

Fassadensysteme: Wärmedämmverbundsysteme und Alternativen

Dalibor Baresic

Vorgelegt am
Institut für Hochbau

Betreuer

Univ.-Prof. Mag. Dipl.-Ing. Dr.iur. Dr.techn. Peter Kautsch
und
Oberrat Dipl.-Ing. Heinz Ferk

Graz am 24. März 2019

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

(Unterschrift)

Anmerkung

In der vorliegenden Masterarbeit wird auf eine Aufzählung beider Geschlechter oder die Verbindung beider Geschlechter in einem Wort zugunsten einer leichteren Lesbarkeit des Textes verzichtet. Es soll an dieser Stelle jedoch ausdrücklich festgehalten werden, dass allgemeine Personenbezeichnungen für beide Geschlechter gleichermaßen zu verstehen sind.

Kurzfassung

Unter Fassade wird die äußere Hülle eines Gebäudes verstanden, deren wesentliche Aufgabe der Schutz vor Umwelteinflüssen ist. Zur Schutzfunktion können eine Vielzahl an Anforderungen und Bedingungen hinzukommen, die einerseits vom Gesetzgeber und andererseits z.B. vom Bauherrn vorgegeben werden. Die früher größtenteils monolithischen, einschaligen Konstruktionen wurden nach und nach durch schlankere Tragkonstruktionen mit außen liegender Wärmedämmung ersetzt. Dies begründet sich in der stetigen Entwicklung immer höherer wärmeschutztechnischer Standards. Diese Standards sind nötig, um die energiepolitische Ziele wie den Klimaschutzplan 2050 in Europa umzusetzen. Dabei spielt die energetische Sanierung der Bestandsgebäude eine wesentliche Rolle, da über ein Drittel des Energieverbrauchs in Europa auf den Gebäudesektor entfällt. Vor allem die Fassade kann einen großen Beitrag zur Energieverbrauchssenkung leisten. Aufgrund der hohen Nachfrage nach Dämmstoffen haben Hersteller ihre Produktpalette immer weiter ausgebaut. Heutzutage kann bei der Wahl einer Fassade zwischen verschiedenen Systemen und Dämmstoffen gewählt werden. Jedoch hat jedes System sowie jeder Dämmstoff spezifische Vor- und Nachteile. Beim Wärmedämmverbundsystem (WDVS) wurden insbesondere die Nachteile in den letzten Jahrzehnten häufig angeführt. Obwohl eine Vielzahl an Dämmstoffen am Markt erhältlich ist, ist EPS nach wie vor der am häufigsten eingesetzte Dämmstoff. Der Grund dafür liegt in den geringen Herstellungskosten, da diese häufig das relevante Entscheidungskriterium bei der Wahl eines Fassadenaufbaus darstellen. Einige Alternativen zu EPS weisen entscheidende Vorteile auf, wenn es um Aspekte wie Brandschutz oder Recyclingfähigkeit geht. Neben dem Wärmedämmverbundsystem gibt es noch weitere Fassadensysteme, die ebenfalls mit verschiedenen Dämmstoffen kombiniert werden können. Ein Vergleich der Lebenszykluskosten bringt hervor, dass eine WDVS mit EPS nicht zwingend den günstigsten Fassadenaufbau darstellt, wenn sämtliche Kosten während der Nutzungsdauer eines Gebäudes berücksichtigt werden. Daraus kann abgeleitet werden, dass ein Umdenken in der Bauindustrie nötig ist, damit Bauherren sich nicht ausschließlich aufgrund der Herstellungskosten für einen Fassadenaufbau entscheiden.

Abstract

The facade is the outer shell of a building whose main task is to protect against environmental influences. The protective function can be supplemented by a multitude of requirements and conditions, which are specified both by the government and by the client. The previously mostly monolithic, single-shell structures were gradually replaced by slimmer structures with external thermal insulation. The reason therefore is the constant development of higher standards for heat protection of buildings. These standards are necessary to be able to implement energy policy plans such as the call from the European Commission for a climate neutral Europe by 2050. The energetic refurbishment of existing buildings plays a key role here, since over one third of energy consumption in Europe falls on the building sector. The facade can make a major contribution to reducing energy consumption. Due to the high demand for insulating materials, manufacturers have expanded their product range. Nowadays you can choose between a wide range of systems and insulating materials. Every system and every insulating material has its advantages and disadvantages. In recent decades the disadvantages of External Thermal Insulation Composite System (ETICS) have been often mentioned. Although a variety of insulation materials are available on the market, EPS is still the most used insulation material. The reason for this lies in the low production costs, since these are often the relevant decision criteria in the choice for a facade system. Some alternatives to EPS have significant advantages when it comes to criteria such as fire protection or recyclability. In addition to the thermal insulation composite system, there are other facade systems that can also be combined with various insulation materials. A comparison of life cycle costs shows that ETICS with EPS is not necessarily the cheapest facade system, taking into account all costs during the life of a building. From this it can be seen that a rethinking in the construction industry is necessary, so that building contractors do not decide for a facade system purely on the basis of the manufacturing costs.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mir während meiner Masterarbeit und meines Studiums begleitet haben.

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Mag. Dipl.-Ing. Dr.iur. Dr.techn. Peter Kautsch und Herrn Oberrat Dipl.-Ing. Heinz Ferk, dessen Ratschläge einen wesentlich Beitrag zur Masterarbeit geleistet haben.

Besonderer Dank gebührt meiner ganzen Familie für die langjährige finanzielle, intellektuelle und emotionale Unterstützung, die mir eine wundervolle Studienzeit ermöglicht hat.

Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei meinen Freunden und Studienkollegen, die mich während des Studiums unterstützt haben und immer ein offenes Ohr hatten.

Inhaltsverzeichnis

1	Anlass und Aufgabenstellung	1
1.1	Entwicklungsgeschichte der Wärmedämmungen	1
1.2	Entwicklung der wärmeschutztechnischen Standards	5
2	Gründe für wärmegeämmte Fassaden	10
2.1	Winterlicher Wärmeschutz	14
2.2	Sommerlicher Wärmeschutz	14
2.3	Wirtschaftlichkeit	15
3	Dämmstoffmarkt	17
3.1	Europa	17
3.2	Österreich	21
4	Anforderungen an eine Fassade	23
4.1	Architektonische Anforderungen	25
4.2	Anforderungen aus der Gebäudenutzung	27
4.2.1	Abgrenzung	27
4.2.2	Behaglichkeit	27
4.2.3	Tragsicherheit und Lastabtragung	33
4.3	Schutzwirkung	34
4.3.1	Wärmeschutz	35
4.3.2	Feuchteschutz	39
4.3.3	Baulicher Feuchteschutz	41
4.3.4	Brandschutz	43
4.3.5	Schallschutz	44
4.4	Recycling und Rückbau	47
5	Fassadensysteme	50
5.1	Warmfassade	50
5.1.1	Verbundfassade auf monolithischer Wand	51
5.1.2	Vorhangfassade	52
5.1.3	Einschaliges Mauerwerk	53
5.1.4	Zweischaliges Mauerwerk	54
5.2	Kaltfassade	55
5.2.1	Vorgehängte hinterlüftete Fassaden	56
6	Wärmedämmverbundsystem – WDVS	57
6.1	Aufbau	57
6.2	Systemkomponenten	58
6.2.1	Befestigung	58
6.3	Ausführungshinweise	69
6.3.1	Dach	70
6.3.2	Fenster	71
6.3.3	Sockel	75
6.3.4	Trennfuge	76
6.4	Algen- und Pilzbewuchs an Fassaden	76
6.5	EPS und Alternativen	80
6.5.1	Organisch-synthetische Dämmplatten	80
6.5.2	Anorganisch-synthetische Dämmplatten	85

6.6	Bauphysik.....	90
6.6.1	Wärme- und Feuchteschutz.....	90
6.6.2	Brandschutz.....	91
6.6.3	Schallschutz.....	92
6.7	Überblick und Bewertung.....	95
7	Wärmedämmputzsystem – WDPS	99
7.1	Aufbau.....	99
7.2	Systemkomponenten.....	100
7.2.1	Untergrund.....	100
7.2.2	Dämmputz.....	101
7.2.3	Aerogel-Dämmputz.....	102
7.2.4	Oberputz.....	102
7.3	Ausführungshinweise.....	103
7.3.1	Dach.....	103
7.3.2	Deckenaufleger.....	105
7.3.3	Fenster.....	105
7.3.4	Sockel.....	108
7.4	Bauphysik.....	108
7.4.1	Wärmeschutz.....	108
7.4.2	Feuchteschutz.....	109
7.4.3	Brandschutz.....	109
7.4.4	Schallschutz.....	109
8	Einschaliges Mauerwerk	110
8.1	Aufbau.....	110
8.2	Systemkomponenten.....	111
8.2.1	Mauerwerk.....	111
8.2.2	Untergrund.....	111
8.2.3	Unterputz.....	112
8.2.4	Oberputz.....	112
8.3	Ausführungshinweise.....	112
8.3.1	Dach.....	112
8.3.2	Deckenaufleger.....	113
8.3.3	Fenster.....	114
8.3.4	Sockel.....	115
8.4	Bauphysik.....	116
8.4.1	Wärmeschutz.....	116
8.4.2	Feuchteschutz.....	116
8.4.3	Brandschutz.....	117
8.4.4	Schallschutz.....	117
9	Vorgehängte hinterlüftete Fassaden – VHF	118
9.1	Aufbau.....	118
9.2	Systemkomponenten.....	119
9.2.1	Unterkonstruktion.....	119
9.2.2	Dämmstoffe.....	122
9.2.3	Bekleidung.....	123
9.3	Ausführungshinweise.....	125
9.3.1	Dach.....	126
9.3.2	Fenster.....	127
9.4	Sockel.....	129
9.5	Bauphysik.....	129

9.5.1	Wärme- und Feuchteschutz.....	129
9.5.2	Brandschutz	133
9.5.3	Schallschutz	133
10	Wirtschaftlicher Fassadenvergleich	136
10.1	WDVS mit EPS-Dämmung	137
10.2	WDVS mit MW-Dämmung	139
10.3	VHF mit MW-Dämmung.....	139
10.4	Kostenübersicht.....	140
10.5	Entscheidung.....	143
11	Zusammenfassung	144
	Literaturverzeichnis	145

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Nachbau einer Flechtwand	2
Abbildung 2: Absatz von WDVS in Deutschland von 1997 bis 2017.....	4
Abbildung 3: Sanierungsquote bis 2050	12
Abbildung 4: Veränderung des Endenergieverbrauchs im Wohn- und Gebäudesektor	12
Abbildung 5: Gebäudebestand Österreich 2011	14
Abbildung 6: Energieverbrauch nach Sektor in Europa 2014	18
Abbildung 7: Energieverbrauchsaufteilung für Gebäude in Europa 2015	18
Abbildung 8: Dämmstoffmarktanteile in Europa.....	19
Abbildung 9: WDVS-Marktgröße.....	19
Abbildung 10: Heizenergie – Wohnsektor Ländervergleich	20
Abbildung 11: EPS/XPS-Produktion und -Abfall 2011	21
Abbildung 12: Vergleich der Wärmedämmwirkung von verschiedenen Baustoffen ..	22
Abbildung 13: Anforderungen und Bedingungen an Fassaden.....	24
Abbildung 14: Grazer Rathaus.....	26
Abbildung 15: Graz MP09 Headquarter	26
Abbildung 16: Zulässige Temperaturbereiche nach DIN 1946-2: 1994.....	29
Abbildung 17: PPD-Wert in Abhängigkeit von PMV-Wert	30
Abbildung 18: Einwirkende Lasten.....	34
Abbildung 19: Bereich der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Dämmstoffe.....	36
Abbildung 20: Einfluss der Dämmstoffdicke auf den U-Wert mit $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$	37
Abbildung 21: Blower-Door-Test.....	38
Abbildung 22: Einstufige Abdichtung	42
Abbildung 23: Zweistufige Abdichtung	42
Abbildung 24: Schallübertragung	44
Abbildung 25: Frequenzspektren zur Berechnung der Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr}	45
Abbildung 26: Akustisches Modell eines WDVS	47
Abbildung 27: Verwertung von EPS-Abfällen.....	48
Abbildung 28: Prozessschema des CreaSolv-Verfahrens	49
Abbildung 29: Prinzip Warmfassade	51
Abbildung 30: Verbundfassade	51
Abbildung 31: Vorhangfassade	53
Abbildung 32: Einschaliges Mauerwerk	54
Abbildung 33: Zweischaliges Mauerwerk	55
Abbildung 34: Prinzip Kalfassade	55
Abbildung 35: Vorgehängte hinterlüftete Fassade	56
Abbildung 36: WDVS-Aufbau.....	58
Abbildung 37: Befestigungsarten für WDVS	59

Abbildung 38: Randwulst-Punkt-Methode	61
Abbildung 39: Vollverklebung	62
Abbildung 40: Maschinelle Verklebung	63
Abbildung 41: Setztiefe der Tellerdübel: a) zu hoch gesetzt b) richtig gesetzt c) zu tief gesetzt	64
Abbildung 42: Schlagdübel	65
Abbildung 43: Links – Dübelteller, rechts – Helix-Schraubdübel ,	65
Abbildung 44: Dämmstoffronde	66
Abbildung 45: Dübelschema	66
Abbildung 46: Tragschiene	67
Abbildung 47: Links – horizontale Tragschiene, rechts – vertikale Verbindungsschiene	68
Abbildung 48: Winterface	68
Abbildung 49: StoSystem R	69
Abbildung 50: Detail Traufe WDVS	70
Abbildung 51: Detail Attika WDVS	71
Abbildung 52: Fensteranschlusstypen	71
Abbildung 53: Diagonalbewehrung WDVS	72
Abbildung 54: Riss infolge fehlender Diagonalbewehrung	72
Abbildung 55: Detail Fenster Vertikalschnitt WDVS	73
Abbildung 56: Detail Fenster Horizontalschnitt WDVS	73
Abbildung 57: Dämmplattenstößen bei Wandöffnungen	74
Abbildung 58: Riss entlang Dämmplattenstoß	74
Abbildung 59: Detail rückspringender Sockel WDVS mit Perimeter-Dämmung	75
Abbildung 60: Detail Trennfuge WDVS	76
Abbildung 61: Voraussetzungen für Wachstum	77
Abbildung 62: Ursachen-Wirkungskette	78
Abbildung 63: links WDVS-MW, recht WDVS-EPS	79
Abbildung 64: Fortgeschrittener Algenbewuchs an WDVS-EPS	79
Abbildung 65: Dämmstoffunterteilung	80
Abbildung 66: EPS Dämmplatten	81
Abbildung 67: XPS-Dämmplatten	82
Abbildung 68: PUR-Dämmplatte	83
Abbildung 69: Resol-Hartschaumplatten	84
Abbildung 70: Wärmedämmung mit Mineralwolle	85
Abbildung 71: Wärmedämmung mit Mineralschaumplatte	87
Abbildung 72: Holzfaser-Dämmplatte für WDVS	88
Abbildung 73: Korkdämmplatte	89
Abbildung 74: Brandschutzriegel	92
Abbildung 75: Brandschutzbanderole	92

Abbildung 76: Verbesserung der Schalldämmung durch WDVS mit 100 mm bis 400 mm Dämmstoffdicke.....	93
Abbildung 77: Einzelbewertung der Dämmstoffe	98
Abbildung 78: Gesamtbewertung.....	98
Abbildung 79: Systemaufbau Wärmedämmputz: Untergrund, ggf. Putzträger (gedübelt), Wärmedämmputz, Oberputz	100
Abbildung 80: Putzregel nach Putzgrund.....	102
Abbildung 81: Detail Attika WDPS	103
Abbildung 82: Detail Traufe WDPS.....	104
Abbildung 83: Detail Deckenaufleger WDPS.....	105
Abbildung 84: Detail Fenstersturz Vertikalschnitt WDPS.....	105
Abbildung 85: Detail Fenster Vertikalschnitt WDPS.....	106
Abbildung 86: Detail Fenster Horizontalschnitt WDPS.....	107
Abbildung 87: Detail Sockel WDPS	108
Abbildung 88: Aufbau einschaliges Mauerwerk	111
Abbildung 89: Detail Attika einschaliges Mauerwerk.....	112
Abbildung 90: Detail Traufe einschaliges Mauerwerk	113
Abbildung 91: Detail Deckenaufleger einschaliges Mauerwerk	113
Abbildung 92: Detail Fenstersturz Vertikalschnitt einschaliges Mauerwerk	114
Abbildung 93: Detail Fenster Vertikalschnitt einschaliges Mauerwerk	114
Abbildung 94: Detail Fenster Horizontalschnitt einschaliges Mauerwerk	115
Abbildung 95: Detail Sockel mit Perimeterdämmung einschaliges Mauerwerk.....	115
Abbildung 96: VHF – Systemaufbau	118
Abbildung 97: Metallunterkonstruktion - Vertikalschnitt.....	120
Abbildung 98: Metallunterkonstruktion – Horizontalschnitt.....	120
Abbildung 99: Holzunterkonstruktion – Vertikalschnitt	121
Abbildung 100: Holzunterkonstruktion – Horizontalschnitt	121
Abbildung 101: Anbringen der Dämmstoffplatten.....	122
Abbildung 102: VHF drucksteifer Dämmstoff	123
Abbildung 103: Aluminiumbekleidung	124
Abbildung 104: Holzbekleidung.....	124
Abbildung 105: Faserzementbekleidung.....	125
Abbildung 106: Detail Attika VHF	126
Abbildung 107: Detail Traufe VHF	126
Abbildung 108: Detail Fenstersturz Vertikalschnitt VHF.....	127
Abbildung 109: Detail Fenster Horizontalschnitt VHF	127
Abbildung 110: Detail Fenster Horizontalschnitt VHF	128
Abbildung 111: Detail Sockelanschluss VHF	129
Abbildung 112: Entkoppelter Wandhalter der Firma Hilti	130
Abbildung 113: Thermokonsole der Firma BWM	131
Abbildung 114: FixUK-H der Firma Elascor	131

Abbildung 115: Zweistufige Abdichtung einer VHF	132
Abbildung 116: Brandsperre aus Stahlblech.....	133
Abbildung 117: Verbesserung der Schalldämmung von VHF	135
Abbildung 118: Erhöhung des Dachüberstandes.....	138
Abbildung 119: Vergleich der Herstellungskosten.....	141
Abbildung 120: Lebenszykluskosten bei Reinigung mit Steiger auf 30 Jahre	142
Abbildung 121: Lebenszykluskosten bei Reinigung mit Gerüst auf 30 Jahre.....	143

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dämmstoffe 1850 bis 1970	3
Tabelle 2: Entwicklung der Dämmstoffe.....	4
Tabelle 3: Normierte k-Werte von Bauteilen und gleichdämmenden Ziegeldicken	6
Tabelle 4: OIB-Richtlinien	9
Tabelle 5: Zieldatensatz für Klimaschutzszenario	13
Tabelle 6: Energieeinsparpotenzial nach Gebäudealter	13
Tabelle 7: Äquivalenter Energiepreis in Cent/kWh.....	16
Tabelle 8: Zuordnung der thermischen Empfindung zum PMV-Wert	28
Tabelle 9: Zuordnung von Umgebungskategorie und Erwartungsniveau.....	32
Tabelle 10: Kategorien des Umgebungsklimas nach ÖNORM EN ISO 7730	32
Tabelle 11: Mindest erforderliche Schalldämmung von Außenbauteilen	46
Tabelle 12: Vorbereitungsmaßnahmen.....	60
Tabelle 13: Lebensgrundlage	77
Tabelle 14: Hanfdämmplatte	90
Tabelle 15: Luftschallverbesserungsmaß	94
Tabelle 16: Dämmstoffkennwerte	95
Tabelle 17: WDVS mit EPS Dämmung Aufbau.....	137
Tabelle 18: WDVS mit MW-Dämmung Aufbau	139
Tabelle 19: VHF mit MW-Dämmung Aufbau	139
Tabelle 20: Kostenübersicht	140

Abkürzungsverzeichnis

BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
CE	Communauté Européenne
DR	Draught Rating
EAE	European Association for External Thermal Insulation Composite Systems
EN	Europäische Norm
EPS	Extrudiertes Polystyrol
ETB	Europäische Technische Bewertungen
ETICS	External Thermal Insulation Composite System
EU	Europäische Union

EU-POP-VO	EU-Verordnung über persistente organische Schadstoffe
EURIMA	European Insulation Manufacturers Association
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
GPH	Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum
HBCD	Hexabromcyclododecan
hEN	Harmonisierte Europäische Normen
ISO	International Organization of Standardization
LEK	Linie Europäischer Kriterien
MW	Mineralwolle
OBG	Ortsbildgesetz
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
PD	Percentage of Dissatisfied
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
PUR	Polyurethan
QG	Qualitätsgruppe Wärmedämmsysteme
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
VHF	Vorgehängte hinterlüftete Fassade
WDPS	Wärmedämmputzsystem
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
XPS	Expandiertes Polystyrol

1 Anlass und Aufgabenstellung

Durch die immer höher werdenden Anforderungen an Gebäude und ihre Bauteile gibt es heutzutage eine Vielzahl an Fassadenkonstruktionen, für die sich ein Bauherr entscheiden kann. Die früher größtenteils monolithischen Systeme wurden in letzten Jahrzehnten oft mit einem Vollwärmeschutz aus EPS saniert. Aber auch für Neubauten galt EPS viele Jahre als Standardlösung für Außenwandsysteme und auch heute hat EPS den größten Anteil am Dämmstoffmarkt. Der wohl wichtigste Grund dafür betrifft die Kosten. EPS als Dämmstoff ist im Vergleich zu anderen Dämmstoffen die kostengünstigste Alternative, aber auch die einfache Verarbeitung spiegelt sich in den Herstellungskosten wider. Somit ist ein Vollwärmeschutz mit EPS bei der Errichtung einer Fassade als eine der kostengünstigen Varianten anzusehen. Doch spielt im Lebenszyklus eines Gebäudes nicht nur die Errichtung eine Rolle, ebenso wichtig sind die Instandhaltung und der Rückbau. Bis heute ist dieser Aspekt in der Bauindustrie oft noch nachrangig oder wird erst gar nicht beachtet. Genau hier steht EPS in Kritik. Vor allem Wärmedämmverbundsysteme mit EPS können ungewollte Folgekosten bei mangelhafter Planung bzw. Ausführung nach sich ziehen. Dazu zählen Algenbildung, Dübel und Plattenstoßabzeichnungen, Wärmebrücken und Risse. Von vielen Laien, aber auch einigen Baumeistern, die ich im Laufe meines Studiums kennengelernt habe, wird oft behauptet, dass mit EPS gedämmte Fassaden keine Dauerhaftigkeit besitzen, die Dämmeigenschaften im Laufe der Zeit abnehmen und sie somit dieses System nicht als empfehlenswert ansehen. Dies wird vor allem mit den zuvor genannten Schadensfällen begründet. Um diesen Behauptungen nachzugehen und die Eigenschaften von verschiedenen Fassaden besser zu verstehen, beschäftigt sich diese Arbeit mit dem Vergleich von Fassadensystemen und den Alternativen zu Wärmedämmverbundsystemen mit EPS. Dadurch soll eine Grundlage für zukünftige Bauherren entstehen, sodass diese sich gemäß ihren Anforderungen für ein passendes Fassadensystem entscheiden können und wissen auf welche Punkte sie bei der Ausführung achten müssen.

1.1 Entwicklungsgeschichte der Wärmedämmungen

Als Wärmedämmung werden Dämmmaterialien sowie Maßnahmen zur Steigerung von Energieeffizienz bezeichnet.¹ Bereits vor 3400 Jahren wurde versucht, mit Heu und Stroh einen Wärmeschutz

¹ Vgl. EICKE, W.: Kleine Geschichte der Dämmstoffe „Erster Teil“, S. 1.

für Hütten herzustellen. Die Wände bestanden aus vertikalen Pfosten, die beidseitig durch ein horizontales Flechtwerk verbunden wurden. Der Zwischenraum wurde mit trockenem Gras gefüllt und die Außenseiten mit Lehm beworfen (Abbildung 1). Durch diese Bauweise konnte ein beachtlicher Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) von etwa $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bei einer Dämmstärke von 20 bis 30 cm erreicht werden. Bis in das 18. Jahrhundert wurde das Strohdach dem Ziegeldach aufgrund der hohen Kosten des Ziegeldaches vorgezogen.²



Abbildung 1: Nachbau einer Flechtwand³

Nach und nach löste die Holzblockwand aus Rundstämmen die Flechtwand ab, wobei der U-Wert sich mit $0,5$ bis $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ etwas verschlechterte. Bauwerke mit Steinwänden waren wegen hoher Kosten selten und so wurde erst ab 1850 in größerem Umfang begonnen, Gebäude in Massivbauweise herzustellen.⁴

² Vgl. EICKE, W.: Kleine Geschichte der Dämmstoffe „Erster Teil“, S. 2.

³ EICKE, W.: Kleine Geschichte der Dämmstoffe „Erster Teil“, S. 1.

⁴ Vgl. EICKE, W.: Kleine Geschichte der Dämmstoffe „Erster Teil“, S. 2.

Die traditionelle Holzbauweise verlor im 19. Jahrhundert zunehmend an Bedeutung, da sie in statischer, feuchtetechnischer und brandschutztechnischer Hinsicht der Massivbauweise unterlegen war. So brachte die Industrialisierung die Massivbaustoffe und dennoch gab es keine wärmetechnischen Standards für den Hochbau. Inspiriert durch den Kühlbehälterbau kamen die ersten Dämmmaterialien für den Hochbau Anfang des 20. Jahrhunderts auf. Bereits 1880 wurden die ersten Dämmplatten aus Kork und 1906 expandierter Kork patentiert.⁵ Obwohl einige Dämmstoffe am Markt erhältlich waren, wurden sie kaum im Hochbau eingesetzt und so war es üblich, Heizenergie zu sparen, indem die Bewohner die Raumtemperatur niedrig hielten (etwa 15 °C). Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die angebotenen Dämmstoffe im Hochbau von 1850 bis 1970.⁶

Kieselgursteine - Diatomith (Industrieanwendungen, hitzebeständig) 500 kg/m ³	0,123-0,2	W/(mK)
Kieselguraufstrichmasse 500 kg/m ³	0,09-0,099	W/(mK)
Korksteinplatten 170-200 kg/m ³	0,047	W/(mK)
Korkplatten expandiert 95-120 kg/m ³	0,04-0,045	W/(mK)
Korkschrot normal als Schüttung	0,043	W/(mK)
Torfoleumplatten < 250 kg/m ³	0,047	W/(mK)
Holzwoleleichtbauplatten 25-35 mm	0,09	W/(mK)
Bims-Schwemmstein Ausmauerung zwischen Sparren und Balkendecken, 500-800 kg/m ³	0,16-0,24	W/(mK)
Bimskiesfüllung Decken 600 kg/m ³	0,233	W/(mK)
Gipsdielen 800 kg/m ³	0,349	W/(mK)
Schlackeschüttung in Decken	0,19	W/(mK)
Asbest 580 kg/m ³	0,15-0,2	W/(mK)
Glaswolle 20 kg/m ³	0,045	W/(mK)
Iporka 15 kg/m ³ (Hartschaum aus Hamstoff)	0,045	W/(mK)

Tabelle 1: Dämmstoffe 1850 bis 1970⁷

Erst nach dem Zweiten Weltkrieg kamen die ersten wärmetechnischen Standards (ÖNORM B 8110). Der in der neuen Norm enthaltene Mindestwärmeschutz diente jedoch nur zur Vermeidung von Tauwasserbildung in Bauteilen und dem Schutz vor gesundheitlichen Schäden durch Feuchte sowie Schimmel. Dennoch war der Mindestwärmeschutz der erste Schritt, um die Bauindustrie zum Umdenken zu bringen. Es gab bereits viele Argumente für den Einsatz von Dämmstoffen. Dazu zählten die Einsparung von Heizenergie, bessere Wohnhygiene und Behaglichkeit. Trotz allem nahm der Hochbau die Dämmindustrie bis 1960 kaum wahr, obwohl immer mehr Dämmstoffe am Markt erhältlich waren (Tabelle 2).⁸

⁵ Vgl. LORBEK, M.: Einblicke in die Geschichte der Wärmedämmung, S.20.

⁶ Vgl. ebd., S. 20.

⁷ LORBEK, M.: Einblicke in die Geschichte der Wärmedämmung, S. 22.

⁸ Vgl. EICKE, W.: Kleine Geschichte der Dämmstoffe „Erster Teil“, S. 12.

Dämmstoff	Jahr
Kork	1880
Expandierter Kork	1906
Glaswolle	1939 erstmals, Europa ab 1958
Steinwolle	1948
EPS	1950
Schaumglas	1937 USA, Europa ab 1962
XPS	1948 USA, Europa ab 1963
Polyurethan	1960
Wärmedämmputz	1968
Zellulose	1980
Weitere Naturfaserdämmstoffe	ab 1990

Tabelle 2: Entwicklung der Dämmstoffe⁹

Erst 1973 begann die Bauindustrie vermehrt Wärmedämmung einzusetzen. Die Energiekrise war das ausschlaggebende Ereignis, da sich durch die Energieknappheit das Bewusstsein für Energieeffizienz entwickelt hat. Die treibende Kraft waren ökonomische Kriterien und Interessen, denn der Stand der Technik hätte auch vor der Krise schon energiesparende Gebäude ermöglicht. Das Wärmedämmverbundsystem (WDVS) brachte schließlich den Durchbruch. Lag der Absatz 1970 in Deutschland nur bei etwa 0,1 Mio. m², stieg er bis 1997 auf zwischenzeitlich 46,1 Mio. m² und lag 2017 bei 32,8 Mio. m² (Abbildung 2).¹⁰

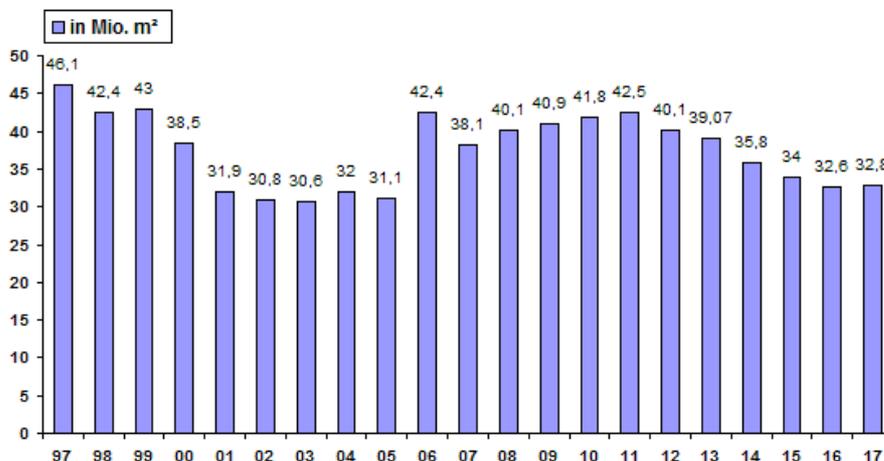


Abbildung 2: Absatz von WDVS in Deutschland von 1997 bis 2017¹¹

⁹ EICKE, W.: Kleine Geschichte der Dämmstoffe „Erster Teil“, S. 8.

¹⁰ Vgl. LORBEK, M.: Einblicke in die Geschichte der Wärmedämmung, S. 20.

¹¹ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/310313/umfrage/absatz-von-waermedaemmverbundsystemen-in-deutschland/> (Stand: 18.10.2018)

1.2 Entwicklung der wärmeschutztechnischen Standards

Erst in den letzten Jahren haben sich die Themen Nachhaltigkeit und Energieeffizienz etabliert. Mit dem Mindestwärmeschutz entstand um 1920 ein Standard für ungedämmte Bauteile, der einem heutigen U-Wert von rund $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ entspricht. Die damals üblichen Einscheibenverglasungen ($U \approx 5 \text{ W/m}^2\text{K}$), die häufig auch undicht waren, trugen zu einem zusätzlichen Wärmeverlust bei. Das Resultat war geringe Behaglichkeit aufgrund der niedrigen Raumtemperaturen ($\approx 15 \text{ }^\circ\text{C}$). Die niedrigen Raumtemperaturen galten als zweckmäßig, da so Heizenergie gespart wurde. Obwohl diese Probleme bekannt waren, hat es bis 1952 gedauert, bis der Mindestwärmeschutz in der DIN 4108 – Wärmeschutz im Hochbau festgeschrieben wurde. Der Mindestwärmeschutz für Bauteile wurde durch die Normkommission so gering gewählt, dass keine Gesundheitsgefahren für Bewohner entstehen konnten und eine Schädigung der Bausubstanz durch Tauwasser verhindert wird. Somit wurde die Wohnhygiene einzig an der Tauwasserbildung und der Schimmelverhinderung festgelegt. Weitere Aspekte wurden dagegen nicht einbezogen.¹²

Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz von Bauteilen wurden mit dem Wärmedurchlasswiderstand $1/\Lambda = \text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$ definiert und lag bei $0,65 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$. Daraus ergaben sich die Wärmedurchgangszahlen (k-Werte), die in $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ angegeben wurden und zwischen $k = 0,86$ und $1,34 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ betrugen. Aus dem k-Wert wurde später der heutige U-Wert, der in $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ angegeben wird. Bei der Ermittlung des U-Wertes fließen zusätzlich weitere Größen wie Wärmeübergangswiderstände, Wärmebrücken und Bauteilart (homogen/inhomogen) mit ein. Dadurch ist eine genauere Ermittlung des tatsächlichen Wärmedurchgangs möglich. Bei einer Umrechnung des Mindestwärmeschutzes ergibt sich für die damalige Zeit ein höchstzulässiger U-Wert von ca. $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.¹³

In Österreich gab es bis 1950 nur baustoff- bzw. bauproduktsspezifische Angaben. Laut der Bauordnung musste eine Außenwand aus Vollziegel 38 cm aufweisen. Die erste Norm, die sich dem Wärmeschutz im Hochbau widmete, war die am 22. Februar 1950 herausgegebene ÖNORM B 8110 – Hochbau-Wärmeschutz und Wärmebedarf. In der neuen Norm waren die bauteilbezogenen Mindestwerte für Außenwände angegeben, die sich je nach durchschnittlicher Außentemperatur und Höhenlage in verschiedene Gruppen unterteilten. Die Mindestwerte wurden mit der höchstzulässigen Wärmedurchlasszahl (k-Wert) angegeben und

¹² Vgl. EICKE, W.: Kleine Geschichte der Dämmstoffe „Erster Teil“, S. 8ff.

¹³ Vgl. EICKE, W.: Kleine Geschichte der Dämmstoffe „Erster Teil“, S. 8.

zusätzlich noch in beidseitig verputzte gleichdämmende Ziegeldicken (Tabelle 3).

Hinzu kamen Tabellen zur Luftdurchlässigkeit von Fenster- und Türfugen, zu den Raumtemperaturen, zu den Wärmedurchgangszahlen, zum Windzuschlag und zur Heizunterbrechung sowie eine Berechnungsmethode des Wärmebedarfs von Gebäuden.¹⁴

Bauteil	k _{max} Wärmedurchgangszahl [kcal/(m ² h °C)]			
	-15°	-18°	-21°	-24°
Außenwände in Wohnräumen	1,31	1,21	1,11	1,04
Gleichdämmende Ziegelmauer	37 cm	41 cm	46 cm	50 cm

Tabelle 3: Normierte k-Werte von Bauteilen und gleichdämmenden Ziegeldicken¹⁵

Mit der Energiekrise der 1970er Jahre kam die Forderung, den Mindestwärmeschutz neu zu definieren. Mit der ÖNORM B 8110/Beiblatt Erläuterungen zu Abschnitt 6 der ÖNORM B 8110 ‚Hochbau-Wärmeschutz‘, Ausgabe 1. Dezember 1974, wurden die bis dato für den erhöhten Wärmeschutz empfohlenen Werte zur neuen Mindestanforderung. Beispielsweise wurde der D-Wert für Außenwände, der dem reziproken k-Wert ohne die inneren und äußeren Wärmeübergangswiderstände entspricht, von mindestens 0,63 m²h °C/kcal auf mindestens 0,95 m²h °C/kcal erhöht.

Mit der gänzlich neu bearbeiteten Ausgabe der ÖNORM B 8110: ‚Wärmeschutz im Hochbau‘, die am 1. Februar 1983 erschien, wurde erstmals eine Trennung in vier Normeninhalte eingeführt:

- Teil 1: Anforderungen an die Wärmedämmung,
- Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz,
- Teil 3: Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse und,
- Teil 4: Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes.¹⁶

Die neue ÖNORM wurde nicht mehr vom Fachnormenausschuss ‚Hochbau – Allgemeines‘ erarbeitet, sondern vom neu gebildeten

¹⁴ Vgl. MAYER, H.: Der bauliche Wärmeschutz und die ÖNORM B 8110 – Gestern und Morgen, S. 1.

¹⁵ MAYER, H.: Der bauliche Wärmeschutz und die ÖNORM B 8110 – Gestern und Morgen, S. 1.

¹⁶ Vgl. MAYER, H.: Der bauliche Wärmeschutz und die ÖNORM B 8110 – Gestern und Morgen, S. 2.

Ausschuss ‚Wärme- und Schallschutz im Hochbau‘. Dies begründete sich darin, dass die Aufgaben für den Fachnormenausschuss nicht mehr zu bewältigen waren und für den Bereich Wärme- und Schallschutz ein neuer Ausschuss gegründet wurde. Zusätzlich wurde eine neue Einheit für den Wärmedurchgangskoeffizienten (vormals Wärmedurchlasszahl) mit $W/(m^2 \cdot K)$ (vormals $kcal/(m^2 \cdot h \cdot ^\circ C)$) definiert.¹⁷

Die nächste Ausgabe der ÖNORM B 8110-1 folgte am 1. Juni 1998 mit dem Titel ‚Wärmeschutz im Hochbau, Anforderungen an den Wärmeschutz und Nachweisverfahren‘. Für die neue Norm war nunmehr ausschließlich der Fachnormenausschuss ‚Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen‘ zuständig. Es wurden neue Anforderungen definiert, die auf den Ergebnissen einer Untersuchung der Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz in den damaligen EU-Mitgliedstaaten basierte. Eine Grundlage für die neuen Anforderungen war die LEK-Linie (Linie europäischer Kriterien), welche die thermische Qualität der Gebäudehülle unter Bedachtnahme auf die Gebäudegeometrie definierte. Die Linie war in einem Diagramm dargestellt, auf dessen Abszisse die charakteristische Länge (l_c [m]) und auf dessen Ordinate der mittlere flächenbezogene Leitwert-Wärmedurchgangskoeffizient (U_m [$W/(m^2 K)$]) aufgetragen wird. Somit konnte für jede Gebäudegröße die Anforderung an den mittleren flächenbezogenen Leitwert ermittelt werden.¹⁸

Am 1. September 2000 erschien die verbesserte Ausgabe der ÖNORM B 8110-1, die in den darauffolgenden Jahren vollkommen neu bearbeitet und am 1. Dezember 2004 mit dem neuem Titel ‚Wärmeschutz im Hochbau, Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen‘ veröffentlicht wurde. Der Grund für die Überarbeitung war die Richtlinie 2002/91/EG (siehe S. 10). Zusätzlich wurden zwei neue Teile hinzugefügt:

- Teil 5 ‚Niedrig- und Niedrigstenergie-Gebäude‘ und
- Teil 6 ‚Grundlagen und Nachweisverfahren‘.¹⁹

Weitere Ausgaben bzw. Überarbeitungen der ÖNORM 8101-1 folgten 2007, 2008 und 2011.

¹⁷ Vgl. MAYER, H.: Der bauliche Wärmeschutz und die ÖNORM B 8110 – Gestern und Morgen, S. 2.

¹⁸ Vgl. MAYER, H.: Der bauliche Wärmeschutz und die ÖNORM B 8110 – Gestern und Morgen, S. 3.

¹⁹ Vgl. ebd., S. 3.

In der OIB-Richtlinie 6 Ausgabe 2007: „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ wurden erstmals die Anforderungen mit Verweis auf die ÖNORM festgelegt. Mit der Ausgabe 2011 wurden die Texte dann direkt in die OIB-Richtlinie 6 eingefügt.

Am 15. Juni 2016 wurde die ÖNORM 8101-1: 2011 11 01 zurückgezogen und der Teil 1 entfiel, da die Anforderungen in der OIB-Richtlinie 6 Ausgabe 2015 enthalten waren.

Um eine Harmonisierung der österreichischen bautechnischen Vorschriften zu erreichen, wurden vom Österreichischen Institut für Bautechnik 2007 erstmals die OIB-Richtlinien herausgegeben. Die aktuellste ist die OIB-Richtlinien 2015 und diese ist in allen Bundesländern, außer Niederösterreich (OIB 2011), auch in Kraft. Sämtliche Bundesländer haben die OIB-Richtlinien in ihren Bauordnungen für verbindlich erklärt. Der Großteil der Richtlinien wird auf der Basis vorhandener Normen erstellt. Somit ist auch gesichert, dass aufgrund neuer EU-Gebäuderichtlinien die Anforderungen in den OIB-Richtlinien übernommen werden. Der Gesetzgeber verweist schlussendlich im Baugesetz auf die OIB-Richtlinien, wodurch sie verpflichtend werden.²⁰

Eine Abweichung ist dennoch möglich, wenn der Bauwerber ein gleichwertiges Schutzniveau wie in den OIB-Richtlinien nachweisen kann. In Tabelle 4 wird die Gliederung der OIB-Richtlinien 2015 deutlich, die in der Generalversammlung des OIB am 26. März 2015 beschlossen wurden.²¹

²⁰ Vgl. <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien> (Stand: 18.10.2018)

²¹ Vgl. ebd.

OIB-RICHTLINIEN	BEZEICHNUNG
OIB-Richtlinie 1	Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
OIB-Richtlinie 2	Brandschutz
OIB-Richtlinie 2.1	Brandschutz bei Betriebsbauten
OIB-Richtlinie 2.2	Brandschutz bei Garagen, überdachten Stellplätzen und Parkdecks
OIB-Richtlinie 2.3	Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m
OIB-Richtlinie 3	Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
OIB-Richtlinie 4	Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit
OIB-Richtlinie 5	Schallschutz
OIB-Richtlinie 6	Energieeinsparung und Wärmeschutz
	<u>Begriffsbestimmungen</u>
	<u>Zitierte Normen und sonstige technische Regelwerke</u>

Tabelle 4: OIB-Richtlinien²²

²² <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien> (Stand: 18.10.2018)

2 Gründe für wärme gedämmte Fassaden

Der Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Durch die Bemühungen, den Klimawandel zu verlangsamen, entstehen große Chancen für einige Branchen. Dazu zählen vor allem die Bauwirtschaft und ihre Zulieferindustrien. Der Grund dafür ist, dass in der Europäischen Union über ein Drittel des Energieverbrauchs auf Gebäude entfällt und somit ein großes Potenzial zur Energieeinsparung besteht.²³ Bereits 1992 wurden auf dem Erdgipfel in Rio de Janeiro die UN-Klimarahmenkonvention (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) verabschiedet, um die stetig wachsende Treibhausgaskonzentration zu stabilisieren. Zusätzlich haben sich die Industrieländer dazu verpflichtet, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2000 auf das Niveau von 1990 zu senken. Die folgenden Konferenzen der Vertragsstaaten (Conference of Parties) brachten einmal mehr und einmal weniger erfolgreiche Programme hervor, bis zur dritten Konferenz 1997 in Kyoto, welche vielen unter dem Namen Kyoto-Protokoll bekannt ist. Im Kyoto-Protokoll sind erstmals rechtsverbindliche Begrenzungs- und Verringerungsverpflichtungen enthalten. Das Protokoll trat aber erst 2005 mit der Zustimmung Russlands in Kraft, weil die USA 2001 ausgestiegen ist. Dies begründet sich darin, dass mindestens 55 Staaten, die zusammen für 55 % der Kohlenstoffdioxid-Emissionen im Jahr 1990 verantwortlich waren, dem Abkommen zustimmen mussten. Das Ziel des Kyoto-Protokolls war es, die Kohlenstoffdioxid-Emissionen um 20 % bzw. um 5 % jährlich von 2008 bis 2012 zu senken. Im Jahr 2013 folgte dann eine Verlängerung des Protokolls (Kyoto II), welches bis 2020 gilt. Die nächste Klimakonferenz findet 2020 statt.²⁴

Der Europäische Rat hat 1993 mit der Richtlinie 93/76/EWG zur Begrenzung der Kohlendioxidemissionen durch eine effizientere Nutzung eine Gebäuderichtlinie erlassen. Dies geschah mit dem Ziel, die Qualität der Umwelt zu bewahren und rationelle Verwendung der natürlichen Ressourcen zu gewährleisten.²⁵

Im Jahr 2002 folgte die Richtlinie 2002/91/EG, welche unter anderem die Maßnahmen zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls enthält. Die Richtlinie fordert die EU-Mitgliedstaaten zur Reduzierung des

²³ Vgl. <https://www.energie-innovativ.de/service-events/veranstaltungen/sonderschau-die-neue-energiwelt/> (Stand: 18.10.2018)

²⁴ Vgl. https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/kyoto_protokoll_1108.htm (Stand: 18.10.2018)

²⁵ Vgl. <https://publications.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/c4cca5ea-8482-45de-94a3-9fb64f37c0b0/language-de> (Stand: 18.10.2018)

Energieverbrauchs und zur Steigerung der Energieeffizienz sowie zur Einführung von Energieausweisen auf.²⁶

Ein auf zehn Jahre angelegtes Wirtschaftsprogramm mit dem Namen Europa 2020 wurde 2010 verabschiedet, welches auch die Neufassung der Gebäuderichtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden enthielt²⁷.

Die wichtigsten Ziele dieses Programms, welche die Bauwirtschaft betreffen, sind folgende:

- 20 % weniger Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990,
- 20 % der Energie aus erneuerbaren Quellen,
- 20 % Erhöhung der Energieeffizienz.²⁸

Im Mai 2018 trat die aktuell gültige Gebäuderichtlinie (EU) 2018/844 in Kraft, welche bis 2020 über Rechts- und Verwaltungsvorschriften von den Mitgliedstaaten erfüllt werden muss. Die EU setzte dabei neue Ziele. Bis 2030 werden eine Verringerung der Treibhausgasemissionen von mindestens 40 % im Vergleich zu 1990, eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien, eine Erhöhung der Energieeinsparung sowie die Verbesserung der Energieversorgungssicherheit angestrebt. Zusätzlich wurden längerfristige Ziele zur Dekarbonisierung des Gebäudebestandes sowie zur Reduktion der Kohlendioxidemissionen um 85 % bis 2050 formuliert. Um einen dekarbonisierten und im hohen Maße energieeffizienten Gebäudebestand zu erhalten, wäre laut Schätzung eine Renovierungsrate von 2 bis 3 % pro Jahr nötig²⁹. Das Öko Institut hat dazu in seinem Klimaschutzszenario 2050 die erforderliche energetische Sanierungsrate bis 2050 ermittelt (Abbildung 3), um die Endenergieverbrauchreduzierung im Wohn- und Gebäudebereich zu erreichen (Abbildung 4).

²⁶ Vgl. AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION L 001: Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, S. 1ff

²⁷ Vgl. AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION L 153/18: Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung), S. 1ff

²⁸ Vgl. Europäische Kommission: https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/economic-and-fiscal-policy-coordination/eu-economic-governance-monitoring-prevention-correction/european-semester/framework/europe-2020-strategy_de (Stand: 11.11.2018)

²⁹ Vgl. AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION L 156/75: Richtlinie (EU) 2018/844 zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz, S. 1ff

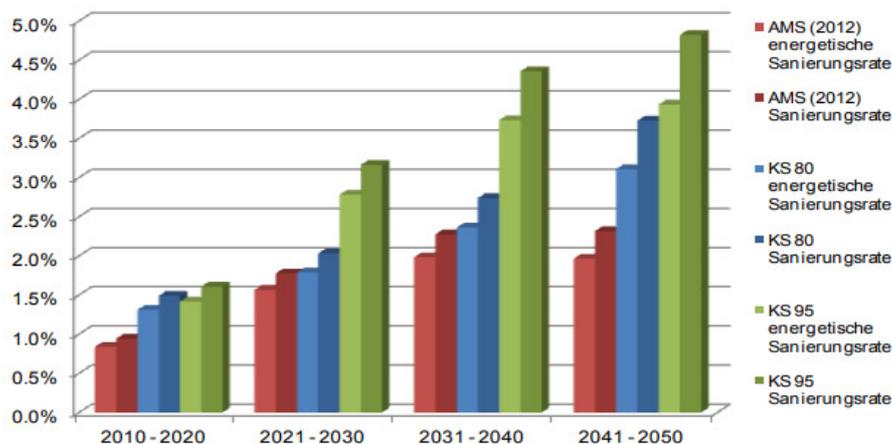


Abbildung 3: Sanierungsquote bis 2050³⁰

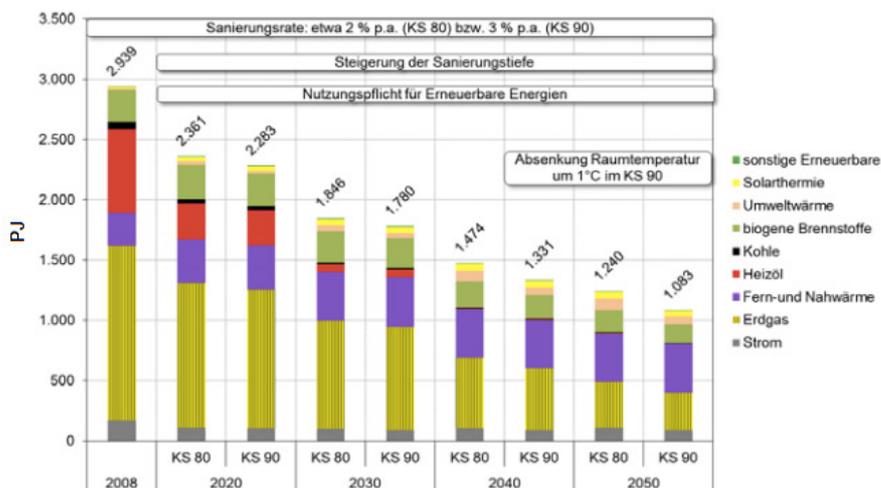


Abbildung 4: Veränderung des Endenergieverbrauchs im Wohn- und Gebäudesektor³¹

Um diese Ziele zu erreichen, sind energetische Gebäudesanierungen sowie energieeffizientes Bauen unumgänglich. Vor allem die Fassade spielt diesbezüglich eine wichtige Rolle, da sie großes Potenzial hat, den Energieverbrauch eines Gebäudes zu senken und die Energieeffizienz zu steigern.³²

Damit die Klimaschutzziele bis 2050 erreicht werden können und der Energieverbrauch für Gebäudewärme im Vergleich zu 1990 um 80 % reduziert wird, ist es nötig, die Bestandsgebäude energetisch zu sanieren (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dazu hat das Ökō Institut gemeinsam mit Fraunhofer ISI ein

³⁰ Ökō-Institut; Fraunhofer ISI: Klimaschutzszenario 2050, S. 116.

³¹ Ökō-Institut; Fraunhofer ISI: Klimaschutzszenario 2050, S. 119.

³² Vgl. Ökō-Institut; Fraunhofer ISI: Klimaschutzszenario 2050, S. 115-127.

Energieeinsparpotenzial bei der Wand von bis zu 85 % bei 20 cm Wärmedämmung und je nach Gebäudealter ermittelt (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Der Gebäudebestand nach Baujahr ist in Abbildung 5 ersichtlich. Hier ist zu erkennen, dass der Großteil der Bestandsbauten zwischen 1950 und 1990 errichtet wurde. Zusätzlich sind weitere Wärmedämmmaßnahmen in Form von Dachdämmungen und Wärmeschutzverglasungen notwendig, um die Reduzierung des Energiebedarfs bis 2050 zu erreichen. Daraus ergibt sich ein geforderter U-Wert von 0,2 W/m²K und weniger für die Zukunft, was jedoch bereits mit dem heutigen Stand der Technik realisierbar ist.³³

	Treibhausgas-emissionen	Erneuerbare Energien		Minderung Energiebedarf				Steigerung Energieproduktivität
		Brutto-Endenergie	Strom-erzeugung	Primär-energie	Gebäude-Wärme	Endenergie Verkehr	Strom-verbrauch	
2020	-40%	18%	35%	-20%	-20%	-10%	-10%	2,1% p.a.
2030	-55%	30%	50%					
2040	-70%	45%	65%					
2050	-80% -[bis -95%]	60%	80%	-50%	-80%	-40%	-25%	
Basis	1990			2008	2008	2005	2008	

Tabelle 5: Zieldatensatz für Klimaschutzszenario³⁴

	Standard	Gut	Ehrgeizig
Dach	10-15 cm Wärmedämmung	20 cm Wärmedämmung	30 cm Wärmedämmung
Wand	5-10 cm Wärmedämmung	15 cm Wärmedämmung	20 cm Wärmedämmung
Fundament	10 cm Wärmedämmung	10 cm Wärmedämmung	15 cm Wärmedämmung
Fenster	Doppelverglasung U _g =1,7-2,7 W/m ² K	Doppelverglasung U _g =1-1,7 W/m ² K	Dreifachverglasung U _g =0,65-1,7 W/m ² K
Reduzierung des Energiebedarfs für Raumheizung (Baujahr < 1950)	21% - 47%	26% - 58%	44% - 85%
Reduzierung des Energiebedarfs für Raumheizung (Baujahr 1950-1990)	23% - 42%	25% - 52%	27% - 85%
Reduzierung des Energiebedarfs für Raumheizung (Baujahr > 1990)	12% - 20%	10% - 39%	25% - 80%

Tabelle 6: Energieeinsparpotenzial nach Gebäudealter³⁵

³³ Vgl. Ökō-Institut; Fraunhofer ISI: Klimaschutzszenario 2050, S. 115–127.

³⁴ <https://www.oeko.de/oekodoc/2019/2014-604-de.pdf> (Stand: 12.11.2018)

³⁵ Fraunhofer ISI; TU Wien: Study evaluating the current energy efficiency policy framework in the EU and providing orientation on policy options for realising the cost-effective energy efficiency/saving potential until 2020 and beyond, S. 98.

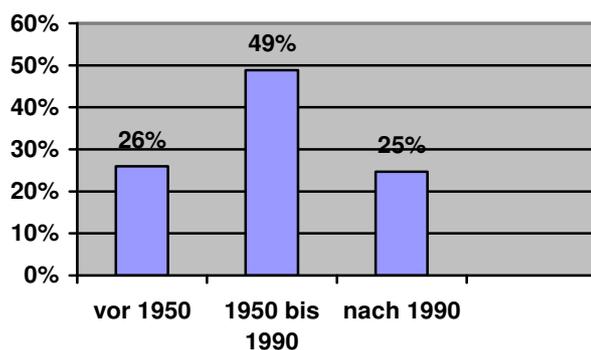


Abbildung 5: Gebäudebestand Österreich 2011³⁶

2.1 Winterlicher Wärmeschutz

Die Grundsatzfrage, wozu eine Fassade gedämmt werden soll, ist meist schnell beantwortet. Eine wärmegeämmte Fassade reduziert den Wärmestrom nach außen. Ein guter Vergleich kann mit dem Körper des Menschen vorgenommen werden. Bei starker Kälte zittern Menschen, um Muskeln in Bewegung zu bringen und somit Wärmeenergie zu produzieren. Der Körper versucht auf diese Weise, seine Temperatur von ca. 37 °C aufrechtzuerhalten. Durch die Muskelbewegung steigt auch der Kalorienverbrauch und es kommt zu einem wachsenden Energiebedarf. Um dies zu vermeiden, kleiden sich Menschen bei Kälte dick ein. Wärmedämmende Fassaden tragen wie Kleidung zur Erhaltung der Innenraumtemperatur und zur Einsparung von Heizenergie an kalten Tagen bei. Hinzu kommt, dass das Raumklima durch die Verringerung des Wärmestroms eine höhere Behaglichkeit aufweist (siehe 4.2.2). Zusätzlich wird die Gefahr von Schimmelbildung durch Tauwasser reduziert.³⁷

2.2 Sommerlicher Wärmeschutz

Bei Hitze funktioniert eine wärmegeämmte Fassade umgekehrt wie bei Kälte, weil der Wärmedurchgang sowohl von außen nach innen, als auch von innen nach außen verringert wird. So bleibt ein gut gedämmtes Gebäude auch an heißen Tagen länger kühl. Zu beachten ist, dass eine Wärmedämmung die Erwärmung der Raumluft bzw. Raumumschließungsflächen nur verzögert. Daher ist in Sommermonaten eine kühlungswirksame Nachtkühlung notwendig.

³⁶ Eigene Darstellung mit Daten aus statista.com

³⁷ <https://www.5vitals.net/knowledge-base/einflussfaktoren-auf-die-koerpertemperatur/> (Stand: 02.03.2019)

Gebäude mit einer hohen speicherwirksamen Masse verzögern durch die Abkühlung die Erwärmung der Raumluft zusätzlich, da sie sich nur langsam erwärmen.³⁸

2.3 Wirtschaftlichkeit

Unter Wirtschaftlichkeit versteht man das Verhältnis zwischen Ertrag und Aufwand (Wirtschaftlichkeit = Ertrag / Aufwand). Umso höher die Differenz zwischen Ertrag und Aufwand ist, umso wirtschaftlicher ist eine Maßnahme oder ein Projekt.³⁹ Um die Wirtschaftlichkeit einer wärmegeämmten Fassade zu ermitteln, sind nicht nur die Errichtungskosten der Einsparung an Heizenergie gegenüberzustellen, sondern auch die Folgekosten in die Betrachtung einzubeziehen. Dazu dient die Lebenszykluskostenrechnung, welche sämtliche Kosten (Aufwände) im Lebenszyklus eines Gebäudes erfasst. Hierbei muss aber immer die Perspektive berücksichtigt werden. Ein selbstnützender Eigentümer kann durch eine wärmegeämmte Fassade lediglich Kosten sparen und den Wert seiner Immobilie steigern, wohingegen ein Vermieter zusätzlich mit einer besseren Vermietbarkeit und sogar höheren Mieteinnahmen rechnen kann.⁴⁰

Die energetische Sanierung hat gegenüber dem Neubau bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einen wesentlichen Vorteil. Wenn eine Sanierung der Außenwände bereits nötig ist (bsp. Putzsanierung), fallen die Mehrkosten für eine wärmedämmende Fassade verglichen mit den Sowiekosten (Gerüst, Putz, Farbe etc.) gering aus.⁴¹ Dazu hat der BINE Informationsdienst eine Tabelle zur Wirtschaftlichkeitsanalyse erarbeitet (Tabelle 7). Aus der Tabelle kann abgelesen werden, ob eine Investition in ein Wärmedämmverbundsystem unter der Voraussetzung, dass ohnehin eine Putzsanierung nötig wäre, wirtschaftlich sinnvoll ist.

³⁸ Vgl. <https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/fachwissen/waermeschutz/sommerlicher-waermeschutz-grundlagen-und-ziele-4406601> (Stand: 02.03.2019)

³⁹ Vgl. <https://welt-der-bwl.de/Wirtschaftlichkeit> (Stand: 01.03.2019)

⁴⁰ Vgl. LÜTZKENDORF, T.; ENSLING, A.: Wirtschaftlichkeit energieoptimierter Gebäude – Berechnungsmethoden und Benchmarks für Wohnungsbau und Immobilienwirtschaft, S. 3–4.

⁴¹ Vgl. LÜTZKENDORF, T.; ENSLING, A.: Wirtschaftlichkeit energieoptimierter Gebäude – Berechnungsmethoden und Benchmarks für Wohnungsbau und Immobilienwirtschaft, S. 15.

- Randbedingungen:
- Jahr der Sanierung: 2017
 - 1 m² Außenwand
 - U-Wert_{alt}=1,0 W/m²K
 - 12 cm WDVS
 - U-Wert_{neu}= 0,23 W/m²K
 - Betrachtungszeitraum 25 Jahre
 - mittlerer Energiepreis brutto = 8,8 €cent/kWh

Instandsetzungsanteil in €/m ² Bauteilfläche	Investitionskosten in €/m ² gedämmte Bauteilfläche (brutto) für die genannte Maßnahme						
	110	120	130	140	150	160	170
(Sowiesokosten: Putzsanierung)	äquivalenter Energiepreis in Cent/kWh Endenergie unter genannten Randbedingungen						
0	10,42	11,37	12,31	13,26	14,21	15,16	16,10
10	9,47	10,42	11,37	12,31	13,26	14,21	15,16
20	8,53	9,47	10,42	11,37	12,31	13,26	14,21
30	7,58	8,53	9,47	10,42	11,37	12,31	13,26
40	6,63	7,58	8,53	9,47	10,42	11,37	12,31
50	5,68	6,63	7,58	8,53	9,47	10,42	11,37
60	4,74	5,68	6,63	7,58	8,53	9,47	10,42
70	3,79	4,74	5,68	6,63	7,58	8,53	9,47
80	2,84	3,79	4,74	5,68	6,63	7,58	8,53
90	1,89	2,84	3,79	4,74	5,68	6,63	7,58
100	0,95	1,89	2,84	3,79	4,74	5,68	6,63
110	0,00	0,95	1,89	2,84	3,79	4,74	5,68

Tabelle 7: Äquivalenter Energiepreis in Cent/kWh⁴²

An der Schnittstelle zwischen Zeile und Spalte (blau markiert) können nun die Kosten für eine eingesparte kWh-Endenergie abgelesen werden: 5,68 €cent/kWh. Sind die Kosten zur Einsparung kleiner als der Energiepreis von 8,8 €cent/kWh, ist die Investition wirtschaftlich. Unter den genannten Randbedingungen kann festgestellt werden, dass sogar Investitionskosten von 170 €/m² Außenwand noch wirtschaftlich sinnvoll sind.⁴³

⁴² LÜTZKENDORF, T.; ENSLING, A.: Wirtschaftlichkeit energieoptimierter Gebäude – Berechnungsmethoden und Benchmarks für Wohnungsbau und Immobilienwirtschaft, S. 16.

⁴³ Vgl. LÜTZKENDORF, T.; ENSLING, A.: Wirtschaftlichkeit energieoptimierter Gebäude – Berechnungsmethoden und Benchmarks für Wohnungsbau und Immobilienwirtschaft, S. 16.

3 Dämmstoffmarkt

Um einen Überblick über die Dämmstoffindustrie zu erhalten, wurde eine Recherche über den Dämmstoffmarkt in Europa bzw. in Österreich und den zugehörigen Organisationen sowie Verbänden durchgeführt.

3.1 Europa

EAE – European Association for External Thermal Insulation Composite Systems:

Seit seiner Gründung im Jahr 2008 arbeitet der Europäische Verband für Wärmedämmverbundsysteme an einer „*Kultur der Nachhaltigkeit*“⁴⁴ im Bausektor. Zu den Mitgliedern der EAE gehören zwölf nationale WDVS-Verbände, sechs große europäische Zulieferunternehmen für Werkstoffe und neun unterstützende Mitglieder, zu denen WDVS-Hersteller und Forschungsinstitute zählen. Die EAE repräsentiert etwa 80 % der WDVS-Industrie in Europa. Ihr gemeinsames Ziel ist die Verbesserung der Energieeffizienz des europäischen Gebäudebestands. Dies geschieht durch fortlaufende technische Entwicklungen bei Materialien, Baumaterialien und Technologien sowie durch den kontinuierlichen Dialog mit der Politik.⁴⁵

Die EAE veröffentlicht zudem regelmäßig Broschüren, in denen auf die Wichtigkeit von Wärmedämmverbundsystemen aufgrund des hohen Energieverbrauchs für Raumwärme verwiesen wird. In Abbildung 6 ist der Gesamtenergieverbrauch Europas differenziert nach Sektor dargestellt. Zu sehen ist, dass auf Gebäude mit 38,1 % der größte Energieverbrauchsanteil entfällt. Wie sich der Energieverbrauch in Gebäuden aufteilt, wird in Abbildung 7 ersichtlich. Daraus geht hervor, dass 2015 im Haushaltssektor knapp 64 % des Energieverbrauchs auf die Raumheizung entfallen ist.⁴⁶

⁴⁴ Vgl. <https://www.ea-etics.eu/eae/profile/> (Stand: 20.10.2018)

⁴⁵ Vgl. ebd.

⁴⁶ Vgl. ebd.

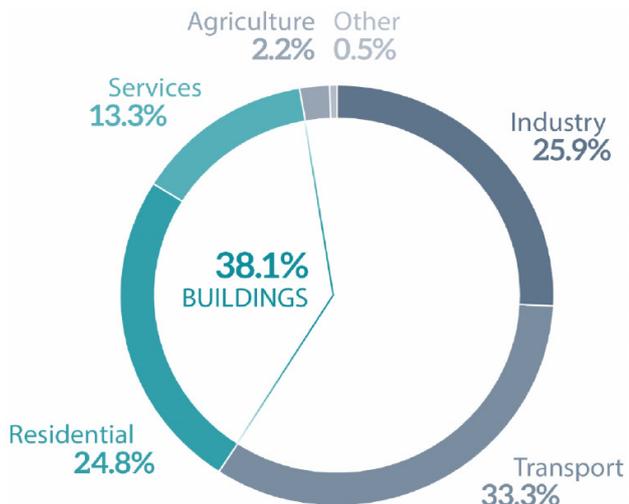


Abbildung 6: Energieverbrauch nach Sektor in Europa 2014⁴⁷

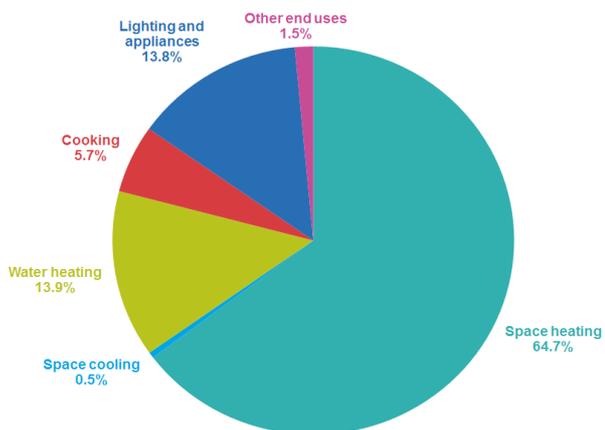


Abbildung 7: Energieverbrauchsaufteilung für Gebäude in Europa 2015⁴⁸

EAE hat eine Grafik erstellt, die den WDVS-Markt in Europa im Jahr 2014 darstellt (Abbildung 8). Aus ihr lässt sich ablesen, wie hoch der Marktanteil eines Dämmstoffes in den jeweiligen Regionen ist.

⁴⁷ <https://epthinktank.eu/2016/07/08/energy-efficiency-in-buildings/> (Stand: 18.01.2019)

⁴⁸ <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:FinalEnergyConsumption-Residential-byENDUSE-EU-2015.png&oldid=330429> (Stand: 18.01.2019)

Share of insulation materials (2014)

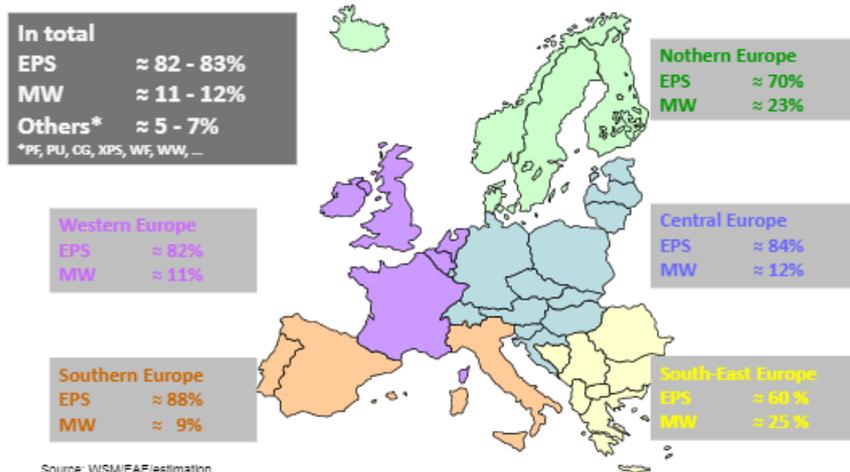


Abbildung 8: Dämmstoffmarktanteile in Europa⁴⁹

Es wurde auch eine Grafik konzipiert, welche die Marktgröße nach Regionen darstellt (Abbildung 9). Zentraleuropa hat demnach mit 56 % den größten Markt, was etwa 120 bis 130 Mio. m² entspricht.

Market size by region (2014)

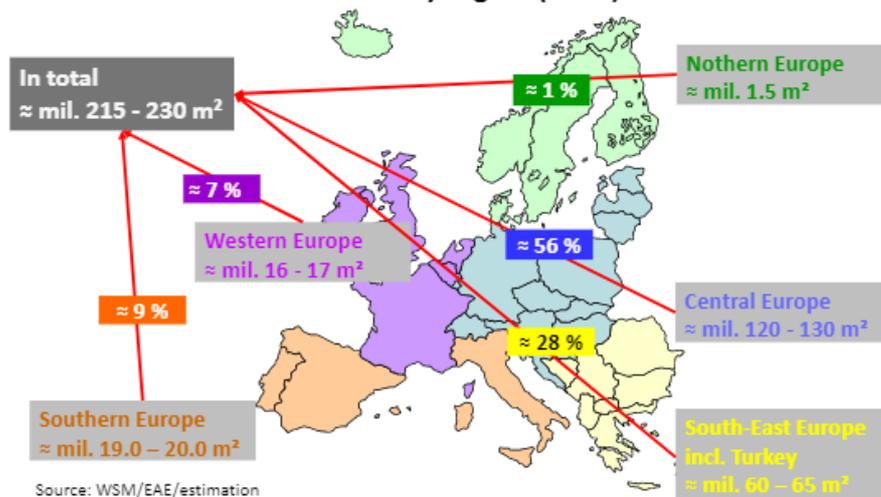


Abbildung 9: WDVS-Marktgröße⁵⁰

EUMEPS – European Manufactures of Expanded Polystyrene:

Hierbei handelt es sich um die Vereinigung der europäischen Hersteller von expandiertem Polystyrol. Sie vertreten die EPS-Industrie, um ihre Interessen in Europa zu repräsentieren und zu fördern. Ihre Mitglieder sind die nationalen EPS-Verbände in jedem

⁴⁹ FRANKE, C.; PASKER, R.: The European ETICS market – facts & figures. European ETICS Forum. Mailand. 2015, S. 11.

⁵⁰ Ebd., S. 12.

Land, deren Mitglieder wiederum Veredler, Lieferanten, Recycler und Maschinenunternehmer sind. Ihr Ziel ist, dass die Vorteile von EPS als Bau- und Verpackungsmaterial verstanden werden. EUMEPS besteht aus den beiden Interessengruppen Construction und Power-Parts. Die erste Gruppe konzentriert sich auf alle Aktivitäten im Zusammenhang mit der Verwendung von EPS im Bauwesen und die zweite auf Schlüsselinteressen in den Bereichen Verpackung und allgemeine Formteile für Lebensmittel, Haushaltsgeräte, Elektronik und Automobilanwendungen.⁵¹

EURIMA – European Insulation Manufacturers Association:

EURIMA ist der Verband der europäischen Mineralwolleproduzenten. Die Mitglieder stellen eine breite Palette von Mineralwolleprodukten für die Bauindustrie her. Die Ziele des Verbandes sind die Förderung gemeinsamer Interessen in der Mineralwolleindustrie sowie die Schaffung von Beziehungen zu den Regulierungsbehörden, um Einfluss auf die Gestaltung neuer Vorschriften und Normen zu haben. Zu den bekanntesten Mitgliedern zählen Rockwool, Knauf, Isover und Ursa. Auch EURIMA veröffentlicht immer wieder Studien zur Notwendigkeit von Wärmedämmungen. Dazu haben sie eine Grafik erstellt, in welcher ersichtlich wird, wie hoch der Heizenergieverbrauch im Wohnsektor der Länder in Europa ist (Abbildung 10).⁵²

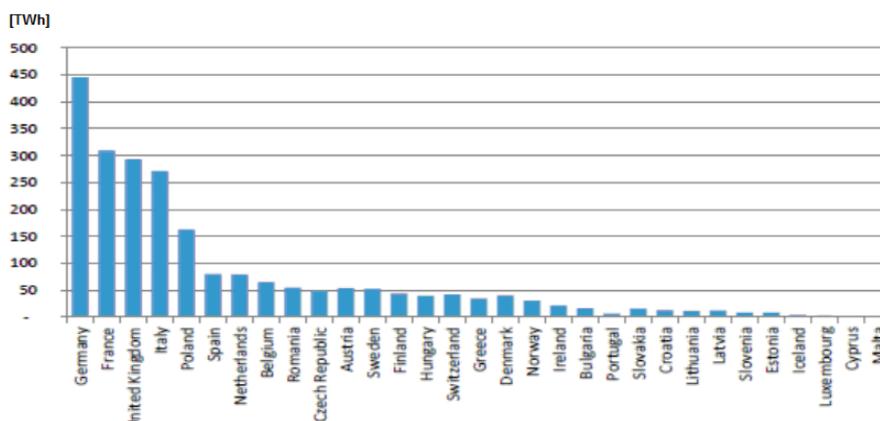


Abbildung 10: Heizenergie – Wohnsektor Ländervergleich⁵³

⁵¹ Vgl. <https://eumeps.org/what-is-eumeps> (Stand: 20.10.2018)

⁵² Vgl. <https://www.eurima.org/about-eurima.html> (Stand: 20.10.2018)

⁵³ https://www.eurima.org/uploads/ModuleXtender/Publications/166/Building_Envelope_Group__Joint_Statement_EPBD_EED_FINAL.pdf (Stand: 20.10.2018)

3.2 Österreich

QG – Qualitätsgruppe Wärmedämmsysteme:

Die größten Anbieter für WDVS haben sich in einer Arbeitsgemeinschaft zusammengeschlossen und treiben mit der Qualitätsgruppe Wärmedämmsysteme Forschung, Entwicklung und Innovation an. Die vier wichtigsten Mitglieder sind Röfix, Sto, Baunit und Capatect. Gemeinsam legen sie Verarbeitungsrichtlinien, Normen und Vorschriften fest und informieren private sowie öffentliche Bauträger zum Thema Wärmedämmverbundsystem. Ein weiteres Thema, mit dem sich die Qualitätsgruppe beschäftigt, ist der Rückbau, das Recycling und die Verwertung von WDVS. So wurde festgestellt, dass vom gesamten EPS/XPS-Abfall in Höhe von 102.000 t im Jahr 2011 42.000 t auf die Bauindustrie entfallen und der EPS-Anteil an WDVS 9.400 t Abfall produziert (Abbildung 11).⁵⁴

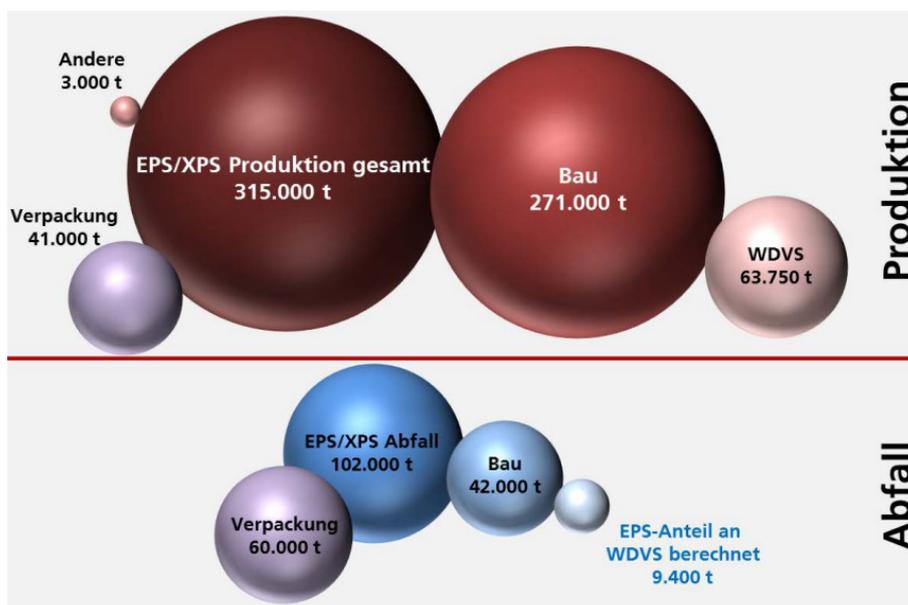


Abbildung 11: EPS/XPS-Produktion und -Abfall 2011⁵⁵

GPH – Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum:

Die GPH ist eine Verbandsorganisation der EPS-Hersteller und Rohstofflieferanten in Österreich, dessen Dachverband die EUMEPS darstellt. Als Interessensvertreter ist es ihr Ziel, einheitliche

⁵⁴ Vgl. <http://qg.waermedaemmsysteme.at/c/mission> (Stand: 27.10.2018)

⁵⁵ https://www.fh-salzburg.ac.at/fileadmin/fh/studiengaenge/smb/talks/smb_Talk-for-Experts_2016_4_Hecht_Salzburg_Nachhaltigkeit.pdf (Stand: 27.10.2018)

Qualitätsstandards zu schaffen und alle Zielgruppen über Eigenschaften, Anwendungsgebiete und Kennzeichnungen von EPS zu informieren. Die GPH ist stets bemüht, die guten Dämmeigenschaften von EPS für WDVS hervorzuheben (Abbildung 12) und führt beispielsweise auch Brandversuche durch, welche die Brandunbedenklichkeit von EPS aufzeigen.⁵⁶

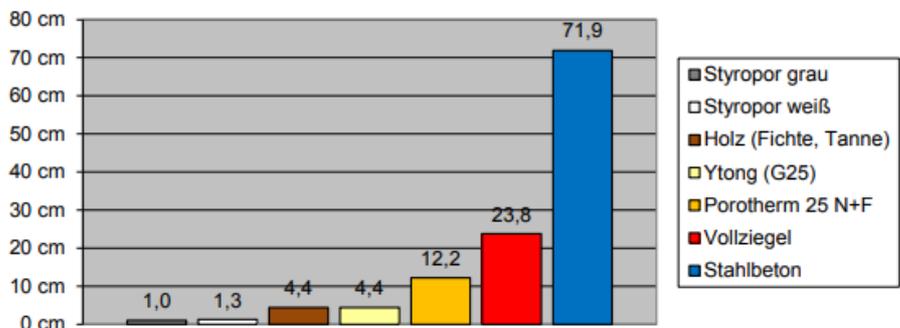


Abbildung 12: Vergleich der Wärmedämmwirkung von verschiedenen Baustoffen⁵⁷

⁵⁶ Vgl. <https://www.gph.at/index.php/gph> (Stand: 27.10.2018)

⁵⁷ <https://www.gph.at/images/gph/fakten/uebersicht/Faktenblaetter.pdf> (Stand: 27.10.2018)

4 Anforderungen an eine Fassade

Die Außenbedingungen fungieren bereits bei der Wahl einer Fassade als ein entscheidendes Kriterium und sind daher besonders in der Planung zu berücksichtigen. Je nach Standort können sich unterschiedliche Anforderungen an eine Fassade ergeben. Wo in sonnenreichen und warmen Region versucht wird, die Innentemperatur niedrig zu halten, wird in kalten Regionen ein gegenteiliges Ziel angestrebt.

Doch nicht nur Klimabedingungen beeinflussen die Anforderungen an eine Fassade, sondern auch Schall- und Luftemissionen sowie Nutzungsart sind entscheidende Kriterien. Aus der Nutzungsart ergeben sich die Innenbedingungen, die ebenfalls in der Planungsphase zu berücksichtigen sind, da sie die Anforderungen wesentlich beeinflussen. Neben den Außen- und Innenbedingungen können weiter Umstände wie z. B. architektonische Anforderungen oder ergänzende Gebäudetechnik auf den Anforderungskatalog einer Fassade Einfluss nehmen (Abbildung 13).

Anforderungen an eine Fassade



Abbildung 13: Anforderungen und Bedingungen an Fassaden⁵⁸

⁵⁸ HERZOG, T.; KRIPPNER, R.; LANG, W.: Fassaden Atlas, zweite Auflage, S. 18.

Es gibt jedoch ebenso klimatische Bedingungen, die bestimmte Anforderungen mit sich bringen, jedoch nicht eindeutig einer Seite zugeteilt werden können, sondern aus der Differenz zwischen Außen- und Innenklima entstehen. Dazu zählen mechanische Beanspruchungen der Fassade, die aus Temperatur-, Feuchtigkeits- und Druckdifferenzen zwischen Innen und Außen resultieren, was wiederum geeignete konstruktive Maßnahmen erfordert.

In bestimmten Fällen kann eine Fassade allein nicht alle Anforderungen erfüllen und es müssen ergänzende Maßnahmen wie z. B. Photovoltaik oder Sonnenschutz integriert werden, um das Gesamtsystem zu optimieren. Forscher und Hersteller versuchen mit solchen Systemen, die Energieeffizienz immer weiter zu steigern, um den Trend der Plusenergiehäuser zu verfolgen. Nachfolgend werden sämtliche Anforderungen, die an eine Fassade gestellt werden, erläutert.

4.1 Architektonische Anforderungen

In der Baugeschichte spielte die Architektur von Fassaden schon immer eine wichtige Rolle, weil die Fassade das Gesicht eines Bauwerks ist. Sie kann Stärke, Reichtum, Innovativität, Reichtum usw. versinnbildlichen. Der Baustil drückt sich für einen Betrachter in vielen Fällen über die Fassade aus. Je nach Eigenschaft (transluzent – opak, regelmäßig – unregelmäßig, symmetrisch – unsymmetrisch, gerade – schief, schlicht – opulent, schlank – massiv) kann sie verschiedene Wirkungen auf den Betrachter haben. Ein Gründerzeithaus mit seinen massiven Wänden und hohen Fenstern sowie Türen zusammen mit Pilaster, Gesimse und Fauschen strahlt Reichtum und Macht aus (Abbildung 14). Innovativ und modern wirkende Fassaden sind heute häufig transluzent und glatt (Abbildung 15).



Abbildung 14: Grazer Rathaus⁵⁹



Abbildung 15: Graz MP09 Headquarter⁶⁰

Die Wünsche eines Bauherrn an die Optik bzw. die Architektur der Fassade definieren in einem großen Maß die architektonischen Anforderungen. Durch das Ortsbildgesetz (OBG 1977) können aber weitere Anforderungen entstehen, sofern das Gebäude in einem Schutzgebiet erbaut bzw. saniert werden soll. Das Ortsbildschutzgesetz dient zur Erhaltung charakteristischer Bauwerke, um diese durch Veränderung nicht zu beeinträchtigen. Insbesondere müssen sich neue Bauwerke durch baukünstlerische Qualität in das Ensemble einfügen. Zuständig für den Ortsbildschutz

⁵⁹ <https://austria-forum.org/af/AustriaWiki/Graz> (Stand: 18.01.2019)

⁶⁰ https://www.graztourismus.at/kongress/de/locations-agenturen/mp09-die-eventlocation_vf-2011 (Stand: 18.01.2019)

ist die Ortsbildkommission, deren Hauptaufgabe es ist, Gutachten in Verfahren zu erstellen und Stellung bei Voranfragen zu nehmen.⁶¹

4.2 Anforderungen aus der Gebäudenutzung

Beim Bau von Wohngebäuden ist das Ziel der Bautätigkeit die Errichtung von Lebensräumen für Menschen und gleichzeitig die Erfüllung der menschlichen Bedürfnisse, die durch die gewünschte Nutzung entstehen. Aus diesen Bedürfnissen ergeben sich Anforderungen, die nachfolgend genauer erläutert werden.

4.2.1 Abgrenzung

Eine Grundanforderung des Wohnens ist die Intimsphäre. Um diese zu erreichen, ist Schutz vor Einsehbarkeit und Mithören in Form von Abgrenzung nötig. Wände sind maßgeblich an der Abgrenzung beteiligt und sorgen für das Gefühl von Intimität. Fassaden können je nach Ausrichtung, Form und Fensterflächenanteil einen großen Beitrag zur Abgrenzung leisten und sind für jedes Gebäude individuell an die Gegebenheiten (Nachbarobjekte, Straße, Ausrichtung) anzupassen.⁶²

4.2.2 Behaglichkeit

Anforderungen, die an das Innenklima gestellt werden, können unter der Bezeichnung ‚thermische Behaglichkeit‘ zusammengefasst werden. Die ÖNORM EN ISO 7730 definiert thermische Behaglichkeit als das Gefühl, das Zufriedenheit mit dem Umgebungsklima ausdrückt.⁶³

In der internationalen Norm EN ISO 7730 sind Verfahren aufgeführt, mit denen das allgemeine menschliche Wärmeempfinden und der Grad der Unbehaglichkeit (thermischen Unzufriedenheit) von Menschen vorausgesagt werden können. Damit ist es möglich, die thermische Behaglichkeit analytisch zu bestimmen und zu interpretieren. Dies erfolgt durch die Ermittlung globaler und lokaler Parameter.⁶⁴

⁶¹ Vgl. <http://www.kultur.steiermark.at/cms/ziel/137531560/DE/> (Stand: 18.01.2019)

⁶² Vgl. LÖTSCHER, L.; KÜHMICHEL, K.: Vom Haus zur Stadt. Handbuch: Stadtentwicklung sehen – erkennen – verstehen, S. 27.

⁶³ Vgl. RICHTER, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb, S. 9.

⁶⁴ Vgl. ebd., S.13

Globale Parameter (thermisches Gleichgewicht des Körpers):

PMV-Wert:

Die Abkürzung PMV-Wert steht für Predicted Mean Vote (erwartete durchschnittliche Empfindung) und ist ein dimensionsfreier Maßstab für die thermische Empfindung, beurteilt durch eine große Personengruppe. Die Beurteilung reicht von -3 (kalt) bis 3 (heiß) und sie wird wie folgt skaliert (Tabelle 8).⁶⁵

PMV	Empfindung
-3	kalt
-2	kühl
-1	erträglich (leicht) kühl
0	neutral (thermisch behaglich)
1	Erträglich (leicht) warm
2	warm
3	heiß

Tabelle 8: Zuordnung der thermischen Empfindung zum PMV-Wert⁶⁶

Ein PMV-Wert von null stellt demnach ein optimales Raumklima dar, bei dem es am wenigsten unzufriedene Raumnutzer gibt. Aus dem PMV-Wert kann schließlich der PPD-Wert ermittelt werden.⁶⁷

Operative Raumlufttemperatur:

Die Parameter (Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftgeschwindigkeit), die Einfluss auf das Raumklima haben, spielen eine entscheidende Rolle bei der Berechnung der thermischen Behaglichkeit. Die relative Luftfeuchtigkeit tangiert die thermische Behaglichkeit nur in einem geringen Maße. Wird zusätzlich noch die Luftgeschwindigkeit vernachlässigt, lässt sich das Raumklima näherungsweise mit den beiden Parametern

⁶⁵ Vgl. RICHTER, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb, S. 17.

⁶⁶ RICHTER, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb, S. 18.

⁶⁷ Vgl. RICHTER, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb, S. 18.

Lufttemperatur und Strahlungstemperatur durch die operative Temperatur beschreiben (Abbildung 16).⁶⁸

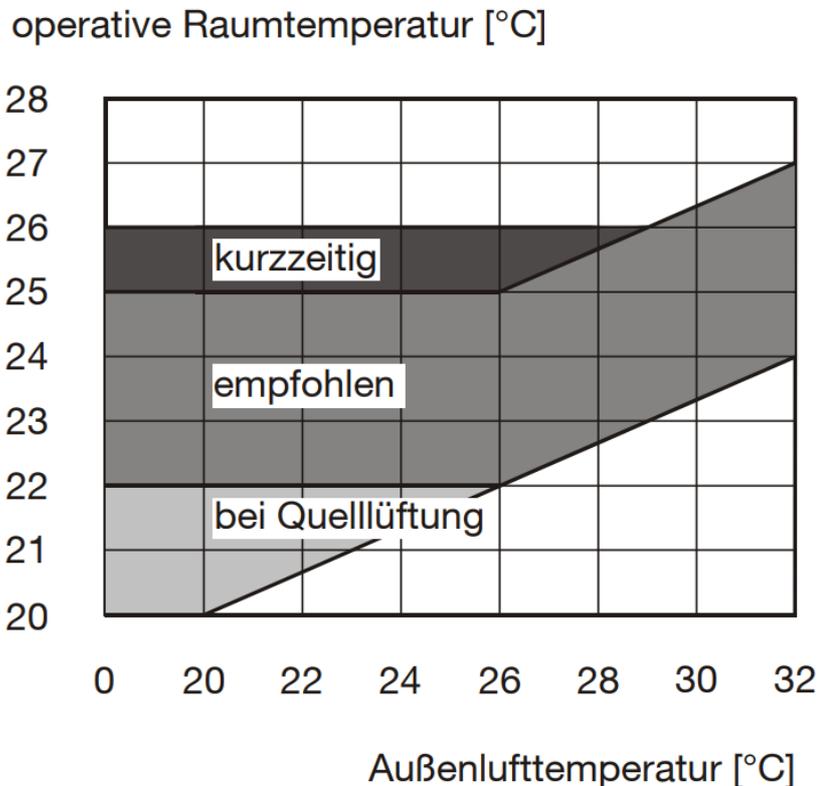


Abbildung 16: Zulässige Temperaturbereiche nach DIN 1946-2: 1994⁶⁹

PPD-Wert:

PPD steht für Predicted Percentage of Dissatisfied (vorausgesagte Prozentsatz an Unzufriedenen). Der PPD-Wert gibt den zu erwartenden Prozentsatz einer Personengruppe an, die mit dem Raumklima unzufrieden ist. Dieser Wert kann wiederum mittels einer Gleichung bestimmt werden.⁷⁰

In Abbildung 17 ist der Zusammenhang zwischen PMV- und PPD-Wert dargestellt.

⁶⁸ Vgl. RICHTER, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb, S. 19–21.

⁶⁹ RICHTER, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb, S. 18.

⁷⁰ Vgl. RICHTER, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb, S. 18.

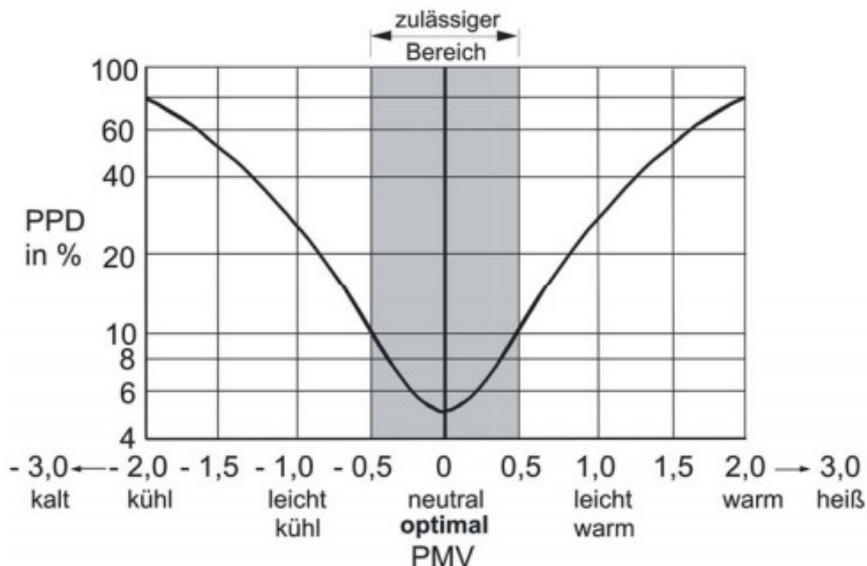


Abbildung 17: PPD-Wert in Abhängigkeit von PMV-Wert⁷¹

In der Grafik lässt sich erkennen, dass selbst bei einem PMV = 0 mindestens 5 % der Raumnutzer unzufrieden mit dem Raumklima sind. Das resultiert aus unterschiedlichen thermischen Empfindungen der Raumnutzer.⁷²

Lokale Parameter:

Anhand der globalen Parameter wird das thermische Behaglichkeitsempfinden des Körpers als Ganzes beschrieben. Thermische Unzufriedenheit kann allerdings auch aus lokaler Abkühlung bzw. Erwärmung entstehen. Aus diesem Grund gilt es, für die Gesamtbewertung der thermischen Behaglichkeit eines Raumes ebenso die lokalen Parameter zu betrachten.⁷³

Nach ÖNORM EN ISO 7730 können die lokalen Parameter rechnerisch ermittelt werden, indem folgende Kriterien mit dem jeweiligen Prozentsatz berücksichtigt werden:

⁷¹ RICHTER, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb, S. 18.

⁷² Vgl. RICHTER, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb, S. 19.

⁷³ Vgl. ebd., S. 21.

a) DR-Wert (Zugluft):

DR steht für draught rating oder draft risk und beschreibt das Zugluftrisiko. Mit dem DR-Wert wird angegeben, wie viele Raumnutzer sich prozentual durch Zugluft beeinträchtigt fühlen.⁷⁴

b) PD-Wert (vertikaler Lufttemperaturunterschied):

Thermische Unbehaglichkeit kann ebenso durch einen zu hohen vertikalen Lufttemperaturunterschied zwischen Fußgelenk und Kopf entstehen. Je nach Temperaturdifferenz kann der Prozentsatz an Unzufriedenen ermittelt werden. Dieser wird mit dem PD-Wert (Percentage of Dissatisfied) angegeben. Der PD-Wert wird aber nicht nur für den Lufttemperaturunterschied verwendet, sondern auch für die Oberflächentemperatur des Fußbodens sowie für die Strahlungsasymmetrie.⁷⁵

c) PD-Wert (zulässige Oberflächentemperatur des Fußbodens):

Zu kalte oder zu warme Fußböden können ebenfalls eine thermische Unbehaglichkeit hervorrufen. Aus diesem Grund wird ein PD-Wert ermittelt, um den Prozentsatz der Unzufriedenen in Abhängigkeit von der Fußbodentemperatur zu bestimmen.⁷⁶

d) PD-Wert (Strahlungsasymmetrie):

Wie beim Fußboden kann bei einer zu kalten oder zu warmen Wand oder Decke eine thermische Unbehaglichkeit entstehen. Um dieses Kriterium zu berücksichtigen, wird auch hier ein PD-Wert ermittelt, der den Prozentsatz an Unzufriedenen als Funktion einer asymmetrischen Strahlungstemperatur angibt.⁷⁷

Gesamtbewertung:

Um zu einer Gesamtbewertung zu kommen, werden alle globalen und lokalen Behaglichkeitskriterien betrachtet. Aufgrund der Individualität bei der Beurteilung der thermischen Behaglichkeit ist es schwer möglich, ein Umgebungsklima zu finden, welches sämtliche Ansprüche aller Raumnutzer erfüllt. Aus diesem Grund wird das

⁷⁴ Vgl. RICHTER, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb, S. 21.

⁷⁵ Vgl. ebd., S. 25.

⁷⁶ Vgl. ebd., S. 25.

⁷⁷ Vgl. ebd., S. 23.

Umgebungs-klima in drei Umgebungs-kategorien unterteilt, um vorherzusagen, welches Umgebungs-klima den meisten Raumnutzern entspricht. Dabei wird bei Kategorie A ein hoher Grad an Zufriedenheit erwartet, bei Kategorie B ein mittlerer Grad an Zufriedenheit und bei Kategorie C werden mehr unzufriedene Raumnutzer erwartet (Tabelle 9).⁷⁸

Kategorie	Erwartungsniveau
A	Hoch
B	mittel
C	gemäßigt

Tabelle 9: Zuordnung von Umgebungs-kategorie und Erwartungsniveau⁷⁹

Unter der Voraussetzung, dass sowohl die globalen als auch die lokalen Behaglichkeitsgrenzen nicht ihre Maximalwerte überschreiten, können sie kategorisiert werden. Die ÖNORM EN ISO 7730 umfasst dazu folgende Grenzwerte für die Kategorien des Umgebungs-klimas:

Kategorie	Thermischer Zustand des Körpers insgesamt		Lokale Behaglichkeit			
	PPD %	PMV	DR %	PD %		
				Vertikaler Lufttemperaturunterschied	warmer oder kalter Fußboden	asymmetrische Strahlung
A	< 6	-0,2 < PMV < 0,2	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	-0,5 < PMV < 0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	-0,7 < PMV < 0,7	< 30	< 10	< 15	< 10

Tabelle 10: Kategorien des Umgebungs-klimas nach ÖNORM EN ISO 7730

Aus Wind, thermischen Effekte an den angrenzenden Luftschichten sowie Wechselwirkungen an den Öffnungen von der Außen- und der Innenseite entstehen weitere Außenbedingungen. Grundsätzlich sollte bei der Ausbildung einer Fassade versucht werden, die natürlichen Strömungen sowie die Be- und Durchlüftungen eines Gebäudes aufrechtzuerhalten.⁸⁰

⁷⁸ Vgl. RICHTER, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb, S. 27.

⁷⁹ RICHTER, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb, S. 27.

⁸⁰ Vgl. RICHTER, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb, S. 73.

Folgende mit der natürlichen Lüftung zusammenhängenden Probleme sollten vermieden werden:

- erhöhter Wärmebedarf,
- Zugluft im Inneren des Gebäudes,
- zu geringe Raumlufftfeuchte im Winter,
- zu geringe Lüftung bei Windstille,
- zu hohe Raumluffttemperatur in den Sommermonaten.⁸¹

4.2.3 Tragsicherheit und Lastabtragung

Nicht immer gab es statische Berechnungen zur Dimensionierung von Bauteilen und hat man sich auf Erfahrungswerte berufen. Durch das Streben nach immer größeren und höheren Bauwerken kam es jedoch auch zu Einstürzen. Heutzutage kommt es nur selten zum Einsturz von Bauwerken und Gefahren werden meist frühzeitig erkannt, sodass ihnen gegebenenfalls entgegengewirkt werden kann. Doch auch mit dem heutigen Wissensstand werden Bauwerke nicht für die Ewigkeit gebaut, vielmehr wird die Tragsicherheit unter Berücksichtigung der vorgesehenen Nutzungsdauer ermittelt. Ein Bauwerk muss aber nicht nur eine Tragsicherheit, sondern auch eine Gebrauchstauglichkeit aufweisen. Das bedeutet, dass ein versagtes Bauteil nicht zwingend die Tragsicherheit gefährdet. Eine Decke kann beispielsweise durch zu hohe Durchbiegung unbrauchbar sein, jedoch ist sie weiterhin tragfähig. Die Nachweise für die Tragsicherheit (Ultimate Limit State, ULS) und die Gebrauchstauglichkeit (Serviceability Limit State, SLS) sind daher immer getrennt zu führen.⁸²

Die Lasten, die auf eine Fassade einwirken, setzen sich aus Eigenlast, Windlast und hygrothermischen Beanspruchungen zusammen (Abbildung 18). Die Eigenlast wirkt durch die Masse des Fassadenaufbaus und ist ständig vorhanden. Windsog entsteht bei Luftströmungen, die seitlich oder oberhalb eines Gebäudes vorbeiströmen und dadurch Unterdruck produzieren. Durch hygrothermische Einwirkungen, die aus kalten oder warmen Temperaturen resultieren, ziehen sich die Materialien der Fassade zusammen oder dehnen sich aus und entwickeln innere Spannungen, wenn sie sich gegenseitig in ihrer Längenänderung behindern. All diese Beanspruchungen müssen durch geeignete Maßnahmen in das Tragwerk abgeleitet werden. Bei WDVS nehmen der Kleber und die

⁸¹ Vgl. RICHTER, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb, S. 73 ff.

⁸² Vgl. KNAACK, U.; KLEIN, T.; BILOW, M.; AUER, T.: Fassaden: Prinzipien der Konstruktion, S. 38 ff.

Dübel die Last auf und leiten diese in das Tragwerk ein. Spannungen aus hygrothermischer Einwirkung werden durch den außen aufgetragenen Klebemörtel und durch das Armierungsgewebe aufgenommen, um Risse zu verhindern.⁸³

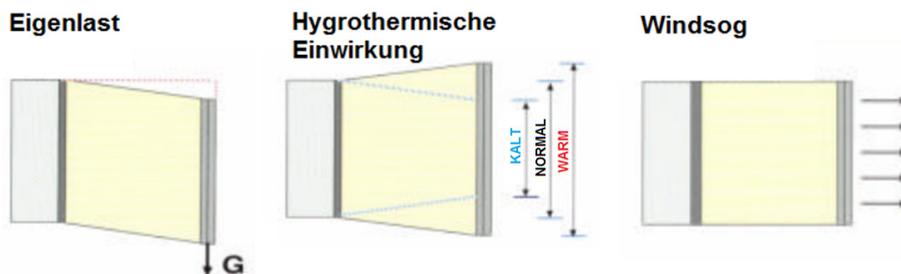


Abbildung 18: Einwirkende Lasten⁸⁴

Damit ein Hersteller seine Produkte für die Anwendung in Fassaden europaweit vertreiben kann, ist eine CE-Kennzeichnung notwendig. Dass auf den Markt bringen von Bauprodukten wird von der EU-Bauproduktenverordnung geregelt. Sämtliche Bauprodukte, die von einer harmonisierten Norm (hEN) erfasst sind oder einer Europäischen Technischen Bewertung (ETB) entsprechen, müssen eine Leistungserklärung aufweisen, damit sie eine CE-Kennzeichnung tragen dürfen. Durch die CE-Kennzeichnung ist der Hersteller für die Konformität des Bauproduktes mit den erklärten Leistungen aus der Leistungserklärung verantwortlich. Das bedeutet, dass das Bauprodukt allen Anforderungen der Bauproduktenverordnung entspricht. Es gibt aber auch Bauprodukte, die in den nicht-harmonisierten Bereich fallen. Die Produktsicherheit solcher Bauprodukte muss dennoch wie die Identifizierbarkeit und die Rückverfolgbarkeit gewährleistet sein.⁸⁵

4.3 Schutzwirkung

Die Grundanforderung an Gebäude ist der Schutz vor äußeren Einflüssen wie Wind, Kälte, Niederschlag und Hitze. Hinzu kommen weitere Anforderungen, die einen Standard für das Wohnen und das Leben schaffen. Dazu zählen unter anderem Sichtschutz, Witterungsschutz, Wärmeschutz, Brandschutz, Schallschutz, Schutz vor Einbruch und Schutz vor höheren Gewalten. Nachfolgend werden

⁸³ Vgl. Glantschnigg, N.: Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS): Vermeidung von Verarbeitungsmängeln, S. 5-8.

⁸⁴ Glantschnigg, N.: Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS): Vermeidung von Verarbeitungsmängeln, S. 6.

⁸⁵ Vgl. <https://www.oib.or.at/de/kennzeichnung-und-zulassung-von-bauprodukten/ce-kennzeichnung> (Stand: 18.01.2019)

die Anforderungen an die Schutzwirkung, welche die Fassade betreffen, genauer dargelegt.

4.3.1 Wärmeschutz

Unter Wärmeschutz wird die Verringerung des Wärmetransports durch Bauteile hindurch verstanden. Das Ziel ist es, möglichst wenig Energie zum Heizen oder zum Kühlen von Räumen zu verwenden. Wärme fließt grundsätzlich immer von der warmen zur kalten Seite hin. Eine gut wärmegeämmte Fassade verringert die Transmissionswärmeverluste enorm. Durch richtige Ausrichtung sowie Größe der Fensterflächen kann eine Fassade die Sonnenenergie zur Einsparung von Heizenergie nutzen. Zu große Fensterflächen können sich aber auch negativ auswirken, wenn die Speichermassen zu gering sind.⁸⁶

Wärmeleitfähigkeit (λ):

Die Wärmeleitfähigkeit ($\lambda = W/(m \text{ K})$) eines Materials gibt seine Fähigkeit an, Energie in Form von Wärme zu leiten. Es handelt sich hierbei um den Bemessungswert, welcher zur Beschreibung von wärmeschutztechnischen Eigenschaften eines Dämmstoffes dient. Je niedriger die Wärmeleitfähigkeit ist, umso weniger Dämmdicke wird benötigt, um einen vorgegebenen U-Wert zu erreichen (Abbildung 19).⁸⁷

⁸⁶ Vgl. AMTMANN, M. et al.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen, S. 14.

⁸⁷ Vgl. SPRENGARD, C.; TREML, S.; HOLM, A.: Technologien und Techniken zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Wärmedämmstoffe, S. 17.

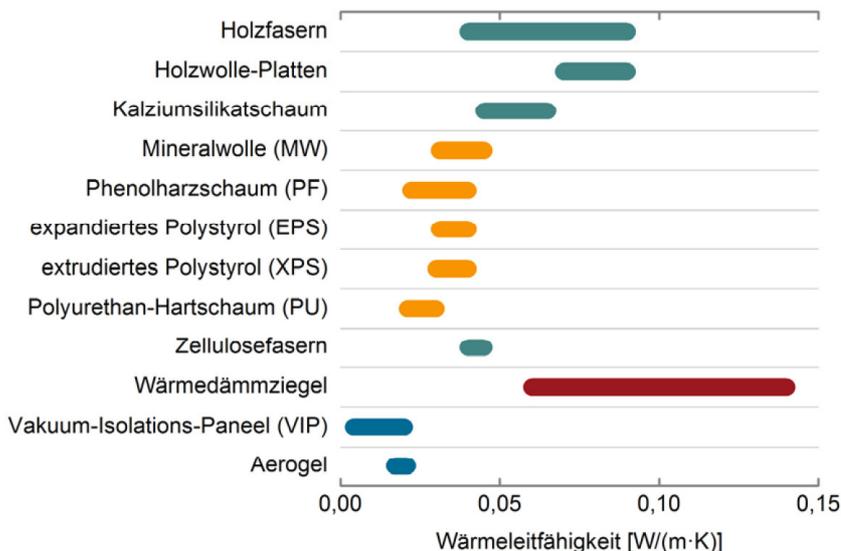


Abbildung 19: Bereich der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Dämmstoffe⁸⁸

Wärmedurchgangskoeffizient (U):

Der U-Wert hängt von der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke der einzelnen Schichten im Aufbau ab ($U \sim \lambda/d$ [W/m²·K]). Es ist aber zu beachten, dass die Dämmstoffdicke quadratisch in die Funktion des Wärmedurchgangskoeffizienten eingeht. Aus diesem Grund verhält sich die Dämmstoffdicke zum U-Wert nicht linear, sondern regressiv (Abbildung 20).⁸⁹

⁸⁸ SPRENGARD, C.; TREML, S.; HOLM, A.: Technologien und Techniken zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Wärmedämmstoffe, S. 17.

⁸⁹ Vgl. SPRENGARD, C.; TREML, S.; HOLM, A.: Technologien und Techniken zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Wärmedämmstoffe, S. 17.

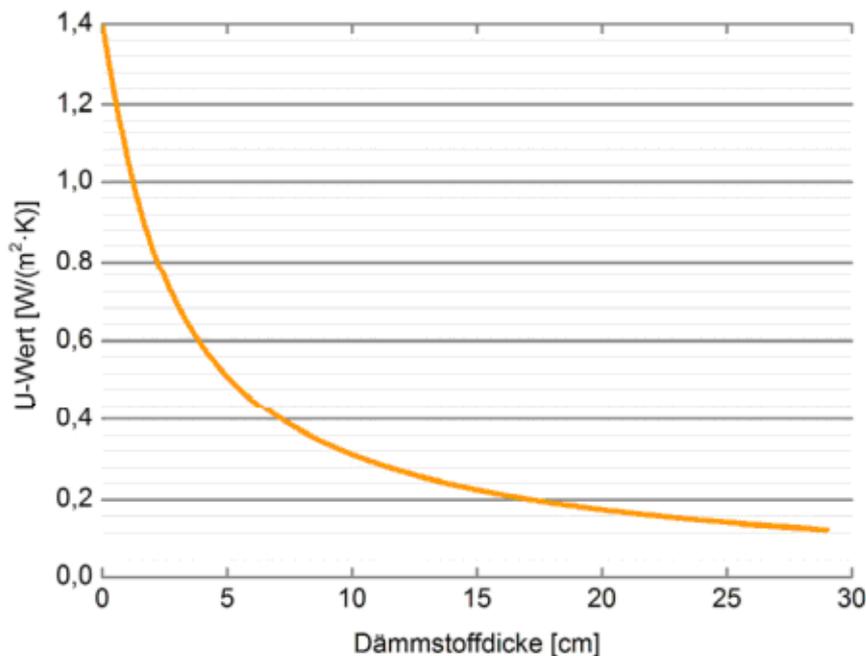


Abbildung 20: Einfluss der Dämmstoffdicke auf den U-Wert mit $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$ ⁹⁰

Der Wärmedurchgangskoeffizient einer Fassadenkonstruktion ist umso besser, je kleiner der U-Wert ist (U, [W/m²K]). Die in der Praxis errechneten U-Werte stellen immer den Idealfall dar und können nur erreicht werden, wenn der Dämmstoff fugenlos und ohne Durchdringungen eingebaut wird. Bereits kleinste Spalten und Löcher bewirken eine Luftzirkulation und dadurch eine Verschlechterung des U-Werts. Durch die Verwendung von Dübel oder Schienen zur Befestigung des Dämmmaterials treten lokale Wärmebrücken auf. Bei einer Unterschreitung des mittleren U-Wertes von mehr als um 3 % sind diese gesondert zu berücksichtigen. Beim Einbau von Wärmedämmungen ist besonders auf konstruktive Wärmebrücken (Fensteranschluss, Balkonanschluss) zu achten, da ansonsten die Gefahr von Tauwasser- und Schimmelbildung besteht.⁹¹

Wärmespeicherfähigkeit:

Die Wärmespeicherfähigkeit von Bauteilen ergibt sich aus der Rohdichte (ρ , kg/m³) und der spezifischen Wärmekapazität (c , J/(kg K)). Die spezifische Wärmekapazität eines Stoffes gibt jene Energiemenge an, die benötigt wird, um 1 kg des Stoffes um 1 K zu erwärmen. Die Wärmespeicherfähigkeit trägt dazu bei,

⁹⁰ PRIELER, M.; LEEB, M.; REITER, T.: 2017. Alternative Wege zum Nullenergiehaus – Endbericht, S. 15.

⁹¹ Vgl. AMTMANN, M. et al.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen, S. 14.

Temperaturschwankungen auszugleichen. Somit werden Räume im Sommer umso langsamer aufgewärmt, je höher die Speicherfähigkeit der Bauteile ist. Die Voraussetzung hierfür ist, dass die Bauteile mit der Raumluft in Verbindung stehen und sich raumseitig keine Wärmedämmungen befinden.⁹²

Begrenzung der Luftdurchlässigkeit:

Undichtigkeiten in der Fassade können unter anderem zu hohen Wärmeverlusten, vermindertem Schallschutz oder sogar zu Bauschäden führen. Aus diesem Grund ist eine Bauweise mit geringer Luftdurchlässigkeit besonders wichtig. Mit dem Blower-Door-Test kann die Luftdurchlässigkeit in ihrer Bedeutung für den Energieverbrauch überprüft werden (Abbildung 21). Dabei wird über einen Tür- oder einen Fensterrahmen ein Ventilator eingebaut, der 50 Pascal Unterdruck erzeugt. Der Luftvolumenstrom, der danach durch den Ventilator gefördert wird, entspricht dem Gesamtvolumenstrom aller Undichtheiten. Der Bemessungswert ist der nL50-Wert, welcher angibt, wie oft sich das Luftvolumen des Gebäudes bei einem Unterdruck von 50 Pa pro Stunde austauscht [1/h]. Der höchstzulässige Wert liegt bei Niedrigenergiehäusern bei $nL = \max. 1/h$ und bei Passivhäusern bei $nL = \max. 0,6/h$.⁹³

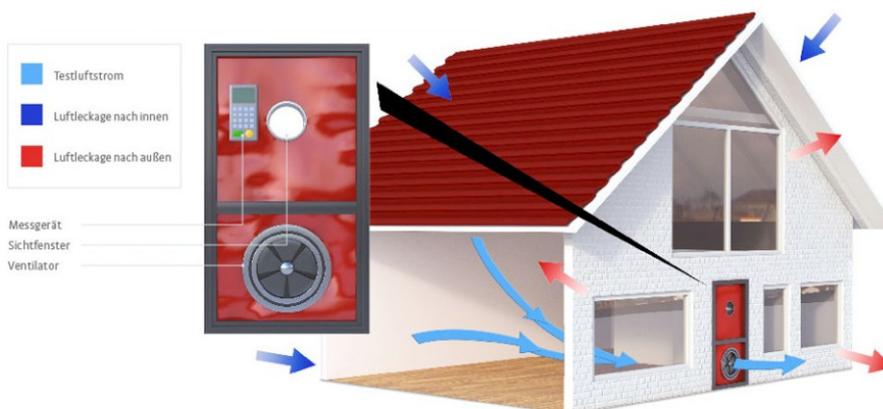


Abbildung 21: Blower-Door-Test⁹⁴

⁹² Vgl. AMTMANN, M. et al.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen, S. 14.

⁹³ Vgl. <https://www.swd-ag.de/privatkunden/energieberatung/blower-door-test/> (Stand: 18.01.2019)

⁹⁴ <https://www.swd-ag.de/privatkunden/energieberatung/blower-door-test/> (Stand: 18.01.2019)

Planungshinweise:

Nachfolgende Planungshinweise gelten in Hinblick auf den winterlichen Wärmeschutz

- Kompakte Bauweise mit wenig Vor- und Rücksprüngen sowie Gaupen; charakteristische Länge l_c möglichst niedrig. l_c ergibt sich aus dem Verhältnis des beheizten Volumens (V) zu dessen umschließender Oberfläche (A); $l_c = V/A$;
- Solare Gewinne nutzen durch große Fensterflächen von Südosten bis Südwesten und kleine Fensterflächen im Norden;
- Fenster mit drei Scheiben Isolierglas;
- Räume mit niedriger Raumtemperatur von anderen trennen; Stiegenhaus oder Eingangsbereich im Norden, Wohnräume im Süden;
- Blendschutz durch innenliegende Systeme in der kalten Jahreszeit;
- (Beschattung durch außenliegende Systeme in der warmen Jahreszeit).⁹⁵

4.3.2 Feuchteschutz

Der Feuchteschutz befasst sich mit allen baulichen Maßnahmen, die dazu dienen, schädliche Wasserdampfkondensation an den inneren Bauteiloberflächen und in den Bauteilen selbst zu verhindern. Dies wird durch die richtige Wahl der Art und der Anordnung der Baustoffschichten erreicht. Anforderungen an und die Hinweise zum Kondenswasserschutz sind in der ÖNORM B 8110-2 enthalten. Die Norm schreibt vor, dass alle Bauteile, welche Luftschichten mit unterschiedlichen Luftzuständen trennen, wärmeschutztechnische so zu bemessen sind, dass weder im Bauteilinneren noch auf der Bauteiloberfläche die Temperatur unter die Sättigungstemperatur sinkt. Hinsichtlich des Schutzes vor Schimmelbildung darf die Temperatur nicht unter die Taupunkttemperatur der Innenluft absinken.⁹⁶

Unter Taupunkttemperatur wird jene Temperatur einer Luftschicht verstanden, bei der entweder durch Erhöhung des Feuchtegehalts oder durch Absenkung der Temperatur die Sättigungsgrenze eines

⁹⁵ Vgl. AMTMANN, M. et al.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen, S. 14f.

⁹⁶ Vgl. KAUTSCH, P.: Vorlesungsunterlage – Bauphysik 1: Wärmeschutz & Feuchtigkeitsschutz, S. 59.

Luftvolumens erreicht wird. Die relative Luftfeuchte, die in Prozent angibt, in welchem Grade die Luft mit Wasser gesättigt ist, beträgt dabei 100 %. Die relative Luftfeuchte ist temperaturabhängig. Das bedeutet, je höher die Lufttemperatur ist, desto mehr Feuchte kann ein Luftvolumen halten.⁹⁷

Diffusionswiderstand:

Wasserdampfdiffusion ist ein Vorgang, der die Eigenbewegung von Wasserdampf durch Bauteile hindurch aufgrund von Konzentrationsunterschieden beschreibt. Dabei erfolgt die Wasserdampfdiffusion immer von der Seite mit dem höheren zu jener mit dem geringeren Dampfdruck. Der Diffusionswiderstand (s_d) gibt die äquivalente Luftschichtdicke eines Stoffes an und wird in Meter [m] angegeben. Die Ermittlung erfolgt mit Schichtdicke (d , [m]) multipliziert mit der Diffusionswiderstandszahl (μ , [-]), $s_d = \mu \cdot d$. Materialien werden als Dampfbremsen bezeichnet, wenn sie einen Diffusionswiderstand unter $s_d = 1500$ m aufweisen. Darüber hinaus wird von Dampfsperren gesprochen.⁹⁸

Planungshinweise:^{99, 100}

Oberflächenkondensat kann zu Bauschäden sowie Schimmelbildung führen und gesundheitliche Risiken mit sich bringen. Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen führt zu einer Verschlechterung des U-Wertes und kann bleibende Schäden am Bauteil nach sich ziehen. Um dies zu vermeiden sind folgende Grundsätze einzuhalten:

- Innen diffusionsdicht, außen diffusionsoffen (Diffusionswiderstand nimmt von innen nach außen ab);
- genügend dicke Wärmedämmung, Vermeidung von Wärmebrücken;
- Möbel nicht dicht an der Außenwand, wirkt als Innendämmung;
- regelmäßiges Lüften, damit die Luftfeuchtigkeit sinkt;
- richtig heizen, Badezimmer vor Nutzung aufheizen.

⁹⁷ Vgl. KAUTSCH, P.: Vorlesungsunterlage – Bauphysik 1: Wärmeschutz & Feuchtigkeitsschutz, S. 59.

⁹⁸ Vgl. ebd., S. 72ff.

⁹⁹ Vgl. ebd., S. 70.

¹⁰⁰ Vgl. AMTMANN, M. et al.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen, S. 15f.

4.3.3 Baulicher Feuchteschutz

Eine Fassade wird ständig durch Feuchtigkeit beansprucht. Folgende Einwirkungen können auftreten:

- Niederschlagwasser (Schlagregen),
- Bodenfeuchte im Sockelbereich,
- aufsteigende Feuchte im Mauerwerk,
- Feuchtigkeitseinwirkung von Innen (Neubaufeuchtigkeit, Wasserdampf durch Haushalt, Tauwasser).¹⁰¹

Die Fassade eines Gebäudes muss immer ganzheitlich betrachtet werden. Das bedeutet, dass auf alle Fenster, Türen Sonnenschutzeinrichtungen, Balkone, Auskragungen etc. in die Betrachtung eingeschlossen werden müssen, da sämtliche Anschlüsse neben den Wärmeschutzanforderungen auch schlagregen- und winddicht ausgeführt werden müssen. Bei Fenstern und Türöffnungen in WDVS ist besonders sorgfältig zu arbeiten, um Schlagregen nicht eindringen zu lassen. Die Fensterbank hat die Aufgabe, das Oberflächenwasser von der Fassade und dem Fenster fernzuhalten. Dabei gibt es einstufige und zweistufige Abdichtungen. Bei der einstufigen Abdichtung wird das auftretende Wasser über das Fensterbanksystem sowie über die Anschlüsse zum Blendrahmen abgeleitet (Abbildung 22).¹⁰²

¹⁰¹ Vgl. KAUTSCH, P.: Vorlesungsunterlage – Bauphysik 1: Wärmeschutz & Feuchtigkeitsschutz, S. 98.

¹⁰² Vgl. Gütegemeinschaft Wärmedämmungen von Fassaden e. V.: Empfehlungen für den Einbau/Ersatz von Metall-Fensterbänke (WDVS-Fassade), S. 11.

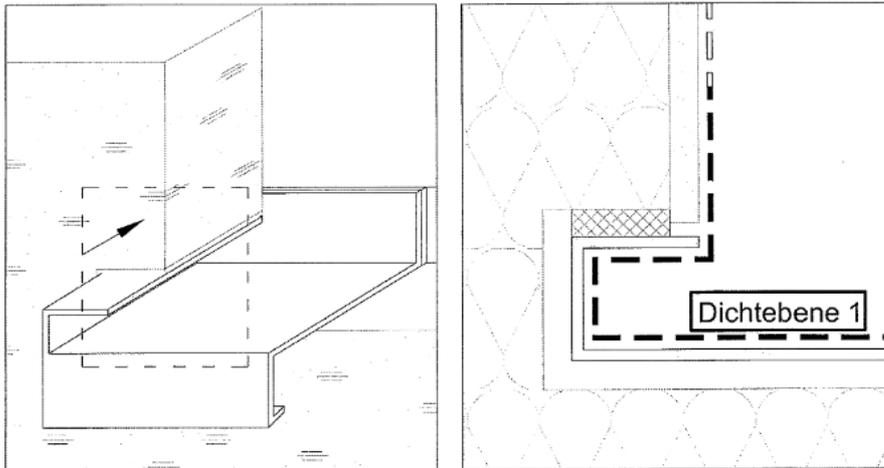


Abbildung 22: Einstufige Abdichtung¹⁰³

Wenn die Dichtebene 1 keine dauerhafte Abdichtung gewährleisten kann, ist eine zweite Dichtebene anzubringen. Dabei wird unter der Fensterbank durch Dichtanstrich, Dichtbahnen oder Profile die Dichtebene 2 hergestellt. So kann über die Dichtebene 1 eingedrungenes Wasser über die Dichtebene 2 abgeleitet werden (Abbildung 23).¹⁰⁴

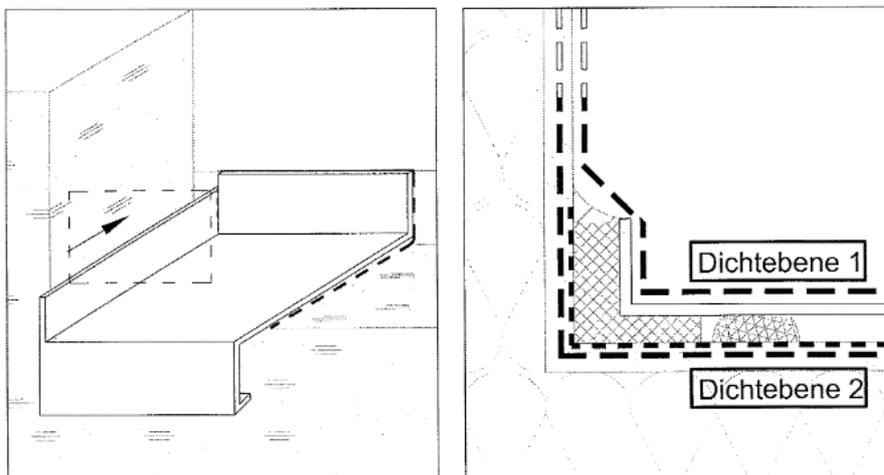


Abbildung 23: Zweistufige Abdichtung¹⁰⁵

¹⁰³ Gütegemeinschaft Wärmedämmungen von Fassaden e. V.:
Empfehlungen für den Einbau/Ersatz von Metall-Fensterbänke (WDVS-Fassade), S. 11.

¹⁰⁴ Vgl. Gütegemeinschaft Wärmedämmungen von Fassaden e. V.:
Empfehlungen für den Einbau/Ersatz von Metall-Fensterbänke (WDVS-Fassade), S. 16.

¹⁰⁵ Gütegemeinschaft Wärmedämmungen von Fassaden e. V.:
Empfehlungen für den Einbau/Ersatz von Metall-Fensterbänke (WDVS-Fassade), S. 16.

4.3.4 Brandschutz¹⁰⁶

Beim Brand- und Rauchschutz geht es im Wesentlichen um Vorkehrungen zur Brandverhütung bzw. zur Verzögerung der Brandentwicklung sowie zur Abfuhr von Wärme und Rauch. Die Brand- und Rauchschutzeigenschaften von Fassaden sind entscheidend für den vorbeugenden Brandschutz.

Das Klassifizierungssystem der EU hat dazu sieben Euroklassen entworfen. Die Klassifizierung erfolgt auf Basis von vier verschiedenen Prüfverfahren und einem Referenzszenario, welches durch die EN 13501-1 geregelt ist:

- Feuerüberschlag (Zeit bis zum Flashover) in Euroklassen: A1, A2 und B bis F;
- Raumentwicklung in Unterklassen: s1, s2, s3;
- brennendes Abtropfen in Unterklassen: d0, d1, d2.

Daraus ergeben sich die Brandverhaltensklassen in Abhängigkeit von der Gebäudeklasse. Grundsätzlich gilt, dass Aufenthaltsräume so auszubilden sind, dass gefährliche Emissionen aus Baumaterialien zu keiner Konzentration führen dürfen, die gesundheitsschädlich sein kann. Zu erwähnen ist darüber hinaus, dass Bauprodukte unter Berücksichtigung ihrer Anwendung betrachtet werden. Dämmstoffe wie EPS oder Hanf fallen lediglich in die Klasse D. Da diese Dämmstoffe meist in einem WDVS-System angewendet werden, erreichen sie eine bessere Brandverhaltensklasse im System bei als alleiniger Betrachtung.

Feuerwiderstandsklassen:

Der Feuerwiderstand eines Bauteils oder eines Produkts wird unabhängig von seiner Funktion beschrieben. Die ÖNORM EN 13501-2 unterscheidet in folgende Kriterien:

- Tragfähigkeit (R),
- Raumabschluss (E),
- Wärmedämmung (I).

Die Leistungsdauer des Bauteils im Brandfall wird in Minuten angegeben, bsp.: R 120 (120 min Tragfähigkeit im Brandfall). Hat ein Bauteil mehrere Funktionen, wie eine Tragfähigkeit von 120 min, eine

¹⁰⁶ Vgl. AMTMANN, M. et al.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen, S. 18ff.

raumabschließende Funktion für 60 min und eine Wärmedämmung für 30 min, entspricht es der Feuerwiderstandsklasse R120/RE60/REI30. Eine Fassadenkonstruktion, die mit der Klassifikation EI30 angegeben ist, hält demnach einem Normbrand 30 Minuten lang stand und hält dabei den Raumabschluss sowie die hitzeisolierende Eigenschaft.

4.3.5 Schallschutz

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Ausbildung von Fassaden ist die Schallübertragung. Da sich Schall auf beiden Seiten der Fassade bilden kann, tritt dieser sowohl als externe wie auch als interne Anforderung auf. Schallübertragung kann schon über minimale Schallbrücken stattfinden. Schallwellen breiten sich im Allgemeinen kugelförmig von der Schallquelle durch das Medium Luft aus und werden an Objekten und Oberflächen mehr oder weniger reflektiert. Je glatter und härter die Oberfläche ist, umso stärker fällt die Reflexion aus. Im Bauwesen wird bei der Schallausbreitung zwischen Luftschall und Körperschall unterschieden. Luftschall entsteht beispielsweise durch Sprachkommunikation oder Musik und breitet sich durch Druckschwingungen in der Luft aus (Abbildung 24 links). Körperschall wird durch Bewegungen auf festen Körpern erzeugt und breitet sich im Körper selbst aus, beispielsweise das Einschlagen eines Nagels in eine Wand oder das Treten auf den Boden. Luftschall wird als Körperschall ebenso durch feste Körper hindurch übertragen und gelangt dann wieder als Luftschall zum Hörer (Abbildung 24 rechts).¹⁰⁷

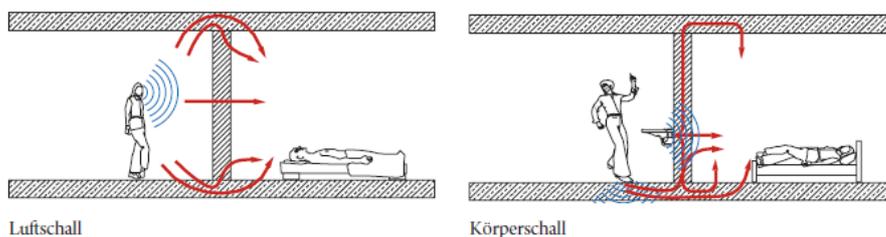


Abbildung 24: Schallübertragung¹⁰⁸

Die für Fassaden maßgebende Geräuschbelastung ist der Außenlärm. Unter Außenlärm werden Industrielärm, Nachbarschaftslärm, Sportlärm, Verkehrslärm, Baulärm oder eine Zusammensetzung dieser subsumiert. In den meisten Fällen ist

¹⁰⁷ Vgl. AMTMANN, M. et al.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen, S. 17.

¹⁰⁸ AMTMANN, M. et al.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen, S. 17.

jedoch Verkehrslärm das einwirkende Geräusch. Verkehrslärm kann durch Straßenverkehr, Luftverkehr oder Schienenverkehr entstehen, wobei der Straßenverkehrslärm im Bauwesen am häufigsten maßgebend ist. In Abbildung 25 sind die Frequenzspektren nach ÖNORM EN ISO 717-1 dargestellt.¹⁰⁹

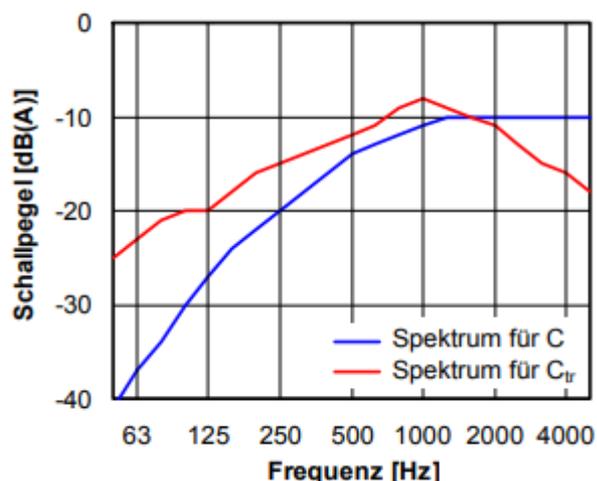


Abbildung 25: Frequenzspektren zur Berechnung der Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr}.¹¹⁰

Das Spektrum für C stellt eine vereinfachte Nachbildung wohnüblicher Geräusche dar und das Spektrum für C_{tr} den standardisierten Verkehrslärm. Daraus lässt sich erkennen, dass Verkehrslärm vor allem im tiefen Frequenzbereich (unter 1000 Hz) den höchsten Schalldruckpegel aufweist. Deshalb sollten Außenbauteile vor allem im tiefen Frequenzbereich eine hohe Schalldämmung aufweisen. Der tiefe Frequenzbereich von Verkehrslärm ist auch der Grund für die 5 dB geringere Mindestanforderung an den Schallschutz (bsp.: $R_w = 48$ dB, $R_w + C_{tr} = 43$ dB).¹¹¹

Die Anforderungen an den Mindestschallschutz im Hochbau sind in der ÖNORM B 8115-2 – Schallschutz und Raumakustik im Hochbau – Teil 2 festgelegt. Die Anforderungen an den Schallschutz für Außenbauteile, zu denen auch Fassaden zählen, sind wie folgt zu ermitteln. Je höher der Außenlärmpegel ist, desto höher sind auch die Mindestanforderungen an die Schalldämmung. Der Außenlärmpegel ist getrennt für den Tag (06.00 Uhr bis 22:00 Uhr) und für die Nacht zu betrachten und der jeweils ungünstigere Wert ist maßgebend. Die Luftschalldämmung von Bauteilen wird mit dem bewerteten

¹⁰⁹ Vgl. Weber, L.; MÜLLER, S.: Schallschutz bei Wärmedämmverbundsystemen, S. 10f.

¹¹⁰ Weber, L.; MÜLLER, S.: Schallschutz bei Wärmedämmverbundsystemen, S. 11.

¹¹¹ Vgl. Weber, L.; MÜLLER, S.: Schallschutz bei Wärmedämmverbundsystemen, S. 11.

Schalldämm-Maß R_w angegeben. Dabei wird zwischen opaken Außenbauteilen und Fenstern sowie Außentüren unterschieden. Die Anforderungen für Fenster und Außentüren liegen immer unter den Anforderungen für opake Außenbauteile (bsp.: $R_{w,opak} = 43$ dB, $R_{w,F\&A} = 28$ dB). Zusätzlich gibt es das bewertete resultierende Bauschalldämm-Maß $R'_{res,w}$, welches für die Außenbauteile gesamt steht. Die absoluten Mindestanforderungen für opake Außenbauteile liegt bei $R_w = 43$ dB und muss mindestens 5 dB über $R'_{res,w}$ liegen. Für Fenster und Außentüren darf R_w nicht mehr als 5 dB unter $R'_{res,w}$ liegen. Zur Veranschaulichung dient Tabelle 11.¹¹²

Mindest erforderliche Schalldämmung von Außenbauteilen für Wohngebäude, -heime, Hotels, Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser, Kurgebäude u. dgl.								
Maßgeblicher Außenlärmpegel [dB]		Außenbauteile gesamt [dB]	Außenbauteile opak [dB]	Fenster und Außentüren [dB]		Decken und Wände gegen nicht ausgebauten Dachräume [dB]	Decken und Wände gegen Durchfahrten und Garagen [dB]	Gebäudetrennwände (je Wand) [dB]
Tag	Nacht	$R'_{res,w}$	R_w	R_w	R_w+C_{tr}	R'_{res}	R'_{res}	R_w
≤ 45	≤ 35	33	43	28	23	42	60	52
46 - 50	36 - 40	33	43	28	23	42	60	52
51 - 60	41 - 50	38	43	33	28	42	60	52
61	51	38,5	43,5	33,5	28,5	47	60	52
62	52	39	44	34	29	47	60	52
63	53	39,5	44,5	34,5	29,5	47	60	52
64	54	40	45	35	30	47	60	52
65	55	40,5	45,5	35,5	30,5	47	60	52
66	56	41	46	36	31	47	60	52
67	57	41,5	46,5	36,5	31,5	47	60	52
68	58	42	47	37	32	47	60	52
69	59	42,5	47,5	37,5	32,5	47	60	52
70	60	43	48	38	33	47	60	52
71	61	44	49	39	34	47	60	52
72	62	45	50	40	35	47	60	52
73	63	46	51	41	36	47	60	52
74	64	47	52	42	37	47	60	52
75	65	48	53	43	38	47	60	52
76	66	49	54	44	39	47	60	52
77	67	50	55	45	40	47	60	52
78	68	51	56	46	41	47	60	52
79	69	52	57	47	42	47	60	52
≥ 80	≥ 70	53	58	48	43	47	60	52

Tabelle 11: Mindest erforderliche Schalldämmung von Außenbauteilen¹¹³

Um die Schallübertragung von Fassaden so gut wie möglich zu reduzieren bzw. die Übertragung zu verhindern, müssen Maßnahmen getroffen werden, welche verhindern, dass Schall durch Undichtigkeiten, Fugen, Spalten und Ritzen hindurchgelangt. Eine Möglichkeit der Reduktion von Schallübertragung ist die Anwendung einer zweischaligen Konstruktion, welche im Zwischenraum einen Dämmstoff mit geringer dynamischer Steifigkeit sowie eine hohe flächenbezogenen Masse bei beiden Schalen aufweist (Prinzip: Masse – Feder – Masse). Das Federungsvermögen eines Dämmstoffes wird mit der dynamischen Steifigkeit angegeben, welche sich aus dem dynamischen E-Modul und der Dicke des Dämmstoffes ergibt.¹¹⁴

¹¹² <http://www.bvfs.at/htm/pub/download/Schallschutz-Normung.pdf> (Stand: 18.01.2019)

¹¹³ Vgl. OIB-Richtlinie 5: Schallschutz, 2015, S. 2.

¹¹⁴ Vgl. Weber, L.; MÜLLER, S.: Schallschutz bei Wärmedämmverbundsystemen, S. 4ff.



m'_w flächenbez. Masse der Wand
 m'_p flächenbez. Masse der Putzschale
 s' dyn. Steifigkeit des Dämmstoffs

Abbildung 26: Akustisches Modell eines WDVS¹¹⁵

Das Schalldämmmaß einer einschaligen Konstruktion ist von der flächenbezogenen Masse abhängig. Das Schalldämmvermögen einer WDVS-Fassade hängt hingegen von drei Faktoren ab:

- flächenbezogene Masse der Grundwand m'_w ,
- dynamische Steifigkeit des Dämmstoffes s' ,
- flächenbezogene Masse der Putzschale m'_p .¹¹⁶

Um ein hohes Schalldämmmaß in dem tiefen Frequenzbereich von Verkehrslärm zu erreichen, ist eine tiefe Eigenfrequenz des WDVS notwendig. Die Ermittlung der Eigenfrequenz kann näherungsweise mit folgender Gleichung erfolgen:

$$f_0 = 160 \times \sqrt{\frac{s'}{m'_p}}$$

Folglich wird eine tiefe Eigenfrequenz durch eine hohe flächenbezogene Masse des Außenputzes sowie durch eine niedrige dynamische Steifigkeit des Dämmstoffes erreicht. Bei zusätzlicher Verdübelung wird das Schalldämmmaß verringert:

um -2 dB bei ≤ 6 Dübel/m² und um -4 dB bei ≥ 6 Dübel/m².¹¹⁷

4.4 Recycling und Rückbau

Für die Entsorgung von Dämmstoffen und Abfällen sind das österreichische Abfallwirtschaftsgesetz und die Baurestmassenverordnung einzuhalten. Das Recycling von EPS-Abfällen sowie deren Verwertung werden durch die Baurestmassenverordnung geregelt. Dazu gibt es auch einen

¹¹⁵ BRILLUX: Technische Info 5b03, S. 2.

¹¹⁶ Vgl. BRILLUX: Technische Info 5b03, S. 2–8.

¹¹⁷ Vgl. ebd., S. 2–8.

Leitfaden zur Verwertung und Entsorgung von Baurestmassen, der von der Wirtschaftskammer Österreich herausgegeben wurde.¹¹⁸ Zum jetzigen Zeitpunkt werden EPS-Fassaden hauptsächlich in Müllverbrennungsanlagen energetisch verwertet. Grundsätzlich gibt es folgende drei Möglichkeiten zur Verwertung von EPS (Abbildung 27):



Abbildung 27: Verwertung von EPS-Abfällen¹¹⁹

Bei der werkstofflichen Verwertung wird der Abfall ohne chemische Veränderung zu EPS-Granulat verarbeitet. Dies erfolgt derzeit nur in kleinen Mengen, da die Nachfrage nach recyceltem EPS gering ist. Vor allem aber liegt es an den bis vor einigen Jahren eingesetzten HBCD-haltigen EPS-Dämmplatten.¹²⁰ HBCD steht für Hexabromcyclododecan und wurde als Flammschutzmittel für EPS und XPS verwendet. Dabei handelt es sich um ein langlebiges Umweltgift, welches sich in Organismen anreichert. Laut dem Umweltbundesamt besteht der Verdacht, dass HBCD fortpflanzungsschädlich ist.¹²¹ Seit 2016 ist der Einsatz von HBCD durch die EU-Verordnung über persistente organische Schadstoffe (EU-POP-VO) verboten. Eine rein werkstoffliche Verwertung wäre aufgrund der hohen Kapazitäten in Österreich möglich. Dazu wären jedoch noch Untersuchungen zu Änderungen des

¹¹⁸ <https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/bau/broschuere-baurestmassen.pdf> (Stand: 22.03.2019)

¹¹⁹ ALBRECHT, W.; SCHWITALLA, C.: Rückbau, Recycling und Verwertung von WDVS, S. 45.

¹²⁰ Vgl. ALBRECHT, W.; SCHWITALLA, C.: Rückbau, Recycling und Verwertung von WDVS, S. 45–48.

¹²¹ Vgl. http://www.umweltbundesamt.at/aktuell/umweltanalytik_aktuell/analytiknews_160311/ (Stand: 17.02.2019)

Schadstoffausstoßes durch den erhöhten Bromgehalt nötig. Das Fraunhofer Institut IVV hat ein Verfahren mit dem Namen CreaSolv entwickelt, welches durch rohstoffliche Verwertung das HBCD herauslöst. Dabei wird mittels eines kombinierten Löse- und Fällprozesses, der in mehreren Durchläufen erfolgt, eine Wiederverwendbarkeit des Polystyrols und separierten Broms erreicht (Abbildung 28). Aufgrund der hohen Transportkosten beim Rückbau von EPS (wenig Gewicht bei hohem Volumen), der unzureichenden Trennverfahren sowie der HBCD-Problematik gibt es derzeit keine zufriedenstellende Alternative zur energetischen Verwertung.¹²²

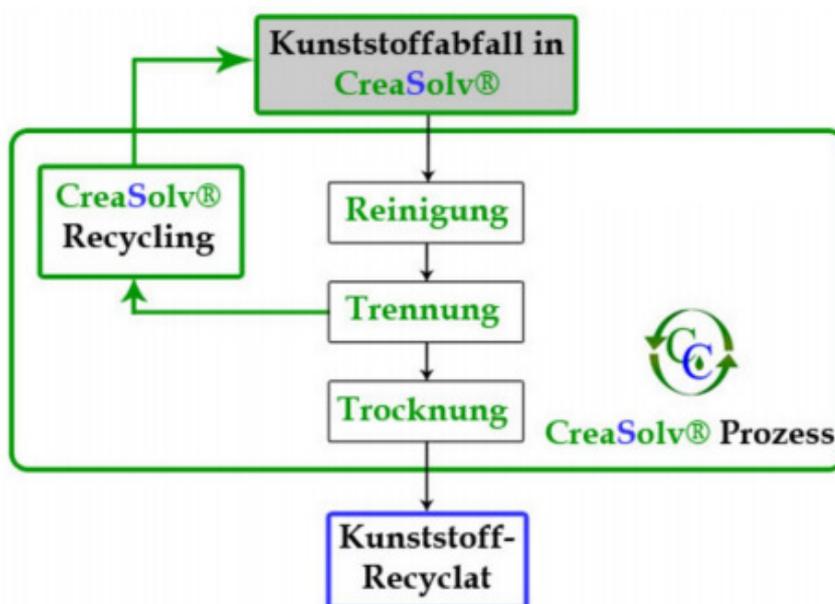


Abbildung 28: Prozessschema des CreaSolv-Verfahrens¹²³

¹²² Vgl. EIBENSTEINER, F.; PAULIK, C.; STADLBAUER, W.: STREC – EPS/XPS Recycling im Baubereich, Zusammenfassung der Studie.

¹²³ ALBRECHT, W.; SCHWITALLA, C.: Rückbau, Recycling und Verwertung von WDVS, S. 48.

5 Fassadensysteme

Fassaden werden nach verschiedenen Kriterien unterteilt. Da es keine einheitliche Definition zur Systematisierung von Fassaden gibt, werden nachfolgend nur ausgewählte Ansätze zur Unterscheidung angeführt:

- **Unterscheidung nach dem Fassadenprinzip:** nicht hinterlüftet, hinterlüftet, Sonderkonstruktion;
- **Unterscheidung nach der Rohbaustruktur:** Lochfassade, Skelettbauweise, Fenster-Brüstungsband-Fassade;
- **Unterscheidung nach der Konstruktionsart:** Pfosten-Riegel, Structural-Glazing, Vorhangfassade;
- **Unterscheidung nach bauphysikalischen Prinzipien:** Warmfassade, Kaltfassade, Doppelfassade.¹²⁴

Im Anschluss wird der Unterteilung nach den bauphysikalischen Prinzipien gefolgt.¹²⁵

5.1 Warmfassade

Unter Warmfassaden werden einschalige Fassaden verstanden, deren Schichtenaufbau aus einem oder aus mehreren Materialien bestehen kann (Abbildung 29). Die Materialien haben flächigen Kontakt und sind nicht durch eine Hinterlüftung getrennt. Eine zusätzliche wärmedämmende Schicht kann außen, innen oder dazwischen liegen. Sowohl der äußere Witterungsschutz als auch der Wärmeschutz werden von der Warmfassade übernommen. Ein typisches Beispiel für die Warmfassade ist das Wärmedämmverbundsystem (WDVS).¹²⁶

¹²⁴ Vgl. HASLER, E.: Studie – Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung, S. 3.

¹²⁶ <https://www.sanier.de/fassade/fassaden-arten/fassaden-arten-ueberblick>

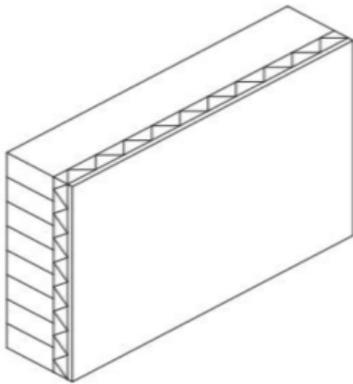


Abbildung 29: Prinzip Warmfassade¹²⁷

5.1.1 Verbundfassade auf monolithischer Wand¹²⁸

Unter Verbundfassade wird eine Fassade verstanden, bei der sämtliche Bestandteile flächig verbunden sind. Der Verbund entsteht durch Verputzen, Verkleben und/oder Verdübeln. Diese Fassade zählt zu den ältesten Fassadensystemen und besteht aus Mauerwerk/Ziegel oder Beton mit einer Putzschicht oder wärmedämmenden Schicht.



Abbildung 30: Verbundfassade^{129 130}

¹²⁷ http://zeus.h1arch.tuwien.ac.at/tuwis_img/gk/s09/VO/GK_VO_11_Oliver_EICHHORN_Wolfram_UANSCHOU.pdf (Stand: 18.01.2019)

¹²⁸ Vgl. HASLER, E.: Studie – Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung, S. 5.

¹²⁹ <https://www.cd-color.de/cdc-en/references/reference/putz-fassade-in-konstanz.php> (Stand: 24.01.2019)

¹³⁰ <https://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmed%C3%A4mmverbundsystem> (Stand: 24.01.2019)

Bei Verbundfassaden kann zwischen folgenden Varianten unterschieden werden:

Verputzte Wand mit Standardputz:

Die verputzte Wand stellt die klassische beidseitig verputzte Ziegelwand dar. Häuser aus der Gründerzeit sind ein typisches Beispiel für eine verputzte Wand mit Standardputz, die meist noch mit Gesims als Gestaltungsmittel verziert wurden. Üblicherweise wird ein mineralischer oder kunstharzgebundener Außenputz mit einer Stärke von 20 bis 30 mm verwendet.

Wärmedämmputzsystem (WDPS):

Wärmedämmputz besteht aus mineralischen Bindemitteln und organischen oder mineralischen Zuschlägen wie z. B. EPS oder Perlit. Er wird in einer Stärke von 20 bis 100 mm verarbeitet und kann außen oder innen aufgetragen werden.

Wärmedämmverbundsystem (WDVS):

Das Wärmedämmverbundsystem besteht aus einem Dämmstoff, der entweder geklebt und/oder verdübelt wird. Auf dem Dämmstoff wird eine armierte Putzträgerschicht aufgebracht, auf welcher dann der Außenputz aufgetragen wird.

5.1.2 Vorhangfassade¹³¹

Als Vorhangfassaden werden Fassaden bezeichnet, die als eigene Schale vor dem eigentlichen Tragwerk stehen. Somit ist eine solche Fassade geschossübergreifend und besteht je nach Anwendung aus Stahl-, Aluminium- oder Holzprofilen. Die Zwischenräume werden dann mit Glas oder Funktionselementen ausgefacht (Abbildung 31). Das Eigengewicht und die horizontalen Einwirkungen aus Wind werden zunächst an die Unterkonstruktion abgeleitet und anschließend an das Tragwerk. Zur Anwendung kommen sie meist als Pfosten-Riegel-Fassaden oder Elementfassaden. Darüber hinaus gibt es noch Sonderkonstruktionen, bei denen die Lasten über Seil- oder Fachwerkkonstruktionen abgeleitet werden. Diese Art der Fassade lässt einen großen Gestaltungsspielraum sowie einen variablen Achsabstand zu.

¹³¹ Vgl. HASLER, E.: Studie – Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung, S. 3.

Die Industriebaufassade zählt auch zu den Vorhangfassaden. Dabei werden entweder Sandwichpaneele direkt an das Tragwerk angebracht oder es wird eine Unterkonstruktion hergestellt, diese mit Mineralwolle ausgefüllt und mit Trapezblech verschlossen.



Abbildung 31: Vorhangfassade¹³²

5.1.3 Einschaliges Mauerwerk

Unter einschaligem Mauerwerk wird eine Außenwandkonstruktion verstanden, die rein aus Ziegeln oder andern Bausteinen besteht, welche mit einer Putzschicht versehen werden (Abbildung 32). Durch Lochung, poröses Gefüge und Dämmstofffüllung können moderne einschalige Mauerwerke auch die Anforderungen von Niedrigenergiehäusern erfüllen. Um das Wärmedämmvermögen zusätzlich zu steigern, wird Wärmedämmputz mit EPS oder Perliten als Leichtzuschlag außen aufgetragen.¹³³

¹³² <http://www.archiexpo.de/prod/metra/product-50378-575056.html> (Stand: 24.01.2019)

¹³³ Vgl. <https://wienerberger.de/ziegelloesungen/einschalige-l%C3%B6sung-f%C3%BCr-den-neubau> (Stand: 24.01.2019)

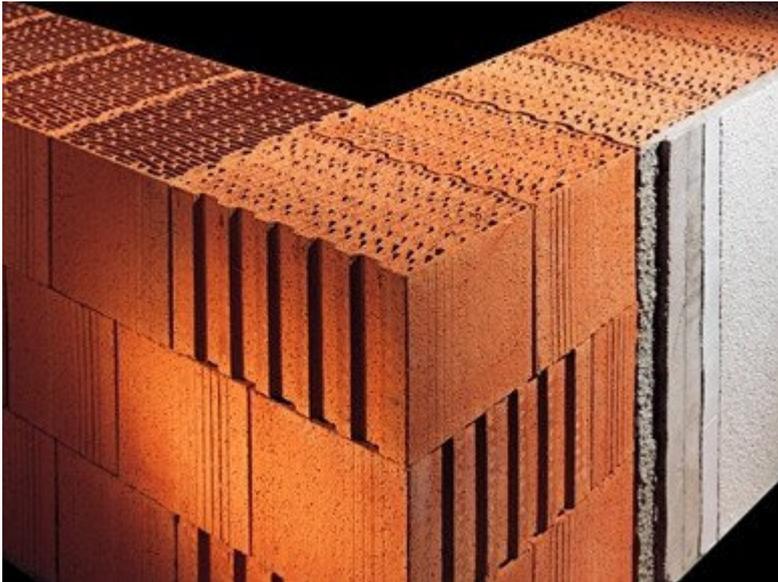


Abbildung 32: Einschaliges Mauerwerk¹³⁴

5.1.4 Zweischaliges Mauerwerk

Aufgrund der seltenen Anwendung in Österreich wird das zweischalige Mauerwerk hier nur im Sinne der Vollständigkeit angeführt und es wird nicht weiter darauf eingegangen.

Zweischalige Ausbildungen von Außenwänden haben sich in Regionen mit hoher Schlagregen- und Windbelastung bewährt, da sie als besonders wartungsarm und witterungsresistent gelten. Grundsätzlich besteht ein zweischaliges Mauerwerk aus der inneren Tragschale und der äußeren Verblendschale (Abbildung 33). Dadurch entsteht eine Luftschicht, die entweder teilweise oder komplett mit Dämmstoff ausgefüllt wird. Die Verblendschale übernimmt dabei den Witterungsschutz und wirkt sich durch die hohe flächenbezogene Masse positiv auf den Schallschutz aus.¹³⁵

¹³⁴ <https://www.baunetzwissen.de/mauerwerk/fachwissen/wand/einschalige-aussenwaende-162708> (Stand: 24.01.2019)

¹³⁵ Vgl. <https://www.ziegelindustrie.de/zweischaliges-mauerwerk/zweischalige-wand/> (Stand: 24.01.2019)



Abbildung 33: Zweischaliges Mauerwerk¹³⁶

5.2 Kalfassade

Die Kalfassade unterscheidet sich von der Warmfassade durch die Hinterlüftung zwischen Wärmedämmschicht und Wetterschutzschicht. Durch die Hinterlüftung kann auch eingedrungenes Wasser austrocknen. Ein weiterer Vorteil liegt in der thermischen Trennung. Durch sie wird bei starker Sonneneinstrahlung hauptsächlich die Wetterschutzschicht und nicht die Wärmedämmung aufgeheizt. Ein typisches Beispiel für die Kalfassade ist die vorgehängte hinterlüftete Fassade.

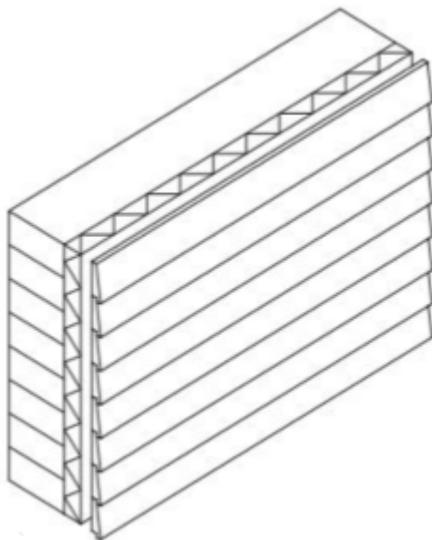


Abbildung 34: Prinzip Kalfassade¹³⁷

¹³⁶ <https://wienerberger.de/ziegelloesungen/warum-zweischalig-bauen>
(Stand: 24.01.2019)

5.2.1 Vorgehängte hinterlüftete Fassaden

Bei der vorgehängt hinterlüfteten Fassade wird mechanisch auf die eigentliche Tragstruktur eine Unterkonstruktion aus Aluminium, Stahl oder Holz befestigt. Zwischen der Grundlattung und der Unterkonstruktion befindet sich die Wärmedämmung. Die Konterlattung bestimmt die Größe der Hinterlüftung, auf der die Fassadenplatten schlussendlich befestigt werden. Fassadenplatten gibt es in den verschiedensten Ausführungen, Materialien und Formen, womit dieses Fassadensystem eine Vielfalt an Gestaltungsmöglichkeiten bietet.¹³⁸



Abbildung 35: Vorgehängte hinterlüftete Fassade¹³⁹

¹³⁷ http://zeus.h1arch.tuwien.ac.at/tuwis_img/gk/s09/VO/GK_VO_11_Oliver_EICHHORN_Wolfram_UANSCHOU.pdf (Stand: 24.01.2019)

¹³⁸ Vgl. SCHILD, K.; WEYERS, M.; WILLEMS, W.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details, S. 131.

¹³⁹ <https://www.bauforum.at/dach-wand/bekanntnis-zum-aussergewoehnlichen-165943> (Stand: 24.01.2019)

6 Wärmedämmverbundsystem – WDVS

Wärmedämmverbundsysteme gibt es seit den 1950er Jahren und sie werden umgangssprachlich auch als Vollwärmeschutz oder Thermohaut bezeichnet. Bei den ersten Wärmedämmverbundsystemen kamen als Dämmplatten ausschließlich Polystyrol-Dämmplatten (EPS) zum Einsatz, welche auch bis heute einen Marktanteil von über 80 % haben. Erst in den 1980er Jahren wurden die ersten Systeme auf der Basis von Mineralfaser-Dämmstoffen eingesetzt. Durch die ständige Weiterentwicklung gibt es heute eine Vielzahl an Dämmstoffen, die für ein WDVS eingesetzt werden können. Die vorrangigen Ziele bei der Nutzung von WDVS sind die Verringerung von Transmissionswärmeverlusten, um Heizenergie zu sparen, sowie die Vermeidung von Tauwasser im Bauteilinneren. Zudem tragen WDVS zur Steigerung von Wohnkomfort und Behaglichkeit bei. Sie eignen sich sowohl für den Neubau als auch für die energetische Optimierung von Bestandsgebäuden und sind vor allem im Wohnbau die am häufigsten eingesetzten Dämmsysteme. Zudem dienen WDVS in dieser Anwendung zur Sanierung eventuell schadhafter Bausubstanz, anstelle reiner Putz- oder Anstrichlösungen. Lediglich maximal zulässige Einbauhöhen oder systemspezifische Eigenschaften bilden Anwendungsgrenzen für WDVS.¹⁴⁰

6.1 Aufbau

Ein WDVS besteht aus mehreren Komponenten, die aufeinander abgestimmt sind, und können auf nahezu allen massiven Untergründen (Mauerwerk, Beton, Holzwerkstoffplatten etc.) eingesetzt werden (Abbildung 36).¹⁴¹

Um ein WDVS aufzubringen, wird als Erstes die Tragfähigkeit des Untergrunds überprüft. Dieser muss fest, trocken, staubfrei und frei von losem Putz oder nicht tragenden Anstrichen sein. Bei großen Unebenheiten müssen diese entweder ausgeglichen werden oder es müssen Schienensysteme eingesetzt werden. Ist der Untergrund vorbereitet, werden die Dämmplatten mit Klebemörtel verklebt. Anschließend werden die Dämmplatten zusätzlich mit Dübeln befestigt. Auf die Dämmschicht wird Armierungsmörtel aufgetragen und ein Armierungsgewebe wird eingelegt. Diese Schicht verschließt die Dübellöcher sowie Dämmplattenstöße und verhindert Risse im

¹⁴⁰ Vgl. SCHILD, K.; WEYERS, M.; WILLEMS, W.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details, S. 23.

¹⁴¹ <https://wdvs.enbause.de/fakten/technik-wdvs/aufbau-waermedaemmverbundsystem.html>, Datum des Zugriff: 27.02.2013

Oberputz. Nachdem die Armierungsschicht ausgetrocknet ist, wird sie grundiert und der Oberputz wird aufgetragen. Dieser bildet die Schutzschicht gegen Umwelteinflüsse wie Regenwasser und Sonneneinstrahlung. Anstatt des Oberputzes können aber ebenso keramische Bekleidungen zum Einsatz kommen.¹⁴²

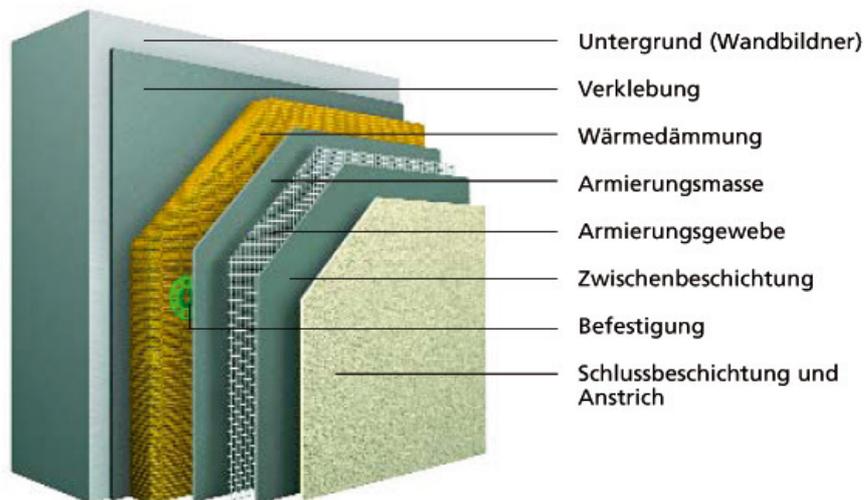


Abbildung 36: WDVS-Aufbau¹⁴³

6.2 Systemkomponenten

6.2.1 Befestigung¹⁴⁴

Ein WDVS kann mit folgenden drei Arten an einer Fassade befestigt werden (Abbildung 37):

- a) Verklebung,
- b) Verklebung und Verdübelung,
- c) mechanische Befestigung mittels Tragschienen.

¹⁴² Vgl. SCHILD, K.; WEYERS, M.; WILLEMS, W.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details, S. 23.

¹⁴³ <https://wdvs.enbausa.de/fakten/technik-wdvs/aufbau-waermedaemmverbundsystem.html> (Stand: 24.01.2019)

¹⁴⁴ Vgl. SCHILD, K.; WEYERS, M.; WILLEMS, W.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details, S. 24–27.

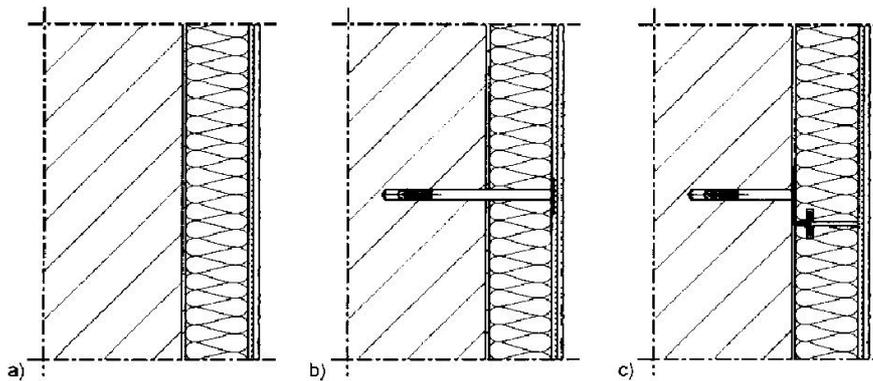


Abbildung 37: Befestigungsarten für WDVS¹⁴⁵

Die Befestigungsart ist abhängig von der Beschaffenheit des Untergrundes, der Art des Dämmstoffmaterials und der Einbauhöhe. Die Befestigung muss so ausgelegt sein, dass sämtliche auftretende Beanspruchungen in den Untergrund abgetragen werden können. Bei der Verklebung werden die Beanspruchungen über den Klebemörtel abgetragen und bei mechanisch befestigten Systemen zusätzlich durch die Tellerdübel. Die Befestigung bei Schienensystemen erfolgt ohne Kleber. Hier werden die Beanspruchungen durch die Tragschienen aufgenommen und in das Tragwerk abgetragen.

6.2.1.1 Verklebung¹⁴⁶

Bei der reinen Verklebung dürfen nur Polystyrolplatten (EPS-F) und Mineralwolleplatten mit stehender Faser (MW-PT) als Dämmmaterial verwendet werden. Der Untergrund muss neuwertig sein und die Gebäudehöhe darf maximal 25 m betragen. Handelt es sich um einen Neubau, so kann bei Untergründen aus Beton oder Mauerwerk auf einen Nachweis verzichtet werden, wenn diese keine Verunreinigungen aufweisen. Wenn von einer nicht ausreichenden Tragfähigkeit auszugehen ist, muss ein Nachweis über die Mindestabreißfestigkeit erfolgen. Diese muss bei 40 % Verklebung (Randwulst-Punkt-Methode) über 250 kPa und bei 80 % (Vollflächig mit Zahnspachtel) 80 kPa betragen. Vor allem bei der Sanierung mit WDVS ist oft eine Vorbereitung des Untergrundes nötig, wie aus Tabelle 12 entnommen werden kann.

¹⁴⁵ SCHILD, K.; WEYERS, M.; WILLEMS, W. M.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details, S. 25.

¹⁴⁶ Vgl. SCHILD, K.; WEYERS, M.; WILLEMS, W.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details, S. 25–28.

Zustand	Maßnahmen
staubig	abkehren
Mörtelreste und -grate	abstoßen
Unebenheiten, Fehlstellen	mit Mörtel ausgleichen
Feucht	austrocknen lassen
Ausblühungen	trocken abbürsten und abkehren
Mürbe, nicht tragfähig	abschlagen, austauschen, ausmauern
schmutzig, fettig	Hochdruckwasserstrahlen mit Reinigungsmittel, nachwaschen trocknen
Klaffende Fugen > 5 mm	Auswerfen der Fugen mit Zementmörtel, Montageschaumfüllungen auskratzen

Tabelle 12: Vorbereitungsmaßnahmen¹⁴⁷

Sobald alle Vorbereitungsmaßnahmen abgeschlossen sind, können die Dämmplatten aufgeklebt werden. Dabei gibt es zwei Ausführungsmöglichkeiten der Verklebung: zum einen die Randwulst-Punkt-Methode (Abbildung 38) und zum anderen die Vollverklebung (Abbildung 39). Bei der Randwulst-Punkt-Methode wird der Plattenrand umlaufend mit einer Wulst aus Klebemörtel versehen und zusätzlich werden Klebemörtelbatzen in der Plattenmitte platziert. Durch diese Art der Verklebung wird eine 40- bis 60-prozentige Verklebungsfläche erreicht. Die Wulst erfüllt dabei mehrere Aufgaben. Zum einen dient sie der Lastabtragung der Ecken sowie Ränder und zum anderen verhindert sie Verformungen aus hygrothermischen Beanspruchungen. Zusätzlich verhindert die Wulst Konvektionsströme zwischen Dämmplatten und Untergrund. Durch die Klebemörtelbatzen wird das Aufwölben der Platten verhindert. Ein zusätzlicher Vorteil ist darin zu sehen, dass größere Unebenheiten als bei der Vollverklebung ausgeglichen werden, wodurch die Randwulst-Punkt-Methode häufig bei der Sanierung von Fassaden eingesetzt wird.

¹⁴⁷ http://www.forschungsstelle.at/media/51577/bauakademie%20salzburg_wdvs_pohlplatz_20150409.pdf (Stand: 24.01.2019)



Abbildung 38: Randwulst-Punkt-Methode¹⁴⁸

Bei der Vollverklebung wird der Klebemörtel mittels Zahnpachtel vollflächig auf die Dämmplatte aufgetragen. Dabei wird eine Kontaktfläche von über 80 % erreicht. Der Vorteil bei dieser Methode liegt in der geringer benötigten Abreißfestigkeit des Untergrundes von 80 kPa im Gegenteil zu 250 kPa bei der Randwulst-Punkt-Methode. Des Weiteren kann von einem etwas geringeren Klebemörtelbedarf ausgegangen werden.

¹⁴⁸ http://www.forschungsstelle.at/media/51577/bauakademie%20salzburg_wdvs_pohlplatz_20150409.pdf (Stand: 14.01.2019)

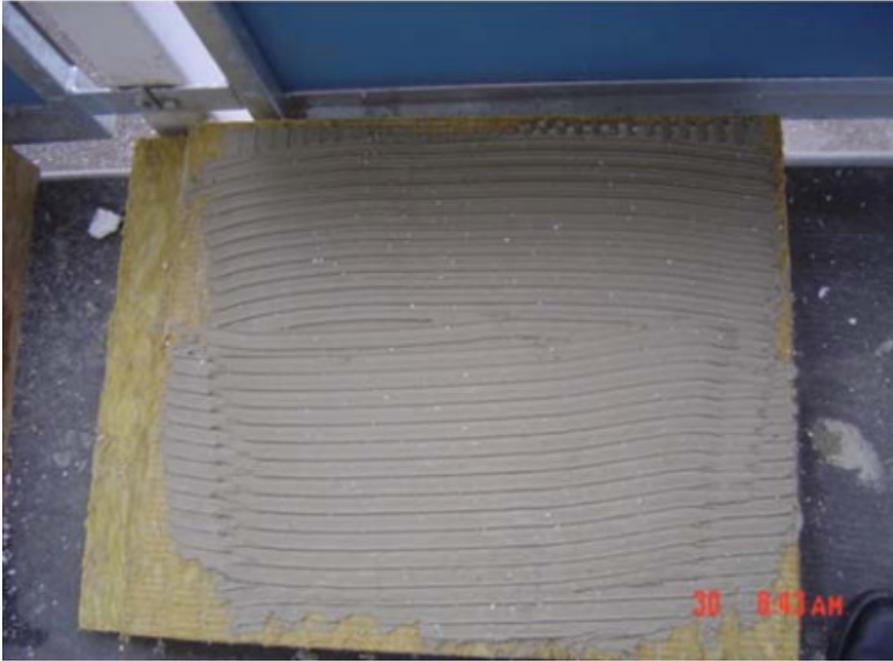


Abbildung 39: Vollverklebung¹⁴⁹

Bei größeren Bauvorhaben kann der Klebemörtel maschinell direkt auf die Wand aufgetragen werden (Abbildung 40). Der Hersteller Knauf gibt dabei eine Zeitersparnis von 20 bis 25 % an. Zu beachten ist dabei, dass die Dämmstoffplatten eingeschoben werden müssen, um eine ausreichend große Klebefläche zu erreichen.

¹⁴⁹ http://www.forschungsstelle.at/media/51577/bauakademie%20salzburg_wdvs_pohlplatz_20150409.pdf (Stand: 24.01.2019)



Abbildung 40: Maschinelle Verklebung¹⁵⁰

6.2.1.2 Geklebte und gedübelte Systeme¹⁵¹

Bei der Verdübelung muss zwischen der konstruktiven und der statisch wirksamen Verdübelung unterschieden werden. Die konstruktive Verdübelung wird angewendet, wenn die Tragfähigkeit des Untergrundes ausreichend hoch ist und dient lediglich als temporäre Sicherung, um im System während der Austrocknung zusätzlich Stabilität zu gewinnen oder um punktuelle Haftungsstörungen zu überbrücken.

Die statisch wirksame Verdübelung kommt immer dann zum Einsatz, wenn die Tragfähigkeit weiter erhöht werden muss. Dies kann bei nicht ausreichend tragfähigen Untergründen, einem schweren Eigengewicht des WDVS, bei hohen Windlasten oder zu geringer Zugfestigkeit des Dämmstoffes der Fall sein. Bei einer flächenbezogenen Masse des WDVS über 30 kg/m² ist stets eine Verdübelung notwendig. Als Dübel werden je nach Anwendungszweck und Dämmmaterial spezielle Tellerdübel genutzt. Ein hilfreiches Tool zur statischen Vordimensionierung von Außenwand-WDVS hat die Qualitätsgruppe Wärmedämmsysteme erstellt. Es nennt sich TICS-TACS und steht für Thermal Insulation

¹⁵⁰ <https://www.baulinks.de/webplugin/2006/0815.php4> (Stand: 25.01.2019)

¹⁵¹ Vgl. SCHILD, K.; WEYERS, M.; WILLEMS, W.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details, S. 29–31.

Composite System – Tool for Approximate Calculation of Statics. Das Tool ist kostenlos und steht online zur Verfügung. Die Berechnung erfolgt nach ÖNORM B 6400 und gibt bereits gute Richtwerte für die Dübelanzahl/m² vor.

Die Dübelwahl richtet sich nach dem Ankergrund und der Dämmschicht. Zudem ist auf die erforderliche Einbindetiefe h_v zu achten (Abbildung 41).

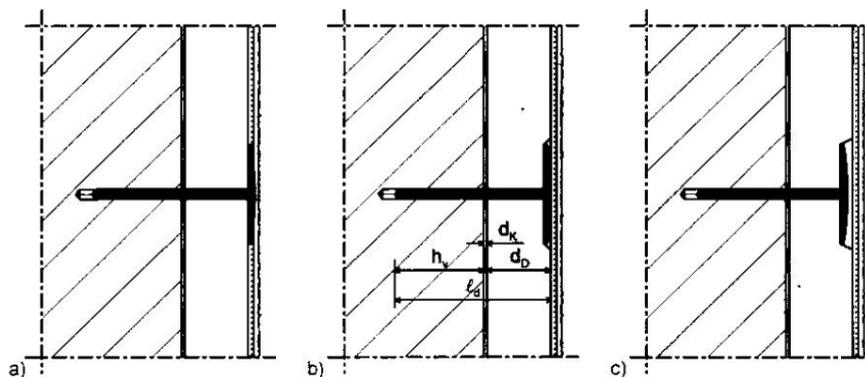


Abbildung 41: Setztiefe der Tellerdübel: a) zu hoch gesetzt b) richtig gesetzt c) zu tief gesetzt¹⁵²

Die erforderliche Dübellänge l_d errechnet sich aus folgender Summe:

Einbindetiefe h_v + Klebemörtelschicht d_k + Dämmschichtdicke d_D

Bei den Dübeln selbst gilt es, zwischen zwei Arten zu unterscheiden. Es gibt Schlagdübel, die durch das Dämmmaterial gesteckt werden, bis der Teller bündig mit der Oberfläche ist (Abbildung 42). Anschließend wird der Nagel eingeschlagen, der den Dübel auseinander presst und somit im Untergrund hält.

¹⁵² SCHILD, K.; WEYERS, M.; WILLEMS, W.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details, S. 30.



Abbildung 42: Schlagdübel¹⁵³

Des Weiteren gibt es Schraubdübel, die entweder wie der Schlagdübel durch das Dämmmaterial gesteckt werden oder es wird ein Rondell in das Dämmmaterial eingedreht (Abbildung 43). Der Kraftschluss erfolgt in beiden Fällen mit einer Schraube. Welcher Dübel eingesetzt werden darf, ist den Zulassungen der Hersteller zu entnehmen.



Abbildung 43: Links – Dübelteller, rechts – Helix-Schraubdübel^{154, 155}

Zusätzlich gibt es eine immer öfter eingesetzte Variante, bei der die Dübelteller im Dämmmaterial versenkt und anschließend mit einem Dämmstoffrondell ausgefüllt werden (Abbildung 44). Dies hat den Vorteil, dass die Wärmebrückenwirkung durch den Dübel reduziert wird und so die Gefahr von Abzeichnungen auf der Fassadenfläche sinkt.

¹⁵³ <https://www.sg-weber.de/waermedaemmung-wdvs/innovationen/webertherm-sd-5-schlagduebel.html> (Stand: 25.01.2019)

¹⁵⁴ http://www.bauhandwerk.de/artikel/bhw_WDVS-Montage_im_Gebaeudebestand_47417.html (Stand: 25.01.2019)

¹⁵⁵ <https://www.hilti.at/content/hilti/E3/AT/de/products/bu-anchors/mechanical-anchors/t-helix.html> (Stand: 25.01.2019)

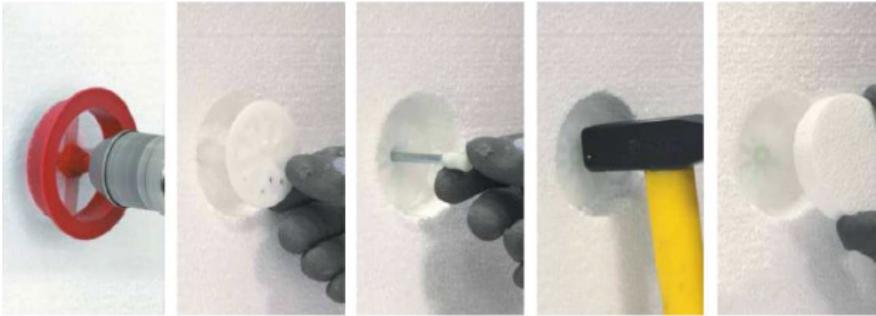


Abbildung 44: Dämmstoffrondell¹⁵⁶

Wie die Dübel anzuordnen sind, geben die Hersteller in einem Dübelschema vor. Bei EPS wird meist die T-Verdübelung und bei Mineralwolle die W-Verdübelung empfohlen (Abbildung 45).

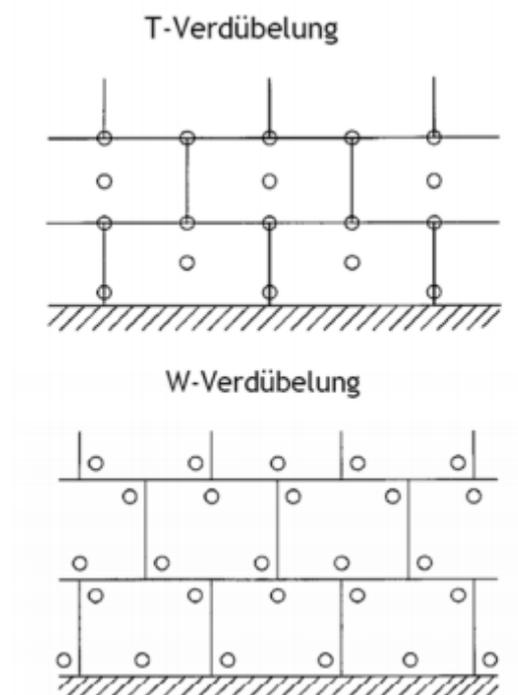


Abbildung 45: Dübelschema¹⁵⁷

¹⁵⁶ <http://www.duebel-shop.at/Daemmstoffhalter-Schlagduebel/Zubehoer/600-Stk-Styroporkappen-Rondelle::2633.html> (Stand: 25.01.2019)

¹⁵⁷ http://www.forschungsstelle.at/media/51577/bauakademie%20salzburg_wdvs_pohlplatz_20150409.pdf (Stand: 25.01.2019)

6.2.1.3 Schienensystem¹⁵⁸

Schienensysteme kommen dann zum Einsatz, wenn der Untergrund große Unebenheiten aufweist oder die Tragfähigkeit für ein geklebtes und gedübeltes System nicht ausreicht. Es können Unebenheiten von bis zu 3 cm/m ausgeglichen werden. Die Schienen selbst werden rein mechanisch mithilfe von Dübeln befestigt. Das Dämmmaterial muss dennoch mit mindestens 20 % Klebefläche zusätzlich verklebt werden. Der Aufbau beginnt immer mit dem unteren Abschlussprofil. Auf dieses kommt die erste Reihe Dämmplatten (Abbildung 46). Durch Unterlegscheiben hinter der Schiene werden Unebenheiten ausgeglichen.



Abbildung 46: Tragschiene¹⁵⁹

Die Dämmplatten haben ringsherum eine Nut, die genau in den abstehenden Schenkel der Tragschienen passt. In die vertikalen Stöße werden Verbindungsleisten eingeschoben, die so die senkrechten Nuten verbinden (Abbildung 47). In den Randbereichen werden je nach Anforderung und Zulassung auch die Dämmplatten verdübelt.

¹⁵⁸ Vgl. <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/wdvs/schienensystem.html> (Stand:25.01.2019)

¹⁵⁹ <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/wand/wdvs-befestigungen-782203> (Stand: 25.01.2019)

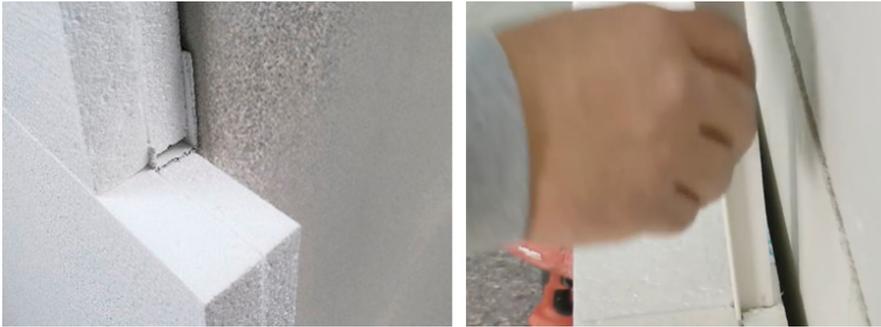


Abbildung 47: Links – horizontale Tragschiene, rechts – vertikale Verbindungsschiene¹⁶⁰

Es gibt darüber hinaus noch Sonderlösungen für WDVS wie das Winterface Fassadensystem oder die StoSystain R Fassade. Das Winterface Fassadensystem wird ebenfalls über ein Schienensystem befestigt. Das außergewöhnliche dabei sind die Dämmplattenstöße, die durch Fugenbänder abgedichtet werden (Abbildung 48). Die Dämmplatten selbst sind bereits fertig beschichtet (Spachtelung, Armierungsgewebe, Oberputz), was eine sehr schnelle Montage ermöglicht. Zusätzlich kann aus einer Reihe von Dämmstoffen, Plattenformaten und Oberputzen gewählt werden.¹⁶¹

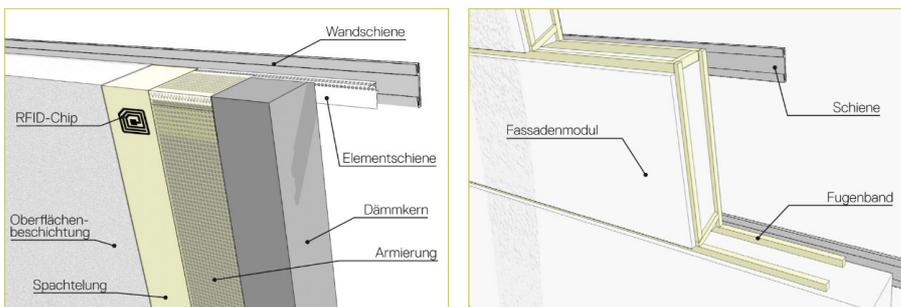


Abbildung 48: Winterface¹⁶²

Beim StoSystain R Fassadensystem, welches in Zusammenarbeit mit der TU Graz entwickelt wurde, liegt die Besonderheit darin, dass anstatt der bei WDVS üblichen Dämmstoffbeschichtung eine fertige Fassadenbekleidung mittels Klettverschluss montiert wird. Dafür wurden eigens Dübel entwickelt, die mit einem am Dübelkopf befindlichen Klettverschluss versehen sind. Diese dienen zum einen der Befestigung des Dämmstoffs und zum anderen der Montage der Fassadenbekleidung. Auf der Fassadenbekleidung befindet sich das Gegenstück für den Klettverschluss, wodurch die Bekleidung

¹⁶⁰ <https://www.youtube.com/watch?v=h5OfoL-7fRM> (Stand: 25.01.2019)

¹⁶¹ Vgl. <http://www.winterface.at/index.php/produkt/> (Stand: 22.03.2019)

¹⁶² <http://www.winterface.at/index.php/produkt/> (Stand: 22.03.2019)

gehalten wird (Abbildung 49). Durch dieses System ist ebenfalls eine rasche Montage der Fassade möglich.¹⁶³



Abbildung 49: StoSystem R¹⁶⁴

6.3 Ausführungshinweise

Um beim Einsatz eines WDVS optimale Ergebnisse zu gewährleisten, ist eine richtige Ausführung unumgänglich. Sämtliche Anschlüsse, Abschlüsse, Gebäudetrennfugen, Durchdringungen und Detailausbildungen sind sorgfältig zu planen, um die Schlagregensicherheit sowie den Schutz vor Hinterfeuchtung zu gewährleisten. Nachfolgend werden einige Detailpunkte eines WDVS gezeigt, die als problematisch anzusehen sind und häufig Mängel aufweisen. Weitere Hinweise zur Ausführung, Verarbeitung, Detaillösungen und Richtlinien finden sich bei den Herstellern oder ihren Vertretern wie der Qualitätsgruppe Wärmedämmverbundsysteme. Zu beachten ist, dass sämtliche Detailpunkte lediglich als Vorschlag der Hersteller dienen und nicht in jeder Frage vollständig sind. Die Detailpunkte sind daher individuell an die Bausituation anzupassen.

¹⁶³ Vgl. https://www.sto.at/de/produkte/innovationen_1/stosystem_r_1/Funktionsweise.html (Stand: 22.03.2019)

¹⁶⁴ https://www.sto.de/de/unternehmen/innovationen/stosystem_r/StoSystem_R.html (Stand: 22.03.2019)

6.3.1 Dach

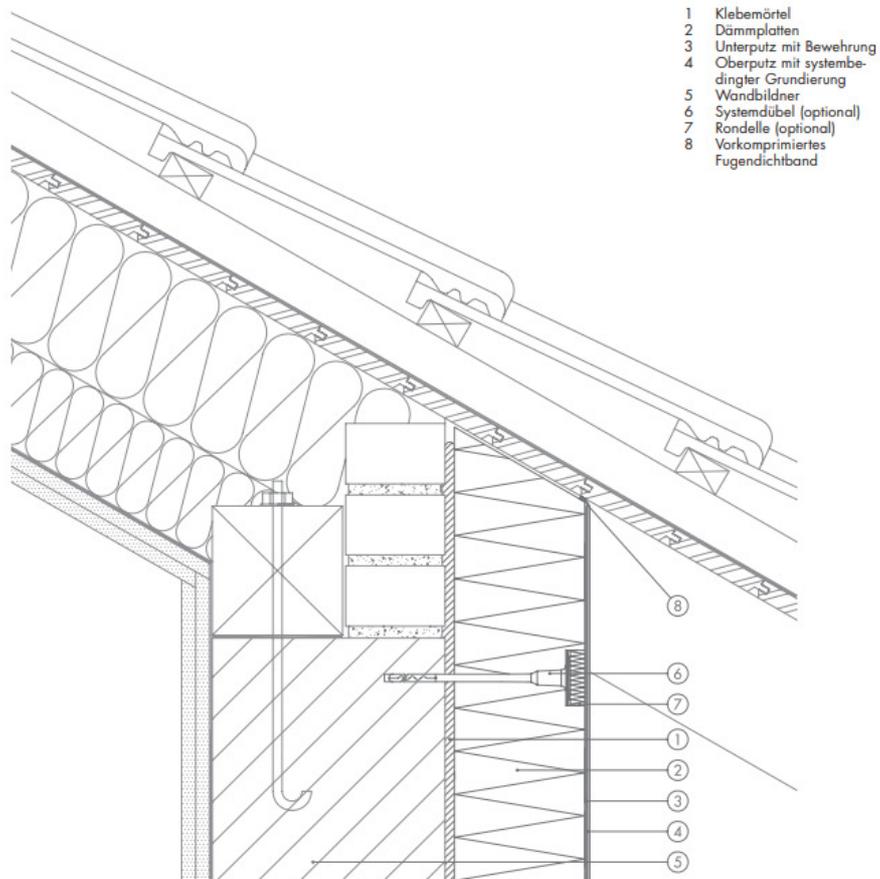


Abbildung 50: Detail Traufe WDVS¹⁶⁵

¹⁶⁵ Qualitätsgruppe Wärmedämmverbundsystem: Verarbeitungsrichtlinie für Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme, Ausgabe 08/2007, S. 75.

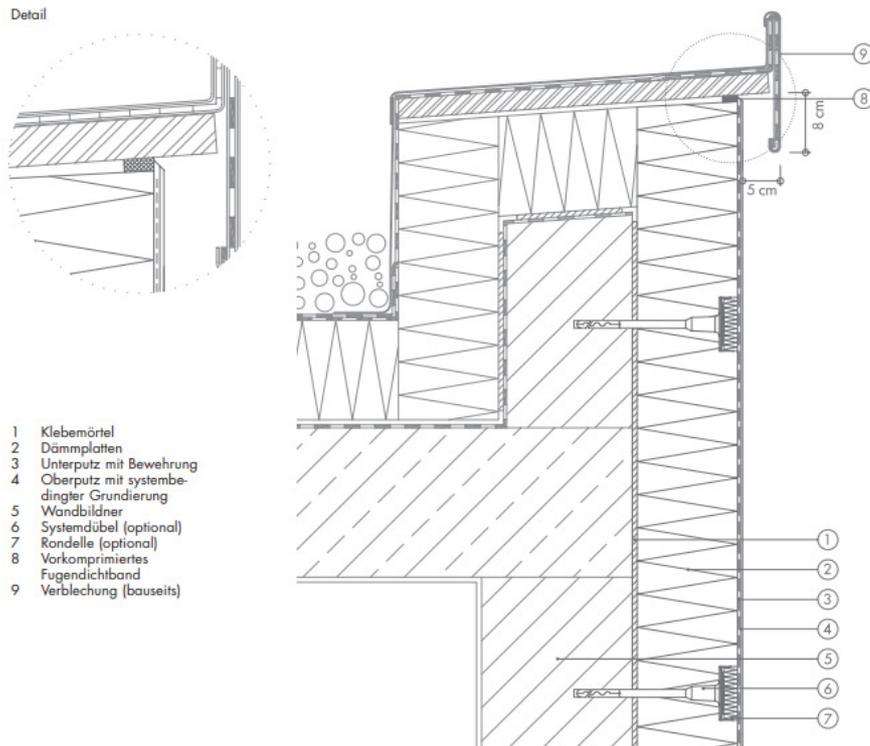


Abbildung 51: Detail Attika WDVS¹⁶⁶

6.3.2 Fenster

Beim Einbau von Fenstern, Türen und Verglasungen wird je nach Setztiefe zwischen drei Typen unterschieden (Abbildung 52).

Dämmstoffdicke	zurückgesetzt mit Laibung		bündig mit dem Mauerwerk		vorgesetzt vor dem Mauerwerk	
	≤ 2 m ² *	2-10 m ² *	≤ 2 m ² *	2-10 m ²	≤ 2 m ² *	2-10 m ²
≤ 100 mm	1)	2)	2)	3)	2)	3)
≤ 200 mm	2)	2)	3)	3)	3)	3)
> 200 mm	nicht empfohlen	nicht empfohlen	3)	3)	3)	3)

*) beträgt die Höhe oder Breite des Fensters mehr als 2,5 m, so ist in jedem Fall Typ 3 einzubauen

- 1) Fenster- und Türanschlussprofil ohne gesondert definierter Bewegungsaufnahme
- 2) Fenster- und Türanschlussprofil mit zweidimensionaler Bewegungsaufnahme
- 3) Fenster- und Türanschlussprofil mit dreidimensionaler Bewegungsaufnahme

Abbildung 52: Fensteranschlusstypen¹⁶⁷

¹⁶⁶ Qualitätsgruppe Wärmedämmverbundsystem: Verarbeitungsrichtlinie für Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme, Ausgabe 08/2007, S. 78.

Eine Diagonalbewehrung ist an jeder Ecke von Fenster- und Türöffnungen anzubringen. Dies erfolgt vor der eigentlichen Flächenbewehrung und dient zur Vermeidung von Rissen im WDVS (Abbildung 54).¹⁶⁸

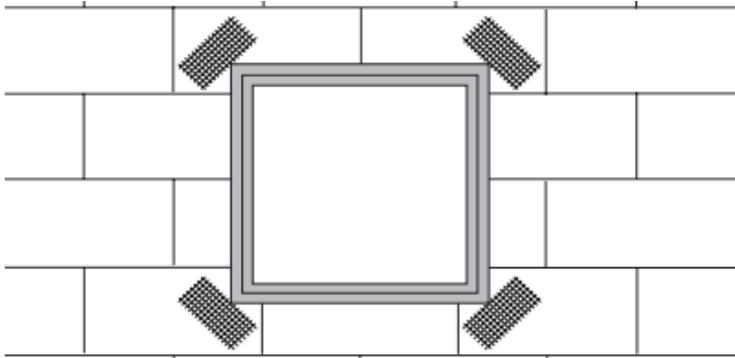


Abbildung 53: Diagonalbewehrung WDVS¹⁶⁹



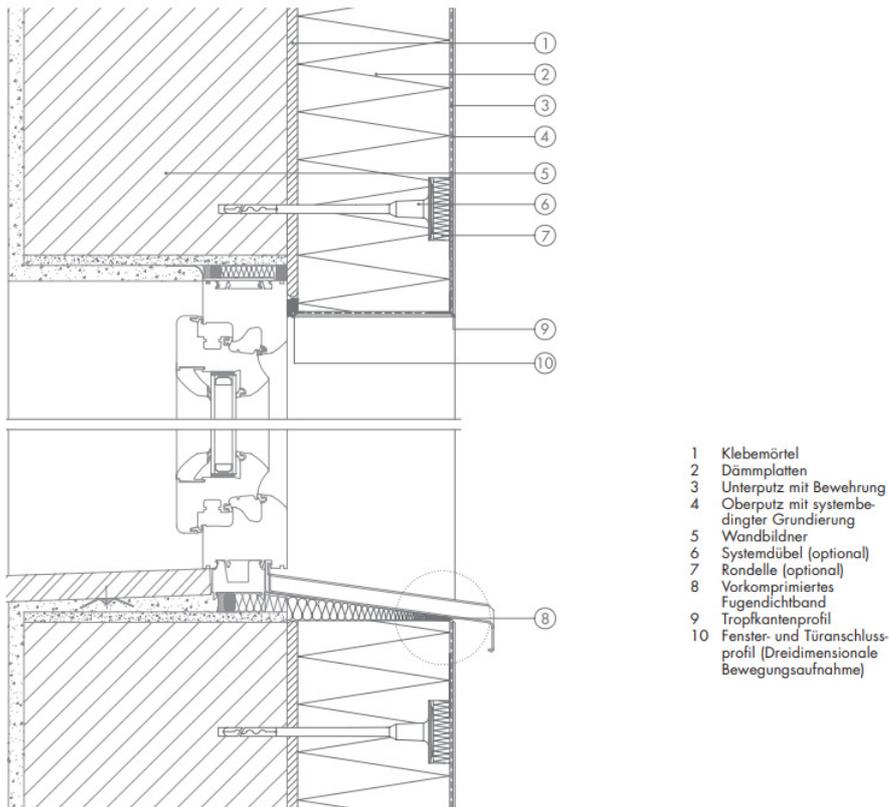
Abbildung 54: Riss infolge fehlender Diagonalbewehrung¹⁷⁰

¹⁶⁷ Qualitätsgruppe Wärmedämmverbundsystem: Verarbeitungsrichtlinie für Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme, Ausgabe 08/2007, S. 24.

¹⁶⁸ Vgl. Qualitätsgruppe Wärmedämmverbundsystem: Verarbeitungsrichtlinie für Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme, Ausgabe 08/2007, S. 37.

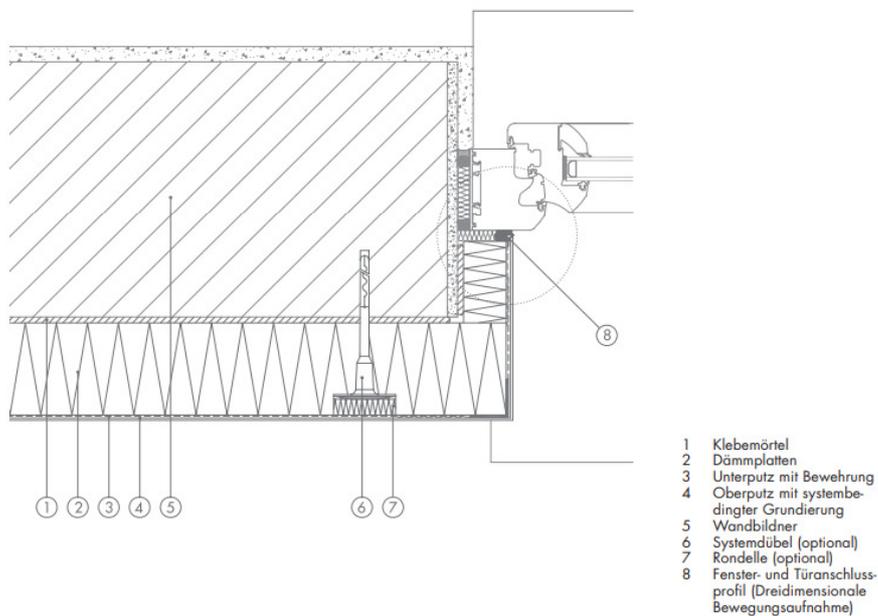
¹⁶⁹ Qualitätsgruppe Wärmedämmverbundsystem: Verarbeitungsrichtlinie für Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme, Ausgabe 08/2007, S. 37.

¹⁷⁰ <https://www.juergen-joerges.de/blog/risse-im-waermedaemm-verbundsystem/> (Stand: 21.02.2019)



- 1 Klebemörtel
- 2 Dämmplatten
- 3 Unterputz mit Bewehrung
- 4 Oberputz mit systembedingter Grundierung
- 5 Wandbildner
- 6 Systemdübel (optional)
- 7 Rondelle (optional)
- 8 Vorkomprimiertes Fugendichtband
- 9 Tropfkantenprofil
- 10 Fenster- und Türanschlussprofil (Dreidimensionale Bewegungsaufnahme)

Abbildung 55: Detail Fenster Vertikalschnitt WDVS¹⁷¹



- 1 Klebemörtel
- 2 Dämmplatten
- 3 Unterputz mit Bewehrung
- 4 Oberputz mit systembedingter Grundierung
- 5 Wandbildner
- 6 Systemdübel (optional)
- 7 Rondelle (optional)
- 8 Fenster- und Türanschlussprofil (Dreidimensionale Bewegungsaufnahme)

Abbildung 56: Detail Fenster Horizontalschnitt WDVS¹⁷²

¹⁷¹ Qualitätsgruppe Wärmedämmverbundsystem: Verarbeitungsrichtlinie für Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme, Ausgabe 08/2007, S. 65.

Dämmplattenstöße sind so zu verlegen, dass kein Stoß auf die Leibungskanten von Wandöffnungen trifft. Dadurch wird die Rissbildung entlang der Dämmplattenstöße vermieden (Abbildung 58).¹⁷³

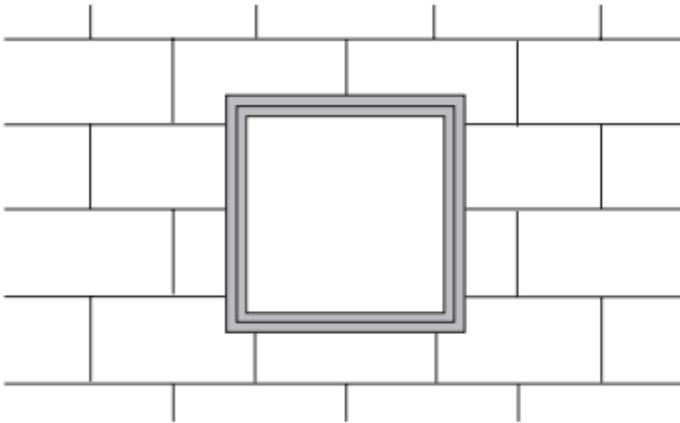


Abbildung 57: Dämmplattenstößen bei Wandöffnungen¹⁷⁴



Abbildung 58: Riss entlang Dämmplattenstoß¹⁷⁵

¹⁷² Qualitätsgruppe Wärmedämmverbundsystem: Verarbeitungsrichtlinie für Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme, Ausgabe 08/2007, S. 67.

¹⁷³ Vgl. Qualitätsgruppe Wärmedämmverbundsystem: Verarbeitungsrichtlinie für Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme, Ausgabe 08/2007, S. 30.

¹⁷⁴ Qualitätsgruppe Wärmedämmverbundsystem: Verarbeitungsrichtlinie für Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme, Ausgabe 08/2007, S. 30.

6.3.3 Sockel

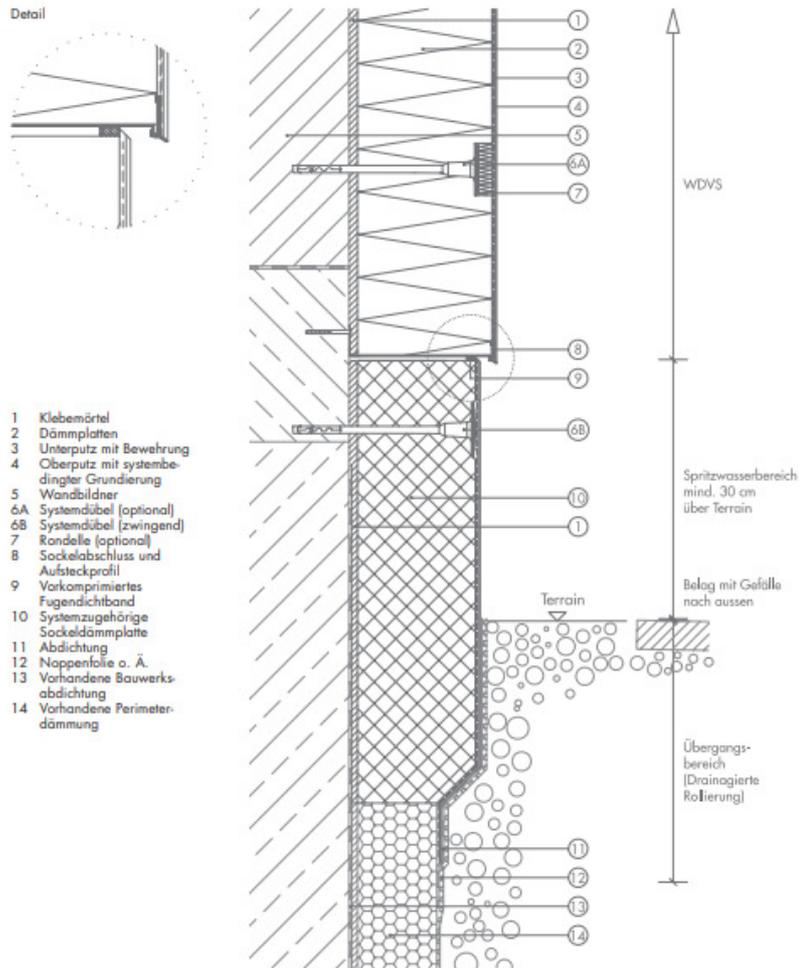


Abbildung 59: Detail rückspringender Sockel WDVS mit Perimeter-Dämmung¹⁷⁶

¹⁷⁵ <https://rautenberg-gutachten.de/waermedaemmverbundsystem-wdvs-was-ist-zu-beachten/> (Stand: 21.02.2019)

¹⁷⁶ Qualitätsgruppe Wärmedämmverbundsystem: Verarbeitungsrichtlinie für Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme, Ausgabe 08/2007, S. 57.

6.3.4 Trennfuge

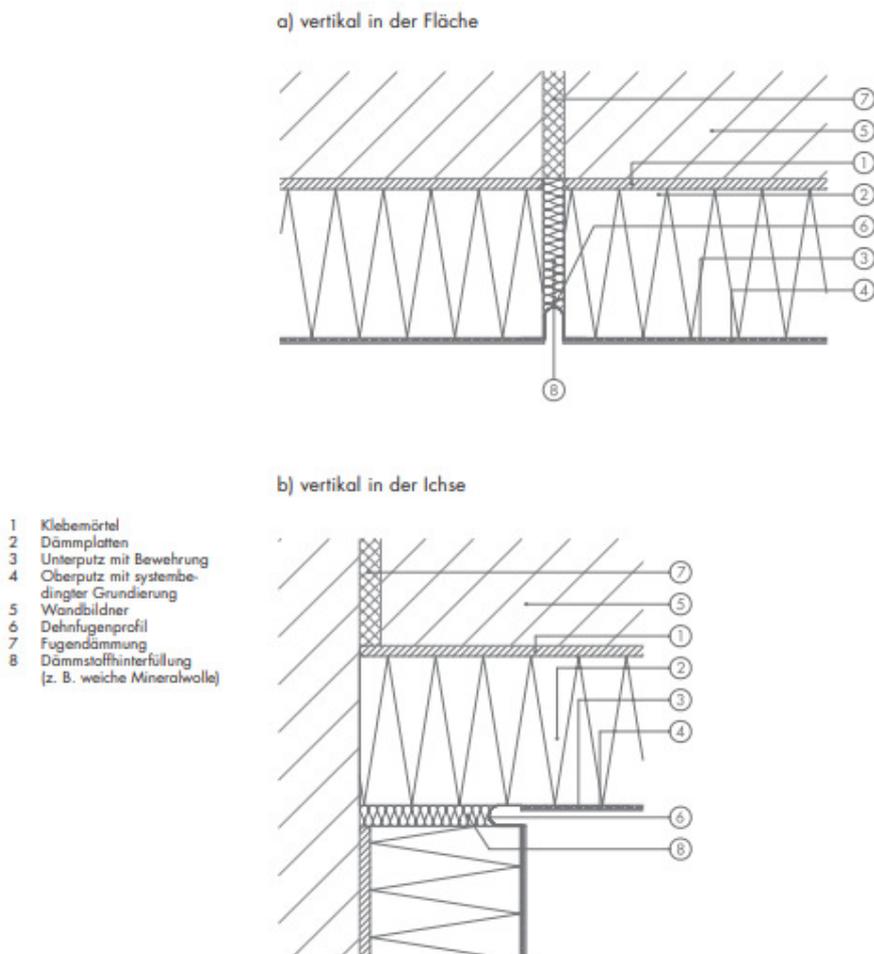


Abbildung 60: Detail Trennfuge WDVS¹⁷⁷

6.4 Algen- und Pilzbewuchs an Fassaden^{178 179}

Algen und Pilze unterscheiden sich im Wesentlichen dadurch, dass Algen organisches Material produzieren und Pilze organisches Material abbauen. Ein Algenbewuchs findet in den meisten Fällen nur oberflächlich statt und schadet der Putzstruktur nicht. Pilzbewuchs kann sich hingegen verwurzeln und dem Putz schaden. Damit Algen- und Pilzbewuchs an der Fassadenoberfläche erst entstehen kann, ist

¹⁷⁷ Qualitätsgruppe Wärmedämmverbundsystem: Verarbeitungsrichtlinie für Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme, Ausgabe 08/2007, S. 65.

¹⁷⁸ Vgl. <https://www.algenmax.at/fassadenreinigung/index.php/blog-algenentfernung/24-algen-schaden.html> (Stand: 22.02.2019)

¹⁷⁹ Vgl. BÜCHLI, R.; RASCHLE, P.: Algen und Pilze an Fassaden – Ursachen und Vermeidung, S. 12–14.

das Vorhandensein von Organismen (Algenzellen, Pilzsporen), welche sich in der Normalen Umgebungsluft befinden, notwendig. Zusätzlich wird noch ein entsprechendes Klima sowie eine Nahrungsquelle benötigt (Abbildung 61).

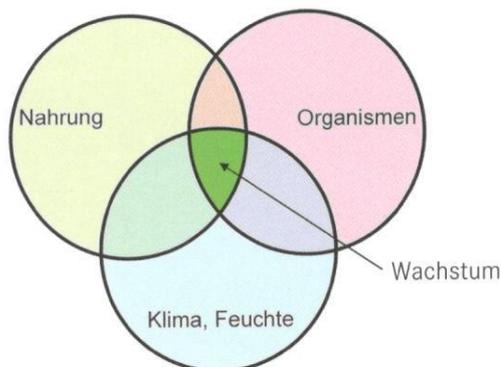


Abbildung 61: Voraussetzungen für Wachstum¹⁸⁰

Im Gegensatz zu Pilzen benötigen Algen keine organischen Nährstoffe sondern Sonnenlicht als Energiequelle. Durch die Symbiose von Algen und Pilzen können auch Flechten entstehen. Dabei dienen die Algen den Pilzen als Nährstoff. Die Pilze liefern wiederum den Algen Wasser und schützen sie vor dem Austrocknen (Tabelle 13).

	Energiequelle	C-, Bausteinquelle	Licht	Wasser
Algen	Sonne	CO ₂	nötig	nötig
Pilze	Organ. Materie	Organ. Materie	nicht nötig	nötig
Bakterien	Organ. Materie	Organ. Materie	nicht nötig	nötig
Flechten	Sonne (& organ. Materie)	CO ₂ (& organ. Materie)	nötig	nötig

Tabelle 13: Lebensgrundlage¹⁸¹

In einer Studie des Instituts für Bauplanung und Bauwirtschaft der FH Joanneum Graz wurden das Algen- und Pilzwachstum an Fassaden untersucht¹⁸². Es wurde festgestellt, dass sich dies vor allem in den immer geringeren U-Wert-Anforderungen begründet. Dabei stellt der geringe U-Wert das erste Glied in einer Wirkungskette dar (Abbildung 62).

¹⁸⁰ BÜCHLI, R.; RASCHLE, P.: Algen und Pilze an Fassaden – Ursachen und Vermeidung, S. 12.

¹⁸¹ BÜCHLI, R.; RASCHLE, P.: Algen und Pilze an Fassaden – Ursachen und Vermeidung, S. 24.

¹⁸² Vgl. HASLER, E.: Studie – Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung.

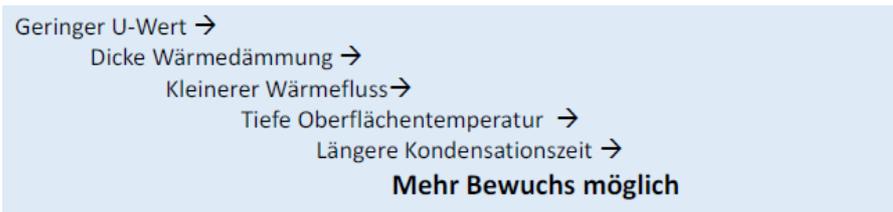


Abbildung 62: Ursachen-Wirkungskette¹⁸³

Aus den U-Wert-Anforderungen ergeben sich zwangsläufig höhere Dämmstoffdicken (14 cm und mehr). Durch den geringeren Wärmefluss sinkt die Oberflächentemperatur an der Außenseite und dies kann zu einer Taupunktunterschreitung führen. Das während der Taupunktunterschreitung entstandene Kondensat bildet die Grundlage für die Entstehung von Algen. Mit der Dauer der Feuchtigkeitsbelastung steigt ebenfalls das Risiko für Algenbewuchs. Wärmebrücken, horizontale Vorsprünge und fehlender Dachüberstand fördern den Algenbewuchs zusätzlich. Mit dickschichtigen Putzsystemen, die eine höhere Wärmespeicherung ermöglichen und somit Wärme über einen längeren Zeitraum wieder abgeben, wird die Dauer von Taupunktunterschreitungen verringert. Eine höhere speicherwirksame Masse der gesamten Konstruktion hat ebenso einen positiven Einfluss auf die Kondensatbildung. Aus diesem Grund sind WDVS mit Mineralwolle weniger anfällig als jene mit EPS. Die beiden in Abbildung 63 dargestellten Fassaden wurden sechs Jahre nach Fertigstellung fotografiert. Es ist deutlich zu erkennen, dass auf der mit EPS gedämmten Fassade die Algenbildung begonnen hat. Hingegen sind bei der mit MW gedämmten Fassade nach sechs Jahren noch keine Anzeichen von Algenbildung oder Verfärbung ersichtlich.¹⁸⁴

¹⁸³ HASLER, E.: Studie – Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung, S. 37.

¹⁸⁴ Vgl. HASLER, E.: Studie – Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung, S. 37ff.



Abbildung 63: links WDVS-MW, recht WDVS-EPS¹⁸⁵



Abbildung 64: Fortgeschrittener Algenbewuchs an WDVS-EPS¹⁸⁶

Um dem Algen- und Pilzbewuchs vorzubeugen, werden häufig auf biozidhaltige Reinigungslösungen, Anstriche und Putze eingesetzt. Unter Biozide versteht man chemische oder biologische Wirkstoffe, die der Entwicklung von Schadorganismen entgegenwirken, wie Algizide gegen Algenbewuchs oder Fungizide gegen Pilzbewuchs. Da der Algen- und Pilzbewuchs an der Fassadenoberfläche stattfindet, sind die Biozide auch nur auf der Oberfläche wirksam. Das führt dazu, dass die Biozide durch Regen von der WDVS-Fassadenoberfläche gewaschen werden können. Gelangen Biozide erstmal in den Wasserkreislauf, können sie dort die Wasserqualität beeinträchtigen und Wasserlebewesen schädigen. Aus diesem Grund ratet das Umweltbundesamt, wenn technisch möglich vom Biozideinsatz ab und empfiehlt Produkte zu verwenden, die mit dem Blauen Engel (Umweltzeichen RAL-UZ 140) gekennzeichnet sind.¹⁸⁷

¹⁸⁵ HASLER, E.: Studie – Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung, S. 69.

¹⁸⁶ <http://www.konrad-fischer-info.de/2133bau.htm> (Stand: 22.02.2019)

¹⁸⁷ Vgl. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/merkblaetter_1-5_entscheidungshilfen_zur_verringerung_des_biozideinsatzes_an_fassaden.pdf (Stand: 23.03.2019)

6.5 EPS und Alternativen

Mit Abstand den größten Anteil am WDVS-Markt haben Dämmstoffe aus Polystyrol. Zudem werden oft Dämmstoffe aus Mineralfasern eingesetzt, doch es gibt zahlreiche Alternativen, die in einem WDVS genutzt werden können. Eine Unterteilung kann wie in Abbildung 65 erfolgen.

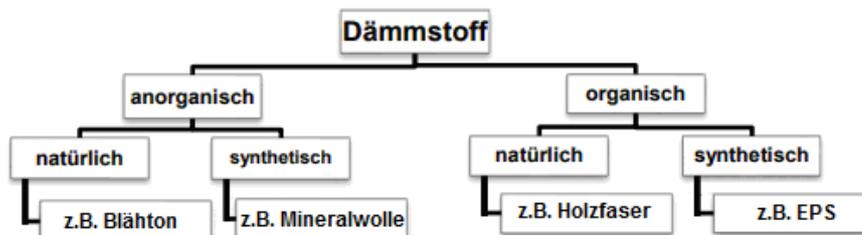


Abbildung 65: Dämmstoffunterteilung¹⁸⁸

6.5.1 Organisch-synthetische Dämmplatten

EPS – Expandiertes Polystyrol:

Expandiertes Polystyrol ist mit weitem Abstand der am häufigsten eingesetzte Dämmstoff und hat je nach Land über 80 % Marktanteil. Der Grund dafür sind die vielen Vorteile, die EPS mit sich bringt. Dazu zählen die gute Wärmedämmeigenschaft, die leichte Verarbeitung, ein günstiger Preis, es ist darüber hinaus unverrottbar, feuchtebeständig und die Anwender haben mittlerweile viele Erfahrungen mit dem Dämmstoff gesammelt. Der Grundstoff für EPS ist das erdölraffinierte Produkt Styrol. Für EPS-Platten (Abbildung 66) wird Polystyrol-Gries mittels Heißdampf bei etwa 90 °C auf das 20- bis 50-Fache aufgeschäumt. Die Aufschäumung geschieht durch das Treibmittel Pentan, welches bereits im Gries enthalten ist. In einem zweiten Arbeitsgang wird der Grieß nochmals bei 110 bis 120 °C mit Heißdampf behandelt und zu Blöcken geformt. Schlussendlich werden mittels Heißdraht aus den EPS-Blöcken die Platten geschnitten.¹⁸⁹

Es gibt aber auch Nachteile von EPS-Dämmplatten. Zum einen ist der Rohstoff ein Erdölprodukt, welches nur begrenzt verfügbar ist,

¹⁸⁸ https://www.fh-salzburg.ac.at/fileadmin/fh/forschung/smb/documents/20170412_AWZN_final.pdf (Stand: 25.01.2019)

¹⁸⁹ <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmplatten/eps-daemmplatten.html> (Stand: 25.01.2019)

und zum anderen ist es trotz des Einsatzes von Flammschutzmitteln brennbar.¹⁹⁰



Abbildung 66: EPS Dämmplatten¹⁹¹

Der größte Nachteil von EPS liegt in der schwierigen Entsorgung, da es beim Einsatz in einem WDVS im Verbund mit dem Bauwerk und dem Außenputz steht und es dadurch schwer ist, die Bestandteile sortenrein zu trennen. Die Trennung erfolgt durch das Abreißen der Armierungsschicht samt Oberputz und anschließendem Abschälen mittels Böschungslöffel und Bagger. Die verbleibenden Dämmstoffplatten werden in Müllverbrennungsanlagen verwertet.¹⁹²

XPS – Extrudiertes Polystyrol:

Extrudiertes Polystyrol unterscheidet sich von EPS durch seine homogene, geschlossene Zellstruktur. Dadurch ist es feuchteunempfindlicher und druckstabiler als EPS. Die Herstellung weicht ebenfalls ab. Wie der Name schon sagt, erfolgt die Herstellung mittels Extrusion. Dazu wird das Polystyrol vor dem Extrusionsvorgang geschmolzen und mithilfe von Kohlendioxid als Treibmittel aufgeschäumt. Im Gegensatz zur EPS-Herstellung wird XPS nicht zu Blöcken geformt, sondern erhält seine endgültige Dicke gleich durch eine Breitschlitzdüse. Anschließend muss der Strang nur

¹⁹⁰ <https://www.bauen.de/a/vor-und-nachteile-einer-eps-daemmung.html#c24777> (Stand: 25.01.2019)

¹⁹¹ <http://www.baudiscount-paderborn.de/Styropor-Waermedaemmung-EPS-DEO-100KpA-WLG-035> (Stand: 25.01.2019)

¹⁹² Vgl. AMTMANN, M. et al.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen, S. 67.

noch in der Länge zugeschnitten werden. Die Herstellung von XPS ist energieintensiver als die von EPS, was sich auch im Preis widerspiegelt. Die Wärmedämmeigenschaften sind mit denen von EPS zu vergleichen. Durch den Extrusionsvorgang erhält XPS sein dichtes und geschlossenes Zellgefüge, welches für die Feuchteunempfindlichkeit sowie die hohe Druckfestigkeit verantwortlich ist. XPS weist zusätzlich deutlich höhere Wärmedehnungen als EPS auf. Dadurch wäre mit höheren Spannungen beim Einsatz in einer Fassade zu rechnen. Aus diesen Gründen wird XPS vor allem in Bereichen mit hoher Feuchte- und Druckbelastung eingesetzt. Typische Anwendungsbereiche sind Perimeterdämmung, Sockeldämmung und Umkehrdächer. Die Verarbeitung und die Handhabung sind identisch mit der von EPS. Lediglich bei der Verklebung sind geraute oder gewaffelte Platten zu verwenden. Der Rückbau und die Entsorgung von XPS erfolgen analog zu EPS.¹⁹³

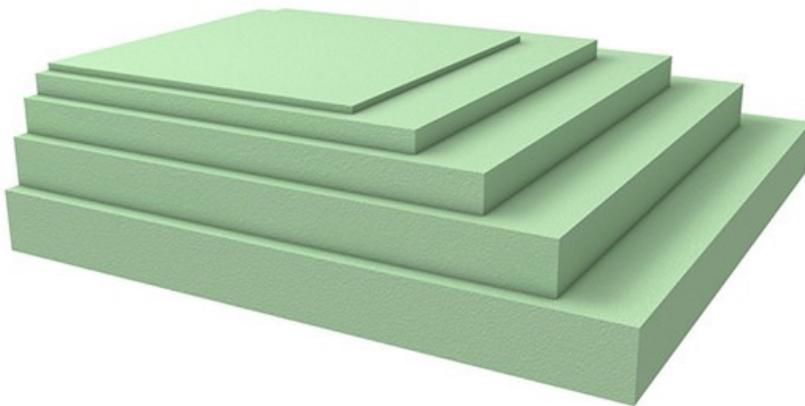


Abbildung 67: XPS-Dämmplatten¹⁹⁴

PUR – Polyurethan:

Dämmplatten aus Polyurethan-Hartschaum weisen eine niedrige Wärmeleitfähigkeit von bis zu 0,023 W/mK auf. Durch die geschlossene Zellstruktur ist PUR-Hartschaum nicht hygroskopisch

¹⁹³ <http://xps-spezialdaemmstoff.de/herstellung-von-xps/> (Stand: 25.01.2019)

¹⁹⁴ <http://sansys.de/styrodurr-xps-1-0cm-1-4cm-x-15cm-x-50cm.html> (Stand: 25.01.2019)

und nicht kapillaraktiv. Des Weiteren ist der Dämmstoff druck-, verrottungs-, fäulnis- und schimmelfest sowie beständig gegenüber Feuchtigkeit und Chemikalien. Die Nachteile von PUR-Hartschaum beschränken sich auf die UV-Empfindlichkeit, das Brandverhalten und die Entsorgung. Dazu ist aber anzumerken, dass PUR bei Wärmeeinwirkung nur an der Oberfläche karbonatisiert und nicht schmilzt. Mittlerweile gibt es auch Polyurethanstreifen mit einer Zulassung als Brandschutzriegel. Das Problem der Längenänderung, wie bei XPS, besteht auch bei PUR. Die Entsorgung gestaltet sich beim Einsatz in einem WDVS schwierig, da wie bei EPS die Trennung von Armierungsgewebe und Klebemörtel aufwendig ist. Der große Vorteil von PUR liegt in dem vielfältigen Einsatzgebiet. Es kann auf Dach, Wand und Boden eingesetzt werden. Dadurch ist es möglich, ein Gebäude von der Bodenplatte bis hinauf zum Dach nur mit PUR zu dämmen. Ein weiterer Vorteil liegt in der geringen Wärmeleitfähigkeit, welche geringere Dämmstoffstärken erlaubt. Aus diesem Grund wird PUR vor allem bei engen Platzverhältnissen eingesetzt.¹⁹⁵



Abbildung 68: PUR-Dämmplatte¹⁹⁶

Der Rückbau von PUR-Dämmplatten erfolgt analog zu dem von EPS-Dämmplatten durch Abreißen und Abschälen. Das Recycling findet durch thermische Verwertung in Abfallbehandlungsanlagen statt. Lediglich ältere Dämmplatten (vor 1993) sind durch den Einsatz von FCKW problematisch.¹⁹⁷

¹⁹⁵ Vgl. <https://www.energieheld.de/daemmung/daemmstoffe/PUR-PIR> (Stand: 25.01.2019)

¹⁹⁶ <https://www.energieheld.de/daemmung/daemmstoffe/PUR-PIR> (Stand: 25.01.2019)

¹⁹⁷ Vgl. AMTMANN, M. et al.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen, S. 73.

Resol-Hartschaum:

Dies ist ein noch vergleichsweise neuer Dämmstoff, der seit 2007 vertrieben wird. Aktuell ist er der Dämmstoff mit der niedrigsten Wärmeleitfähigkeit von 0,022 W/mK, jedoch auch der teuerste mit einem etwa fünfmal so hohen Preis wie EPS.¹⁹⁸

Die Dämmstoffplatten sind in Dicken von 30 bis 300 mm lieferbar. Hergestellt wird der Dämmstoff, indem Phenolharz, bestehend aus Bakelit, mit weiteren Komponenten gemischt und in Blockformen bei ca. 60 °C aufgeschäumt wird. Bei der Herstellung entstehen Mikrozellen mit einer Größe von 100 bis 300 µm, die mit Pentan gefüllt sind. Diese Zellen sind für die niedrige Wärmeleitfähigkeit verantwortlich. Bei Fassadendämmplatten aus Resol-Hartschaum wird zur bessern Klebehaftung und Verarbeitung entweder beidseitig Glasvlies oder eine dünne Schicht EPS aufgebracht. Die Verarbeitung der Platten erfolgt wie bei herkömmlichen EPS-Platten.¹⁹⁹



Abbildung 69: Resol-Hartschaumplatten²⁰⁰

Resol-Hartschaumplatten werden aufgrund des geringen Abfallaufkommens nur thermisch verwertet und nicht recycelt. Beim Einsatz in einem WDVS erfolgt der Rückbau wie bei EPS.²⁰¹

¹⁹⁸ Vgl. <http://www.baustoffwissen.de/wissen-baustoffe/baustoffknowhow/haus-garten-wegebau/daemmung/resol-hartschaumplatten-waermedaemmverbundsystem/> (Stand: 25.01.2019)

¹⁹⁹ Vgl. <https://www.austrotherm.at/produkte/austrotherm-resolution/> (Stand: 25.01.2019)

²⁰⁰ <https://www.malerblatt.de/themen/technik-werkstoffe/perfekt-gedaemmt/#slider-intro-3> (Stand: 25.01.2019)

6.5.2 Anorganisch-synthetische Dämmplatten

Mineralwolle:

Mineralwolle ist der Überbegriff für Stein- und Glaswolle. Sie unterscheiden sich hauptsächlich in der Zusammensetzung ihrer Rohstoffe, haben aber größtenteils ähnliche Eigenschaften. Manche Hersteller bieten zudem Steinwolle mit einem Glaswolleanteil von 25 % an. In der Praxis werden Dämmplatten für den Einsatz in einem WDVS grundsätzlich immer als Mineralwollendämmplatten bezeichnet und es wird nicht zwischen Glas- und Steinwolle unterschieden. Aus diesem Grund wird auch hier auf die Unterscheidung verzichtet.



Abbildung 70: Wärmedämmung mit Mineralwolle²⁰²

Mineralwolle ist der am zweithäufigsten eingesetzte Dämmstoff in Europa. Selbst EPS-Fassaden kommen gelegentlich nicht ohne Steinwolle aus, da die Brandschutzeigenschaften von der üblichen EPS-Dämmung nicht ausreichen und Steinwolle als Brandschutzriegel genutzt wird. Neben der hohen Brandschutzsicherheit (A1, A2) hat Mineralwolle viele weitere Vorteile. Die Wärmeleitfähigkeit ($\lambda = 0,031-0,04 \text{ W/mK}$) entspricht in etwa der von EPS. Darüber hinaus ist Mineralwolle diffusionsoffen

²⁰¹ Vgl. AMTMANN, M. et al.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen, S. 73.

²⁰² Wärmedämmung mit Steinwolle:
<https://www.flumroc.ch/produkte/bauprodukte/aussenwaende/> (Stand: 25.01.2019)

und kann somit Feuchtigkeit von innen nach außen transportieren. Tritt Feuchtigkeit jedoch in Form von Kondensat auf, verliert Mineralwolle schnell ihre Dämmeigenschaften. Aus diesem Grund ist Mineralwolle nicht für die Perimeter- oder die Sockeldämmung geeignet. Bei einem WDVS mit Mineralwolle und Armierungsmörtel sowie Putz auf mineralischer Basis wird Pilzbewuchs auf der WDVS-Oberfläche vermieden, da organische Materie für das Pilzwachstum notwendig ist.²⁰³

Durch die geringe dynamische Steifigkeit eignet sich Mineralwolle auch für Schallschutzmaßnahmen. Aus diesem Grund wird sie im Innenraum bei Trockenbauwänden verwendet.²⁰⁴

Bei der Verarbeitung ist zusätzlicher Arbeitsschutz notwendig, da die Fasern die Haut und die Schleimhäute reizen können. Vor 1996 produzierte Mineralfaserdämmung ist aufgrund der lungengängigen Fasern sogar krebserregend. Hier müssen besondere Schutzmaßnahmen bei der Entsorgung getroffen werden. Von der heutigen Mineralwolle geht keine solche Gefahr aus. Laut österreichischem Abfallrecht gilt Mineralwolle als nicht gefährlicher Abfall und kann daher deponiert werden.²⁰⁵

Mineralschaum.²⁰⁶

Mineralschaumplatten bestehen vor allem aus quarzhaltigem Sand, Kalkhydrat und Zement, die ihre Porosität meist durch aluminiumhaltige Porenbildner erhalten. Sie sind formstabil, druckfest und gehören zur Brandschutzklasse A1. Durch die Zugabe von Silikonharzemulsion sind Mineralschaumplatten vollständig hydrophobiert. Das heißt, die inneren Poren und Kapillaroberflächen sind wasserabweisend bei fast gleichbleibender Diffusionsoffenheit ($\mu = 3-5$). Durch die sehr hohe Alkalität (pH-Wert: 14) sind sie auch resistent gegen Schimmelsporen, Pilze und Ungeziefer. Die Wärmeleitfähigkeit ist gegenüber EPS mit 0,040 bis 0,060 W/mK etwas höher. Bei der Umweltverträglichkeit haben Mineralschaumplatten hingegen wieder Vorteile, da sie weniger Energie bei der Herstellung benötigen als EPS, baubiologisch

²⁰³ Vgl. <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/wdvs/mineralwolle.html> (Stand: 25.01.2019)

²⁰⁴ Vgl. <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/wdvs/mineralwolle.html> (Stand: 25.01.2019)

²⁰⁵ Vgl. AMTMANN, M. et al.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen, S. 61.

²⁰⁶ Vgl. <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmplatten/mineralschaumplatten.html> (Stand: 25.01.2019)

unbedenklich sind und bei Abbruch als Schüttmaterial oder Zuschlagstoffe verwendet werden können. Durch die Faserfreiheit sind die Dämmplatten einfach zu schneiden. Bei der Verarbeitung kann Staub entstehen, der jedoch nicht als gefährlich eingestuft wird.



Abbildung 71: Wärmedämmung mit Mineralschaumplatte²⁰⁷

6.5.2.1 Organisch-Natürliche Dämmplatten

Holzfaserdämmung:

Eine Holzfaserdämmung besteht aus mindestens 85 % Holzfasern, die aus Nadelhölzern gewonnen werden. Für die Fasergewinnung werden ausschließlich Resthölzer verwendet. Grundsätzlich ist Holzfaserdämmung ein völlig natürlicher Dämmstoff, der jedoch durch die Zugabe von harzigen oder bitumenhaltigen Zusätzen eine noch höhere Festigkeit und Feuchtebeständigkeit erhält. Die Dämmplatten werden in einer Stärke von 3 bis 32 mm produziert. Für noch dickere Platten werden sie schichtweise bis zu 240 mm Gesamtdicke verklebt.

Die Wärmeleitfähigkeit von Holzfaser-Dämmplatten für WDVS liegt zwischen 0,037 und 0,06 W/mK bei einer Rohdichte von 110 bis 270 kg/m³. Der Vorteil von Holzfaser-Dämmplatten liegt in ihrer hohen spezifischen Wärmespeicherkapazität von 2100 J/kgK, was vor sommerlicher Überwärmung schützt. Das bedeutet, dass die

²⁰⁷ <https://www.obl.de/mineralfaser-daemmstoffe/multipor-mineraldaemplatte-60-mm-1-17-m-5-stk-paket/p/3554532> (Stand: 25.01.2019)

Dämmung große Mengen an Wärmeenergie aufnimmt und diese nicht nach innen abgibt.²⁰⁸

Die Recyclingfähigkeit von Holzfaserdämmung hängt stark vom Herstellungsverfahren, den Bindemitteln und den Flammschutzmitteln ab. Da beim Rückbau die genaue Zusammensetzung oft nicht bekannt ist, wird Holzfaserdämmung thermisch verwertet.²⁰⁹



Abbildung 72: Holzfaser-Dämmplatte für WDVS²¹⁰

Kork:

Der Grundstoff für Korkdämmplatten ist die Rinde der Korkeiche. Die Rinde wird zu Korkschorf verarbeitet, welche dann mit heißem Wasserdampf behandelt wird. Durch den Wasserdampf expandiert der Korkschorf und die korkeigenen Harze binden das Material, um schlussendlich die Dämmplatten zu erhalten. Somit ist Kork ein rein natürlicher Dämmstoff. Korkdämmplatten erreichen eine Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/mK bei einer Rohdichte von 120 kg/m³ und werden bis zu einer Dicke von 200 mm hergestellt. Die Verarbeitung analog zu EPS-Fassaden und die Platten können mit Sägen oder Messern zugeschnitten werden. Es ist ebenso kein besonderer Klebemörtel oder ein Außenputze notwendig. Ein

²⁰⁸ Vgl. <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmstoffe/holzfaserdaemmung.html> (Stand: 25.01.2019)

²⁰⁹ Vgl. AMTMANN, M. et al.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen, S. 35.

²¹⁰ <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmstoffe/holzfaserdaemmung.html> (Stand: 28.01.2019)

Nachteil von Kork liegt im Preis. Die Kosten für Korkdämmplatten sind etwa drei- bis viermal höher als die von EPS-Dämmplatten.²¹¹

Korkdämmung ist in der Regel frei von jeglichen Zusatzmitteln. Sortenrein getrennt, können Korkabfälle granuliert und wieder zu Dämmplatten verarbeitet oder auch kompostiert werden. In Österreich gibt es jedoch kein entsprechendes Recyclingsystem. Daher erfolgt die Entsorgung durch thermische Verwertung.²¹²



Abbildung 73: Korkdämmplatte²¹³

Hanf:²¹⁴

Hanf ist eine robuste und oft eingesetzte Kulturpflanze. Für die Herstellung von Hanfdämmplatten wird der Stängel der Pflanze durch Brechen und Walzen zu Fasern verarbeitet. Um eine höhere Formstabilität zu erreichen, werden Polyesterfasern eingearbeitet. Den Fasern wird anschließend Ammoniumphosphate oder Soda als Flammenschutzmittel zugesetzt. Durch die im Hanf enthaltenen Bitterstoffe ist der Dämmstoff resistent gegen Schimmel, Fäulnis und Ungeziefer. Die Wärmeleitfähigkeit reicht hinunter bis auf $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$ bei einem sehr geringen Diffusionswiderstand von $\mu = 1-2$. Dämmplatten aus Hanf können problemlos geschnitten werden, wodurch jedoch

²¹¹ https://www.roefix.at/var/fixitgruppe/storage/ilcatalogue/files/pdf/ATDE/Technisches_Merkblatt_TM_R%C3%96FIX_CORKTHERM_040_Kork-Fassadend%C3%A4mmplatte_DC0000590.PDF (Stand: 04.02.2019)

²¹² Vgl. AMTMANN, M. et al.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen, S. 39.

²¹³ http://www.bauhandwerk.de/artikel/bhw_Kork_Schilf_Seegras_Holzschalum_Rohr_2388133.html (Stand: 11.11.2018)

²¹⁴ Vgl. AMTMANN, M. et al.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen, S. 32f.

Feinstaub entstehen kann. Deshalb ist auf einen entsprechenden Atemschutz zu achten.



Tabelle 14: Hanfdämmplatte²¹⁵

Um Hanfdämmung recyceln zu können, ist eine sortenreine Rückgewinnung notwendig. In Österreich gibt es bereits einige Hersteller, die den Dämmstoff zurücknehmen und recyceln. Ansonsten wird Hanf thermisch verwertet.

6.6 Bauphysik

6.6.1 Wärme- und Feuchteschutz²¹⁶

Mit WDVS lassen sich je nach Dicke der Dämmschicht gute wärmedämmende Eigenschaften erzielen. Die Wärmeleitfähigkeit der am häufigsten eingesetzten Dämmstoffe liegt zwischen 0,030 und 0,040 W/mK und beträgt bei Dämmstoffen aus Polyurethan oder Resol bis zu 0,022 W/mK. Die gängigsten Dämmplatten sind in Dicken von 2 cm bis 20 cm erhältlich, wobei manche Systeme eine Zulassung von bis zu 40 cm aufweisen.

Bei richtiger Anwendung ist ein WDVS auf Außenwänden feuchtetechnisch als unproblematisch anzusehen. Geringe Mengen an Tauwasser können zwar entstehen, welche aber in den Sommermonaten wieder ausdiffundieren. Auf Fensteranschlüsse,

²¹⁵ <https://www.bauforum.at/bauzeitung/hanf-daemmt-52583> (Stand: 05.02.2019)

²¹⁶ Vgl. SCHILD, K.; WEYERS, M.; WILLEMS, W.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details, S. 40ff.

Auskragungen (Balkone) und Gebäudefugen ist bereits in der Planungsphase besonders zu achten, da hier das Risiko von Wärmebrücken und in weiterer Folge von Bauschäden am höchsten ist.

Den Schlagregenschutz übernimmt bei einem WDVS die Schlussbeschichtung. Diese besteht meist aus Kunstharz-, Silikonharz-, Silikat- oder Mineralputz, seltener in Form einer keramischen Bekleidung. In allen Schichten eines WDVS ist auf eine ordnungsgemäße Verarbeitung zu achten. Auftretendes Regenwasser muss immer von der Fassade weggeleitet werden und Anschlüsse müssen dicht oder mit einer zweiten wasserableitenden Ebene ausgeführt werden. Eine feuchtetechnische Entlastung bringen Maßnahmen, wie Vordächer und entsprechende Fassadengliederungen. Als Alternative für völlig dem Niederschlag ausgesetzte, flächenbündige Fassaden eignen sich hinterlüftete, verputzte Fassaden, die die Wirkung der zweistufigen Abdichtung aufweisen (siehe 9.5.1). In der Regel sind diese auch weniger Empfindlich für Algen- und Pilzbewuchs.

6.6.2 Brandschutz²¹⁷

Die Brandschutzeigenschaften eines WDVS hängen stark von dem verwendeten Dämmstoff ab. Mineralfaserdämmstoffe werden mindestens der Euroklasse A2 zugeordnet. Dämmstoffe aus Polystyrol, Holz, Kork oder Schilf haben meist die Euroklasse D oder E. Dabei ist immer zwischen Einzelkomponenten und Systemen zu unterscheiden. Bei WDVS ist die äußere Putzschicht die maßgebende Ebene. Putze mit organischen Bindemitteln sind der Euroklasse B und Silikat- oder Mineralputz der Euroklasse A zugeordnet.

WDVS der Euroklasse A dürfen unbeschränkt für alle Gebäudeklassen, auch oberhalb der Hochhausgrenze, verwendet werden. Bei EPS mit einer Dämmstoffdicke von mehr als 10 cm, ist entweder oberhalb der Fenster ein Brandschutzriegel (Abbildung 74) oder eine Brandschutzbanderole (Abbildung 75) auszuführen. Als Material dafür kann ein Mineralwolle- oder ein Pur-Dämmstreifen zum Einsatz kommen.

²¹⁷ Vgl. AMTMANN, M. et al.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen, S. 18ff.

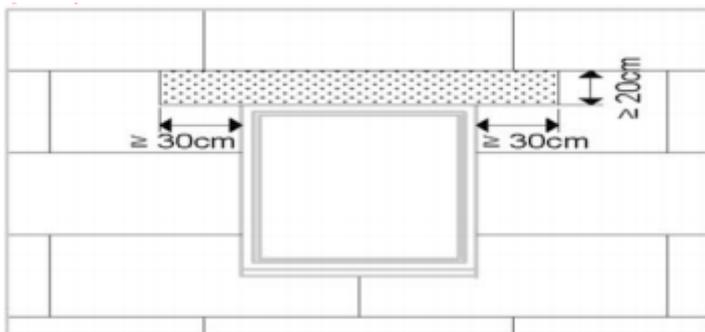


Abbildung 74: Brandschutzriegel²¹⁸

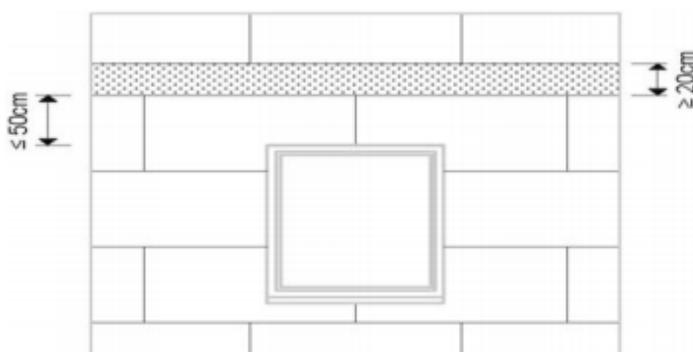


Abbildung 75: Brandschutzbanderole²¹⁹

6.6.3 Schallschutz

WDVS können die Schalldämmeigenschaften von Außenwänden sowohl positiv wie auch negativ beeinflussen. Der Grund dafür liegt in dem Resonanzverhalten des aus Grundwand, Dämmstoff und Putzschicht bestehenden Systems, welches ein Masse-Feder-Masse-System darstellt.

Im Abschlussbericht des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung – BMVBS – wurde im Rahmen der Forschungsinitiative ‚Zukunft Bau‘ der Schallschutz von WDVS untersucht. Es stellte sich heraus, dass beim Einsatz WDVS immer eine geringe Verschlechterung des Schallschutzes bei Verkehrslärm erfolgt (Abbildung 76). Der Grund dafür ist, dass Verkehrslärm vor allem im unteren Frequenzbereich den höchsten Schallpegel aufweist und WDVS erst ab etwa 500 Hz eine Verbesserung des Schallschutzes bewirken kann. Die Versuche erfolgten alle mit EPS-

²¹⁸ HECHT, C.: Brandschutztechnische Anforderungen an Fassaden mit WDVS, S. 38.

²¹⁹ HECHT, C.: Brandschutztechnische Anforderungen an Fassaden mit WDVS, S. 38.

Platten mit einer Rohdichte von 20 kg/m^3 und einer Außenputzdicke von 8 mm , was eine flächenbezogene Masse von 11 kg/m^2 ergibt.²²⁰

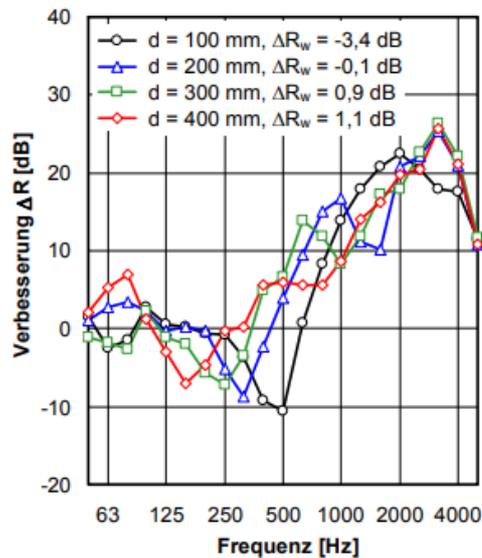


Abbildung 76: Verbesserung der Schalldämmung durch WDVS mit 100 mm bis 400 mm Dämmstoffdicke²²¹

Eine geringfügige Verbesserung wird nur bei sehr hohen Dämmstärken erreicht, da die dynamische Steifigkeit mit der Dicke abnimmt. Dennoch ist bei allen Dämmstärken ein Einbruch zwischen 100 und 600 Hz erkennbar.

Durch spezielle Mineralwolle-Dämmplatten (bsp. Brillux 3522) ist eine noch höhere Luftschalldämmung möglich. Solche Dämmplatten zeichnen sich durch einen niedrigen dynamischen E-Modul aus. In Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse der Grundwand und der Resonanzfrequenz des WDVS ist ein Luftschallverbesserungsmaß von bis zu 12 dB möglich (Tabelle 15). Somit lässt sich sagen, dass jeder Dämmstoff mit geringem dynamischem E-Modul für Schallschutzverbesserung in einem WDVS geeignet ist, wobei in der Regel Faserdämmstoffe einen niedrigeren dynamischen E-Modul aufweisen als Dämmstoffe aus Hartschaum. Generell ist aber auf die Lage des Resonanzeinbruchs zu achten, da sich trotz des ermittelten Luftschallverbesserungsmaßes eine subjektive Verschlechterung ergeben kann (bsp. Resonanzeinbruch im Verkehrslärbereich).²²²

²²⁰ Vgl. Weber, L.; MÜLLER, S.: Schallschutz bei Wärmedämmverbundsystemen, S. 81.

²²¹ Weber, L.; MÜLLER, S.: Schallschutz bei Wärmedämmverbundsystemen, S. 58.

²²² Vgl. BRILLUX: Technische Info 5b03, S. 4.

Ermittlung des Luftschallverbesserungsmaßes mit der WDVS Mineralwolle-Dämmplatte 3522

WDV-System- Resonanz- frequenz	db kg/m ²	Bewertetes Schalldämm-Maß $R'_{w,R,0}$ [dB] der Wand ohne WDV-System in Abhängigkeit der flächenbezogenen Masse m'_{fl} in [kg/m ²] ²²³			
		43 - 47	48 - 51	52 - 54	55 - 58
f_0^{*2} [Hz]	db	43 (168 - 182)	48 (260 - 282)	52 (365 - 394)	55 (470 - 509)
	kg/m ²	44 (183 - 199)	49 (283 - 307)	53 (395 - 429)	56 (510 - 554)
	db	45 (200 - 219)	50 (308 - 334)	54 (430 - 469)	57 (555 - 604)
	kg/m ²	46 (220 - 239)	51 (335 - 364)		58 (605 - 654)
	db	47 (240 - 259)			
	kg/m ²				
≤ 200		4	3	2	2
≤ 180		5	4	3	3
≤ 160		7	4	4	4
≤ 140		9	7	6	5
≤ 120		10	8	7	7
≤ 100		11	9	8	8
≤ 90		12	10	9	8

Luftschallverbesserungsmaß $\Delta R_{w,fl(WDVS)}^{*2}$ [dB] für WDV-Systeme mit WDVS Mineralwolle-Dämmplatte 3522 auf Massivwänden, 40 - 60 %-teillächig verklebt einschließlich 4 Dübeln/m² ²²⁴

Tabelle 15: Luftschallverbesserungsmaß²²³

²²³ BRILLUX: Technische Info 5b03, S. 8.

6.7 Überblick und Bewertung

Um die wichtigsten bauphysikalischen Kennwerte der genannten Dämmmaterialien für den Einsatz in einem WDVS zu vergleichen, wurden sie in nachfolgender Tabelle 16 nochmals zusammenfassend dargestellt. Sämtliche Werte beziehen sich auf Dämmstoffplatten.

Dämmstoff	λ [W/(mK)]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	C [J/kgK]	Recycling Verwertung Deponie	Brandschutz
EPS	0,030–0,040	15–35	20–100	1500	Verwertung	E
XPS	0,027–0,040	25–50	80–300	1500	Verwertung	E
PUR	0,023–0,030	30–100	40–200	1400	Verwertung	E
Resol	0,021–0,025	35–40	10–50	1400	Verwertung	E
Mineralwolle	0,030–0,048	30–220	1–2	600–1000	Deponie	A1
Mineralschaum	0,040–0,060	100–200	2–3	850–1000	Recycling	A1
Holzfaser	0,040–0,060	110–250	3–5	1700– 2100	Verwertung	E
Kork	0,040–0,050	100–220	5–10	1500– 1700	Verwertung	E
Hanf	0,040–0,080	100–150	1–2	1700	Recycling	E

Tabelle 16: Dämmstoffkennwerte^{224 225}

Die Bewertung der verschiedenen Dämmstoffe erfolgte anhand von fünf Kriterien. Es wurde für jeden Dämmstoff eine Punktzahl zwischen 1 und 3 für die jeweilige Kategorie vergeben. Je höher die Punktzahl ausfällt, desto besser schneidet der Dämmstoff in dieser Kategorie ab.

²²⁴ <https://www.baulinks.de/baumaterial/lambda-werte-waermeleitzaehl-waermeleitfaehigkeit-waermedaemmung.php> (Stand: 04.02.2019)

²²⁵ <https://www.sanier.de/wp-content/uploads/ebooks/ebook-daemmstoffe-sanier.de.pdf> (04.02.2019)

Punktevergabe:

Wärmeleitfähigkeit: 3: $\lambda < 0,03 \text{ W/(mK)}$
2: $\lambda = 0,03 - 0,04 \text{ W/(mK)}$
1: $\lambda > 0,04 \text{ W/(mK)}$

Schallschutz: 3: Faserdämmstoffe
2: wurde nicht vergeben, da kein Dämmstoff dazwischen liegt
1: Hartschäume und Kork

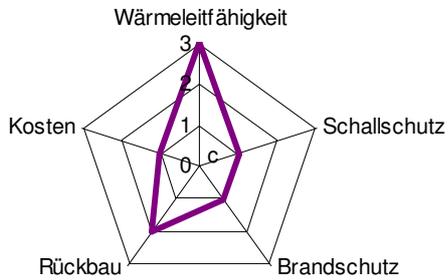
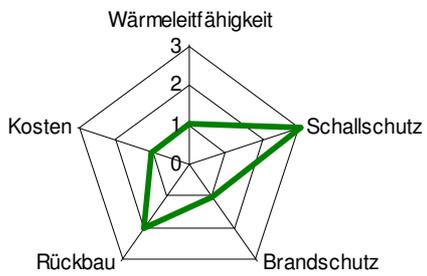
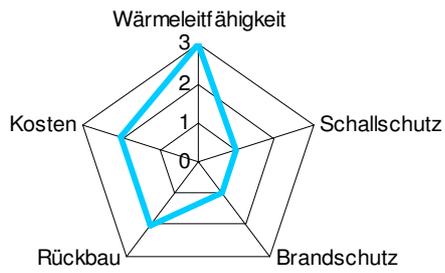
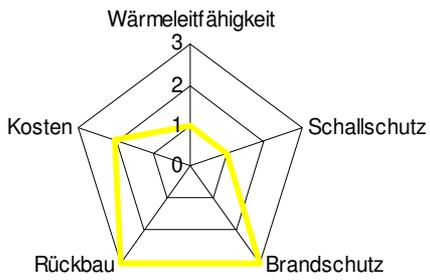
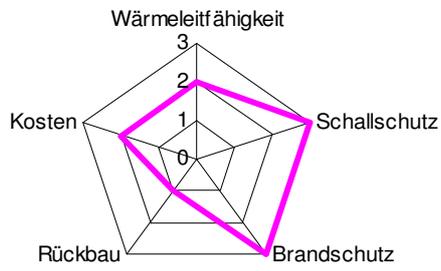
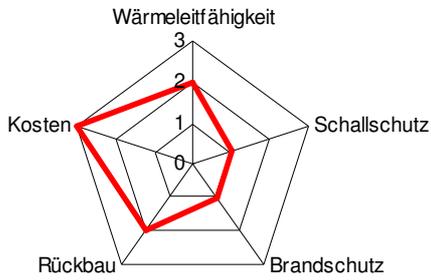
Brandschutz: 3: A1
2: wurde nicht vergeben, da kein Dämmstoff dazwischen liegt
1: E

Rückbau: 3: recyclebar
2: verwertbar
1: deponierbar

Kosten für $U=24 \text{ W/(m}^2\text{k)}$:²²⁶ 3: unter 10 €/m²
2: 10 bis 30 €/m²
1: über 30€/m²

Die Darstellung der Punktevergabe erfolgt in nachfolgenden Netzdiagrammen (Abbildung 77).

²²⁶ Vgl. <https://www.energieheld.de/daemmung/daemmstoffe> (Stand: 06.03.2019)



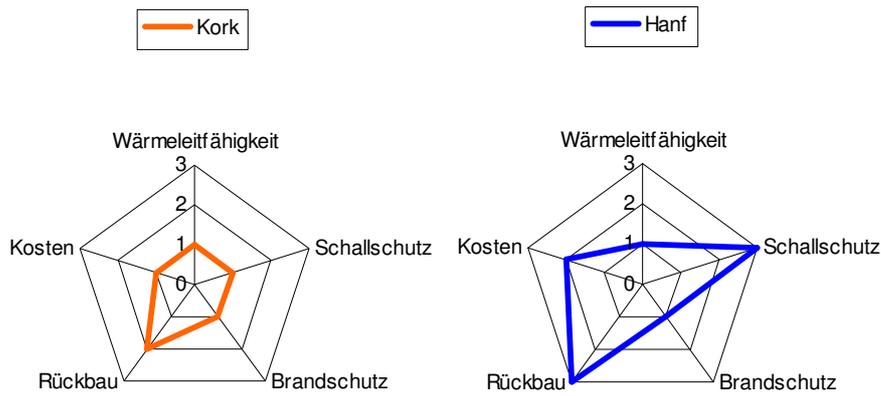


Abbildung 77: Einzelbewertung der Dämmstoffe²²⁷

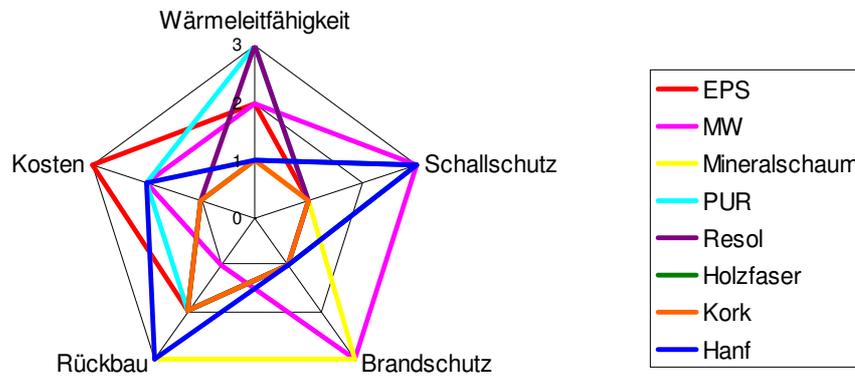


Abbildung 78: Gesamtbewertung²²⁸

²²⁷ Eigene Darstellung

²²⁸ Eigene Darstellung

7 Wärmedämmputzsystem – WDPS

Unter Wärmedämmputzsystem wird ein Putzsystem verstanden, welches aus einem wärmedämmenden Unterputz und einem wasserabweisenden Oberputz besteht. Die wärmedämmenden Eigenschaften erhält der Putz durch Leichtzuschläge wie Perlite, Blähglas oder EPS. Die Putzschichtdicke ist in der Regel auf 10 cm beschränkt, da durch die Leichtzuschläge die mechanische Stabilität des Putzes abnimmt.²²⁹

Wärmedämmputzsysteme eignen sich für die Anwendung im Neubau, sowie für die nachträgliche Dämmung. Die üblichen, am Markt zu findenden Wärmedämmputze erreichen jedoch nur eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,07$ bis $0,12$ W/mK und stehen in dieser Hinsicht anderen Systemen nach. Lediglich Aerogel-Dämmputz ($\lambda \approx 0,03$ W/mK) hat Wärmedämmeigenschaften, die mit anderen Dämmstoffen vergleichbar sind. Der Vorteil von Wärmedämmputzen liegt in der Anpassung an alle geometrischen Formen. Sämtliche gekrümmten Flächen und Freiformflächen können somit gedämmt werden.²³⁰

7.1 Aufbau

Die Verarbeitung von Wärmedämmputz entspricht der von herkömmlichen mineralischen Putzen. Der Putzuntergrund wird zunächst vorbehandelt und anschließend wird der Unterputz aufgetragen. Dies geschieht meist maschinell und kann auch in mehreren Lagen erfolgen. Gegebenenfalls wird ein Putzträger zwischen den einzelnen Schichten eingelegt. Auf den Unterputz wird nach ausreichender Standzeit der Oberputz aufgetragen, der als Witterungsschutz dient. Kommt ein dünnschichtiger Oberputz zum Einsatz, muss zuvor noch eine Ausgleichsschicht aufgetragen werden, um eine Mindestdicke der Witterungsschutzschicht (Oberputz und Ausgleichsputz) von 8 mm zu gewährleisten. Abbildung 79 zeigt den Systemaufbau eines Wärmedämmputzsystems.²³¹

²²⁹ Vgl. SCHILD, K.; WEYERS, M.; WILLEMS, W. M.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details, S. 28.

²³⁰ Vgl. <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/aussendaemmung/daemmputz-aussen.html> (Stand: 18.01.2019)

²³¹ Vgl. SCHILD, K.; WEYERS, M.; WILLEMS, W. M.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details, S. 28.

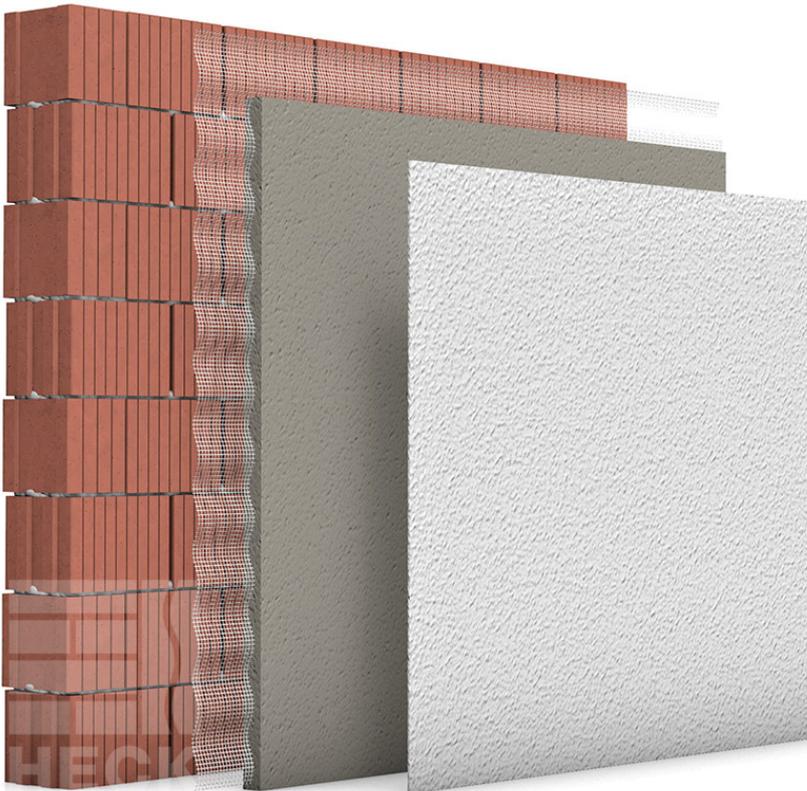


Abbildung 79: Systemaufbau Wärmedämmputz: Untergrund, ggf. Putzträger (gedübelt), Wärmedämmputz, Oberputz²³²

7.2 Systemkomponenten

7.2.1 Untergrund

Grundsätzlich kann Wärmedämmputz auf einer Vielzahl an Untergründen eingesetzt werden, solange die Tragfähigkeit gewährleistet ist. Das heißt, der Untergrund muss trocken, sauber und frei von Verunreinigungen und losen Teilen sein. Bei stark saugenden Untergründen ist ein Spritzbewurf auszuführen oder eine Grundierung aufzutragen. Nicht tragfähige Untergründe müssen mit Putzträgerplatten oder Armierungsgewebe verstärkt werden, um die Lastabtragung vom Putz in den Untergrund sicherzustellen.²³³

²³² <https://www.wall-systems.com/de/innendaemmung/mineralischer-daemmputz/> (Stand: 28.01.2019)

²³³ Vgl. SCHILD, K.; WEYERS, M.; WILLEMS, W. M.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details, S. 85.

7.2.2 Dämmputz

Dämmputz besteht aus mineralischen Bindemitteln (Zement und Kalk) sowie mineralischen oder organischen Zuschlägen. Die meisten Wärmedämmputze enthalten EPS-Granulat als Leichtzuschlag. Je nach Hersteller liegt die Mindestdicke von Wärmedämmputz bei 2 bis 3 cm. Je nach endgültiger Putzdicke (max. 10 cm) muss der Auftrag in mehreren Arbeitsgängen mit zwischenzeitlichem Anziehen (nass in feucht) stattfinden. Wenn die Austrocknung zu schnell durch Sonneneinstrahlung oder Wind erfolgt, ist eine Befeuchtung notwendig, da Wärmedämmputz langsam trocknen muss.²³⁴

Bei stabilen Putzuntergründen, was früher beim Vollziegel der Fall war, galt immer die Putzregel ‚weich auf hart‘ (Abbildung 80 links). Das bedeutet, dass die Festigkeit des Unterputzes geringer als die des Oberputzes oder zumindest gleich fest ist. Dies diente der Vermeidung von Putzrissen. Die heutigen großformatigen Mauerziegel, die durch die erhöhten Wärmeschutzanforderungen entstanden sind, werden mit möglichst geringem Fugenanteil gemauert, um die Wärmebrückenwirkung durch den Mörtel zu minimieren. Dadurch entsteht ein weniger stabiler Putzgrund. Um bei solchen Aufbauten die Rissbildung zu verhindern, ist eine entkoppelnde Wirkung des Putzaufbaus notwendig. Dabei stellt der Wärmedämmputz die entkoppelnde Schicht dar. Als schubweiche Zwischenschicht trennt er den Putzgrund vom Oberputz. Durch die höhere Festigkeit des Oberputzes ergibt sich ein Aufbau nach der Regel ‚hart auf weich‘ (Abbildung 80 rechts). Dabei ist die Entkopplung umso besser, je höher der Festigkeitsunterschied zwischen Unter- und Oberputz ist.²³⁵

²³⁴ <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/aussendaemmung/daemmputz-aussen.html> (Stand: 28.01.2019)

²³⁵ Vgl. <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/hygrothermik/projekte/aussenputze-im-wandel-der-zeit.html> (Stand: 22.02.2019)

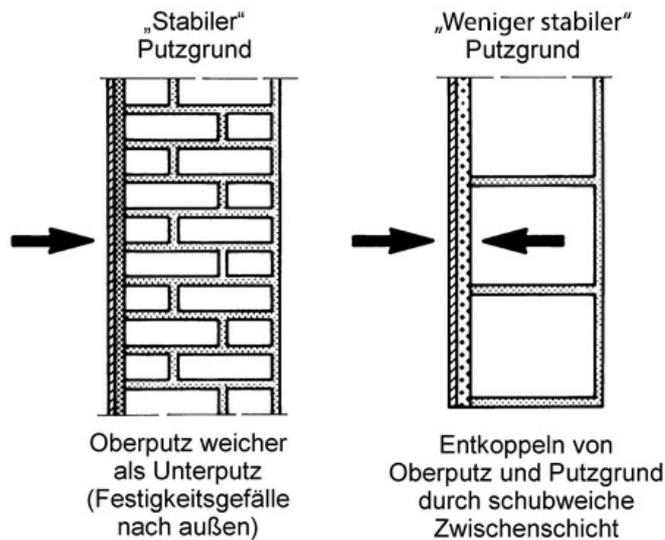


Abbildung 80: Putzregel nach Putzgrund²³⁶

7.2.3 Aerogel-Dämmputz²³⁷

Es handelt sich um einen von der Firma Hasit entwickelter Dämmputz mit Aerogel als Zuschlagstoff. Seine Besonderheit liegt in der niedrigen Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,028 \text{ W/mK}$ und einer maximalen Putzdicke von 150 mm. Die Verarbeitung ist vergleichbar mit herkömmlichen Dämmputzen, deren Leichtzuschläge aus EPS oder mineralischen Stoffen sind.

7.2.4 Oberputz²³⁸

Der Oberputz schützt den darunterliegenden Wärmedämmputz vor Witterungseinflüssen. Er besteht meist aus diffusionsoffenen Silikat- oder Mineralputzen und muss eine Dicke von 8 bis 15 mm aufweisen. Bei unebenen Flächen ist eine Ausgleichputzschicht auszuführen, um die Mindestdicke von 8 mm sicherzustellen.

Der Oberputz kann anschließend mit einem diffusionsoffenen Anstrich versehen werden. Dabei ist zu beachten, dass dunkle Farben auch physikalische Auswirkungen auf das

²³⁶ <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/hygrothermik/projekte/aussenputze-im-wandel-der-zeit.html> (Stand: 22.02.2019)

²³⁷ <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/tipps/news-produkte/daemmputz-mit-aerogel-3329889> (Stand: 28.01.2019)

²³⁸ Vgl. SCHILD, K.; WEYERS, M.; WILLEMS, W. M.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details, S. 90.

Wärmedämmputzsystem haben, da sie Temperaturen von 50 bis 60 °C erreichen können und somit die Rissbildung begünstigen.

7.3 Ausführungshinweise

Bei der Herstellung einer Fassade mit einem WDPS ist die Putzregel ‚hart auf weich‘ zu anzuwenden. Auf einen Untergrundwechsel ist besonders Acht zu geben, da hier die Gefahr von Rissbildung besteht. Nachfolgend werden ausgewählte Möglichkeiten zur Ausbildung der wichtigsten Detailpunkte gezeigt. Zu beachten ist, dass sämtliche Detailpunkte lediglich als Vorschlag der Hersteller dienen und nicht in jeder Frage vollständig sind. Die Detailpunkte sind daher individuell an die Bausituation anzupassen.

7.3.1 Dach

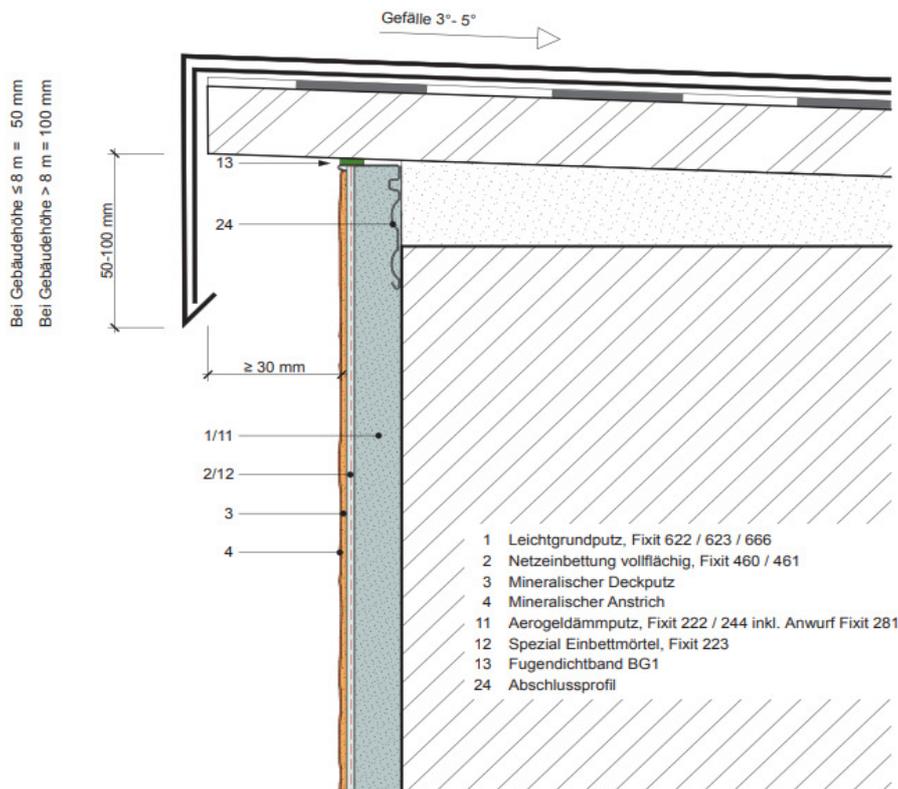


Abbildung 81: Detail Attika WDPS²³⁹

²³⁹ Fixit – Fachinfo: Verputzaufbau auf monolithischen
Einsteinmauerwerken, S. 28.

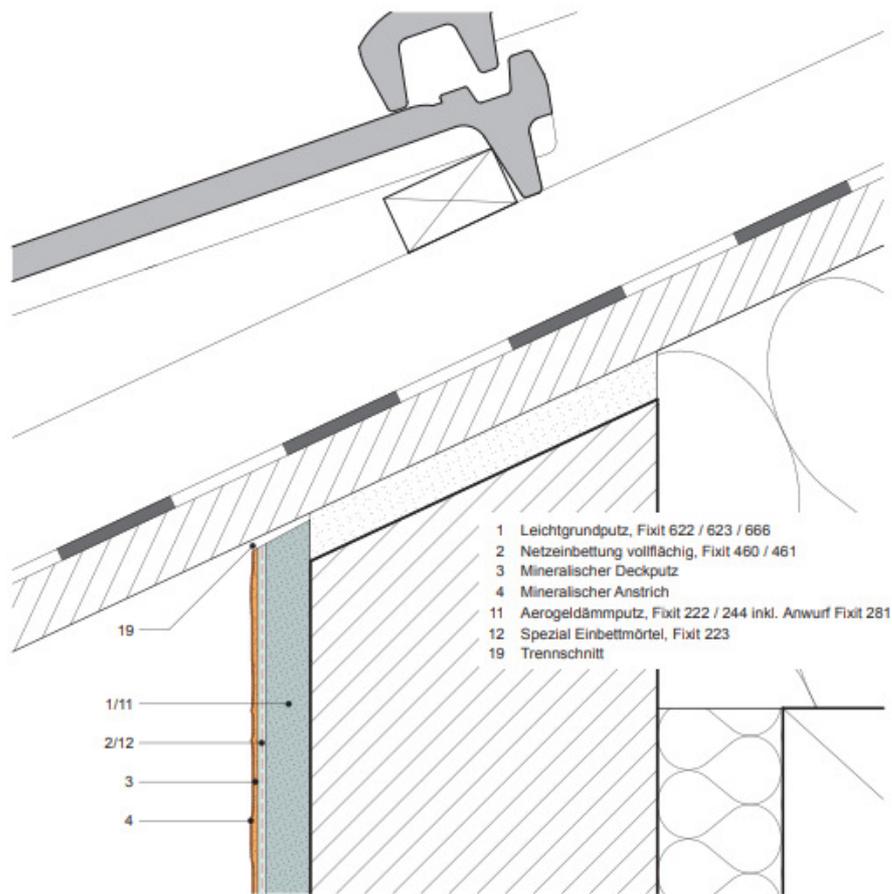


Abbildung 82: Detail Traufe WDPS²⁴⁰

²⁴⁰ Fixit – Fachinfo: Verputzaufbau auf monolithischen Einsteinmauerwerken, S. 29.

7.3.2 Deckenaufleger

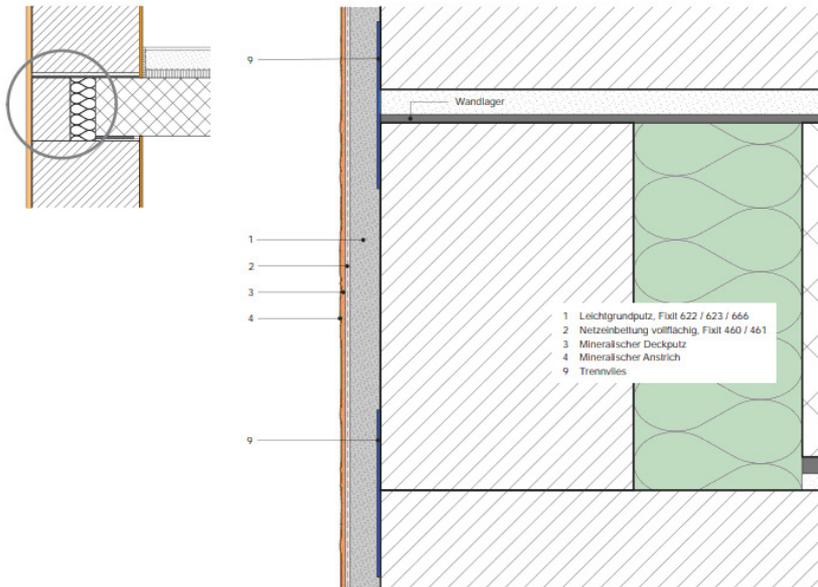


Abbildung 83: Detail Deckenaufleger WDPS²⁴¹

7.3.3 Fenster

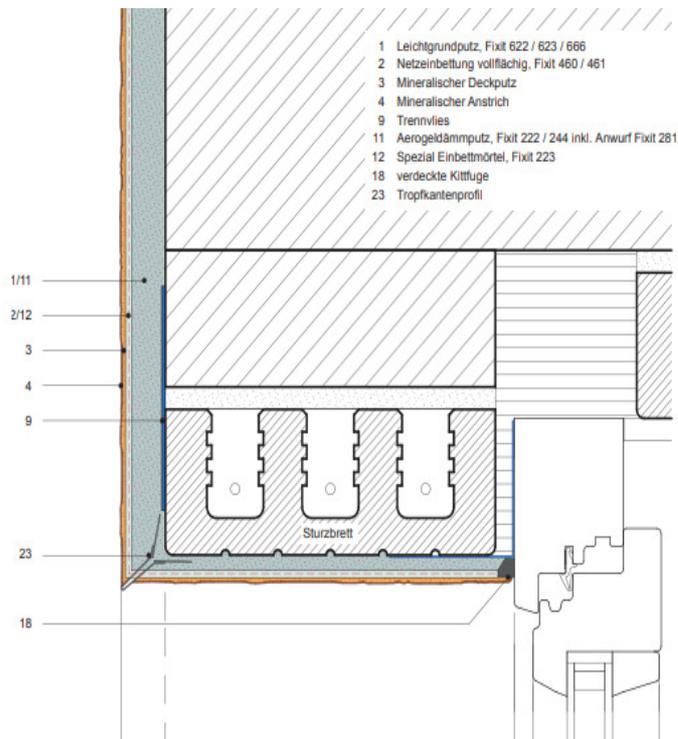


Abbildung 84: Detail Fenstersturz Vertikalschnitt WDPS²⁴²

²⁴¹ Fixit – Fachinfo: Verputzaufbau auf monolithischen Einsteinmauerwerken, S. 31.

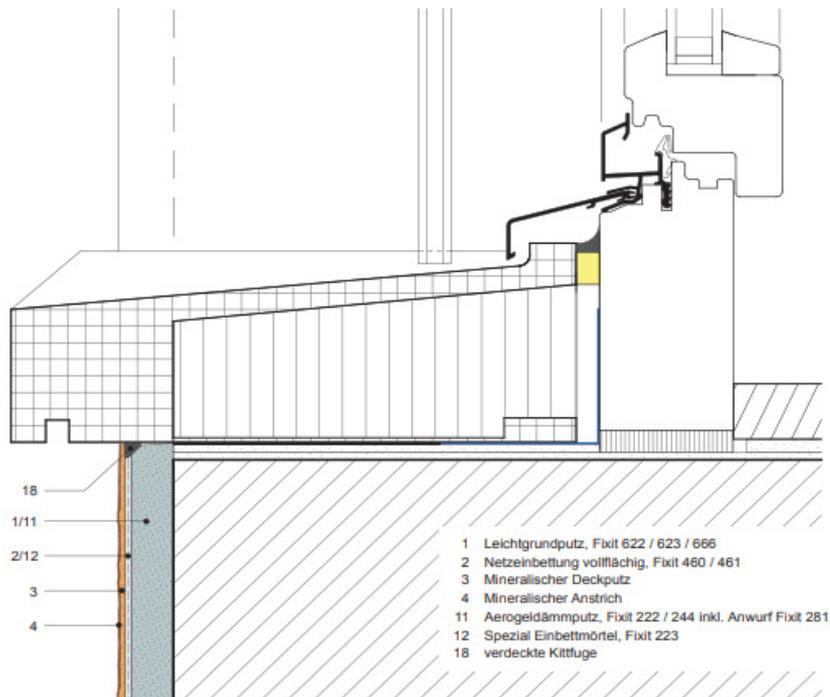


Abbildung 85: Detail Fenster Vertikalschnitt WDPS²⁴³

²⁴² Fixit – Fachinfo: Verputzaufbau auf monolithischen
Einsteinmauerwerken, S. 25.

²⁴³ Fixit – Fachinfo: Verputzaufbau auf monolithischen
Einsteinmauerwerken, S. 18.

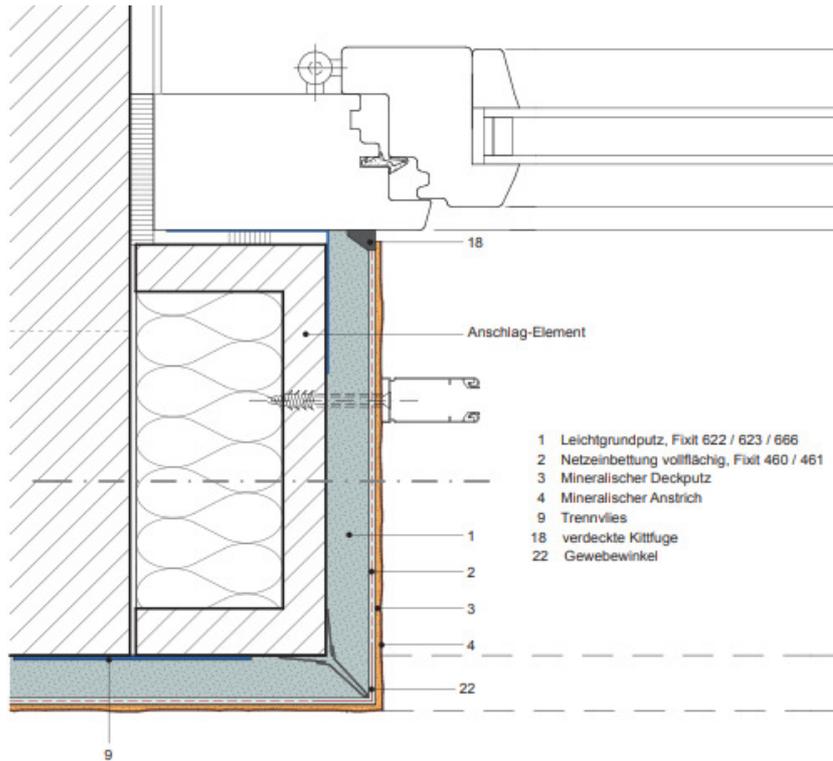


Abbildung 86: Detail Fenster Horizontalschnitt WDPS²⁴⁴

²⁴⁴ Fixit – Fachinfo: Verputzaufbau auf monolithischen Einsteinmauerwerken, S. 19.

7.3.4 Sockel

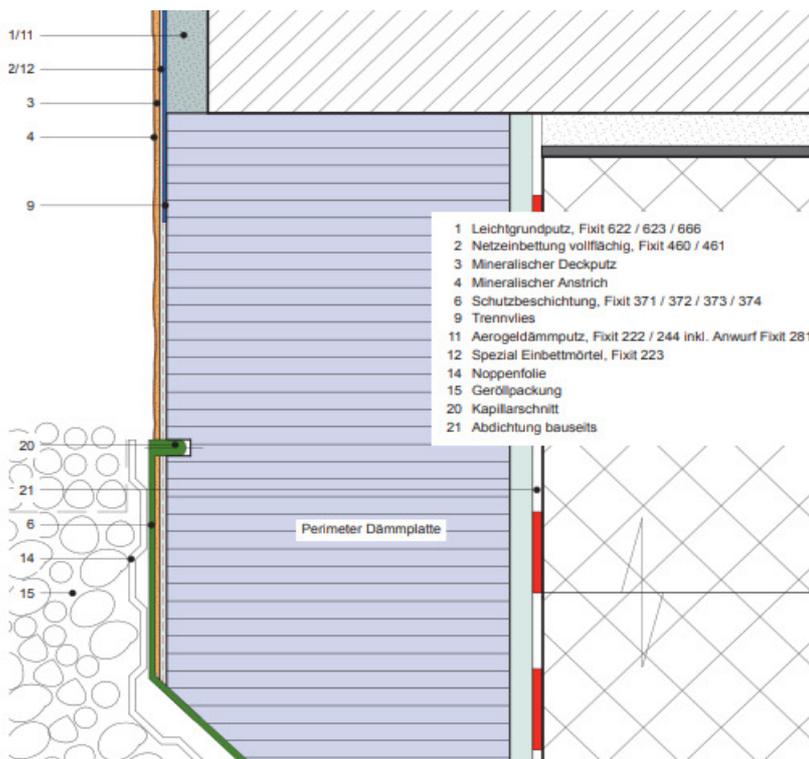


Abbildung 87: Detail Sockel WDPS²⁴⁵

7.4 Bauphysik

7.4.1 Wärmeschutz²⁴⁶

Je nach Zuschlagstoff unterscheiden sich die Wärmeleitfähigkeiten von Wärmedämmputz. Bei mineralischen Zuschlägen liegt die Wärmeleitfähigkeit zwischen 0,09 und 0,18 W/mK. Wärmedämmputz mit organischem Zuschlag weist einen etwas niedrigeren Wert mit 0,07 bis 0,12 W/mK auf. Die niedrigste Wärmeleitfähigkeit mit bis zu 0,028 W/mK besitzt Aerogel-Dämmputz, der zudem am dicksten aufgetragen werden kann.

²⁴⁵ Fixit – Fachinfo: Verputzaufbau auf monolithischen Einsteinmauerwerken, S. 31.

²⁴⁶ Vgl. SCHILD, K.; WEYERS, M.; WILLEMS, W. M.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details, S. 90f.

7.4.2 Feuchteschutz²⁴⁷

Als Feuchteschutz werden zwei Kategorien zusammengefasst: zum einen der Schutz gegen Tauwasserbildung aufgrund zu niedriger Oberflächentemperatur und zum anderen der Schutz gegen witterungsbedingte Durchfeuchtung.

Die Diffusionswiderstandszahl von Wärmedämmputzen liegt bei $\mu = 3$ bis 10. Aufgrund der vergleichsweise geringen Putzdicken ergibt sich ein geringer Teildiffusionswiderstand, was wiederum der bauphysikalischen Grundregel entspricht, die besagt, dass die Teildiffusionswiderstände von innen nach außen abnehmen sollen. Grundsätzlich ist der Tauwasseranfall immer nachzuweisen, jedoch ist ein WDPS im Normalfall bei Anwendung an Außenwänden als unkritisch anzusehen.

Aufgrund der kapillaren Leitfähigkeit von Wärmedämmputz kann er auftretendes Tauwasser in den Poren speichern und wieder abgeben bzw. ausdiffundieren. Beim Einsatz als Innendämmung ist ein rechnerischer Nachweis des Tauwasseranfalls erforderlich.

Den Schlagregenschutz übernimmt beim WDPS der Oberputz. Dieser muss möglichst diffusionsoffen sein, damit eingedrungene Feuchtigkeit wieder austreten kann. Deswegen wird auch ein Diffusionswiderstand von $s_d \leq 2,0$ m beim WDPS gefordert.

7.4.3 Brandschutz²⁴⁸

Die Brandschutzeigenschaften von WDPS sind wie beim Wärmedämmvermögen von den Zuschlagstoffen abhängig. Wärmedämmputze mit organischen Zuschlägen fallen in die Brandschutzklasse B, wohingegen bei mineralischen Zuschlägen die Brandschutzklasse A1 bzw. A2 erreicht wird.

7.4.4 Schallschutz²⁴⁹

Schallschutztechnisch hat Wärmedämmputz keinen nennenswerten Einfluss auf einer massiven Außenwand. Das Schalldämmmaß einer massiven Außenwand wird über die flächenbezogene Masse bestimmt. Da Wärmedämmputz eine geringe Masse besitzt, wird in der Regel lediglich eine geringfügige Verbesserung der Schalldämmung erreicht.

²⁴⁷ Vgl. SCHILD, K.; WEYERS, M.; WILLEMS, W. M.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details, S. 92.

²⁴⁸ Vgl. ebd., S. 93.

²⁴⁹ Vgl. ebd., S. 93.

8 Einschaliges Mauerwerk

Unter einschaligem Mauerwerk werden Ziegelwände verstanden, die abgesehen von Putz und Mörtel nur aus Ziegeln bestehen. Bis in 1990er Jahre bestand die feste Überzeugung, dass einschalige Wände nicht unter eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,14 \text{ W/mK}$ herstellbar sind. Heutzutage gibt es jedoch hochporosierte Ziegel, die mit Perliten oder Mineralwolle gefüllt sind und eine Wärmeleitfähigkeit unter $\lambda = 0,07 \text{ W/mK}$ erreichen. Damit können auch ohne zusätzliche Wärmedämmung die Anforderungen eines Niedrigenergiehauses erfüllt werden. Infolgedessen ist das einschalige Mauerwerk durchaus eine Alternative zum Wärmedämmverbundsystem.^{250 251}

8.1 Aufbau

Der Aufbau eines einschaligen Mauerwerks gestaltet sich vergleichsweise einfach (Abbildung 88). Auf die gemauerte Wand wird der Unterputz, der aus Wärmedämmputz, Leichtputz oder herkömmlichem Dreilagengputz besteht, aufgetragen. In den meisten Fällen wird auf den Unterputz anschließend noch Armierungsmörtel und Armierungsgewebe aufgetragen und kann dann mit unterschiedlichen Endbeschichtungen (Silikat- oder Mineralputz, Fassadenklinker) versehen werden, welche als Witterungsschutz dienen. Die Innenoberfläche wird mit Innenputz verputzt, welcher anschließend noch eine Endbeschichtung (Farbe, Keramik) erhält.²⁵²

²⁵⁰ Vgl. https://www.egenius.at/fileadmin/user_upload/fassadendaemmsysteme_massivbau/de/Fassadend%C3%A4mmsysteme_Massivbau.pdf (Stand: 28.01.2019)

²⁵¹ Vgl. <https://www.nextproducts.at/porotherm-w-i-2015-1075936/datei-files/Porotherm%20W.i%202015.pdf> (Stand: 28.01.2019)

²⁵² Vgl. <https://www.ziegel-technik.at/wandsysteme> (Stand: 28.01.2019)

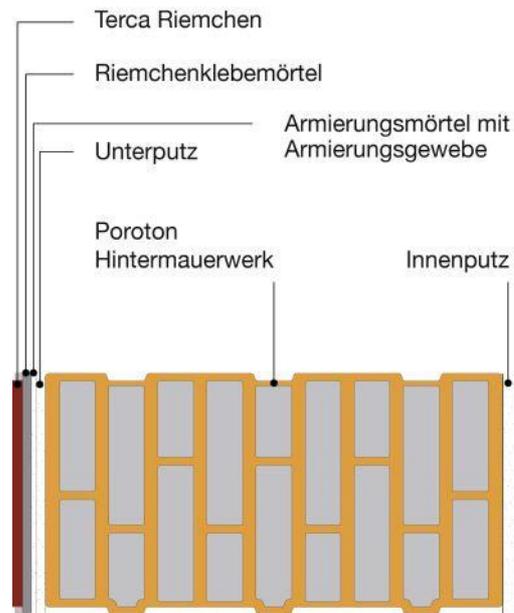


Abbildung 88: Aufbau einschaliges Mauerwerk²⁵³

8.2 Systemkomponenten

8.2.1 Mauerwerk

Das Mauerwerk erfüllt die Funktion der Tragfähigkeit sowie zum größten Teil die Funktion des Wärmeschutzes. Für den Einsatz bei Einfamilien- und niedrigen Mehrfamilienhäusern gibt es Ziegel mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,064 \text{ W/mK}$ (bsp.: Wienerberger Porotherm 50 W.i Plan). Bei höheren Anforderungen an den Schallschutz und an die Tragfähigkeit sind Ziegel mit höherer Rohdichte zu wählen, die eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,080 \text{ W/mK}$ aufweisen (bsp.: Wienerberger Porotherm 50 W.i Objekt Plan).²⁵⁴

8.2.2 Untergrund

Wird im Unterkapitel 7.2.1 erläutert.

²⁵³ <https://wienerberger.de/ziegelloesungen/einschalige-l%C3%B6sung-f%C3%BCr-den-neubau> (Stand: 28.01.2019)

²⁵⁴ Vgl. <https://wienerberger.de/ziegelloesungen/einschalige-l%C3%B6sung-f%C3%BCr-den-neubau> (Stand: 28.01.2019)

8.2.3 Unterputz

Wird im Unterkapitel 7.2.2 erläutert.

8.2.4 Oberputz

Wird im Unterkapitel 7.2.4 erläutert.

8.3 Ausführungshinweise

Beim Bau von Gebäuden mit einschaligen Mauerwerken ist bei einigen Anschlusspunkten der Einsatz von Dämmstoffen notwendig, um Wärmebrücken (bsp. Deckenaufleger) zu verhindern. Nachfolgend werden Möglichkeiten zur Ausbildung der wichtigsten Detailpunkte gezeigt. Zu beachten ist, dass sämtliche Detailpunkte lediglich als Vorschlag der Hersteller dienen und nicht in jeder Frage vollständig sind. Die Detailpunkte sind daher individuell an die Bausituation anzupassen.

8.3.1 Dach

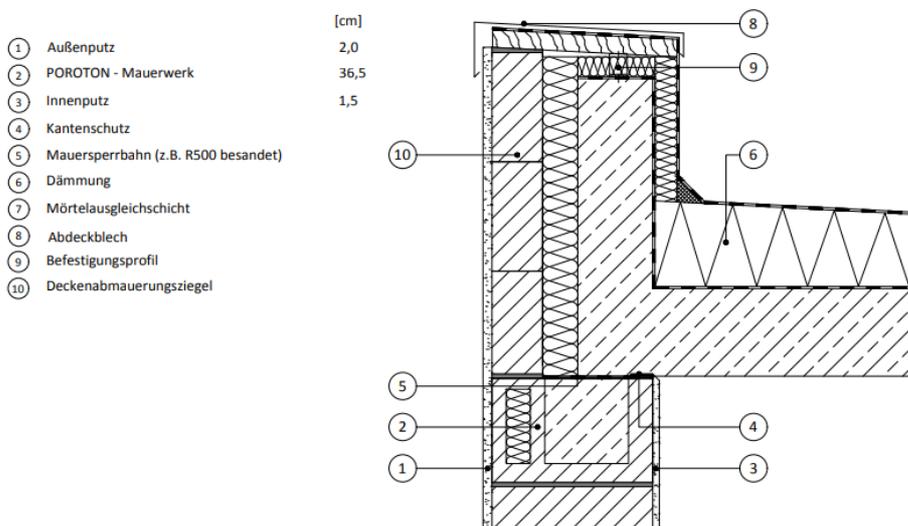


Abbildung 89: Detail Attika einschaliges Mauerwerk²⁵⁵

²⁵⁵ <https://wienerberger.de/ziegelloesungen#collapse-collapse1366410313026> (Stand: 24.02.2019)

Einschaliges Mauerwerk

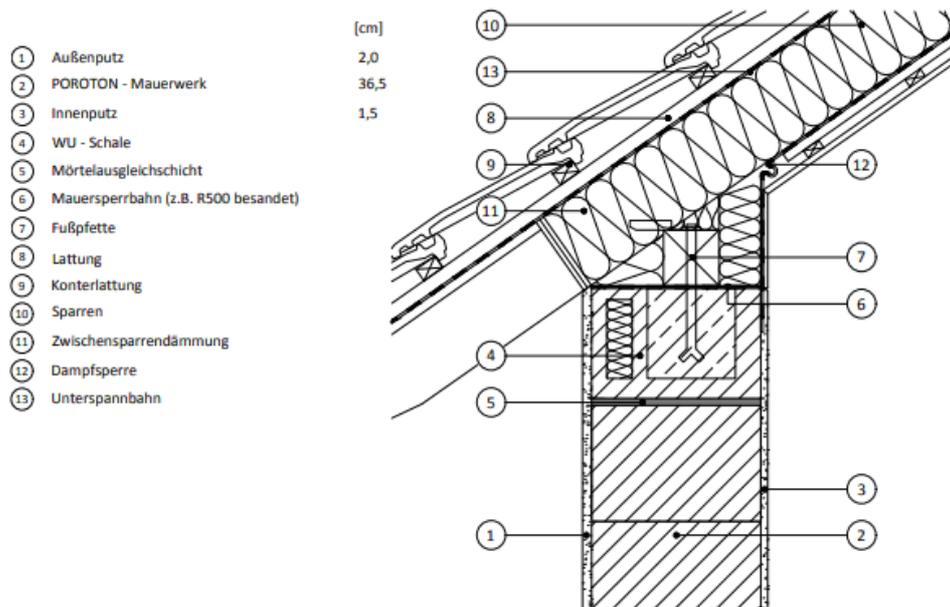


Abbildung 90: Detail Traufe einschaliges Mauerwerk²⁵⁶

8.3.2 Deckenaufleger

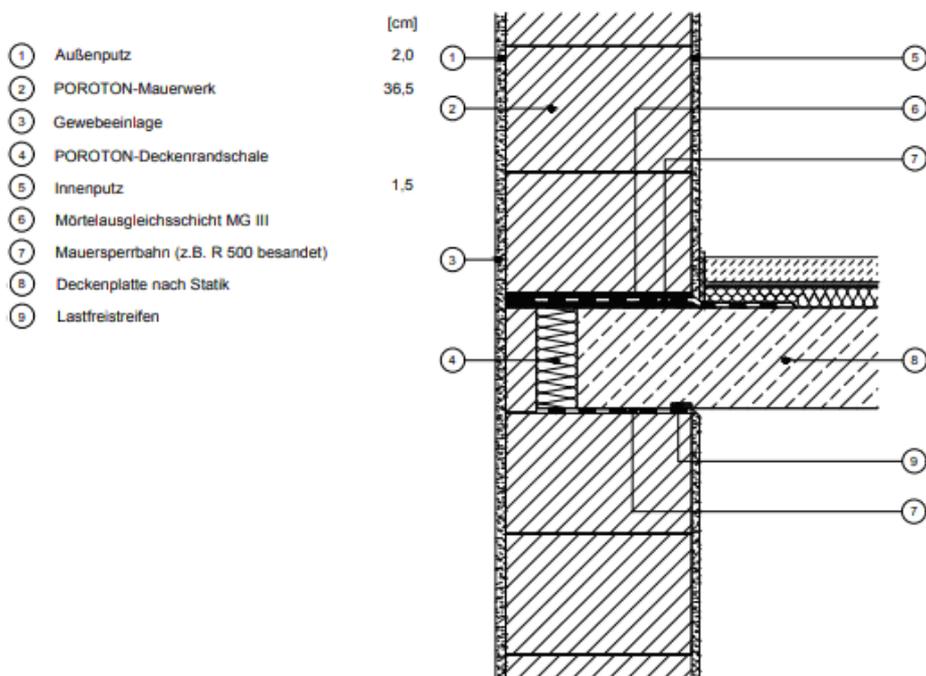


Abbildung 91: Detail Deckenaufleger einschaliges Mauerwerk

²⁵⁶ <https://wienerberger.de/ziegelloesungen#collapse-collapse1366410313026> (Stand: 24.02.2019)

8.3.3 Fenster

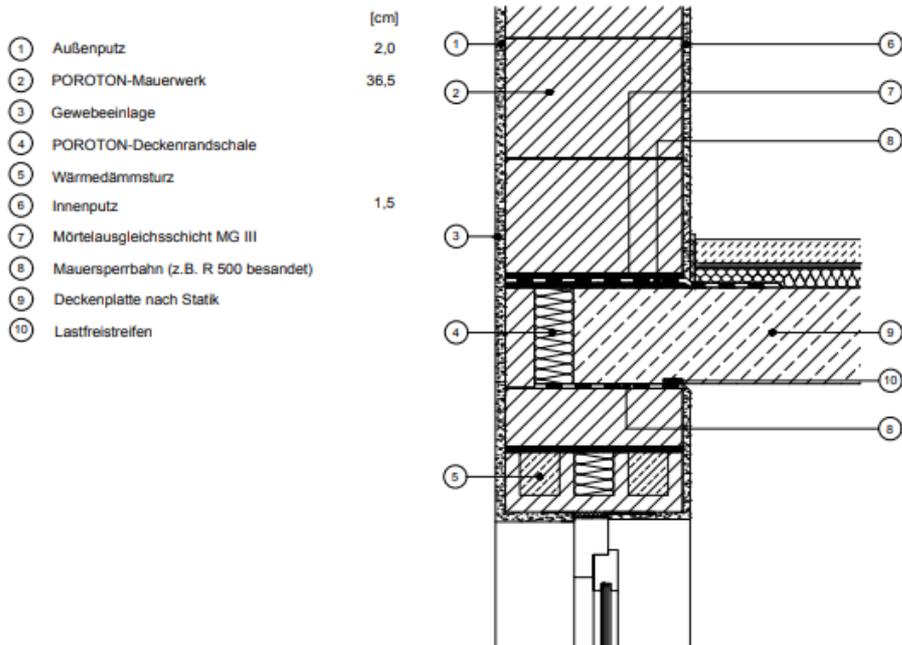


Abbildung 92: Detail Fenstersturz Vertikalschnitt einschaliges Mauerwerk²⁵⁷

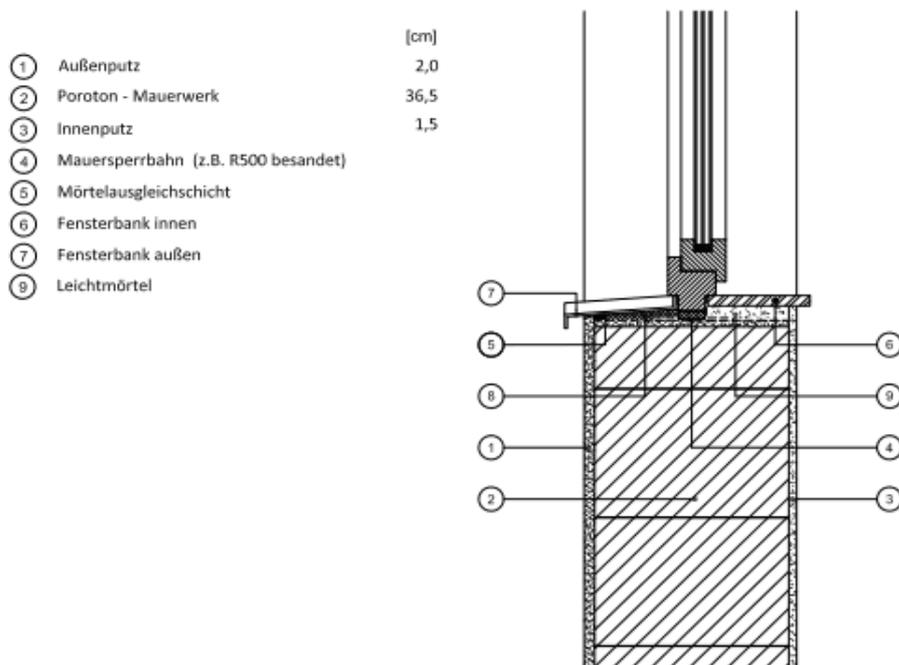


Abbildung 93: Detail Fenster Vertikalschnitt einschaliges Mauerwerk²⁵⁸

²⁵⁷ <https://wienerberger.de/ziegelloesungen#collapse-collapse1366410313026> (Stand: 24.02.2019)

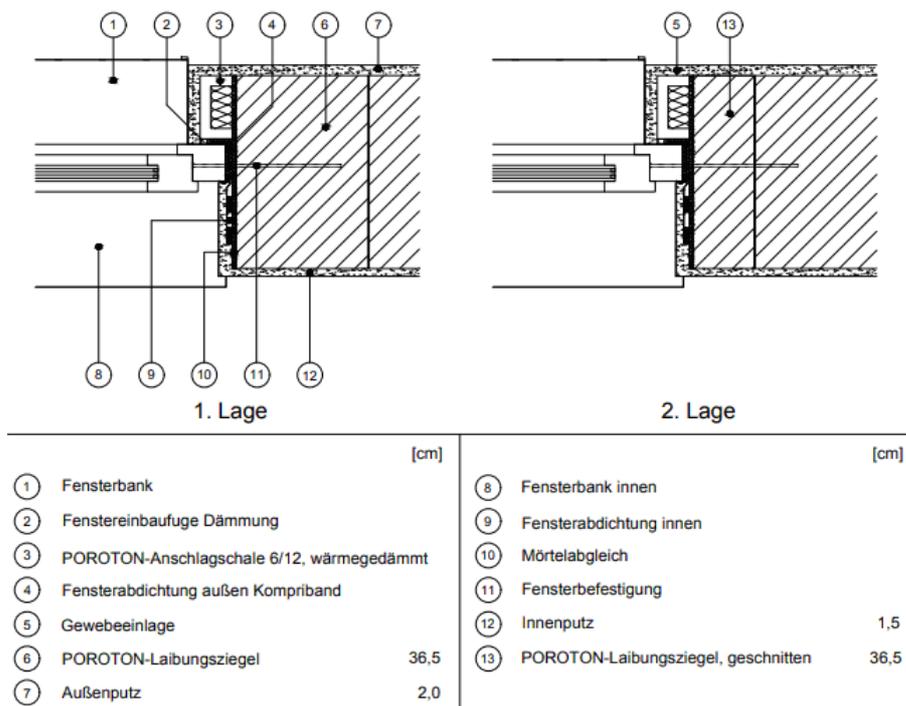


Abbildung 94: Detail Fenster Horizontalschnitt einschaliges Mauerwerk²⁵⁹

8.3.4 Sockel

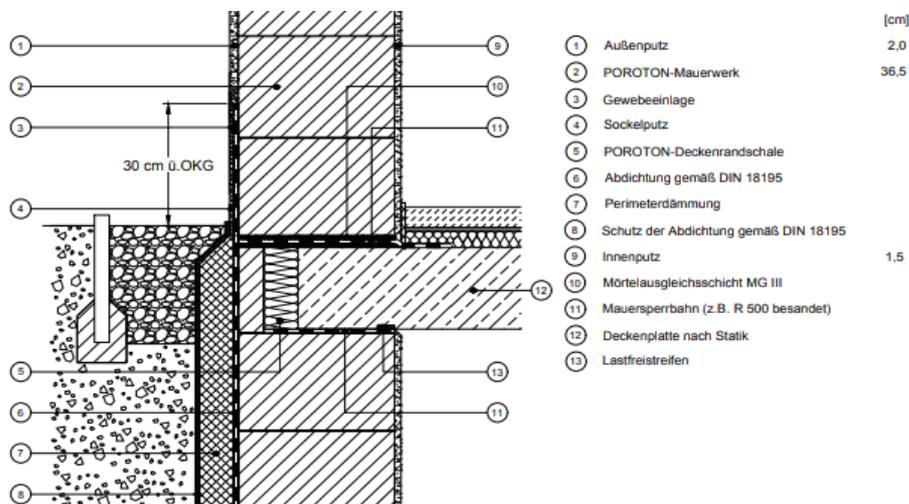


Abbildung 95: Detail Sockel mit Perimeterdämmung einschaliges Mauerwerk²⁶⁰

²⁵⁸ <https://wienerberger.de/ziegelloesungen#collapse-collapse1366410313026> (Stand: 24.02.2019)

²⁵⁹ <https://wienerberger.de/ziegelloesungen#collapse-collapse1366410313026> (Stand: 24.02.2019)

8.4 Bauphysik

8.4.1 Wärmeschutz²⁶¹

Je nach Art des Ziegels (gefüllt/ungefüllt), des Füllmaterials und der Anordnung der Kammern unterscheiden sich die Wärmeleitfähigkeiten von einschaligen Mauerwerken. Mit Mineralwolle gefüllte Ziegel haben die geringste Wärmeleitfähigkeit und erreichen beidseitig verputzt einen U-Wert von $U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$. Sogar ungefüllte Mauerwerke, die mit 4 cm Wärmedämmputz versehen werden, können immer noch einen U-Wert von $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ aufweisen.

8.4.2 Feuchteschutz²⁶²

Mauerwerksziegel zählen zu den hygroskopischen Materialien. Das heißt, auch ohne Kontakt zu Wasser nehmen sie Feuchtigkeit aus der Luft auf. Das Maß für die hygroskopische Wasseraufnahme wird mit dem massebezogenen Feuchtegehalt ($u = \text{kg/kg}$ oder M-%) angegeben (ÖNORM EN ISO 9346). Bei konstanter Lufttemperatur stellt sich im Baustoff die Ausgleichsfeuchte aufgrund der umgebenden relativen Luftfeuchte ein, was als Sorptionstherme bezeichnet wird. Die hygroskopische Wasseraufnahme von Ziegel ist grundsätzlich gering. Selbst bei 80 % relativer Luftfeuchte beträgt die massenbezogene Ausgleichsfeuchte weniger als 1 M-%. Dem gegenüber ist die kapillare Speicherfähigkeit von Ziegel viel höher. Hier beträgt die maximale Wasseraufnahme zwischen 25 und 30 M-%, ohne dass dabei Schäden auftreten.

Es kann zusammengefasst werden, dass hohe Luftfeuchtigkeit die Außenwand kaum anfeuchten kann, jedoch wird auftretendes Kondenswasser in hohem Maß gespeichert und kann auch wieder abgegeben werden. Einschalige Mauerwerke sind bei entsprechender Verarbeitung und dichtem Innenputz, hinsichtlich des Feuchtetransports durch Konvektion ausreichend luftdicht. Bei der

²⁶⁰ <https://wienerberger.de/ziegelloesungen#collapse-collapse1366410313026> (Stand: 24.02.2019)

²⁶¹ Vgl. <https://www.ziegel.at/ziegeltechnik/bauphysik#heading-7> (Stand: 28.01.2019)

²⁶² Vgl. <https://www.ziegel.at/ziegeltechnik/bauphysik#heading-7> (Stand: 28.01.2019)

Verarbeitung ist vor allem darauf zu achten, dass keine offenen Stoßfugen entstehen. Der Innenputz stellt eine zusätzliche Luftdichtigkeitsebene dar, welcher mittels Sichtprüfung auf Fehlstellen kontrolliert werden kann. Den Schlagregenschutz übernimmt beim einschaligen Mauerwerk wie auch beim WDVS oder WDPS der Oberputz.

8.4.3 Brandschutz²⁶³

Die Brandschutzeigenschaften von einschaligen Mauerwerken sind besonders gut. Mauerwerksziegel, die den größten Anteil einnehmen, zählen zu den nicht brennbaren Baustoffen. Lediglich der Außenputz kann in die Brandschutzklasse B fallen, wenn er organische Zuschläge enthält. Außenputz mit mineralischen Zuschlägen wird ebenfalls in die nicht brennbaren Baustoffe eingeordnet und leistet somit keinen Beitrag zum Brand.

8.4.4 Schallschutz²⁶⁴

Das Schalldämmmaß einer Außenwand wird über die flächenbezogene Masse bestimmt. Einschalige Mauerwerke werden in der Regel mit Ziegeln ab 38 cm Dicke ausgeführt und erreichen somit eine hohe flächenbezogene Masse. Beidseitig verputzt können einschalige Mauerwerke somit ein bewertetes Schalldämmmaß von $R_w = 50$ dB und mehr erreichen. Grundsätzlich ist vor allem auf große Hohlräume durch beispielsweise Installationsleitungen oder offene Stoßfugen zu achten, da diese das Schalldämmmaß verringern.

²⁶³ Vgl. <https://www.ziegel.at/ziegeltechnik/bauphysik/brandschutz> (Stand: 28.01.2019)

²⁶⁴ Vgl. https://wienerberger.at/produkte/porotherm-38-w.i-plan?wb_condition=ProductType:1366195211516 (Stand: 28.01.2019)

9 Vorgehängte hinterlüftete Fassaden – VHF

Die vorgehängt hinterlüftete Fassade ist bauphysikalisch gesehen eine der besten Lösungen für eine Außenwandkonstruktion. Sie kommt sowohl im Bereich des Neubaus als auch bei der energetischen Sanierung von Bestandsbauten zum Einsatz. Der große Vorteil von VHF liegt in der konstruktiven Trennung der Funktionen Witterungsschutz und Wärmeschutz sowie in der Wirkung der zweistufigen Abdichtung (siehe 9.5.1).²⁶⁵

9.1 Aufbau

Eine VHF lässt sich in der Regel in folgende Komponenten unterteilen:

- Unterkonstruktion (Lattung);
- Verbindungs-, Verankerungs- und Befestigungselemente;
- Wärmedämmung;
- (diffusionsoffene Winddichtfolien);
- Hinterlüftungsebene;
- Fassadenbekleidung bzw. Außenschicht.

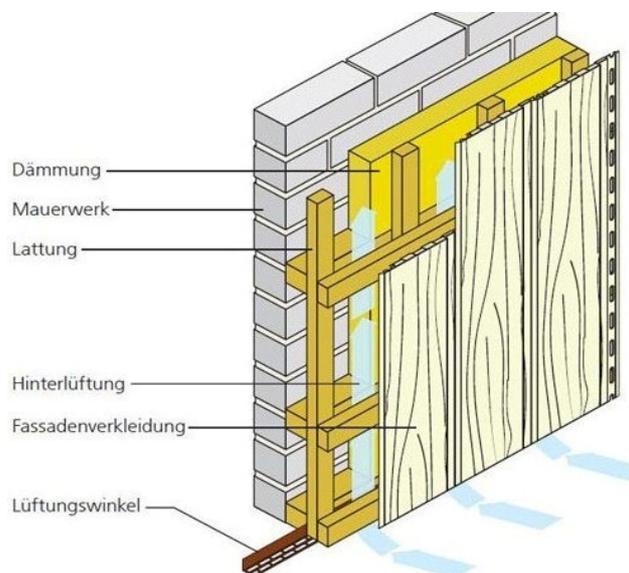


Abbildung 96: VHF – Systemaufbau²⁶⁶

²⁶⁵ <http://www.oefhf.at/aufbau-technik> (Stand: 03.02.2019)

²⁶⁶ <http://www.fassaden-dach.de/holzfassade/canexel/unterkonstruktion-holzfassade/> (Stand: 28.01.2019)

Die VHF enthält einen Hinterlüftungsspalt zwischen Wärmedämmung und der Außenschicht, wodurch ein ständiger Luftstrom ermöglicht wird und somit auftretender Wasserdampf entweichen kann. Doch auch beim Wärmeschutz im Sommer bringt die Hinterlüftung einen großen Vorteil mit sich, da die Wärmebelastung nicht direkt im Kontakt mit der Wärmedämmung steht.²⁶⁷

9.2 Systemkomponenten

9.2.1 Unterkonstruktion²⁶⁸

Die Unterkonstruktion ist das statische Bindeglied zwischen der tragenden Außenwand und der Fassadenbekleidung. Sie nimmt sämtliche Kräfte aus Windbelastung, Eigengewicht und Beanspruchungen aus hygrothermischen Einflüssen auf und leitet sie in die Tragstruktur ab. Des Weiteren gleicht sie Unebenheiten aus und bildet so eine ebene Fläche für die Fassadenbekleidung. Darüber hinaus bildet die Unterkonstruktion die Luftschicht (Hinterlüftung) zwischen Dämmmaterial und Bekleidung.

Als Materialien stehen Stahl, Aluminium und Holz oder eine Kombination aus diesen zur Verfügung, wobei zu sagen ist, dass Aluminiumunterkonstruktionen sich mehrheitlich durchgesetzt haben.

Unterkonstruktion aus Metall:

Die Mehrheit der Metallunterkonstruktionen wird aus Aluminium gefertigt. Bei besonders hohen Belastungen kommen Unterkonstruktionen aus Edelstahl oder verzinktem Stahl zum Einsatz.

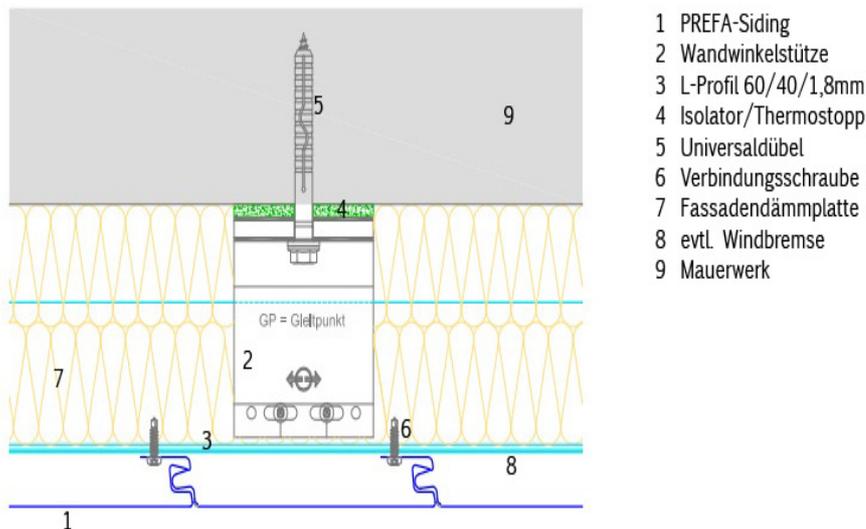
Die Tragprofile sind im Allgemeinen senkrecht angeordnet und mit Wandhaltern auf die Tragstruktur gedübelt (Abbildung 98, Abbildung 97). Die Wandhalterungen können aus Konsolen, Winkeln oder Abstandsdübeln bestehen. Die Verbindung zwischen Tragprofil und Wandhalterung geschieht entweder mit Nieten bzw. Schrauben oder mit Schussnägeln. Um die Tragprofile ausrichten zu können, sind Justagemöglichkeiten notwendig. Dabei handelt es meist um Langlochverbindungen. Um Längenänderungen aus thermischen Beanspruchungen aufnehmen zu können, sind Gleitpunkte

²⁶⁷ Vgl. <http://www.oefhf.at/aufbau-technik> (Stand: 28.01.2019)

²⁶⁸ Vgl. LÖTSCHER, L.; KÜHMICHEL, K.: Vom Haus zur Stadt. Handbuch: Stadtentwicklung sehen – erkennen – verstehen, S. 133–137.

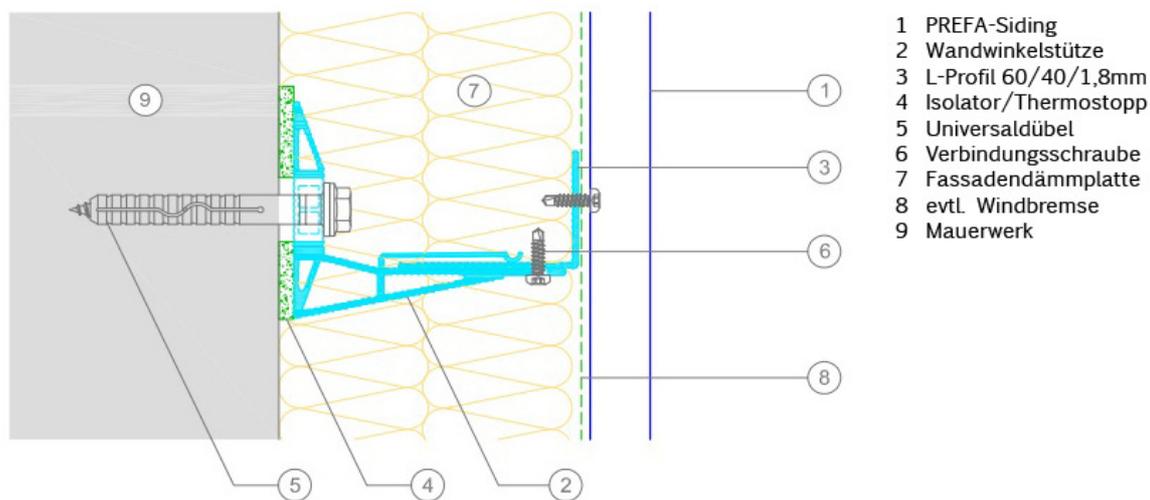
anzuordnen, in denen sich die Tragprofile vertikal frei bewegen können.

Um Wärmebrücken zu vermeiden, sind die Wandhalterungen mit wärmedämmenden Materialien (Thermostop) zu montieren (Abbildung 97).



- 1 PREFA-Siding
- 2 Wandwinkelstütze
- 3 L-Profil 60/40/1,8mm
- 4 Isolator/Thermostopp
- 5 Universaldübel
- 6 Verbindungsschraube
- 7 Fassadendämmplatte
- 8 evtl. Windbremse
- 9 Mauerwerk

Abbildung 97: Metallunterkonstruktion - Vertikalschnitt²⁶⁹



- 1 PREFA-Siding
- 2 Wandwinkelstütze
- 3 L-Profil 60/40/1,8mm
- 4 Isolator/Thermostopp
- 5 Universaldübel
- 6 Verbindungsschraube
- 7 Fassadendämmplatte
- 8 evtl. Windbremse
- 9 Mauerwerk

Abbildung 98: Metallunterkonstruktion – Horizontalschnitt²⁷⁰

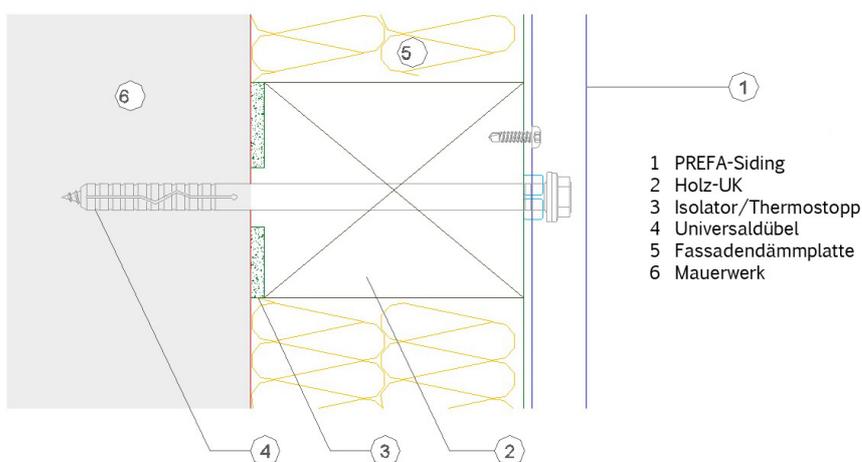
²⁶⁹ http://www.prefa.at/service/downloadcenter/technische-zeichnungen/fassadensysteme/fassadensysteme.html?eID=dam_frontend_push&docID=17186&ga_name=PREFA_Details_Fassade_Siding_vertikal_2013_Q2.pdf (Stand: 28.01.2019)

²⁷⁰ http://www.prefa.at/service/downloadcenter/technische-zeichnungen/fassadensysteme/fassadensysteme.html?eID=dam_frontend_push&docID=17186&ga_name=PREFA_Details_Fassade_Siding_vertikal_2013_Q2.pdf

Unterkonstruktion aus Holz:

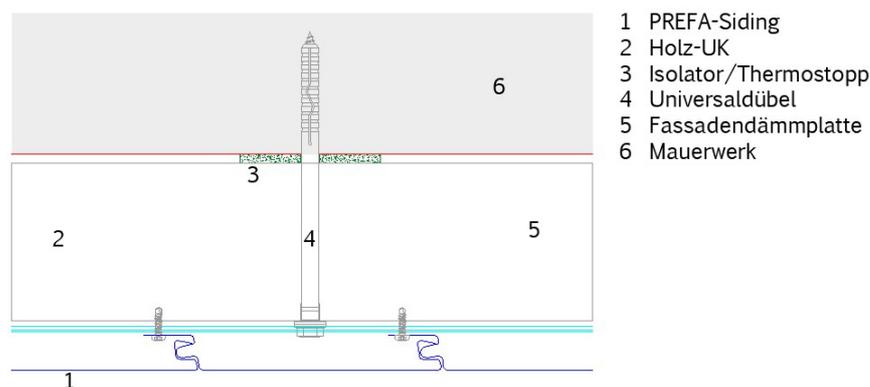
Holzunterkonstruktionen bestehen in der Regel aus Konterlattung, die mittels Dübel waagrecht auf die Tragschale befestigt wird. Auf der Konterlattung wird die Lüftungslattung senkrecht aufgeschraubt, die den Hinterlüftungsraum bildet. Unebenheiten werden mit Keilen oder Abstandsklötzchen zwischen Konter- und Lüftungslattung ausgeglichen.

Je nach Außenbekleidung wird eine Traglattung parallel zur Konterlattung angebracht, um die Bekleidungs-elemente aufnehmen zu können. Die thermische Trennung sowie die Anbringung von Fix- und Gleitpunkten können bei Holzkonstruktionen vernachlässigt werden.



- 1 PREFA-Siding
- 2 Holz-UK
- 3 Isolator/Thermostopp
- 4 Universaldübel
- 5 Fassadendämmplatte
- 6 Mauerwerk

Abbildung 99: Holzunterkonstruktion – Vertikalschnitt²⁷¹



- 1 PREFA-Siding
- 2 Holz-UK
- 3 Isolator/Thermostopp
- 4 Universaldübel
- 5 Fassadendämmplatte
- 6 Mauerwerk

Abbildung 100: Holzunterkonstruktion – Horizontalschnitt²⁷²

d_push&docID=17186&ga_name=PREFA_Details_Fassade_Siding_vertikal_2013_Q2.pdf (Stand: 28.01.2019)

²⁷¹ http://www.prefa.at/service/downloadcenter/technische-zeichnungen/fassadensysteme/fassadensysteme.html?eID=dam_frontend_push&docID=17186&ga_name=PREFA_Details_Fassade_Siding_vertikal_2013_Q2.pdf (Stand: 28.01.2019)

9.2.2 Dämmstoffe

Der am häufigsten eingesetzte Dämmstoff in VHF ist Mineralwolle. Dies begründet sich in der einfachen Verarbeitung und der hohen Brandsicherheit. Die Dämmplatten werden üblicherweise nach Montage der Wandhalter von unten nach oben angebracht. Durchdringungen werden mit einem scharfen Messer in die Dämmplatten geschnitten (Abbildung 101). Die Befestigung erfolgt mit Dämmstoffhaltern. Neben Mineralwolle eignen sich Hanf und Holzfaser als Dämmstoff. Die Verarbeitung erfolgt analog zur Mineralwolle.²⁷³

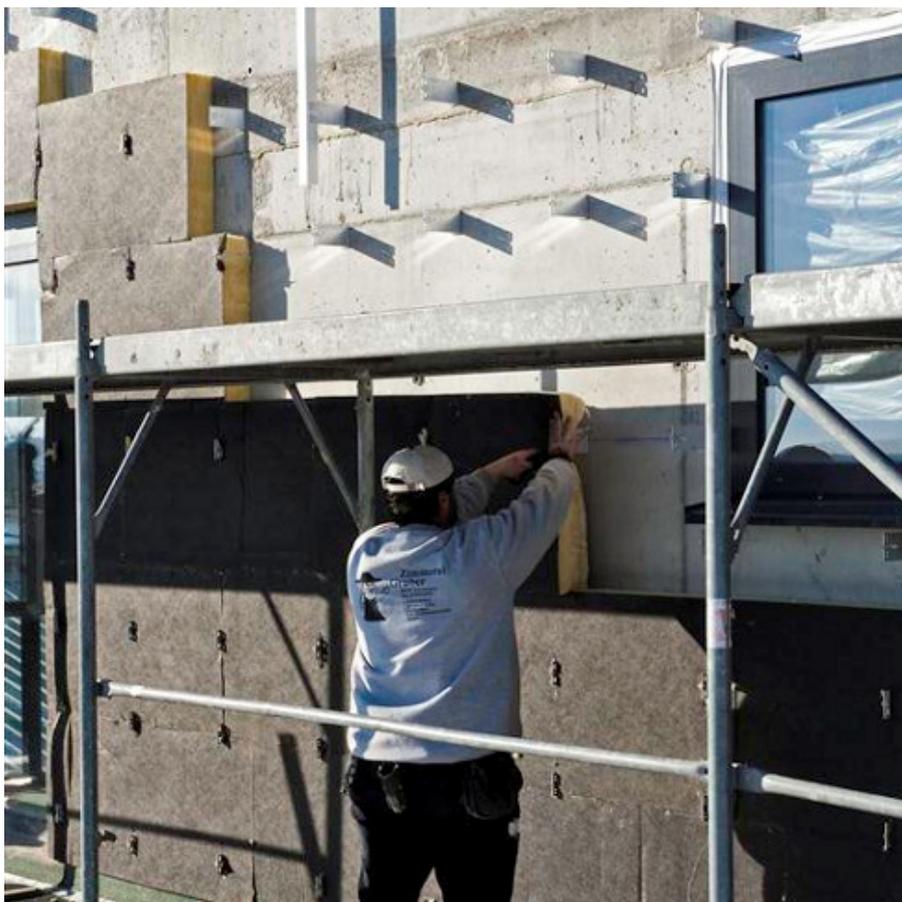


Abbildung 101: Anbringen der Dämmstoffplatten²⁷⁴

²⁷² http://www.prefa.at/service/downloadcenter/technische-zeichnungen/fassadensysteme/fassadensysteme.html?eID=dam_frontend_push&docID=17186&ga_name=PREFA_Details_Fassade_Siding_vertikal_2013_Q2.pdf (Stand: 28.01.2019)

²⁷³ Vgl. <https://www.baulinks.de/webplugin/2009/1978.php4> (Stand: 24.02.2019)

²⁷⁴ <http://www.energie-fachberater.de/daemmung/fassadendaemmung/vorgehaengte->

Für den Einsatz in einer VHF eignen sich neben den druckweichen Dämmstoffen (Mineralwolle, Holzwolle) drucksteife Dämmstoffe wie EPS oder Resol. Die Systemgrenzen werden durch den Brandschutz bestimmt. Durch geschossweise ausgeführte Brandriegel ist es aber auch möglich, EPS bis Gebäudeklasse 5 (bis 22 m Fluchtniveau) in einer VHF einzusetzen. Drucksteife Dämmstoffe werden üblicherweise auf der tragenden Wand vollflächig verklebt und bei Bedarf zusätzlich verdübelt. Auf der Dämmebene wird anschließend die Unterkonstruktion errichtet. Die Dübel werden im Zuge dessen durch den Dämmstoff hindurch in die tragende Wand geschraubt (Abbildung 102). Aktuell bieten die Hersteller drucksteife Dämmplatten aus EPS, PUR und Resol für den Einsatz in VHF an.²⁷⁵



Abbildung 102: VHF drucksteifer Dämmstoff²⁷⁶

9.2.3 Bekleidung

Keine andere Fassade bietet so viele Gestaltungsmöglichkeiten wie die VHF. Durch die große Auswahl an Bekleidungswerkstoffen, Materialkombinationen sowie verschiedenen Farben, Strukturen, Größen, Verlegemustern und Befestigungsmöglichkeiten wird die Designfreiheit fast nicht begrenzt. Zu den am häufigsten eingesetzten Bekleidungen zählen Tafeln aus Aluminium, Faserzement, Holz und Kunststoff. Durch individuelle Rasterplanung, Verlegemuster und

²⁷⁵ Vgl. <https://www.baulinks.de/webplugin/2009/1978.php4> (Stand: 24.02.2019)

²⁷⁶ <https://www.primarosa.at/anwendungen/wand/fassade-hinterlueftet.html> (Stand: 03.03.2019)

Formate sind auch geometrisch komplexe Gebäudeformen möglich (Abbildung 103, Abbildung 104, Abbildung 105).²⁷⁷



Abbildung 103: Aluminiumbekleidung²⁷⁸



Abbildung 104: Holzbekleidung²⁷⁹

²⁷⁷ <https://www.fvhf.de/Fassade/VHF-System/Gestaltung.php> (Stand: 03.03.2019)

²⁷⁸ <https://www.baulinks.de/webplugin/2018/1345.php4> (Stand: 24.02.2019)

²⁷⁹ <https://www.bauforum.at/dach-wand/energie-sparen-mit-holz-21098> (Stand: 24.02.2019)



Abbildung 105: Faserzementbekleidung²⁸⁰

9.3 Ausführungshinweise

Durch die Möglichkeit der Wahl der Systemkomponenten (Unterkonstruktion, Dämmstoff, Außenbekleidung) bei der VHF entsteht scheinbar eine unbegrenzte Anzahl an Varianten. Dabei bilden lediglich die Systemzulassungen der Hersteller eine Grenze. Nachfolgend werden ausgewählte Möglichkeiten zur Detailausbildung einer VHF gezeigt. Zu beachten ist, dass sämtliche Detailpunkte lediglich als Vorschlag der Hersteller dienen und nicht in jeder Frage vollständig sind. Die Detailpunkte sind daher individuell an die Bausituation anzupassen.

²⁸⁰ <https://www.fvhf.de/Fassade/Referenzen/VHF-Faserzementfassade-EFH.php> (Stand: 24.02.2019)

9.3.1 Dach

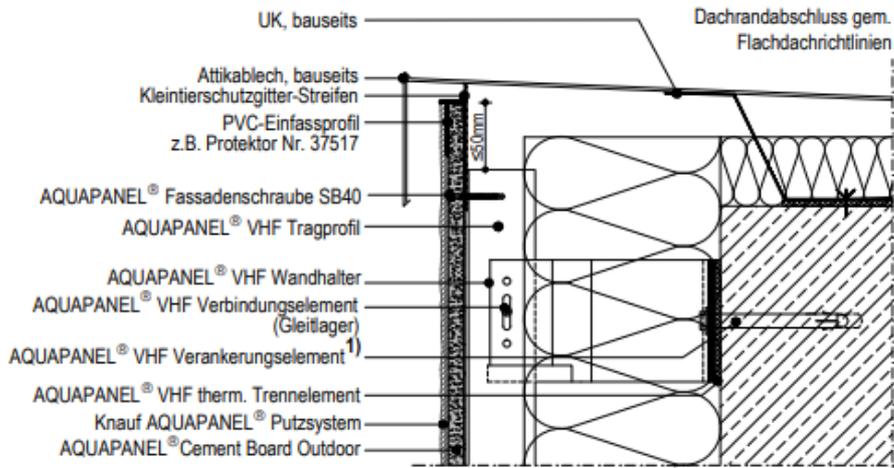


Abbildung 106: Detail Attika VHF²⁸¹

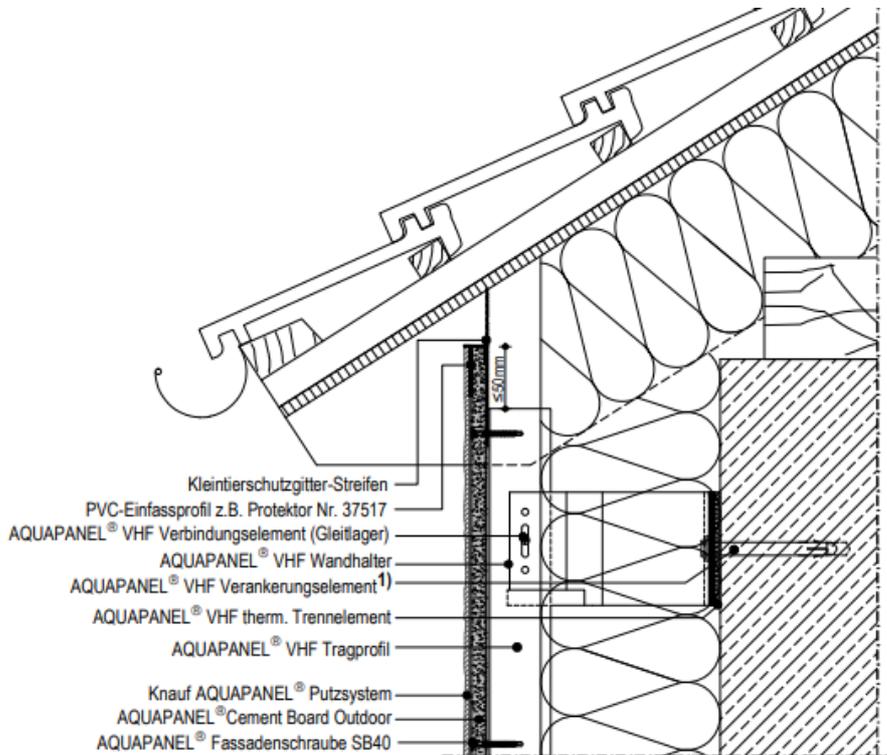


Abbildung 107: Detail Traufe VHF²⁸²

²⁸¹ downloads.knauf.ch/wmv/?id=13969 (Stand: 24.02.2019)

²⁸² downloads.knauf.ch/wmv/?id=13969 (Stand: 24.02.2019)

9.3.2 Fenster

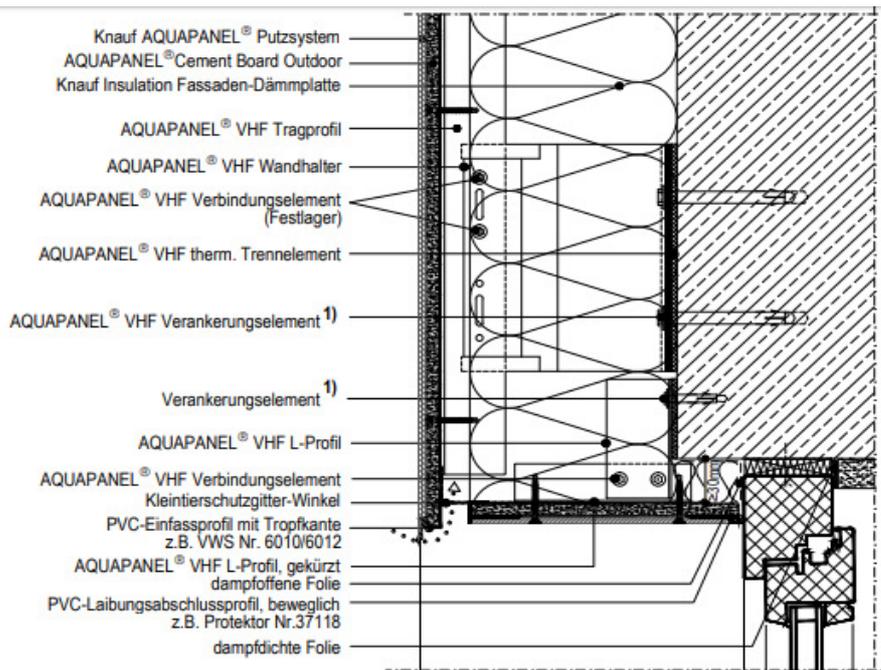


Abbildung 108: Detail Fenstersturz Vertikalschnitt VHF²⁸³

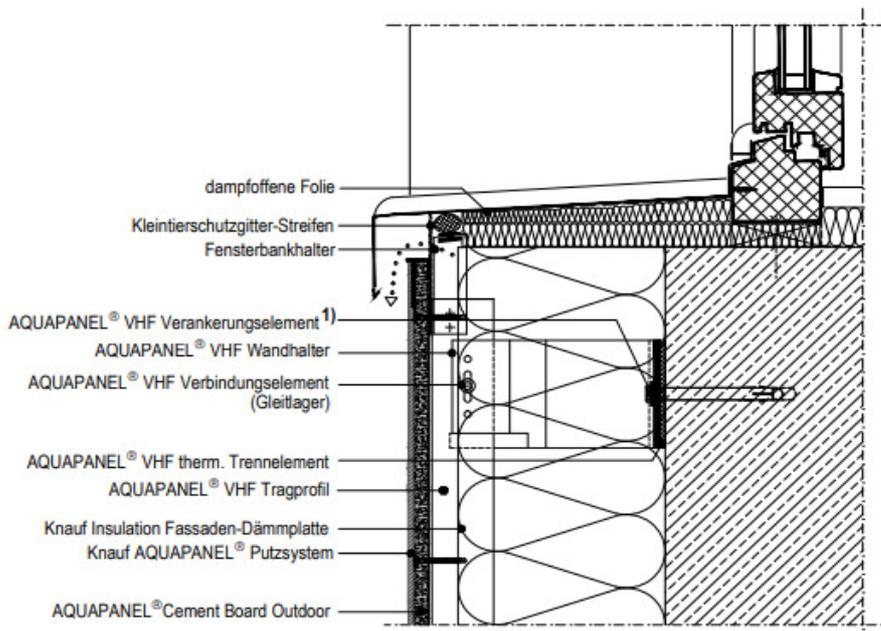


Abbildung 109: Detail Fenster Horizontalschnitt VHF²⁸⁴

²⁸³ downloads.knauf.ch/wmv/?id=13969 (Stand: 24.02.2019)

²⁸⁴ downloads.knauf.ch/wmv/?id=13969 (Stand: 24.02.2019)

Vorgehängte hinterlüftete Fassaden – VHF

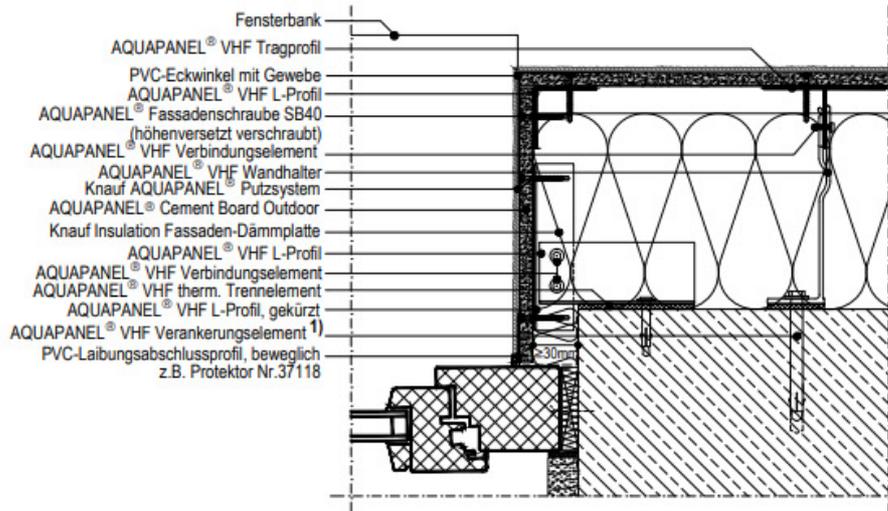


Abbildung 110: Detail Fenster Horizontalschnitt VHF²⁸⁵

²⁸⁵ downloads.knauf.ch/wmv/?id=13969 (Stand: 24.02.2019)

9.4 Sockel

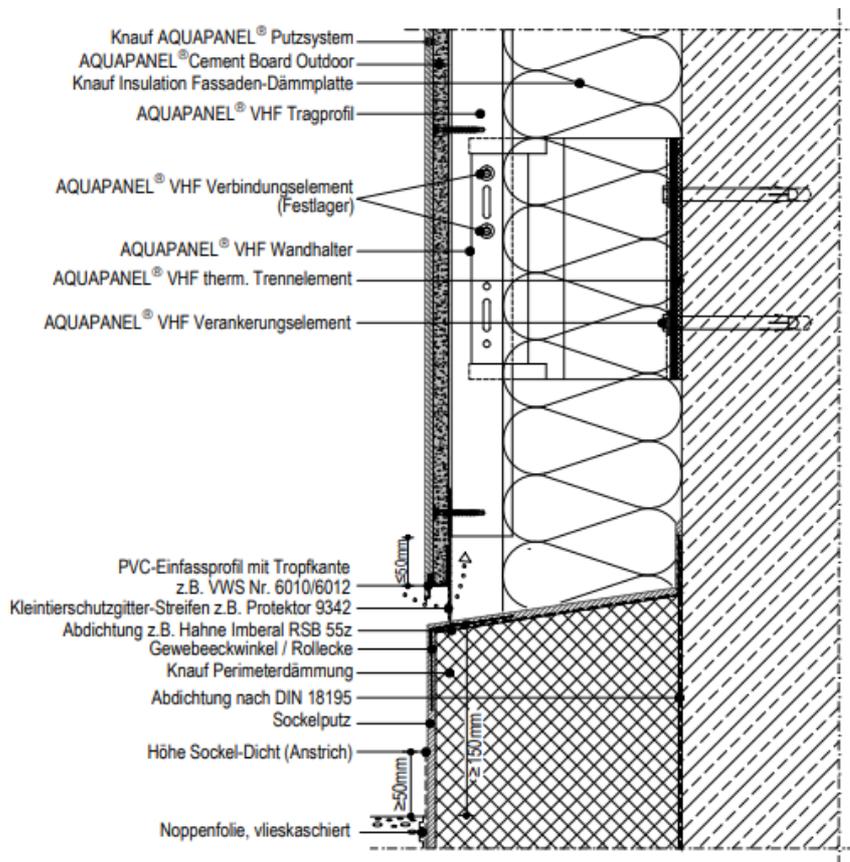


Abbildung 111: Detail Sockelanschluss VHF²⁸⁶

9.5 Bauphysik

9.5.1 Wärme- und Feuchteschutz

Vorgehängt hinterlüfteten Fassaden sind bezüglich des Wärmeschutzes flexibel. Je nach Wahl der Abstandshalter können auch hohe Dämmdicken zum Einsatz kommen. Am häufigsten werden Dämmstoffe mit einer Dicke von 12 bis 20 cm genutzt. Ein Fokus muss vor allem auf die Wandhalter gelegt werden, da die Wärmedämmung diese nur umschließt und somit immer eine Wärmebrücke darstellt. Die meisten Hersteller bieten Lösungen zur thermischen Trennung von Wand und Wandhalter an, die die Wärmebrückenwirkung vermindern. In den meisten Fällen erfolgt dies

²⁸⁶ downloads.knauf.ch/wmv/?id=13969 (Stand: 24.02.2019)

durch ein Entkopplungselement, welches zwischen Wand und Wandhalter eingebracht wird (Abbildung 112). Einige Hersteller offerieren Wandhalter mit geringer Wärmeleitfähigkeit aus faserverstärkten Kunststoffen (Abbildung 113) oder Systeme, bei denen die Unterkonstruktion auf einem vollflächigen drucksteifen Dämmstoff befestigt wird (Abbildung 114). Die Wärmebrückenwirkung durch die Unterkonstruktion und die Befestigung entfällt dabei weitgehend. Zu beachten ist, dass die in Abbildung 114 dargestellten Dübel schräg nach oben gebohrt werden sollten, um eine Wassereinleitung in die Konstruktion zu verhindern.

Neben der Wärmebrückenwirkung ist die Durchströmung des Dämmstoffes zu verhindern, da Wind bei fasrigen Dämmstoffen (Mineralfaser) die Wärmeleitfähigkeit erhöht. Dies erfolgt durch Winddichtfolien, die diffusionsoffen ausgeführt sind und zwischen Wärmedämmung und Unterkonstruktion aufgebracht werden. Einige Hersteller bieten Dämmstoffe an, bei denen eine Winddichtung bereits aufgebracht ist.

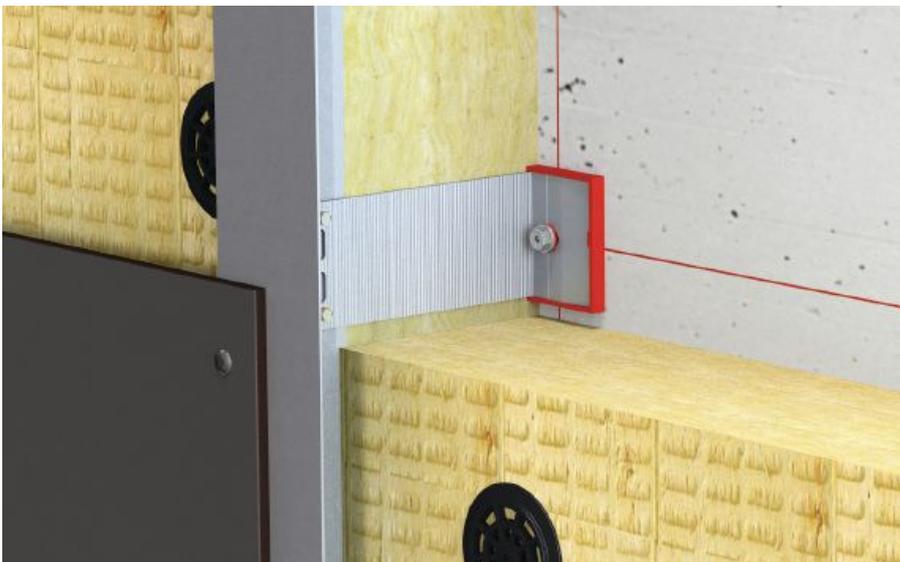


Abbildung 112: Entkoppelter Wandhalter der Firma Hilti²⁸⁷

²⁸⁷ <https://www.hilti.at/fassadensysteme/konsolen/r5325> (Stand: 28.01.2019)



Abbildung 113: Thermokonsole der Firma BMW²⁸⁸

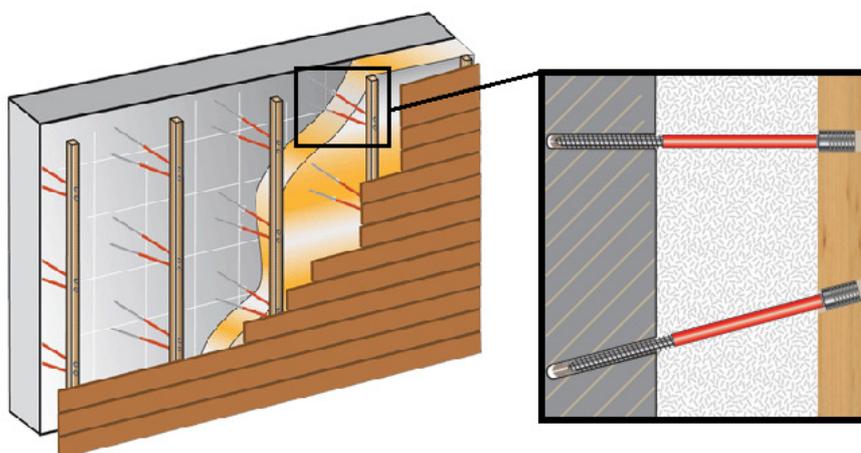


Abbildung 114: FixUK-H der Firma Elascor²⁸⁹

Im Regelfall ist bei einer VHF nicht mit Tauwasseranfall auf der Wandinnenoberfläche oder der Konstruktion zu rechnen. Durch die Hinterlüftungsebene einer VHF wird das Trocknungsverhalten einer Wandkonstruktion positiv beeinflusst. Eine Mineralfaserdämmung, welche am häufigsten zur Anwendung kommt, hat einen geringen Diffusionswiderstand, welcher dazu beiträgt, dass auftretende Feuchtigkeit nach außen transportiert und in der Hinterlüftungsebene schnell abgeführt wird.²⁹⁰

Bezüglich des Schlagregenschutzes kann eine VHF ein hohes Maß an Schlagregensicherheit bieten und ist sogar für starke Schlagregenbeanspruchungen geeignet. Dies begründet sich in der

²⁸⁸ <https://www.baulinks.de/webplugin/2013/0226.php4> (Stand: 28.01.2019)

²⁸⁹ <https://www.elascor.de/elascor-produkte> (Stand: 28.01.2019)

²⁹⁰ Vgl. SCHILD, K.; WEYERS, M.; WILLEMS, W.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details, S. 141ff.

zweistufigen Abdichtung von VHF (Abbildung 115). Da der Hinterlüftungsraum mit der Außenluft verbunden ist, herrscht auf beiden Seiten der Fassadenbekleidung derselbe Luftdruck. Dadurch gelangt unabhängig vom Format oder vom Verlegemuster kaum Regenwasser durch die Fugen, welches auch bis an die Winddichtfolie kommt. Der Großteil des eingedrungenen Regenwassers läuft auf der Innenseite der Fassadenbekleidung ab. Der geringe verbliebene Anteil verdunstet infolge der Hinterlüftung. Zu beachten ist nur, dass horizontale Fugen zwischen den einzelnen Bekleidungselementen nicht wesentlich größer als 10 mm sind und bei vertikal offenen Fugen der Hinterlüftungsraum etwas größer gewählt wird.²⁹¹

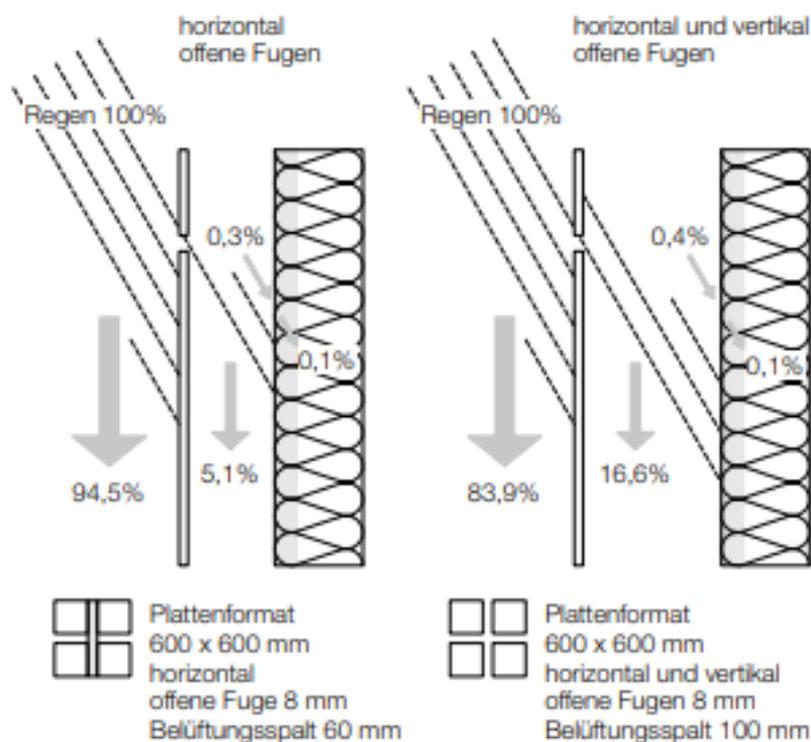


Abbildung 115: Zweistufige Abdichtung einer VHF²⁹²

²⁹¹ Vgl. PREUß, J.: Vorgehängte Hinterlüftete Fassaden – Sichere Gebäudehülle, S. 9f.

²⁹² PREUß, J.: Vorgehängte Hinterlüftete Fassaden – Sichere Gebäudehülle, S. 10.

9.5.2 Brandschutz

Die Brandschutzeigenschaften einer VHF werden durch die verwendeten Materialien definiert. Eine Besonderheit der VHF liegt im Hinterlüftungsraum. Große Hinterlüftungsräume begünstigen die Brandausbreitung auf darüberliegende Geschosse. Bis Gebäudeklasse 3 sind keine besonderen Brandschutzanforderungen für VHF nötig. Für die Gebäudeklassen 4 und 5 müssen eine Brandweiterleitung über das darüber befindliche Geschoss verhindert und das Herabfallen großer Fassadenteile wirksam eingeschränkt werden. Darüber hinaus sind bei Gebäudeklasse 4 eine Wärmedämmung mit A2 auszuführen sowie Verbindungselemente mit einem Schmelzpunkt über 1000 °C. Die Außenschicht kann aus Holzwerkstoffen in D oder besser erfolgen. Der Hinterlüftungsspalt ist mit maximal 6 cm begrenzt. Ein Brandüberschlag durch den Hinterlüftungsraum kann zusätzlich mit Brandsperren verhindert werden. Diese werden aus Stahlblech ausgeführt und horizontal im Hinterlüftungsraum angebracht (Abbildung 116).²⁹³

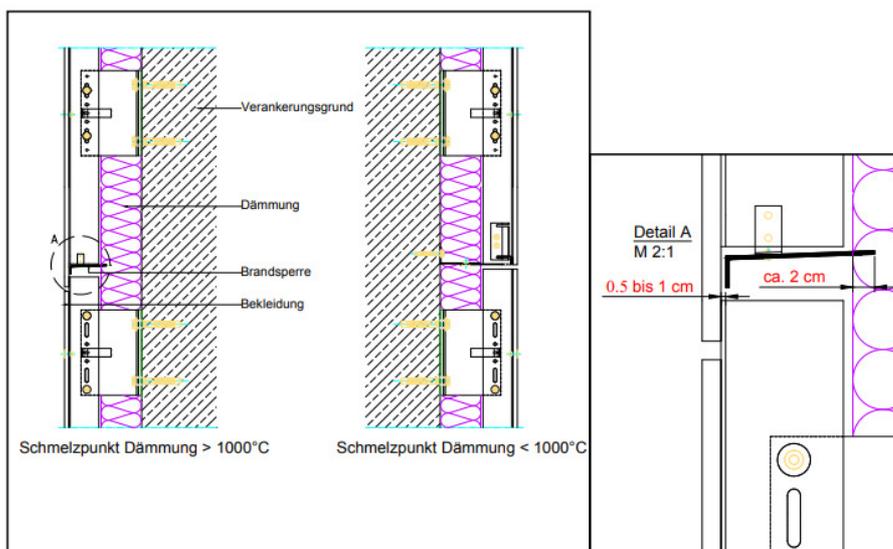


Abbildung 116: Brandsperre aus Stahlblech²⁹⁴

9.5.3 Schallschutz

Die Verbesserung der Schalldämmung durch eine VHF hängt von mehreren Faktoren ab. Dies sind zunächst die Biegeweichheit der Vorsatzschale, der eingesetzte Dämmstoff und der Abstand zwischen

²⁹³ Vgl. OIB-Richtlinie 2: Brandschutz, 2015, S. 5.

²⁹⁴ PREUß, J.: Vorgehängte Hinterlüftete Fassaden – Sichere Gebäudehülle, S. 9.

der Außenbekleidung und der tragenden Wand. Die Schalldämmung kann jedoch durch zu große Fugen in der Außenbekleidung sehr gering ausfallen. Um bei Verkehrslärm ein hohes Schalldämmmaß zu erreichen, ist eine schwere biegeweiche Vorsatzschale notwendig, die mit ausreichendem Abstand zur Wand befestigt wird. Durch diesen Aufbau kann eine Resonanzfrequenz von unter 100 Hz erreicht werden, was laut einer Studie des Fraunhofer Instituts eine Verbesserung von 10 bis 12 dB bei gedichteten Fugen ergibt (Abbildung 117 – Kurve b). Aufgrund der Gefahr von Tauwasserbildung an der Innenseite der Bekleidung sowie der fehlenden zweistufigen Abdichtung sind gedichtete Fugen bei VHF nicht umsetzbar. Durch die offenen Fugen sinkt die Verbesserung auf 5 bis 8 dB im unteren Frequenzbereich (bis 500 Hz) (Abbildung 117 – Kurve a). Die Praxis hat jedoch gezeigt, dass je nach Größe der geschlossenen Fassadenfläche und Be- und Entlüftungsausführung eine Verbesserung ab 2 dB erreicht wird.²⁹⁵

²⁹⁵ Vgl. SCHUHMACHER, R.; MECHEL, F. P.: Schallschutz von hinterlüfteten Fassaden.

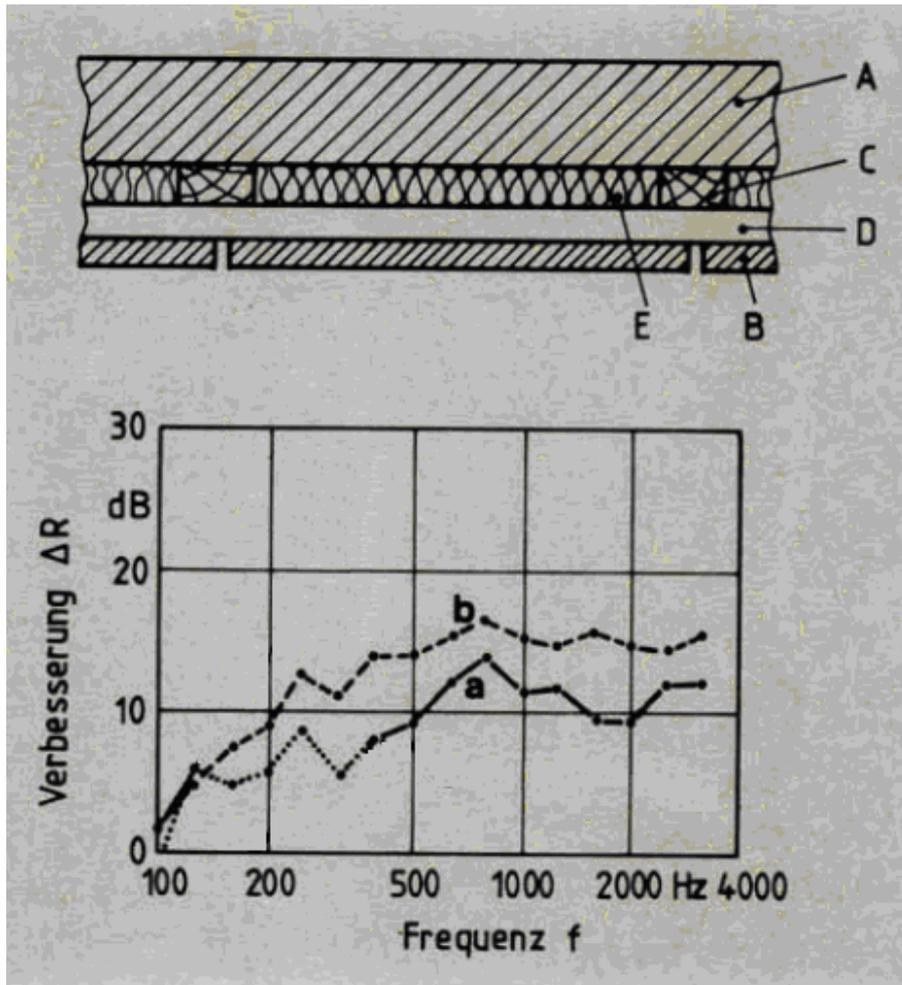


Abbildung 117: Verbesserung der Schalldämmung von VHF²⁹⁶

²⁹⁶ SCHUHMACHER, R.; MECHEL, F. P.: Schallschutz von hinterlüfteten Fassaden.

10 Wirtschaftlicher Fassadenvergleich

Um die vorgestellten Fassadensysteme vergleichen zu können, wird anhand eines Referenzgebäudes die Wahl für eine Fassadenkonstruktion aus Sicht des Bauherrn getroffen. Bei dem Referenzgebäude handelt es sich um ein Wohn- und Geschäftshaus. Da das Gebäude als Renditeobjekt dient, werden die Fassadensysteme auf ihre wirtschaftlichen Auswirkungen über den gesamten Lebenszyklus betrachtet.

Weil es sich um ein Bestandsgebäude handelt, kommen nur Fassadensysteme in Betracht, die sich zur Fassadensanierungen eignen. Einschalige Mauerwerke aus hochporosierten Ziegeln eignen sich nur für den Neubau und werden dadurch nicht in die Auswahl eingeschlossen. Das Wärmedämmputzsystem fällt ebenfalls aus, da die maximale Putzstärke von 10 cm nicht ausreicht um den geforderten U-Wert zu erreichen.

Sämtliche alternative Dämmstoffe (Holzfaser, PUR etc.) kommen durch ihre hohen Dämmstoffpreise nicht in die engere Auswahl.

Aus diesen Gründen bleiben folgende Fassadentypen zur Auswahl:

- WDVS mit EPS-Dämmung ohne Vordach,
- WDVS mit EPS-Dämmung mit Vordach,
- WDVS mit MW-Dämmung,
- Vorgehängte hinterlüftete Fassade mit MW-Dämmung.

Die Außenwände des Gebäudes bestehen aus einem 40 cm dicken Mauerwerk aus Vollziegel, welches beidseitig 2 cm dick verputzt ist. Die Fassadenkonstruktionen wurden so gewählt, dass jede Konstruktion einen U-Wert von ca. $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht. Es wird ein Betrachtungszeitraum von 30 Jahren festgelegt.

Die Kosten für Herstellung, Reinigung, Anstrich, Abbruch und Entsorgung wurden aus der Studie Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung (Hasler 2016) übernommen. Dabei werden die Kosten mittels Barwertmethode und einem Zinssatz von 2 % ermittelt. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass die Herstellung der Fassade über eine Fremdfinanzierung mit 3.5 % p.a. mit einer Laufzeit von 30 Jahren erfolgt. In den Herstellungskosten sind die Gerüstkosten bereits enthalten. Sämtliche Herstellungs- und Instandhaltungskosten wurden von verschiedenen ausführenden Unternehmen von schon abgerechneten Baustellen zusammengetragen und gemittelt. Die Abbruchkosten wurden ebenfalls von Abbruchunternehmen übernommen. Die Ermittlung aller Kosten erfolgte im Juni und Juli 2016.

10.1 WDVS mit EPS-Dämmung

Schicht	Dicke [cm]	λ [W/mK]
Innenputz	2,0	0,7
Vollziegel	40,0	0,68
Außenputz	2,0	1,0
Klebspachtel	0,5	0,8
EPS-F +	14,0	0,031
Spachtelung	0,3	0,8
Deckputz	0,3	0,7

Tabelle 17: WDVS mit EPS Dämmung Aufbau

Weil ungeschützte WDVS mit EPS zur Algenbildung neigen, wird eine zweite Variante betrachtet, bei der ein Vordach bzw. ein Dachüberstand vorhanden ist. Da das Referenzgebäude giebelseitig nur einen Dachüberstand von 14 cm aufweist, stellt sich die Frage, ob eine Verlängerung der Dachlattung (Abbildung 118) sinnvoll wäre. Die Verlängerung wird in den Kosten nicht berücksichtigt, da ohnehin eine Dachsanierung fällig ist und diese im Zuge der Fassadensanierung erfolgt. Dadurch werden gleichzeitig die Aufstellungskosten sowie An- Abtransport für das Gerüst gespart. Die EPS-Fassade ohne Vordach dient somit lediglich zu Vergleichszwecken für Gebäude, die einen ausreichenden Dachüberstand aufweisen.

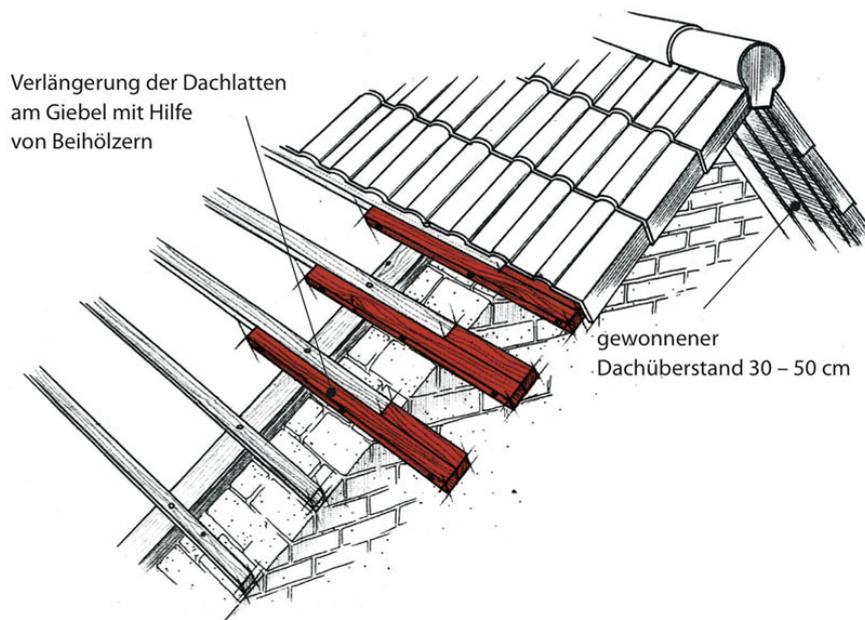


Abbildung 118: Erhöhung des Dachüberstandes²⁹⁷

Die Nutzungsdauer des WDVS ohne Vordach wurde auf 30 Jahre festgelegt. Dabei wird von einer Fassadenreinigung nach 7,5 Jahren und einem Anstrich nach 15 Jahren ausgegangen. Bei der Variante mit Vordach entfällt die Reinigung und es wird lediglich der Anstrich nach 15 Jahren erneuert. Der Rückbau der Fassade erfolgt mit Bagger. Dabei wird das WDVS mit einem Böschungslöffel abgeschält. Der entstandene Abfall wird in einer Verbrennungsanlage verwertet und die mineralischen Überreste werden deponiert.

²⁹⁷ <https://www.fug-verlag.de/on3383> (Stand: 01.02.2019)

10.2 WDVS mit MW-Dämmung

Schicht	Dicke [cm]	λ [W/mK]
Innenputz	2,0	0,7
Vollziegel	40,0	0,68
Außenputz	2,0	1,0
Klebspachtel	0,5	0,8
MW-PT	16,0	0,036
Spachtelung	0,5	0,8
Deckputz	0,3	0,7

Tabelle 18: WDVS mit MW-Dämmung Aufbau

Die WDVS-Fassade mit MW-Dämmung gilt als wesentlich resistenter gegenüber einer Algenbildung im Vergleich zu EPS-Fassaden. Die Nutzungsdauer wird auch hier mit 30 Jahren festgelegt. Nach 15 Jahren wird der Anstrich erneuert. Der Abbruch erfolgt bei dieser Fassade durch Abschälen und kann ohne Trennung gleich deponiert werden.

10.3 VHF mit MW-Dämmung

Schicht	Dicke [cm]	λ [W/mK]
Innenputz	2,0	0,7
Vollziegel	40,0	0,68
Außenputz	2,0	1,0
MW Dämmplatte	16	0,035
Glasvlies	-	-
Unterkonstruktion Holz	5,0	-
Bekleidung	2,5	0,7

Tabelle 19: VHF mit MW-Dämmung Aufbau

Die Bekleidung der VHF kann mit Lärchenholz oder mit Kunststoffpaneelen erfolgen, da beide Bekleidungsarten sich in einem vergleichbaren Preissegment verorten. Das Fassadensystem wird als wartungsfrei angesehen und soll eine Nutzungsdauer von 40 Jahren aufweisen. Die um zehn Jahre längere Nutzungsdauer fließt in die Berechnung ein. Infolge der Wartungsfreiheit entfällt die Reinigung über die ganze Nutzungsdauer. Durch die rein mechanische Befestigung der VHF ist beim Rückbau eine sortenreine Trennung möglich, was sich positiv auf die Entsorgungskosten auswirkt.

10.4 Kostenübersicht

Die Netto-Einzelkosten für das jeweilige Fassadensystem sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt und werden in €/m² angegeben.

Fassade	Herstellung	Reinigung mit Steiger	Reinigung mit Gerüst	Reinigung + Anstrich	Abbruch + Entsorgung
WDVS EPS	65,78	12,5	19,83	35,95	14,83
WDVS EPS VD	65,78	-	-	35,95	14,83
WDVS MW	85,75	-	-	35,95	18,12
VHF	136,12	-	-	-	17,55

Tabelle 20: Kostenübersicht

Sämtliche in den Diagrammen dargestellten Werte beziehen auf die EPS-Fassade ohne Vordach als Referenzfassade mit 100 %. Dadurch kann verglichen werden, um wie viel Prozent das jeweilige Fassadensystem günstiger oder teurer auf die gesamte Nutzungsdauer ist. Abbildung 119 zeigt den Vergleich der Herstellungskosten. Es kann abgelesen werden, dass die WDVS mit MW etwa 30 % und die VHF mit etwa 107 % höhere Herstellungskosten mit sich bringen.

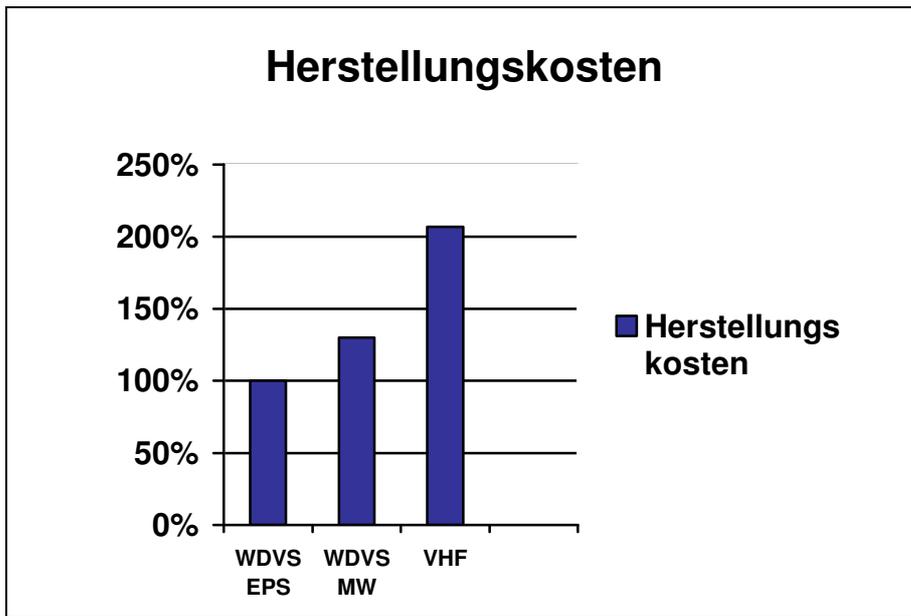


Abbildung 119: Vergleich der Herstellungskosten²⁹⁸

²⁹⁸ Eigene Darstellung

Werden die Kosten für Instandhaltung und Rückbau einbezogen, so ergibt sich ein anderes Bild (Abbildung 120). Es wird angenommen, dass die Fassade einfach zugänglich ist und somit mit dem Steiger erfolgen kann.

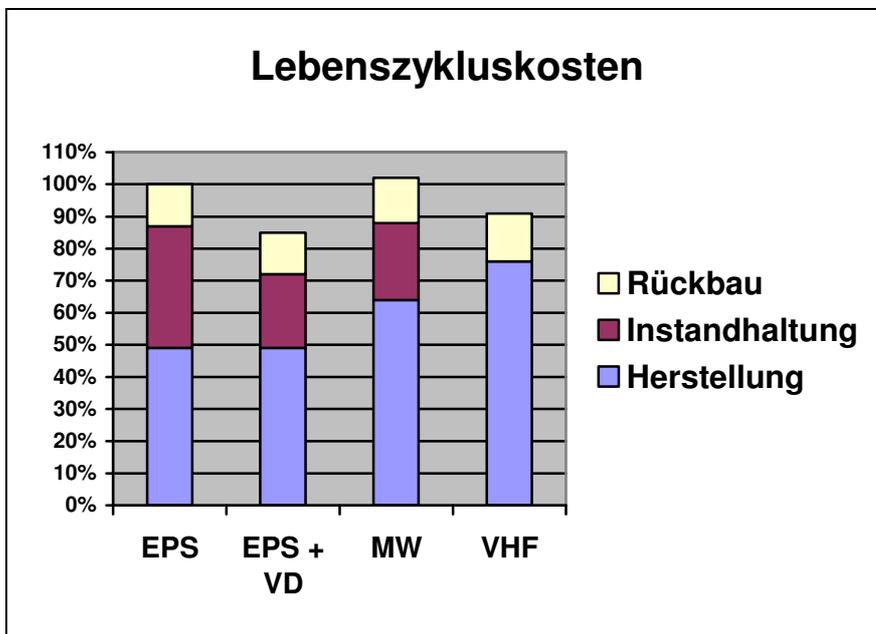


Abbildung 120: Lebenszykluskosten bei Reinigung mit Steiger auf 30 Jahre²⁹⁹

Werden die Lebenszykluskosten einbezogen, so sind die Kostenunterschiede wesentlich geringer. Die MW-Fassade ist nur lediglich um ca. 2,5 % teurer. Die EPS-Fassade ist aufgrund fehlender Reinigungskosten ca. 15 % günstiger als die EPS-Fassade ohne Vordach. Sogar die VHF ist noch um ca. 9 % günstiger, da die Instandhaltungskosten wegfallen und eine Nutzungsdauer von 40 Jahren angenommen werden kann. Bei schwerer Zugänglichkeit zur Fassade ist die Aufstellung eines Gerüstes notwendig. Dadurch sind die Reinigungskosten für die EPS-Fassade ohne Vordach etwas höher. Dies schlägt sich in den Instandhaltungskosten nieder (Abbildung 121 – EPS).

²⁹⁹ Eigene Darstellung

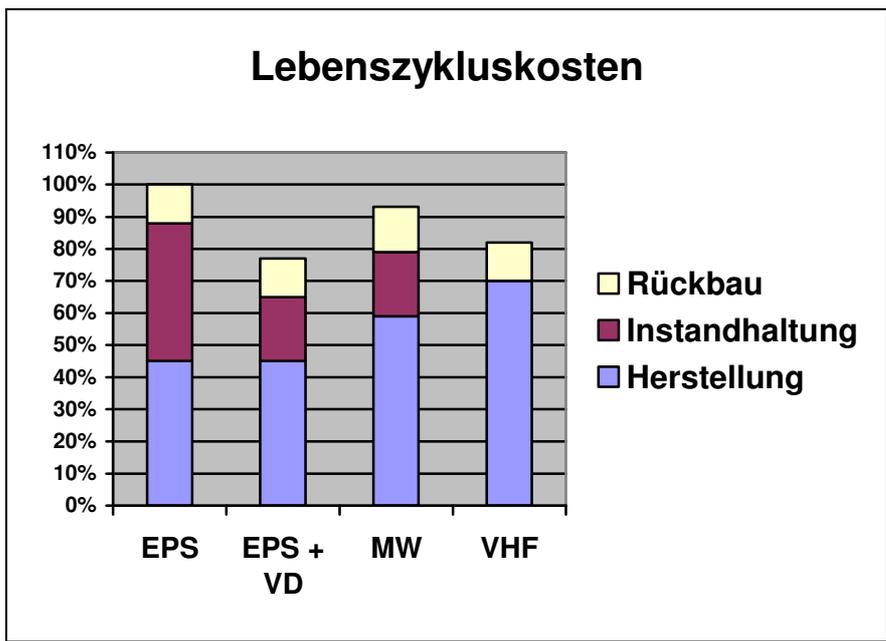


Abbildung 121: Lebenszykluskosten bei Reinigung mit Gerüst auf 30 Jahre³⁰⁰

Durch die hohen Instandhaltungskosten ist die EPS-Fassade ohne Vordach die kostenintensivste in diesem Vergleich. Die EPS-Fassade mit Vordach ist die kostengünstigste Variante, gefolgt von der VHF. Es ist deutlich zu erkennen, dass bei einer wirtschaftlichen Betrachtung die Herstellungskosten allein nicht genügend Aussagekraft für die Wahl einer Fassadenkonstruktion haben.

10.5 Entscheidung

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die EPS-Fassade mit Vordach der VHF-Fassade mit einem Preisunterschied von ca. 5 % vorzuziehen. Aufgrund der Lage des Referenzgebäudes an einer stark befahrenen Straße wäre eine Erhöhung des Schallschutzes vorteilhaft. Wie bereits in 6.6.3 erklärt wurde, ist bei einer EPS-Fassade immer mit einer geringen Verschlechterung des Schallschutzes bei Verkehrslärm zu rechnen. Hingegen kann eine VHF eine Verbesserung des Schallschutzes von bis zu 8 dB erreichen. Die Nutzungsdauer von 40 Jahren sowie der Entfall von Instandhaltungsmaßnahmen sprechen ebenfalls für die VHF. Aus diesen Gründen wäre in diesem Beispiel die VHF der EPS-Fassade vorzuziehen.

³⁰⁰ Eigene Darstellung

11 Zusammenfassung

Durch die Vorgaben der Klimaschutzziele ergeben sich höhere Anforderungen an die Gebäudeeffizienz. Vor allem die Fassade kann hierzu einen wesentlich Beitrag leisten. Neben der Steigerung der Energieeffizienz beeinflussen Fassaden in einem hohen Maß das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes. Als Hülle eines Gebäudes hat die Fassade eine Vielzahl an Anforderungen zu erfüllen, die neben den Schutzanforderungen gestalterischer, kultureller, ökologischer und wirtschaftlicher Herkunft sein können. Diese Anforderungen sind für jedes Gebäude individuell zu bestimmen. Aus den Anforderungen heraus ergeben sich Fassadenkonstruktionen, die diese erfüllen können. Doch jede Fassade hat ihre Leistungsgrenzen sowie Vor- und Nachteile. Um die volle Funktions- und Leistungsfähigkeit einer Fassade zu gewährleisten, ist die Einhaltung von Konstruktionsregeln und Verarbeitungsrichtlinien unumgänglich. Heutzutage kann aus einer Vielzahl an Dämmstoffen und Fassadenkonstruktionen ausgewählt werden, was die Entscheidung schwieriger macht. Vor allem bei der energetischen Optimierung von Bestandsgebäuden ist der Einsatz von Dämmstoffen unumgänglich. Diese Arbeit wurde initiiert, um einen Überblick über die gängigsten Fassadensysteme und die einsetzbaren Dämmstoffe zu schaffen sowie eine Entscheidungshilfe für Bauherren bei der Fassadenwahl bereitzustellen.

Die Fassade bildet einen wesentlichen Kostenfaktor bei der Errichtung eines Gebäudes. Aus diesem Grund wird in der heutigen Baupraxis ein Fassadensystem oftmals auf Basis der Herstellungskosten gewählt. Das hat dazu geführt, dass in den letzten Jahrzehnten EPS mit weitem Vorsprung der am meist eingesetzte Dämmstoff für WDVS ist. Nach wie vor stellt dieses System die in der Herstellung kostengünstigste Variante dar. Da ein Gebäude im Lebenszyklus weitere Kosten für Instandhaltung und Rückbau verursacht, sind jedoch auch diese einzubeziehen. Bei schlechter Planung bzw. mangelhafter Ausführung können die Instandhaltungsmaßnahmen bei mit EPS gedämmten WDVS hohe Folgekosten verursachen. Der wirtschaftliche Vergleich hat dies deutlich gezeigt. Für welche Fassade sich ein Bauherr schließlich entscheidet, wird nach den persönlichen Prioritäten, die er sich setzt, und den Anforderungen, die sich daraus ergeben, festgelegt. Beim Wunsch nach einer ökologischen und nachhaltigen Fassade wird sich eine völlig andere Konstruktion ergeben als beim Wunsch nach einer kostengünstigen und wartungsarmen Fassade.

Literaturverzeichnis

Literaturquellen:

ALBRECHT, W.; SCHWITALLA, C.: Rückbau, Recycling und Verwertung von WDVS. Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart, 2015.

AMTMANN, M.; HÖHRER, M.; MAIR, O.; STRIMITZER, L.; BANNER, D.; BAUER, A.; BRUGGER, H.; HUG, J.; TRIBUTSCH, I.; VOGEL, S.: Dämmstoffe richtig eingesetzt – Eignung, Anwendung und Umweltverträglichkeit von Dämmstoffen. Österreichische Energieagentur, 2014.

AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION L 001: Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Brüssel. 2002.

AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION L 153/18: Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung). Brüssel, 2010.

AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION L 156/75: Richtlinie (EU) 2018/844 zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz. Brüssel, 2018.

BRILLUX: Technische Info 5b03

BÜCHLI, R.; RASCHLE, P.: Algen und Pilze an Fassaden – Ursachen und Vermeidung. Fraunhofer IRB Verlag. Dübendorf, 2014

EIBENSTEINER, F.; PAULIK, C.; STADLBAUER, W.: Zusammenfassung der Studie: STREC – EPS/XPS Recycling im Baubereich. Linz, 2016

EICKE, W.: Kleine Geschichte der Wärmedämmung „Erster Teil“. wksb – Zeitschrift für Wärmeschutz. Kälteschutz. Schallschutz. Brandschutz, 2011.

Fixit – Fachinfo: Verputzaufbau auf monolithischen Einsteinmauerwerken, Fixit-Gruppe

FRANKE, C.; PASKER, R.: The European ETICS market – facts & figures. European ETICS Forum. Mailand, 2015.

Fraunhofer ISI; TU Wien: Study evaluating the current energy efficiency policy framework in the EU and providing orientation on policy options for realising the cost-effective energy efficiency/saving potential until 2020 and beyond. Karlsruhe. Wien. Rom, 2014.

Glantschnigg, N.: Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS): Vermeidung von Verarbeitungsmängeln. BVFS Bautechnische Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg. Kongress zum Thema

Instandsetzung und Instandhaltung von Gebäuden des Wiederaufbaues (1945–1975). Salzburg, 2005.

Gütegemeinschaft Wärmedämmungen von Fassaden e. V.: Empfehlungen für den Einbau/Ersatz von Metall-Fensterbänke (WDVS-Fassade). Aschaffenburg, 2019.

HASLER, E.: Studie – Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung. Institut Bauplanung und Bauwirtschaft. FH Joanneum. Graz, 2016.

HECHT, C.: Brandschutztechnische Anforderungen an Fassaden mit WDVS, Österreichischer Brandschutzkatalog, Verlag Österreichischer Brandschutzkatalog. Bisamberg, 2014.

HERZOG, T.; KRIPPNER, R.; LANG, W.: Fassaden Atlas, zweite Auflage. Birkhäuser Verlag. 2016.

KAUTSCH, P.: Vorlesungsunterlage – Bauphysik 1: Wärmeschutz & Feuchtigkeitsschutz. Institut für Hochbau. Technische Universität Graz, WS 2015/16.

KNAACK, U.; KLEIN, T.; BILOW, M.; AUER, T.: Fassaden: Prinzipien der Konstruktion, Ausgabe 3. Birkhäuser Verlag. 2014

LORBEK, M.: Einblicke in die Geschichte der Wärmedämmung. konstruktiv 265, 2008.

LÖTSCHER, L.; KÜHMICHEL, K.: Vom Haus zur Stadt. Handbuch: Stadtentwicklung sehen – erkennen – verstehen. LIT Verlag. Münster, 2016.

LÜTZKENDORF, T.; ENSLING, A.: Wirtschaftlichkeit energieoptimierter Gebäude – Berechnungsmethoden und Benchmarks für Wohnungsbau und Immobilienwirtschaft. Bine-Themeninfo III/2017. Bine Informationsdienst, 2017.

MAYER, H.: Der bauliche Wärmeschutz und die ÖNORM B 8110 – Gestern und Morgen. Forschungsgesellschaft für Wohnen, Bauen und Planen, 2007.

OIB-Richtlinie 5: Schallschutz. Österreichisches Institut für Bautechnik, 2015.

OIB-Richtlinie 2: Brandschutz. Österreichisches Institut für Bautechnik, 2015.

Öko-Institut; Fraunhofer ISI: Klimaschutzszenario 2050. Berlin, 2015.

PRIELER, M.; LEEB, M.; REITER, T.: 2017. Alternative Wege zum Nullenergiehaus – Endbericht. Fachhochschule Salzburg. Forschungsbereich Smart Building & Smart City. Salzburg, 2015.

PREUß, J.: Vorgehängte Hinterlüftete Fassaden – Sichere Gebäudehülle. Die FASSADE. Verlagsanstalt Handwerk GmbH. Düsseldorf, 2014.

RICHTER, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund/Berlin/Dresden, 2007.

Schild, K.; weyers, M.; WILLEMS, W.: Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen – Produkte – Details. Fraunhofer IRB Verlag. Stuttgart, 2010.

SCHUHMACHER, R.; MECHEL, F. P.: Der Einfluss der Wärmedämmschichten auf die Schalldämmung von Außenwänden, IBP Mitteilung Nr. 62. IRB Fraunhofer Verlag. Stuttgart, 1980.

SCHUHMACHER, R.; MECHEL, F. P.: Schallschutz von hinterlüfteten Fassaden, IBP Mitteilung Nr. 67. IRB Fraunhofer Verlag. Stuttgart, 1981.

SPRENGARD, C.; TREML, S.; HOLM, A.: Technologien und Techniken zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Wärmedämmstoffe. Metastudie Wärmedämmstoffe – Produkte – Anwendungen – Innovationen. Fraunhofer IRB Verlag, Münster, 2014.

Weber, L.; MÜLLER, S.: Schallschutz bei Wärmedämmverbundsystemen. IRB Fraunhofer Verlag. Stuttgart, 2015.

Online-Quellen:

[downloads.knauf.ch/wmv/?id=13969](https://www.knauf.ch/wmv/?id=13969) (Stand: 24.02.2019)

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/310313/umfrage/absatz-von-waermedaemmverbundsystemen-in-deutschland/> (Stand: 18.10.2018)

<https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien> (Stand: 18.10.2018)

<https://www.energie-innovativ.de/service-events/veranstaltungen/sonderschau-die-neue-energiwelt/> (Stand: 18.10.2018)

<https://publications.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/c4cca5ea-8482-45de-94a3-9fb64f37c0b0/language-de> (Stand: 18.10.2018)

https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/kyoto_protokoll_1108.htm (Stand: 18.10.2018)

<https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/economic-and-fiscal-policy-coordination/eu-economic-governance-monitoring->

prevention-correction/european-semester/framework/europe-2020-strategy_de (Stand: 11.11.2018)

<https://www.oeko.de/oekodoc/2451/2015-608-de.pdf> (Stand: 12.11.2018)

<https://www.oeko.de/oekodoc/2019/2014-604-de.pdf> (Stand: 12.11.2018)

https://vdpm.info/wp-content/uploads/merkblatt-2016_Energy-Saving-Guide-DE.pdf (Stand: 12.11.2018)

<https://www.ea-etics.eu/eae/profile/> (Stand: 20.10.2018)

<https://epthinktank.eu/2016/07/08/energy-efficiency-in-buildings/> (Stand: 18.01.2019)

<https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:FinalEnergyConsumption-Residential-byENDUSE-EU-2015.png&oldid=330429> (Stand: 18.01.2019)

<https://eumeps.org/what-is-eumeps> (Stand: 20.10.2018)

<https://www.eurima.org/about-eurima.html> (Stand: 20.10.2018)

https://www.eurima.org/uploads/ModuleXtender/Publications/166/Builing_Envelope_Group__Joint_Statement_EPBD_EED_FINAL.pdf (Stand: 20.10.2018)

<http://qg.waermedaemmsysteme.at/c/mission> (Stand: 27.10.2018)

https://www.fh-salzburg.ac.at/fileadmin/fh/studiengaenge/smb/talks/smb_Talk-for-Experts_2016_4_Hecht_Salzburg_Nachhaltigkeit.pdf (Stand: 27.10.2018)

<https://www.gph.at/index.php/gph> (Stand: 27.10.2018)

<https://www.gph.at/images/gph/fakten/uebersicht/Faktenblaetter.pdf> (Stand: 27.10.2018)

<https://austria-forum.org/af/AustriaWiki/Graz> (Stand: 18.01.2019)

https://www.graztourismus.at/kongress/de/locations-agenturen/mp09-die-eventlocation_vf-2011 (Stand: 18.01.2019)

http://zeus.h1arch.tuwien.ac.at/tuwis_img/gk/s09/VO/GK_VO_11_Oliver_EICHHORN_Wolfram_UANSCHOU.pdf (Stand: 18.01.2019)

<http://www.archiexpo.de/prod/metra/product-50378-575056.html> (Stand: 24.01.2019)

<https://wienerberger.de/ziegelloesungen/einschalige-l%C3%B6sung-f%C3%BCr-den-neubau> (Stand: 24.01.2019)

<https://www.baunetzwissen.de/mauerwerk/fachwissen/wand/einschalige-aussenwaende-162708> (Stand: 24.01.2019)

<https://wdvs.enbausa.de/fakten/technik-wdvs/aufbau-waermedaemmverbundsystem.html> [Stand: 24.01.2019]

http://www.forschungsstelle.at/media/51577/bauakademie%20salzburg_wdvs_pohlplatz_20150409.pdf [Stand: 24.01.2019]

<https://www.baulinks.de/webplugin/2006/0815.php4> (Stand: 25.01.2019)

<https://www.sg-weber.de/waermedaemmung-wdvs/innovationen/webertherm-sd-5-schlagduebel.html> (Stand: 25.01.2019)

http://www.bauhandwerk.de/artikel/bhw_WDVS-Montage_im_Gebaeudebestand_47417.html (Stand: 25.01.2019)

<https://www.hilti.at/content/hilti/E3/AT/de/products/bu-anchors/mechanical-anchors/t-helix.html> (Stand: 25.01.2019)

<http://www.duebel-shop.at/Daemmstoffhalter-Schlagduebel/Zubehoer/600-Stk-Styroporkappen-Rondelle::2633.html> (Stand: 25.01.2019)

http://www.forschungsstelle.at/media/51577/bauakademie%20salzburg_wdvs_pohlplatz_20150409.pdf (Stand: 25.01.2019)

<https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/wdvs/schienensystem.html> (Stand: 25.01.2019)

<https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/wand/wdvs-befestigungen-782203> (Stand: 25.01.2019)

<https://www.youtube.com/watch?v=h5Ofol-7fRM> (Stand: 25.01.2019)

https://www.fh-salzburg.ac.at/fileadmin/fh/forschung/smb/documents/20170412_AW_ZN_final.pdf (Stand: 25.01.2019)

<https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmplatten/eps-daemmplatten.html> (Stand: 25.01.2019)

<https://www.bauen.de/a/vor-und-nachteile-einer-eps-daemmung.html#c24777> (Stand: 25.01.2019)

<http://www.baudiscount-paderborn.de/Styropor-Waermedaemmung-EPS-DEO-100KpA-WLG-035> (Stand: 25.01.2019)

<http://xps-spezialdaemmstoff.de/herstellung-von-xps/> (Stand: 25.01.2019)

<https://www.energieheld.de/daemmung/daemmstoffe/PUR-PIR> (Stand: 25.01.2019)

<http://sansys.de/styrodurr-xps-1-0cm-1-4cm-x-15cm-x-50cm.html> (Stand: 25.01.2019)

<http://www.baustoffwissen.de/wissen-baustoffe/baustoffknowhow/haus-garten-wegebau/daemmung/resolhartschaumplatten-waermedaemmverbundsystem/> (Stand: 25.01.2019)

<https://www.austrotherm.at/produkte/austrotherm-resolution/> (Stand: 25.01.2019)

<https://www.malerblatt.de/themen/technik-werkstoffe/perfekt-gedaemmt/#slider-intro-3> (Stand: 25.01.2019)

<https://www.gelbeseiten.de/themenwelt/Haus-Garten/Energie-Umwelt/Energetische-Sanierung/Glaswolle-als-Daemmung-Eigenschaften-auf-einen-Blick> (Stand: 25.01.2019)

Wärmedämmung mit Steinwolle:

<https://www.flumroc.ch/produkte/bauprodukte/aussenwaende/> (Stand: 25.01.2019)

<https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/wdvs/mineralwolle.html> (Stand: 25.01.2019)

<https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmplatten/mineralschaumplatten.html> (Stand: 25.01.2019)

<https://www.obi.de/mineralfaser-daemmstoffe/multipor-mineraldaemplatte-60-mm-1-17-m-5-stk-paket/p/3554532> (Stand: 25.01.2019)

<https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmstoffe/holzfaserdaemmung.html> (Stand: 25.01.2019)

http://www.bauhandwerk.de/artikel/bhw_Kork_Schilf_Seegras_Holzschraum_Rohr_2388133.html (Stand: 11.11.2018)

<https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/aussendaemmung/daemmputz-aussen.html> (Stand: 18.01.2019)

<https://www.wall-systems.com/de/innendaemmung/mineralischer-daemmputz/> (Stand: 28.01.2019)

<https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/aussendaemmung/daemmputz-aussen.html> (Stand: 28.01.2019)

<https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/tipps/news-produkte/daemmputz-mit-aerogel-3329889> (Stand: 28.01.2019)

https://www.egenius.at/fileadmin/user_upload/fassadendaemmsysteme_massivbau/de/Fassadend%C3%A4mmsysteme_Massivbau.pdf (Stand: 28.01.2019)

<https://www.nextproducts.at/porotherm-w-i-2015-1075936/datei-files/Porotherm%20W.i%202015.pdf> (Stand: 28.01.2019)

<https://www.ziegel-technik.at/wandsysteme> (Stand: 28.01.2019)

<https://wienerberger.de/ziegelloesungen/einschalige-l%C3%B6sung-f%C3%BCr-den-neubau> (Stand: 28.01.2019)

<https://www.ziegel.at/ziegeltechnik/bauphysik#heading-7> (Stand: 28.01.2019)

<https://www.ziegel.at/ziegeltechnik/bauphysik/brandschutz> (Stand: 28.01.2019)

https://wienerberger.at/produkte/porotherm-38-w-i-plan?wb_condition=ProductType:1366195211516 (Stand: 28.01.2019)

<http://www.fassaden-dach.de/holzfassade/canexel/unterkonstruktion-holzfassade/> (Stand: 28.01.2019)

<http://www.oefhf.at/aufbau-technik> (Stand: 28.01.2019)

http://www.prefa.at/service/downloadcenter/technische-zeichnungen/fassadensysteme/fassadensysteme.html?elID=dam_frontend_push&docID=17186&ga_name=PREFA_Details_Fassade_Siding_vertikal_2013_Q2.pdf (Stand: 28.01.2019)

<https://www.hilti.at/fassadensysteme/konsolen/r5325> (Stand: 28.01.2019)

<https://www.baulinks.de/webplugin/2013/0226.php4> (Stand: 28.01.2019)

<https://www.elascon.de/elascon-produkte> (Stand: 28.01.2019)

<https://www.uni-bausysteme.at/wp-content/uploads/2016/04/%C3%96FHF-concenta-austria-die-mehrfassade.pdf> (Stand: 28.01.2019)

<https://www.fug-verlag.de/on3383> (Stand: 01.02.2019)

https://www.roefix.at/var/fixitgruppe/storage/ilcatalogue/files/pdf/ATDE/Technisches_Merkblatt__TM__R%C3%96FIX_CORKTHERM_040_Kork-Fassadend%C3%A4mmplatte_DC0000590.PDF (Stand: 04.02.2019)

<https://www.bauforum.at/bauzeitung/hanf-daemmt-52583> (Stand: 05.02.2019)

http://www.umweltbundesamt.at/aktuell/umweltanalytik_aktuell/analytiknews_160311/ (Stand: 17.02.2019)

<https://www.juergen-joerges.de/blog/risse-im-waermedaemm-verbundsystem/> (Stand: 21.02.2019)

<https://rautenberg-gutachten.de/waermedaemmverbundsystem-wdvs-was-ist-zu-beachten/> (Stand: 21.02.2019)

<https://www.ibp.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/hygrothermik/projekte/aussenputze-im-wandel-der-zeit.html> (Stand: 22.02.2019)

<https://www.algenmax.at/fassadenreinigung/index.php/blog-algenentfernung/24-algen-schaden.html> (Stand: 22.02.2019)

<http://www.konrad-fischer-info.de/2133bau.htm> (Stand: 22.02.2019)

<http://www.energie-fachberater.de/daemmung/fassadendaemmung/vorgehaengte-hinterlueftete-fassade-vhf/daemmung-mit-vorgehaengter-hinterluefteter-fassade-zahlt-sich-aus.php> (Stand: 24.02.2019)

<https://www.baulinks.de/webplugin/2009/1978.php4> (Stand: 24.02.2019)

<https://www.baulinks.de/webplugin/2018/1345.php4> (Stand: 24.02.2019)

<https://www.bauforum.at/dach-wand/energie-sparen-mit-holz-21098> (Stand: 24.02.2019)

<https://www.fvvhf.de/Fassade/Referenzen/VHF-Faserzementfassade-EFH.php> (Stand: 24.02.2019)

<https://wienerberger.de/ziegelloesungen#collapse-collapse1366410313026> (Stand: 24.02.2019)

https://shop.austrian-standards.at/search/FastSearch.action?__fsk=1571074533 (Stand: 01.03.2019)

<https://www.5vitals.net/knowledge-base/einflussfaktoren-auf-die-koerpertemperatur/> (Stand: 02.03.2019)

<https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/fachwissen/waermeschutz/sommerlicher-waermeschutz-grundlagen-und-ziele-4406601> (Stand: 02.03.2019)

<https://www.primarosa.at/anwendungen/wand/fassade-hinterlueftet.html> (Stand: 03.03.2019)

<https://www.energieheld.de/daemmung/daemmstoffe> (Stand: 06.03.2019)

<https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/bau/broschuere-baurestmassen.pdf> (Stand: 22.03.2019)

https://www.sto.at/de/produkte/innovationen_1/stosystain_r_1/Funktionsweise.html (Stand: 22.03.2019)

https://www.sto.de/de/unternehmen/innovationen/stosystain_r/StoSys_tain_R.html (Stand: 22.03.2019)

<http://www.winterface.at/index.php/produkt/> (Stand: 22.03.2019)

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/merkblaetter_1-5_entscheidungshilfen_zur_verringderung_des_biozideinsatzes_an_fassaden.pdf (Stand: 23.03.2019)