

Nachträglich Dämmung der Gebäudehülle

Ein Leitfaden für Bauherren,
Gebäudeeigentümer, Baufirmen ...



Dieser Leitfaden wurde im Rahmen des EU – Projektes „Green City Building“ erarbeitet



Leitfaden

Nachträgliche Dämmung der Gebäudehülle

Technische Universität (TU) Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen
Institut für Baukonstruktion
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Weller
01062 Dresden

Dresden den 15. Februar 2008

Nachträgliche Dämmung der Gebäudehülle

1	Einleitung	3
2	Dämmsysteme	4
2.1	Außendämmung	4
2.1.1	Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS)	4
2.1.2	Vorgehängte, hinterlüftete Fassade (VHF)	5
2.1.3	Wärmedämmputz	6
2.1.4	Transparente Wärmedämmung (TWD)	7
2.1.5	Vakuuminisulationspaneel (VIP)	8
2.1.6	Kerndämmung	9
2.2	Innendämmung	10
2.2.1	Diffusionsdichte Innendämmung mit Dampfsperre	10
2.2.2	Diffusionsoffene Innendämmung	11
3	Dämmmaterialien	12
4	Anwendungsbeispiele	15
4.1	Referenzbeispiel Innendämmung: Mittelschule Ehrenfriedersdorf	15
4.1.1	Zustand vor der Sanierung	15
4.1.2	Sanierungsmaßnahmen zur nachträglichen Dämmung	16
4.2	Referenzbeispiel Außendämmung: Kindertagesstätte „Sonnenhügel“, Ehrenfriedersdorf	18
4.2.1	Zustand vor der Sanierung	18
4.2.2	Sanierungsmaßnahmen zur nachträglichen Dämmung	19
5	Literatur	23

1 Einleitung

Der folgende Leitfaden wurde im Rahmen des EU - Projektes "Green City Building" erarbeitet und gibt einen Überblick über energetische Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle von Bestandsbauten. Im Zuge der internationalen Bemühungen zum Klimaschutz nimmt das energiesparende Bauen einen immer größeren Stellenwert ein. Derzeit verbrauchen Bestandsgebäude im Vergleich zu Neubauten noch ein Vielfaches der Energie zur Beheizung. Dementsprechend liegt in Deutschland eines der größten Energieeinsparpotentiale im Gebäudebestand. Für eine energiebewusste Bauweise sind Dämmstoffe unabdingbar. Sie tragen zu einer erheblichen Reduktion des CO₂-Ausstoßes bei, der die Ursache für den künstlichen Treibhauseffekt und für Klimaveränderungen auf unserem Planeten ist. Mit der Einsicht in die Notwendigkeit von Energieeinsparungsmaßnahmen, wächst die Bedeutung von Dämmstoffen zur Wärmedämmung von Gebäuden. Energieeinsparungen lassen sich einerseits durch eine Modernisierung der Gebäudetechnik und andererseits durch die Verbesserung der Wärmedämmung der Gebäude erreichen.

Eine nachträgliche Dämmung von Gebäuden sollte immer unter Berücksichtigung des gesamten Gebäude-Systems erfolgen, bestehend aus Material, Klima, Beanspruchung, Nutzung und Zustand. Ausgangsbasis der meisten Sanierungen werden jedoch die nachträglichen Dämmmaßnahmen bilden. Denn damit lässt sich im ersten Zuge der Heizwärmebedarf eines Gebäudes reduzieren oder auch der Komfort, beispielsweise durch die Erhöhung der Oberflächentemperaturen an den Außenwänden, verbessern. Eine besondere Herausforderung liegt in der Reduktion des Energieverbrauches von denkmalgeschützten Bestandsgebäuden. Die Aufgabe am Baudenkmal besteht darin, den Energieverbrauch bei Wahrung des historischen Erscheinungsbildes und der Bausubstanz deutlich zu senken sowie den Komfort der Innenräume heutigen Ansprüchen anzupassen. Aber auch für das einzelne Haus, welches im Gesamtzusammenhang des Straßenbildes einen Weiler, ein Dorf, eine Stadt erheblich mitprägen kann, gilt es abzuwägen, welche Maßnahmen zur Dämmung ein Optimum an geringem Energieverbrauch, Bauwerkserhalt, Gestaltung und Raumklima erbringen.

Eine Veränderung nur einzelner Komponenten eines komplexen Haus- und Klimagefüges ist in der Regel kritisch zu betrachten. So zieht der alleinige Einbau neuer und wesentlich dichter Fenster in ein altes Haus meist unvermeidbare Bauschäden in der Folgezeit nach sich. Auch längerfristig sollen Kosten wie Nutzen sorgfältig abgewogen werden. Trotzdem kann eine einzelne Maßnahme in der Gebäudedämmung einen sinnvollen Beitrag zum sparsamen Haushalten mit Ressourcen darstellen – wenn sie bedacht geplant und hochwertig ausgeführt ist.

Nachfolgend soll eine grundlegende Basisinformation zu Dämmsystemen, Dämmstoffen und deren Einsatzgebiete gegeben werden. Der Leitfaden versteht sich als eine Hilfe zum Dialog mit einem Planer oder als erster Schritt sich mit diesem Thema im Detail vertraut zu machen.

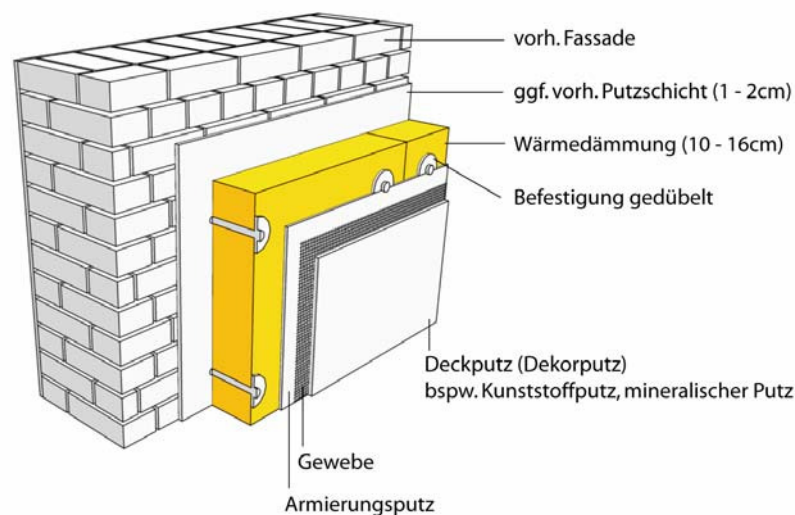
2 Dämmsysteme

2.1 Außendämmung

Das Anbringen einer äußeren Wärmedämmung stellt die gebräuchlichste Lösung für die nachträgliche energetische Ertüchtigung der Gebäudehülle bzw. der Außenwandkonstruktion dar.

2.1.1 Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS)

Wärmedämm-Verbundsysteme sind seit etwa 1970 als Fassadendämmung im Einsatz. Es handelt sich dabei um Systeme aus aufeinander abgestimmten Materialien, welche miteinander verbunden sind und auf die Außenwand aufgebracht werden. Dabei sind Mindestens drei Schichten notwendig: Die Wärmedämmschicht, eine Armierungsschicht sowie die Schlussbeschichtung mit der Gestaltung der Oberfläche. Armierungsschicht und Schlussbeschichtung übernehmen gemeinsam den Wetterschutz. Übliche Schichtdicken sind derzeit ungefähr 10 bis 12 cm stark. Wobei je nach baukonstruktiven Randbedingungen und erhöhten energetischen Zielen auch stärkere Schichtdicken sinnvoll sind.



Systemaufbau von der vorhandenen Wand ausgehend:

1. Dämmung Polystyrol (nicht recyclingfähig, diffusionsdicht, chemisches Erdölprodukt)
2. Armierungsgewebe
3. Deckputz

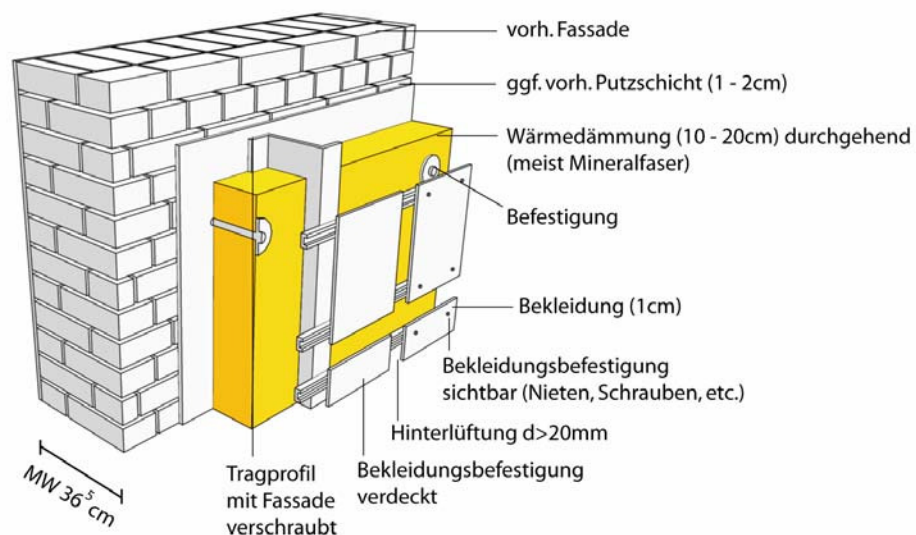
Außendämmsysteme können bei der Altbausanierung nur angeordnet werden, keine gestalterischen Zwänge, wie beispielsweise bei denkmalgeschützten Fassaden, vorhanden sind. Der Untergrund sollte vor dem Anbringen der Dämmung instandgesetzt werden. Schmutz, Algen und Moos sind zu entfernen und offene Mörtelfugen müssen geschlossen werden. Aus ökologischer Sicht lassen sich Verbundsysteme nach dem Erreichen ihres Lebenszyklus bei der Entsorgung oder Wiederverwertung teilweise nur schwer trennen oder wiederverwerten.

Kostenrichtwert (brutto): ca. 60,00 bis 80,00 €/m²

2.1.2 Vorgehängte, hinterlüftete Fassade (VHF)

Das Verkleiden von Außenwänden wird schon seit Jahrhunderten angewendet. Traditionell wurden Außenwände mit Holzschindeln oder Schiefer verkleidet. Besonders häufig sieht man diesen zusätzlichen Schutz auf den Wetterseiten der Gebäude. Moderne Vorgehängfassaden verwenden vorgefertigte Fassadenelemente aus Metall, Holz, Stein, Faserzement, Glas und weiteren witterungsbeständigen Materialien.

Der Lastabtrag erfolgt hierbei über eine Unterkonstruktion auf die Außenwände. Zusätzliche Lasten müssen aufgenommen werden können. Grenzen in der Anwendung ergeben sich aus dem Brandverhalten und dadurch aus den Brandschutzklassen der einzelnen Komponenten. Bei entsprechender Materialwahl ist die vorgehängte, hinterlüftete Konstruktion auch für Hochhäuser geeignet. Ein Vorteil dieses Systems liegt auch in der ganzjährig möglichen Montage, da keine Abbindezeiten bzw. Mindesttemperaturen eingehalten werden müssen. Inklusiv der Unterkonstruktion ergeben sich zusätzliche Aufbauten von ca. 10 - 20 cm.



Systemaufbau von der vorhandenen Wand ausgehend:

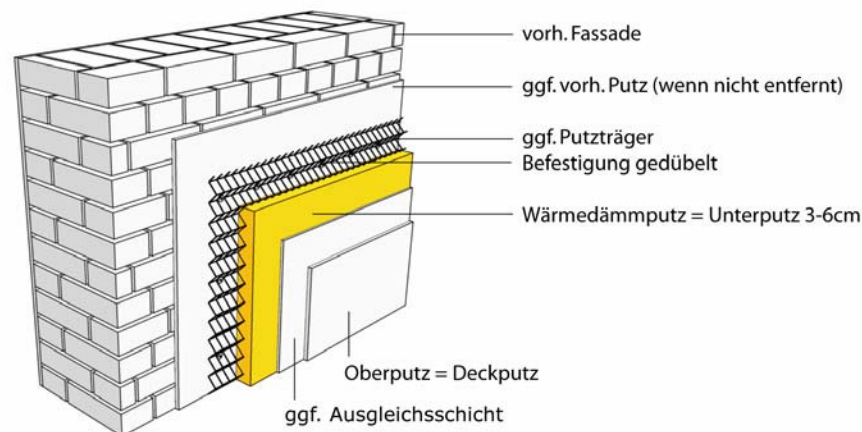
1. Mineralwolle (recyclingfähig)
2. Unterkonstruktion
3. Bekleidung (z. B. Faserzement, wetterfeste Holzwerkstoffplatten)

Diese Systeme zeichnen sich durch eine sehr hohe Dämmwirkung aus und können durch die Hinterlüftung als diffusionsoffene Dämmsysteme bezeichnet werden. Aufwändige Detaillösungen lassen dieses System bei kleinen Flächen oft unwirtschaftlich werden

Kostenrichtwert (brutto): 150,00 bis 170,00 €/m²

2.1.3 Wärmedämmputz

Wärmedämmputzsysteme bestehen i. d. R. aus einem wärmedämmenden Unterputz und einem Oberputz als Schutz vor Witterungseinflüssen. Um geringere Wärmeleitfähigkeiten als mit einem herkömmlichen mineralischen Oberputz zu erzielen, werden poröse Leichtzuschläge eingesetzt (mineralische Zuschläge: Perlite, Vermiculite, Blähton, etc.; organische Zuschläge: Polystyrol-Hartschaumkügelchen). Wärmedämmputzsysteme sind in der Regel (mit mineralischen Zuschlägen) als nicht brennbar eingeordnet. Das Putzmaterial passt sich allen Formen oder Unebenheiten an. Überall dort, wo herkömmlicher Putz zum Einsatz kommt, kann Wärmedämmputz seine Anwendung finden. Im Fachwerkbau oder bei der Sanierung von Fachwerkhäusern lässt sich Wärmedämmputz als Gefachfüllung oder zum Überputzen kompletter Wände einsetzen. Das Auftragen von Wärmedämmputz erfolgt meist maschinell – evtl. mehrlagig. Der Wärmedämmputz wird üblicher Weise in Dämmungsdicke von ca. 2 – 6 cm auf die bestehende Außenwand aufgebracht.



Systemaufbau von der vorhandenen Wand ausgehend:

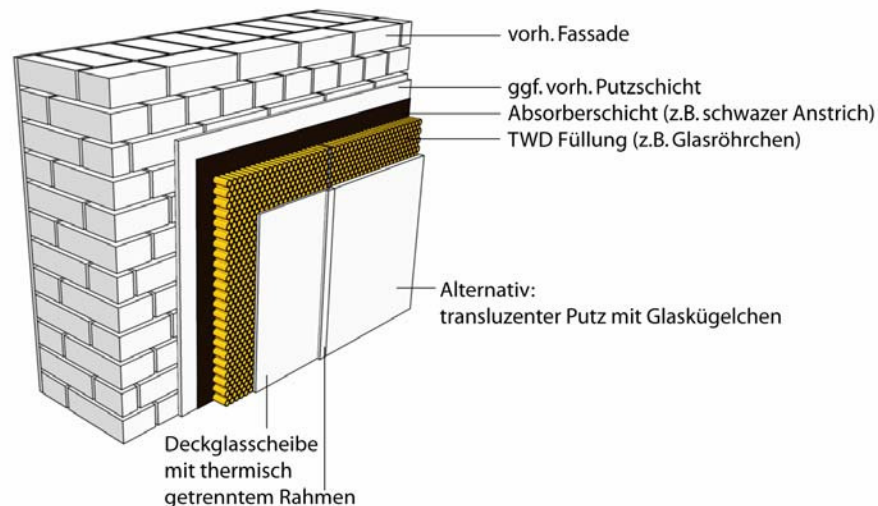
1. Polystyrol-Leichtputz in mineralischem Putz
2. evtl. Ausgleichsschicht
3. Deckputz

Der Dämmputz bringt als Einzelmaßnahme nur eine mittlere Dämmwirkung, stellt aber eine gute Möglichkeit für energetische Verbesserungen eines gesamten Systems dar. Durch die gute Modellierbarkeit ist der Wärmedämmputz besonders bei denkmalgeschützten Fassaden einsetzbar.

Kostenrichtwert (brutto): 60,00 bis 100,00 €/m²

2.1.4 Transparente Wärmedämmung (TWD)

Unter Transparenter Wärmedämmung (TWD) versteht man ein Wärmedämmmaterial mit einer hohen Lichtdurchlässigkeit. Meist werden hierzu wabenförmig strukturierte Kunststoffe eingesetzt. Das hinter der Wärmedämmung befindliche Mauerwerk speichert die Wärme und gibt sie zeitverzögert an den Innenraum weiter. Damit wird die Solarenergie zur Senkung des Heizwärmebedarfs genutzt. Als übliche Schichtdicken werden 10 bis 15 cm starke Dämmstoffe eingesetzt.



Systemaufbau von der vorhandenen Wand ausgehend:

1. Absorberschicht
2. TWD-Dämmung bspw. Glasröhrchen
3. Deckglas im Rahmen oder transluzenter Deckputz (diffusionsdicht)

Die horizontale Röhrchenstruktur ermöglicht die Nutzung der flach stehenden Wintersonnen und verhindert eine Überhitzung durch die wesentlich steiler stehende Sommersonne. Dieses Prinzip kann mit unterschiedlichen Konstruktionen genutzt werden. Eine Sonderform ist die schaltbare transparente Wärmedämmung, bei welcher eine zusätzlich angebrachte, regulierbare Verschattung den ungewollten Wärmeeintrag weiter reduziert.

Die wirtschaftliche Analyse zeigt, dass die transparente Wärmedämmung aufgrund der sehr hohen Investitions- und Folgekosten meist nicht mit herkömmlichen Wärmedämmungen konkurrieren kann. Hauptursache dafür sind die hohen Investitionskosten. Sie müssen zur Schaffung einer realen Alternative deutlich gesenkt werden. Durch die hohen Eingriffe in das äußere Erscheinungsbild ist die Transparente Wärmedämmung bei denkmalgeschützten Fassaden eher ungeeignet.

Kostenrichtwert (brutto): 150,00 bis 190,00 €/ m²

2.1.5 Vakuumisolationspaneel (VIP)

Vakuumdämmplatten (VIP) sind hocheffiziente Materialien zur Wärmedämmung. Gegenüber herkömmlichen Dämmmaterialien wird für die gleiche Wärmedämmwirkung eine 5 bis 10-fach geringere Dicke benötigt. Vakuumisolationsdämmungen werden bereits seit Jahrzehnten erfolgreich im Gerätebau eingesetzt und seit mehreren Jahren auch vermehrt im Baubereich. Durch die sehr hohe Dämmwirkung sind sie eine platzsparende Alternative zu herkömmlichen Dämmstoffen. Grundsätzlich bestehen Vakuumdämmplatten aus einem porösen Kernmaterial als Stützkörper und einer hochdichten Hülle zur Aufrechterhaltung des Vakuums. Durch Wärmeleitfähigkeiten von unter 0,004 W/mK lässt sich mit einer 2 cm starken Vakuumdämmplatte eine Polystyrolämmplatte mit einer Dicke von 20 cm ersetzen.

Bei der Anwendung im Gebäudebereich ist darauf zu achten, dass die Vakuumdämmplatten bei der Verarbeitung nicht durchstoßen, geschnitten oder beschädigt werden dürfen. Wird die Dämmung im Fußbodenbereich verwendet, empfiehlt es sich, über und unter der Vakuumdämmplatte eine Schutzschicht zu verlegen. Dafür ist eine Lage konventionelle Dämmung empfehlenswert, so dass Wärmebrücken der Fugen reduziert werden und die Begehbarkeit gewährleistet wird.



Einbau von Vakuumisolationspaneelen im Innenbereich als Fußbodendämmung...



und im Wandbereich

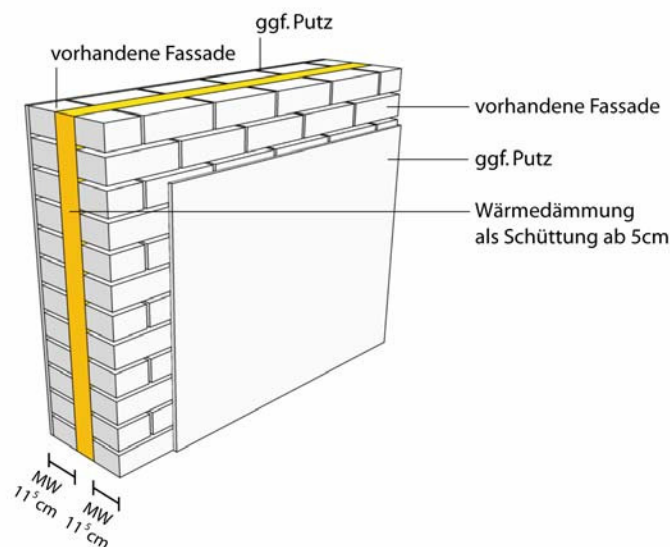
Die Dämmung im Wandbereich ist insbesondere durch die Befestigungsproblematik nicht einfach auszuführen. Des Weiteren wirken sich Wärmebrücken stärker als bei konventionellen Dämmsystemen aus. Als besonderer Vorteil kann hier durch den schlankeren Wandaufbau wertvolle Wohnfläche eingespart werden. Ein großes Hemmnis stellt bei der Anwendung von Vakuumdämmplatten im Fassadenbereich die fehlende bausichtliche Zulassung dar. Oftmals macht dies eine Zulassung im Einzelfall notwendig.

Kostenrichtwert (brutto): 200,00 bis 250,00 €/ m²

2.1.6 Kerndämmung

Im Gebäudebestand sind oftmals zweischalige Mauerwerkskonstruktionen vorzufinden. Hier kann eine Verbesserung der Wärmedämmung durch eine nachträgliche Kerndämmung erzielt werden. Bei einer nachträglichen Kerndämmung wird in die bestehende Luftschicht der zweischaligen Konstruktion ein geeignetes Dämmmaterial gefüllt. Dabei sollte die Luftschicht möglichst durchgehend sein und mindestens eine Dicke von 5 cm aufweisen. Im Vorfeld sollte eine sorgfältige Kontrolle der Hohlräume stattfinden. Hierfür können Probebohrungen und die Sichtkontrolle mittels eines Endoskops erforderlich sein.

Als Dämmmaterial eignen sich beispielsweise hydrophobierte Mineralfaserflocken oder auch Perlit-Granulate. In der Regel werden die Dämmmaterialien durch mehrere kleine Bohrungen in die Luftschicht eingeblasen. Die Bohrungen sind nach Abschluss der Arbeiten wieder zu verfüllen. Eine nachträgliche Kerndämmung verändert den Feuchte- und Wasserdampf-Austausch in der Außenwandkonstruktion. Das Risiko von Durchfeuchtungen ist unmittelbar abhängig von der Wasserdurchlässigkeit der Außenschale, der Art und Verarbeitung der Wärmedämmschicht und der baukonstruktiven Ausbildung der Anschlussdetails. Um Bauschäden zu vermeiden sollte eine nachträgliche Kerndämmung unbedingt von einer Fachfirma ausgeführt werden.



Systemaufbau von der vorhandenen Wand ausgehend:

1. Außenschale
2. Kerndämmung
3. Innenschale

Bei geeigneten Bestandskonstruktionen und bei sorgfältiger Ausführung stellt die nachträgliche Kerndämmung eine gute Möglichkeit dar, die Dämmwirkung von zweischaligen Außenwänden zu verbessern. Da keine äußerlichen Veränderungen notwendig sind, kann dieses Verfahren auch an denkmalgeschützten Fassaden angewendet werden. Auch ist für die Ausführung keine Baugenehmigung durch die Bauaufsicht notwendig.

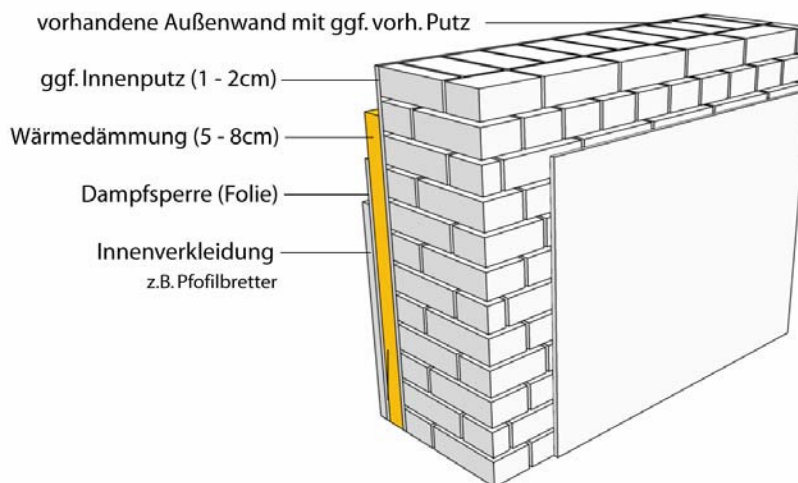
Kostenrichtwert (brutto): 10,00 bis 15,00 €/ m²

2.2 Innendämmung

Ist aus Denkmalschutz- oder Gestaltungsgründen eine Außendämmung nicht möglich, kann eine Verbesserung des Wärmeschutzes auch durch eine Innendämmung erfolgen. Im Gegensatz zu einer Außendämmung ist eine Innendämmung durch die Kondensatgefahr hinter der Dämmstoffebene aus bauphysikalischer Sicht nicht unproblematisch. Grundsätzlich lassen sich die Systeme für eine innen liegende Wärmedämmung in diffusionsdicht und diffusionsoffen unterteilen.

2.2.1 Diffusionsdichte Innendämmung mit Dampfsperre

Bei diffusionsdichten Innendämmsystemen ist auf der Innenseite der Wärmedämmung ein zusätzliche Dampfsperre bzw. Dampfbremse erforderlich. Diese Schicht stellt einen Widerstand gegen eindringenden Wasserdampf dar und verhindert somit die Entstehung von Kondensat hinter der Dämmebene. Die auf dem Markt angebotenen Ausführungsvarianten sind sehr vielfältig und reichen von Einzelmaterialien bis zu einbaufertigen Verbundplatten mit integrierter Dampfsperre. Die empfohlene Dämmstärke beträgt 6 bis 8 cm.



Systemaufbau von der vorhandenen Wand ausgehend:

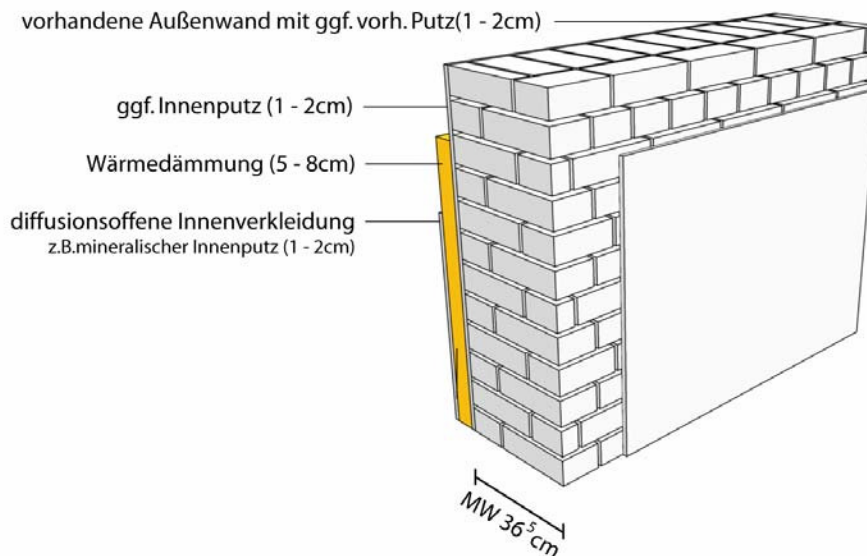
1. Dämmstoff
2. Dampfsperre
3. Innenputz

Bei diffusionsdichten Innendämmsystemen ist besonders auf die hohe Ausführungsqualität und Vermeidung von Durchstoßpunkten zu achten. Schadenstellen an der Dampfsperre oder fehlerhafte Anschlusslösungen führen in der Regel zu Bauschäden. Weitere Problempunkte stellen einbindende Innenwände dar, die beispielsweise mit Dämmkeilen abgeschlossen werden können.

Kostenrichtwert (brutto): 40,00 bis 60,00 €/ m²

2.2.2 Diffusionsoffene Innendämmung

Bei diffusionsoffenen Innendämmsystemen kann auf den Einsatz einer Dampfsperre verzichtet werden. Eine wichtige Voraussetzung ist die Verwendung kapillar leitfähigen Dämmmaterial. Der Dämmstoff muss in der Lage sein anfallende Feuchtigkeit wieder über die Bauteiloberfläche abzugeben. Ein Baustoff, der diese Eigenschaften erfüllt und erfolgreich eingesetzt wird, ist Kalziumsilikat. Ein weiterer Vorteil von Kalziumsilikat ist sein hohen pH-Wert, der zu einer Schimmelpilzresistenz führt. Durch den Verzicht auf eine Dampfbremse ist die Gesamtkonstruktion auch wesentlich unempfindlicher auf kleine Bauausführungsfehler, die sich nicht immer vermeiden lassen. Ebenfalls eignen sich natürliche Baustoffe wie Lehmgemische mit Pflanzenfasern als nachträgliche Innendämmung.



Systemaufbau von der vorhandenen Wand ausgehend:

1. Dämmstoff
2. Innenputz (abgestimmt auf Dämmstoff)

Mit Hilfe von Innendämmungen lassen sich die Oberflächentemperaturen einer Außenwand anheben und die Wärmeverluste um 50 bis 70% reduzieren. Bei richtiger Ausführung können Tauwasserbildung und Schimmelwachstum unterbunden werden. Im gleichen Maße wie bei diffusionsdichten Innendämmsystem ist auch auf die fachlich richtige Ausführung an aufgehenden Innenbauteilen wie Holzbalkendecken und Innenwänden zu achten. Insbesondere bei Holzbalkendecken besteht die Gefahr, dass durch eine Abkühlung und erhöhte Feuchtigkeit in der Außenwand eine Schädigung der Holzbalkenköpfe eintreten kann. Abschließend kann aber festgehalten werden, dass eine Innendämmung eine einfache und kostengünstige Möglichkeit darstellen kann, die bei ausreichender Information des Bauherrn auch in Eigenleistung erbracht werden kann.

Kostenrichtwert (brutto): 70,00 bis 100,00 €/ m²

3 Dämmmaterialien

In Deutschland werden pro Jahr ca. 35 Millionen m³ Dämmstoffe verarbeitet. Eine Vielfalt an Dämmstoffen wird auf dem Markt für unterschiedlichste Einsatzgebiete angeboten. Dämmstoffe werden aus den verschiedensten Materialien hergestellt (vom Altglas über Vulkangestein bis zur Schafwolle), und in zahlreichen Formen (Filz, Platte, Granulat usw.). Den idealen Dämmstoff gibt es bedauerlicherweise nicht. Synthetische Dämmstoffe stammen meist aus energieaufwändigen Herstellungsprozessen; die Rohstoffe hierfür sind nur sehr begrenzt verfügbar. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind jedoch nicht für jeden Einsatzzweck geeignet.

Für die Anwendung und Gebrauchstauglichkeit von Dämmstoffen sind das Feuchtigkeitsverhalten, das Brandverhalten, die Schalldämmung und die Wärmeleitfähigkeit entscheidend. Neben den am weitesten verbreiteten Dämmstoffen, Mineralwolle und Hartschaumstoff, nimmt in den letzten Jahren auch die Verwendung von ökologischen Dämmstoffen immer mehr zu. Den größten Marktanteil besitzen jedoch immer noch konventionelle Dämmstoffe.

Eine Wärmedämmung soll den Wärmedurchgang durch die Gebäudehülle reduzieren. Vereinfacht kann davon ausgegangen werden, dass mit geringerer Dichte die Wärmedämmung zunimmt. Die Dämmwirkung der unterschiedlichen Materialien wird mit der Wärmeleitfähigkeit beschrieben. Die Wärmeleitfähigkeit (λ) ist das Vermögen eines Stoffes, thermische Energie mittels Wärmeleitung in Form von Wärme zu transportieren. Je kleiner der λ -Wert eines Dämmmaterials, desto größer ist seine Wärmedämmung. Nach der Wärmeleitfähigkeit kann ein Dämmstoff einer Wärmeleitfähigkeitsgruppe (WLG) zugeordnet werden. Demnach besitzt ein Dämmstoff, der zur WLG 040 gehört, eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Die thermischen Eigenschaften eines Bauteils werden durch den Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) angegeben. Der so genannte U-Wert (früher k-Wert) gibt an, welche Wärmeleistung im stationären Zustand über verschiedene Wärmetransportvorgänge durch eine Fläche von 1 m² fließt, wenn der Temperaturunterschied zwischen innen und außen 1 Kelvin beträgt. So ist der U-Wert einer Außenwandkonstruktion von den Schichtdicken und den λ -Werten der einzelnen Bauteilschichten abhängig.

Neben der Wärmeleitfähigkeit ist auch die Wärmespeicherkapazität von Bedeutung. Die Speicherkapazität eines Dämmmaterials ist neben anderen Faktoren im Wesentlichen von der Rohdichte abhängig. Insbesondere beim sommerlichen Wärmeschutz kann eine hohe Wärmespeicherkapazität eines Dämmstoffes die tageszeitlichen Wärmespitzen abpuffern.

Die folgende Tabelle soll einen Überblick über die Vielzahl von verschiedenen Dämmmaterialien und deren wichtigsten Eigenschaften geben. Des Weiteren werden die typischen Anwendungsgebiete dargestellt.

Übersicht und Eigenschaften der Dämmstoffe						
Dämmstoff		Herstellung/Material	Wärmeleitfähigkeit λ W/(m·K)	Brandverhalten	Lieferform	Anwendung
Mineralwolle	Glaswolle	Schmelze aus bis zu 70% Altglas, Quarz-sand, Soda und Kalkstein wird zu Fasern geschleudert; Zusatz v. 4 bis 8% Kunstharzbinder zur Form- und Feuchtestabilisation	0,030-0,040	nicht brennbar	Matte, Filz	Dach, Fassade (WDVS), Decke, Fußboden <i>auf Hinweis "KI 40", "Blauer Engel" oder RAL-Gütezeichen achten</i>
	Steinwolle	Schmelze aus 25% Altglas, Feldspat, Dolomit, Sand und Kalkstein oder 30% Recycling-Formsteine, Basalt und Diabas wird zu Gespinst geschleudert; Zusatz von 0,7 bis 3,2% Kunstharzbinder zur Form- und Feuchtestabilisation	0,030-0,040	nicht brennbar, Brandschutzklassen A, B1	Matte, Filz	Dach, Fassade, Decke, Fußboden <i>auf Hinweis "KI 40", "Hohe Biolöslichkeit" oder RAL-Gütezeichen achten</i>
Polystyrol	EPS	Erdölprodukt aus expandiertem Partikel-schaum, wird zu 98% aus Polystyrol hergestellt, das mit Pentan aufgeschäumt wird	0,035-0,040	leicht entflammbar	Platten	Dach, Fassade (WDVS), Decke, Fußboden <i>unverrottbar, nicht UV-beständig</i>
	XPS	Erdölprodukt aus Extruderschaum, wird aus Polystyrol hergestellt, welches mittels CO ₂ (früher H-FCKW) aufgeschäumt und in Form gepresst wird	0,030-0,040	leicht entflammbar	Platten	Kelleraußenwand, Dach <i>verrottungsfest, alterungsbeständig, geschlossenzellig, nicht UV-best.</i>
PUR-Hartschaum		Erdölprodukt, welches aus der chem. Reaktion von Polyolen und Polyisocyanat unter Zusatz eines Treibmittels hergestellt wird	0,025-0,030	leicht entflammbar	Platten	Dach (Flachdach, Steildach: Aufsparrendämmung) <i>unverrottbar, geschlossenzellig</i>
Holzfasern		wird aus Nadelholzabfall und Schwachhölzern mit dem holzeigenen Bindemittel Lignin hergestellt	0,040-0,055	leicht entflammbar	Matte, Filz	Dach, Fassade (WDVS), Leichtbaukonstruktionen, in Verbindung mit Schütungen
Holzwolle		Holzwolleleichtbauplatten werden aus lang-faseriger Fichten- oder Kiefernholzwolle hergestellt	0,090	schwer entflammbar, Brandschutzklasse B1	Platten	Verkleidungen, Putzträger, sommerlicher Wärmeschutz
Kork		Korkschröt wird mit Wasserdampf expandiert, unter Ausnutzung natürlicher Harze zu Korkblöcken "gebacken" u. zu Platten	0,045	leicht entflammbar, Brandschutzklasse B2	Platten	Fußboden, Innenwanddämmung
Flachs		wird nach Entfernen der Bast-schicht zu einem Faserservlies verarbeitet; gehört zu den natürl. Zellulosefasern; Zusatz von Borsalz als Brandschutz	0,040	leicht entflammbar	Matte, Filz	Fassade (Kerndämmung), Dach (Zwischen-sparrendämmung)

Zellulose	Platten	als Brandschutz werden ca. 12 Masse-% Aluminiumsulfat, Borax und Borsäure zugegeben	0,040	leicht entflammbar Brandschutzklasse B2	Platten	Dach (Zwischensparrendämmung), Fassade (Holzständerkonstruktionen), Innenwanddämmung, Deckenflächen; <i>Platten fasn beim Zuschneiden aus, nicht belastbar</i>
	Flocken	wird aus Altpapier durch ein mechanisches Zerkleinerungsverfahren hergestellt; als Brandschutz werden ca. 12 - 20 Masse-% Borsäure und Borax zugegeben	0,040-0,045	leicht entflammbar	Schüttung	Fassade (Kerndämmung), Dach (Zwischensparrendämmung)
Hanf		Faservlies mit vergleichbaren Eigenschaften wie Flachs; Borsalz-Zusatz als Brandschutz	0,040-0,045	leicht entflammbar	Matte, Filz	Dach, Decke, Fußboden
Kokosfasern		hochelastische Fasern der Kokoshülle, sind innen hohl, werden ohne Zusätze zu einem gleichmäßigen Vlies verdichtet; Zusatz Ammoniumsulfat bzw. Borsalz als Brandschutz	0,045	leicht entflammbar	Matte, Filz	Ausstopfen von Restflächen <i>weitgehend feuchteresistent, feuchteausgleichend</i>
Baumwolle		Baumwolle wird zu vliesartigen Matten verarbeitet (bis 200 mm); teilw. auch als Flocken	0,040	brennbar, teilweise Flammschutz	Matte, Filz, Flocken	Dach (Zwischensparrendämmung) anfällig gegen Feuchtigkeit, durch Schimmelpilz gefährdet, problematischer Anbau (Pestizide)
Schafwolle		gewaschene Schafschurwolle mit Zusatz von Borsalz oder eines Harnstoffderivates (Mottensicherheit) und ca. 3-5 Masse-% Borsalz als Brandschutz; herstellerabhängig ggf. mit Zusatz von Polyester-Stützfasern	0,040	leicht entflammbar	Matte, Filz	Dach (Dachschrägen), Fußboden, Innenwanddämmung, <i>weitgehend fäulnisresistent</i>
Perlite		unter großer Hitze aus aufgeschäumtem vulkanischem Gestein hergestellt, durch Zusatz von Silikonen wasserabweisend	0,050-0,055	nicht brennbar	Schüttung	Fassade (Kerndämmung), Decke, Fußboden <i>nichtbrennbar, ungeziefersicher</i>
Schaumglas		aus aufgeschäumten Silikaten hergestellt; besteht aus geschlossenzelligen Glaszellen	0,040-0,060	nicht brennbar	Platten	Dach (Flachdach), Perimeterdämmungen <i>vollständig dampfdicht, rel. teuer</i>
Kalziumsilikat		poröse Kalksilikate werden mit Zellstoff vermischt und mit Wasserdampf gehärtet; hoher pH-Wert von ca. 14	0,050-0,065	nicht brennbar, Brandschutzklasse A2	Platten	bei problematischen Innenwanddämmungen, Decke, Fußboden <i>puffert Feuchtigkeit, frei von Schimmelpilzbefall</i>

4 Anwendungsbeispiele

4.1 Referenzbeispiel Innendämmung: Mittelschule Ehrenfriedersdorf

Die repräsentative Schaufront der Schule liegt in einer Sichtachse mit der Kirche und dem Rathaus. Inmitten der von eher einfachen Bauten geprägten Bergbaustadt fällt das im Stil der Neorenaissance bzw. des Neoklassizismus erbaute Schulgebäude auf. Seine reich gegliederte und wohlproportionierte Hauptfassade geben dem Bau einen vornehmen Charakter. Zur Jahrhundertwende empfand man diesen Ausdruck auch für eine kleinstädtische Bürgerschule als angemessen. Nach 1870 entstand eine Vielzahl neuer Schulgebäude, die den Anforderungen nach besserer und breiterer Bildung Rechnung trugen und räumliche wie hygienische Verbesserungen mit sich brachten.



Sanierte Fassade der Mittelschule 2007

Es ist davon auszugehen, dass Natursteinoberflächen (Gewände, Simse, Bänder, Bruchsteinoberflächen) steinsichtig, also ungeschlämmt und farblos blieben. In Fortführung dieser Annahme standen die hellen Putz- und Steinflächen in Kontrast zum kräftigen Rot der Sockelverblendung aus Porphyr und wahrscheinlich auch zum dunklen Anstrich der Holzfensterrahmen.

4.1.1 Zustand vor der Sanierung

Putzschäden außen und Schimmelflecken an den Fensterlaibungen innen sowie starke Salzausblühungen im Kellergeschoss wiesen auf die Notwendigkeit einer umfassenden Instandsetzung des über hundert Jahre alten Gebäudes hin.



Feuchteschäden und Ausblühungen im Souterrain der Mittelschule

Im Zuge der Sanierungsmaßnahmen erfolgte die nachträgliche Herstellung einer Horizontalabdichtung in den Wandquerschnitten der Kelleraußenwand Ost sowie in den angrenzenden Abschnitten der Außenwände Nord und Süd. Zu dieser Horizontalabdichtung existiert heute eine Dokumentation hinsichtlich ihrer Lage.

Weiterhin erfolgte über die systematische Messung von Feuchte-Kennwerten auf den Bauteiloberflächen eine Prüfung, inwieweit bereits eine Abtrocknung der Wandoberflächen festzustellen war. Neben der Trockenlegung des Kellers wurde die denkmalgerechte Aufarbeitung des Außenputzes durchgeführt.



Schäden an der Fassade der Mittelschule



Nordost-Ecke nach Behebung der Schäden

4.1.2 Sanierungsmaßnahmen zur nachträglichen Dämmung

Da die mit Sandstein eingefassten Fensterlaibungen bereits im Bestand Feuchteschäden aufwiesen, fiel die Entscheidung zu Gunsten einer diffusionsoffenen und kapillaraktiven Innendämmung aus. Die hierfür eingesetzten Mineralstoffplatten sind von innen anzubringen. Eine durch das Institut für Baukonstruktion der TU Dresden geleitete Untersuchung zeigte, dass dieses Dämmmaterial eine verträgliche Variante für die empfindlichen Holzbalkendecken darstellt.

Um Kondensatansammlungen an den Fensteranschlüssen in Zukunft auszuschließen, erfolgte die Dämmung der Laibungen und Stürze mit dem hygrisch stark wirksamen Kalziumsilikat. Nach Erfahrungen aus der Baupraxis sind Fehler bei der Verarbeitung trotz intensiver Bauüberwachung kaum zu vermeiden. Ein diffusionsoffenes System, wie die verwendete Kalziumsilikatplatte, verhält sich bei Verarbeitungsmängeln gutmütig; diffusionsdichte Systeme hingegen führen schon bei kleineren Einbaufehlern häufig zu erheblichen Bauschäden. Der sommerliche Wärmeschutz des Schulgebäudes ist durch die sehr dicken Außenmauern der Außenwandkonstruktion gewährleistet.



Einbau von Kalziumsilikat-Innendämmung

Eine Zwangslüftung in den Klassenräumen kam nicht zum Einsatz, stattdessen werden Betreiber und Nutzer vor Ort auf die Notwendigkeit eines ausreichenden Luftwechsels hingewiesen. Dieser Hinweis auf notwendige Rumlüftung konnte mit einem didaktischen Konzept verbunden werden, indem in den Räumen kleine Hygrometer auf die Raumluftfeuchte hinweisen. Befindet sich der Zeigerausschlag im roten Bereich, ist ein Lüften der Räume erforderlich. Da die Messgeräte auch für Schüler ablesbar sind, kann ein bewusstes Lüftungsverhalten trainiert werden.

Zur thermischen Verbesserung der Gebäudehülle war der Austausch der zum Teil undichten Fenster aus den 1970er Jahren gegen Fenster mit Wärmeschutzverglasung in historisch gestalteten Holzrahmen unumgänglich.



Nicht originale, vormalige Fensterteilung



Fensterteilung nach der Sanierung

Im Rahmen der Forschungsarbeit entstand das technische Grundkonzept, welches als zentralen Punkt den nachhaltigen Betrieb und eine wirtschaftlichen Kriterien folgende Erhaltung des denkmalgeschützten Schulgebäudes vorsieht. Auf Grund der Geschichte der Stadt Ehrenfriedersdorf als wichtiger sächsischer Bergbaustandort existiert ein großes stillgelegtes Stollensystem, welches zum Teil kontrolliert geflutet wurde. Das Grubenwasser mit einer über das Jahr konstanten Temperatur von über 10 °C bietet eine geeignete Wärmequelle für eine elektromotorische Wärmepumpe.

4.2 Referenzbeispiel Außendämmung: Kindertagesstätte „Sonnenhügel“, Ehrenfriedersdorf

Die Kindertagesstätte „Sonnenhügel“ wurde 1971 als Kombinierte Kindereinrichtung für Kinderkrippe und Kindergarten erbaut. Die Projektierung dieses Gebäudes basiert auf Typenkatalogen für Kindergärten der ehemaligen DDR. Sie befindet sich in direkter Umgebung zur Grund- und Mittelschule und unweit des Stadtzentrums mit dem Rathaus.



Kindertagesstätte Ehrenfriedersdorf 2007 Darstellung Fotos des Bestands (vorh.),

Das Gebäude ist zweigeschossig und zum großen Teil mit einem nicht beheizten Installationsgeschoss unterkellert. Die Einrichtung besteht aus einem Hauptgebäude, in welchem die Kinderkrippe und der Kindergarten untergebracht sind, und einem mittig angeordneten Seitenflügel mit dem Wirtschaftsteil. Verbunden werden beide Baukörper mit einem Zwischenbau.

4.2.1 Zustand vor der Sanierung

In der Kita gibt es an verschiedenen Außenwandbauteilen Schimmelprobleme mit unterschiedlichen Ursachen. Ein großer Teil der Schimmelfelder ist sichtbar und durch Fotos belegt. Es gibt aber auch Schimmelfelder, welche zum Zeitpunkt der Begehung (Oktober 2006) nicht sichtbar waren. Die nicht sichtbaren Schimmelfelder wurden mit einem Schimmelreinigungsmittel behandelt und anschließend mit Farbe überstrichen. Diese Prozedur wird ständig, meist im Jahresabstand, wiederholt. Sie ist nur eine Symptom-, aber keine Ursachenbekämpfung, denn die eigentlichen Ursachen wurden dabei nicht beseitigt.



Die Abbildung zeigt exemplarisch verschiedene Schimmelfelder im Gebäude.

4.2.2 Sanierungsmaßnahmen zur nachträglichen Dämmung

Die Sanierung der Fassade soll eine nachträgliche Wärmedämmung in Form einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade umfassen. Vorhangfassaden stellen eine robuste und gestalterisch vielfältige Alternative zu einem Wärmedämmverbundsystem dar. Für die Bekleidung der Kindertagesstätte sollen farbige, mittelgroße Faserzementplatten verwendet werden. Die Plattengestaltung stellt einen Farbverlauf von Gelb über Grün, Blau und Rot zurück ins Gelbe dar. Die Eingangsbereiche und der Zwischenbau werden analog zu der Gesamtfassade mit einer Vorhangfassade versehen. Um diese Bereiche optisch von der Hauptfassade ab zu setzen, werden den Platten graue Farben zugeordnet.



Ansicht Südost-Fassade



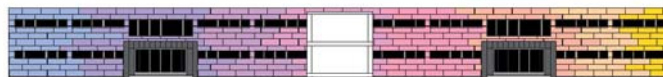
Ansicht Nordost-Fassade mit Eingangsanbau



Ansicht Südost-Fassade Wirtschaftstrakt



Ansicht Nordost-Fassade ohne Eingangsanbau



Ansicht Nordwest-Fassade ohne Wirtschaftstrakt



Ansicht Südwest-Fassade ohne Eingangsanbau



Ansicht Nordwest-Fassade mit Wirtschaftstrakt



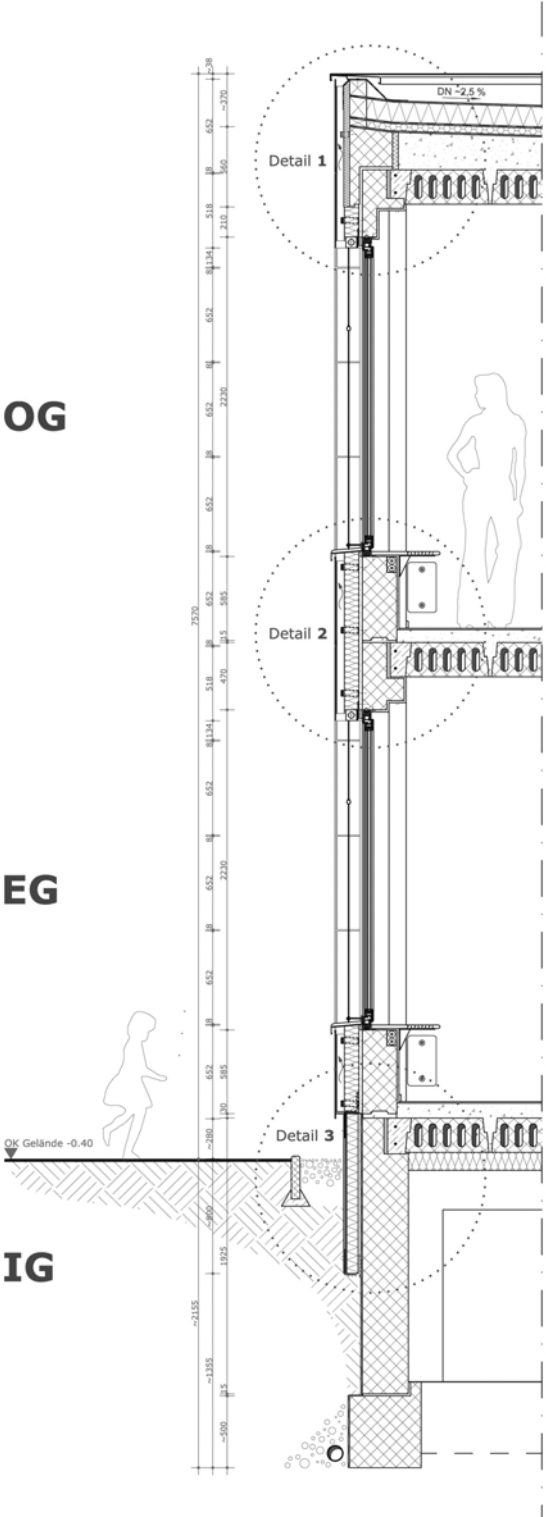
Ansicht Südwest-Fassade mit Eingangsanbau

Eine vorgehängte hinterlüftete Fassade bietet viele Gestaltungsmöglichkeiten und ist unempfindlich gegenüber Verschmutzungen. Das Fassadenkonzept für die Kita sieht eine Vorhangfassade aus farbigen, mittelgroßen Faserzementplatten vor. Für den geplanten Farbverlauf der Kindertagesstätte bietet sich die Fassadenplatte Elementa von der Firma Eternit an. Die Platten werden einheitlich hergestellt und anschließend mit den gewünschten Farben beschichtet. Die Firma bietet auch das bunte Lackieren der an das Elementa-System angepassten Niete an, auf Grund der geringen Stückzahlen ist aber zu prüfen, ob eine Kostenersparnis möglich ist, wenn dies von einer ortsansässigen Firma durchgeführt wird.

Die Unterkonstruktion besteht aus rostfreien Abstandshaltern und vertikal verlaufenden Tragprofilen aus Aluminium. Die Faserzementplatten werden durch Niete an den Tragprofilen befestigt. Dadurch ergibt sich ein Raster von 66 cm von Profilachse zu Profilachse. Die Fugen zwischen den Fassadenplatten werden mit einem Abstand von 8 mm offen ausgeführt. Zur thermischen Verbesserung der Außenwände werden zwischen den Abstandhaltern 14 cm starke Mineralfaserdämmplatten mit einer spezifischen Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W/(mK)}$ angebracht. Bei der Wahl der Dämmplatten sollte darauf geachtet werden, dass die Fassadenkonstruktion diffusionsoffen gestaltet werden muss, damit vorhandene Feuchtigkeit aus der Konstruktion entweichen kann. Um die Dämmung vor Beschädigung und Verschmutzung zu schützen, sollten die Platten mit einer diffusionsoffenen Folie beschichtet sein. Ein nachträgliches Anbringen der Folie ist ebenfalls möglich, erhöht aber den Fertigungsaufwand auf der Baustelle. Die Montagefugen der Bauteilelemente müssen mit einer Überlappung von mindestens 10 cm von den Dämmplatten überdeckt sein, elastische Trennfugen sind dagegen unbedingt freizuhalten. Dämmplattenstöße an Fensterkanten sollten vermieden werden. Die Lüftungsebene zwischen der Dämmung und den Fassadenplatten soll 5 cm betragen, die Abstandshalter müssen entsprechend groß gewählt werden. Die Stahlbeton-Gesimselemente über den Obergeschossfenstern der Längsfassaden stehen 8 cm über die übrigen Fassadenelemente vor, so dass in dem Bereich der zwei oberen Faserzementplatten eine Wärmedämmung mit einer Stärke von nur 4 cm und eine Luftschicht von 3 cm ausgeführt werden kann. Der U-Wert der Wandkonstruktion verbessert sich durch die 10 cm dicke Wärmedämmung auf $0,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Der Anschluss der Vorhangfassade an die Dachkonstruktion wird offen ausgeführt, um die Luftzirkulation hinter den Fassadenplatten zu ermöglichen. Für den oberen Abschluss der Fassade wird an den Längsfassaden eine etwa 17 cm hohe Attika ausgebildet, so dass sie bündig mit der Giebelwand endet. Dafür wird ein Holzbalken über der vorhandenen Dachkonstruktion befestigt. Die Fassadendämmung wird bis zum oberen Abschluss der so entstandenen Attika geführt. Diese Konstruktion wird durch eine Bitumenbahn abgedichtet und mit einem Abschlussblech gesichert. An diesem Blech wird abschließend ein weiteres, mindestens 1 mm starkes Blech befestigt, welches maximal um 4 cm über die Platten der Vorhangfassade auskragt, um das Eindringen von Regen in die Konstruktion zu verhindern, und einen maximal 4 cm hohen Abstand zu den Platten hat. Da die Faserzementplatten über den Attikarand hinausragen werden, muss das Blech so um die Platten herumgeführt sein, dass ein Luftstrom möglich ist, aber kein Regenwasser in die Konstruktion gelangen kann. Um das Blech genügend gegen Abheben zu sichern, wird es hinten und vorne an das Attikablech angenietet bzw. geschraubt und nicht wie üblich umgekantet.

Um die Bildung einer Wärmebrücke an den oberen Geschosskanten der Giebelwände zu vermeiden, muss die Hinterseite der vorhandenen Attika mit einer Wärmedämmung versehen werden, soweit dies im Zuge der Dachsanierung noch nicht ausgeführt wurde. Andernfalls werden insbesondere in den nordwestlich gelegenen Räumen die vorhandenen Feuchtigkeitsprobleme nicht vollständig beseitigt.



Schnitt durch die Fassade.

Der untere Abschluss der Vorhangfassade wird durch das Weiterführen der Wärmedämmung in frostfreie Bereiche unterhalb der Geländeoberkante ausgebildet. Ab einer Höhe

von etwa 20 cm über dem Gelände wird der Sockelbereich mit einer Perimeterdämmung mit Faserzementplattenbekleidung ohne Lüftungsschicht ausgebildet. Die Dämmung muss mindestens 80 cm ins Erdreich geführt werden und mit einer Drainschicht und einem Filterfließ gegen die angrenzende Auffüllung gesichert werden. Falls notwendig, sollte im gleichen Arbeitsgang eine Drainageleitung und die Entwässerungsvorrichtungen für die Eingangsbereiche eingebracht werden.

Die Kellerdecke bildet die untere Abgrenzung der thermischen Hülle. Diese trennt das beheizte Erdgeschoss von dem unbeheizten Installationsgeschoss. Die Sanierung der Decke erfolgt durch das Anbringen von 10 cm Dämmung mit einer Wärmeleitfähigkeit von mindestens 0,04 W/(mK) an der Deckenunterseite. Der U-Wert des neuen Deckenaufbaus liegt dann bei 0,3 W/(m²K). Das Installationsgeschoss bietet eine ausreichende Höhe für eine Montage der Dämmplatten. Die Dämmung wird, je nach Material und Hersteller verklebt und / oder verdübelt. Die Arbeiten können unabhängig von den übrigen geplant und durchgeführt werden, da keine Anschlüsse oder Änderungen durch Nachfolgearbeiten zu erwarten sind.

Die Holz-Verbundfenster mit einem U-Wert von 2,7 W/(m²K) werden durch Kunststoffenster mit einer Wärmeschutzverglasung ersetzt. Der Rahmen besteht aus Kunststoff mit einem Fünfkammerprofil (U-Wert für Rahmen 1,3 W/(m²K)). Die Wärmeschutzverglasung besteht aus einem 2-Scheiben-Isolierglas (2 x 4 mm Floatglas mit 16 mm Scheibenzwischenraum). Die hier verwendete Wärmeschutzverglasung erreicht einen Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) für Glas von 1,1 W/(m²K). Nach DIN V 4108 Teil 4 Tab. 8 ergibt sich in Kombination aus Rahmen und Glas ein U-Wert von 1,3 W/(m²K) für die Gesamtfensterkonstruktion.

Die vorhandenen Fenster sind bauphysikalisch ungünstig angebracht. Die neuen Fenster werden fassadenbündig eingesetzt, der umlaufende Fensteranschlag von 6 cm kann deshalb nicht mehr genutzt werden. Zusätzlich wird der Laibungsbereich gedämmt und die Kunststoffrahmen weisen breitere Profile auf als die vorhandenen Holzfenster. Beides führt zu einer Verringerung der Glasflächen. Um dem entgegen zu wirken, wurde die Fensteraufteilung umgeplant, so dass die Lüftungsmöglichkeiten zwar bestehen bleiben, die einzelnen Fensterflügel aber zum Teil größer werden und nicht zum Lüften benötigte Flügel feststehend ausgebildet werden. Bei der Fenster-Umgestaltung wurde darauf geachtet, dass sich die leichten Innentrennwände weiterhin hinter Fensterzwischenpfosten befinden und dass die zum Lüften benötigten Kipp- und Drehflügel bestehen bleiben.

Aufgrund der Nutzung der Windfänge als Aufenthaltsraum müssen diese, wie die angrenzenden Bereiche, vollständig gedämmt werden. Auf den vorhandenen Dachaufbau, welcher einen U-Wert von 1,85 bzw. 1,87 W/(m²K) aufweist, wird eine 14 cm dicke Wärmedämmung aus EPS aufgebracht. Als Abdichtung dient eine Lage Dampfdruckausgleichsbahn und eine Lage Polymerbitumenschweißbahn als oberste Schicht. Der U-Wert wird auf 0,24 W/(m²K) verbessert und entspricht damit dem geforderten Wert der Energieeinsparverordnung.

5 Literatur

Ahnert, Rudolf; Karl H. Krause: Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 – Band 1. 6. Auflage. Berlin : Verlag Bauwesen, 2000

Bundesarbeitskreis Altbauerneuerung (BAKA) e. V.: Bauen im Bestand. Köln : Verlag Rudolf Müller, 2006

Fechner, Jens(Hrsg.): Altbau Modernisierung – Der praktische Leitfaden. Wien: Springer Verlag, 2002.

Feist, Wolfgang: Primärenergie- und Emissionsbilanzen von Dämmstoffen, Primärenergieinhalt von Baustoffen - Primärenergieeinsparung durch Wärmeschutz - Gesamt-Primärenergie-Bilanz - Emissionen von Dämmstoffen - ökonomisch sinnvolle Dämmstoffstärken, Darmstadt: IWU, 1986

Jakubetz, Sven.: Maßnahmen bewerten: Energetische Sanierungsmaßnahmen. In: Tagungsband; Energieeffiziente Sanierung von Baudenkmalen und Nichtwohngebäuden; Institut für Baukonstruktion der Technischen Universität Dresden; Dresden 2007. 34.

Ladener, Heinz: Vom Altbau zum Niedrigenergiehaus - energetische Gebäudesanierung in der Praxis. Staufen bei Freiburg: Ökobuch-Verlag, 1997

Reyer, Eckhard: Kompendium der Dämmstoffe. 3., korr. und erw. Auflage. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl., 2002

Steinmüller Bernd; Witta Ebel (Hrsg.): Arbeitskreis Energieberatung, Reihe "Nachhaltige Gebäudesanierung" Wärmedämmung und Energieeinsparung im Fassadenbereich - Protokollband zum Workshop am 16. Juni 1999: Bedeutung der Fassadendämmung - Überblick über die Dämmsysteme - Fassadendämmung bei historischen Gebäuden - Nachträglicher Einbau einer Kerndämmung - Praktische Erfahrungen bei WDVS - Dämmputz und Innendämmung - Transparente Wärmedämmung. Darmstadt: IWU, 1999

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg.); Planungsbüro Schmitz (Hrsg.); Bundesarchitektenkammer (Hrsg.): Energiegerechtes Bauen und Modernisieren. Grundlagen und Beispiele für Architekten, Bauherren und Bewohner. Basel : Birkhäuser, 1996