eine Nut gefräst, die eine Lippendichtung aufnimmt. Am Stulp jedoch liegt keine Übereinstimmung der Dichtungsebene vor. Die wesentlichen Maßnahmen sind:

- Lippendichtungen, Dichtungsprofil Nr. F2320 o. glw.
- Ausschäumen der Hohlräume zwischen Mauerwerk und Fensterrahmen

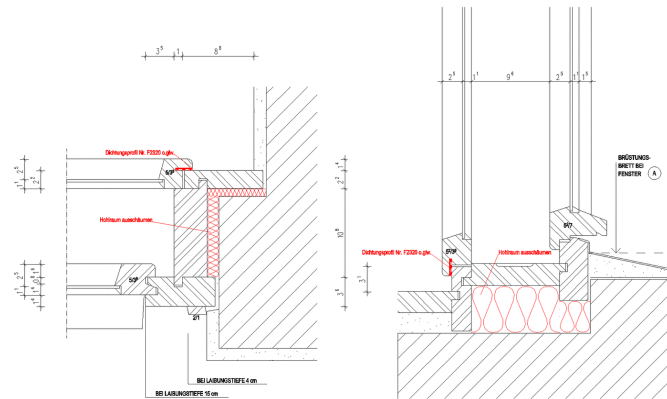


Abbildung 5.10: Vorgeschlagene Maßnahmen: Lippendichtungen und Ausschäumen der Hohlräume

Doppelkassenfenster Variante B "Lippendichtung und K-Glas": Neben der Lippendichtung kommt im inneren Flügel ein K-Glas zum Einsatz. Der Falz für die Aufnahme des Glases ist dadurch zu vergrößern. Die wesentlichen Maßnahmen sind:

- Lippendichtungen, Dichtungsprofil Nr. F2320 o. glw.
- Ausschäumen der Hohlräume zwischen Mauerwerk und Fensterrahmen
- Einsatz von K-Glas mit Vergrößerung der Aufnahme des Glases

Die Beschichtung von K-Glas verringert Wärmeverluste durch Strahlung. Dies bedeutet aber auch, dass die Strahlungsgewinne durch Sonneneinstrahlung ebenfalls verringert werden. Ob der Einbau von K-Glas sinnvoll ist, muss deshalb individuell unter Berücksichtigung der Einbausituation geprüft werden. Aus technischer Sicht spricht nichts gegen den Einsatz von K-Glas, solange sichergestellt ist, dass der Fensterrahmen das im Vergleich zum Bestand dickere Glas fassen kann.

Doppelkassenfenster Variante C "Lippendichtung und Isolierglas" Neben der Lippendichtung kommt im inneren Flügel ein dünnes Isolierglas (4 + 6 + 4 mm) zum Einsatz. Der Falz für die Aufnahme des Glases ist dadurch zu vergrößern. Die wesentlichen Maßnahmen sind:

- Lippendichtungen, Dichtungsprofil Nr. F2320 o. glw.
- Ausschäumen der Hohlräume zw. Mauerwerk und Fensterrahmen
- Einsatz von Isolierglas (4+6+4mm) mit Vergrößerung der Aufnahme des Glases

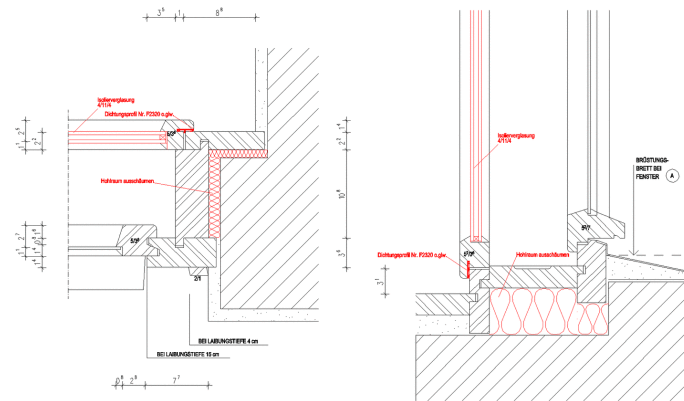


Abbildung 5.11: Vorgeschlagene Maßnahmen: Lippendichtungen, Ausschäumen der Hohlräume und Isolierverglasung

Die Maßnahme wird simulationstechnisch wie folgt umgesetzt:

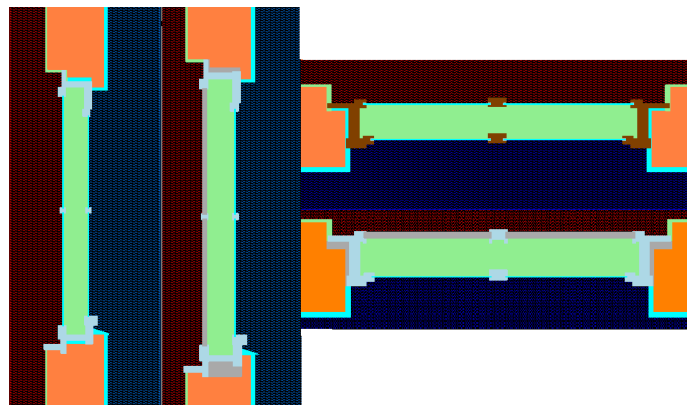


Abbildung 5.12: Zeichnung der Maßnahmen A und B in AnTherm

Vergleich mit der Ist-Situation: Der Vergleich der Simulationsergebnisse wird an dieser Stelle nur zwischen dem Bestandsfenster und der Variante Nr. C aufgeführt, da die prozentuale Verbesserung des U-Wertes dort maximal ist.

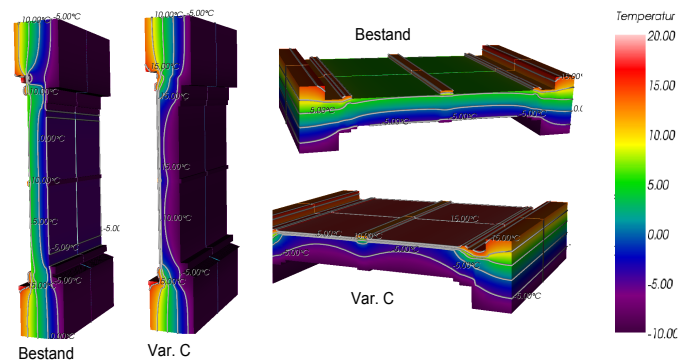


Abbildung 5.13: Temperaturverlauf im Bestand und Variante C

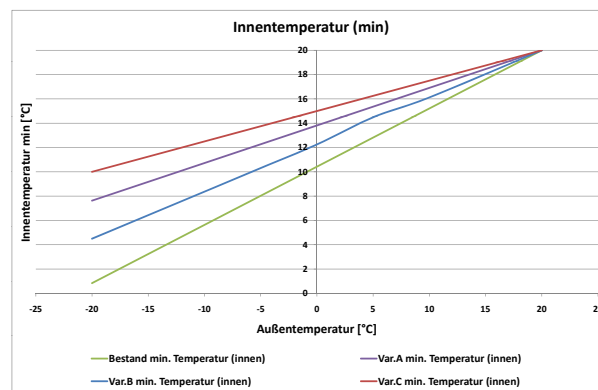


Abbildung 5.14: Verlauf der Temperatur des kältesten Punktes des Innenraums in Abhängigkeit der Außentemperatur

Das Temperaturverhalten des Doppelkastensfensters wurde in einer Simulationsreihe bei unterschiedlicher Außentemperatur in AnTherm überprüft. Anhand der Innentemperatur an den Fenstern ist deutlich zu erkennen, dass das Bestandsfenster bei geringen Temperaturen von bis zu -20 °C gegenüber dem sanierten Fenster im Nachteil ist. Nach den Sanierungsmaßnahmen bei Variante B mit Isolierverglasung und zusätzlicher Lippendichtung liegt die Innentemperatur auch bei -20 °C über 10 °C , was einer erheblichen Verbesserung entspricht und einen Grund für die Reduzierung der Wärmeverluste darstellt.

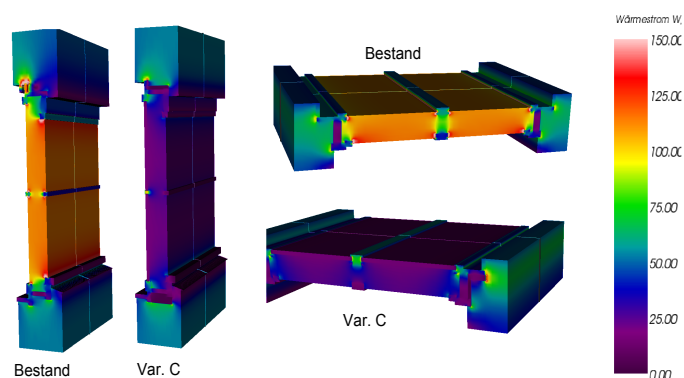


Abbildung 5.15: Wärmestrom in Bestand und Variante C

Tabelle 5.2: U-Wert-Verbesserung durch die Sanierungsmaßnahmen

	U-Wert in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$	Verbesserung zu Bestand in %
Bestand	2,78	—
Var. A	2,13	24
Var. C	1,13	59

Bewertung der Vorschläge hinsichtlich Kondensatbildung: Nachdem gezeigt wurde, dass der Wärmestrom durch das Doppelkassenfenster durch die Maßnahmen deutlich reduziert wurde, soll nun untersucht werden, wie sich die Sanierung auf das Kondensationsverhalten auswirkt.

In Abbildung 5.16 kann man sehen, dass der Bereich mit einer negativen Druckdifferenz durch die Sanierung deutlich größer geworden ist. Dies liegt daran, dass durch das Isolierglas weniger Wärme in den Fensterzwischenraum gelangt und so die Temperatur zwischen den Scheiben deutlich abgesenkt wird, wie auch in Abbildung 5.13 zu sehen ist. Dadurch wird auch das angrenzende Mauerwerk kälter, was zu einer Kondensation im Mauerwerk und der vorgeschlagenen Isolierung führt. Insbesondere in der Isolierung ist Kondensatbildung bedenklich. Das liegt daran, dass durch Feuchtigkeit einerseits die Dämmwirkung verloren geht und andererseits die Schimmelgefahr in Isolierstoffen höher ist als im Mauerwerk. Einerseits verliert es durch die Feuchtigkeit die Dämmwirkung, was zu einer weiteren Auskühlung führt und andererseits kann sehr leicht Schimmel entstehen.

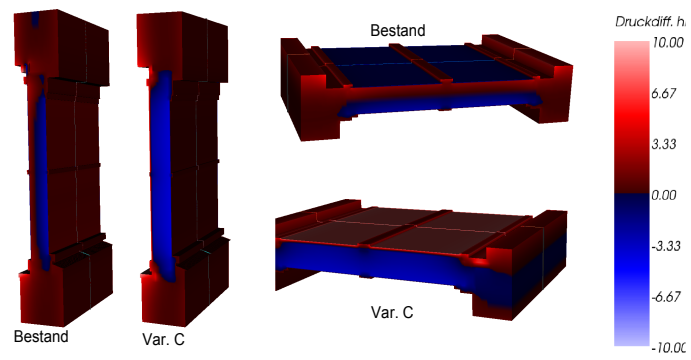


Abbildung 5.16: Druckdifferenz in Bestand und Variante C

5.3.3 Eingangstür

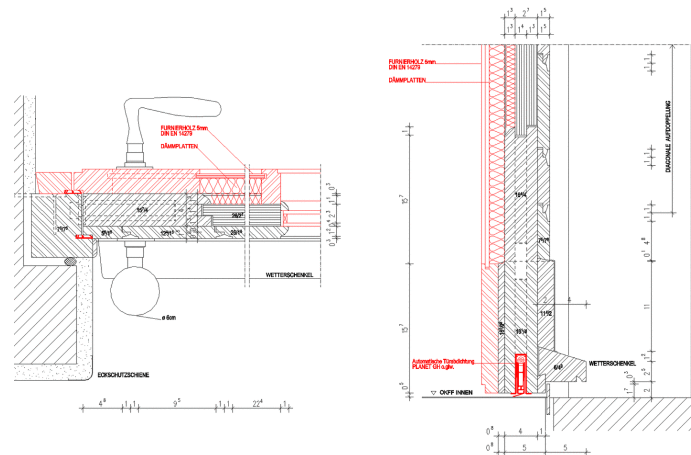


Abbildung 5.17: Vorschlag zur energetischen Sanierung der Eingangstür

Für die Eingangstür werden verschiedene Maßnahmen vorgeschlagen:

- Einsetzen von Lippendichtungen
- innenseitiges Dämmen
- Einsetzen einer Isolierverglasung

Da für die Simulation der Türen keine detailgetreuen Zeichnungen vorliegt und die zu erwartende energetische Einsparung im Vergleich zu anderen Maßnahmen gering ist, wird eine prinzipielle Aussage über den Nutzen dieser Sanierungsmaßnahmen getroffen. Dafür wird angenommen, dass die Eingangstür aus einer im Schnitt 4,5 cm dicken Holzschicht besteht. Es wird die Verbesserung des U-Werts für verschiedene Dämmstärken berechnet, damit zusammen mit der Verbesserung des U-Werts durch das Isolierglas in der wirtschaftlichen Betrachtung eine Aussage getroffen werden kann, ob und unter welchen Bedingungen sich eine Sanierung der Eingangstüren lohnt. Es ist jedoch absehbar, dass eine energetische Sanierung der Eingangstüren sehr aufwendig ist.

Als Material wird bei den Türen Holz mit einem Wärmeleitwert von $\lambda_{\text{Holz}} = 0,15 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ angenommen. Die innenseitige Dämmung erfolgt durch Dämmplatten mit einem Wärmeleitwert von $\lambda_{\text{Dämmplatten}} = 0,035 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$. Das im Bestand in die Tür eingesetzte Glas wird mit einer Stärke von 4 mm angenommen. Die vorgeschlagene Isolierverglasung ist eine 2-Scheiben Verglasung mit einem Abstand von 8mm und einer Glasstärke von 4mm. Der Leitwert dieser Isolierverglasung ist $\lambda_{\text{Isolierglas}} = 0,05 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$.

In Tabelle 5.3 werden die U-Wert-Verbesserungen verschiedener Aufbauten anhand einer Beispieltür mit den Maßen 90 cm x 220 cm und einer eingesetzten Verglasung von 50 cm x 70 cm gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass die Verbesserung bei nur 3 cm Dämmstärke und einem Isolierglasfenster mehr als 50 % beträgt. Aus technischer Sicht ist eine Dämmung der Eingangstür

also durchaus sinnvoll. Unabhängig von der Dämmung sollten die Lippendichtungen auf jeden Fall eingebaut werden, da auf diese Art mit minimalen Investitionskosten und Arbeitsaufwand Wärmeverluste vermieden werden können. Leider ist es nicht möglich, die Wärmeverluste durch Zugluft zu berechnen oder abzuschätzen.

Ob eine komplette Überarbeitung der Eingangstür wirtschaftlich sinnvoll ist, wird in Abschnitt 6.3.3 geklärt. Aus technischer Sicht kann aber mit verschiedenen Problemen gerechnet werden. Zum einen ist eine komplette Überarbeitung natürlich mit einem sehr großen Arbeitsaufwand verbunden, da verschiedene Dämmstärken je nach Struktur der Tür eingesetzt werden sollen. Zum anderen kann eine Dämmung zu Problemen beim Öffnen und Schließen führen, da die Tür erheblich dicker wird.

Tabelle 5.3: U-Wert-Verbesserung durch verschiedene Maßnahmen

	U-Wert in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$	Verbesserung zu Bestand in %
Tür, Bestand	1,98	—
Tür, 1,5cm Dämmung	1,19	39,8
Tür, 3 cm Dämmung	0,91	54,2
Tür, 4,5cm Dämmung	0,76	61,6

5.4 Satteldach

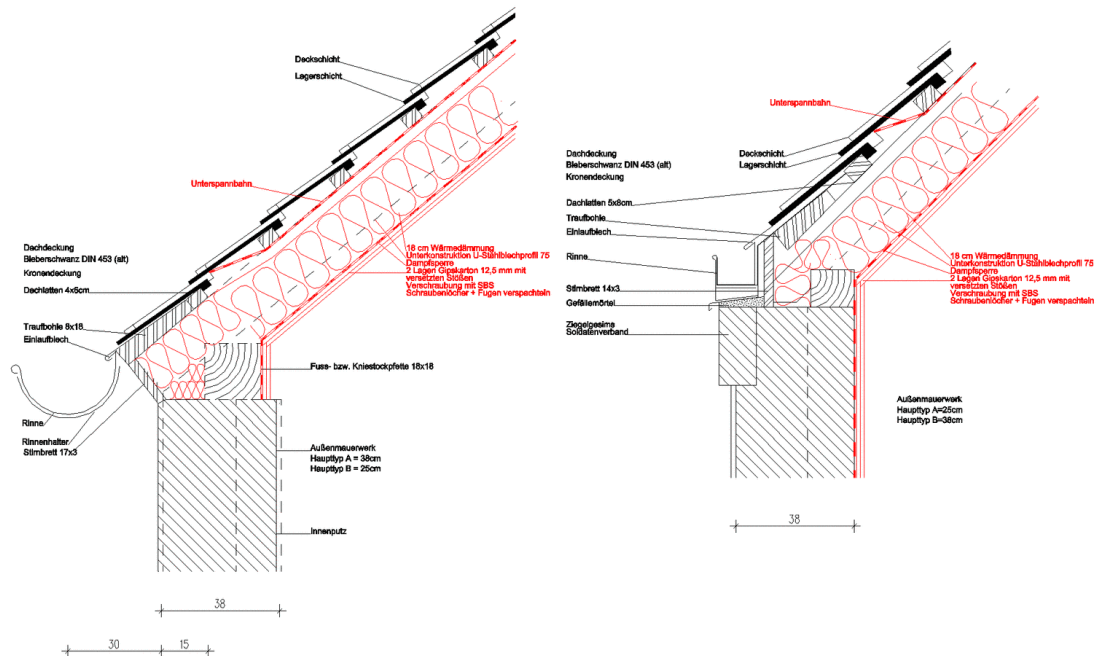


Abbildung 5.18: Verschiedene Satteldachvarianten. Rot: Sanierungsvorschläge

Der analysierte Teil des Daches besteht aus 3 unterschiedlichen Zonen, die sich hinsichtlich Wärmeleitung stark unterscheiden und deshalb getrennt betrachtet werden sollten.

Zum einen muss die Mauer, auf der das Dach aufliegt, untersucht werden. Es ist sinnvoll Mauer und Dach energetisch auf ein vergleichbares Niveau zu bringen. Einerseits kann es durch eine Sanierung der Dachhaut dazu kommen, dass Wasserdampf in der Mauer kondensiert. Zum anderen ist eine sehr starke Dämmung der Dachhaut mit mehr Aufwand verbunden als eine normale Dämmung von Dach und Mauerwerk.

Der nächste untersuchte Teil ist der Pfettenbereich, der Übergang zwischen Dachhaut und Mauer. Je nach Aufbau muss hier mit Wärmebrücken gerechnet werden. Außerdem ist es möglich, dass in der Mauer Kondensat anfällt. In diesem Fall ist es wichtig zu untersuchen, ob die Holzkonstruktion davon betroffen ist.

Der dritte Teil ist die Dachhaut selbst. Bei Satteldächern mit Sparrenkonstruktion ist auch eine nachträgliche Dämmung unter oder zwischen den Sparren problemlos möglich. Es ist zu erwarten, dass hier die besten U-Werte erreicht werden.

Bestandsaufnahme: Wie in Kapitel 1.3 erwähnt, gibt es in der Hufeisensiedlung verschiedene Ausführungen von Satteldächern (vgl. Abbildung 5.18). Die Bauarten variieren jedoch nur im Bereich der Pfette. Da dieser Bereich bei allen Varianten ähnlich gut gedämmt werden kann,

wird an dieser Stelle nur eine Variante simuliert. Des Weiteren gibt es in der Hufeisensiedlung im Dachbereich nur 25 cm bzw. 38 cm zwei unterschiedliche Mauerstärken. Da ein so großer Unterschied in der Wandstärke erheblichen Einfluss auf den Wärmeleitwert hat und außerdem die maximal mögliche Dicke der Dämmung im Pfettenbereich deutlich verkleinert, werden beide Wandstärken untersucht.

Auswertung der Ist-Situation: Wie in Abbildung 5.18 zu sehen ist, sind die Satteldächer im Moment nicht gedämmt. Dies ist nicht nur aus energetischer Sicht nicht vertretbar, sondern hat auch äußerst negative Auswirkungen auf die Behaglichkeit des darunter liegenden Raumes. Das erste, offensichtlichste Problem ist das Heizen im Winter. Wie in Abbildung 5.19 gut zu erkennen ist, verläuft die 10 °C Isotherme bei der 25 cm Mauer knapp hinter der Maueroberfläche, bei beiden Varianten ist die Dachschräge nur knapp über 10 °C warm. Der kälteste Punkt liegt in beiden Fällen nicht in der Wand sondern über der Pfette, hier ist in Abbildung 5.19 klar ein Knick in den 5 °C Isothermen zu sehen. Das bedeutet, dass sich der Raum auch bei einer Lufttemperatur von 20 °C kalt anfühlt. Außerdem kann es durch fehlende Dämmung auch zu Zugluft kommen.

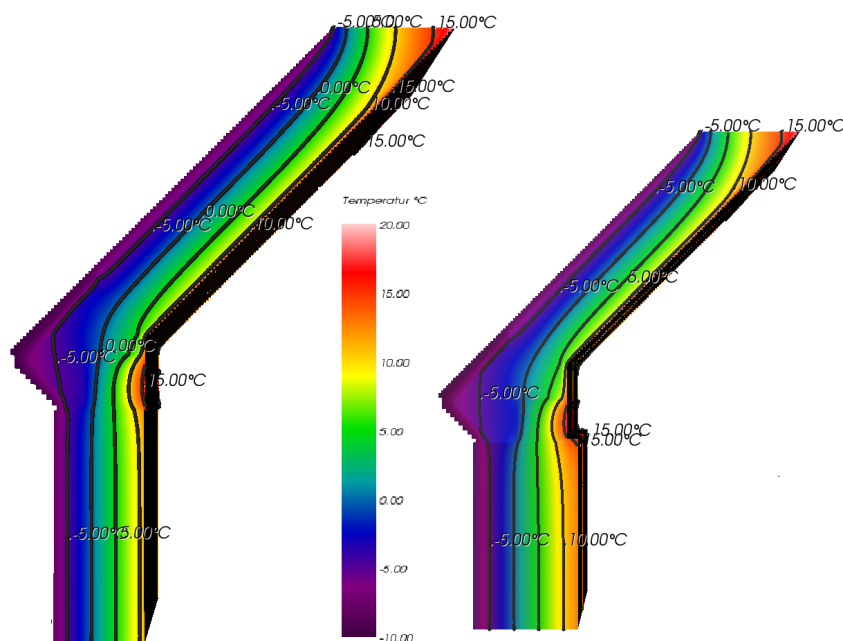


Abbildung 5.19: Simulation des Temperaturverlaufs im Dach im Ist-Zustand. Links 25 cm Mauer, rechts 38 cm

Wichtiger als die Temperatur ist für die energetische Betrachtung die Wärmeleitung. Wie bereits erwähnt, sollten hier vor allem auf Wärmebrücken im Übergangsbereich zwischen Mauer und Dachstuhl, sowie die Wärmeleitung in der Dachhaut untersucht werden. Abbildung 5.20 zeigt die Wärmeleitung im Profil des Daches sowie in der Dachhaut. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Wärmeleitung vor allem in der Mauer sowie in der Dachhaut zwischen den Sparren stattfindet. Der U-Wert der Dachhaut im Ist-Zustand beträgt $1,39 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ während der U-Wert

des Schnitts durch den Übergang zwischen Mauer und Dachstuhl bei ca. $1,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ liegt. Da sich der U-Wert des Schnitts durch die Dachkonstruktion aus den U-Werten der Dachhaut, der Mauer und des Pfettenbereichs zusammensetzt ist und somit maßgeblich von deren jeweiligen Anteil an der Gesamtoberfläche abhängt, ist ein getrennter Vergleich der Dachhaut aussagekräftiger.

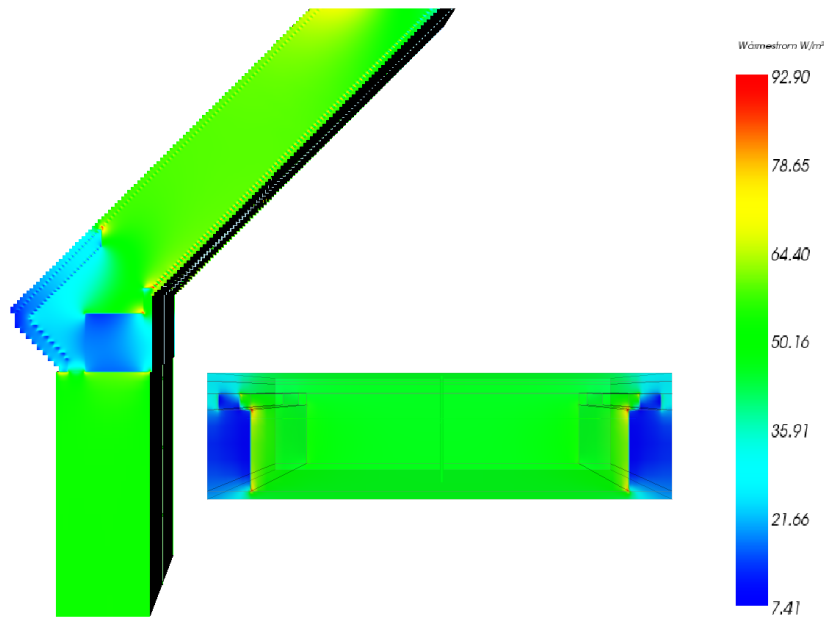


Abbildung 5.20: Wärmestrom im Ist-Zustand

Da gezeigt wurde, dass sowohl Mauer als auch Dachhaut im Winter sehr kalt werden, ist es notwendig festzustellen, inwieweit Feuchtigkeit entsteht und ob Schimmelgefahr besteht. Abbildung 5.21 zeigt die Druckdifferenz im Schnitt des Pfettenbereichs und in der Dachhaut. Es ist zu erkennen, dass im Pfettenbereich selbst keine Kondensation auftritt, während dies sowohl in der Mauer und in der Dachhaut der Fall ist. Während die Mauer zu einem späteren Zeitpunkt genauer zu betrachten ist, kann man über die Dachhaut einige Aussagen treffen:

Obwohl es hier zu Kondensatbildung kommen kann, ist das nicht kritisch, da der Dachstuhl durch das Nichtvorhandensein von Isolierung sehr gut belüftet ist und austrocknen kann, sobald kein Kondensat mehr anfällt. Des Weiteren ist auch der in Abschnitt 4.2 eingeführte Vergleichswert f_{Rsi} für die Bauteile in Ordnung bzw. grenzwertig. Für die Dachhaut beträgt er 0,74, was über dem kritischen Wert von 0,7 liegt. Für den Pfettenbereich beträgt f_{Rsi} 0,69. Dies liegt zwar unter dem von der Norm vorgegebenen Wert, aufgrund der sehr gut belüfteten Einbausituation kommt es aber auch hier nicht zu Schimmel. Problematisch ist auf der anderen Seite jedoch die Kondensatbildung im Mauerwerk. Es ist zu untersuchen, ob dies auch in der sanierten Version der Fall ist. Sollte sich auch nach der Sanierung Kondensat bilden, ist es ratsam, über Innendämmung bzw. eine Dampfsperre nachzudenken.

Erläuterung und Simulation der Sanierungsvorschläge: In Abbildung 5.18 werden die vorgeschlagenen Sanierungsmaßnahmen dargestellt. Es wird eine Unterspannbahn unter der Lat-

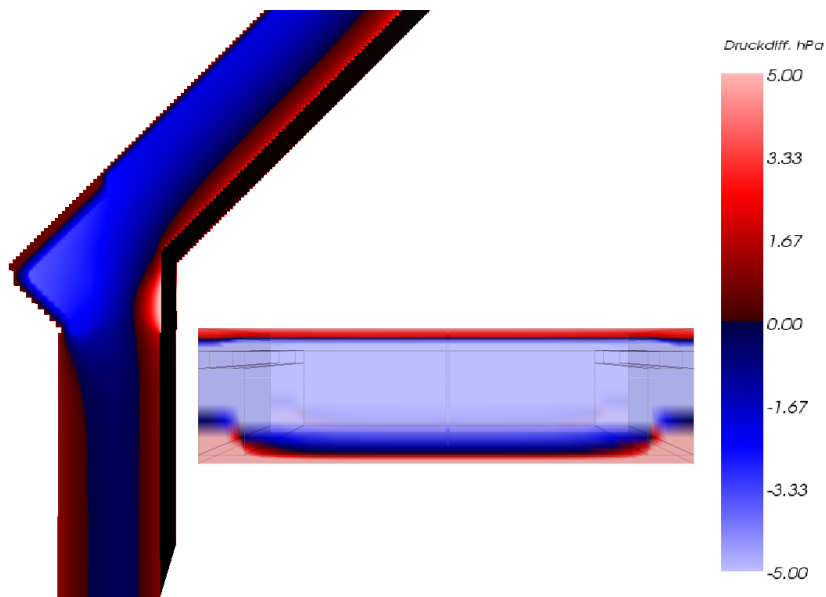


Abbildung 5.21: Druckdifferenz in Dachhaut und Pfettenbereich mit 25 cm Mauerwerk

tung, eine Dampfsperre hinter den Gipskartonplatten und eine normale Zwischensparrendämmung eingebaut. Unterspannbahn und Dampfsperre sollen Feuchtigkeit in der Isolierung verhindern. Als Isoliermaterial wird in dieser Arbeit Mineralwolle angenommen, da dies der gängige Dämmstoff für Dachsanierungen und sehr einfach zu verarbeiten ist.

Abbildung 5.23 zeigt den Effekt dieser Sanierungsmaßnahmen. Am Temperaturverlauf ist zu erkennen, dass die Innenoberfläche der Dachschräge nun nahezu Raumtemperatur hat.

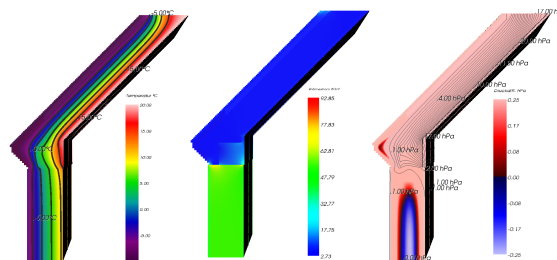


Abbildung 5.22: Wärmestrom in der Dachhaut nach der Sanierung

Abbildung 5.22 zeigt die sanierte Dachhaut des Satteldaches. Der Wärmestrom zwischen den Sparren verringert sich dadurch stark. Lediglich durch die Holzkonstruktion findet noch Wärmeleitung statt. Da dieser im Vergleich zum Mauerbereich jedoch sehr gering ist und die Sparren nur einen sehr kleinen Flächenanteil des Daches einnehmen, wirken sich diese Wärmebrücken nur sehr gering auf den U-Wert aus. Der U-Wert der sanierten Dachhaut beträgt $0,237 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$, die Schnitte des Pfettenbereichs erreichen U-Werte von ca. $0,66 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ mit 25 cm Mauer bzw. $0,54$

$\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ bei einer Mauerstärke von 38 cm.



Abbildung 5.23: Temperaturverlauf, Wärmestrom und Druckdifferenz des sanierten Satteldaches mit Mauerdicke von 25 cm

Auch bei der Betrachtung hinsichtlich der Kondensatbildung sind die Sanierungsvorschläge als durchweg positiv zu betrachten. Wie in Abbildung 5.23 zu erkennen ist, findet in der Dachhaut selbst bei $-10\text{ }^\circ\text{C}$ keinerlei Kondensatbildung statt. In der 25 cm dicken Mauer jedoch bleibt das Problem der Kondensatbildung bestehen. Der Vergleichswert f_{Rsi} liegt hier mit 0,7 genau auf der Grenze. Für die dickere Mauer und die Dachhaut liegt f_{Rsi} mit 0,77 bzw. 0,92 deutlich im unbedenklichen Bereich.

Bewertung der Sanierungsvorschläge: Tabelle 5.4 zeigt, dass die Sanierungsmaßnahmen den U-Wert enorm verbessern. Während der Dachstuhl durch die Maßnahmen mit vergleichsweise geringem Aufwand denkmalschutzkonform auf ein modernes energetisches Niveau gebracht werden kann, geht das Architekturbüro leider nicht auf die Sanierung des Mauerwerks ein. Während dieses in der 38 cm Ausführung zumindest in Bezug auf Kondensatbildung in Ordnung ist, sollte bei einer Wandstärke von nur 25 cm über mögliche Maßnahmen nachgedacht werden. Ein weiterer Punkt, der unbedingt zu beachten ist, ist, dass die Dachhaut durch die Dampfsperre einen Dampfdiffusionsleitwert von ca. $0,001 \frac{\text{m} \cdot \text{g}}{\text{Pa} \cdot \text{h}}$ bekommt. Das bedeutet, dass sich die Bewohner ein korrektes Lüftverhalten angewöhnen müssten, da die vorhandene Feuchtigkeit sonst im Mauerwerk kondensiert.

5.5 Flachdächer

Im Gegensatz zu den Satteldächern gibt es in der Hufeisensiedlung Pultdächer, die sich in der Bauweise deutlich unterscheiden. Es existieren Flachdächer mit einer Sparrenkonstruktion, die der eines Satteldaches sehr ähnlich sind, sowie Flachdächer mit Stahlsteindecke, die an der Vorderseite und Rückseite des Hauses jeweils unterschiedlich aufgebaut sind.

Tabelle 5.4: Die Sanierungsmaßnahmen im Überblick

	U-Wert in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$	Verbesserung in %
Dachhaut, Bestand	1,39	
Dachhaut, saniert	0,24	82,93
Schnitt, 25 cm Bestand	1,68	
Schnitt, 25 cm saniert	0,66	60,56
Schnitt, 38 cm Bestand	1,53	
Schnitt, 38 cm saniert	0,54	64,71

5.5.1 Flachdach mit Sparrenkonstruktion

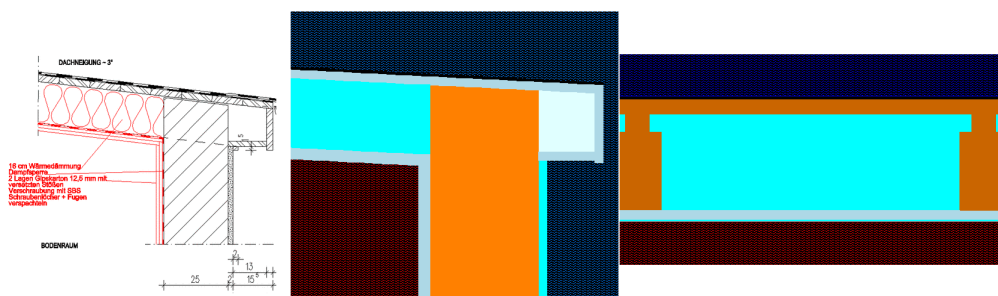


Abbildung 5.24: V.l. Zeichnung des Architekturbüros, Schnittzeichnung und Dachhaut in AnTherm

Bestandsaufnahme: In Abbildung 5.24 sind die Zeichnungen des Architekturbüros sowie die Bestandszeichnungen in AnTherm zu sehen. Der Zeichnung des Sanierungsvorschlags ist zu entnehmen, dass die Sparren 16 cm hoch sind und die Dachhaut aus einer einfachen Holzschicht besteht, die mit der in Berlin üblichen Teerpappe versiegelt ist. Die Mauer ist bei diesem Haustyp immer 25 cm dick, so dass die gleichen Probleme hinsichtlich U-Wert und Kernfeuchte zu erwarten sind wie bei den Satteldächern mit der dünnen Mauerausführung.

Positiv ist, dass die Dämmung in Form einer Zwischensparrendämmung sehr einfach einzubauen ist. Für die Dachhaut werden ähnliche Resultate erwartet wie beim Satteldach, wobei die Dachhaut bei letzterem 2 cm dicker ist. Außerdem erfolgt die Wärmeleitung beim Flachdach von unten nach oben, was Konvektion begünstigt, wie bereits im Abschnitt 4.2 erklärt wurde.

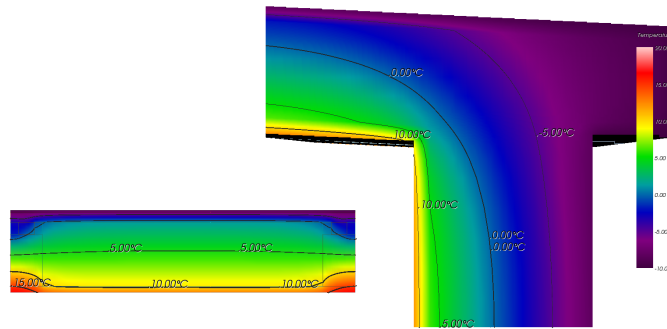


Abbildung 5.25: Simulation des Temperaturverlaufs bei Randbedingungen durch die Dachhaut und Traufbereich

Simulation des Ist-Zustandes: Wie beim Satteldach ist die Simulation des Temperaturverlaufs bei $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ Außentemperatur und $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ Raumtemperatur durch das Bauteil der erste Schritt der Analyse. In Abbildung 5.25 zeigt sich, dass Decke und Mauer im Bestand ähnlich kalt sind und bei $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegen. Kritisch ist die innere Eckverbindung zwischen Dach und Mauer, hier herrscht in der Simulation eine Temperatur von nur $7,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dies ist ein erster Hinweis auf Schimmelgefahr, da an dieser Stelle sehr leicht Kondensat entstehen kann. An der Decke ist die minimale Temperatur mit $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ deutlich höher, an der Wand liegt sie mit $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf einem ähnlichen Niveau. Hieraus folgt, dass die Dachkonstruktion schon im Bestand energetisch minimal besser ist als die Mauer, was bedeutet dass, auch hier über eine Sanierung der Außenwand nachgedacht werden sollte. Auch in Bezug auf die Behaglichkeit im Raum wirkt sich die kalte Außenwand negativ aus.

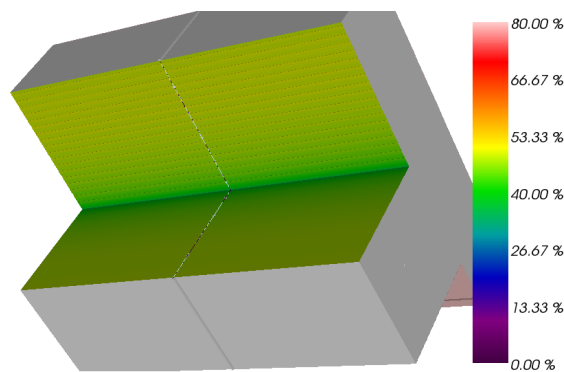


Abbildung 5.26: Schimmelgefahr in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchtigkeit

Eine Analyse mit AnTherm zeigt, dass bereits ab einer Raumfeuchte von ca. 40% Schimmelgefahr besteht, wie in Abbildung 5.26 zu sehen ist. Es kann jedoch erwartet werden, dass die Temperatur in diesem Punkt nach einer Sanierung deutlich höher liegt, was das Schimmelrisiko deutlich reduziert.

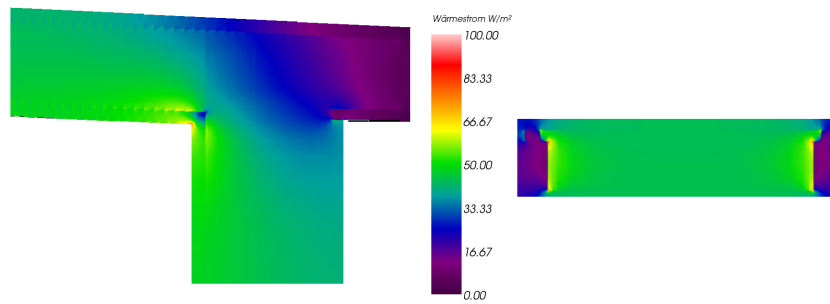


Abbildung 5.27: Wärmestrom im Bestand

Bei der Betrachtung des Wärmestroms in Abbildung 5.27 zeigt sich, dass dieser sowohl in Mauer als auch Dachkonstruktion ähnlich hoch ist. Die Werte der Druckdifferenz liegen durchgängig im negativen Bereich, was bedeutet, dass es unter Randbedingungen zu Kondensation sowohl im Dach als auch der Hauswand kommt. Während die Kondensation beim Satteldach relativ problemlos ist, da es, wie bereits ausgeführt, gut belüftet ist, kann es beim Flachdach zu Problemen führen. Dies liegt an der Teerpappe, die einen sehr hohen Dampfdiffusionswiderstand besitzt.

Erläuterung und Simulation der Sanierungsvorschläge: Wie bereits erwähnt, ist das Flachdach mit Sparrenkonstruktion das einzige Dach, für das zwei Sanierungsvorschläge vorliegen. In Abbildung 5.28 ist zu erkennen, dass jeweils eine Zwischensparrendämmung analog zum Satteldach eingebracht werden soll. In Variante B soll zudem eine PUREN Flachdachdämmung auf die Dachhaut gebaut und diese mit einer weiteren Schicht aus Teerpappe abgedichtet werden. Diese Dämmplatten haben mit $0,024 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ einen sehr geringen Wärmeleitwert. Die schon benannte Problematik der U-Wert-Differenz zwischen dem Dach und der Mauer und des daraus resultierenden Ungleichgewichts ist für die zweite Variante ebenfalls zu erwarten. Auf der anderen Seite könnte diese zusätzliche Dämmung einen positiven Einfluss auf die Ecke zwischen Dach und Mauer haben, die im Bestand zu kalt wird.

Zusätzlich zu den energetischen Sanierungsmaßnahmen soll zwischen den Gipskartonplatten und der Dachkonstruktion bzw. dem Mauerwerk eine Dampfsperre eingebracht werden. Zweifelsohne ist diese Maßnahme der kritischen Kondensatbildung im Mauerwerk geschuldet.

Die Simulation der Temperaturverläufe in Abbildung 5.29 verdeutlicht, dass zwischen dem Bestand und Variante A eine enorme Verbesserung erreicht wird. Während die Decke im Bestand recht kalt ist, erreicht sie nach der Sanierung Raumtemperatur. Variante B bringt in dieser Hinsicht keine Verbesserung. Es bestätigt sich vielmehr die Vermutung, dass die Dämmplatten auf der Dachoberfläche nur einen geringen Einfluss auf die Temperaturverteilung nehmen. Zwar kühlt der obere Teil der Mauer nicht mehr so stark aus, dies hat jedoch keinen nennenswerten Effekt auf die anderen Bereiche.

Der nächste Schritt ist die Analyse der Wärmeströme und die Ermittlung der U-Werte. Wie in Abbildung 5.30 klar zu erkennen ist, findet zwischen dem Bestand und der Variante A im Dachbereich eine enorme Verbesserung statt. Während die Wärmeleitung zwischen den Sparren im Bestand zwischen 40 und $50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ liegt, sinkt sie bei Variante B auf unter $10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$. Es zeigt sich jedoch auch, dass im Bereich der Mauer keine signifikanten Verbesserungen zu erreichen sind.

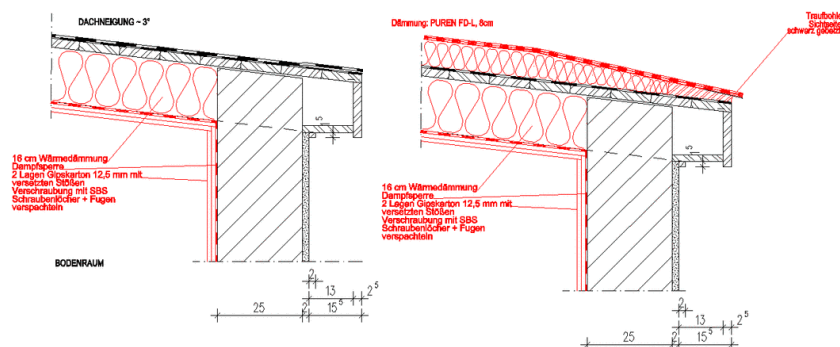


Abbildung 5.28: Maßnahmen zur Energetischen Sanierung der Flachdächer mit Sparrenkonstruktion

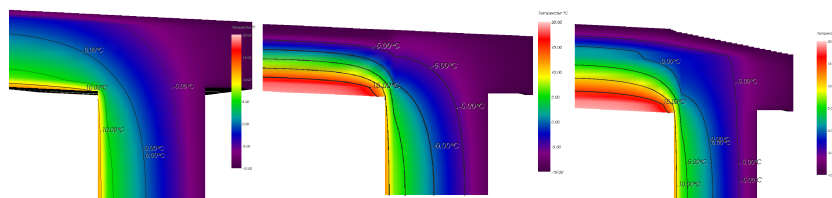


Abbildung 5.29: Temperatur bei Randbedingungen. V.l: Bestand, Variante A, Variante B

Die marginalen Verbesserungen im Mauerbereich sind auf die Gipskartonplatten zurückzuführen, die mit $0,21 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ einen geringeren Wärmeleitwert besitzen als der beim Bestand angenommene Innenputz. Diese Beobachtungen bestätigen sich auch bei der Betrachtung der U-Werte in Tabelle 5.5. Obwohl sich der U-Wert der Dachkonstruktion im 80 % verbessert, verbessert sich der gesamte Schnitt nur um 42 %.

Außerdem bestätigt sich, dass die zusätzliche Flachdachdämmung in Variante B den U-Wert des Daches im Vergleich zu Variante A zwar nochmals nahezu halbiert, den gesamten U-Wert verändert diese Maßnahme aber lediglich um $0,03 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$.

Tabelle 5.5: Die Sanierungsmaßnahmen im Überblick

	U-Wert in $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$	Verbesserung zu Bestand in %
Dach, Bestand	1,34	—
Dach, Variante A	0,26	80,5
Dach, Variante B	0,14	89,8

Obwohl der sehr niedrige Leitwert der Dachkonstruktion in Variante B technisch interessant ist, bestehen Zweifel am praktischen und wirtschaftlichen Nutzen, vor allem in Verbindung mit dem schlechten Leitwert des Mauerwerks. Inwiefern diese Variante sinnvoll ist, muss bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung in Abschnitt 6 geklärt werden.

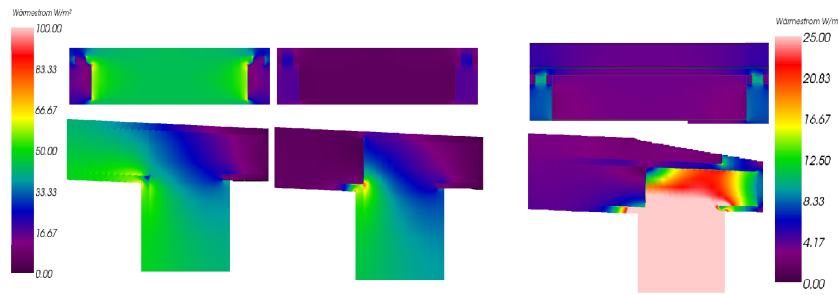


Abbildung 5.30: Simulierter Wärmestrom in Bestand, Variante A und Variante B. Für Variante B gilt die rechte Skala

Zur abschließenden Bewertung der Sanierungsmaßnahmen muss überprüft werden, inwieweit die Kondensation in der Wand und damit die Schimmelgefahr verhindert wird. Die bereits erwähnte geplante Dampfsperre zwischen den Gipskartonplatten und der Dachkonstruktion bzw. dem Mauerwerk stellt einen effektiven Schutz vor Kondensation in der Wand dar (Abbildung 5.31).

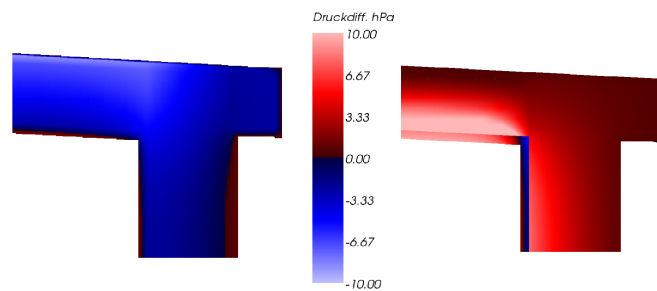


Abbildung 5.31: Druckdifferenz im Bestand und Variante A. Variante B verhält sich analog zu A

Es wird jedoch auch sichtbar, dass die Feuchtigkeit nun in den Gipskartonplatten der inneren Ecke kondensiert, sodass trotz Dampfsperre hier ebenfalls Schimmel auftreten kann. Die Temperatursimulation ergibt, wie in Abbildung 5.32 gezeigt, dass die Temperatur im Stoß von Dach und Mauerwerk zwar ansteigt, im Gegensatz zur Raumluft jedoch vergleichsweise kalt bleibt. Der kälteste Punkt hat auch bei Variante B eine Temperatur von nur 10,65 °C.

Auch die Überprüfung nach DIN4108[4108] ergibt mit $f_{Rsi, \text{Var. A}} = 0,68$ und $f_{Rsi, \text{Var. B}} = 0,69$, dass das Schimmelkriterium nicht erfüllt ist. Das belegt gleichzeitig, dass die zusätzliche Investition für Variante B keine bedeutende Verbesserung in Bezug auf Kondensation und Schimmelbildung bringt.

Trotz aller Bedenken kann man dennoch davon ausgehen, dass sich bei beiden Sanierungsvorschlägen höchstwahrscheinlich kein Schimmel bildet. Dies liegt daran, dass die Gipskartonplatten insgesamt nur 2,5cm stark sind und somit leicht austrocknen können. Ein zu beachtender Nachteil

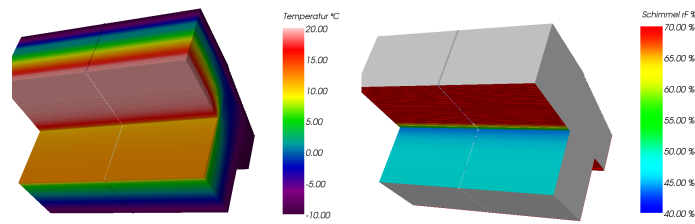


Abbildung 5.32: Temperaturverteilung bei Variante B; Schimmelgefahr in Abhängigkeit der rel. Raumfeuchte

in Bezug auf die Dampfsperre ist vielmehr, dass es nicht mehr möglich ist, Gegenstände mit Hilfe von Schrauben oder Nägeln an der Wand zu befestigen. Dies hätte eine Beschädigung der Dampfsperre zur Folge. Des Weiteren müssen sich die Bewohner, wie beim sanierten Satteldach, angewöhnen regelmäßig zu lüften.

5.5.2 Flachdächer mit Stahlsteindecke

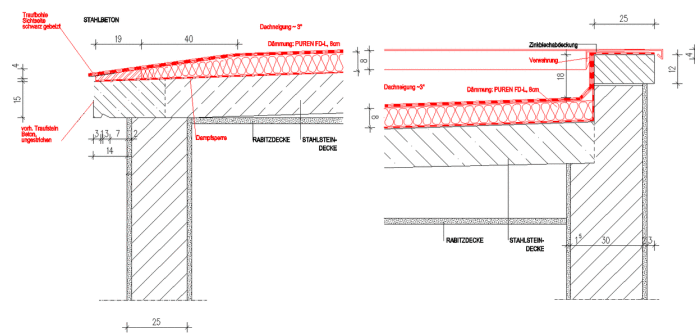


Abbildung 5.33: Flachdächer mit Stahlsteindecke, Bestand(schwarz) und Sanierungsmaßnahmen(rot). Variante A und Variante B

Bestandsaufnahme: In Abbildung 5.33 sind zwei Übergänge zwischen den Stahlsteindecken und den Außenmauern zu sehen. Beide Varianten gehören zum gleichen Dach, wobei Variante B die Vorderseite des Hauses darstellt. Obwohl sie zur selben Dachkonstruktion gehören sind aus energetischer Sicht substantielle Unterschiede zu erwarten. Die Hauptunterschiede zwischen beiden Varianten sind:

- Die Mauer bei Variante B ist 5 cm dicker
- Bei Variante B ist die Rabitzdecke abgehängt, während bei Variante A der Luftspalt zwischen Decke und Rabitzdecke nur wenige Zentimeter beträgt
- Bei Variante B ragt die Mauer über die Decke hinaus

In einer ersten, qualitativen Bewertung des Ist-Zustandes ist festzuhalten, dass Stahlbeton mit $\lambda=2.5 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ einen großen Leitwert hat. Vor allem bei Variante A ohne abgehängene Decke sind

sehr hohe Wärmeverluste zu erwarten, während die abgehangene Decke von Variante B für eine grundlegende Wärmedämmung sorgen sollte. Positiv ist außerdem das dickere Mauerwerk bei Variante B. Kritisch zu betrachten sind die Ecken zwischen Mauerwerk und Decke in beiden Varianten, denn ähnlich zum Flachdach mit Sparrenkonstruktion wird hier eine Kondensat-/Schimmelbildung vermutet.

Ein grundlegendes Problem ist der hohe Unterschied im Wärmeleitwert zwischen Mauerwerk und Stahlbeton, da dies Wärmebrücken begünstigt, die wiederum zu Kondensat führen können. Aus diesem Grund wird dieser Sanierungsvorschlag besonders genau auf Wärmebrücken und Dampfströme untersucht. Um die Übersichtlichkeit dieser Auswertung beizubehalten, wird dieses Dach in zwei Teile, nämlich die Varianten A und B, aufgeteilt. Diese Teile werden gesondert energetisch betrachtet. Im Anschluss werden beide Varianten miteinander verglichen und gegebenenfalls Vorschläge gemacht, wie die Sanierungsvorschläge optimiert werden können.

Variante A

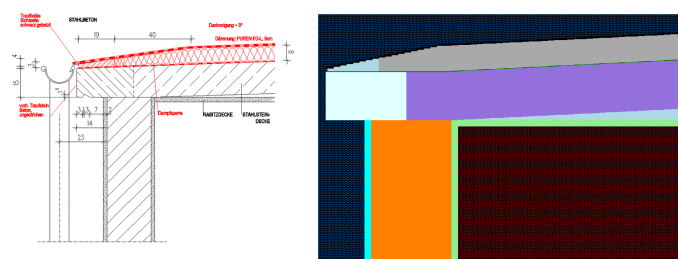


Abbildung 5.34: Variante A: Zeichnung Architekturbüro und Zeichnung in AnTherm

Simulation des Ist-Zustandes: Wie in Abbildung 5.35 gezeigt, bestätigt sich die Vermutung, dass vor allem die Stahlbetondecke stark auskühlt. Schon am Isothermenverlauf ist zu erkennen, dass der Punkt, in dem Stahlbetondecke und Außenmauer zusammenstoßen, sehr kalt wird. Bei Randbedingungen erreicht er nur $1,43\text{ °C}$. Dies bedeutet, dass es bei tieferen Außentemperaturen sogar zu Frost im Innenraum der Wohnung kommen kann. Dementsprechend fällt der Schimmeltest nach DIN4108 aus; der Vergleichswert beträgt nur $f_{Rsi, \text{Bestand A}} = 0,38$.

Am 3D-Modell ist zu sehen, dass sich wie im Flachdach mit Sparrenkonstruktion auch hier eine kritische Zone bildet, in der Kondensation sehr wahrscheinlich wird. Auch die Außenwand wird mit knapp über 10 °C recht kalt, was die Behaglichkeit des Raums beeinflusst. Am rechten Rand der Schnittzeichnung ist zu erkennen, dass der zur Dachmitte hin größer werdende Luftspalt (Vgl. Abbildung 5.34) dafür sorgt, dass die Oberflächentemperatur der Decke deutlich ansteigt.

In Abbildung 5.36 ist der Wärmestrom im Bestand gezeigt. Zusätzlich zum Wärmestrom ist die Schnittzeichnung in 10 Bereiche mit identischem Wärmestrom unterteilt. Durch diese Unterteilung ist klar zu sehen, dass nur etwa 30 % des Wärmestroms durch die Außenwand fließen, während ca. 20 % der Wärmeverluste durch die Wärmebrücke in der Ecke zwischen Decke und Mauer fließen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Stahlbetondecke im Bestand energetisch eindeutig schlechter zu bewerten ist als die Außenmauer. Mehr als 40 % der Wärmeverluste in dieser Schnittzeichnung sind auf den Übergangsbereich zwischen Decke und

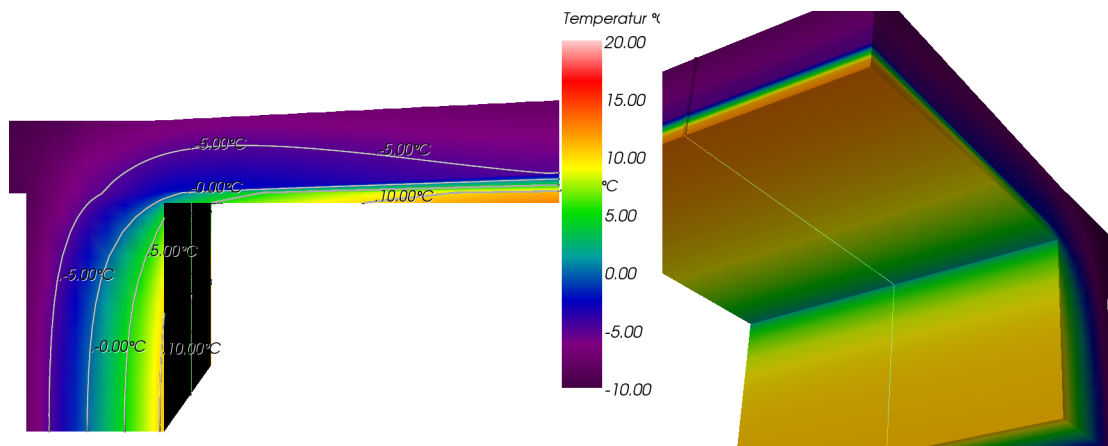


Abbildung 5.35: Temperaturverlauf im Bestand bei Randbedingungen

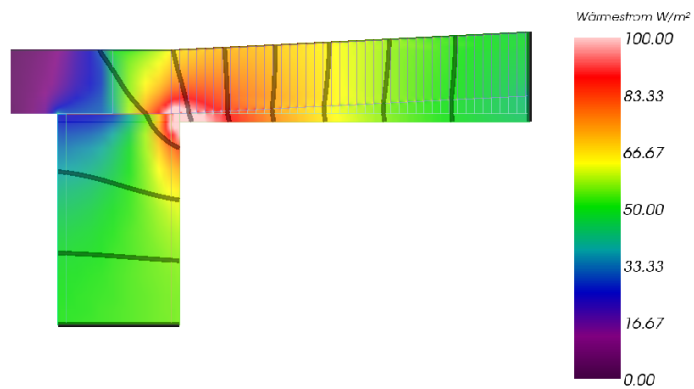


Abbildung 5.36: Variante A: Wärmestrom im Bestand.

Mauer zurückzuführen. Es ist anzunehmen, dass die Wärmeverluste zur Dachmitte hin immer weiter abnehmen, da der Luftraum zwischen Rabitzdecke und Stahlbetondecke größer wird.

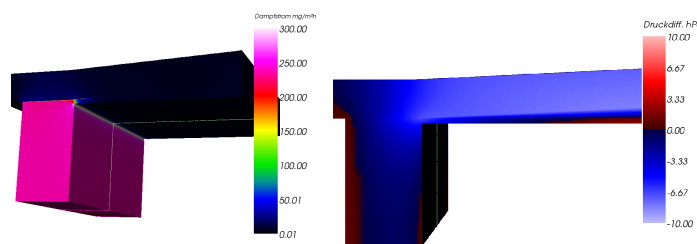


Abbildung 5.37: Dampfstrom und Dampfdruckdifferenz im Bestand bei Randbedingungen

Abbildung 5.37 zeigt, dass in der Stahlbetondecke so gut wie kein Dampfstrom stattfindet. Die Außenmauer und insbesondere die kritische Ecke zwischen Decke und Mauer haben jedoch einen hohen Dampfstrom. Da die Differenz aus Sättigungsdampfdruck und Partialdruck im größten Teil des Bauteils negativ ist, kommt es hier unter Randbedingungen zu Kondensatbildung. Bei der Bewertung der Sanierungsmaßnahmen ist unbedingt darauf zu achten, ob dieses Problem behoben werden kann.

Erläuterung, Simulation und Bewertung der Sanierungsvorschläge In Variante A beschränkt sich der Sanierungsvorschlag auf eine Dampfsperre direkt auf der Stahlbetondecke und einer 8cm PUREN-Flachdachdämmung, die schon in Abschnitt 5.5.1 beim Flachdach mit Sparrenkonstruktion zum Einsatz kam. Zu erwarten ist, dass die Wärmeleitung durch die Stahlbetondecke aufgrund des sehr guten Dämmwerts der Flachdachdämmung stark vermindert wird.

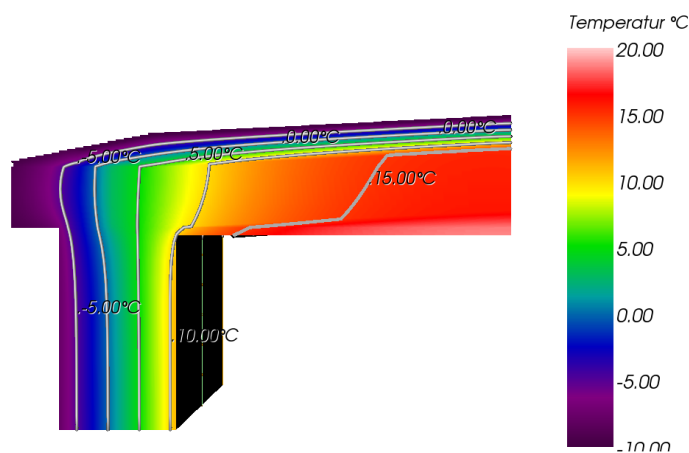


Abbildung 5.38: Dampfstrom und Dampfdruckdifferenz im Bestand bei Randbedingungen

Abbildung 5.38 zeigt, dass die Temperatur im kritischen Bereich zwischen Decke und Mauer durch die Flachdachdämmung deutlich ansteigt, die minimale Innentemperatur bei Randbe-

dingungen liegt nun bei 10 °C. Dadurch verbessert sich der Vergleichswert nach DIN4108 auf $f_{Rsi, \text{Saniert A}} = 0,67$. Das ist zwar unter dem von der Norm geforderten Wert, aber im Gegensatz zum Bestand eine enorme Verbesserung.

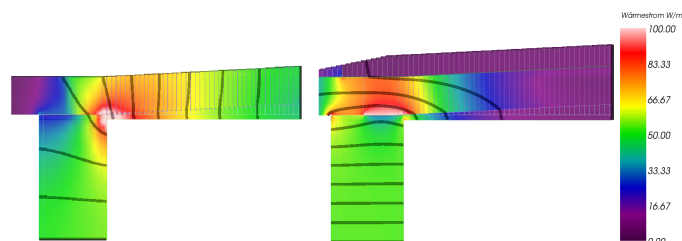


Abbildung 5.39: Vergleich des Wärmestroms zwischen Bestand und Sanierungsvorschlag

Abbildung 5.39 zeigt den Wärmestrom durch den Bestand und den Sanierungsvorschlag. Außerdem sind beide Schnitte in jeweils 10 Bereichen mit dem gleichen Wärmestrom unterteilt. Hier ist sehr gut zu erkennen, dass sich der Großteil der Wärmeverlust im Sanierungsfall von der Stahlbetondecke in die Außenmauer verlagert. Während im Bestand mehr als 60 % der Wärmeverluste durch die Decke stattfinden, sind es nach der Sanierung nur noch unter 40 %. Außerdem wird die Wärmeleitung in Richtung Dachmitte sehr gering. Der U-Wert ist mit $0,26 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ für die Stahlbetondecke (in ausreichender Entfernung von der Außenwand) im Gegensatz zum Bestand mit einem U-Wert von $1,99 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ sehr deutlich verbessert.

Allerdings sieht man außerdem, dass die Sanierungsmaßnahme die Wärmebrücke in der Ecke zwischen Decke und Wand zwar verkleinert, aber keinesfalls entfernt. Vielmehr befindet sie sich in der sanierten Variante weiter außen, wo die Flachdachdämmung dünner wird.

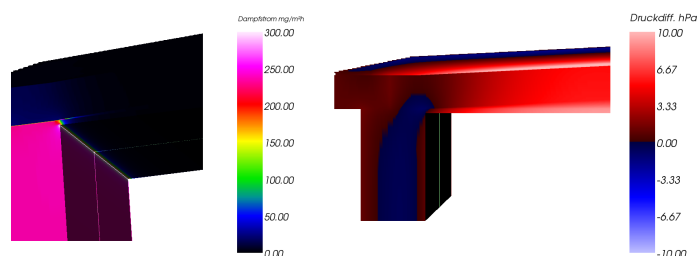


Abbildung 5.40: Dampfstrom und Druckdifferenz im Sanierten Fall

In Abbildung 5.40 ist analog zur Bestandsaufnahme der Dampfstrom durch das Bauteil sowie die Druckdifferenz zu sehen. Es ist festzuhalten, dass sich vor allem der Zustand in der Stahlbetondecke verbessert hat. Hier tritt unter Randbedingungen nur noch beim Übergang zwischen Decke und Mauer Kondensat auf. Gleichzeitig ist der Dampfstrom in dieser Ecke ungemindert hoch. Kombiniert mit einer negativen Dampfdruckdifferenz kommt es hier also zu Kondensat. Da der Dampfstrom durch die gesamte Außenmauer konstant hoch ist, tritt auch hier in den Bereichen mit negativer Druckdifferenz Kondensat auf.

Die Bewertung dieser Sanierung fällt zwiespältig aus: Während die Dämmung des Flachdaches erfolgreich ist und den U-Wert der Dachhaut abseits der Außenmauer um ca. 87 % verbessert, wird an der kritischen Wärmebrücke zwischen Stahlsteindecke und Außenmauer keine signifikante Verbesserung erreicht. Aufgrund der angesprochenen Problematik bzgl. Schimmel und Kondensation im Mauerwerk, wäre es empfehlenswert diese Vorschläge hinsichtlich dieser Wärmebrücke zu überarbeiten.

Variante B

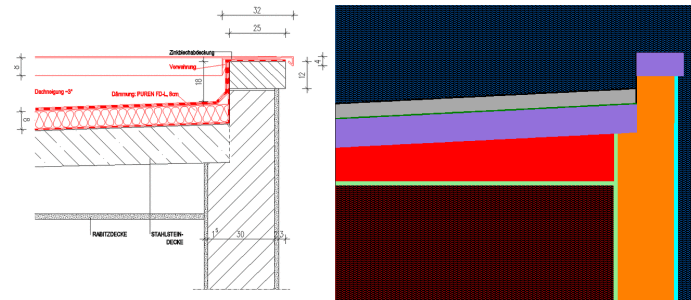


Abbildung 5.41: Variante B, Zeichnung des Architekturbüros und Zeichnung in AnTherm

Simulation des Ist-Zustandes: Wie in Abbildung 5.42 zu sehen ist, bestätigt sich die Vermutung, dass die dickere Außenmauer zusammen mit der Tatsache, dass diese die Stahlbetondecke nach außen hin überdeckt, für eine deutlich bessere Temperaturverteilung sorgen als dies in Variante A der Fall ist. Ebenfalls einen sehr großen Einfluss hat die abgehängene Decke, die dafür sorgt, dass der kälteste Punkt der Raumoberfläche mit $6,7\text{ °C}$ deutlich höher ist als bei Variante A. Ungeachtet dessen ist diese Oberflächentemperatur sehr niedrig und der Vergleichswert nach DIN4108 liegt mit $f_{Rsi, \text{Bestand B}} = 0,56$ deutlich unter dem von der Norm geforderten Wert von $f_{Rsi, \text{grenz. 4108}} = 0,7$. Da dieser kälteste Raumoberflächenpunkt erneut in der Ecke zwischen Außenmauer und Decke (in diesem Fall der abgehängenen Decke) liegt, steht man hier vor der gleichen Problematik wie in Variante A.. Im Folgenden ist zu klären, ob dieser Missstand durch die Sanierungsmaßnahmen beseitigt bzw. gemindert werden kann.

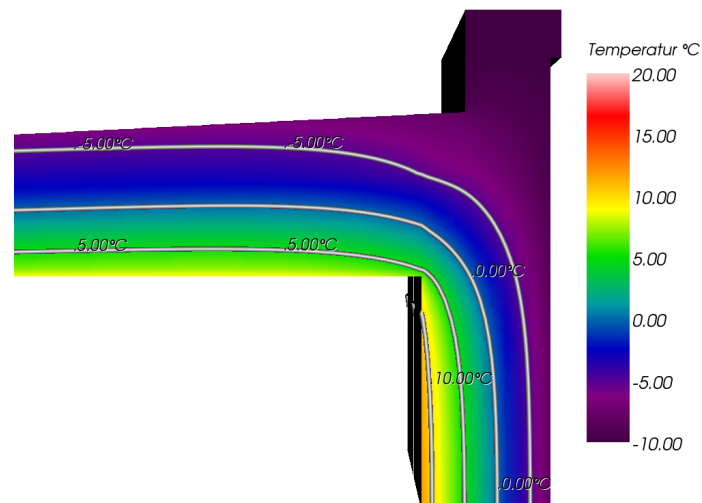


Abbildung 5.42: Temperaturverteilung bei Randbedingungen

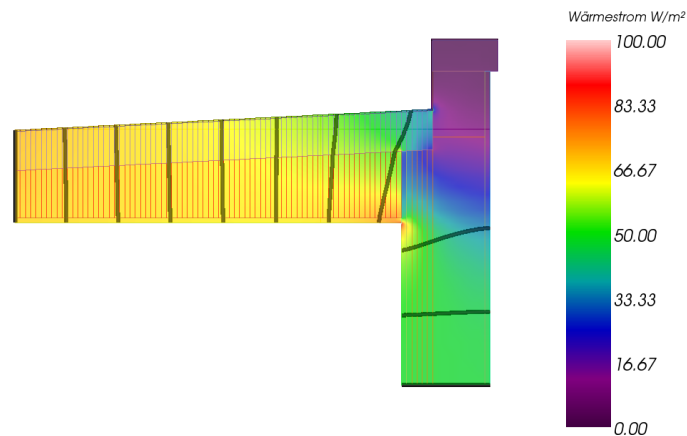


Abbildung 5.43: Wärmeleitung und Unterteilung in 10 Flächen identischer Wärmeleitung

In Abbildung 5.43 ist die Wärmeleitung durch den Schnitt des Bauteils zu sehen. Darüber hinaus ist das Bauteil in 10 Zonen unterteilt, durch die jeweils 10 % der Gesamtwärmeleitung stattfinden. Analog zu Variante A ist hier zu erkennen, dass der Großteil der Wärmeverluste durch die Decke stattfinden. Zwar ist die Decke abgegangen und sollte den U-Wert auf den ersten Blick verbessern, allerdings sorgt die Einbeziehung von Konvektion nach DIN 6946 dafür, dass hier ein Leitwert von $\lambda=1,459 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ für den Hohlraum angenommen werden muss. Dadurch ist der U-Wert der Decke mit $2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ fast identisch zu Variante A. Neben den hohen Wärmeverlusten durch die Decke ist ebenfalls eine Wärmebrücke in der Ecke zwischen Decke und Außenmauer zu erkennen, die allerdings bei weitem nicht so dramatisch ausfällt wie bei Variante A.

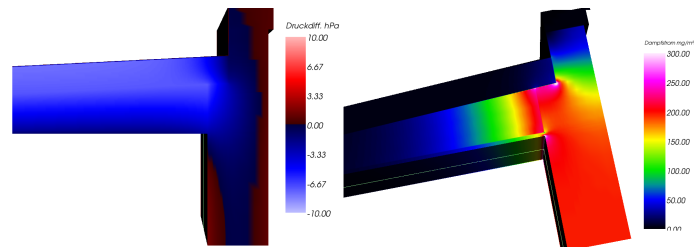


Abbildung 5.44: Druckdifferenz und Dampfstrom von Variante B im Bestand

In Abbildung 5.44 sind die Druckdifferenz und der Dampfstrom im Bestand zu sehen. Die Druckdifferenz ist im Großteil des Bauteils negativ, das heißt, dass unter Randbedingungen nach DIN6946 Kondensat anfällt. Der Dampfstrom im Stahlbeton ist analog zu Variante A nahezu null, was auf die im Gegensatz zum Mauerwerk sehr hohen Wasserdampfdiffusionszahl von $\mu_{\text{Stahlbeton}}=130$ zurückzuführen ist. Einen hohen Dampfstrom bei gleichzeitig negativer Dampfdruckdifferenz kann wieder an den Berührungspunkten zwischen abgegangener Decke und Mauerwerk, sowie zwischen Stahlbetondecke und Außenmauer beobachtet werden.

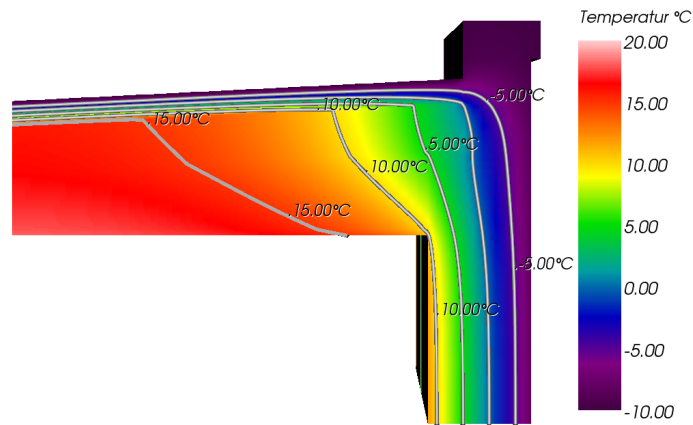


Abbildung 5.45: Temperaturverteilung nach der energetischen Sanierung

Simulation und Bewertung der Sanierungsmaßnahmen: In Abbildung 5.45 zeigt sich deutlich der Effekt der Flachdachdämmung. Im Deckenbereich sorgt die Sanierung dafür, dass die Oberflächentemperatur der abgehängenen Decke nahezu 20 °C beträgt. Auch verlaufen die Isothermen im Übergangsbereich zwischen Decke und Außenmauer gleichmäßiger. Die Temperatur des kritischen Punktes zwischen abgehängener Decke und Außenmauer erhöht sich auf 13,3 °C. Dadurch steigt der Vergleichswert nach DIN4108 auf $f_{Rsi, Bestand B} = 0,68$, was jedoch immer noch knapp unter dem geforderten Grenzwert liegt.

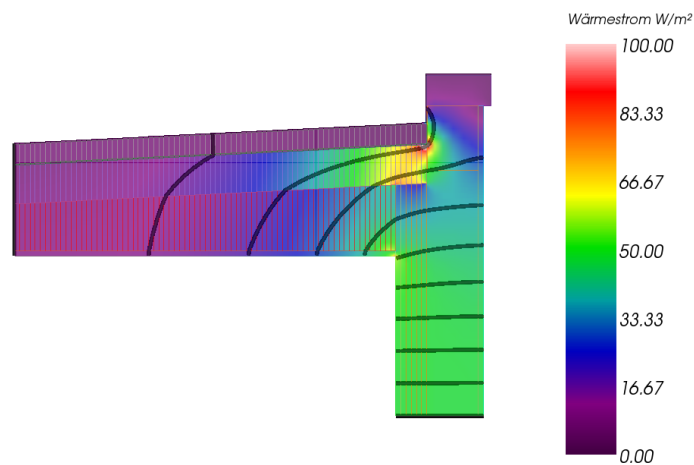


Abbildung 5.46: Wärmestrom im sanierten Zustand

Wie in Abbildung 5.46 erkennbar, wird die Wärmeleitung in der Decke erheblich vermindert. Allerdings zeigt sich erneut, dass die Wärmebrücken im Übergangsbereich nicht beseitigt werden konnten. In dem Punkt, in dem Außenmauer, Stahlbetondecke und Flachdachdämmung zusammenlaufen, ist sogar eine neue Wärmebrücke entstanden, durch die mehr als 10% des gesamten

Wärmestroms im Bauteil fließen. Der U-Wert der gedämmten Stahlbetondecke liegt mit $0,26 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ mehr als 85% niedriger als vor der Sanierung.

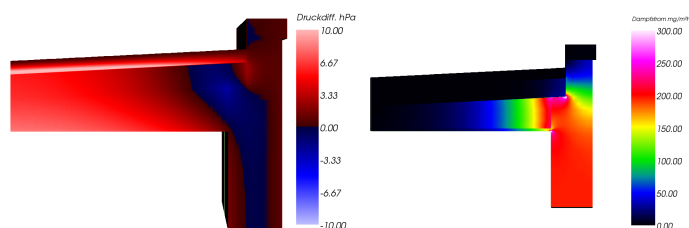


Abbildung 5.47: Druckdifferenz und Dampfstrom nach der Sanierung

Die Sanierungsmaßnahmen bewirken, dass die Druckdifferenz unter Randbedingungen im Deckenbereich größtenteils positiv ist. Lediglich im Übergangsbereich zwischen Mauer und Stahlbetondecke sowie im Mauerkern ist die Druckdifferenz, wie in Abbildung 5.47 zu sehen, negativ. Ungünstiger Weise treten genau in diesem Bereich unter Randbedingungen zum Teil hohe Dampfströme auf. Insgesamt sind die Dampfströme nicht so hoch wie in Variante A, was vor allem auf die größere Mauerstärke zurückzuführen ist.

Tabelle 5.6: Die Sanierungsmaßnahmen im Überblick

	U-Wert, Bestand in $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$	U-Wert, Saniert in $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$	Verbesserung zu Bestand in %
Variante A, Decke	1,99	0,26	87
Variante B, Decke	2,07	0,26	87,5

Das Fazit für Variante B fällt ähnlich aus wie für Variante A. Die Flachdachdämmung senkt den U-Wert effektiv um mehr als 85 % und auch die Schimmelgefahr nach DIN4108 sinkt, wenn auch nicht auf das geforderte Niveau. Gleichzeitig bleiben die Probleme der Wärmebrücken bestehen, bzw. verstärken sich sogar.

Dasselbe gilt für die Kondensation. Während der Dampfstrom im Dach unterbunden wird, tritt unter Randbedingungen im Mauerwerk und im Übergangsbereich von Decke zu Mauer immer noch Kondensation auf. Aus technischer Sicht sind die vorgeschlagenen Maßnahmen zwar hilfreich, sollten jedoch hinsichtlich dieser Probleme überarbeitet werden.

5.6 Innendämmung

Da aus Gründen des Denkmalschutzes eine Fassadendämmung nicht in Frage kommt (Vgl. Kapitel 3.2), wird vom Architekturbüro vorgeschlagen, die Außenmauern innenseitig zu dämmen. Im Vergleich mit einer Fassadendämmung birgt eine Innendämmung jedoch einige Probleme, die nur teilweise gelöst werden können. Da sich bei einer innenseitigen Dämmung der Taupunkt im Gegensatz zu einer Außendämmung nach innen verlagert, verschärft sich darüber hinaus das Tauwasser- und Schimmelproblem.

Für eine Auslegung und Evaluation einer Innendämmung ist eine komplette Betrachtung der

in Frage kommenden Räumlichkeiten vorzunehmen. Dies ist aufgrund der mangelnden Informationen über die Beschaffenheit der Außenmauern, Position und Zahl der Fenster und Heiz-/Lüftungsverhalten der Bewohner schwer möglich, zumal das Architekturbüro keinerlei tiefere Planung bzgl. der Innendämmung vorgenommen hat. Deshalb werden im Rahmen dieser Arbeit die prinzipiellen Probleme einer Innendämmung erläutert, die wären:

- Wärmebrücken im Bereich der Geschossdecken/Innenwände
- Verschiebung des Taupunktes nach innen
- Regulierung der Raumfeuchte
- Wohnraumreduzierung

Wärmebrücken im Bereich der Geschossdecken Während eine Außendämmung die komplette Gebäudehülle umschließt und so für eine gleichmäßige Verbesserung des U-Werts über die gesamte Gebäudeoberfläche sorgt, können bei einer innenseitigen Dämmung einzelne Bereiche nicht abgedeckt werden. Dies betrifft vor allem die Bereiche der Geschossdecken und der Anschlüsse von Innenwänden an die Außenmauer. Darüber hinaus entstehen Probleme im Fensterbereich, da sich hier Wärmebrücken bilden. In Abbildung 5.48 ist der Übergang zwischen einer Geschossdecke und der Außenmauer im Bestand, mit Außendämmung und mit Innendämmung gezeigt.

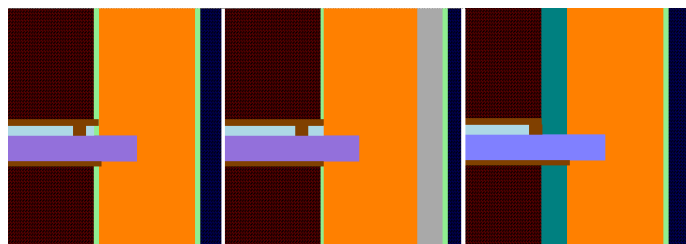


Abbildung 5.48: Übergang zwischen Geschossdecke und Außenmauer. V.l.: Bestand, von außen und von innen gedämmt

Der Wärmeleitwert der Betondecke wird mit $\lambda = 2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ angenommen. Die innenseitige Wärmedämmung ist in diesem Beispiel mit Kalziumsilikatplatten mit einem Wärmeleitwert von $\lambda = 0,05 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ und einer Dicke von 10 cm durchgeführt, während die Außendämmung aus einer 10 cm dicken Schicht mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,035 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ besteht. Abbildung 5.49 zeigt, dass im Bestand und bei einer vollflächigen Außendämmung keine Wärmebrücke entsteht, während eine Innendämmung dazu führt, dass ein großer Teil des gesamten Wärmestroms über die entstandene Wärmebrücke fließt. Um dies zu verdeutlichen wurde der Schnitt zusätzlich in 10 Bereiche unterteilt, in denen jeweils 10% des Gesamtwärmestroms fließen.

Durch die Simulation zeigt sich, dass an dieser Stelle schon im Bestand eine Wärmebrücke besteht. Allerdings ist diese aufgrund der insgesamt relativ hohen Wärmeleitung der Außenmauer nicht so stark ausgeprägt. Während die Wärmeverluste im Bestand mehr oder weniger gleichmäßig über den ganzen Bauteilschnitt ausfallen, betragen die Wärmeverluste über die Wärmebrücke bei einer Innendämmung ca. 50 % der Gesamtverluste.

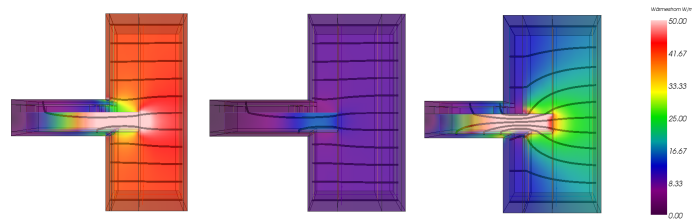


Abbildung 5.49: Wärmeleitung. V.l.: Bestand, von außen gedämmt und von innen gedämmt

Es kann festgestellt werden, dass eine Innendämmung mit Kalziumsilikatplatten deutlich weniger energetische Einsparungen bewirkt als eine Außendämmung gleicher Dicke. Im Bestand hat das Bauteil einen U-Wert von ca. $1,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$, mit einer Außendämmung von nur 10 cm wird ein U-Wert von ca. $0,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ erreicht. Die Variante mit Innendämmung liegt mit einem U-Wert von ca. $0,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ dazwischen.

Verschiebung des Taupunktes Durch eine Innendämmung verschiebt sich der Taupunkt in der Mauer weiter in Richtung Innenraum, was zu ernsthaften Problemen bzgl. der Tauwasser- und Schimmelbildung führen kann.

Das liegt daran, dass bei einer Außendämmung die Gebäudehülle erwärmt und als Wärmespeicher genutzt wird. Durch die Aufwärmung des Mauerwerks verschiebt sich der Taupunkt gleichzeitig weiter in Richtung Außenseite. Dadurch fällt erstens deutlich weniger Kondensat im Mauerwerk an, und zweitens kann das Mauerwerk im Fall von Kondensat leichter wieder austrocknen.

Bei einer Innendämmung ist der gegenteilige Effekt zu beobachten: Dadurch, dass das Mauerwerk nach außen hin nicht gedämmt ist, kühlt es schneller aus und durch die Innendämmung wird es auf der Innenseite weit weniger erwärmt. Dadurch senkt sich die Temperatur in der Mauer deutlich ab und der Taupunkt verschiebt sich somit deutlich in Richtung Innenraum. Bei sehr kalten Außentemperaturen bzw. einer dicken Innendämmung kann es so dazu kommen, dass der Taupunkt sogar in der Innendämmung und nicht mehr im Mauerwerk liegt.

Deshalb wird für eine Innendämmung der Einsatz von Kalziumsilikatplatten empfohlen, da diese in der Lage sind bis zum Dreifachen ihres Gewichts an Feuchtigkeit aufzunehmen und unter entsprechend günstigen Bedingungen auch wieder abzugeben, ohne dass ein Schaden in der Dämmung entsteht. Trotzdem bleibt das Problem der Kondensatbildung im innenraumnahen Mauerwerk bestehen und es muss geklärt werden, ob das Mauerwerk in der Lage ist diese Feuchtigkeit entweder an die Außenluft oder die Kalziumsilikatplatten abzugeben. In Abbildung 5.50 ist die Verschiebung des Taupunktes (repräsentiert durch die Linie ab der die Druckdifferenz negativ wird) durch eine Innendämmung einer 38 cm dicken Ziegelmauer durch Kalziumsilikatplatten mit einer Stärke von 2,5 cm, 5 cm und 10 cm zu sehen.

Regulierung der Raumfeuchte Wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben verstärkt sich durch eine Innendämmung das Problem der Raumfeuchtereulierung. Kalziumsilikatplatten nehmen eine große Menge Feuchtigkeit auf, die möglichst schnell wieder austrocknen soll. Dies sorgt dafür, dass die Innendämmung nach einer Kälteperiode die gesammelte Feuchtigkeit nach und nach wieder an die Raumluft abgibt und unter geeigneten Bedingungen teilweise über das Mauerwerk nach außen abtransportiert.

Dadurch wird es umso wichtiger die relative Feuchtigkeit der Raumluft zu regulieren, d.h. regelmäßig zu Lüften. Im Gegensatz zum unsanierten Zustand ist dies jedoch nicht nur während

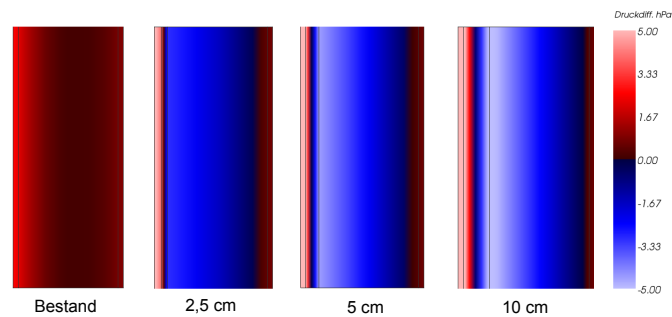


Abbildung 5.50: Vergleich der Druckdifferenz im Bestand und verschiedenen Innendämmungen

der Kälteperiode selbst notwendig, sondern darüber hinaus auch in der Übergangszeit in der die Dämmung die Feuchtigkeit wieder abgeben soll.

Aus diesem Grund ist in vielen Fällen eine automatisierte Lüftung sinnvoll, da diese nicht nur das Austrocknen der Dämmung unterstützt, sondern auch das Auftreten von Kondensat in der Kälteperiode verhindert. Bei der Planung muss hier die Gesamtsituation berücksichtigt werden, d.h. unter anderem das Verhalten der Bewohner und die Art und Anzahl der Fenster.

Wohnraumverlust Ein weiteres, aus bauphysikalischer Sicht irrelevantes Problem ist der Wohnraumverlust, der mit einer Innendämmung einhergeht. Hier muss eine Abschätzung erfolgen, inwieweit die Bewohner bereit sind, auf Wohnraum zu verzichten und welche Dämmstärken mindestens erforderlich sind, um eine Dämmung sinnvoll zu machen. Neben dem Wohnraumverlust wird durch eine Innendämmung außerdem abhängig von der Größe der Fenster das einfallende Sonnenlicht vermindert, da die Wandstärke zunimmt.

Energetische Verbesserung Neben den oben beschriebenen bauphysikalischen Risiken bringt eine Innendämmung energetische Verbesserungen. Während im Normalfall eine Außendämmung klar vorzuziehen ist, kann bei denkmalgeschützten Gebäuden durch eine Innendämmung der U-Wert stark verbessert werden. In Tabelle 5.7 sind die U-Werte verschiedener Innendämmstärken zu sehen. Es zeigt sich, dass schon eine Dämmung mit 2,5 cm Kalziumsilikatplatten den U-Wert im Vergleich zum Bestand um 36,5% verbessert.

Tabelle 5.7: Energetische Verbesserung durch Innendämmung

	U-Wert, Bestand in $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$	Verbesserung zu Bestand in %
Bestand	1,38	–
2,5 cm Innendämmung	0,87	36,5
5 cm Innendämmung	0,66	52,5
10 cm Innendämmung	0,44	68,4

Fazit Ob und in welcher Form eine Innendämmung aus bauphysikalischer Sicht sinnvoll bzw. gefahrlos ist, kann pauschal nicht beantwortet werden. Es wurde jedoch gezeigt, dass eine vergleichsweise dünne Innendämmung aus energetischer Sicht zu erheblich verbesserten U-Werten führt. Allerdings muss diese von einem Ingenieurbüro mit entsprechender Erfahrung geplant

werden. Insbesondere die Bereiche der Fenster und Geschoßdecken sind hierbei sehr genau zu betrachten und sollten simuliert werden. Der Arbeitsaufwand, aber auch der Nutzen richten sich hier nach der Anzahl potentieller Wärmebrücken und Problemstellen. Ob und unter welchen Umständen sich eine Innendämmung lohnt, wird im Abschnitt 6.3.7 geklärt.

5.7 Energetische Sanierung der Heizungsanlage

Im Zuge einer energetischen Sanierung sollte nicht nur die Gebäudehülle, sondern auch die Energieversorgung, im Besonderen die Heizenergieversorgung, in Betracht gezogen werden. Aus Gesprächen mit Anwohnern der Hufeisensiedlung ging hervor, dass viele verschiedene Heizungsanlagen vorhanden sind. Es hat sich herausgestellt, dass in der Hufeisensiedlung Gaskessel, Ölkesselanlagen und sogar noch Kachelöfen für die Erzeugung von Wärme zur Anwendung kommen. Außerdem gibt es zentrale und dezentrale Wassererwärmungssysteme.

Im folgenden Abschnitt werden unterschiedliche Heizungskonzepte kurz vorgestellt und für eine Eignung bewertet. Dabei werden konventionelle Heizungsanlagen sowie Heizungsanlagen, die erneuerbare Energieträger verwenden, betrachtet. Es wird im Näheren auf Solarkollektoren, Blockheizkraftwerke (BHKW), Gasbrennwertthermen und Pellet-Heizungen eingegangen.

5.7.1 Solarkollektoren

Für den Einsatz von Solarkollektoren sprechen die kostenlose Umwandlung der Strahlungsenergie in thermische Energie und die einfache Installation der Anlage. Gewöhnlicher Weise werden Solarthermieanlagen auf dem Dach installiert. Auf Grund des Denkmalschutzes ist es schwierig eine Genehmigung für die Installation solcher Anlagen zu bekommen. Eine Möglichkeit Solarkollektoren dennoch zu verwenden, wäre die Installation im Garten des jeweiligen Hauses, insofern ein Garten vorhanden ist. Diese Anwendung ist in jedem Fall mit dem zuständigen Denkmalschutzamt abzuklären und freigeben zu lassen.

Weiterhin ist die Abdeckung der gesamten Heizleistung schwer umsetzbar, da z.B. im Winter ein hoher thermischer Bedarf und nur eine geringe Einstrahlungsdauer und -intensität vorhanden ist. Folglich müsste zusätzlich eine konventionelle Heizungsanlage für die gesamte Deckung des thermischen Bedarfs installiert werden.

5.7.2 BHKW Heizungsanlage

Blockheizkraftwerke sind verbrennungsmotorisch betriebene Anlagen zur gekoppelten Produktion von thermischer und elektrischer Energie. Die Anlagengrößen reichen von wenigen Kilowatt bis zu mehrere Megawatt elektrischer Leistung. Für die Umwandlung der chemisch gebundenen Energie kommen verschiedene Kraftmaschinenfunktionsprinzipien zum Tragen. Darunter fallen der klassische Verbrennungsmotor, der nach dem Otto- bzw. Dieselpinzip arbeitet, sowie der Stirlingmotor, der Dampfmotor, und die Mikrogasturbine. Eine Ausnahme bildet die Brennstoffzelle, die die chemisch gebundene Energie direkt in elektrische Arbeit umwandelt. In den letzten Jahren haben sich auf dem BHKW-Markt mehr und mehr kleine Anlagen etabliert.

Die Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung hat den Vorteil, dass ein sehr hoher Gesamtwirkungsgrad der Anlage erreicht wird, da Strom und Wärme vor Ort produziert und verbraucht werden kann. Für einen rentablen Einsatz einer KWK-Anlage sollte über das Jahr ein gleichmäßig hoher

Wärmebedarf vorhanden sein. Dadurch kann eine hohe Betriebsstundenzahl erreicht werden. Eine alleinige Nutzung eines BHKWs als Heizungsanlage ist nicht empfehlenswert, da die Anlagen häufig hoch- und herunter gefahren werden müssen. Durch das ständige Ein- und Ausschalten kommt es zu einem schnellen Verschleiß der Anlage und damit zu hohen Wartungskosten. Deshalb werden kleine KWK-Anlagen in der Praxis meist nur für ungefähr 30 % des thermischen Jahreshöchstbedarf ausgelegt. Damit dennoch die Heizenergieversorgung in den Wohnungen gewährleistet werden kann, müsste zusätzlich ein Spitzenlastkessel installiert werden. Eine Integration in die bestehende Heizungsanlage ist einfach zu realisieren und damit auch vergleichsweise kostengünstig.

Da kleine BHKW-Anlagen noch nicht sehr lange auf dem Markt sind, sind die spezifischen Anschaffungskosten im Gegensatz zu größeren Anlagen noch sehr hoch. Um die Investitionskosten möglichst gering zu halten, müsste für die Hufeisensiedlung ein zentrales System installiert werden. Dadurch wäre der Energiebedarf womöglich groß genug, um ein rentables System zu installieren. In der Hufeisensiedlung ist kein Wärmeverbundsystem vorhanden und müsste dementsprechend neu installiert werden. Für eine zentrale Anlage müsste wahrscheinlich ein separates Technikgebäude gebaut werden. In Bezug auf das Denkmalschutzgesetz ist dies vermutlich schwer zu realisieren, da es sich hierbei um eine Veränderung der Umgebung eines denkmalgeschützten Gebietes handelt.

Weiterhin steht es den Anwohnern frei, woher sie ihre elektrische und thermische Energie beziehen. Deshalb müsste über ein Contracting sichergestellt werden, dass die mit dem BHKW erzeugte Energie von den Anwohnern abgenommen wird. Nur dadurch kann ein wirtschaftlicher Betrieb der BHKW-Anlage gewährleistet werden.

5.7.3 Konventionelle Heizsystem mit Brennwerteffekt

Viele installierte Gas- bzw. Ölheizungen in der Hufeisensiedlung sind mehr als zwanzig Jahre alt. Dadurch wird möglicherweise bei den meisten Heizungsanlagen der Brennwerteffekt nicht genutzt.

Beim Brennwerteffekt wird die sich im Abgas befindliche Kondensationswärme des Wasserdampfes benutzt. Um diesen Effekt nutzen zu können, muss ein Gegenstromwärmetauscher installiert werden. In 5.51 ist ein Gegenstromwärmetauscher schematisch dargestellt. Wie man der Abbildung entnehmen kann, wird das warme Abgas von der linken Seite in den Wärmetauscher eingeleitet. Das abgekühlte Heizungswasser fließt genau entgegengesetzt ein. Dabei wird das Abgas soweit herunter gekühlt, der im Abgas enthaltene Wasserdampf kondensiert. Dadurch wird die Kondensationswärme an das Heizungswasser abgegeben, wodurch der Brennstoff besser ausgenutzt wird.

Damit der Brennwerteffekt genutzt werden kann, muss die Rücklauftemperatur der Heizungsanlage möglichst gering sein. Dadurch sind auch die Vorlauftemperaturen der Heizungsanlage, die gewöhnlich bei 80 °C bis 90 °C liegen, nur bei 55 °C. Für gewöhnliche Heizkörper sind diese Temperaturen zu gering. Damit der Effekt effizient genutzt werden kann, sollte eine Fußbodenheizung installiert werden. Der Einsatz einer Flächenheizung ist in jedem Fall mit dem Denkmalschutzamt abzuklären, da es mitunter zu erheblichem Verlust von Bausubstanz kommen kann.

Problematisch bei der Verwendung solcher Heizungsanlagen ist der zusätzliche Umbau des Abgassystems. Da in Erdöl Schwefel vorhanden ist, kann sich im Abgaskondensat ein saures

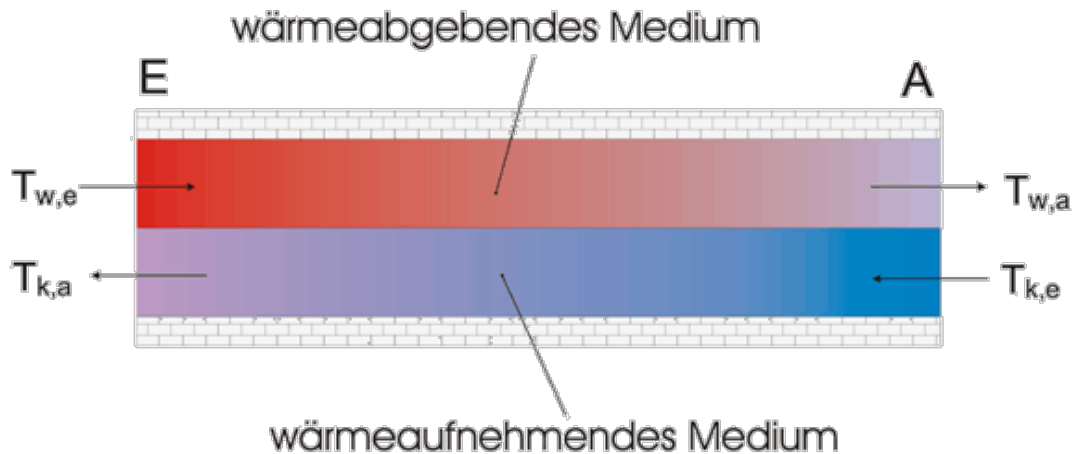


Abbildung 5.51: Schema eines Gegenstromwärmetauschers

Milieu ausbilden. In Folge dessen muss das vorhandene Abgassystem angepasst werden, weil ansonsten die Bausubstanz angegriffen wird.

Für den Einsatz von Gasbrennwertgeräten sprechen der extrem geringe Wartungsaufwand und auch die Größe der Geräte. Bei niedrigen Energieverbräuchen können wandhängende Systeme einfach installiert werden. Ölheizungen benötigen zusätzlich große Tanks. Bei schon installierten Systemen müsste das Abgassystem modernisiert und die peripheren Systemkomponenten so angepasst werden, dass der Brennwerteffekt genutzt werden kann. Im Vergleich zur Installation eines BHKWs sind die Investitionskosten geringer.

5.7.4 Pellet-Heizung

Die Integration einer Pellet-Heizung kann wie bei den konventionellen Heizsystemen einfach in das bestehende System erfolgen. Wie bei der Ölheizung wird ein Bevorratungsbehälter, der im Keller installiert werden kann, benötigt. Der Einsatz einer Pellet-Heizung ist im Gegensatz zu den konventionellen Energieträgern CO₂neutral. Besonders Pellets sind bisher sehr preisstabil. Die Preisschwankung zwischen 2004 bis 2009 betrug $2 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$, wohingegen Öl im gleichen Zeitraum einer maximalen Preisschwankung von $6 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ unterlag. Die Nutzung des Brennwerteffektes kann bei der Pellet-Heizung ebenfalls erfolgen.

Ein Nachteil von Pellet-Heizungssystemen sind die langsamen Aufwärmphasen. Ein guter Wirkungsgrad wird nur im Regelbetrieb erreicht. Aus diesen Gründen sollte im Gesamtsystem ein Pufferspeicher, der zusätzlich Platz benötigt, vorhanden sein. Im Großen und Ganzen bringt jedes Heizungssystem seine Stärken und Schwächen mit. Um ein optimales System zu wählen, müsste eine genauere Untersuchung der Energieverbräuche und dem Nutzungsverhalten der Mieter und Eigentümer gemacht werden. Weiterhin müssten die einzelnen Systeme auf Verträglichkeit mit dem Denkmalschutz untersucht werden.

6 Wirtschaftliche Betrachtung

Die Wirtschaftlichkeit von energetischen Sanierungsmaßnahmen kann entweder mithilfe einer statische oder einer dynamischen Methode berechnet werden. Zur statischen Berechnung zählen die statischen Gewinn-, Kosten-, Renditevergleichsrechnung und die statische Amortisationsrechnung. Bei der Berechnung mittels statischer Methode werden die Gewinne im Zeitablauf ermittelt, so dass der Zeitpunkt, ab wann die Maßnahme Gewinn einbringt nicht berücksichtigt wird. Dahingegen wird bei der dynamischen Methode (Kapitalwertmethode, die Annuitätenmethode, Methode interner Zinsfuß) eine Zins- und Energiepreissteigerung berücksichtigt. Aus rein betriebswirtschaftlicher Sicht ist die Wirtschaftlichkeit das Verhältnis zwischen erreichter Einsparung und eingesetzten Mitteln. Bezogen auf die energetische Sanierung hat diese Verbesserung der Bauteile nicht nur einen betriebswirtschaftlichen Vorteil, sondern ist auch von volkswirtschaftlichem Nutzen. Durch die energetische Sanierung wird gegenüber den Bestandsbauten auch CO₂eingespart, was wiederum der Gemeinschaft zu Gute kommt und die Energieeinsparungsziele der Bundesregierung unterstützt.

6.1 Berechnung der Energieeinsparung mithilfe von Gradtagzahlen

Um eine Bewertung der vorgeschlagenen energetischen Maßnahmen durchzuführen, wird der Transmissionswärmeverlust [kWh] berechnet. Mittels des U-Wertes $\left[\frac{W}{m^2 * K}\right]$ wird der Wärmestrom durch das betrachtete Bauteil bei einem Temperaturunterschied von 1 Kelvin zwischen Innen- und Außentemperatur berechnet. Über die Fläche des Bauteiles kann dann der gesamte Verlustwärmestrom in $\left[\frac{W}{K}\right]$ ermittelt werden.

$$\text{Verlustwärmestrom} = \text{U-Wert} \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] * \text{Fläche [m}^2] \quad (6.1)$$

Dieser Wert bezieht sich auf ein zeitlich begrenztes Intervall mit einer Temperaturdifferenz von 1K.

Der jährliche Transmissionswärmeverlust $\text{TrWV} \left[\frac{kWh}{a}\right]$ hängt von folgenden Parametern ab:

- Temperaturspezifischer Wärmestrom durch das Bauteil $\left[\frac{W}{K}\right]$ (Konstante für das Bauteil)
- Temperaturdifferenz zwischen Innen - und Außenbereich ΔT
- betrachtetes Zeitintervall (Heizperiode) Δt

Der TrWV berechnet sich wie folgt:

$$TrWV \left[\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right] = \sum (\Delta T [\text{K}] * \Delta t [\text{h}] * \text{Verlustwärmestrom} \left[\frac{\text{W}}{\text{K}} \right]) \quad (6.2)$$

Die Summierung der Temperaturdifferenz über alle Zeitintervalle der Heizperiode wird als Gradtag $[\text{K}^*\text{d}]$ bezeichnet. Diese Kennzahl ist ein Maß für den Wärmebedarf eines Gebäudes während der Heizperiode und ist das Produkt aus einem Tag und der Differenz zwischen Heizgrenztemperatur und Tagesmitteltemperatur [vgl. VDI 4710]. Die Festlegung der Gradtage erfolgt in den VDI Richtlinien [3807] sowie [4710].

Durch die Summe aller Gradtage in einem Betrachtungszeitraum von einem Kalenderjahr werden die Jahresgradtage $\left[\frac{\text{K}^*\text{d}}{\text{a}} \right]$ ermittelt. Die Jahresgradtage hängen von der betrachteten Region ab. Im Flachland ist diese Kennzahl geringer als in den Mittelgebirgen oder in den Alpen. Die Werte liegen zwischen $3100 \frac{\text{K}^*\text{d}}{\text{a}}$ im Oberrheingraben und ca. $5300 \frac{\text{K}^*\text{d}}{\text{a}}$ in den Mittelgebirgen. Für die Stadt Berlin und die Hufeisensiedlung wird ein mittlerer Wert für die Jahresgradtage gemäß VDI 4710 von $3500 \frac{\text{K}^*\text{d}}{\text{a}}$ angenommen.

Die Bewertung der Effizienz der Maßnahme wird anhand der Verbesserung des U-Wertes und des Transmissionswärmeverlustes durchgeführt. Durch die energetische Sanierung wird der U-Wert und die damit verbundenen die Wärmeverluste durch Transmission verringert. Das Ergebnis ist eine Einsparung pro Jahr bezogen auf die Heizperiode in $\frac{\text{kWh}}{\text{a}}$.

$$\text{Einsparung} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right] = \Delta \text{U-Wert} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} \right] * \text{Jahresgradtagzahl} \left[\frac{\text{K}^*\text{d}}{\text{a}} \right] \quad (6.3)$$

Für die energetischen Maßnahmen ergeben sich folgende Einsparungen pro Jahr und m^2 :

		U-Wert Dif- ferenz in $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} \right]$	Verbesserung in %	Einsparung in $\left[\frac{\text{kWh}}{\text{a} * \text{m}^2} \right]$
Einfach- fenster	Vorschlag	3,16	75	265,81
Doppelkasten- fenster	Var. A	0,78	27	65,84
	Var. C	1,78	61	159,60
Kellerdecke	Var A+B	1,01	84	43,80
Tür	4,5cm Däm- mung	1,22	62	102,70
Satteldach	Vorschlag	1,15	83	96,90
Flachdach, Holzsparren	Var. A	1,08	81	90,40
	Var. B	1,20	90	100,90
Flachdach, Stahlstein	Var. A	1,74	87	146,10
	Var. B	1,82	87	152,60

6.2 Einsparung über eine Laufzeit von 20 Jahren

Die jährliche Energieeinsparung durch die Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten wird anhand der aktuellen Energiepreise auf einen Geldwert umgerechnet.

Angenommener Preis für Erdgas Ende 2010 = $6,36 \frac{\text{ct}}{\text{kWh}}$ [STAT]

Die Einsparung über eine Laufzeit von 20 Jahre mit der statischen Methode ohne Preissteigerung:

$$\text{Einsparung (stat.)} = \text{Energieeinsparung} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{a} \cdot \text{m}^2} \right] * 6,36 \frac{\text{ct}}{\text{kWh}} * 20\text{a} \quad (6.4)$$

Da die Energiepreise in den letzten Jahren stark gestiegen sind, ist die Verwendung der statischen Methode nicht hinreichend. Die Steigerung der Energiepreise unterliegt vielen Einflussfaktoren und kann aus diesem Grund nicht ohne eine gewisse Unsicherheit vorhergesagt werden. In erster Näherung wird die Preissteigerung im Zeitraum von 1991 bis 2010 für Prognose verwendet.

Erdgaspreis 1991: $3,55 \frac{\text{ct}}{\text{kWh}}$

Erdgaspreis 2010: $6,36 \frac{\text{ct}}{\text{kWh}}$

Durchschnittliche jährliche Energiepreissteigerung: 3,12 %

Die Einsparung über eine Laufzeit von 20 Jahre mit der dynamischen Methode mit Energiepreissteigerung:

$$\sum_{i=0}^{20} S * 6,36 \frac{\text{ct}}{\text{kWh}} * a^i \quad (6.5)$$

mit

S Jährliche Energieeinsparung in $\left[\frac{\text{kWh}}{\text{a} \cdot \text{m}^2} \right]$

a Koeffizient der jährl. Energiepreissteigerung aus Tabelle 6.1

Tabelle 6.1: Koeffizient der jährl. Energiepreissteigerung

Energiepreissteigerung in % p.a.	a
3,12	0,0312
4	1,04
6	1,06
8	1,08
10	1,1

6.3 Wirtschaftliche Bewertung der energetischen Maßnahmen

Die Ermittlung von Kosten für die energetische Sanierung der einzelnen Maßnahmen ist aufgrund der unzureichenden Datengrundlage nicht möglich. Die eingeholten Angebote von Fachunternehmen weichen stark voneinander ab und sind mit einer zu hohen Preisspanne versehen. Ein Vergleich mit den Einsparungen auf Grundlage eines Angebotes ist nicht zweckmäßig und spiegelt nicht die Realität wieder. Darüber hinaus hängt ein Angebot stark von der abgenommenen Menge der Leistungen ab.

Um diese Unsicherheit zu umgehen, wird pro Maßnahme eine maximale Kostengrenze in Euro pro Quadratmeter angegeben, die die Kennzahlen der Amortisationsdauer und der Lebensdauer berücksichtigt. Das Ergebnis der wirtschaftlichen Betrachtung ist ein spezifischer maximaler, von Angeboten unabhängiger Preis für die Maßnahmen. Die maximale Kostengrenze in Euro pro Quadratmeter schließt sowohl die Materialkosten für das jeweilige Bauteil als auch die Montage- und Einbaukosten mit ein. Diese Größe ermöglicht bei einer energetischen Sanierung von Bauteilen eingeholte Angebote zu prüfen und auf Wirtschaftlichkeit zu bewerten. Mit den getroffenen Annahmen stellt diese Größe für Investoren eine Vergleichsgröße dar um eine Entscheidung für oder gegen eine energetische Sanierungsmaßnahme zu treffen.

Bei einer Investition spielt die Amortisierungszeit eine wesentliche Rolle. Sie gibt an nach welcher Dauer sich eine Investition refinanziert hat. Bei der Berechnung der Amortisationszeit wird weder eine Verzinsung (Kalkulationszinssatz) vorgenommen noch werden Abschreibungen berücksichtigt. Neben der Amortisationszeit spielt die Lebensdauer der Bauteile eine wesentliche Rolle für die wirtschaftliche Bewertung. Die Lebensdauer sollte in jedem Fall höher sein als die Amortisationszeit, damit eine Empfehlung für die Sanierung ausgesprochen werden kann.

Als Richtwert für die maximalen Kosten für eine sinnvolle wirtschaftliche Investition wird festgelegt, dass die Amortisationszeit höchstens $\frac{3}{4}$ der Lebensdauer betragen soll. Somit wird für jede energetische Sanierungsmaßnahme mithilfe der dafür angenommenen Lebensdauer eine Amortisationszeit auf Basis des Energiepreissteigerungsszenarios mit 3,12 % p.a. berechnet, die wiederum maßgeblich die maximale Kostengrenze beeinflusst.

6.3.1 Einfachfenster

Um die Maßnahmen bewerten zu können, werden die Einsparungen dem zu investierenden Kapital gegenübergestellt. In Abbildung 6.1 wird die statische Methode mit der dynamischen Methode verglichen.

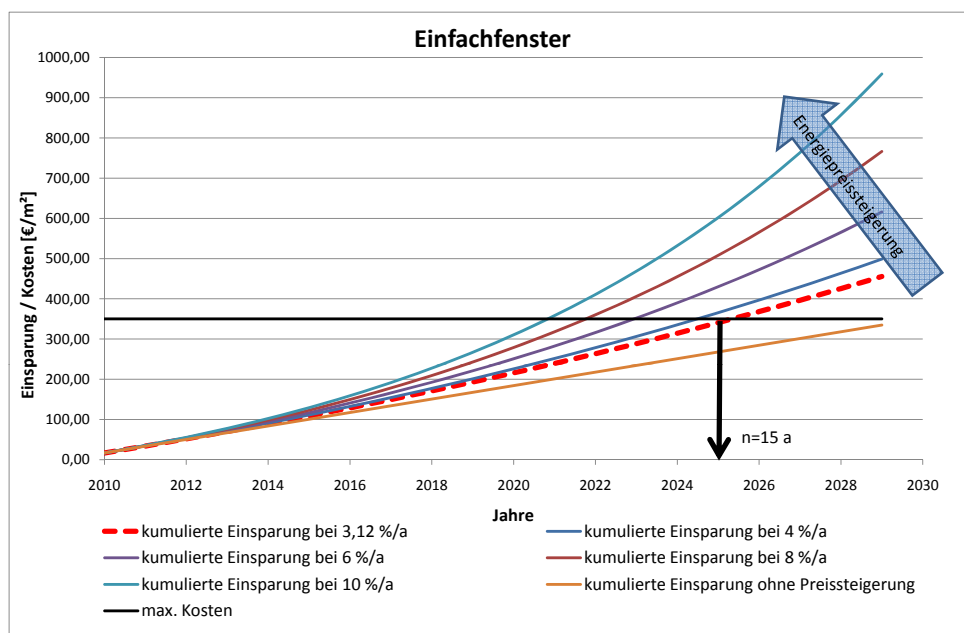


Abbildung 6.1: Amortisationszeit bei unterschiedlichen Energiepreissteigerungsraten

Tabelle 6.2: Amortisationszeit bei den unterschiedlichen Preissteigerungsraten

	Amortisationszeit n	maximale spezifische Kosten
dyn. Methode 3,12 %/a	15 Jahre (75 % der Lebensdauer)	350 €/m ²
dyn. Methode 4 %/a	14 Jahre	
dyn. Methode 6 %/a	13 Jahre	
dyn. Methode 8 %/a	11,5 Jahre	
dyn. Methode 10 %/a	10,5 Jahre	
statische Methode	20 Jahre	

Bei spezifischen Gesamtkosten von max. 350 €/m² ist die Sanierung der Einzelfenster aus wirtschaftlicher Sicht zu empfehlen, da die Investitionskosten sich nach ca. 75 % der Lebensdauer amortisieren.

6.3.2 Kellerdecke

Eine Gegenüberstellung der Kosten und Einsparungen ist bei der Maßnahme der Dämmung einer Kellerdecke nur bedingt möglich, da hier die Berechnungsgrundlage mit den Gradtagzahlen nicht angewendet werden kann. Diese basiert auf der Differenz zwischen der Außentemperatur und der angenommenen Innenraumtemperatur von 20 °C. Das Temperaturgefälle zwischen Keller und darüber liegenden Etagen ist jedoch geringer. Eine wirtschaftliche Betrachtung mit der Methode der Gradtagzahl ohne Korrektur würde zu einer Überbewertung der Ergebnisse führen. Für die Lebensdauer der Kellerdeckendämmung werden 20 Jahren angenommen.

Abschätzung der Heizgradtage:

- 180 Heiztage im Jahr
- Temperaturdifferenz zwischen Innentemperatur (20 °C) und Kellertemperatur (10 °C) = 10 K
- Ergebnis: $180 \text{ d} * 10 \text{ K} = 1800 \text{ Kd/a}$

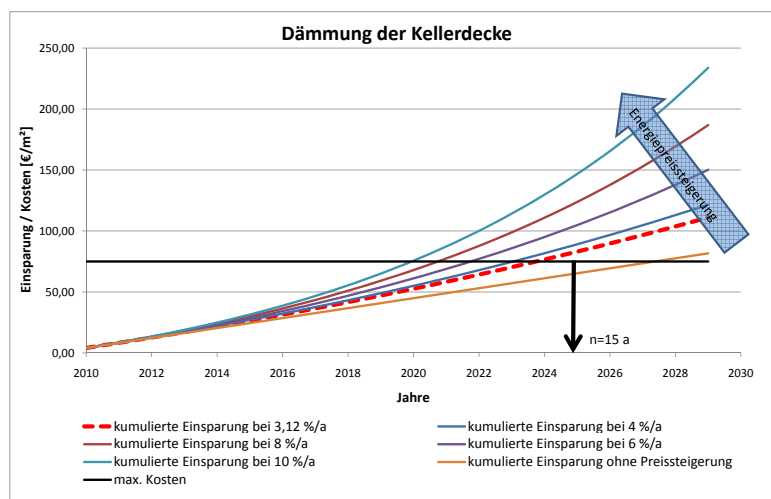


Abbildung 6.2: Amortisationszeit bei unterschiedlichen Energiepreissteigerungsraten

Tabelle 6.3: Amortisationszeit bei den unterschiedlichen Preissteigerungsraten

	Amortisationszeit n	maximale spezifische Kosten
dyn. Methode 3,12 %/a	15 Jahre (75 % der Lebensdauer)	55 €/m ²
dyn. Methode 4 %/a	14 Jahre	
dyn. Methode 6 %/a	12,5 Jahre	
dyn. Methode 8 %/a	11 Jahre	
dyn. Methode 10 %/a	10,5 Jahre	
statische Methode	19 Jahre	

Bei spezifischen Gesamtkosten von max. 55 €/m² ist die Sanierung der Kellerdecke aus wirtschaftlicher Sicht zu empfehlen, da die Investitionskosten sich nach ca. 75 % der Lebensdauer amortisieren.

6.3.3 Tür

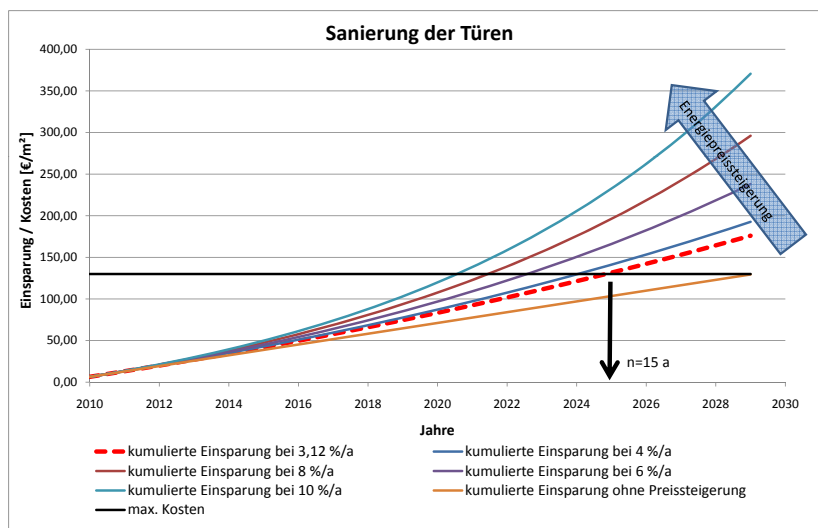


Abbildung 6.3: Amortisationszeit bei unterschiedlichen Energiepreiserhöhungsraten

Tabelle 6.4: Amortisationszeit bei den unterschiedlichen Preissteigerungsraten

	Amortisationszeit n	maximale spezifische Kosten
dyn. Methode 3,12 %/a	15 Jahre (75 % der Lebensdauer)	130 €/m ²
dyn. Methode 4 %/a	14 Jahre	
dyn. Methode 6 %/a	12,5 Jahre	
dyn. Methode 8 %/a	11 Jahre	
dyn. Methode 10 %/a	10,5 Jahre	
statische Methode	19 Jahre	

Bei spezifischen Gesamtkosten von max. 130 €/m² ist die Sanierung der Tür aus wirtschaftlicher Sicht zu empfehlen, da die Investitionskosten sich nach ca. 75 % der Lebensdauer amortisieren.

6.3.4 Doppelkassenfenster

Variante A

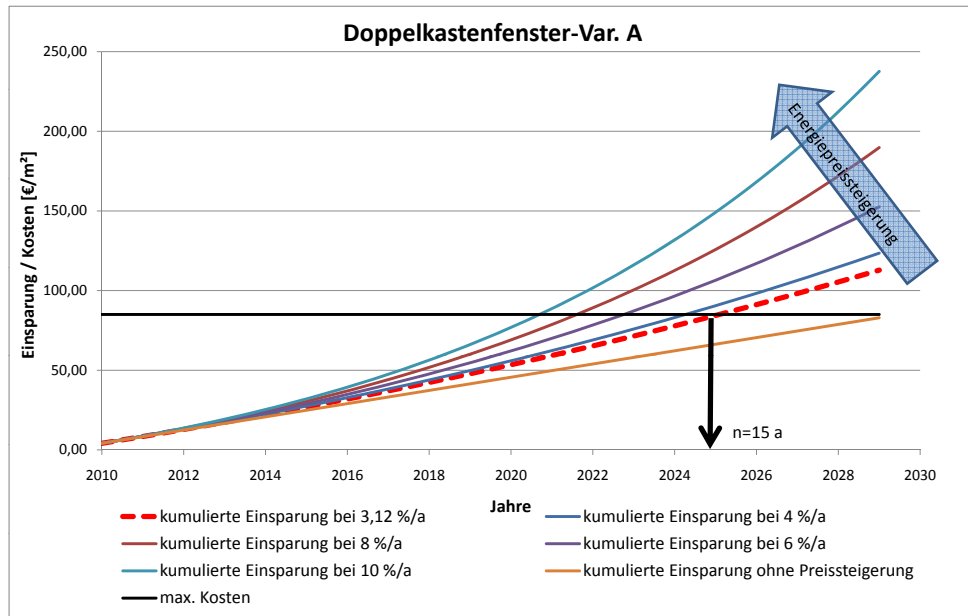


Abbildung 6.4: Amortisationszeit bei unterschiedlichen Energiepreissteigerungsraten

Tabelle 6.5: Amortisationszeit bei den unterschiedlichen Preissteigerungsraten

	Amortisationszeit n	maximale spezifische Kosten
dyn. Methode 3,12 %/a	15 Jahre (75 % der Lebensdauer)	85 €/m ²
dyn. Methode 4 %/a	14 Jahre	
dyn. Methode 6 %/a	12,5 Jahre	
dyn. Methode 8 %/a	11 Jahre	
dyn. Methode 10 %/a	10,5 Jahre	
statische Methode	20 Jahre	

Bei spezifischen Gesamtkosten von max. 85 €/m² ist die Sanierung der Doppelkassenfenster mit der Variante Nr. A aus wirtschaftlicher Sicht zu empfehlen, da die Investitionskosten sich nach ca. 75 % der Lebensdauer amortisieren.

Variante C

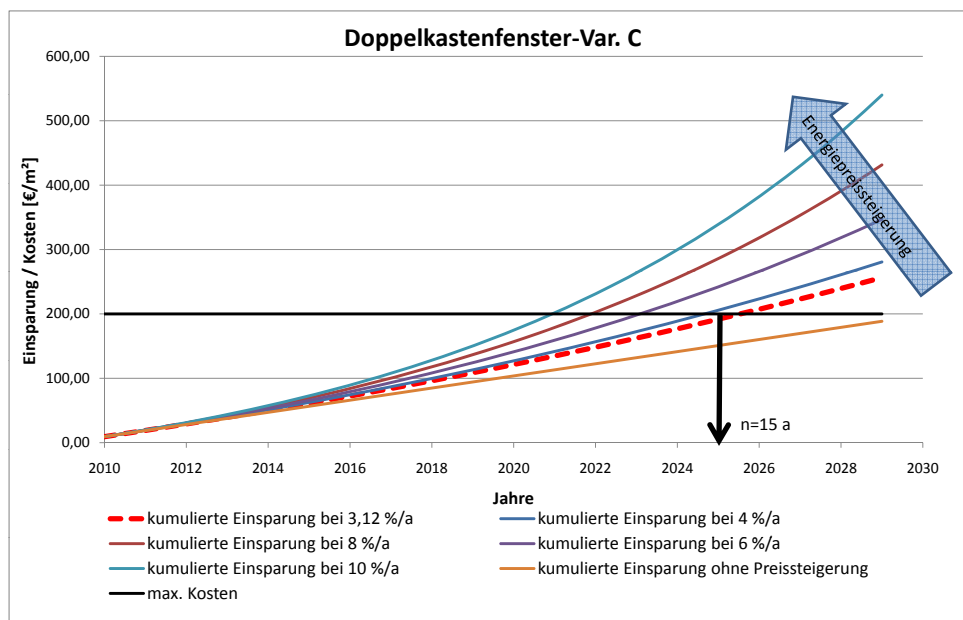


Abbildung 6.5: Amortisationszeit bei unterschiedlichen Energiepreissteigerungsraten

Tabelle 6.6: Amortisationszeit bei den unterschiedlichen Preissteigerungsraten

	Amortisationszeit n	maximale spezifische Kosten
dyn. Methode 3,12 %/a	15 Jahre (75 % der Lebensdauer)	200 €/m ²
dyn. Methode 4 %/a	14 Jahre	
dyn. Methode 6 %/a	13 Jahre	
dyn. Methode 8 %/a	12 Jahre	
dyn. Methode 10 %/a	11 Jahre	
statische Methode	19,5 Jahre	

Bei spezifischen Gesamtkosten von max. 200 €/m² ist die Sanierung der Doppelkassenfenster mit der Variante Nr. C aus wirtschaftlicher Sicht zu empfehlen, da die Investitionskosten sich nach ca. 75 % der Lebensdauer amortisieren.

6.3.5 Satteldach

Beim Satteldach wird von einer Lebensdauer von 50 Jahren ausgegangen.

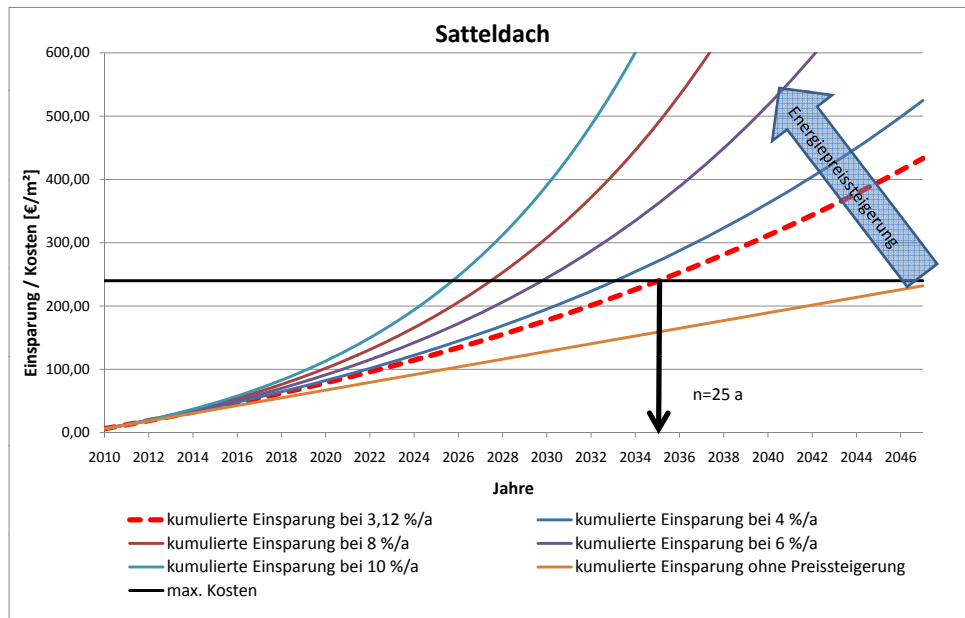


Abbildung 6.6: Amortisationszeit bei unterschiedlichen Energiepreiserhöhungsraten

Tabelle 6.7: Amortisationszeit bei den unterschiedlichen Preissteigerungsraten

	Amortisationszeit n	maximale spezifische Kosten
dyn. Methode 3,12 %/a	25 Jahre (50 % der Lebensdauer)	240 €/m ²
dyn. Methode 4 %/a	23 Jahre	
dyn. Methode 6 %/a	20 Jahre	
dyn. Methode 8 %/a	17 Jahre	
dyn. Methode 10 %/a	16 Jahre	
statische Methode	36 Jahre	

Bei spezifischen Gesamtkosten von max. 240 €/m² ist die Sanierung des Satteldachs aus wirtschaftlicher Sicht zu empfehlen, da die Investitionskosten sich nach ca. 50 % der Lebensdauer amortisieren.

6.3.6 Flachdach

Flachdach mit Sparrendecke Variante A

Beim Flachdach wird von einer Lebensdauer von 50 Jahren ausgegangen.

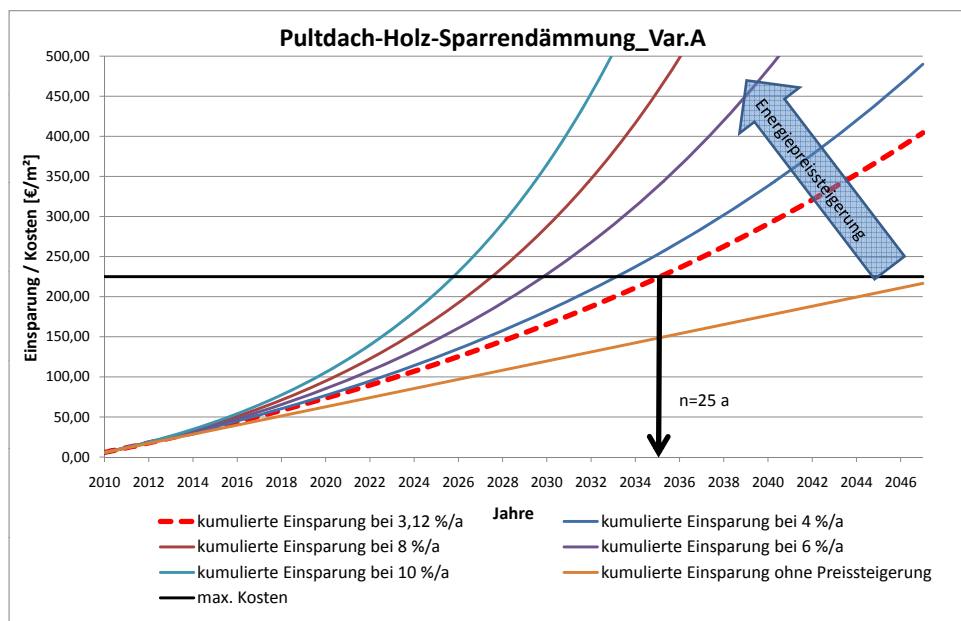


Abbildung 6.7: Amortisationszeit bei unterschiedlichen Energiepreissteigerungsraten

Tabelle 6.8: Amortisationszeit bei den unterschiedlichen Preissteigerungsraten

	Amortisationszeit n	maximale spezifische Kosten
dyn. Methode 3,12 %/a	25 Jahre (50 % der Lebensdauer)	225 €/m ²
dyn. Methode 4 %/a	23 Jahre	
dyn. Methode 6 %/a	20 Jahre	
dyn. Methode 8 %/a	18 Jahre	
dyn. Methode 10 %/a	17 Jahre	
statische Methode	n.a. Jahre	

Bei spezifischen Gesamtkosten von max. 225 €/m² ist die Sanierung des Flachdaches mit Sparrendecke Variante B aus wirtschaftlicher Sicht zu empfehlen, da die Investitionskosten sich nach ca. 50 % der Lebensdauer amortisieren.

Flachdach mit Sparrendecke Variante B

Beim Flachdach wird von einer Lebensdauer von 50 Jahren ausgegangen.

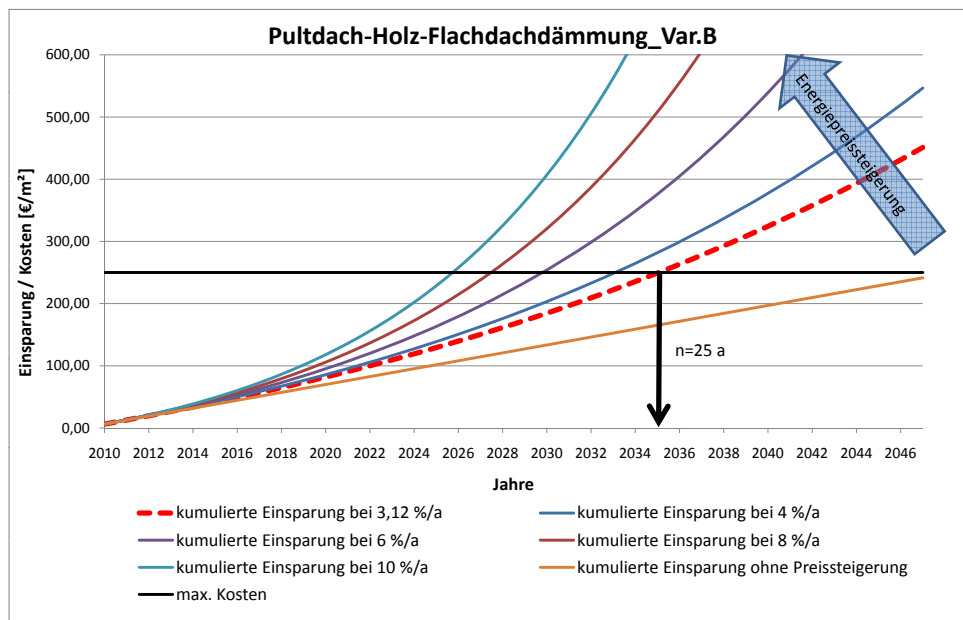


Abbildung 6.8: Amortisationszeit bei unterschiedlichen Energiepreissteigerungsraten

Tabelle 6.9: Amortisationszeit bei den unterschiedlichen Preissteigerungsraten

	Amortisationszeit n	maximale spezifische Kosten
dyn. Methode 3,12 %/a	25 Jahre (50 % der Lebensdauer)	250 €/m ²
dyn. Methode 4 %/a	23 Jahre	
dyn. Methode 6 %/a	20 Jahre	
dyn. Methode 8 %/a	18 Jahre	
dyn. Methode 10 %/a	17 Jahre	
statische Methode	n.a. Jahre	

Bei spezifischen Gesamtkosten von max. 225 €/m² ist die Sanierung des Flachdaches mit Sparrendecke Variante B aus wirtschaftlicher Sicht zu empfehlen, da die Investitionskosten sich nach ca. 50 % der Lebensdauer amortisieren.

Flachdach mit Stahlsteindecke Variante A

Beim Flachdach wird von einer Lebensdauer von 50 Jahren ausgegangen.

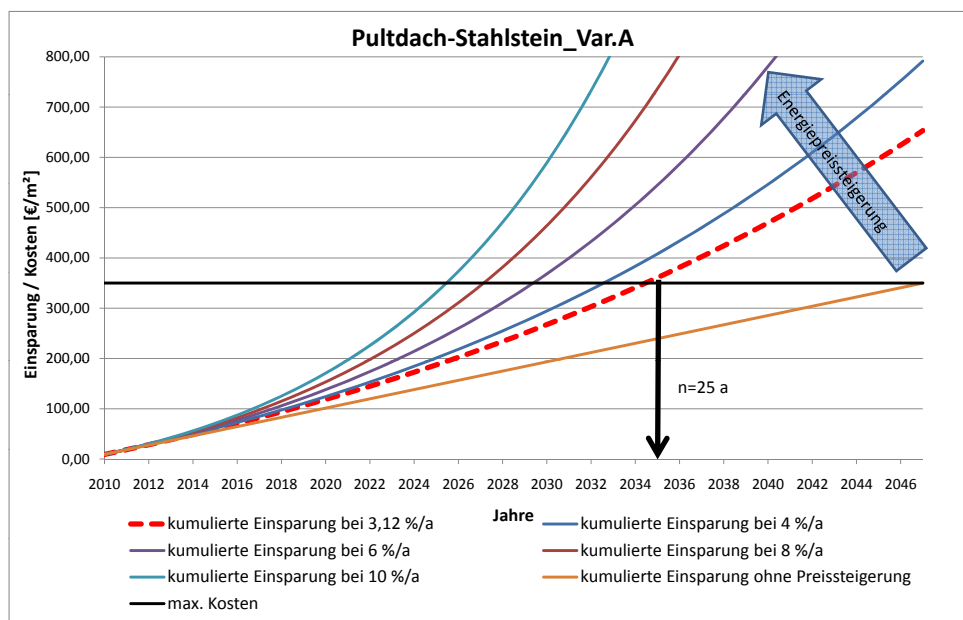


Abbildung 6.9: Amortisationszeit bei unterschiedlichen Energiepreissteigerungsraten

Tabelle 6.10: Amortisationszeit bei den unterschiedlichen Preissteigerungsraten

	Amortisationszeit n	maximale spezifische Kosten
dyn. Methode 3,12 %/a	25 Jahre (50 % der Lebensdauer)	350 €/m ²
dyn. Methode 4 %/a	21 Jahre	
dyn. Methode 6 %/a	19 Jahre	
dyn. Methode 8 %/a	16 Jahre	
dyn. Methode 10 %/a	15 Jahre	
statische Methode	n.a. Jahre	

Bei spezifischen Gesamtkosten von max. 350 €/m² ist die Sanierung des Flachdaches mit Stahlsteindecke Variante A aus wirtschaftlicher Sicht zu empfehlen, da die Investitionskosten sich nach ca. 50 % der Lebensdauer amortisieren.

Flachdach mit Stahlsteindecke Variante B

Beim Flachdach wird von einer Lebensdauer von 50 Jahren ausgegangen.

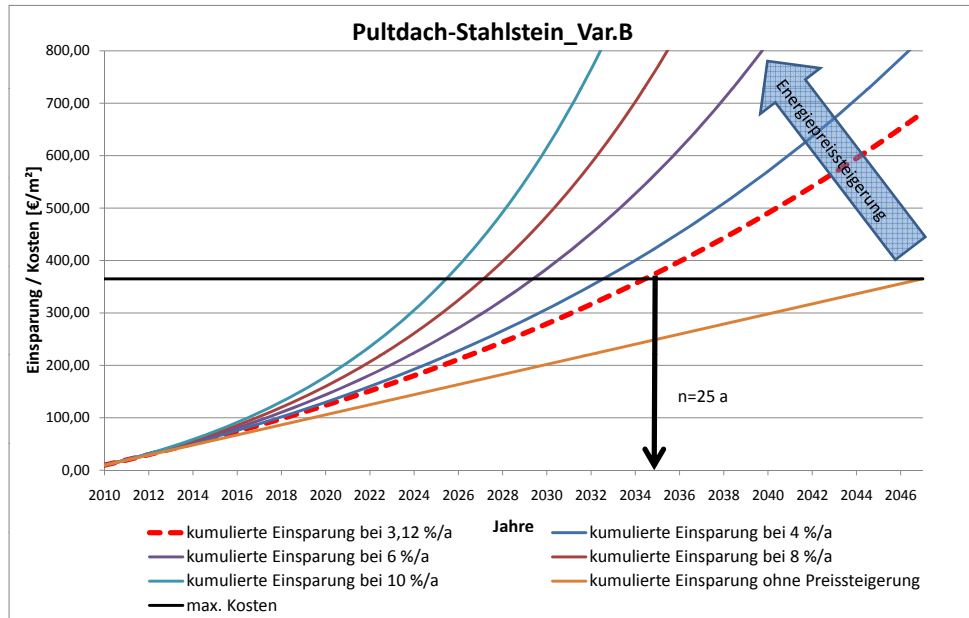


Abbildung 6.10: Amortisationszeit bei unterschiedlichen Energiepreissteigerungsraten

Tabelle 6.11: Amortisationszeit bei den unterschiedlichen Preissteigerungsraten

	Amortisationszeit n	maximale spezifische Kosten
dyn. Methode 3,12 %/a	25 Jahre (50 % der Lebensdauer)	365 €/m²
dyn. Methode 4 %/a	22 Jahre	
dyn. Methode 6 %/a	19 Jahre	
dyn. Methode 8 %/a	17 Jahre	
dyn. Methode 10 %/a	15 Jahre	
statische Methode	n.a. Jahre	

Bei spezifischen Gesamtkosten von max. 365 €/m² ist die Sanierung des Flachdaches mit Stahlsteindecke Variante B aus wirtschaftlicher Sicht zu empfehlen, da die Investitionskosten sich nach ca. 50 % der Lebensdauer amortisieren.

6.3.7 Innendämmung

Bei der Innendämmung wird bei allen Varianten von einer Lebensdauer von 20 Jahren ausgegangen.

Variante A

In Variante A wird mit einer Innendämmung mit Kalziumsilikatplatten mit der Stärke 2,5 cm gerechnet.

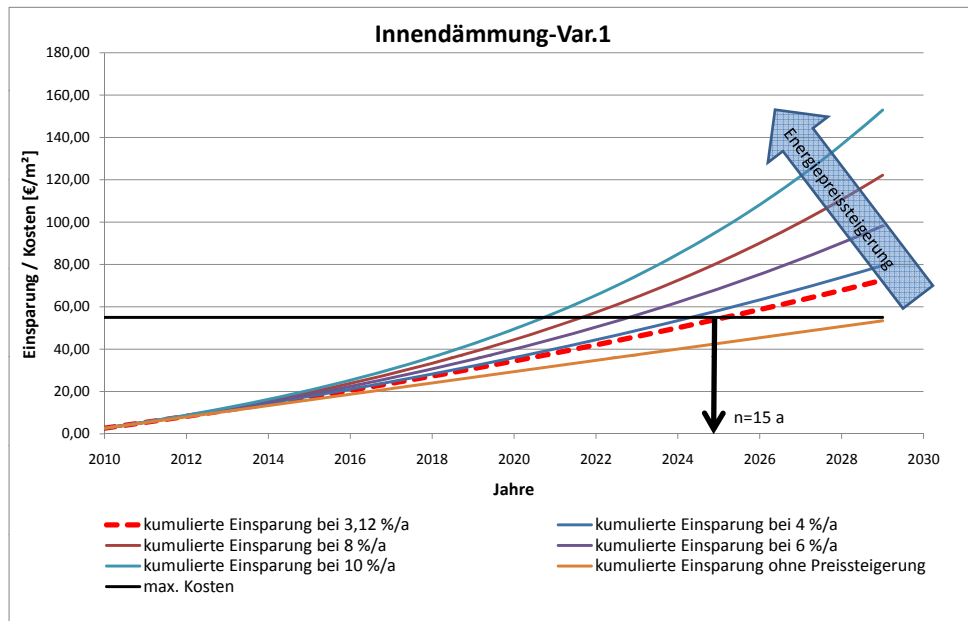


Abbildung 6.11: Amortisationszeit bei unterschiedlichen Energiepreisstiegraten

Tabelle 6.12: Amortisationszeit bei den unterschiedlichen Preissteigerungsraten

	Amortisationszeit n	maximale spezifische Kosten
dyn. Methode 3,12 %/a	15 Jahre (75 % der Lebensdauer)	55 €/m ²
dyn. Methode 4 %/a	14 Jahre	
dyn. Methode 6 %/a	13 Jahre	
dyn. Methode 8 %/a	12,5 Jahre	
dyn. Methode 10 %/a	10,5 Jahre	
statische Methode	n.a. Jahre	

Variante B

In Variante B wird mit einer Innendämmung aus Kalziumsilikatplatten mit einer Stärke von 5 cm gerechnet.

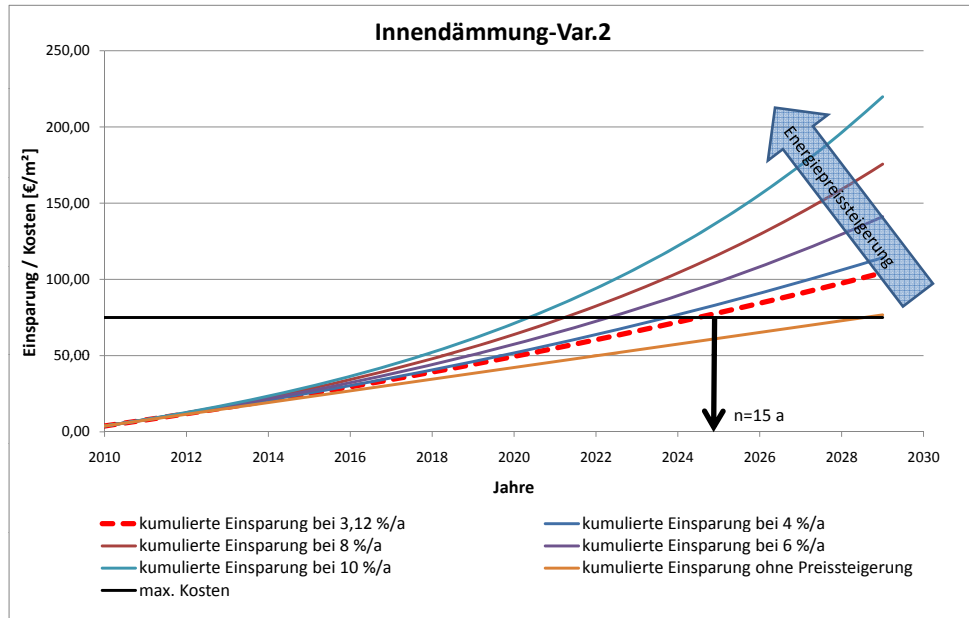


Abbildung 6.12: Amortisationszeit bei unterschiedlichen Energiepreisstiegraten

Tabelle 6.13: Amortisationszeit bei den unterschiedlichen Preissteigerungsraten

	Amortisationszeit n	maximale spezifische Kosten
dyn. Methode 3,12 %/a	15 Jahre (75 % der Lebensdauer)	75 €/m ²
dyn. Methode 4 %/a	13,5 Jahre	
dyn. Methode 6 %/a	12 Jahre	
dyn. Methode 8 %/a	11 Jahre	
dyn. Methode 10 %/a	10,5 Jahre	
statische Methode	n.a. Jahre	

Variante C

Bei Variante C wird mit einer Dämmung aus Kalziumsilikatplatten mit einer Stärke von 10 cm gerechnet.

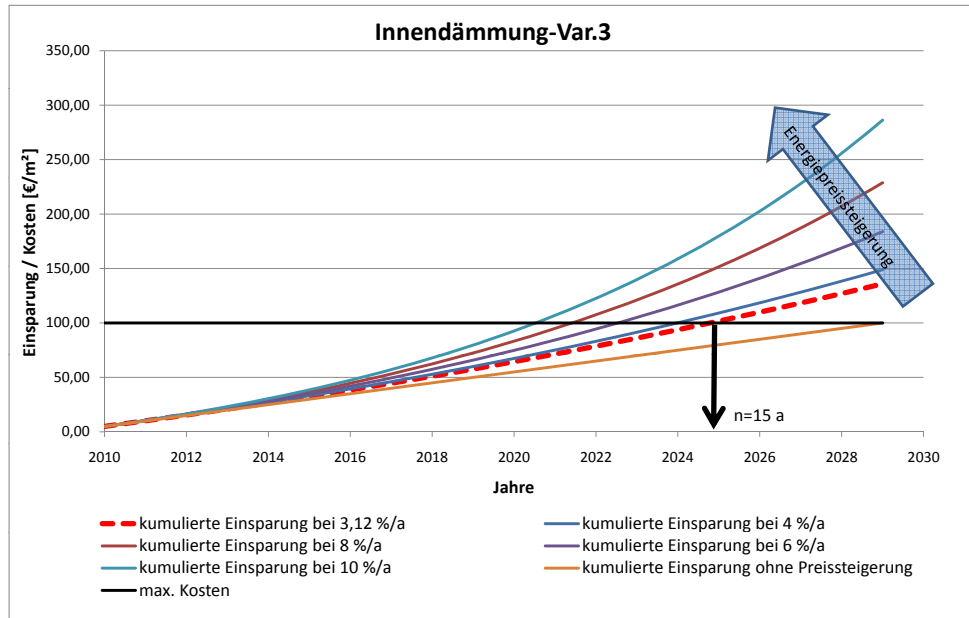


Abbildung 6.13: Amortisationszeit bei unterschiedlichen Energiepreisstiegerungen

Tabelle 6.14: Amortisationszeit bei den unterschiedlichen Preissteigerungsraten

	Amortisationszeit n	maximale spezifische Kosten
dyn. Methode 3,12 %/a	15 Jahre (75 % der Lebensdauer)	100 €/m ²
dyn. Methode 4 %/a	14 Jahre	
dyn. Methode 6 %/a	12,5 Jahre	
dyn. Methode 8 %/a	11,5 Jahre	
dyn. Methode 10 %/a	10,5 Jahre	
statische Methode	n.a. Jahre	

6.4 Wirtschaftliche Abschlussbewertung der Maßnahmen

Mithilfe der max. spezifischen Kosten wird unabhängig von aktuellen Herstellerpreisen ein Vergleichspreis festgelegt, der dazu dient eingeholte Angebote wirtschaftlich zu bewerten. Um trotzdem eine erste Einschätzung für die Realisierung zu treffen, werden in folgendem Abschnitt die maximalen spezifischen Kosten in Bezug auf die einzelnen Maßnahmen bewertet:

Maßnahmen	Einsparpotential an Wärmeverlust	max. spez. Kosten realistisch (0-100%) Hilfsspalte
Einfachfenste	10 %	90%
Doppelkassenfenste ↘ Var. A		20%
Doppelkassenfenste ↘ Var. B		20%
Doppelkassenfenste ↘ Var. C		80%
Eingangstür	2 %	25%
Kellerdecke	10 %	100%
Innendämmung ↘ Var. 1	35 %	50%
Innendämmung ↘ Var. 2		90%
Innendämmung ↘ Var. 3		90%
Pultdach Flachdach ↘ Holzkonstruktion Sparrendämmung	20 %	80%
Pultdach Flachdach ↘ Holzkonstruktion Flachdachdämmung		80%
Pultdach Flachdach ↘ Stahlsteindecke Var. 1		90%
Pultdach Flachdach ↘ Stahlsteindecke Var. 2		90%
Satteldach		90%

Abbildung 6.14: Vergleich der Einsparpotentiale der einzelnen Maßnahmen

7 Abschließende Bewertung der Maßnahmen

Die durch das Architekturbüro in Abschnitt 1.3 vorgeschlagenen Maßnahmen können zusammenfassend nach drei Kriterien bewertet werden:

- **Denkmalschutzverträglichkeit:** sind die Maßnahmen mit dem Denkmalschutz am Standort Berlin vereinbar und lassen sich diese umsetzen und/oder wird ggf. eine Baugenehmigung gefordert. Des Weiteren wird geklärt, ob die zum Einsatz kommenden Baustoffe geregelte Bauprodukte mit Zulassung sind.
- **Technische Umsetzung:** sprechen technische Einwände gegen diese Maßnahmen, d.h. können die Maßnahmen realisiert werden, ergeben sich dadurch energetische Vorteile und wie hoch ist das Einsparungspotential. Mit welchen Problemen (Kondensatbildung, Schimmelgefahr, etc.) ist zu rechnen und wie können sie durch sachgerechte Umsetzung nach geltenden Normen und Richtlinien vermieden werden. Im Wesentlichen wird dieses Kriterium durch die Ergebnisse der Simulation beeinflusst. Die Ermittlung der Temperaturverteilung, des Wärmestroms und der Druckdifferenz sowie des U-Wertes sind Bestandteile dieses Abschnittes.
- **Wirtschaftliche Bewertung:** durch eine Kosten- Nutzen Bilanzierung mit der Einführung der Vergleichszahl "max. spezifische Kosten" wird der wirtschaftliche Einsatz der Maßnahmen bewertet.

Die Abbildung 7.1 stellt diese Kriterien in einer Auswahlmatrix gegenüber:

Mithilfe des prozentualen Einsparpotentials pro vorgeschlagener Maßnahme und der prozentualen Wahrscheinlichkeit, dass ein Angebot unterhalb des maximalen spezifischen Preises liegt (vgl. Kapitel oben), wird ein gewichteter Faktor berechnet. Dieser ermöglicht eine Gesamtbewertung der Maßnahmen bezüglich der Kosten und des Einsparpotentials.

Das Ergebnis zeigt deutlich, dass die Maßnahme der Tür nicht zu empfehlen ist, da hier sowohl wirtschaftliche Risiken vorliegen, sowie eine technische Realisierung durch den komplizierten Aufbau der Türe schwer ist.

Eine Sanierung des Einfachfensters liegt im möglichen Bereich, jedoch sollte die Berücksichtigung der Problematik der Schimmelbildung Bestandteil der Planung sein. Eine Sanierung der Doppelkastenfenster wie vorgeschlagen ist eher fragwürdig und im Vergleich zu den anderen Maßnahmen nicht an erster Stelle zu empfehlen, da das Einsparpotential auf Grund der geringen

Maßnahmen	Verbesserung U-Wert	Einsparung [kWh/(m²a)]	[€/m²] (n=75%/50% T und 3,12%/a)	Lebensdauer T [a]	Schadensrisiko	Einsparpotential an Wärmeverlust	Verträglichkeit Denkmalschutz	gewichtete Gesamtbewertung
Einfachfenster	74,68%	265,8	350 €/m²	20	Schimmelbildung in der Wand / Feuchtigkeit	10 %	●	●
Doppelkastenfenster ↘ Var. A	26,94%	65,8	85 €/m²	20			●	●
Doppelkastenfenster ↘ Var. B	nicht simulierbar						●	●
Doppelkastenfenster ↘ Var. C	61,23%	149,6	200 €/m²	20			●	●
Eingangstüren	61,63%	102,7	130 €/m²	20	kein	2 %	●	●
Kellerdecke	74,79%	64,8	75 €/m²	20	Wärmebrücken	10 %	●	●
Innendämmung ↘ Var. 1	36,56%	42,4	55 €/m²	20	Wärmebrücken, Kondensat und Schimmelbildung	35 %	●	●
Innendämmung ↘ Var. 2	52,54%	60,9	75 €/m²	20			●	●
Innendämmung ↘ Var. 3	43,55%	79,3	100 €/m²	20			●	●
Pultdach Flachdach ↘ Holzkonstruktion Sparrendämmung	80,52%	90,4	225 €/m²	50	vereinzelte Wärmebrücken	20 %	●	●
Pultdach Flachdach ↘ Holzkonstruktion Flachdachdämmung	89,83%	100,9	250 €/m²	50			●	●
Pultdach Flachdach ↘ Stahlsteindecke Var. 1	87,02%	146,1	350 €/m²	50			●	●
Pultdach Flachdach ↘ Stahlsteindecke Var. 2	87,45%	152,6	365 €/m²	50			●	●
Satteldach	82,93%	96,9	240 €/m²	20			●	●

Abbildung 7.1: Gegenüberstellung der verschiedenen Sanierungsmaßnahmen

Fläche sehr klein ist. Eine Instandsetzung der alten Doppelkistenfenster ist in jedem Fall zu empfehlen, da dadurch die Fenster wieder richtig schließen und somit keine Zugluft entstehen kann. Dadurch wird das Wohnklima positiv beeinflusst.

Die Dämmung der Kellerdecke ist im Vergleich zu den anderen Sanierungsmaßnahmen mit geringen Investitionskosten verbunden, hat jedoch auch kein großes Einsparungspotential, da die Temperatur im Keller höher ist als im Außenbereich. Erschwerend kommt noch hinzu, dass die technische Umsetzung in den Kellern bei einer geringen Deckenhöhe eine massive Raumverkleinerung darstellt und durch die an der Decke laufenden Verrohrungen erschwert wird.

Eine Innendämmung ist auf Grund des hohen Einsparungspotentials zu empfehlen, jedoch muss bei der Planung darauf geachtet werden, dass die Dämmung eine hohe Kapillarität aufweist, sodass entstehende Feuchtigkeit aus der Dämmung austreten kann und es zu keiner Schimmelbildung kommt. Des Weiteren stellt die Innendämmung im Sommer keinen Wärmeschutz dar und kann in Brandfällen zu Ausgasungen von Giftstoffen führen. Eine Innendämmung ist in jedem Fall von einem Fachunternehmen in Zusammenarbeit mit einem auf Denkmalschutz spezialisierten Ingenieur oder Architekturbüro umzusetzen.

In der Gesamtbetrachtung weist die energetische Sanierung mit den vorgeschlagenen Maßnahmen für die Dächer das geringste Risiko auf. Darüber hinaus ist eine Dämmung des Daches wirtschaftlich zu empfehlen. Die Denkmalverträglichkeit bei dem Pultdach mit Außendämmung ist bei der zuständigen Behörde abzuklären, wohingegen eine Zwischen- oder Untersparrendämmung ohne Probleme umgesetzt werden kann. Durch eine Dachsanierung werden neben den wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten auch der Wohnraum und das Wohnklima aufgewertet, da der Raum nicht so schnell auskühlt und es zu keiner Zugluft kommt.

Eine Betrachtung der Maßnahmen anhand der drei Kriterien zeigt deutlich, dass die Sanierung von den hier vorgeschlagenen Einzelmaßnahmen schwer umzusetzen ist. Eine energetische Sanierung sollte immer als Gesamtmaßnahme betrachtet werden, damit Probleme wie Schimmelbildung etc. vermieden werden können. Die Planung der Maßnahmen in einem denkmalgeschützten Gebäude setzt desweiteren fachliche Unterstützung durch ein auf Denkmalschutz spezialisiertes Ingenieur- oder Architektenbüro voraus.

Fazit der Untersuchung ist, dass eine Sanierung nach aktuellen Richtlinien zur Energieeinsparung (EnEV) bei Baudenkmalern nicht zweckmäßig ist. Durch gezielte Maßnahmen unter Berücksichtigung der potentiellen Probleme ist eine energetische Sanierung der denkmalgeschützten Reihenhäuser der Hufeisensiedlung zu empfehlen, da sowohl Heizkosten eingespart, als auch das Wohnklima verbessert werden können.

Literaturverzeichnis

- [2067] VDI 2067 Blatt 10 Energiebedarf beheizter und klimatisierter Gebäude
- [3807] VDI 3807 Energieverbrauchskennwerte für Gebäude - Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte
- [4108] DIN 4108-2 (03.2001): Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- [4710] VDI 4710 Meteorologische Grundlagen für die Technische Gebäudeausrüstung
- [AnTherm] AnTherm V.6.106; <http://www.antherm.eu/antherm/>.
- [BDR] Homepage der Berliner Stadtentwicklung; www.stadtentwicklung.berlin.de
- [BPRO] <http://www.bauprofessor.de/Baurecht>
- [DBINFO] <http://www.hufeisensiedlung.info/denkmal-basisinfo.html>
- [EnEV] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Stand: 29. April 2009
- [FEHA] Die Fensterhandwerker; www.das-fensterhandwerk.de
- [ISO6946] DIN EN ISO 6946 (04.2008): Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient-Berechnungsverfahren
- [STAT] Statistisches Bundesamt
- [ZUB] Katalog regionaltypischer Materialien im Gebäudebestand mit Bezug auf die Baualterklasse und Ableitung typischer Bauteilaufbauten. Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., Kassel. 2009