

TEXTE

30/2018

Weiterentwicklung des Umweltzeichens Blauer Engel für Wärmedämmverbundsysteme: Kriterien für Dämmstoffe sowie biozidfreie Putze und Beschichtungen

Abschlussbericht

TEXTE 30/2018

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3715 37 325 0
UBA-FB 002610

Weiterentwicklung des Umweltzeichens Blauer Engel für Wärmedämmverbund- systeme: Kriterien für Dämmstoffe sowie biozidfreie Putze und Beschichtungen

von

Miriam Schöpel, Alexandra Polcher, Maria Burgstaller, Anke Joas,
BiPRO GmbH, München

Markus Blepp
Öko-Institut e.V., Freiburg

Nicole Krueger, Wolfgang Hofbauer, André Thiel
Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP), Holzkirchen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)
 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

BiPRO GmbH
Grauertstraße 12
81543 München

in Zusammenarbeit mit
Öko-Institut e.V., Freiburg und
Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP), Holzkirchen

Abschlussdatum:

Oktober 2017

Redaktion:

Fachgebiet III 1.4 Stoffbezogene Produktfragen
Outi Ilvonen

Publikationen als pdf:
<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, April 2018

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den
Autorinnen und Autoren.

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3715 37 325 0
UBA-FB-00 [trägt die UBA-Bibliothek ein]

Weiterentwicklung des Umweltzeichens Blauer Engel für Wärmedämmverbundsysteme: Kriterien für Dämmstoffe sowie biozidfreie Putze und Beschichtungen

von

Miriam Schöpel, Alexandra Polcher, Maria Burgstaller, Anke Joas,
BiPRO GmbH, München

Markus Blepp
Öko-Institut e.V., Freiburg

Nicole Krueger, Wolfgang Hofbauer, André Thiel
Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP), Holzkirchen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Oktober 2017

Kurzbeschreibung

Um die nationalen Klimaschutzziele zu erreichen, muss eine umfassende energetische Sanierung den Energiebedarf im Gebäudealtbestand senken. Zur Dämmung der Außenwände sind Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) eine gängige Option. Da den Vorteilen der WDVS aber auch Nachteile gegenüberstehen, stellt sich die Frage, wie der Blaue Engel als Umweltzeichen über die Festlegung geeigneter Kriterien Wärmedämmverbundsysteme als langfristig nachhaltiges Instrument des Klimaschutzes fördern kann.

Vor diesem Hintergrund wurden im vorliegenden Projekt anhand von Expertengesprächen und Literaturrecherchen offene Fragen zu Brandschutzaspekten, ökobilanziellen Unterschieden, Rückbau- und Rezyklierbarkeit und den Einsatzmöglichkeiten biozidfreier Putze und biozidfreier Beschichtungen untersucht und geklärt.

Neben einer Kurzanalyse der Marktsituation und einer Zusammenfassung der technischen Parameter von WDVS enthält dieser Bericht eine Analyse der baurechtlichen Anforderungen für die Verwendung von WDVS, eine Darstellung besonderer brandschutzrechtlicher Anforderungen und Klassifizierungen, eine Diskussion der rechtlichen und technischen Möglichkeiten für Rückbau und Recycling, eine vergleichende Bewertung ökobilanzieller Parameter sowie die Beschreibung und Auswertung eines Schnellbewitterungstests und einer Oberflächentauwasseranalyse. Das Ziel der experimentellen Tests war zu klären, welche Putze und Anstriche ohne Biozide gebrauchstauglich und für eine Auszeichnung mit dem Blauen Engel geeignet sind.

Die Studie zeigte, dass die aktuelle Vergabegrundlage des „Blauen Engels für Wärmedämmverbundsysteme - RAL UZ 140 (Januar 2010)“ den gegenwärtigen Wissensstand bereits gut abdeckt und nur in wenigen Punkten von Änderungen profitieren würde. Die Einführung von spezifischen Anforderungen für das Brandverhalten wurde derzeit aufgrund methodischer Schwierigkeiten zurückhaltend bewertet. In Bezug auf Ressourceneffizienzaspekte und Rezyklierbarkeit erscheinen ergänzende Kriterien für den Blauen Engel schwer umsetzbar zu sein. Die Verfügbarkeit von Informationen für die Nachhaltigkeitsbewertung über EPDs wird befürwortet.

Biozidfreiheit sollte weiterhin ein Kriterium der Vergabegrundlage des Blauen Engels für die Putze und Beschichtungen bleiben. Es sei denn in der Zukunft würden Schutzstoffe entwickelt, die ausschließlich an der Fassade auf die Zielorganismen wirken und nicht in die Umwelt gelangen. Grundsätzlich könnten die Vorteile biozidfreier Dickschicht-Putzsysteme (z.B. $\geq 15\text{mm}$), die nicht zum Algenbefall neigen, berücksichtigt werden. Es empfiehlt sich, die Durchführung eines definierten Schnellbewitterungstests in die Vergabekriterien für den Blauen Engel mit aufzunehmen, bei dem ein bestimmter Grenzwert unterschritten werden muss, um die Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufwuchs nachzuweisen. Allerdings sollten die Kriterien für die Vergabegrundlage des Blauen Engels so gestaltet werden, dass bewährte und gut funktionierende nachhaltige Systeme aufgrund einzelner Festlegungen nicht ausgeschlossen werden. In der Funktionalität bewährten biozidfreien Produkten sollte der Marktzugang nicht erschwert werden.

Abstract

To achieve the national climate protection goals further effort is needed to reduce the energy consumption of older buildings, which is possible through energy efficient renovation. A common option for the thermal isolation of outer walls is the use of external thermal insulation composite systems (ETICS). The advantages of these systems are also accompanied by disadvantages. This creates a challenge for the ecolabel “Blauer Engel” (blue angel) to adjust its awarding criteria so that this label can support ETICS as a long-term orientated, sustainable tool for climate protection.

This project examines aspects that are relevant for the Blue Angel criteria for ETICS and attempts to answer open questions concerning fire safety aspects, life cycle assessment, deconstruction, recycling, and the application of biocide-free plasters/coatings. This is done by literature research, laboratory tests and discussion with experts.

This report includes a short analysis of the economic market situation, a summary of technical aspects connected to the use of ETICS, an analysis of requirements of building law for the use of ETICS, a description of relevant fire protection legislation and classifications, a discussion on legal and technical possibilities for deconstruction and recycling, and a comparative analysis of life cycle assessment issues. In addition, this report includes a description and analysis of two experimental tests: one on rapid weathering and one on surficial condensation. Both tests were conducted with the goal to elaborate which plasters/coatings without biocides fit best for the purpose and are suitable for being awarded with the ecolabel "Blauer Engel".

This report shows, that the current awarding criteria for the Blue Angel for ETICS – RAL UZ 140 (January 2010) – already reflect the state of knowledge of today and would profit from adjustments only in few points. The introduction of specific fire behaviour requirements was for the time being cautiously evaluated, because of methodological difficulties. Also in the context of resource efficiency and recycling additional criteria for the ecolabel "Blauer Engel" seem difficult to implement. The availability of information for a sustainability assessment via environmental product declarations (EPDs) is supported.

It is advisable to further include the absence of biocides in plasters/coatings as a criterion for awarding the "Blauer Engel"-label. This criterion could be first omitted in the future in the case that protective substances will be developed, that only interact with their respective target organism and are not released into the environment. For a criteria update a suitable option would be to take the advantages of the biocide free thick film rendering systems (e.g. ≥ 15 mm), that are not prone to attract algae. In addition, it is recommended to include a defined rapid weathering test into the awarding criteria for the Blue Angel. In the test a certain limit value should not be exceeded in order to demonstrate the ability to resist algal and fungal attacks. However, the awarding criteria for the Blue Angel should find a solution that does not exclude established and well-functioning sustainable systems on the basis of single test values. The market entry of biocide free products that function well in real life should not be hampered.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	10
List of Figures	13
Tabellenverzeichnis	14
List of Tables	16
Abkürzungsverzeichnis	17
Zusammenfassung	19
Summary	36
1 Einleitung	51
1.1 Hintergründe des Forschungsvorhabens	51
1.2 Ziele des Forschungsvorhabens	52
2 Entwicklung, Organisation und Marktverfügbarkeit von WDVS in Deutschland	54
2.1 Zeitliche Entwicklung des WDVS Einsatzes und der Dämmstoffdicke	54
2.2 Marktanteile von Dämmstoffen in WDVS	56
2.3 Marktverfügbare WDVS	56
2.4 Organisation der WDVS Hersteller in Deutschland	61
3 Anforderungen für Wärmedämmverbundsysteme aus RAL-UZ 140	63
3.1 Allgemeine stoffliche Anforderungen an alle Komponenten	63
3.1.1 Anforderungen an Dämmstoffe	64
3.1.2 Anforderungen an Putze und Deckanstriche	64
3.2 Anforderungen an den Wärmeschutz, Ausführung, Verbraucherinformation und Werbeaussagen	65
3.3 Hersteller mit Produktauszeichnung nach RAL-UZ 140	65
3.4 Weitere Güte- und Umweltzeichen für Dämmstoffe und WDVS	66
4 Technische Kenngrößen von WDVS (Dämmstoffe, Putze, Kleber)	67
4.1 Definition und Bestandteile eines WDVS	67
4.2 Befestigungssysteme	69
4.2.1 Kleber	70
4.2.2 Dübel	71
4.3 Wärmedämmplatten für WDVS	71
4.3.1 Wärmeschutzeigenschaften	72
4.3.2 Herstellung der Dämmstoffe für WDVS	73
4.3.3 Flammeschutzmittel zur Behandlung von Dämmstoffen in WDVS	78
4.4 Schlussbeschichtung mit Putzen	81

4.4.1	Unterputz / Armierungsputz und Armierungsgewebe / Bewehrungsgewebe	82
4.4.2	Oberputz / Edelputz und zusätzliche Schlussbeschichtungen	83
4.4.3	Anstriche - Beschichtungsstoffe – Begriffe	88
4.4.4	Bauphysikalische Parameter	89
4.4.5	Alternative Abschlussgestaltung (Verkleidungen)	91
4.5	Alternative Fassadenlösungen.....	91
4.5.1	Sandwichpaneelle	92
4.5.2	Vorgehängte Fassade	92
4.5.3	Holzfassade (Holzrahmen- und Holztafelbauweise)	94
4.5.4	Zweischaliges Mauerwerk.....	94
5	Baurecht für Dämmstoffe und WDVS.....	96
5.1	Europäischer Regelungsrahmen für WDVS	96
5.1.1	Definitionen und Begrifflichkeiten	96
5.1.2	Harmonisierte Normen, Technische Bewertungen, CE Kennzeichnung und Anwendungsregeln	97
5.1.3	Bestehende Normen und ETAGs für Dämmstoffe und WDVS sowie Ergänzungen durch das deutsche Baurecht	98
5.2	Nationale Regelungen für WDVS	99
5.2.1	Musterbauordnung	99
5.2.2	Technische Regeln und Bauregellisten.....	103
5.2.3	Auswirkungen der neuen MBO und MVV TB auf die Planung und Ausführung von WDVS	103
6	Brandschutzanforderungen an Dämmstoffe und WDVS.....	105
6.1	Brandschutzanforderungen nach Bauordnung	105
6.1.1	Begriffsdefinitionen zum Brandverhalten.....	105
6.1.2	Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen (§ 26 MBO).....	105
6.1.3	Brandschutzanforderungen für Außenwände	106
6.1.4	Brandprüfungen zur Klassifizierung von Dämmstoffen	109
6.1.5	Zusatzanforderungen gegen Brandeinwirkung von außen in der MVV TB.....	111
6.1.6	Brandschutzkonzept.....	111
6.2	Spezifisches Brandverhalten von WDVS-Dämmstoffen, bauliche Zusatzanforderungen und Brandgastoxizität	112
6.2.1	Grundlagen zu Bränden und Brandverlauf	112
6.2.2	Verflüssigung, Glimmen, Rauchentwicklung, brennendes Abtropfen und Abfallen.....	113
6.2.3	Toxizität des Brandgases und der Brandrückstände (Rauchgastoxizität)	116

7	Rückbau und Abfallmanagement	119
7.1	Abfallrechtlicher Rahmen	119
7.1.1	Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG).....	119
7.1.2	Gewerbeabfallverordnung und Abfallverzeichnis-Verordnung	120
7.2	Abfallaufkommen	121
7.2.1	Abfallmengen EPS (WDVS)	124
7.3	Rückbaumethoden.....	125
7.3.1	Trennverfahren für WDVS.....	126
7.4	Verwertungsmöglichkeiten und Beseitigung.....	128
7.4.1	Allgemeines	128
7.4.2	Verwertung und Beseitigung von synthetischen WDVS (speziell auf EPS-Basis).....	130
7.4.3	Verwertung und Beseitigung von WDVS aus mineralischen Dämmstoffen	132
7.4.4	Verwertung und Beseitigung WDVS aus nachwachsenden Rohstoffen	134
7.4.5	Verwertungsmöglichkeiten von den restlichen WDVS-Bestandteilen.....	135
7.5	Aufdoppelung	135
7.6	Ökobilanzen von Dämmstoffen und WDVS	136
7.7	Umweltproduktdeklarationen (EPDs).....	137
7.7.1	Auswertung EPDs	138
8	Untersuchungen biozidfreier Putze und Beschichtungen	144
8.1	Untersuchungen in der Schnellbewitterungskammer.....	144
8.1.1	Versuchsaufbau.....	144
8.1.2	Geprüftes Material.....	146
8.1.3	Versuchsdurchführung.....	149
8.1.4	Ergebnisse	151
8.2	Oberflächentauwasser.....	175
8.2.1	Versuchsaufbau.....	175
8.2.2	Ergebnisse	176
9	Zusammenfassung wichtiger Ergebnisse und Ausblick	187
9.1	Empfehlungen zu Brandschutzkriterien für die Vergabegrundlage des Blauen Engels.....	187
9.2	Empfehlungen zu Ressourceneffizienzkriterien für die Vergabegrundlage des Blauen Engels.....	188
9.3	Empfehlungen zu biozidfreien Putzen für die Vergabegrundlage des Blauen Engels	190
10	Anhänge	191
10.1	Anhang 1: Übersicht der technischen Parameter für WDVS-Dämmstoffe.....	191

10.2	Anhang 2: Übersicht nicht halogenierter Flammenschutzmittel für Dämmstoffe in WDVS	193
10.3	Anhang 3: Übersicht der WDVS (und WDVS-Komponenten) mit allgemeiner bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) nach Kategorie und Hersteller	194
10.4	Anhang 4: Auf WDVS bezogene Vorgaben der MVV TB	207
10.5	Anhang 5: Brandschutzklassifizierung von Dämmstoffen und Brandprüfungen.....	212
10.6	Anhang 6: Materialprüfungsanstalten.....	216
10.7	Anhang 7: Verwertungs- und Beseitigungsmöglichkeiten für WDVS-Dämmstoffe.....	217
10.8	Anhang 8: Begleitkreis	223
11	Quellenverzeichnis.....	225

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwicklung der mit WDVS verlegten Fläche von 1996 bis 2012	20
Abbildung 2:	Beispielhafter Grundaufbau eines WDVS	21
Abbildung 3:	Schnellbewitterungskammer	29
Abbildung 4:	Eine Parallelle der Variante 11 zum Ende der Versuchslaufzeit	31
Abbildung 5:	Eine Parallelle der Variante 13 zum Ende der Versuchslaufzeit	31
Abbildung 6:	Zeitlicher Verlauf der Tauwassermenge auf den verschiedenen Varianten des ersten Laufs.	33
Abbildung 7:	Zeitlicher Verlauf der Tauwassermenge auf den verschiedenen Varianten des zweiten Laufs	33
Abbildung 8:	Entwicklung der mit WDVS verlegten Fläche von 1996 bis 2012	55
Abbildung 9:	Beispielhafter Grundaufbau eines WDVS	68
Abbildung 10:	Testprüfkörper mit dem typischen WDVS-Aufbau	68
Abbildung 11:	Übliche Kombinationen von WDVS-Komponenten	69
Abbildung 12:	Vergleich der Wärmeleitfähigkeit von WDVS-Dämmstoffen	73
Abbildung 13:	Eigenschaften und Anwendungsgebiete ehemals wichtigster Flamschutzmittel in Dämmstoffen	80
Abbildung 14:	Beispiel Sandwichpaneelle	92
Abbildung 15:	Aufbau einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade (VHF).	93
Abbildung 16:	Idealisierter Brandverlauf	113
Abbildung 17:	„Conventional index of toxicity“ (CIT) verschiedener Dämmstoffe im Brandfall nach 240s unter drei unterschiedlicher Strahlungswärmequellen nach DIN EN ISO 5659-2	117
Abbildung 18:	Fractional Effective Dose (FED) –Wert der Toxizität von Brandgasen verschiedener Dämmstoffe	118
Abbildung 19:	Abfallhierarchie nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz	119
Abbildung 20:	Abfallaufkommen in Deutschland	122
Abbildung 21:	Prognostizierte Rückbaumengen an EPS aus WDVS	125
Abbildung 22:	Geeignete Verwertungsverfahren als Beispiel von einem EPS-Dämmstoff	130
Abbildung 23:	Primärenergiebedarf (Pne) und Treibhausgaspotenzial für die Dämmstoffherstellung bei Wärmedämmverbundsystemen	140
Abbildung 24:	Prozentuelle Anteile der Komponenten eines WDVS (Oberputz, Unterputz, Glasgewebe, EPS, Kleber) in der WDVS-Herstellung in den Wirkkategorien Gesamtprimärenergie (PE), Primärenergie, erneuerbar (PE ern), Treibhauspotenzial (GWP), Ozonabbaupotenzial (ODP), Versauerungspotenzial (AP), Eutrophierungspotenzial (EP) und Sommersmogpotenzial (POCP)	142

Abbildung 25:	Relative Anteile der Herstellung, des Transports und der Montage und der Entsorgung bei allen Wirkungskategorien in der Ökobilanz eines EPS-basierten WDVS	143
Abbildung 26:	Vergleich zwischen Soll- und Ist-Werten von Temperatur und Luftfeuchte in der Bewitterungsanlage	145
Abbildung 27:	Schnellbewitterungskammer.....	146
Abbildung 28:	Aufbringen der Leitpaste auf der Rückseite der Prüfkörper	149
Abbildung 29:	Aufwuchsverlauf auf Variante 1 (Silikonharzputz ohne Anstrich)....	153
Abbildung 30:	die 4 Parallelen der Variante 1 (Silikonharzputz ohne Anstrich) zum Ende der Versuchslaufzeit	153
Abbildung 31:	Aufwuchsverlauf auf Variante 2 (Silikonharzputz mit Kieselosilikatfarbe).....	154
Abbildung 32:	die 4 Parallelen der Variante 2 (Silikonharzputz mit Kieselosilikatfarbe) zum Ende der Versuchslaufzeit	154
Abbildung 33:	Aufwuchsverlauf auf Variante 3 (Silikonharzputz mit ultrahydrophober Farbe).....	155
Abbildung 34:	die 4 Parallelen der Variante 3 (Silikonharzputz mit ultrahydrophober Farbe) zum Ende der Versuchslaufzeit	155
Abbildung 35:	Aufwuchsverlauf auf Variante 4 (Silikonharzputz mit Farbe mit bionischem Wirkprinzip).....	156
Abbildung 36:	die 4 Parallelen der Variante 4 (Silikonharzputz mit Farbe mit bionischem Wirkprinzip) zum Ende der Versuchslaufzeit	156
Abbildung 37:	Aufwuchsverlauf auf Variante 5 (mineralischer Putz ohne Anstrich).....	157
Abbildung 38:	die 4 Parallelen der Variante 5 (mineralischer Putz ohne Anstrich) zum Ende der Versuchslaufzeit	157
Abbildung 39:	Aufwuchsverlauf auf Variante 6 (mineralischer Putz mit Silikonharzfarbe).....	158
Abbildung 40:	die 4 Parallelen der Variante 6 (mineralischer Putz mit Silikonharzfarbe) zum Ende der Versuchslaufzeit	158
Abbildung 41:	Aufwuchsverlauf auf Variante 7 (mineralischer Putz mit Dispersionsfarbe).....	159
Abbildung 42:	die 4 Parallelen der Variante 7 (mineralischer Putz mit Dispersionsfarbe) zum Ende der Versuchslaufzeit	159
Abbildung 43:	Aufwuchsverlauf auf Variante 8 (mineralischer Putz mit silikatischer Fassadenfarbe auf Kaliwasserglasbasis)	160
Abbildung 44:	die 4 Parallelen der Variante 8 (mineralischer Putz mit silikatischer Fassadenfarbe auf Kaliwasserglasbasis) zum Ende der Versuchslaufzeit.....	160
Abbildung 45:	Aufwuchsverlauf auf Variante 9 (Dispersions-Silikatputz ohne Anstrich).....	161

Abbildung 46:	die 4 Parallelen der Variante 9 (Dispersions-Silikatputz ohne Anstrich) zum Ende der Versuchslaufzeit	161
Abbildung 47:	Aufwuchsverlauf auf Variante 10 (Dispersions-Silikatputz mit Kieselsol-Silikatfarbe).....	162
Abbildung 48:	die 4 Parallelen der Variante 10 (Dispersions-Silikatputz mit Kieselsol-Silikatfarbe) zum Ende der Versuchslaufzeit	162
Abbildung 49:	Aufwuchsverlauf auf Variante 11 (Dispersionssilikatputz mit Dispersions-Silikatfarbe).....	163
Abbildung 50:	die 4 Parallelen der Variante 11 (Dispersionssilikatputz mit Dispersions-Silikatfarbe) zum Ende der Versuchslaufzeit	163
Abbildung 51:	Aufwuchsverlauf auf Variante 12 (silikatischer Putz ohne Anstrich)164	
Abbildung 52:	die 4 Parallelen der Variante 12 (silikatischer Putz ohne Anstrich) zum Ende der Versuchslaufzeit	164
Abbildung 53:	Aufwuchsverlauf auf Variante 13 (silikatischer Putz mit Dispersions-Silikatfarbe).....	165
Abbildung 54:	die 4 Parallelen der Variante 13 (silikatischer Putz mit Dispersions-Silikatfarbe) zum Ende der Versuchslaufzeit	165
Abbildung 55:	Aufwuchsverlauf auf Variante 14 (silikatischer Putz mit Silikonharzfarbe).....	166
Abbildung 56:	die 4 Parallelen der Variante 14 (silikatischer Putz mit Silikonharzfarbe) zum Ende der Versuchslaufzeit	166
Abbildung 57:	Aufwuchsverlauf auf Variante 15 (silikatischer Putz mit Dispersionsfarbe).....	167
Abbildung 58:	die 4 Parallelen der Variante 15 (silikatischer Putz mit Dispersionsfarbe) zum Ende der Versuchslaufzeit	167
Abbildung 59:	Fotodokumentation des Algenaufwuchses auf den untersuchten WDVS-Prüfkörpern mit dem Stereomikroskop nach 100 Tagen Schnellbewitterung und Beschreibung der Detailaufnahmen	168
Abbildung 60:	Übersicht über die Aufwuchsverläufe aller Varianten	174
Abbildung 61:	Versuchsaufbau zur Betauung einer Putzoberfläche unter vorgebbaren Randbedingungen im Klimaraum.....	175
Abbildung 62:	Zeitlicher Verlauf der Tauwassermenge auf den verschiedenen Varianten des ersten Laufs.	177
Abbildung 63:	Zeitlicher Verlauf der Tauwassermenge auf den verschiedenen Varianten des zweiten Laufs.....	177
Abbildung 64:	Ansicht der Variante 1 nach 6 Stunden Betauungsdauer.....	178
Abbildung 65:	Ansicht der Variante 2 nach 6 Stunden Betauungsdauer.....	179
Abbildung 66:	Ansicht der Variante 3 nach 6 Stunden Betauungsdauer.....	179
Abbildung 67:	Ansicht der Variante 4 nach 6 Stunden Betauungsdauer.....	180
Abbildung 68:	Ansicht der Variante 5 nach 6 Stunden Betauungsdauer.....	180

Abbildung 69:	Ansicht der Variante 6 nach 6 Stunden Betauungsdauer.....	181
Abbildung 70:	Ansicht der Variante 7 nach 6 Stunden Betauungsdauer.....	181
Abbildung 71:	Ansicht der Variante 8 nach 6 Stunden Betauungsdauer.....	182
Abbildung 72:	Ansicht der Variante 9 nach 6 Stunden Betauungsdauer.....	182
Abbildung 73:	Ansicht der Variante 10 nach 6 Stunden Betauungsdauer.....	183
Abbildung 74:	Ansicht der Variante 11 nach 6 Stunden Betauungsdauer.....	183
Abbildung 75:	Ansicht der Variante 12 nach 6 Stunden Betauungsdauer.....	184
Abbildung 76:	Ansicht der Variante 13 nach 6 Stunden Betauungsdauer.....	184
Abbildung 77:	Ansicht der Variante 14 nach 6 Stunden Betauungsdauer.....	185
Abbildung 78:	Ansicht der Variante 15 nach 6 Stunden Betauungsdauer.....	185

List of Figures

Figure 1:	Temporal development of annual ETICS installation starting in 1996	37
Figure 2:	Schematic representation of an ETICS: 1) adhesive, 2) insulation, 3) base render / reinforcement, 4) dowels 5) reinforcement 6) intermediate coat, 7) top coat.....	38
Figure 3:	Rapid weathering test chamber	45
Figure 4:	A tile of variant 11 at the end of the test	47
Figure 5:	A tile of variant 13 at the end of the test	47
Figure 6:	Time dependent (Versuchszeitraum nach [h]) amount of condensation water (Tauwassermenge [g/m ²]) of variants 1-8.....	49
Figure 7:	Time dependent (Versuchszeitraum [h]) amount of water condensation (Tauwassermenge [g/m ²]) of variants 9-15	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Baurechtliche Anforderungen an das Brandverhalten von WDVS nach Gebäudeklasse und Gebäudetyp.....	24
Tabelle 2:	Einschätzung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufwuchs	29
Tabelle 3:	Übersicht der Tauwassermenge in Abhängigkeit von der Betauungsdauer.....	32
Tabelle 4:	Prozentualer Anteil der in den letzten 35 Jahren verlegten Dämmstoffe in WDVS	56
Tabelle 5:	Übersicht der Hersteller mit zahlreichen abZ für WDVS	57
Tabelle 6:	Übersicht der WDVS mit abZ nach WDVS Kategorie und Dämmstofftyp.....	60
Tabelle 7:	Dachorganisationen von Herstellern und Verarbeitern	62
Tabelle 8:	Hersteller mit Produktauszeichnung nach RAL-UZ 140	65
Tabelle 9:	Verklebemethoden für Polystyrol- und Mineralwolleddämmplatten nach DIN 55699 (2017)	70
Tabelle 10:	Anforderungsbeispiel an Gewebe für Armierungsputz (Weißert 2010).....	82
Tabelle 11:	Putzmörtel-/Putzarten (mineralisch) nach DIN 18550-1 (2018), gekürzt	83
Tabelle 12:	Putzarten (organisch) nach DIN 18550-1 (2018), gekürzt	84
Tabelle 13:	Übliche Lieferform unterschiedlicher Putztypen.....	87
Tabelle 14:	Begriffe und Definitionen nach verschiedenen Normen.....	88
Tabelle 15:	Allgemeine Klassifizierung der Wasseraufnahme von Baustoffen nach DIN EN ISO 15148	90
Tabelle 16:	Klassifizierung der Wasserdurchlässigkeit von Beschichtungen nach DIN EN 1062 Teil 1	90
Tabelle 17:	Klassifizierung von Fassadenbeschichtungen hinsichtlich ihres Diffusionswiderstands nach DIN EN 1062 Teil 1 (2004)	90
Tabelle 18:	Vergleichende Darstellung wichtiger Begriffe aus BauPVO und BPR.97	
Tabelle 19:	Übersicht harmonisierter europäischer Normen (hEN) für Dämmstoffe	98
Tabelle 20:	Freiwillige europäische Normen für WDVS	99
Tabelle 21:	Wesentliche Inhalte der MBO 2016 in Bezug auf WDVS und Änderungen gegenüber 2002	100
Tabelle 22:	Übersicht der Anforderung an das Brandverhalten von WDVS nach Gebäudeklasse und Gebäudetyp.....	106
Tabelle 23:	Klassifizierungssymbole für Rauchentwicklung und brennendes Abtropfen gemäß DIN EN 13501-1	108

Tabelle 24:	Labor-Brandprüfungen die für verschiedene Klassifizierungen bestanden werden müssen.	109
Tabelle 25:	Bestimmung des Brandverhaltens für Dämmstoffe in WDVS	115
Tabelle 26:	Mögliche Zuordnung von WDVS-Bestandteilen zu Abfallschlüsselnummern	122
Tabelle 27:	Abfallmengen von Dämmstoffen im Jahr 2013	124
Tabelle 28:	Vor- und Nachteile der einzelnen Rückbauverfahren bezogen auf WDVS	126
Tabelle 29:	Vor- und Nachteile der einzelnen Trennverfahren.....	127
Tabelle 30:	Vor- und Nachteile der verschiedenen Verwertungsverfahren am Beispiel EPS.....	132
Tabelle 31:	Verwertungsmöglichkeiten von WDVS-Bestandteilen inkl. deren Abfallschlüssel	135
Tabelle 32:	Systemkomponenten für 1 m ² WDVS geklebt.....	141
Tabelle 33:	Variantenblock Silikonharzputz mit verschiedenen Schlussbeschichtungen.....	147
Tabelle 34:	Variantenblock mineralischer Putz mit verschiedenen Schlussbeschichtungen.....	147
Tabelle 35:	Variantenblock Dispersions-Silikatputz mit verschiedenen Schlussbeschichtungen.....	148
Tabelle 36:	Variantenblock silikatische Abschlussputz mit verschiedenen Abschlussbeschichtungen.....	148
Tabelle 37:	Aufnahmeskala zur visuellen Bewertung des Prüfkörperaufwuchses.....	150
Tabelle 38:	Einschätzung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufwuchs	172
Tabelle 39:	Übersicht der Tauwassermenge in Abhängigkeit von der Betauungsdauer.....	176
Tabelle 40:	Übersicht unterschiedlicher Klassifizierungen für Dämmstoffe in WDVS	191
Tabelle 41:	Halogenierte und nicht halogenierte Flammenschutzmittel für Dämmstoffe in WDVS	193
Tabelle 42:	Übersicht WDVS Zulassungen nach Kategorie und Hersteller	194
Tabelle 43:	Anforderungen der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) an WDVS	207
Tabelle 44:	Brandschutzklassifizierungen für Baustoffe und Tests in Deutschland	212
Tabelle 45:	Brandschutzklassifizierungen für Baustoffe und Tests in der Schweiz	214
Tabelle 46:	Verwertungs- und Beseitigungsmöglichkeiten für WDVS-Dämmstoffe	217

List of Tables

Table 1:	Construction-law requirements for the fire behaviour of ETICS in accordance to the respective building class and building type	41
Table 2:	Resilience estimation against growth.....	46
Table 3:	Amount of condensation water plotted against the duration of undercutting	48

Abkürzungsverzeichnis

abZ	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung
AP	Versauerungspotenzial (engl. Acidification Potential)
AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung
BauPVO	EU-Verordnung Nr. 305/2011 über Bauprodukte
CIT	Conventional Index of Toxicity
DAA	Außendämmung von Dach oder Decke, witterungsgeschützt, unter Abdichtung
DEO	Innendämmung unter Estrich ohne Schallschutzanforderungen
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
EAD	European Assessment Document (dt. Europäisches Bewertungsdokument)
EAK	Europäischer Abfallkatalog
EnEV	Energieeinsparverordnung
EoL	End of Life
EOTA	European Organisation for Technical Assessment
EP	Eutrophierungspotenzial
EPD	Environmental Product Declarations (dt. Umweltproduktdeklarationen)
EPS	Expandiertes Polystyrol
ETA / ETB	European Technical Assessment / dt. Europäische Technische Bewertung (vormals: European Technical Approval / dt. Europäische Technische Zulassung)
ETAG	European Technical Approval Guideline (dt. Leitlinien für die europäische technische Zulassung)
ETICS	External Thermal Insulation Composite System
FMI	Fachverband Mineralwolleindustrie
FNR	Fachverband Nachwachsende Rohstoffe
FV-WDVS	Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e. V.
FT-IR	Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie
GewAbfV	Gewerbeabfallverordnung
GK	Gebäudeklassen
GWP	Treibhauspotenzial (engl. Global Warming Potential)
HBCD	Hexabromocyclododecan
HF	Hinterlüftete Fassade
IBU	Institut Bauen und Umwelt e.V.
IVH	Industrieverband Hartschaum e.V.
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
LCA	Life Cycle Assessment

MBO	Musterbauordnung
MW	Mineralwolle
ODP	Ozonabbaupotential (engl. Ozone Depletion Potential)
OKF	Oberkante Fußboden
PCR	Product Category Rules
PEF	Product Environmental Footprint
PEFCR	Product Environmental Footprint Category Rules
PHF	Phenolharz
PIR	Polyisocyanurat-Hartschaum
PNE	Primärenergiebedarf
POCP	Sommersmogpotenzial
POP	Persistent Organic Pollutants
PUR	Polyurethan-Hartschaum
PU-Schaum	Polyurethan-Schaum
PVC	Polyvinylchlorid
S_d	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke (sd-Wert)
TRGS	Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe
U-Wert	Rate des Wärmeübergangs von einer Bezugs-Oberfläche unter Einfluss eines Temperaturgradienten in Watt je Quadratmeter und Kelvin (W/(m ² · K))
VDI	Verband der Deutschen Industrie
VHF	Vorgehängte hinterlüftete Fassade
VIP	Vakuumisolationspaneele
VVTB	Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen
W_w	Wasseraufnahmekoeffizient (w-Wert)
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WLG	Wärmeleitfähigkeitsgruppen
XPS	Extrudiertes Polystyrol

Zusammenfassung

Hintergründe und Ziele

Mit dem Energiekonzept der Bundesregierung von 2010 hat Deutschland sich zum Ziel gesetzt, seine Treibhausgasemissionen – im Vergleich zum Jahr 1990 – bis zum Jahr 2020 um 40 Prozent, bis 2030 um 55 Prozent, bis 2040 um 70 Prozent und bis 2050 um 80 bis 95 Prozent zu reduzieren, um die fortschreitende Klimaveränderung zu bremsen. Um diese Ziele zu erreichen, spielt eine Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden eine wesentliche Rolle, da die Heizung von Gebäuden für etwa 30 % des Energieverbrauchs in Deutschland verantwortlich ist. Deshalb soll unter anderem die Sanierungsrate für Gebäude verdoppelt und der Primärenergiebedarf im Gebäudebereich ab 2020 bis 2050 stufenweise um 80 Prozent reduziert werden. Da für den hohen Energieverbrauch im Gebäudebereich Bestandsgebäude, die vor 1977 errichtet worden sind, eine wesentliche Rolle spielen, trägt die energetische Sanierung der Außenwände mit Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) erheblich zur Erreichung der Ziele bei.

Das Umweltzeichen „Blauer Engel“ kennzeichnet Produkte, die gegenüber Vergleichsprodukten umweltfreundlicher und nachhaltiger sind. RAL UZ 140 „Wärmedämmverbundsysteme“ (Blauer Engel, 2016) wird seit 2010 an WDVS vergeben, die über die gesetzlichen Bestimmungen hinaus schadstoffarm hergestellt sind, d.h. ohne kritische Flammenschutzmittel und Treibmittel und ohne Biozide. Es werden nur bauaufsichtlich geprüfte Systeme einbezogen. Um eine Auszeichnung nach RAL-UZ 140 zu erhalten, müssen Dämmstoffe die Mindestanforderungen gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) erfüllen (siehe Kapitel 4.3.1). Weitere Kriterien zu Ressourcenschonung und Recycling sind nicht enthalten. Für Brandschutz enthält RAL-UZ 140 bis auf den Verweis auf die bauaufsichtliche Zulassung keine eigenen Kriterien. In der aktuell gültigen Fassung gilt die Vergabegrundlage für alle WDVS, die eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ)¹ besitzen und gemäß DIN 55699 Ausgabe 2005-02 „Verarbeitung von Wärmedämm-Verbundsystemen“ ausgeführt werden (siehe auch Kapitel 3).

2016 trugen insgesamt 21 WDVS (19 mit Mineralwolldämmstoffen und 2 mit Mineralschaum) das Umweltzeichen „Blauer Engel“ (siehe Kapitel 3.3). Im Jahr 2017 sind weitere Systeme dazugekommen.

Vor diesem Hintergrund diente das Forschungsvorhaben dazu, zu klären, inwieweit die Vergabekriterien des Blauen Engels für WDVS angepasst werden müssten, um ihn als innovatives und langfristig nachhaltiges Instrument des Klimaschutzes weiterzuentwickeln. Offene Fragen zu Brandschutzaspekten, ökobilanziellen Kriterien, Rückbau und Rezyklierbarkeit und Dauerhaftigkeit biozidfreier Putze, wurden anhand von Expertengesprächen und Literaturrecherche geklärt und die Ergebnisse zusammengefasst.

Zeitliche Entwicklung des WDVS-Einsatzes und der Dämmstoffdicke

Nach der Einführung der ersten Vorgaben und Standards zum Wärmeschutz in Gebäuden, wurden Mitte der 1950er Jahre die ersten Polystyrol-Hartschaumplatten zur Wärmedämmung von Gebäuden in Deutschland eingesetzt. Ab Mitte der 1970er Jahre begann die Verwendung von Mineralwolle, die eine Erweiterung des Anwendungsbereichs von WDVS auf öffentliche Gebäude, Hochhäuser und Industriebauten ermöglichte. Seit etwa dem Jahr 2000 werden auch andere Dämmstoffe wie Polyurethan- oder Phenolharzschaum oder Mineralschaum in WDVS eingesetzt, vereinzelt auch

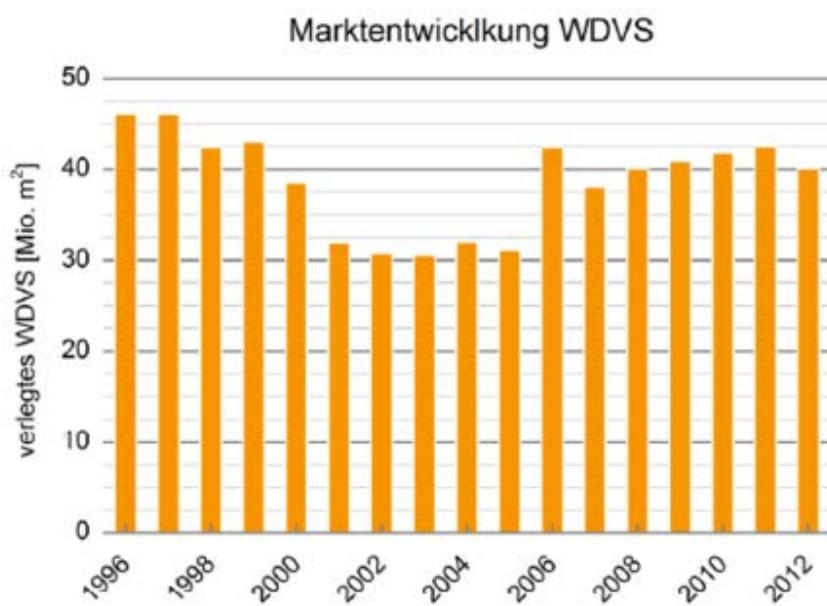
¹ Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) ermöglicht den Einsatz einer Vielzahl von Dämmstoffen, Putzen, etc., die als Gesamtsystem bestimmte bautechnische Anforderungen erfüllen müssen. Bei der Recherche (Stand 1/2016) hatten WDVS auf der Basis von Mineralwolle, Polystyrol, Holzfasern, Mineralschaum, Polyurethan, Phenolharz und Aerogel in Deutschland eine abZ.

Schaumglas, Aerogel, Polycarbonatschaum oder Vakuumisolationspaneele. In den letzten Jahren nimmt weiterhin die Verwendung von Dämmstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe (Holz, Hanf, Kork) auf geringem Niveau leicht zu.

Eine zusammenfassende Darstellung der jährlich verlegten WDVS Mengen von 1996-2012 zeigt Einbaumengen, die zwischen 30 und 45 Millionen m² schwanken (Abbildung 1). Laut neuesten Informationen des Fachverbands Wärmedämm-Verbundsysteme e.V. (FV-WDVS) wurden in Deutschland bis zum Jahr 2016 in Neubau und Sanierung insgesamt 940 Millionen m² WDVS eingebaut. Jährlich kommen 35 bis 40 Millionen m² hinzu.

Aufgrund gestiegener energetischer Anforderungen und Bedürfnisse ist die eingesetzte Dämmstoffdicke in WDVS über die Jahre kontinuierlich gestiegen. Die durchschnittliche Dämmstoffdicke lag nach Angaben des FV-WDVS 2012 bei etwa 125 mm (siehe Kapitel 2.1).

Abbildung 1: Entwicklung der mit WDVS verlegten Fläche von 1996 bis 2012



Quelle: Sprengard et al. (2013)

Marktsituation für WDVS in Deutschland

Nach neuesten Daten (2. Quartal 2017) des Verbands für Dämmssysteme, Putz und Mörtel e.V. – VDPM hat Expandiertes Polystyrol (EPS) in Deutschland einen Marktanteil von 70 % an den Dämmstoffen in WDVS. Graues EPS, eine neuere graphithaltige Produktvariante mit höherer Dämmwirkung, hat laut Expertenaussagen einen Marktanteil von über 40 %, mit steigender Tendenz. Mineralwolle nimmt mit etwa 20 % den zweitgrößten Anteil als Fassadendämmmaterial ein. XPS wird ausschließlich im Spritzwasser- oder erdberührtem Bereich (z.B. Sockel) eingesetzt, wo es zur Berührung mit Feuchtigkeit kommen kann. Mit nur etwa 4 % sind WDVS aus nachwachsenden Rohstoffen ein Nischenprodukt (siehe Kapitel 2.2). Eine Übersicht der in Deutschland auf dem Markt befindlichen WDVS liefern die im Internet veröffentlichten Zulassungsverzeichnisse des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt).

Nach Stand Januar 2016 gibt es in Deutschland 153 Hersteller von WDVS oder dazugehörigen Bauteilen und viele hundert abZ für WDVS auf der Basis von Mineralwolle, Polystyrol, Holzfasern, Mineralschaum, Polyurethan, Phenolharz und Aerogel. Die mit Abstand meisten Zulassungen gibt es

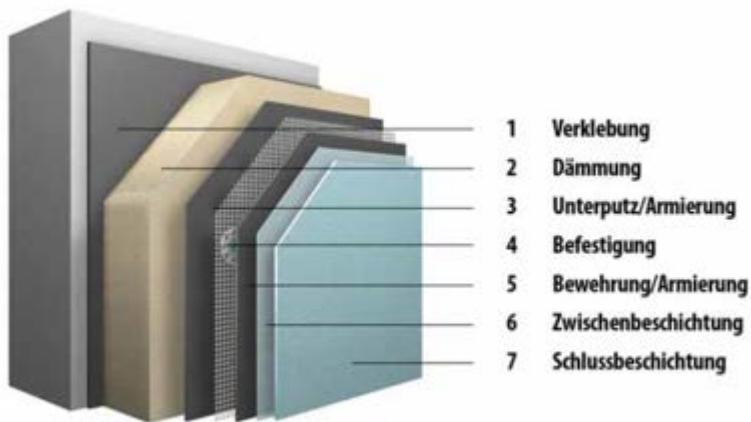
für „WDVS mit angeklebtem und angedübeltem Wärmedämmstoff“ und rein „geklebte WDVS“ auf der Basis von Mineralwolle- und EPS.

Die über 150 Hersteller von WDVS in Deutschland sind in verschiedenen Industrieverbänden organisiert, die historisch bedingt unterschiedliche Betätigungsfelder abdecken (siehe Kapitel 2.4). Die wichtigsten Verbände sind: der Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V. und der Industrieverband WerkMörtel e. V. (IWM) – seit 05/2017 fusioniert zum Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V. –, die Fachgruppe Putz & Dekor im Verband der deutschen Lackindustrie e. V. und der Bundesverband Farbe Gestaltung Bautenschutz (BV-Farbe).

Bestandteile eines WDVS

Ein außenseitiges Wärmedämm-Verbundsystem WDVS ist laut DIN 55699 (2017) „ein bauseits angebrachtes System, bestehend aus werkmäßig hergestellten Produkten, das als vollständiges System vom Systemhersteller geliefert wird und die in Abbildung 2 abgebildeten Komponenten umfasst, welche vom Systemhersteller speziell für das System und den Untergrund ausgewählt wurden“. Neben der Einhaltung zahlreicher Normen müssen insbesondere die Vorgaben der jeweiligen abZ eingehalten werden. Zusätzlich können (herstellerbezogene) technische Vertragsbedingungen (ZTV) verpflichtend sein oder Verarbeitungsrichtlinien der einzelnen Hersteller vorliegen.

Abbildung 2: Beispielhafter Grundaufbau eines WDVS



Quelle: GDV (2015)

Die Fixierung der WDVS auf dem Untergrund kann ausschließlich durch Kleben erfolgen. Zum Einsatz kommen Dispersions- bzw. mineralisch gebundene Klebe- und Spachtelmassen oder Klebeschaum. Außerdem ist eine mechanische Befestigung des Dämmstoffes mit Dübeln, mit Schienen oder Profilbefestigungen oder mit anderen bauaufsichtlich zugelassenen Befestigungsmitteln möglich (Riedel, Oberhaus, Frössel & Haegle, 2010). Sofern mineralische oder organische Klebemörtel eingesetzt werden, handelt es sich häufig um die gleichen Massen, die später auch als Unter- / Armierungsputz dienen.

Dübel sichern zusätzlich zum Kleber die Dämmplatten mechanisch an der Fassade. Die Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) vom 31. August 2017 (DIBt, 2017) enthält in der Technischen Regel „WDVS mit ETA nach ETAG 004“ genaue Vorgaben zum Einsatz von Dübeln als Zusatzbefestigung bei WDVS.

Die in WDVS verwendeten Dämmstoffe können grob in vier Materialtypen klassifiziert werden:

- ▶ Synthetische organische Dämmstoffe (Expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS), Extrudierter Polystyrol-Hartschaum (XPS), Polyurethan/Polyisocyanurat Hartschaum (PUR/PIR), Phenolharz/Resolhartschaum (PHF));
- ▶ Synthetische anorganische (mineralische) Dämmstoffe (Steinwolle (MW), Mineralschaum (Calciumsilikat), Aerogel, Schaumglas);
- ▶ Synthetische Verbundmaterialien (Vakuumpaneele (VIP));
- ▶ Natürliche Organische Dämmstoffe (Holzfaserdämmplatten, Holzwolle-Platten, Hanf, Kork).

Die Wärmeleitfähigkeit der unterschiedlichen Materialgruppen unterscheidet sich, liegt aber bei allen verwendeten Materialien im Rahmen der EnEV.

Putze mit mineralischen und organischen Bindemitteln unterscheiden sich in ihren Dicken und in ihren physikalischen Eigenschaften. Mineralische Putze bestehen aus Kalk und Zement und kommen als dick- und dünnlagige Putze vor. Bei organischen Putzen unterscheidet man Dispersionsputz (Kunstharzputz), Silikonharzputz und Dispersions-Silikatputz (Silikatputz). Organische Putze sind in der Regel pastös und mit Bioziden zur Topfkonservierung ausgerüstet, damit sie bis zur Nutzung auf der Baustelle nicht verderben.

Anstriche müssen auf den jeweiligen Oberputz abgestimmt sein und dürfen seine günstigen Wasserdampfdiffusionseigenschaften nicht beeinträchtigen. Sie werden in der Regel in einem Arbeitsgang und entsprechend den Herstellerrichtlinien aufgebracht. Anstelle der Putzbeschichtung, kann auch eine Verkleidung mit Keramik, Klinker, Natursteinen oder anderen Fassadenelementen angebracht werden (Riedel et al., 2010).

Baurecht für Dämmstoffe und WDVS

Die europarechtlichen Regelungen für die Vermarktung von WDVS finden sich in der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 die seit 1. Juli 2013, die bis dahin gültige Bauproduktenrichtlinie (BPR, 89/106/EWG) ersetzt (BauPVO, 2011). Die EU-BauPVO dient in erster Linie der Entwicklung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten im Binnenmarkt. Wenn Bauprodukte in einer Leistungserklärung Angaben zu ihren Leistungen nach den harmonisierten Regeln machen, dürfen sie die CE-Kennzeichnung tragen und sind frei handelbar. Anforderungen an die Verwendung der Bauprodukte fallen unter der EU-BauPVO ausschließlich in die Kompetenz der Mitgliedstaaten.

Während es bereits seit vielen Jahren harmonisierte Normen (hEN) für in WDVS eingesetzte Wärmedämmstoffe gibt, existieren bisher nur freiwillige Normen (Europäische Normen ohne CE-Kennzeichnung) für WDVS aus Mineralwolle und Polystyrol. WDVS können trotzdem eine CE-Kennzeichnung über die freiwilligen Europäischen Technischen Bewertungen (ETA/ETB) bekommen. Bis 2016 benötigten WDVS in Deutschland eine bauaufsichtliche Zulassung (abZ). Dies ist nicht mehr der Fall, falls das WDVS bereits eine ETB hat.

Nach den Vorgaben im deutschen Recht nach Vorbild der Musterbauordnung (MBO in der Fassung von 2016) gilt der Einbau eines WDVS (Dämmstoff, Brandriegel, Putz) als Bauart, deren Anwendung zu regeln, weiterhin in den nationalen Kompetenzbereich fällt. Die wesentlichen Bestimmungen für die Verwendbarkeit von WDVS finden sich neben allgemeinen Angaben und Definitionen in den Artikeln 2 und 3, vor allem in den Artikeln 16-28 und in Artikel 85a der Musterbauordnung. Nach § 2 MBO sind damit WDVS Bauprodukte bzw. Bausätze, ihre Verwendung als WDVS zählt jedoch als Bauart. § 16 enthält die grundlegenden Vorschriften für die Verwendbarkeit von Bauarten (§ 16a) und Bauprodukten (§ 16b).

Die bauwerksseitigen Anforderungen an Bauprodukte gemäß Bauordnung (früher Technische Regeln) mussten in Folge des EuGH Urteils C-100/13 von Herbst 2014 angepasst werden. § 85a der MBO enthält die Ermächtigung, die bauwerksbezogenen Schutzziele in Technischen Baubestimmungen zu

konkretisieren. Die aktuellen Vorgaben finden sich in der Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), die im August 2017 veröffentlicht wurde (DIBt, 2017). Die technischen Anforderungen an WDVS haben sich durch die neue Vorschrift nicht geändert. Für Bauarten, die von den Technischen Baubestimmungen nach § 85a wesentlich abweichen, muss eine Bauartgenehmigung erteilt werden. Eine Technische Baubestimmung ist in der MVV TB derzeit für bestimmte bewährte WDVS mit ETA enthalten. Für andere WDVS mit oder ohne ETA ist eine allgemeine oder vorhabensbezogene Bauartgenehmigung erforderlich.

WDVS können aktuell über eine abZ in Verbindung mit einer Bauartgenehmigung, eine ETB in Verbindung mit Konformität mit der Technischen Baubestimmung für WDVS oder eine ETB in Verbindung mit einer Bauartgenehmigung nachweisen, dass sie die Anwendungsbestimmungen der Bauordnung einhalten. Auch wenn mittelfristig hEN für WDVS erstellt werden, bleibt die Notwendigkeit von Technischen Baubestimmungen / Bauartgenehmigungen bestehen. Für geklebte oder gedübelte und geklebte WDVS mit einer ETA nach der „Leitlinie für Europäische Technische Zulassungen für Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme mit Putzschicht – ETAG 004“ mit Dämmstoffen aus Polystyrol (EPS) nach DIN EN 13163 (2017) oder Mineralwolle (MW) nach DIN EN 13162 (2015) gilt nun eine Technische Baubestimmung.

Die Änderungen der MBO stellen sicher, dass Bauprodukte und Bauarten klar getrennt sind. Durch die Änderungen wurde deutlich gemacht, dass zusätzliche, unmittelbare Produktanforderungen an CE-gekennzeichnete Bauprodukte (früher Bauregelliste B Teil 1) unzulässig sind. Ein Bauprodukt mit CE-Kennzeichnung benötigt grundsätzlich keinen Verwendbarkeitsnachweis, keine abZ und keine Übereinstimmungsbestätigung. Dies aber nur, wenn die erklärten Leistungen den festgelegten Anforderungen für die Verwendung entsprechen. Um zu gewährleisten, dass das Niveau der Bauwerkssicherheit gehalten wird, wurden die Bauwerksanforderungen konkretisiert und gestärkt. Produktbezogene Anforderungen an WDVS wurden gelöscht oder in bauwerksbezogene Anforderungen überführt. Die neuen Bauartgenehmigungen für WDVS enthalten auch alle für Dämmstoffe relevanten Aspekte. AbZ für Dämmstoffe mit hEN zur Anwendung in WDVS verlieren ihre Funktion als bauaufsichtlicher Verwendungsnachweis. Bestehende Zulassungen bleiben aber ohne Ü-Zeichen weiter gültig. Dämmstoff-abZ für Dämmstoffe ohne hEN / CE zur Anwendung in WDVS können weiter beantragt werden.

Relevant für WDVS in der MVV TB ist der Abschnitt A 2.1.5 mit Brandschutzanforderungen an Außenwände. Für WDVS mit EPS verlangt die MVV TB (A 2.1.5) verschiedene Brandriegel und weitere Vorsichtsmaßnahmen. Eine detaillierte Illustration der Vorgaben findet sich auch im FV-WDVS-Kompendium (Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme, 2016a). Des Weiteren enthält Abschnitt A 2.2 technische Anforderungen an die Planung, Bemessung und Ausführung. Darunter ist das dort angegebene Sockelprüfverfahren für WDVS mit EPS vorgeschrieben. Zusätzlich enthält Abschnitt B 2.2.1.5 die Technische Baubestimmung für WDVS mit ETA nach ETAG 004.

Klassifizierung und Brandprüfungen

Alle Anforderungen zum Brandschutz richten sich nach Gebäudeklassen (GK), die in § 2 Abs. 3 der MBO definiert sind. Wichtig für WDVS sind die Paragraphen § 14 (Bauliche Anlagen) und § 26 (Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen), vor allem aber ist § 28 (Außenwände) maßgeblich.

Das Ziel der Vorschriften für das Brandverhalten an der Außenwand ist es, an allen Fassaden zu verhindern, dass sich ein Brand schneller nach oben ausbreitet, als er es ohnehin über eine nichtbrennbare Fassade mit übereinander liegenden Fenstern tut. Das Bauordnungsrecht orientiert sich bei seiner Risikoabschätzung an der Auftrittswahrscheinlichkeit „üblicher“ Brände und überprüft seine Ansätze ständig anhand aktueller Schadensfälle (Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme, 2016a).

Baustoffe oder Bausätze werden in nichtbrennbar, schwerentflammbar, normalentflammbar, oder leicht entflammbar unterteilt.

Gemäß § 28 MBO müssen Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen mindestens normalentflammbar sein. Ab GK 4 (>7 m) gilt Schwerentflammbarkeit.

- ▶ Normalentflammbar: Baustoffe dürfen bei einem Entstehungsbrand nur einen begrenzten Beitrag zum Brand leisten. Das heißt, Entzündbarkeit und Flammenausbreitung müssen bei Einwirkung einer kleinen definierten Flamme (z. B. Streichholz) eine Zeitlang begrenzt sein. Brennendes Abtropfen oder Abfallen darf nicht auftreten.
- ▶ Schwerentflammbar: Baustoffe dürfen bei Einwirkung eines entstehenden Brandes nur einen begrenzten Beitrag zum Brand leisten, so dass es während des Brandes und nach Wegfall der Brandquelle nur zu einer begrenzten Brandausbreitung kommt. Die Brandeinwirkung soll gemäß MVV TB A 2.1.5 für WDVS statt einem Papierkorbbrand eine aus einer Wandöffnung schlagende Flamme sein. Brennendes Abtropfen / Abfallen ist nicht erlaubt.
- ▶ Nicht brennbare Baustoffe dürfen auch bei einem fortentwickelten, teilweise voll entwickelten Brand keinen (eigenen) Beitrag zum Brand leisten. Sie dürfen sich nicht oder nur begrenzt entzünden, minimal rauchen, nicht forschreitend Glimmen oder Schwelen und nicht Abtropfen oder Abfallen.

Tabelle 1: Baurechtliche Anforderungen an das Brandverhalten von WDVS nach Gebäudeklasse und Gebäudetyp

Gebäudeart	Mindestanforderungen an das Brandverhalten von WDVS
GK 1-3 (≤ 7 m OKF*)	normalentflammbar
GK 4-5 (≥ 7 m bis ≤ 22 m OKF*)	schwerentflammbar
Besondere Einbausituationen (z. B. Brandwände, Gebäudeabschlusswände, Laubengänge, Fluchtbalkone, etc.)	nicht brennbar
Hochhäuser (≥ 22 m OKF*)	nicht brennbar
Krankenhäuser und Pflegeheime (nicht betreutes Wohnen und nicht Seniorenheime ohne Pflege)	Gebäude > 1 Geschoss \rightarrow schwer entflammbar Gebäude > 5 Geschossen \rightarrow nicht brennbar
Verkaufsstätten	Eingeschossige Gebäude ohne und mehrgeschossige Gebäude mit Sprinkleranlage \rightarrow schwerentflammbar
Industriebau	Empfehlung zur Anwendung der Verkaufsstättenverordnung
Versammlungsstätten	keine verschärfenden Forderungen gegenüber Gebäuden normaler Art und Nutzung

*Oberkante des Fußbodens des höchstgelegenen Geschosses mit Aufenthaltsraum

Besondere zusätzliche Vorkehrungen gegen Brandausbreitung gelten für vorgehängte hinterlüftete Außenwandbekleidungen, Doppelfassaden und WDVS mit Dämmstoffen aus EPS. Die Übereinstimmung mit diesen Anforderungen wird durch eine Klassifizierung der einzelnen Bauprodukte auf der Basis von genormten Brandtests dokumentiert.

Die beiden grundlegenden Normen für die Klassifizierung des Brandverhaltens von Dämmstoffen und WDVS sind: DIN 4102-1 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 1: Baustoffe – Begriffe, Anforderungen und Prüfungen (1998) und DIN EN 13501-1 Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten, Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten (2010). DIN 4102-20 (2017) dient insbesondere dem Nachweis der Schwerentflammbarkeit von Außenwandbekleidungen (darunter WDVS). Welches Bauprodukt nach welchen Normen einzustufen ist, ergibt sich aus der MVV TB (DIBt 2017). Gemäß MVV TB erfolgt für alle Bauprodukte mit hEN oder ETA (d.h. alle klassischen WDVS-Dämmstoffe mit hEN und WDVS nach ETA) die Klassifizierung nach DIN EN 13501-1. Die Einstufung für WDVS ohne CE-Kennzeichnung erfolgt dagegen weiter nach DIN 4102-1. Die Normen prüfen keine Rauchgastoxizität.

DIN 4102-1 und DIN EN 13501-1 umfassen jeweils eine Reihe von Brandprüfungen, die in Abhängigkeit von der gewünschten Klassifizierung bestanden werden müssen. Eine detaillierte Übersicht findet sich im Anhang 10.5. Da das Brandverhalten des Dämmmaterials (aufgrund der Masse und des hohen Luftanteils) der bestimmende Parameter für das Brandverhalten eines WDVS ist, ist der Dämmstoff für die Klassifizierung von WDVS auch die Komponente, die bei der Brandprüfung primär untersucht wird. Mineralische Dämmstoffe (Steinwolle, Mineralschaum, Schaumglas und Aerogel) sind nicht brennbar (siehe auch Kapitel 2.4) und auch in Gebäuden > 21 m oder als Brandriegel und Sturzschutz über Fenster- und Türöffnungen einsetzbar. Organische Dämmstoffe sind grundsätzlich brennbar und werden deshalb in der Regel mit Flammenschutzmitteln behandelt.

Das Systembrandverhalten eines WDVS wird getestet, wenn die Laborbrandprüfungen der Bestandteile des WDVS keine ausreichende Bewertungsgrundlage für die gewünschte Einstufung des WDVS ergeben. Originalbrandprüfungen, die den tatsächlichen, realmaßstäblichen Bedingungen entsprechen, werden ausschließlich zum ergänzenden Nachweis des Brandverhaltens von schwerentflammablen Außenwandbekleidungen angewendet.

Prüfverfahren bei denen das Gesamtsystem bzw. ein realmaßstäblicher Ausschnitt geprüft wird sind: i) die Fassadenbrandprüfung nach DIN 4102-20 (2017), ii) das British Standard BS 8414-1 (2015) und iii) der Fassadenbrandversuch für EPS basierte WDVS nach MVV TB (Sockelbrandprüfverfahren, 2017). Wegen besondere Gefahren im Sockelbereich wird für WDVS mit EPS seit 2016 verpflichtend ein Sockelbrandprüfverfahren zur Prüfung der Schwerentflammbarkeit verlangt. Der Sockelbrandtest ist bisher noch nicht genormt, soll aber bis 2019 in DIN 4102-24 überführt werden. Zur europaweiten Vereinheitlichung der Fassadenbrandtests ist bereits eine Europäische Norm DIN EN 16724 (2017) zu Einbau- und Befestigungsbedingungen für die Prüfung des Brandverhaltens von WDVS erarbeitet worden.

Aufgrund wiederholter Brandfälle hat die Bauministerkonferenz 2015 (DIBt, 2015) außerdem für Bestandsbauten mit Fassadensystemen aus Polystyrol Instandhaltungsmaßnahmen und Maßnahmen zur Vermeidung der Brandlasten an der Außenfassade verabschiedet, die die Eigentümer oder andere Verfügungsberechtigte eigenverantwortlich umsetzen können. Unabhängig davon gilt für Baustellen außerdem ein Brandschutzkonzept, dass in jedem konkreten Einzelfall einzuhalten ist und sogar Vorrang vor der abZ hat.

Spezifisches Brandverhalten und Rauchgastoxizität

Um die Auswirkungen der WDVS im Brandfall beurteilen zu können, ist es neben der Brennbarkeit wichtig, die Rauchentwicklung, brennendes Abtropfen eines geschmolzenen Dämmstoffes oder das Abfallen von Dämmstoffteilen zu beurteilen. Eine Prüfung von Rauchgastoxizität und toxischen Brandrückständen ist für Baustoffe nicht üblich und wird hier als zusätzlicher Aspekt diskutiert.

Brände entwickeln sich nach einem relativ einheitlichen Schema aus einem Entstehungsbrand mit Zünd- und Schwellbrandphase, über einen Feuerübersprung „flash-over“ zu einem Vollbrand. Die

weitere Entwicklung ist abhängig von der Lage des Brands, der zur Verfügung stehenden Brandlast und der Sauerstoffzufuhr. Bei einem Raumbrand kommt es durchschnittlich 8 bis 12 Minuten nach dem „flash-over“ zu einem Vollbrand, der die Fensterscheibe sprengt. Brandtemperaturen erreichen bei einem Vollbrand schnell Temperaturen von > 800 °C.

Im Einzelnen zeigen die verschiedenen Dämmstoffe folgendes spezifisches Brandverhalten:

Polystyrol (EPS) schmilzt bereits ab 140 °C und fließt dann der Schwerkraft folgend innerhalb des WDVS herunter. Gefahren entstehen dadurch, dass erhitztes gasförmiges EPS die schützende Putzschicht sprengen kann, was zu einem explosionsartigen Brand an der darüber liegenden Fassade führt. Es kommt außerdem zu einer extrem starken Rauchentwicklung, unter anderem durch die eingesetzten Flammenschutzmittel. Brennendes Abtropfen ist bei schwerentflammabaren Außenwandbekleidungen nicht zulässig, wird aber im Praxisfall gelegentlich beobachtet. Durch selbständiges Brennen, Rauchentwicklung und brennendes Abtropfen werden Fluchtmöglichkeiten verschlossen und die Löscharbeiten besonders erschwert (Ries, 2015).

Polyurethan (PUR / PIR) und Phenolharz (PHF) schmelzen als Duroplaste nicht. Fassadenbrände mit diesen Dämmstoffen verbreiten sich deshalb langsamer als Fassadenbrände mit EPS. Beim Brand ist die Rauchentwicklung, bei PUR / PIR höher als bei PHF. Brennendes Abtropfen kommt nicht vor. Die Experten aus den Materialprüfungslabors gehen davon aus, dass PUR bei der Brandprüfung unter Toxizitätsgesichtspunkten (u.a. Isocyanate) problematischer ist als Phenolharz.

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wie Holzfaser und Kork sind als organische Dämmstoffe üblicherweise normal entflammbar. Mit Flammenschutzmitteln werden teilweise „höhere“ Klassen erreicht. Die Rauchentwicklung ist deutlich geringer als bei Kunststoffen, die Dämmstoffe schmelzen nicht und brennendes Abtropfen tritt somit nicht auf. Die Dämmstoffe können aber weiterschwelen.

Mineralwolle (MW) ist als nichtbrennbar eingestuft, leistet in Ausnahmefällen aber wegen der Bindemittelanteile ebenfalls einem kleinen Anteil zu einem Vollbrand und muss bei den Brandprüfungen aufgrund der Bindemittel auch einen speziellen Glimmtest bestehen. MW-basierte WDVS zeigen aufgrund des mineralischen Materials eine deutlich geringere Rauchentwicklung als Kunststoffe. Die Rauchgasdichte / -toxizität ist nach Ansicht von konsultierten Brandexperten nicht kritisch. Brennendes Abtropfen kommt bei MW nicht vor.

Toxische Gase – besonders Kohlenmonoxid (CO) – entstehen vor allem in der Schwelphase am Anfang und am Ende eines Brandes. Die akut toxische Wirkung von Kohlenmonoxid ist allgemein bekannt. Sie führt dazu, dass in einem Brandfall bei Rauchentwicklung nur wenige Minuten für die Flucht bleiben. Zusätzlich können Salzsäure, Phosgen, Stickoxide und Cyanide eine wichtige Rolle für die akute Toxizität spielen. Langfristig toxische Wirkungen ergeben sich vor allem aus der Entstehung von Kanzerogenen in den Brandrückständen. Die Toxizität von Brandgasen unterschiedlicher Dämmstoffe ist insgesamt wenig untersucht und die Informationen dazu sind zum Teil widersprüchlich. Ebenso liegen kaum Untersuchungen zur Toxizität der Brandrückstände vor. Zwei Studien (Exiba, 2014; Stec & Hull, 2011), kamen bei der Bewertung von akuten Toxinen mit unterschiedlichen Verfahren zu entgegengesetzten Ergebnissen beim Vergleich von mineralischen, synthetischen und nachwachsenden organischen Dämmstoffen.

Ressourcenschonung und Rezyklierbarkeit

Zum Thema Ressourcenschonung wurden der abfallrechtliche Rahmen, die Rückbaumethoden sowie die Verwertungsmöglichkeiten ausgewertet. Bislang gibt es für die Ressourcenschonung bei der Herstellung sowie für das Aufkommen von Abfall beim Gebäudeabriss keine spezifischen Anforderungen in der Vergabegrundlage des Blauen Engels für WDVS. Es wurde geprüft, ob eine Weiterentwicklung der Vergabegrundlage hinsichtlich Ressourcenschonung möglich ist.

WDVS werden durch den Rückbau zu Abfall, wodurch sie unter das Regime des Abfallrechts fallen. In den letzten Jahren hat sich rund um das Thema Dämmstoffabfälle einiges bewegt und weiterentwickelt. So trat im Juli 2017 die neue Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) in Kraft. Die GewAbfV verpflichtet gewerbliche Abfallerzeuger zu einer getrennten Erfassung von verwertbaren Abfällen. Weiterhin wurden mit der Novellierung der Abfallverzeichnisverordnung (AVV) im März 2016 die Vorgaben für die Entsorgung der Polystyrol-Dämmstoffe, die das Flammschutzmittel HBCD enthalten, neu geregelt. Aktuell gelten HBCD-haltige Polystyrol-Dämmstoffe als gefährlicher Abfall. Sie dürfen jedoch in allen Abfallverbrennungsanlagen entsorgt werden. Die Entsorgung in einer Sonderabfallverbrennungsanlage ist nicht erforderlich, da nur wenige Müllverbrennungsanlagen trotz technischer Eignung eine Zulassung für die Verbrennung gefährlicher Dämmstoffe haben.

Bei den derzeit üblichen Methoden zum Rückbau von Gebäuden wird üblicherweise zwischen konventionellem und selektivem Rückbau unterschieden. Der konventionelle Rückbau ist durch den Einsatz von schweren Maschinen gekennzeichnet, was die Arbeit erleichtert und beschleunigt. Allerdings vermischen sich beim konventionellen Rückbau die unterschiedlichsten Fraktionen, sodass für die Trennung und Rückgewinnung verwertbarer Materialien zusätzlicher Aufwand nötig wird.

Beim selektiven Rückbau ist dagegen eine Trennung der Materialien möglich, jedoch mit deutlich erhöhten Arbeits- und Kostenaufwand. Aktuell gibt es nur geringe Erfahrung, da bisher noch vergleichsweise wenig WDVS zurückgebaut werden. Folgende Trennverfahren eines WDVS können angewendet werden, a) manuelles Entschichten, b) maschinelles Entschichten, c) Abfräsen oder Bürsten sowie d) thermisches Entschichten.

Umfassenden Angaben zum Abfallaufkommen von einzelnen Dämmstoffarten liegen nicht vor. Zudem gibt es keine Zuordnung, wieviel der Dämmstoffe aus WDVS und wieviel aus anderen Dämmstoffanwendungen stammen. EPS-Dämmstoffe werden gemeinsam mit weiteren Dämmstoffen wie Mineralwolle, Polyurethan oder Holzwolle unter dem Begriff Dämmmaterial mit der Abfallschlüsselnummer 170604 zusammengefasst. Nur für die EPS-Dämmstoffe aus WDVS wurde explizit eine erste Berechnung von aktuellen und zukünftigen Abfallmengen durchgeführt (Albrecht & Schwitalla, 2015). Demnach ist das Abfallaufkommen aus WDVS sehr gering, da die Lebensdauer der bestehenden WDVS (40-50 Jahre), die ursprünglichen Annahmen teils weit übertreffen. Die Studie prognostiziert jedoch steigende Rückbaumengen, die bis 2050 etwa 50 000 t pro Jahr erreichen könnten. EPS-Abfälle aus WDVS können werkstofflich, rohstofflich und energetisch verwertet werden. Als Beispiel einer rohstofflichen Verwertung ist das CreaSolv®-Verfahren zu nennen.

Für mineralische Dämmstoffe, die derzeit zum größten Teil deponiert werden, liegen aktuell keine genaueren Berechnungen zu Abfallaufkommen vor. Getrennt erfasste sortenreine Steinwolldämmstoffe von der Baustelle können sehr gut in den Produktionsprozess zurückgeführt und beinahe zu 100 % recycelt werden. In der Praxis kommt es häufig vor, dass die Verwertung von Abbruchabfällen durch die große Vielfalt an verbauten Materialien und ihre Vermischung untereinander verhindert wird.

Zukünftig sollten Systeme entwickelt werden, die eine Rückgewinnung der Materialien nach Ende der Nutzungsphase erlauben. Bei einem komplett mineralischen WDVS aus mineralischem Klebstoff, Mineralschaumdämmstoff und mineralischem Putz wäre eine Trennung nicht erforderlich. Das System könnte mit dem Mauerwerk ohne vorherige Trennung zu Gesteinskörnungen verarbeitet werden. Bei WDVS, die eine Trennung der Materialien zwecks Recycling benötigen, können neue Befestigungstechniken die Rückbaubarkeit erleichtern. Solche sind bereits heute existierende Schienensysteme und Dübel sowie „Klettverschlüsse“ für WDVS.

Eine alternative Möglichkeit neben dem Rückbau ist eine sogenannte „Aufdoppelung“ der bestehenden Wärmedämmung. Das alte System wird dabei nicht demontiert (rückgebaut), sondern durch ein neues weiteres WDVS ergänzt.

Biozidfreie Putze und –anstriche für WDVS

Biozidfreie Putze und -anstriche für WDVS haben sich am Markt etabliert. Sie leisten einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Umwelteigenschaften von WDVS. Den Blauen Engel für WDVS können nur Systeme ohne Biozide erhalten. Im Rahmen des Projektes sollte untersucht werden, ob mit Hilfe eines Schnelltests eine einfache Prüfung der Gebrauchstauglichkeit der WDVS ohne Biozide möglich ist. Es sollte ferner geprüft werden, ob ein solcher Gebrauchstauglichkeitstest als Voraussetzung für die Erteilung des Blauen Engels eingeführt werden kann. Die Produkte sollten trotz Verzicht auf den Einsatz von Bioziden unter Praxisbedingungen eine geringe Neigung zu mikrobiellem Bewuchs aufweisen.

Im Rahmen des Projektes wurden zunächst biozidfreie Putzvarianten und Fassadenanstriche aus der bestehenden Produktpalette am Markt ausgewählt. Wesentlich dabei war, dass sowohl neue als auch bewährte Produkte in der Auswahl enthalten waren. Diese biozidfreien Putz- und Anstrichsysteme wurden durch eine gezielte Schnellbewitterung hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit gegenüber mikrobiellem Aufwuchs untersucht und damit ihre Gebrauchstauglichkeit und die Eignung mit dem Blauen Engel ausgezeichnet zu werden. Zusätzlich wurde die Oberflächentauwasserentwicklung bei Hinterkühlung gemessen, um zu klären, ob in dieser Hinsicht Anforderungen an biozidfreie Lösungen gestellt werden müssen. Schließlich wurden Empfehlungen abgeleitet, welche in die Kriterienvergabe für den Blauen Engel mit aufgenommen werden sollten.

Unter Verwendung eines speziellen am Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) entwickelten Testverfahren sollen die unter instationären Bedingungen auftretenden Unterschiede einzelner WDVS-Beschichtungen wiedergegeben werden. Dazu werden die Proben von verschiedenen Beschichtungssystemen in einer Bewitterungskammer (Abbildung 3) realitätsnahen Bedingungen ausgesetzt. Im Gegensatz zu gebräuchlichen Schnellbewitterungsverfahren werden hier nicht überhöhte Randbedingungen gewählt, sondern die realen klimatischen Verhältnisse zugrunde gelegt. Eine Beschleunigung wird dadurch erhalten, dass die relativ optimalen Wachstumsvoraussetzungen des Herbstklimas gewählt werden. Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass besonders im Herbst die Wachstumsbedingungen für Mikroorganismen günstig sind. Deshalb wurde aus den für den Standort Holzkirchen vorliegenden Klimadaten ein »mittlerer Herbsttag« ermittelt und dieses Klima in der Kammer nachgefahren (Künzel, Krus, Fitz, Hofbauer, Scherer, & Breuer, 2011).

Im Gegensatz zu den natürlichen Verhältnissen im Freiland müssen in der Schnellbewitterungskammer die Mikroorganismen auf die Beschichtungsproben aufgebracht werden. Dazu wird eine wässrige Suspension, die besonders häufige bauteilrelevante Pilz- und Algenspezies aus der institutseigenen Sammlung enthält, mit einem Pinsel aufgetragen. Die Versuchsdauer beträgt 15 Wochen, der Versuchsaufbau wird regelmäßig kontrolliert, die Aufwuchsaufnahme wird zweimal wöchentlich durchgeführt. Zur quantitativen Erfassung des Aufwuchses wird eine bereits am IBP entwickelte visuelle Bewertungsskala (Künzel et al., 2011) in modifizierter Form verwendet.

Abbildung 3: Schnellbewitterungskammer



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Eine Einschätzung der Widerstandsfähigkeit der Varianten gegenüber Aufwuchs zeigt Tabelle 2. Die Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufwuchs wurde dabei in 5 Stufen eingeteilt (hoch, gut bis mittel, mittel, mittel bis gering, gering). Im Allgemeinen, bezeichnet Aufwuchs die Gesamtheit aus Kleinstlebewesen, also Algen, Pilzen und Tieren (u.A. Schnecken und Krebse). In diesem Versuch, wurden, wie bereits erwähnt, besonders häufige bauteilrelevante Pilz- und Algenspezies verwendet.

Die Algen können in den 100 Tagen teilweise nur sehr kleine Kolonien ausbilden. Daher kann hier nur eine Schlusspunktbestimmung der Widerstandsfähigkeit in 3 Stufen erfolgen (hoch, mittel, gering).

Insgesamt liegt die Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufwuchs bei fast allen Varianten im Bereich von hoch bis mittel. Da es sich bei den untersuchten Varianten um bewährte Marktprodukte handelt, ist dieses Abschneiden nicht verwunderlich. Es zeigt aber auch, dass Beschichtungsprodukte von WDVS auch ohne den Einsatz von Bioziden hoch widerstandsfähig gegen Aufwuchs gestaltet werden können. Ausnahmen bilden die Varianten 13 und 5, die eine geringe bzw. mittlere bis geringe Widerstandsfähigkeit aufweisen.

Tabelle 2: Einschätzung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufwuchs

Variante	Material	Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufwuchs	Widerstandsfähigkeit gegenüber Algen
1	Silikonharzputz ohne Anstrich - BLAUER ENGEL	Hoch	Mittel

Variante	Material	Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufwuchs	Widerstandsfähigkeit gegenüber Algen
2	Silikonharzputz Anstrich: Kieselsol-Silikatfarbe - BLAUER ENGEL	Mittel	Gering
3	Silikonharzputz Anstrich: Fassadenfarbe mit Ultrahydrophobie - BLAUER ENGEL	Gut bis mittel	Gering
4	Silikonharzputz Anstrich: bionisches Wirkprinzip	Hoch	Hoch
5	mineralischer Trockenmörtel ohne Anstrich - BLAUER ENGEL	Mittel bis gering	Gering
6	mineralischer Trockenmörtel Anstrich: Silikonharzfarbe	Mittel	Mittel
7	mineralischer Trockenmörtel Anstrich: Dispersionsfarbe	Gut bis mittel	Mittel
8	mineralischer Trockenmörtel Anstrich: silikatische Kaliwasserglas-Farbe	mittel	Mittel
9	Sol-Silikatputz ohne Anstrich	Gut bis mittel	Mittel
10	Sol-Silikatputz Anstrich: Kieselsol-Silikatfarbe - BLAUER ENGEL	Hoch	Hoch
11	Sol-Silikatputz Anstrich: Dispersions-Silikatfarbe	Hoch	Hoch
12	Dispersionsgebundener Strukturputz ohne Anstrich	Hoch	Hoch
13	Dispersionsgebundener Strukturputz Anstrich: Dispersions-Silikatfarbe - BLAUER ENGEL	Gering	Hoch
14	Dispersionsgebundener Strukturputz Anstrich: Silikonharzfarbe	Hoch	Hoch
15	Dispersionsgebundener Strukturputz Anstrich: Dispersionsfarbe	Hoch	Hoch

In Abbildung 4 und Abbildung 5 sind der Endzustand der Oberflächen nach den 100 Tagen auf zwei Beispielvarianten zu sehen. Die Variante 11 mit einem Sol-Silikatputz gestrichen mit einer Dispersions-Silikatfarbe zeigt eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufwuchs, die Variante 13 mit einem Dispersionsgebundenen Strukturputz gestrichen mit einer Dispersions-Silikatfarbe zeigt eine geringe Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufwuchs.

Abbildung 4: Eine Parallele der Variante 11 zum Ende der Versuchslaufzeit



Quelle: eigene Darstellung, *Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)*

Abbildung 5: Eine Parallele der Variante 13 zum Ende der Versuchslaufzeit



Quelle: eigene Darstellung, *Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)*

Für die Beurteilung des Verbleibs von Tauwasser auf der Oberfläche wurde eine Versuchseinrichtung entwickelt, mit deren Hilfe es möglich ist, die nächtliche Betauung im Labor nachzuvollziehen. Bei der Entwicklung dieses Laborversuches sollte erreicht werden, dass die Bedingungen im Labor den Bedingungen an der Fassade möglichst ähnlich sind. Dies bedeutet vor allem, dass die Taupunkttemperaturunterschreitungen in der gleichen Größenordnung wie die bei Freilandversuchen ermittelten liegen sollten.

Da im Labor keine nächtliche Abstrahlung realisierbar ist, wird die Betauung der Prüfkörperoberfläche durch eine Unterkühlung der Probe mittels einer rückseitig angebrachten Kühlplatte hervorgerufen. Die zu untersuchenden Proben mit einer Oberfläche von 10 cm x 10 cm werden dazu mittels einer Wärmeleitpaste, die einen optimalen Wärmetransport zur Probe gewährleistet, auf einen Kühlblock aus Kupfer aufgebracht, dessen Kühlung über einen Kühlwasserkreislauf realisiert wurde. Für die Temperaturerfassung auf der Oberfläche wird ein spezieller sehr flacher Pt-100-Fühler mittels Schmelzkleber aufgebracht.

Um das Verhalten an der Fassade im Labor nachzuvollziehen, werden die Temperaturen so gewählt, dass die Taupunktunterschreitung sich in einem Bereich bewegt, der den natürlichen Taubedingungen entspricht. Die Betauungsdauer wird je Variante auf 1 Stunde, 2 Stunden, 4 Stunden und 6 Stunden eingestellt. Diese Betauungsdauer wird durch den Vergleich der gemessenen Oberflächentemperatur mit der Taupunkttemperatur im Klimaraum verifiziert. Das an der Oberfläche befindliche Wasser wird durch ein Abtupfen mit einem saugfähigen Vlies und anschließende Wägung bestimmt. Die zu untersuchenden Putzsysteme entsprechen denen der Prüfkörper aus den Untersuchungen in der Schnellbewitterungskammer. Die mittlere Raumtemperatur beträgt während der Messung 23,2 °C und

die mittlere relative Luftfeuchtigkeit im Raum liegt bei 65,8 %. Der Taupunkt ist im Mittel um 1,4 K unterschritten.

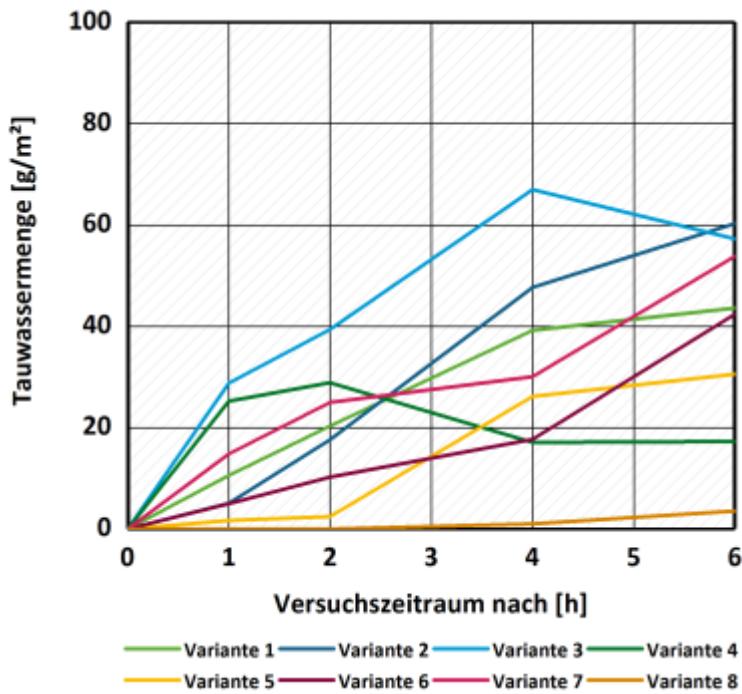
Die Ergebnisse der gravimetrisch bestimmten Tauwassermenge der verschiedenen Varianten bei unterschiedlichen Taupunktunterschreitungsdauern sind aus Tabelle 3 ersichtlich.

Tabelle 3: Übersicht der Tauwassermenge in Abhängigkeit von der Betauungsdauer.

Putzsystem	Tauwassermenge [g/m ²] bei einer Betauungsdauer von			
	1 h	2 h	4 h	6 h
Variante 1	10,6	20,3	39,2	43,6
Variante 2	5,1	17,6	47,7	60,3
Variante 3	28,8	39,4	67,0	57,3
Variante 4	25,3	28,9	17,1	17,2
Variante 5	1,7	2,5	26,1	30,6
Variante 6	4,9	10,2	17,6	42,4
Variante 7	14,8	25,0	30,0	53,9
Variante 8	0	0	1,0	3,5
Variante 9	0,9	0	12,3	13,1
Variante 10	0	0	0	10,9
Variante 11	5,7	23,2	67,4	95,7
Variante 12	0	0	0	0
Variante 13	0	0	0	2,7
Variante 14	2,2	4,3	10,9	16,6
Variante 15	0	0	0	20,7

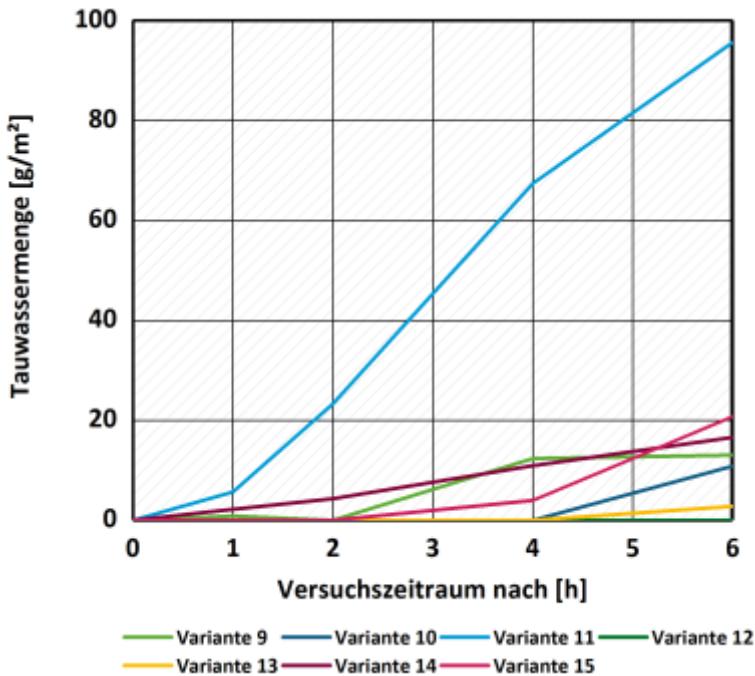
Die Tauwassermenge in Abhängigkeit von der Taupunkttemperaturunterschreitungsdauer für die einzelnen Varianten sind in Abbildung 6 für die Proben aus dem ersten Lauf und in Abbildung 7 für den zweiten Lauf, analog zu der Bestückung in der Schnellbewitterungsanlage grafisch dargestellt.

Abbildung 6: Zeitlicher Verlauf der Tauwassermenge auf den verschiedenen Varianten des ersten Laufs.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 7: Zeitlicher Verlauf der Tauwassermenge auf den verschiedenen Varianten des zweiten Laufs.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

In Bezug auf biozidfreie Putze und Schlussbeschichtungen ergab der Vergleich der Ergebnisse aus den Betauungsversuchen mit den Ergebnissen aus den Zyklenversuchen der Schnellbewitterungsanlage, dass teilweise sehr gute Übereinstimmungen bezüglich des zu erwartenden mikrobiellen Bewuchs gegeben sind.

Allerdings treten bei einigen Varianten gegensätzliche Ergebnisse auf. Dies kann darin begründet sein, dass das anfallende Tauwasser auf der Oberfläche und im Putzsystem selbst, je nach Eigenschaften des Putzes, schnell oder langsam wieder abtrocknet. Aus diesem Grund ist das Zusammenspiel des w -Wertes für die Wasseraufnahme² und des s_d -Wertes für den Wasserdampfdiffusionswiderstand³ mit entscheidend, um die Funktionsfähigkeit eines Putzsystems zu beurteilen.

Für die Beurteilung sollte deshalb nicht nur die Untersuchung in der Schnellbewitterungsanlage betrachtet werden, sondern ebenso das anfallende Tauwasser im Putzsystem selbst und nicht nur, wie im hier durchgeführten Laborversuch das Wasser auf der Probenoberfläche. Zusätzlich ist es sinnvoll, den Trocknungsverlauf nach einer maximalen Betauungsperiode zu erfassen, um beurteilen zu können, über welche Zeiträume den Bewuchs fördernde Feuchte vorhanden ist.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Zusammenfassend ergaben die Untersuchungen in dieser Studie, dass der Bedarf an Änderungen in der Vergabegrundlage des Blauen Engels für WDVS begrenzt sind. Für die Bewertung der Einhaltung der baurechtlich vorgeschriebenen Mindestanforderungen werden bisherige Anwendungszulassungen durch Bauartgenehmigungen und Technische Baubestimmungen ersetzt. Dies ist bei der Vergabe des Blauen Engels zu berücksichtigen.

Die Einführung von Zusatzanforderungen für das Brandverhalten von Dämmstoffen und WDVS in den Vergabegrundlagen des Blauen Engel wurden von den befragten Sachverständigen zurückhaltend bewertet. Die konsultierten Brandschutzexperten äußerten unter anderem folgende Überlegungen: Aus Gründen der Sicherheit im Brandfall könnten in der Vergabegrundlage Anforderungen an die Rauchgasdichte berücksichtigt werden. Der Einbau eines Brandriegels nach jedem Stockwerk wurde als zusätzliches Sicherheitselement für EPS-basierte WDVS gesehen. Von Anforderungen an das Glimmverhalten oder zusätzliche Glimmprüfungen wurde abgeraten. Im Blauen Engel zu verlangen, dass die Brandschutzanforderungen für die höchste Gebäudeklasse erfüllt werden müssen, wurde als sehr weitgehend für ein Umweltzeichen bewertet. Um zusätzliche Anforderungen an die Rauchgastoxizität oder die Toxizität der Brandrückstände von Dämmstoffen / WDVS formulieren zu können, ist die vorliegende Literatur nicht umfangreich und aussagekräftig genug. Die brand- und feuchteschutztechnischen Vorteile von Dickschicht-Putzsystemen oder von vorgeputzten Dämmplatten (Dorsch, Kaiser, Niklasch, Schöpgens, & Spritzendorfer, 2017, Küppers, Zehfuß, Steeger, & Kampmeier, 2016) könnte der Blaue Engel durch eine positive Bewertung herausheben.

Auch in Bezug auf Ressourceneffizienzaspekte und Rezyklierbarkeit erscheinen eindeutige Empfehlungen für den Blauen Engel schwierig zu sein. Die vorliegenden Informationen sind zu begrenzt, um daraus ein schlüssiges Kriterium für die Herstellung bzw. die Herkunft von WDVS zu entwickeln. Die Sachverständigen sind sich jedoch einig, dass Transparenz der Rohstoffherkunft und der Prozesskette für die eingesetzten Dämmstoffe im WDVS darzustellen ist. Die Umweltpunktdeklarationen (EPDs) werden bisher bei Umweltzeichen nicht ausgewiesen, dies könnte aber problemlos als Kriterium in die Vergabegrundlage ergänzt werden.

Verschiedene „alternative Fassadensysteme“ für die Außenwand in Kombination mit einer Wärmedämmung sind neben den WDVS möglich, sowohl im Neubau als auch in der Sanierung eines

² DIN 4108-3:2014-11 definiert den Wasseraufnahmekoeffizienten w als die kapillar aufgenommene Wassermasse bezogen auf die Wurzel aus der Zeit und auf die wasseraufnehmende Fläche.

³ DIN 4108-3:2014-11 definiert die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke als Dicke d einer ruhenden Luftschicht, die den gleichen Wasserdampf-Diffusionswiderstand besitzt wie eine betrachtete Bauteilschicht bzw. ein aus Schichten zusammengesetztes Bauteil; $s_d = \mu \times d$.

Gebäudes. Für den bisherigen Geltungsbereich der Vergabegrundlage (nur WDVS) könnte es mittelfristig bedeuten, weitere Fassadensysteme mit aufzunehmen.

Das Thema „Dauerhaftigkeit von Fassadendämmsystemen“ wurde aus Sicht der Experten als ein wichtiger Punkt angesprochen. Dies wird bereits in der Vergabegrundlage des Blauen Engels angesprochen, die die Bereitstellung detaillierter Verarbeitungshinweise für Bauleiter, Handwerker sowie Bauherren fordert. Eine Schwierigkeit scheint hier, dass die Handwerker vielfach zu wenig Zeit für den Einbau haben, um ihn wirklich nach einem „Leitfaden zur Montage“ durchzuführen.

Generell bieten die Ansätze Schnellbewitterung und Untersuchungen zu Oberflächentauwasser, in Kombination, sehr gute Möglichkeiten, die Widerstandsfähigkeit von Schlussbeschichtungen von WDVS nachzuweisen. Biozidfreiheit sollte weiterhin ein Vergabekriterium des Blauen Engels bleiben. Es sei denn, in der Zukunft würden Schutzstoffe entwickelt, die ausschließlich an der Fassade auf die Zielorganismen wirken und nicht in die Umwelt gelangen.

Summary

Context and objectives

The energy concept presented in 2010 by the German government aims at reducing the greenhouse gas emissions in a stepwise process, in comparison with 1990. It is planned to reduce emissions by 2020 to the extent of 40 %, by 2030 to 55 %, by 2040 to 70 %, and 80-95 % by 2050. These reductions are intended to slow down the progression of climate change. To achieve these goals, it is crucial to improve the energy efficiency of buildings, since their heating is responsible for around 30 % of the total energy consumption in Germany. Therefore, it is planned to double the renovation rate and to reduce stepwise the primary energy consumption of buildings by 80 % in the timeframe of 2020-2050. In particular, buildings built before 1977 have a high energy demand. An energy rehabilitation of such buildings with the help of external thermal insulation composite systems will make an important contribution to the climate goals.

The eco-label "Blauer Engel" (blue angel) identifies products, which when compared to other products, are more environmentally-friendly and more sustainable. Since 2010, the indication RAL UZ 140 „Wärmedämmverbundsysteme“ (engl. external thermal insulation composite systems, ETICS) (Blauer Engel, 2010) has been awarded to ETICS which are low in hazardous substances. These include critical flame retardants, propellants, and biocides. Furthermore, only products which are approved by the building authorities are considered. Also, certain minimum energy requirements are demanded. These requirements are based on the German energy saving regulations (EnEV, see also chapter 4.3.1). Additional requirements, regarding the conserving of resources and recycling are not considered yet. In the context of fire protection, RAL UZ 140 lacks specific own criteria and refers to the requirements of building law. In the current version, the award criteria apply for all ETICS, that have a technical approval (abZ⁴) and are installed according to the DIN standard 55699 edition 2005-02 „Verarbeitung von Wärmedämmverbundsystemen“ (engl. processing of ETICS, see also chapter 3).

In 2016 a total of 21 ETICS (19 mineral wool based and 2 mineral foam based systems) carried the eco-label "Blauer Engel" (see chapter 3.3). In 2017 further insulating systems have been added.

Based on this background, this research project aims at elaborating to what extent the "Blauer Engel"-award criteria for ETICS need to be adopted to further develop this award as an innovative and sustainable tool in climate protection. Based on expert discussions, literature research and laboratory tests this research project answers open questions about fire safety, life cycle issues, possibilities of recycling, and durability of biocide-free plasters and coatings.

Temporal development of the application of ETICS and insulation thickness

Following the introduction of the first requirements and standards concerning the thermal insulation of buildings, first ETICS with hard polystyrene foam sheets were introduced for building insulation starting from the mid-1950s. In the mid-1970s the mineral wool enabled the insulation of public, high-rise, and industrial buildings with ETICS. Around the year 2000, the use of ETICS with other insulating materials like polyurethane, phenolic, and mineral foams started. In special cases also foam glass, aerogel, polycarbonate foam, and vacuum insulation panels can be used in ETICS. In the last few years,

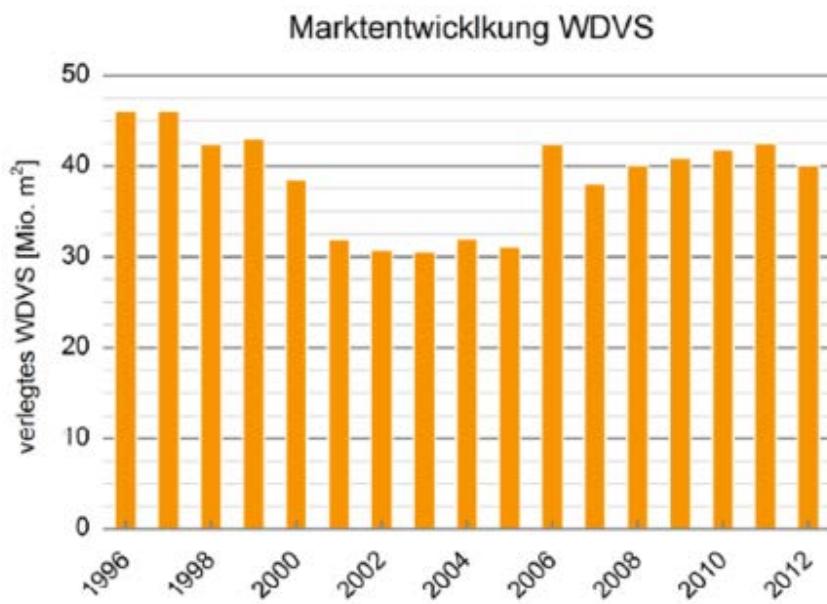
⁴ The technical approvals (german: allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, abZ) for ETICS allow the use various thermal insulating materials, plasters and so on as long as the overall system complies with the respective requirements. At the time point, when the literature research was performed (1/2016) ETICS based on the following insulation materials had an abZ: mineral wool, polystyrene, wood fibres, mineral foam, polyurethane, phenolic foam, aerogel).

the use of insulating materials based on renewable resources (wood, hemp, cork) for ETICS has increased to a small degree.

A comprehensive summary for the years 1996-2012 shows, that the annual ETICS volume varies between 30 and 45 million m² (see Figure 1). Pursuant to the latest information provided by the German trade association “Wärmedämm-Verbundsysteme e.V.”, a total of 940 million m² ETICS were installed in Germany until the year 2016. Whereby, annually 35 to 40 million m² are added to this number.

Because of higher energetic requirements, the insulation thickness of ETICS has continuously increased. In 2012, the mean insulation thickness was around 125 mm (see chapter 2.1).

Figure 1: Temporal development of annual ETICS installation starting in 1996



Source: Sprengard et al., 2013

ETICS' market situation in Germany

According to the recent data (2nd quarter 2017) of the German trade association “Dämmssysteme, Putz und Mörtel e.V. – VDPM”, expanded polystyrene (EPS) has a market share of 70 % of all insulation materials used in ETICS. According to expert opinions, grey EPS, which is a new graphite containing product variant with a higher insulating effect, has a market share of over 40 %, with a rising trend. With around 20 % market share, mineral wool occupies second place. Extruded polystyrene (XPS) is exclusively used in building areas which are exposed to splash water or to the ground (e.g. plinth) and is not relevant for ETICS above the plinth. With only 4 % market share, ETICS made of renewable resources are a niche product (see chapter 2.2). A comprehensive overview of all ETICS approved to be used until 2016 is available on the homepage of the Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt, German Institute for Building Technology).

According to numbers available in January 2016⁵, there are 153 manufacturers of ETICS or related components in Germany. Several hundred ETICS, based on mineral wool, polystyrene, wood fibres, mineral foam, polyurethane, phenolic foam, and aerogel have been technically approved for use. By far,

⁵ https://www.dibt.de/de/zv/NAT_n/zv_referat_I11/SVA_33.htm (accessed 8.1.2018)

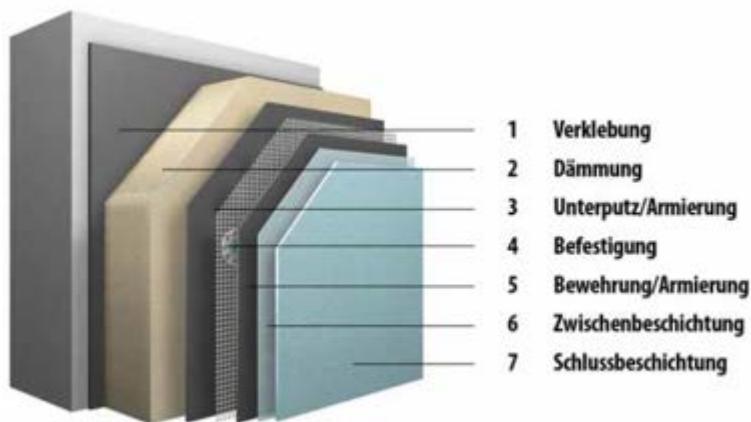
most approvals are held by ETICS with glued or dowelled insulating material and by glued ETICS based on mineral wool and EPS.

The approximately 150 ETICS manufacturers are organised in various industrial associations, which cover, based on historical reasons, different fields of activity (see chapter 2.4). The most important associations are: „Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V. (FV WDVS)“, „Industrieverband WerkMörtel e. V. (IWM)“, „Fachgruppe Putz & Dekor im Verband der deutschen Lackindustrie e. V.“, and „Bundesverband Farbe Gestaltung Bautenschutz (BV-Farbe)“. Since May 2017, the first two associations are merged into a single association called “Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V. – VDPM”.

Components of an ETICS

An external thermal insulation composite system (ETICS) is, according to DIN 55699 (2017), an on-site installed system, consisting of factory made products, that are delivered as a whole system by the producer. The ETICS includes components as shown in Figure 2. These components are delivered by the producer and are specially selected for the respective system and base. In addition to the compliance requirements of the relevant standards and technical approvals (abZ) must be met. In addition, manufacturer-specific technical terms (ZTV) can be mandatory. Potential processing guidelines by the respective producer may also exist.

Figure 2: Schematic representation of an ETICS: 1) adhesive, 2) insulation, 3) base render / reinforcement, 4) dowels 5) reinforcement 6) intermediate coat, 7) top coat



Source: GDV (2015)

It is possible, that the ETICS is fixed with an adhesive only. Dispersion based and mineral adhesives can be used as well as adhesive foams. It is also possible, to attach the insulating material mechanically by using dowels, tracks, profile mountings, or other approved materials (Riedel, Oberhaus, Frössel & Haegele, 2010). If a mineral or an organic adhesive mortar is used, the same material is often used as base- or reinforcement plaster too.

In addition to fastening by adhesives, dowels mechanically mount the insulating panel on the facade. The model administrative regulation for technical building regulations (German: Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen, MVV TB) of August 31st 2017 (DIBt, 2017) contains exact requirements for the usage of dowels in terms of an additional fastening (technical rule “ETICS with an ETA based on ETAG 004”).

Insulating materials, which are used in ETICS, can be divided into four main categories, based on the material used:

- ▶ Synthetic organic insulating materials (expanded polystyrene hard foam (EPS), extruded polystyrene high-resistance foam (XPS), polyurethane/polyisocyanurate hard foam (PUR/PIR), phenolic foam/resolic resin (PHF));
- ▶ Synthetic inorganic (mineral) insulating materials (mineral wool (MW), mineral foam (calcium silicate), aerogel, glass foam);
- ▶ Synthetic composites (vacuum insulation panels (VIP));
- ▶ Natural insulating materials (wood fibreboards, wood wool boards, hemp, and cork).

The thermal conductivity is different for each material group. All listed materials can be used to fulfil the German energy saving regulations (Energieeinsparverordnung, EnEV).

Renders containing mineral and organic binding agents differ in their thickness and physical properties. Mineral renders are made of lime and cement and are used as thin- and thick-layer renders. Organic renders are divided in dispersion (synthetic resin), silicone resin, and dispersion-silicate based renders. These renders are mostly pasty and contain biocides for in-can preservation, so that they don't spoil until arriving at the construction site.

Coatings must be matched to the finishing plaster and its vapour transmission properties. Therefore, coatings and the finishing plasters are installed in one single working step, according to the individual manufacturer guidelines. Instead of plaster coatings, it is also possible to use claddings made of ceramics, clinker, natural stones, or other facade elements (Riedel et al., 2010).

The legal situation of insulation materials and ETICS

The European legislation on the marketing of ETICS can be found in the European construction products regulation (EU) No. 305/2011⁶, which became effective from the 1st of July 2013 and replaced the construction-products directive (CPD, 89/106/EEC). The regulation is devoted to the EU-wide development of harmonised conditions for the marketing of construction products. When a construction product declares its performances according to the harmonised rules, it is entitled to carry the CE marking and to be traded freely. Requirements concerning the use of construction products fall under the competence of the individual member states.

Up to now, only voluntary standards, without CE marking, exist for ETICS made of mineral wool and polystyrene, although harmonised standards (hEN) for insulation materials used in ETICS have existed for many years. However, ETICS can get CE marking with a voluntary technical assessment (ETA) by the European Organisation for Technical Assessment (EOTA). Until 2016 a technical approval was mandatory for the use of ETICS in Germany. This is not the case anymore with regard to ETICS with an ETA.

According to German regulations, based on the model building regulation (Musterbauordnung, MBO) of 2016, the installing of an ETICS (insulation material, fire block, renders) is considered as a construction technique ("Bauart"), which national authorities have the competence to regulate. Essential requirements for the application of ETICS can be found, next to general considerations and definitions in articles 2 and 3, in articles 16-28, and 85a of the German model building regulation ("MBO"). According to § 2 MBO ETICS are construction products or construction kits. However, when

⁶ Regulation (EU) No. 305/2011 of the European Parliament and of the Council of the 9th march 2011 for laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC.

used, these kits are a construction technique according to § 16. This paragraph contains basic rules on the usage of construction techniques (§ 16a) and construction products (§ 16b).

The demands upon building products in accordance with building regulations have been adapted due to the European Court of Justice's (ECJ) decision (C-100/13, from autumn 2014). The current requirements are laid down in the Model Administrative Rules – Technical Building Regulations ("Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen", MVV TB), which were published in August 2017 (DIBt 2017). However, the general requirements on ETICS were not affected by this new regulation. Construction techniques, which lack appropriate technical building regulations according to MBO, § 85a, require a construction technique permit. A technical building regulation is included in the MVV TB currently for certain established ETICS with ETAs. Other ETICS with or without an ETA require a general or a project-specific construction technique permit for use.

ETICS can currently show their conformity with the use requirements either with a technical approval combined with a construction technique permit, an ETA in conformity with a technical building regulation for ETICS or an ETA with a construction technique permit. Also, ETICS according to future harmonised standards will need to conform to technical building regulations or construction technique permits. The present technical building regulation applies to glued and/or dwelled ETICS, in accordance to ETAG 004 with insulation material based on EPS (DIN EN 13163, 2017) or mineral wool (DIN EN 13162, 2015).

The modifications of the building regulation ("MBO") ensure that requirements for building products and construction works are clearly separated. The changes highlight that additional product requirements, which affect CE-marked building products (previously covered by the "Bauregelliste B Teil 1"), are inadmissible. Generally, a construction product with CE-marking does not need any other usability certificate. However, this only applies when the declared performances are in accordance with the application requirements. At the same time the changes in the MBO ensure the level of safety in construction, and substantiate and strengthen the requirements for buildings. Product related requirements for ETICS were deleted or transferred into construction-related requirements so that the new construction technique permits for ETICS also contain all aspects which are relevant for insulation materials. Technical approvals (abZ) for insulation materials with harmonised standards (hEN) for use in ETICS are not issued anymore. Already existing approvals remain valid without the Ü label. Approvals (abZ) for insulation materials without hEN for use in ETICS, can still be applied for.

Section A 2.1.5 of the MVV TB on the fire safety of external walls is of relevance for ETICS. For ETICS made of EPS the MVV TB (A 2.1.5) prescribes fire blocks and additional precautions. A detailed illustrations of these regulations can be found in the ETICS compendium of the Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme (2016a). Additionally, section A 2.2 contains technical requirements for planning, dimensioning and implementation applicable to ETICS. Also, a socle test method is defined here and its use required for ETICS based on EPS. Section B 2.2.1.5 contains the technical building regulation for ETICS on the basis of ETAG 004.

Classification and fire testing

All regulations concerning fire protection are based on building classifications ("Gebäudeklasse", GK), which are defined in § 2 section 3 of the MVV TB. In the case of ETICS, three individual paragraphs apply: § 14 (buildings), § 26 (fire behaviour of building materials and building parts), and especially § 28 (outer walls).

The goal of the fire behaviour regulation is to prevent fire spreading any quicker on a facade equipped with ETICS than at non-combustible one with overlying windows and without ETICs. The risk assessment of German building law considers the likelihood of "common" fire occurrences and

validates the chosen precautions constantly upon new damage cases (Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme, 2016a).

Building materials and construction kits are divided into four categories: non-combustible, flame resistant, normally inflammable, and easily inflammable.

According to § 28 of MBO, surfaces of outer walls and outer wall claddings, including insulation material and substructures, must be at least normally inflammable. Starting from building classification 4, which means buildings higher than 7 m, surfaces need to be at least flame resistant.

- a) Normally inflammable building materials are only allowed to have a minor contribution to the fire. This means that flammability and flame spread must be limited for a distinct time under the impact of a defined small flame (e.g. matchstick). The occurrence of flaming droplets or a fall-off of building material is not allowed.
- b) Flame resistant building materials are only allowed to have a minor contribution to the fire, in this case this means that during a fire, after the primary fire source is extinguished, there is only a limited spread of fire. The simulated fire impact for ETICS should be, according to MVV TB, Section A 2.1.5, comparable to a fire out of a wall opening (instead of a fire which is caused by a burning of a paper basket). The occurrence of flaming droplets or a fall-off is not allowed.
- c) Non-combustible building materials should not contribute to an already developed or full-scale fire. The materials are not allowed to ignite or allowed to ignite to a limited extent only. In addition, the materials may cause smoke to a limited extent, but may not glow, smoulder, form flaming droplets, or fall-off.

Table 1: Construction-law requirements for the fire behaviour of ETICS in accordance to the respective building class and building type

Building type	Minimum requirements for the fire behaviour of ETICS
Building class 1-3 (≤ 7 m OKF*)	Normally inflammable
Building class 4-5 (≥ 7 m to ≤ 22 m OKF)	Flame resistant
Special situations (e. g. fire walls, pergola, escape balconies, and so on)	Non-combustible
High-rise buildings (≥ 22 m OKF)	Non-combustible
Hospitals and nursing homes (not included: assisted living and retirement homes without nursing)	Building > 1 floor \rightarrow flame resistant Building > 5 floors \rightarrow non-combustible
Sale locations	One-story buildings without and multilevel buildings with Sprinkler system \rightarrow flame resistant
Industrial buildings	Advice to use the sale locations regulation
Meeting locations	No exacerbating demands for buildings of regular type and utilisation

*OKF= top edge of the floor of the highest floor with an inhabited room

Special additional provisions apply for ventilated curtain walling, double facades, and ETICS with insulation materials made of EPS. The agreement with these requirements is documented by the classification of the individual building products on the basis of standardised fire tests.

The basic standards for the fire behaviour classification of insulation materials and ETICS are: DIN 4102-1 on fire behaviour of building materials and building parts, part one: building parts – Terms, requirements, and tests (1998) and DIN EN 13501-1 on the Fire classification of construction products

and building elements - Part 1: Classification using data from reaction to fire tests; (2010). DIN 4102-20 (2017) serves predominantly for the verification of the flame resistance of exterior wall claddings (what includes ETICS). Based on MVV TB (DIBt 2017), it is possible to categorise the building products to the respectively required test standards. All building products with hEN or ETA are classified according to DIN EN 13501-1. For the classification of ETICS without CE marking DIN 4102-1 is applicable. None of these test standards cover the toxicity of smoke gases.

DIN 4102-1 und DIN EN 13501-1 cover various fire tests, which must be passed depending on the specific classification. A detailed overview of these tests can be found in annex 10.5. Because of the relative mass and the high air content, the fire behaviour of the insulation material determines the fire behaviour of the entire ETICS. The insulation material is therefore the primary target of fire behaviour tests on ETICS. Mineral insulating materials (mineral wool, mineral foam, foam glass, and aerogel) are non-combustible (see chapter 2.4) and can be used in external walls of buildings higher than 21 m as well as in fire blocks and/or fall protections installed above windows or doors in all buildings. Organic insulating materials are flammable and thus mostly treated with flame retardants.

The fire behaviour of an ETICS as a whole is tested, if the results of the laboratory fire test of the individual components do not fulfil the criteria for the desired class. Fire behaviour tests of ETICS in their installed condition are possible with the help of a life-sized laboratory test stand. Outdoor large-scale fire tests are solely used for additional proof of fire behaviour of flame resistant exterior walls.

Test procedures, in which the entire system or a life-sized section is tested, are: i) the facade fire test according to DIN 4102-20 (2017), ii) the British Standard BS 8414-1 (2015) and iii) a plinth fire test (Sockelbrandprüfverfahren, 2017) which describes a facade fire test applied to ETICS based on EPS. The test mentioned in iii) is obligatory for all ETICS containing EPS since 2016, because special risks apply to the plinth area. Until now, this test is not standardised, but it is planned to include it in DIN 4102-24 until 2019. With the goal of a European harmonisation of all necessary fire tests for ETICS the standard DIN EN 16724 (2017) Thermal insulation products for building applications - Instructions for mounting and fixing for determination of the reaction to fire testing of external thermal insulation composite systems (ETICS) has already been established.

In 2015, due to repeated fire cases the German conference of building ministers adopted measures for i) maintenance work and for ii) fire load prevention of polystyrene-based ETICS (DIBt, 2015). These measures can be realized by the owner or other designated authorities on their own responsibility. Independently of this, a special fire protection concept applies to building sites. This concept is binding and takes precedence over abZ.

Specific fire behaviour and fume toxicity

To check the effects of ETICS in the case of a fire, there are several things to assess: standard non-flammability, average smoke emission, risk of formation of combustible droplets of a melted ETICS insulation material, and the possibility of ETICS' insulation material fall off. An examination on the toxicity of fire gases and fire residues, is not commonly made for buildings and is therefore discussed as an additional feature.

Generally, fires develop according to a relatively uniform scheme: an initial fire, with an ignition- and smouldering-phase, a growing phase, a flashover, and a fully developed fire. Further development is dependent on the location, load, and the oxygen supply of the fire. When a fire occurs in a closed room, it takes 8-12 min after the flashover before the fire is fully developed. This type of closed room fire is characterised by a bursting of the windows and temperatures of > 800 °C.

Individually, the different ETICS exhibit the following fire behaviour:

Polystyrene (EPS) melts starting from 140 °C and then flows down the ETICS with gravity. Gaseous EPS is also produced and can burst the protective plaster, which potentially leads to an ignition of the overlying facade. Furthermore, an increased smoke development occurs, what is partially caused by flame retardants. While ETICS classified as flame resistant may not form burning droplets, this is sometimes seen in actual cases. Generally, independent burning, smoke development, and burning droplets block escape routes and impede firefighting operations. (Ries, 2015).

Polyurethane (PUR / PIR) and phenolic resins (PIR) do not melt as they are thermoset plastics. Therefore, fires on facades equipped with this type of ETICS develop slower compared to those with EPS. In the case of a fire, the smoke development is higher for PUR / PIR- than for PHF-ETICS. The formation of burning droplets is not observed. However, experts in the field of material testing assume that PUR materials are more problematic when it comes to their toxicity (inter alia: isocyanates) compared to phenolic resins.

ETICS made of renewable resources (wood fibre, cork) are usually considered as normally flammable. Higher flame resistance classes are in reach when flame retardants are used. Compared to synthetic materials, smoke development is significantly reduced. Furthermore, melting and the formation of burning droplets is not possible. However, smouldering is possible.

Mineral wool is generally considered to be non-combustible, but in exceptional cases it is possible that proportions of binding agents contribute to a fire, though only in a reduced manner. If the flammability is tested, the binding agent needs to pass a special smouldering test. Mineral wool-based ETICS exhibit a significantly lower smoke development when compared with synthetic ones. The density and toxicity of the smoke is, according to consulted experts, not critical. The formation of burning droplets does not occur.

Toxic gases, in particular carbon monoxide (CO), form during the smouldering phase at the beginning and at the end of a fire. The acute toxicity of carbon monoxide is commonly known, and results in a timeframe of only a few minutes for escaping a fire with smoke development. In addition, hydrochloride acid, phosgene, nitrogen oxide, and cyanide play important roles for acute toxicity. Long term toxicity risks are connected to the formation of cancerogenic fire residues. General information concerning the toxicity are rarely found and partially contradictory. Furthermore, there are only a few investigations in the toxicity of fire residues. Two independent studies (Exiba, 2014; Stec & Hull, 2011) came to different results and conclusions, though both studies compared the formation of toxins of mineral, synthetic, and renewable ETICS in case of a fire.

Resource preservation and recycling

In the context of conserving resources, this report evaluates waste regulations, methods of reconstruction, and recycling possibilities. Until now, there are no specific demands by the eco-label "Blauer Engel" upon the preservation of resources during production of ETICS or for waste created during the demolition of buildings with ETICS. A possible further development regarding resource conservation of the awarding criteria was evaluated.

After demolition of a building, ETICS become waste and are therefore subject to waste legislation. In the last few years, there have been some significant changes concerning the regulation for thermal insulation materials as waste. In July 2017 for example, a new commercial waste ordinance (GewAbfV) became effective. This ordinance, obligates a commercial waste producer to gather utilisable wastes independently from each other. Furthermore, the amendment of the ordinance on the list of wastes (AVV) in March 2016, re-examined the provisions for the waste disposal of EPS, which contain hexabromocyclododecane (HBCD) as a flame retardant. Currently, HBCD-containing EPS are regarded as hazardous waste. However, it is legal to dispose of them in regular waste incineration plants. A disposal in a hazardous waste incineration plant is not required. Only a few incineration plants are

authorised for the treatment of hazardous waste, although all waste incineration plants are technically suitable to destroy HBCD safely.

The current commonly used two methods for the demolition of buildings are a conventional and a selective method. The conventional method uses heavy equipment, which makes the work easier and faster. However, the different waste fractions are mixed, with the result that separation and recycling are only possible at an additional expense. On the contrary, the selective demolition enables the separation of different materials. However, this is accompanied by higher efforts and costs.

Right now, only limited knowledge regarding selective demolition of ETICS exists, since only small amounts of ETICS have been demolished to date. The following separation technique are used: a) manual de-coating b) mechanical de-coating c) mill off or brushing and d) thermal de-coating. Each technique has its advantages and disadvantages.

Comprehensive information on waste volumes of the different thermal insulation materials do not exist. In addition, there is no information whether this waste is generated from use as an ETICS or if the material was used in other applications. All waste generated by the different thermal insulation materials is cumulated under the same waste code number: 170604, this includes EPS- mineral wool-, polyurethane-, and wood wool-materials. Only for EPS-ETICS there is an initial calculation on current and future waste amounts (Albrecht & Schwitalla, 2015). According to these calculations, the ETICS waste amount is considerable small, since the lifetimes of existing ETICS (40-50 years) exceed the original assumptions. However, the study predicts that the waste amount resulting from demolition will increase to around 50 000 t per year by 2050. The waste out of EPS-ETICS can be recovered to produce recycled materials, new chemicals or energy. EPS-recyclates free of HBCD can be created via the CreaSolv®-process.

For mineral thermal insulation materials, that are landfilled today, there are no current calculations of the waste amount. The re-use of separately collected new mineral wool from the building site in the production process is possible, so that a 100 % recycling rate is reached. In practice, the recycling of demolition waste is hindered by the wide variety of materials and by the mixing of materials.

For the future, systems which enable the recovery of materials after reaching the end of their service life should be developed. A completely mineral ETICS consisting of a mineral adhesive, a mineral foam insulation and a mineral plaster would not require separation. This kind of ETICS could be used as raw material for aggregates together with the masonry without separation. For the ETICS that do require separation to be recycled new fastening technologies can facilitate this. Track systems, dowels, and Velcro fasteners are already available on the market.

An alternative aside from removing an ETICS for reconstruction is to double the existing thermal insulation, thereby the old system is not demounted but rather supplemented by a new ETICS.

Biocide-free plasters and coatings used in ETICS

Biocide free plasters and coatings used in ETICS are now long-established on the market and contribute significantly to the improvement of ETICS' environmental properties. The eco-label "Blauer Engel" is only awarded to ETICS that don't use biocides. In the context of this project, it was examined if a quick-test would be able to determine the fitness for use of biocide free ETICS. Furthermore, it was examined if this test would also be suitable as an awarding condition. The different products, even though they are biocide free, should have a low likelihood of microbial growth.

In the framework of this project, several biocide free renders and facade coatings, out of the existing product range on the market were chosen. It was essential that new as well as established products were part of the selection. These products were then tested by rapid weathering, to assess their resistance against microbial growth. With this, it is being possible to decide whether these products

are suited to be awarded with the eco-label Blue Angel. Additionally, the formation of surficial water condensation due to cooling from behind was examined. This was done with the goal to clarify if additional criteria need to be provided. Finally, further recommendations on the awarding criteria were derived.

A test developed at the IBP (Fraunhofer Institute for Building Physics) enables the assessment of the influence of non-stationary weather conditions on ETICS' coatings. For this, each ETICS' coating was exposed to life-like conditions in a rapid weathering test chamber (see Figure 3). In comparison to other rapid weathering tests, this chamber uses realistic climate conditions. The acceleration is possible because autumn-like weather conditions are used, which are ideal for optimal microbial growth. Therefore, climate data for a regular autumn day in Holzkirchen were used in the chamber (Künzel, Krus, Fitz, Hofbauer, Scherer & Breuer, 2011).

When the rapid weathering test chamber is used it is necessary to apply the micro-organisms manually as they cannot spread in the laboratory like under natural conditions. This is done with a brush applied aqueous solution which contains a variety of algae and fungi species. The Micro-organisms used were provided by the institute internal collection. The total examination time was 15 weeks, whereby the test setting was regularly checked. In addition, pictures of the tiles were made two-times a week. In order to assess the growth quantitatively, a visual rating scale was used that was developed at the institute (Künzel et al., 2011).

Figure 3: Rapid weathering test chamber



Source: own illustration, *Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)*

A resilience assessment of the different variants is shown in Table 2. In the process, the resilience against growth of micro-organisms (Aufwuchs) was divided into five ranks (high, high to medium, medium, medium-low, and low). Generally, the term "Aufwuchs" is used for the total amount of

microbial plants, animals and fungi. For the ETICS test a species mixture was used, which is relevant in terms of buildings. In the timeframe of 100 days, the algae used are only capable of growing very small colonies. Therefore, the specific ranking for algae is done with three categories: high, medium, low.

Overall, the resilience against growth by nearly all variants is either high or high to medium. This result is not surprising, since the used products are all proven commercial products. The results confirm that biocide-free ETICS coatings can be highly resistant to growth. Exceptions are variants 13 and 5, which only show low or medium resilience.

Table 2: Resilience estimation against growth

Variant	Material	Resilience against growth	Resilience against algae
1	Silicone resin plaster Without coating - BLAUER ENGEL	High	Medium
2	Silicone resin plaster Coating: sol-silicate paint - BLAUER ENGEL	Medium	Low
3	Silicone resin plaster Coating: facade paint with ultra-hydrophobicity - BLAUER ENGEL	High to medium	Low
4	Silicone resin plaster Coating: bionic mode of action	High	High
5	Mineral dry mortar Without coating - BLAUER ENGEL	Medium to low	Low
6	Mineral dry mortar Coating: silicon resin paint	Medium	Medium
7	Mineral dry mortar Coating: dispersion paint	High to medium	Medium
8	Mineral dry mortar Coating: silicate potassium water glass -paint	Medium	Medium
9	Sol-silicate plaster Without coating	High to medium	Medium
10	Sol-silicate plaster Coating: sol-silicate paint - BLAUER ENGEL	High	High
11	Sol-silicate plaster Coating: dispersion silicate paint	High	High
12	Dispersion structural plaster Without coating	High	High
13	Dispersion structural plaster Coating: dispersion silicate paint - BLAUER ENGEL	Low	High
14	Dispersion structural plaster Coating: silicon resin paint	High	High
15	Dispersion structural plaster Coating: dispersion paint	High	High

In Figure 4 and Figure 5 two examples of tiles are shown, that represent the final condition of the surfaces after the test was finished (100 days). Tile 11 with a sol-silicate plaster coated with a dispersion silicate paint shows a high resilience against growth. Tile 13 with a dispersion structural plaster coated with a dispersion silicate paint shows only low resilience against growth.

Figure 4: A tile of variant 11 at the end of the test



Source: own illustration, *Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)*

Figure 5: A tile of variant 13 at the end of the test



Source: own illustration, *Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)*

To evaluate the remaining of superficial water condensate, a special test setup was invented. This special setup makes it possible to achieve nightly condensation in a laboratory setting. The goal of this laboratory test was the simulation of real-time conditions on the facade, with the focus on a comparable dew point undercut. The dew point undercut in the laboratory was calculated to have the same order of magnitude as has been measured in field studies.

Since it is not possible to implement nightly radiation in the laboratory, the condensation on the surface of the specimen was simulated by an undercooling of the sample by a cooling plate, which was located on the back of the test specimen. In practical terms, the sample, with a surface of 10 cm x 10 cm, treated with heat-conducting paste was positioned on a cooling block made of copper. The cooling of the block was achieved by a cooling water circuit. The temperature was measured by a Pt-100 probe, which was according to the set up especially flat. The probe was glued via hot-melt adhesive.

To simulate the real-life conditions, temperatures were chosen to achieve condensation circumstances comparable to those on building facades. The duration of condensation process was set to 1.2, 4 and 6

hours. The verification of the condensation duration was done by comparing the surface temperature with the condensation temperature in climate chamber. The amount of condensation water was examined by dabbing of the water with a swab, which was then weighted. The plasters which were to be examined, comply with those test specimens used in the rapid weathering test chamber. The average room temperature during the measurements was 23.2 °C. The average relative humidity was 65.8 %. The condensation temperature was undercut by 1.4 K.

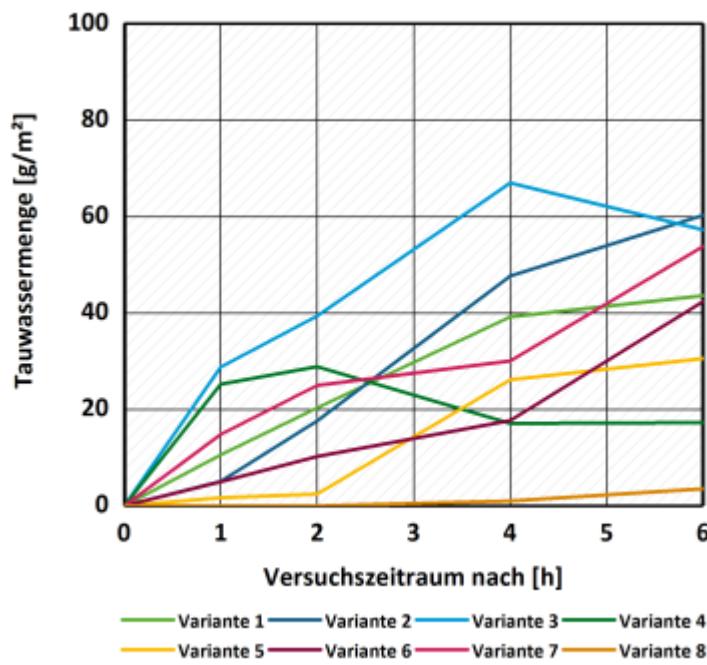
The results of the gravimetric determinations are shown in Table 3.

Table 3: Amount of condensation water plotted against the duration of undercutting

Putzsystem	Amount of condensation water [g/m ²] depending on an undercutting time of			
	1 h	2 h	4 h	6 h
Variant 1	10.6	20.3	39.2	43.6
Variant 2	5.1	17.6	47.7	60.3
Variant 3	28.8	39.4	67.0	57.3
Variant 4	25.3	28.9	17.1	17.2
Variant 5	1.7	2.5	26.1	30.6
Variant 6	4.9	10.2	17.6	42.4
Variant 7	14.8	25.0	30.0	53.9
Variant 8	0	0	1.0	3.5
Variant 9	0.9	0	12.3	13.1
Variant 10	0	0	0	10.9
Variant 11	5.7	23.2	67.4	95.7
Variant 12	0	0	0	0
Variant 13	0	0	0	2.7
Variant 14	2.2	4.3	10.9	16.6
Variant 15	0	0	0	20.7

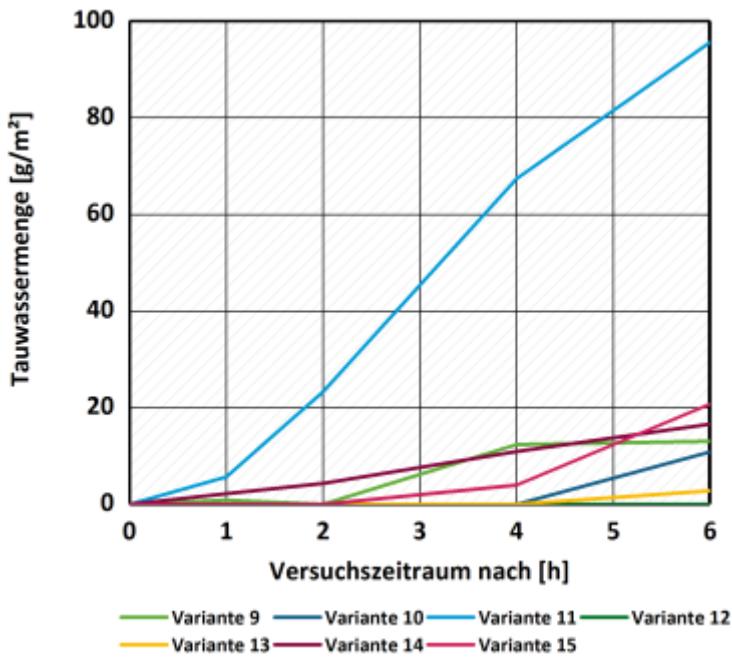
Figure 6 (first run, variants 1-8) and Figure 7 (second run, variants 9-15) show the amount of water condensation plotted against the time, in which the condensation temperature was undercut.

Figure 6: Time dependent (Versuchszeitraum nach [h]) amount of condensation water (Tauwassermenge [g/m²]) of variants 1-8



Source: own illustration, *Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)*

Figure 7: Time dependent (Versuchszeitraum [h]) amount of water condensation (Tauwassermenge [g/m²]) of variants 9-15



Source: own illustration, *Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)*

The comparison of both tests regarding biocide-free plasters and coatings (rapid weathering test and condensation water test) shows, that in many cases microbial growth can be predicted, when the amount of condensation water is known. However, also contradictory results exist. This can be explained with different evaporation times of condensation water on the surface of plasters. The evaporation times are dependent on the properties of the plaster. For further insight, it is important to

consider two values to assess the functionality of the plaster system: a-value, which is the capillary water absorption, and the water vapour diffusion resistance factor.

The final evaluation of functionality should be based not only on the results of the rapid weathering test, but also on the amount of condensation water found in the render system and not only on the surface. In addition, it is reasonable to trace the process of the drying after a maximum time of temperatures below the dew-point. This makes it possible to determine the timeframe in which the humidity is present that is needed for the microbial growth.

Conclusions and Recommendations

In conclusion, the data collected for this report show that there is no major need for amendment of the "Blauer Engel"-awarding criteria regarding ETICS. For the evaluation of compliance connected to minimum standards of the building regulation construction technique permits are now supplementing the national technical approvals for ETICS. This is to be considered, when the eco-label "Blauer Engel" is awarded.

Additional requirements, regarding the fire behaviour of thermal insulation materials or ETICS, are cautiously evaluated by the questioned experts. The fire protection experts pointed out the following aspects: in the context of fire safety, additional requirements towards the smoke gas density should be considered. The installation of additional fire bricks after each building level, would be seen as a further safety element, in the case of EPS based ETICS. Additional smouldering criteria and/or smouldering tests were dissuaded. To request the highest fire safety standard was considered far-reaching for an eco-label. It is stated, that for additional requirements regarding the smoke gas- or fire residue toxicity, the literature is not extensive and / or significant enough. The technical advantages of thick layer plaster systems and pre-plastered insulation boards regarding fire safety and dampness (Dorsch, Kaiser, Niklasch, Schöpgens & Spritzendorfer, 2017; Küppers, Zehfuß, Steeger & Kampmeier, 2016) could be positively considered in the Blue Angel awarding criteria.

In the context of resource efficiency and recycling, clear recommendations are not easy to formulate for the time being. Since the current information is limited, it is not possible to assess criteria for the production process or for the source of ETICS. However, the consulted experts agree that there must be transparency regarding the origins of raw material and process chains of ETICS. Until now, the environmental product declaration is not designated by the Blue Angel, but this could be easily added as a criterion for awarding.

Next to ETICS, various alternative facade systems combined with thermal insulation exist, which can be applied when a house is built or in the process of a reconstruction. In the end, this could mean that additional facade systems should be considered regarding the award criteria (not only ETICS).

The durability of ETICS was considered to be important. This is also acknowledged by the award criteria, which request detailed processing guidelines for the construction manager, craftsmen, and building owners. In this context the main obstacle for good quality is that the time available for installation is often shorter than the installation time foreseen in the installation guideline.

The presented tests for rapid weathering and determination of surficial condensation water offer good tools to examine the resilience of ETICS' coating. The absence of biocides should remain as an award criterion. This criterion would first become superfluous, if in the future protective substances that only interact with their respective target organism and are not released in the environment become available.

1 Einleitung

1.1 Hintergründe des Forschungsvorhabens

Gemäß dem Energiekonzept der Bundesregierung von 2010 hat Deutschland sich zum Ziel gesetzt, seine Treibhausgasemissionen bezogen auf 1990 bis zum Jahr 2020 um 40 Prozent, bis 2030 um 55 Prozent, bis 2040 um 70 Prozent und bis 2050 um 80 bis 95 Prozent zu reduzieren, um die fortschreitende Klimaveränderung zu bremsen. Der Gebäudebereich wird als Schwerpunkt für das Erreichen dieser Ziele angesehen, da er für etwa 40 % des Energieverbrauchs in Deutschland verantwortlich ist. So soll nach dem Energiekonzept die Sanierungsrate für Gebäude von derzeit jährlich weniger als 1 % auf 2 % des gesamten Gebäudebestands verdoppelt und bis 2020 eine Reduzierung des Wärmebedarfs um 20 % erreicht werden. Bis 2050 soll der Gebäudebestand nahezu klimaneutral sein. Dies bedeutet, dass die Gebäude nur noch einen sehr geringen Energiebedarf aufweisen und der verbleibende Energiebedarf überwiegend durch erneuerbare Energien gedeckt wird (Bundesregierung, 2010). Mit den geplanten Maßnahmen leistet Deutschland ebenfalls seinen Beitrag zu den europäischen Klimaschutz- und Energiesparzielen.

Mit der Novelle der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2012 soll der Primärenergiebedarf im Gebäudebereich ab 2020 bis 2050 stufenweise um 80 Prozent reduziert werden. Bei der Sanierung haben die Eigentümer die Wahl zwischen Maßnahmen an der Gebäudehülle, der Verbesserung der Anlagentechnik oder dem Einsatz erneuerbarer Energien (Bundesregierung, 2010).

Bestandsgebäude, die noch vor der ersten Wärmeschutzverordnung 1977 errichtet wurden, sind im Wesentlichen für den hohen Endenergiebedarf im Gebäudesektor verantwortlich. Deren teilweise nur spärlich gedämmte Gebäudehülle verursacht hohe Transmissionswärmeverluste, wobei ein großer Anteil den Außenwänden zugeordnet werden kann. Eine energetische Sanierung der Außenwände reduziert den Brennstoffbedarf sowie die damit verbundenen Treibhausgasemissionen und steigert die Behaglichkeit in den Gebäuden.

Bei der energetischen Sanierung werden, ebenso wie im Neubau, vielfach Wärmedämm-verbundsysteme (WDVS) verwendet. Bei einem WDVS sind die Dämmplatten direkt auf den Außenwänden mit einem Schutz aus verschiedenen Putzschichten und einem Armierungsgewebe befestigt. Doch den Vorteilen der WDVS stehen mögliche Umweltrisiken gegenüber. So wird beispielsweise ein Teil der verwendeten Dämmstoffe aus Brandschutzgründen mit teilweise kritischen Flammenschutzmitteln behandelt oder enthält umweltschädigende Treibmittel.

Obwohl jedes WDVS dazu führt, erhebliche Mengen an Energie zu sparen, gilt auch für WDVS das Ziel einer möglichst ressourcensparenden Herstellung und problemlosen Rückbaubarkeit. Es gibt Ansätze für ein stoffliches Recycling von Dämmstoffen aus WDVS. Dieses erfordert jedoch eine kostengünstiges Sammelsystem und aufgrund der verschiedenen, miteinander verbundenen Komponenten eine aufwändige und teure Separierung, die derzeit noch nicht zufriedenstellend gelöst ist.

Die energetische Ertüchtigung geht zudem mit einer Senkung der Oberflächentemperatur an der Fassade einher. Damit steigt im Vergleich zur ungedämmten Fassade die Wahrscheinlichkeit, dass sich auf der Oberfläche Tauwasser bildet, was den Bewuchs mit Algen und Pilzen fördert (Kienzlen, Erhorn, Krapmeier, Lützkendorf, Werner, & Wagner, 2015). Ein kürzlich abgeschlossenes Projekt am Fraunhofer Institut für Bauphysik (Krueger, Schwerd, & Hofbauer, 2016) zeigte, dass organische Putze und Dispersionsfarben üblicherweise mit bioziden Wirkstoffen ausgerüstet werden und es zu einem unkontrollierten Austrag der bioziden Wirkstoffe in die Umwelt kommen kann.

Das Umweltzeichen „Der Blaue Engel“ kennzeichnet Produkte, die gegenüber Vergleichsprodukten umweltfreundlicher und nachhaltiger sind. Es dient innerhalb der produktbezogenen Umweltpolitik in Deutschland als wichtiges Element zur Orientierung der Verbraucher und als Instrument für die öffentliche Beschaffung, die die Vergabekriterien als Grundlage für Ausschreibungen verwenden kann.

Für Hersteller und Händler bietet das Umweltzeichen die Möglichkeit, ihre Produkte als besonders umweltfreundlich zu kennzeichnen. Zusätzlich liefern die Kriterien des Umweltzeichens für Hersteller die technischen Parameter, eigene Produkte zu optimieren und die Produktentwicklung auf diese Benchmarks auszurichten.

Ein Blauer Engel für WDVS besteht seit 2010. RAL UZ 140 „Wärmedämmverbundsysteme“ (Blauer Engel, 2016) wird vergeben an WDVS, die über die gesetzlichen Bestimmungen hinaus schadstoffarm hergestellt sind, d.h. ohne kritische Flammenschutzmittel und Treibmittel und ohne Biozide als Filmschutzmittel. Es werden nur bauaufsichtlich geprüfte Systeme mit einer Mindestdämmleistung einbezogen. Brandschutz- und Ressourcenschonungsaspekte wurden bisher in der Vergabegrundlage über die bauaufsichtlichen Mindeststandards hinaus nicht berücksichtigt.

1.2 Ziele des Forschungsvorhabens

Vor diesem Hintergrund dient dieses Forschungsvorhaben dazu, Vorschläge für eine Überarbeitung der Anforderungen des Blauen Engels für WDVS zu erarbeiten, um die Vergabegrundlage als innovatives und langfristig nachhaltiges Instrument des Klimaschutzes weiterzuentwickeln.

Gerade das Brandverhalten von WDVS wurde in Medien und Öffentlichkeit in den letzten Jahren immer wieder kritisch diskutiert. Die Verlängerung von Renovierungsfristen und eine effizientere Ressourcennutzung durch Verbesserung der Dauerhaftigkeit, Unterstützung von Rückbaubarkeit und Recycling sowie der Einsatz nachwachsender Rohstoffe sind wichtige Aspekte mit Blick auf die Nachhaltigkeit. Die Verwendung von Bioziden in Putzen für WDVS ist ein ökologisches Problem, da es zur Auslaugung kommt.

Deshalb liegen die Schwerpunkte dieses Projektes auf offenen Fragen zu Brandschutzaspekten, auf ökobilanzieller Bewertung, Rückbau- und Rezyklierbarkeit verschiedener WDVS-Dämmstoffe und auf den Einsatzmöglichkeiten biozidfreier Putze. Diese Fragen sollten anhand von Expertengesprächen und Literaturrecherche sowie einiger Labortests geklärt und die Ergebnisse zusammengefasst werden.

In Arbeitspaket 1 ging es vor allem darum zu verstehen, welche Unterschiede im Brandverhalten zwischen den verschiedenen Dämmstoffen in einem WDVS bestehen (qualitativ) und wie diese in den bekannten Klassifizierungen für Dämmstoffe und WDVS widergespiegelt werden (können). Zu diesem Zweck bereitet das Forschungsvorhaben gängige und zukünftige Brandschutzanforderungen, Tests und Einstufungen auf. Im intensiven Austausch mit Brandexperten wurde diskutiert, ob es vor dem Hintergrund von Fassadenbränden gedämmter Häuser sinnvoll ist, die Vergabegrundlagen des Blauen Engels um Aspekte des Brandverhaltens zu ergänzen, um über den Blauen Engel einen über die baurechtlich geforderten Mindestanforderungen hinausgehenden Brandschutz mit einem hohen Umweltschutzstandard anzubieten.

In Arbeitspaket 2 waren die Kernfragen,

- ▶ ob mit dem Blauen Engel Anreize zur Nutzung des Recyclingpotenzials geschaffen werden können,
- ▶ ob der Blaue Engel Kriterien für die Dauerhaftigkeit (z.B. Haltbarkeit in Jahren) und / oder Reparierbarkeit (z.B. leichte Erneuerbarkeit der Putzschicht) der WDVS aufnehmen sollte
- ▶ und welche grundlegenden Daten aus Umweltpunktdeklarationen (z.B. die Ökobilanzindikatoren, die Materialzusammensetzung oder der Anteil an Recyclingmaterial) der Blaue Engel als Nachhaltigkeitskriterium fordern sollte.

Für mineralische Dämmstoffe, die derzeit zum größten Teil deponiert werden, wurden Sammelsysteme, Rückbaumöglichkeiten, eine kostengünstige Logistik und die Qualitätsanforderungen des Herstellungsprozesses untersucht. Für Dämmstoffe aus Polystyrol (Expandiertes Polystyrol (EPS)), die den größten Anteil an WDVS ausmachen, wurde geklärt, ob die energetische Verwertung in

Müllverbrennungslagen im Sinne der Abfallbehandlungshierarchie durch ein stoffliches Recycling ersetzt werden kann. In diesem Zusammenhang wurden auch Konsequenzen aus dem Einsatz als gefährlich eingestufter Flammschutzmittel diskutiert.

In Arbeitspaket 3 wurde untersucht, ob Putze und Anstriche ohne Biozide gebrauchstauglich und für eine Auszeichnung mit dem Blauen geeignet sind. Eine wesentliche Voraussetzung für die Erteilung des Blauen Engels sollte der Nachweis sein, dass das Produkt trotz Verzicht auf den Einsatz von Bioziden unter Praxisbedingungen eine geringe Neigung zu mikrobiellem Bewuchs aufweist.

Im Rahmen des Projektes wurden zunächst Hersteller gesucht, die bereit sind eine Auswahl an unterschiedlichen biozidfreien Putzvarianten zur Verfügung zu stellen. Wesentlich dabei war, dass sowohl neue als auch bewährte Produkte in der Auswahl enthalten waren. Diese biozidfreien Putz- und Anstrichsysteme wurden durch eine gezielte Schnellbewitterung hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit gegenüber mikrobiellem Aufwuchs untersucht und damit ihre Gebrauchstauglichkeit und die Möglichkeit mit dem Blauen Engel ausgezeichnet zu werden. Zusätzlich wurde die Oberflächentauwasserentwicklung bei Hinterkühlung gemessen, um zu klären, ob in dieser Hinsicht Anforderungen an biozidfreie Systeme aussagefähig wären. Schließlich wurden Empfehlungen abgeleitet, welche in die Kriterienvergabe für den Blauen Engel mit aufgenommen werden sollten.

2 Entwicklung, Organisation und Marktverfügbarkeit von WDVS in Deutschland

WDVS werden für die Fassadendämmung eingesetzt. Sie gelten als kostengünstig und sind sowohl für Neubauten als auch zur Altbausanierung anwendbar.

2.1 Zeitliche Entwicklung des WDVS Einsatzes und der Dämmstoffdicke

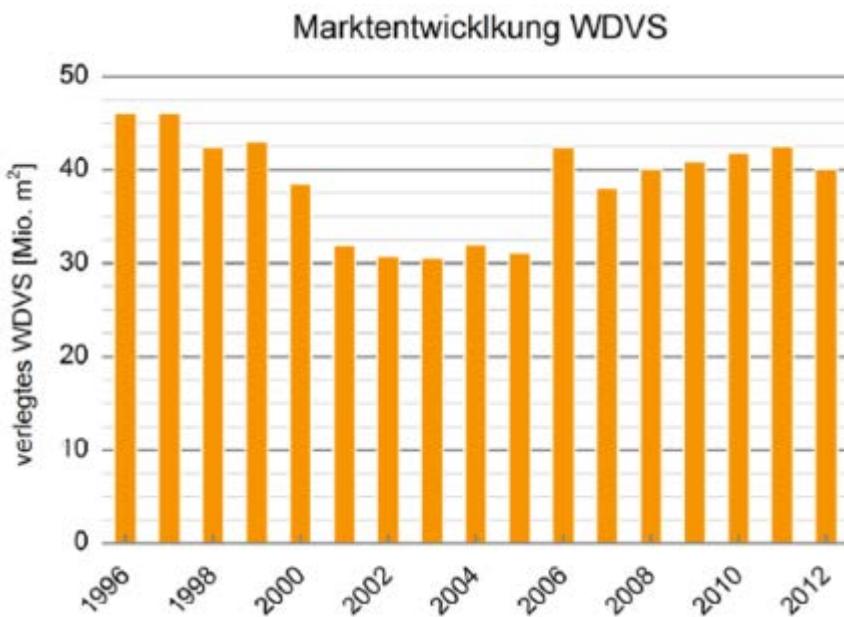
Die erste Ausgabe der DIN 4108 „Wärmeschutz im Hochbau“ erschien 1952. Nach der Erstausgabe folgten in den Jahren 1960 und 1969 überarbeitete Fassungen mit geringen Änderungen. Gemäß Krueger et al. (2016) wurden im Herbst 1957 erstmalig Polystyrol-Hartschaumplatten zur Wärmedämmung von Gebäuden in Deutschland eingesetzt. Seit Mitte der 60er Jahre produzierte die Firma BASF Polystyrol-Hartschaumplatten unter dem Markennamen Styropor®. Befestigt wurden die Platten mit organisch gebundenem Kleber mit Zementzusatz, teilweise auch unter Verwendung von Kunstfasergewebe als Armierung (heute Einsatz von Glasfasergewebe).

Ab Mitte der 70er Jahre begann die Verwendung von Mineralwolle, deren Nichtbrennbarkeit die Erweiterung des Anwendungsbereichs von WDVS auf öffentliche Gebäude, Hochhäuser und Industriebauten erlaubte. Seit etwa dem Jahr 2000 werden in WDVS auch andere Dämmstoffe wie Polyurethan- oder Phenolharzschaum oder Mineralschaum eingesetzt, vereinzelt auch Schaumglas, Aerogel, Polycarbonatschaum oder Vakuumisolationspaneele. In den letzten Jahren nimmt weiterhin die Verwendung von Dämmstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe (Holz, Hanf, Kork) in WDVS leicht zu.

Der Vergleich zwischen den ersten Anforderungen an den Wärmeschutz in der im Jahr 1934 erschienenen DIN 4110 „Technische Bestimmungen für die Zulassung neuer Bauweisen“ bis hin zur DIN 4108 von 1969 zeigt in etwa das gleiche Anforderungsniveau. Erst nach der Ölkrise im Jahr 1973 wurden als Konsequenz ergänzende Bestimmungen zur DIN 4108 herausgegeben. In den folgenden Jahren wurde die DIN 4108 zurückgezogen und vollständig überarbeitet. Der Teil 2 dieser Norm erschien erstmals 1981 mit dem Ziel, Mindestanforderungen an den Wärmeschutz festzulegen (aktuelle Ausgabe: 2013). Erst die zweite Ausgabe der DIN 4110 (bereits zurückgezogen) stellte Anforderungen mit Angabe des Mindestwertes für den Wärmedurchlasswiderstand.

Eine zusammenfassende Darstellung der verlegten WDVS Mengen von 1969-2012 zeigt Einbaumengen, die jährlich zwischen 45 und 30 Millionen m² schwanken (Abbildung 8). Laut Informationen des Fachverbands Wärmedämm-Verbundsysteme e.V. (FV-WDVS) wurden in Deutschland bis zum Jahr 2016 in Neubau und Sanierung 940 Millionen m² WDVS eingebaut. Jährlich kommen 35 bis 40 Millionen m² hinzu. Laut Information des Verbands für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V. von 2017 (mündlich) ist der Markt seit 2010 konstant rückläufig.

Abbildung 8: Entwicklung der mit WDVS verlegten Fläche von 1996 bis 2012



Quelle: Sprengard et al. (2013)

Aufgrund gestiegener energetischer Anforderungen und Bedürfnisse ist die eingesetzte Dämmstoffdicke in WDVS über die Jahre kontinuierlich gestiegen. Die durchschnittliche Dämmstoffdicke ist nach Angaben des FV-WDVS im Zeitverlauf von 2003 bis 2012 von 89,5 mm auf 124,7 mm angestiegen. Mit einem Anteil von 19,8 % dominierte 2012 eine Dämmstoffdicke des Polystyrols von 140 mm, gefolgt von 160 mm (16,8 %) und 120 mm (15,8 %) sowie 100 mm (14,3 %).

Allgemeine Daten zur Dämmssituation des deutschen Gebäudebestands liefert die Studie „Datenbasis Gebäudebestand“ des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU) und des Bremer Energie -Instituts (BEI) (Diefenbach, Cischinsky, Rodenfels & Clausnitzer, 2010). Demnach sind bei 42 % aller deutschen Wohngebäude die Außenwände zumindest teilweise gedämmt, 76 % der Dächer bzw.

Obergeschossdecken und bei Fußböden und Kellerdecken 37 %. Bei einer Aufschlüsselung nach dem Gebäudealter weisen Altbauten von vor 1978 in allen drei Kategorien die niedrigsten „Dämmquoten“ (36 %, 68 %, 23 %) auf, gefolgt von Gebäuden aus den Jahren 1979 bis 2004 (53 %, 92 %, 62 %). Bei Neubauten ab Baujahr 2005 dagegen sind 97 % der Außenflächen, 99 % der Dächer und Obergeschossdecken sowie 87 % der Fußböden und Keller gedämmt. Eine genauere Definition der verwendeten Dämmmaterialien erfolgt nicht.

Auch der „Gebäudereport 2012“ der Deutschen Energie Agentur (dena) liefert Daten zum Gebäudebestand in Deutschland. Demnach gab es im Jahr 2011 in Deutschland 18,2 Mio. Wohngebäude mit insgesamt 3,45 Mrd. Quadratmetern Wohnfläche. 70 % davon datieren von vor 1979. Zum Wärmeschutz wurden bei diesen älteren Wohngebäuden in 28 % der Fälle die Außenwände gedämmt, bei 62 % das Dach bzw. die oberste Geschoßdecke und bei 20 % der Böden bzw. die Kellerdecke (Bigalke, Discher, Lukas, Zeng, Bensmann & Stolte, 2012).

Hinsichtlich der Energieeffizienz liegt der Primärenergiebedarf heutiger Neubauten durchschnittlich ca. 30 % unter den bisherigen Anforderungen der EnEV (Bigalke et al., 2012).

Eine Antwort auf die Frage, welche Eigentümergruppen sich für eine energetische Sanierung durch Wärmedämmung entscheiden, liefert die „Wohngebäudesanierer-Befragung der KfW-Bankengruppe und des Instituts der deutschen Wirtschaft Köln (Testorf, Voigtländer & Zens, 2010). So hatten 94 % der in der Befragung erreichten gewerblichen Vermieter die Außenwände ihrer Immobilien gedämmt,

von den privaten Vermietern immerhin 70 % und von den privaten Selbstnutzern lediglich 44 %. Bezuglich der Baujahre der sanierten Häuser liegt der Median im Intervall von 1960 bis 1970.

2.2 Marktanteile von Dämmstoffen in WDVS

Für WDVS werden im Wesentlichen Polystyrol, Mineralwolle, Holzweichfaser, Mineralschaum, Polyurethan und Phenolharz als Dämmstoffe eingesetzt. Nach Sprengard, Treml und Holm (2013) gehört EPS blockgeschäumt mit 76 % zu den mengenmäßig wichtigsten WDVS-Dämmstoffen (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Prozentualer Anteil der in den letzten 35 Jahren verlegten Dämmstoffe in WDVS

Dämmstoff	Anteil [%]
Styropor blockgeschäumt (EPS)	76
Perimeterdämmplatten (XPS)	8
Steinwolleplatten	10
Steinwollelamellen	4,5
Andere	1,5

Quelle: Sprengard et al. (2013)

Nach den letzten Daten (2. Quartal 2017) des Verbands für Dämmssysteme, Putz und Mörtel e.V. – VDPM hat EPS in Deutschland einen Marktanteil in WDVS von 70 %. Graues EPS, eine neuere Produktvariante, hat laut Expertenaussagen einen Marktanteil von über 40 %, mit steigender Tendenz. Extrudierter Polystyrol-Hartschaum – XPS – wird ausschließlich im Spritzwasser- oder erdberührtem Bereich (z.B. Sockel) eingesetzt, wo es zur Berührung mit Feuchtigkeit kommen kann. Mineralwolle nimmt mit 15 % den zweitgrößten Anteil als Fassadendämmmaterial ein.

Mit nur bis zu 4 % sind WDVS aus nachwachsenden Rohstoffen ein Nischenprodukt. Abgesehen von Holzfasern und Holzwolle werden sie bisher nur in Ausnahmefällen in WDVS angeboten / zugelassen. So gibt es bisher nur einzelne Anbieter für Hanf- und Kork-WDVS, die ihre Produkte mit einer Europäischen Technischen Bewertung (ETB) vermarkten. Nach Auskunft der befragten Experten gibt es zwar Ansätze und Untersuchungen mit anderen nachwachsenden Rohstoffen, neue Bauartgenehmigungen seien aber allenfalls langfristig zu erwarten. Ebenfalls kleine Marktanteile als WDVS-Dämmstoffe haben Kunststoffschäume aus Polyurethan, Phenolharz und Mineralschaum, Vakuumisolationspaneele (VIP) und Aerogele.

2.3 Marktverfügbare WDVS

Die in Deutschland auf dem Markt befindlichen WDVS haben bisher in den meisten Fällen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt). Zuständig ist das Referat II1 (Wärmedämmverbundsysteme, EnEV-Registrierstelle) mit dem zugehörigen Zulassungsbereich 33 – Fassadenbau (DIBt, 2012). In dem im Internet veröffentlichten Zulassungsverzeichnissen können die Produkte und deren Hersteller eingesehen werden. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit eine Zustimmung im Einzelfall zu beantragen, die aber nur für wenige Produkte überwiegend aus nachwachsenden Rohstoffen relevant ist. Aufgrund der Neuordnung des deutschen Baurechts im Jahr 2016 / 2017 ändern sich die bauaufsichtlichen Nachweise für WDVS. Statt der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung ist von nun an entweder die Einhaltung der Technischen Baubestimmung für WDVS in deren Geltungsbereich oder eine allgemeine Bauartgenehmigung für WDVS vorgesehen.

Dieses Kapitel enthält eine Kurzzusammenfassung der 2016 gültigen abZ zur Orientierung über die marktverfügbaren WDVS in Deutschland. Eine vollständige Liste der Produkte mit allgemeinen

bauaufsichtlichen Zulassungen für WDVS sowie der Anwendungszulassungen für WDVS mit einer Europäischen Technischen Zulassung zum Stand Januar 2016 findet sich in Anhang 3 zu diesem Bericht.

Neben der Bauartgenehmigung / abZ in Deutschland gibt / gab es für die Hersteller von WDVS die Option, Produktleistungen mit einer bis Juni 2013 erteilten Europäischen Technischen Zulassung (ETZ / engl. ETA) oder ab Juli 2013 erteilten Europäischen Technischen Bewertung (ETB / engl. ETA) nachzuweisen. Die Europäische Organisation für Technische Bewertungsstellen, EOTA, erteilt/e ETA auf der Grundlage der ETAG 004 „Leitlinie für Europäische technische Zulassungen für Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme mit Putzschicht“ (Europäische Organisation für Technische Zulassungen, 2013). Eine Gesamtübersicht über alle ETA nach ETAG 004 findet sich auf der Internetseite der EOTA (Suchkriterium: Number guideline (xyz) = 004)⁷. Für die Anwendung dieser Produkte ist in Deutschland keine Bauartgenehmigung erforderlich, wenn die Technische Baubestimmung für WDVS in der Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV) TB sie abdeckt.

AbZ / Bauartgenehmigungen für WDVS werden im bisherigen Zulassungsbereich Fassadenbau erstellt. Dort werden insgesamt 10 verschiedene Sachgebiete unterschieden, wobei insbesondere nach Einzelkomponenten (Dämmstoff oder Befestigungssystem) oder Gesamtsystemen und dort im weiteren nach Dämmstoff und Befestigungssystem differenziert wird. So gibt es abZ für Dämmstoffe für WDVS, für sonstige Bauteile (Kleber und Befestigungssysteme), oder für unterschiedliche Arten von Gesamt-WDVS in Abhängigkeit von Dämmstoff, Befestigungssystem oder Verkleidung. Zusätzlich gibt es abZ als WDVS für Außenwände in Holzbauart, oder als WDVS mit ETA unter der englischen Bezeichnung ETICS (siehe Tabelle 6).

Die Menge der Zulassungen in den einzelnen Sachgebieten und die Zuordnung zu einzelnen Herstellern bietet einen guten Überblick über die aktuelle Typenverteilung und die Herstellerpräsenz auf dem deutschen WDVS-Markt, wobei einschränkend anzumerken ist, dass die Anzahl der in einer abZ abgedeckten Varianten von Antragsteller zu Antragsteller sehr unterschiedlich ist.

Insgesamt gibt es im Jahr 2016 153 Hersteller von WDVS oder dazu gehörigen Bauteilen und viele hundert abZ. (Nicht zu verwechseln mit den Herstellern von Dämmstoffen, die die WDVS-Hersteller beliefern und deren Anzahl deutlich niedriger ist). Die meisten Zulassungen für den deutschen Markt haben die Firmen Saint Gobain Weber, Knauf Gips, Sto SE, Brillux, Baumit, alsecco, CAPAROL, Alligator Farbwerke und Schwarzwälder Edelputzwerk.

Tabelle 5 zeigt eine Übersicht der Hersteller mit mehr als 5 WDVS-Zulassungen. Diese Firmen sind vielfach auch im Besitz einer europäischen Technischen Zulassung / Bewertung (ETA). Die Anzahl der abZ lässt jedoch keinen direkten Rückschluss auf Unternehmensgrößen zu. Nicht alle der o.g. Firmen haben einen großen Marktanteil. Andere Firmen besitzen nur abZ für einzelne WDVS-Kategorien (siehe Anhang 3: Übersicht der WDVS (und WDVS-Komponenten) mit allgemeiner bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) nach Kategorie und Hersteller).

Tabelle 5: Übersicht der Hersteller mit zahlreichen abZ für WDVS

Hersteller	Anzahl abZ
Saint Gobain Weber	13
HASIT Trockenmörtel	6
HECK Wall System	8

⁷ <http://valideta.eota.eu/pages/valideta>

Hersteller	Anzahl abZ
Knauf Gips	11
Sto SE	9
Brillux	10
GIMA	7
Fema Farben und Putze	6
Baumit	10
alsecco	11
CAPAROL	13
ZERO LACK	7
villerit Putzsysteme	7
quick mix Gruppe	8
quick-mix Putztechnik	6
Dracholin	7
Adolf Wagner	7
ALLIGATOR FARBWERKE	9
GenoColor	7
Franken Maxit Mauermörtel	6
RELIUS Farbwerke GmbH	6
Schwarzwälder Edelputzwerk GmbH	11
Meffert	7
SAKRET Bausysteme	8
SAKRET GmbH	8
hawo	7
WeGO Systembaustoffe	7
KEIMFARBEN	7
SCHAEFER KRUSEMARK	7

Quelle: DIBt (2016c)

Die mit Abstand meisten Zulassungen wurden für Gesamtsysteme in der Kategorie „WDVS mit angeklebtem und angedübeltem Wärmedämmstoff“ (151 abZ) und in der Gruppe der rein „geklebten WDVS“ (110 abZ) erstellt. In diesen Kategorien gibt es auch die meisten Hersteller. In diesen Gruppen finden sich überwiegend Mineralwolle- und EPS-basierte WDVS, wobei viele Hersteller parallel Zulassungen für beide Stoffgruppen, einschließlich Mineralfaser-Lamellen halten. Vereinzelt gibt es Zulassungen auch für Phenolharz und Holzweichfasern.

Unter „sonstige Bauteile“ finden sich über 50 abZ für Klebeschäume für EPS, sowie einzelne Zulassungen für Textilgewebe.

Die Kategorie „WDVS für Außenwände in Holzbauart“ besteht aus 47 abZ ganz überwiegend für EPS basierte WDVS. In dieser Kategorie gibt es jedoch auch einige Zulassungen für Holzfaserdämmstoffe. Weniger Zulassungen findet man zu dieser Kategorie für Mineralwolle oder Putze.

Die Zulassungen nach ETA umfassen 37 abZ für sogenannte External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS, englisch für WDVS). Auch in dieser Gruppe dominieren EPS und Mineralwolle ganz klar den Markt (DIBt, 2016a). Die Sachgebiete „WDVS mit Keramik“ und „WDVS mit Schienensystemen“ umfassen zusammen weitere 34 abZ.

Bei den Einzelzulassungen für „Dämmstoffe für WDVS“ dominieren MW (11 abZ) vor EPS (6 abZ), für Holzfaser, Holzwolle, Polyurethan und Phenolharz gibt es je eine abZ. „WDVS sonstiger Art“ (16 abZ) umfassen Zulassungen zur Aufdoppelung auf Holzwolle-Leichtbauplatten oder bestehende WDVS (DIBt, 2016c).

Eine Zusammenstellung der abZ nach Sachgebiet und Dämmstoff findet sich in Tabelle 6.

Tabelle 6: Übersicht der WDVS mit abZ nach WDVS Kategorie und Dämmstofftyp

Quelle: Sachgebiete der Zulassung, DIBt (2016c)

2.4 Organisation der WDVS Hersteller in Deutschland⁸

Die über 150 Hersteller von WDVS in Deutschland sind in verschiedenen Industrieverbänden organisiert, die historisch bedingt unterschiedliche Betätigungsfelder abdecken. Besonders überregional aktive große Unternehmen mit verschiedenen Geschäftsbereichen sind dabei Mitglied bei mehreren (Dach-)Verbänden, die ihrerseits Überschneidungen ihrer Tätigkeitsfelder aufweisen. Allerdings sind insbesondere kleine Hersteller nicht immer in Verbänden organisiert. Als Vertretungen der Hersteller-Firmen von WDVS sind im Folgenden zu nennen (siehe auch Tabelle 7):

Der neue **Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V. – VDPM** ist im Jahr 2017 aus dem Industrieverband WerkMörtel e.V. (IWM) und dem Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V. (FV WDVS) entstanden.

Der Fachverband WDVS e.V. mit Sitz in Baden-Baden vertrat seit 1975 bis heute einen Großteil der Hersteller von WDVS. Er war ein Zusammenschluss führender Hersteller von Wärmedämm-Verbundsystemen und Innendämm-Systemen (als ordentliche Mitglieder) sowie Unternehmen der Zuliefererindustrie (als außerordentliche Mitglieder). Die dem Verband angeschlossenen Unternehmen repräsentierten nach Angaben des Verbands ca. 90 % des bundesdeutschen Absatzes an WDVS. Vor der Fusion mit IWM werden 28 Hersteller von WDVS und Innendämm-Systemen als ordentliche Mitglieder genannt. Zudem gab es außerordentliche Mitglieder in Gestalt von 54 Unternehmen der Zuliefererindustrie sowie den Bundesverbänden „Farbe Gestaltung Bautenschutz“ und „Ausbau und Fassade“ als Vertretern des Handwerks.

Der Industrieverband WerkMörtel e. V. (IWM) vertrat vor seiner Fusion mit dem Fachverband WDVS ebenfalls Hersteller von WDVS. Die Organisationsstruktur des Verbandes enthielt im Rahmen des Arbeitskreises „Technik und Normung“ eine Arbeitsgruppe zum Thema „Wärmedämmssysteme“ (IWM, 2014a).

Die Fachgruppe Putz & Dekor im Verband der deutschen Lackindustrie e. V. vertritt Produzenten von Fassaden- und Innenputzen auf Dispersions-, Silikat- und Silikonharzbasis sowie Hersteller von Bindemitteln für Putze (Fachgruppe Putz & Dekor, 2017). Hinsichtlich der Mitgliedsfirmen bestehen Überschneidungen mit dem Fachverband WDVS und dem Industrieverband WerkMörtel.

Auch die Verarbeiter von WDVS haben die Möglichkeit, sich den übergeordneten Vertretungen des Handwerks anzuschließen. Zu nennen sind hier folgende Verbände (siehe auch Tabelle 7).

Der Bundesverband Ausbau und Fassade (BAF) im Zentralverband Deutsches Baugewerbe (ZDB) ist der übergeordnete Dachverband der einzelnen, voneinander unabhängigen Handwerksvertretungen der Stuckateure und des Ausbaugewerks der einzelnen Bundesländer. Der Verband besteht seit 1924 und unterhält mit „ausbau+fassade“ eine eigene Fachzeitschrift, die sich hinsichtlich der behandelten Themen speziell an Handwerksbetriebe richtet (BAF, 2014). Der BAF repräsentiert zudem das Handwerk im Fachverband WDVS.

Der Bundesverband Farbe Gestaltung Bautenschutz (BV-Farbe) ist der Bundesinnungsverband des deutschen Maler und Lackiererhandwerks und vereint unter seinem Dach die einzelnen Landesinnungsverbände mit insgesamt 42375 Betrieben (siehe auch BV-Farbe, 2017). Hier ist auch der 1953 gegründete Bundesausschuss für Farbe und Sachwertschutz e.V. (BFS) angesiedelt, der im Rahmen der sog. BFS-Merkblätter technische Richtlinien als fachliche Grundlage für Maler- und Lackiererbetriebe erarbeitet. Ebenfalls über den BV-Farbe zu erreichen ist die von der RAL anerkannte „Gütegemeinschaft Wärmedämmung von Fassaden e.V.“, deren auf WDVS spezialisierte Mitglieder nach definierten Qualitätskriterien arbeiten. Der BV-Farbe repräsentiert zudem das Handwerk im FV-WDVS.

⁸ basierend auf Krueger et al. (2016), Kapitel 2.4.5.

Tabelle 7: Dachorganisationen von Herstellern und Verarbeitern

Verband	Anschrift
Fachverband WDVS e. V (seit 07/2017 fusioniert mit IWM zu Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V. – VDPM)	http://www.fachverband-wdvs.de Fremersbergstraße 33 76530 Baden-Baden E-Mail: info@fachverband-wdvs.de
Industrieverband WerkMörtel e. V. (IWM) (seit 05/2017 fusioniert mit FV-WDS zu Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V. – VDPM)	http://www.mineralisch.de Haus der Baustoffindustrie Düsseldorfer Straße 50 47051 Duisburg E-Mail: info@iwm.de
Verband für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V. - VDPM	http://vdpm.info/ Düsseldorfer Straße 50 D-47051 Duisburg
Fachgruppe Putz & Dekor im Verband der deutschen Lackindustrie e. V.	http://www.putz-dekor.org/ Mainzer Landstraße 55 60329 Frankfurt E-Mail: info@putz-dekor.org
Bundesverband Ausbau und Fassade im ZDB (BAF) (im ZDB: Zentralverband Deutsches Baugewerbe)	http://www.stuckateur.de/ http://www.zdb.de/zdb-cms.nsf/id/bundesverband-ausbau-und-fassade-im-zdb-de Kronenstrasse 55-58, 10117 Berlin E-Mail: bau@zdb.de
Bundesverband Farbe Gestaltung Bautenschutz (BV-Farbe)	http://www.farbe.de/ Gräfstraße 79 60486 Frankfurt am Main E-Mail: bfarbe@farbe.de

3 Anforderungen für Wärmedammverbundsysteme aus RAL-UZ 140

Die Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel für WDVS (Blauer Engel, 2016) soll sich auf Produkte beschränken, die unter Einsatz von Werkstoffen und Materialien hergestellt werden, die die Umwelt innerhalb der Produktgruppe weniger belasten; keine Schadstoffe enthalten, die bei der Abfallentsorgung erheblich stören und die langlebig sind (hohe Dauerhaftigkeit).

Die Vergabegrundlage gilt in der aktuell noch gültigen Fassung für alle WDVS, die eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ)⁹ besitzen und gemäß DIN 55699 Ausgabe 2005-02 „Verarbeitung von Wärmedämm-Verbundsystemen“ ausgeführt werden (Blauer Engel, 2016).

DIN 55699 ist keine Produktnorm für WDVS. Sie beschreibt die Grundlagen der Planung und Verarbeitung von WDVS. In der ursprünglichen Fassung dieser Anwendungsnorm von 2005-02 können als Wärmedämmstoffe die folgenden Materialien verwendet werden:

- ▶ Polystyrol-Hartschaum nach DIN EN 13163
- ▶ Mineralwolle-Dämmplatten als Platte oder Lamellenplatte (Faserrichtung überwiegend senkrecht zur Oberfläche) nach DIN EN 13162 und
- ▶ Andere speziell für diesen Verwendungszweck genormte oder bauaufsichtlich zugelassene Dämmstoffe.

Nach Stand 1/2016 besagt die Vergabegrundlage: „Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) ermöglicht den Einsatz einer Vielzahl von Dämmstoffen, Putzen, etc., die als Gesamtsystem bestimmte bautechnische Anforderungen erfüllen müssen. Zurzeit (Stand 1/2016) haben WDVS auf der Basis von Mineralwolle, Polystyrol, Holzfasern, Mineralschaum, Polyurethan, Phenolharz und Aerogel in Deutschland eine abZ“.

Da sich die Neufassung DIN 55699, Ausgabe 2017-08¹⁰, auf WDVS auf Basis von EPS und MW beschränkt, wird es notwendig sein, diesen Bezug mit anderen Verarbeitungshinweisen für weitere relevante WDVS zu ergänzen.

3.1 Allgemeine stoffliche Anforderungen an alle Komponenten

Gemäß RAL-UZ 140 dürfen die Komponenten des WDVS keine der folgenden Stoffe als konstitutionelle Bestandteile enthalten:

Stoffe, die

1. gemäß der CLP-Verordnung in die folgenden Gefahrenkategorien eingestuft sind oder die Kriterien für eine solche Einstufung erfüllen

⁹ Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) ermöglicht den Einsatz einer Vielzahl von Dämmstoffen, Putzen, etc., die als Gesamtsystem bestimmte bautechnische Anforderungen erfüllen müssen. Zurzeit (Stand 1/2016) haben WDVS auf der Basis von Mineralwolle, Polystyrol, Holzfasern, Mineralschaum, Polyurethan, Phenolharz und Aerogel in Deutschland eine abZ.

¹⁰ Die neueste Fassung der Norm von 2017-08 vor, dass die einzelnen Komponenten des WDVS sowie die zu dämmende Fläche detailliert beschrieben werden müssen. Zudem werden bauliche Voraussetzungen zur Beschaffenheit des Untergrunds, der Horizontalabdeckung und der Abdichtung gegen Bodenfeuchte beschrieben. Weiterhin werden Vorgaben zu Transport und Lagerung, zur Verarbeitungstemperaturen, zur Befestigung der Dämmstoffplatten, zum Aufbringen des Unterputzes, zu den zugelassenen Schlussbeschichtungen (unterschieden in Mineralische Putze als Werkrockenmörtel, Kunsthärzputze, Dispersionssilikatputze, Silikonharzputz, Flachverblender, und Keramische Beläge), Anschlüsse und Fugen, Kantenausbildung und Ecken, Sockelabschluss und Sockeldämmung und zusätzlichen brandschutztechnischen Maßnahmen bei über 10 cm dicken Polystyrol-Hartschaumplatten gemacht. Auch unter 100 mm Dämmstoffdicke sind jedoch zusätzliche Brandschutzmaßnahmen möglich.

- ▶ karzinogen (krebszeugend) der Kategorie Carc. 1A oder Carc. 1B
- ▶ keimzellmutagen (erbgutverändernd) der Kategorie Muta. 1A oder Muta. 1B
- ▶ reproduktionstoxisch (fortpflanzungsgefährdend) der Kategorie Repr. 1A oder Repr. 1B
- ▶ akut toxisch (giftig) der Kategorie Acute Tox. 1, Acute Tox. 2 oder Acute Tox. 3
- ▶ toxisch für spezifische Zielorgane der Kategorie STOT SE 1 oder STOT RE 1

2. in der TRGS 905 eingestuft sind als

- ▶ krebserzeugend (K1, K2)
- ▶ erbgutverändernd (M1, M2)
- ▶ fortpflanzungsgefährdend (R_F1, R_F2)
- ▶ fruchtschädigend (R_E1, R_E2)

3. in der MAK-Liste bewertet und eingestuft sind als

- ▶ krebserzeugende Arbeitsstoffe Kategorie 1 oder Kategorie 2
- ▶ keimzellmutagene Arbeitsstoffe Kategorie 1 oder Kategorie 2

Für die Gefahrenkategorien wird die EG-Verordnung 1272/2008 zur Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (CLP-Verordnung) als Referenz genannt. Erfasst werden sollen auch Stoffe die Kriterien für eine solche Einstufung erfüllen.

3.1.1 Anforderungen an Dämmstoffe

Mit Blick auf die Dämmstoffe schreibt RAL-UZ 140 vor, dass für Faserdämmstoffe Verarbeitungsinformationen ausdrücklich beizulegen sind und bei der Herstellung von geschäumten Dämmstoffen keine halogenierten organischen Verbindungen (z. B. fluorierte Treibhausgase [H-FKW]) als Treibmittel eingesetzt werden dürfen.

Als Flammschutzmittel dürfen grundsätzlich keine halogenierten organischen Verbindungen verwendet werden¹¹ und keine Stoffe verwendet werden, die nach REACH (Verordnung (EG) Nr. 1907/2006) als persistent, bioakkumulierbar und toxisch (PBT) oder als sehr persistent und sehr bioakkumulierbar (vPvB) identifiziert sind. Der Nachweis erfolgt über eine Herstellererklärung oder den Gehalt an Fluor, Chlor und Brom in der Verbrennungsanalyse, wo 1g/kg nicht überschritten werden darf. Ausgeschlossen sind auch alle chronisch gewässertoxisch eingestuften Flammschutzmittel, die mit dem Gefahrenhinweis H410 gekennzeichnet sind.

Die Flammschutzmittelanforderung führt bislang dazu, dass WDVS aus Polystyrol keinen Blauen Engel erhalten können.

Biozide¹² sind für Dämmstoffe grundsätzlich nicht zulässig.

3.1.2 Anforderungen an Putze und Deckanstriche

Kleber und Putze (Unterputz, Oberputz) müssen den Anforderungen der Normen DIN EN 998-1 (DIN EN 998-1) für mineralische Putzmörtel oder DIN EN 15824 (DIN EN 15824) für Außen- und Innenputze mit organischen Bindemitteln entsprechen. Klebeschäume sind gemäß den Vergabegrundlagen aktuell nicht zulässig.

¹¹ Ausnahmen möglich

¹² Gemäß Biozidprodukteverordnung.

Kleber und Putze dürfen keine Biozide als Filmkonservierer enthalten. Als Topfkonservierer für flüssig transportierte Putze / Farben dürfen nur bestimmte Biozide in niedrigen Konzentrationen eingesetzt werden.

Darüber hinaus enthält RAL-UZ 140 bisher keine Einschränkungen bei Auswahl der Putze oder bei der Ausführung der Systeme.

Für Deckanstriche gelten die gleichen Anforderungen an Biozide wie für die Putze / Kleber.

3.2 Anforderungen an den Wärmeschutz, Ausführung, Verbraucherinformation und Werbeaussagen

Um eine Auszeichnung nach RAL-UZ 140 zu erhalten, müssen Dämmstoffe die Mindestanforderungen gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) erfüllen (siehe Kapitel 4.3.1). Konkret wird gefordert, dass der Wärmedurchgangswiderstand R des WDVS mindestens bei 4 (m^2*K)/W liegen muss. Dies entspricht einen U-Wert von 0,25 W/($K*m^2$) wodurch die EnEV-Anforderung (U-Wert von 0,24 W/(m^2*K) für die Außenwand) sichergestellt wird.

Weitere Kriterien zu Ressourcenschonung und Recycling sind nicht enthalten.

RAL-UZ 140 verlangt in der aktuellen Version, dass Ausführungs- und Verbraucherinformationen, und Werbeaussagen technisch korrekt zur Verfügung gestellt werden müssen und keine irreführende Werbung gemacht werden darf.

Für Brandschutz enthält RAL-UZ 140 bislang keine eigenen Kriterien. Jedoch sind die baurechtlich geltenden Kriterien über den Verweis auf zugelassene WDVS enthalten.

3.3 Hersteller mit Produktauszeichnung nach RAL-UZ 140

Bis 2016 wurde das Zeichen für die folgenden Hersteller und insgesamt 21 Produkte vergeben, davon 19 mit Mineralwolldämmstoffen und 2 mit Mineralschaum:

Tabelle 8: Hersteller mit Produktauszeichnung nach RAL-UZ 140

Hersteller	Zahl der ausgezeichneten Systeme
ALLIGATOR FARBWERKE GmbH	2
alsecco GmbH	3
Baumit GmbH	1
Brillux GmbH & Co.KG	1
Caparol Farben Lacke Bautenschutz GmbH & Co. Vertriebs KG	3
HASIT Trockenmörtel GmbH	1
HECK Wall Systems GmbH	1
KEIMFARBEN GmbH	1
quick-mix Gruppe GmbH & Co. KG	2
Saint-Gobain Weber GmbH	1
Saint-Gobain Weber Terranova GmbH, Österreich	1
Sto SE & Co. KGaA	4

3.4 Weitere Güte- und Umweltzeichen für Dämmstoffe und WDVS

Es gibt auf dem europäischen und deutschen Markt einige privatrechtliche Gütesiegel, die zur freiwilligen Produktzertifizierung zählen. Für Wärmedämmverbundsysteme sind folgende zu erwähnen:

RAL-Gütezeichen 712

Das RAL-Gütezeichen 712 „Wärmedämmung von Fassaden im Verbundsystem“¹³ stellt Anforderungen an die Planung und Ausführung von Wärmedämmung von Fassaden im Verbundsystem in den Bereichen Neubau, Altbau und Instandsetzung, enthält aber keinerlei Vorgaben zur stofflichen Bewertung. Das RAL-Gütezeichen ist somit ein Qualitätszeichen und kein Öko- Siegel (Bauzentrum München, 2010).

Natureplus

Das Qualitätszeichen Natureplus¹⁴ steht für Baustoffe, Bauprodukte und Einrichtungsgegenstände, die weitgehend aus Mineralien oder nachwachsenden Rohstoffen bestehen.

Unter anderem wurden in der Vergaberichtlinie 0300¹⁵ allgemeingültige Anforderungen für Wärmedämmverbundsysteme mit Dämmplatten aus Hanf, Kork, Schilf, Mineralschaum und Schaumglas erarbeitet. Für die Systemkomponenten Kleber, Befestigungsmittel und Putzsystem gelten zusätzliche Produkt-Kriterien der Einzelkomponenten.

Österreichisches Umweltzeichen

Das Österreichische Umweltzeichen¹⁶ kennzeichnet, wie der Blaue Engel, umweltfreundliche Produkte und Dienstleistungen. Vorhanden sind Kriterien für mineralische Wärmedämmstoffe (UZ45)¹⁷, sowie Wärmedämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (UZ44)¹⁸.

¹³ https://www.ral-guetezeichen.de/gz-einzelansicht/?gz=gz_712 (aufgerufen am 8.1.2018)

¹⁴ <http://www.natureplus.org/index.php?id=6&L=2> (aufgerufen am 8.1.2018)

¹⁵ http://natureplus.org/fileadmin/user_upload/pdf/cert-criterias/RL0300.pdf (aufgerufen am 8.1.2018)

¹⁶ <https://www.umweltzeichen.at/cms/de/fuer-interessierte/richtlinien/content.html> (aufgerufen am 8.1.2018)

¹⁷ http://www.umweltzeichen.at/richtlinien/Uz45_K5a_mineralische_Daemmstoffe_Kurzfassung_2015.pdf (aufgerufen am 8.1.2018)

¹⁸ https://www.umweltzeichen.at/richtlinien/UZ44_K5a_D%C3%A4mmstoffe_aus_nachwachsenden_Rohstoffen_2011.pdf (aufgerufen am 8.1.2018)

4 Technische Kenngrößen von WDVS (Dämmstoffe, Putze, Kleber)

WDVS und insbesondere die darin enthaltenen Dämmstoffe und Putze haben unterschiedliche Eigenschaften und Kenngrößen, die ihre Einsatzmöglichkeiten und ökologische Bewertung bestimmen. Parameter wie Standsicherheit, Stoßfestigkeit und Schallschutz werden im Rahmen dieses Berichtes nicht besprochen, auch wenn sie unter bautechnischen Gesichtspunkten wesentlich sind. Diskutiert werden im Folgenden die Kenngrößen für Wärmeschutz, Feuchtigkeitsschutz und die Brandeigenschaften.

4.1 Definition und Bestandteile eines WDVS

Ein außenseitiges Wärmedämm-Verbundsystem WDVS ist laut DIN 55699 (2017) ein bauseits angebrachtes System, bestehend aus werkmäßig hergestellten Produkten, das als vollständiges System vom Systemhersteller geliefert wird und die folgenden Komponenten umfasst, welche vom Systemhersteller speziell für das System und den Untergrund ausgewählt wurden:

- ▶ Eine/einen systemspezifische(n) Klebemasse / Klebemörtel, gegebenenfalls zusätzlich systemspezifische mechanische Befestigungsmittel;
- ▶ Einen systemspezifischen Wärmedämmstoff;
- ▶ Einen systemspezifischen Unterputz aus einer oder mehreren Schichten, von denen mindestens eine Schicht eine Bewehrung / Armierung enthält;
- ▶ Eine systemspezifische Bewehrung / Armierung (z. B. Gewebe, Gelege);
- ▶ Einen systemspezifischen Oberputz oder eine systemspezifische Schlussbeschichtung, die auch eine dekorative Schicht einschließen kann.

Das Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) spezifiziert WDVS als Bausätze „im Allgemeinen bestehend aus Dämmstoffplatten, die mit Klebemörtel am Untergrund angeklebt und ggf. zusätzlich mit mechanischen Befestigungsmitteln (Dübel, Profile u.a.) befestigt werden, bewehrtem Unterputz und einer dekorativen Schlusschicht“. Die Schlusschicht kann dabei aus Putz oder einer keramischen Verkleidung bestehen.

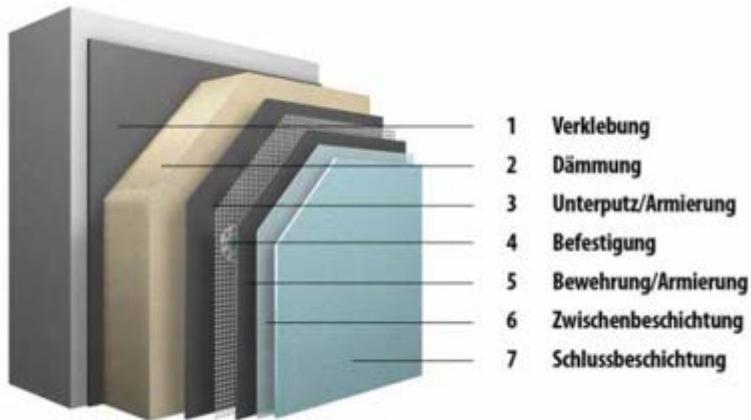
Darüber hinaus gibt es Dämmverbundelemente aus organischen oder anorganischen Baustoffen, unter denen man „werkseitig hergestellte wärmedämmende Bauteile“ versteht, „die als Wetterschutz auf der tragenden Wand außenseitig befestigt werden“. Diese sind nicht Gegenstand dieser Studie.

Der prinzipielle Aufbau eines WDVS ist nach RAL-UZ 140 wie folgt:

1. Klebeschicht und/oder mechanische Befestigung mit Schienen, Dübeln, etc.
2. Wärmedämmsschicht aus Dämmstoffen in unterschiedlicher Schichtdicke
3. Armierungsschicht aus Armierungsputz und Armierungsgewebe
4. Oberputzschicht oder Verkleidung zur Oberflächengestaltung und für Wetterschutz

Dieser Aufbau wird beispielhaft in Abbildung 9 abgebildet.

Abbildung 9: Beispielhafter Grundaufbau eines WDVS



Quelle: GDV (2015)

Abbildung 10 zeigt einen typischen WDVS-Aufbau anhand eines am Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) hergestellten Testprüfkörpers.

Abbildung 10: Testprüfkörper mit dem typischen WDVS-Aufbau



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Eine detaillierte Beschreibung üblicher Kombinationen von WDVS-Komponenten findet sich in Krueger et al. (2016). Abbildung 11 zeigt einen Überblick über die möglichen Kombinationen von Befestigung, Dämmstoff und Putzsystem.

Abbildung 11: Übliche Kombinationen von WDVS-Komponenten



Quelle: Albrecht & Schwitalla (2015)

Nach Informationen von Krueger et al. (2016) müssen die einzelnen in WDVS verwendeten Komponenten ebenso wie Planung und Installation von WDVS einer Vielzahl von Anforderungen genügen. Neben der Einhaltung zahlreicher Normen, müssen insbesondere die Vorgaben der jeweiligen abZ eingehalten werden.

Zusätzlich können (herstellerbezogene), technische Vertragsbedingungen (ZTV) verpflichtend sein, oder Verarbeitungsrichtlinien der einzelnen Hersteller vorliegen. Ausführliche Zusammenstellungen von WDVS betreffenden Regelwerken finden sich in Herstellerinformationen wie Imparat (2011), Baumit (2016) und BFS (2012) und Lehrbüchern wie Riedel et al. (2010) und Neumann (2009).

4.2 Befestigungssysteme

Ebenso wie für die anderen Bestandteile eines WDVS gelten auch für die Befestigungssysteme in erster Linie die Anforderungen der jeweiligen WDVS-abZ. Diese umfassen auch den Verweis auf die Verarbeitungsanleitungen des Herstellers.

In der DIN 18345 (2016) finden sich folgende Vorschriften über die Ausführung und Befestigung von Wärmedämm-Verbundsystemen und verputzten Außenwärmedämmungen:

- ▶ Für die Verarbeitung von Wärmedämm-Verbundsystemen gelten DIN 55699 „Verarbeitung von Wärmedämm-Verbundsystemen“ sowie die bauordnungsrechtlichen Bestimmungen, z. B. Zulassungen.
- ▶ Die Dämmstoffplatten sind dicht im Verband gestoßen zu verlegen und mit Klebemörtel zu befestigen sowie an begrenzende Bauteile anzupassen.
- ▶ Reicht die alleinige Verklebung von Dämmstoffplatten zur sicheren Befestigung nicht aus, so sind diese zusätzlich zu verdübeln.
- ▶ Bei nicht klebegeeigneten Untergründen sind die Dämmstoffplatten ausschließlich mechanisch zu befestigen.
- ▶ Auf die Dämmstoffplatten ist ein Armierungsputz mit Gewebeeinlage aufzutragen.
- ▶ Bei Öffnungen, Aussparungen und Nischen sind Diagonalbewehrungen einzubauen.
- ▶ Oberflächen

- Auf den Armierungsputz ist ein Oberputz aufzutragen. Dünnlagige Oberputze sind gerieben mit 3 mm Korngröße, dicklagige Oberputze sind als Kratzputz auszuführen. Für das Verarbeiten von Putzen gelten DIN EN 13914-1 „Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen – Teil 1: Außenputz“ (2016) oder DIN 18550-1 „Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen – Teil 1: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-1 für Außenputze“ (2018) und DIN 18558 „Kunstharzputze - Begriffe, Anforderung, Ausführung“ (1985).
- Flachverblender, keramische Beläge, Verbundelemente, Dekorelemente und dergleichen sind auf dem Armierungsputz zu befestigen.

4.2.1 Kleber

Die Fixierung der WDVS auf dem Untergrund kann im Normalfall ausschließlich durch Kleben erfolgen. Zum Einsatz kommen Dispersions- bzw. mineralisch gebundene Klebe- und Spachtelmassen oder Klebeschaum. Außerdem ist eine mechanische Befestigung des Dämmstoffes mit Dübeln, mit Schienen oder Profilbefestigungen, oder mit anderen bauaufsichtlich zugelassenen Befestigungsmitteln möglich (Riedel et al., 2010).

Nach DIN 55699 (2017) dürfen Klebemassen / Klebemörtel auf die Dämmstoffplatten oder auf den Untergrund aufgebracht werden. Verklebt wird mit Randwulst-Punkt-Verfahren, im Wulstverfahren oder durch ganzflächigen Auftrag (siehe Tabelle 9). Mit Klebemassen/Klebemörtel dürfen Unebenheiten des Untergrundes von 1 cm, an einzelnen Stellen bis 2 cm, ausgeglichen werden. Die Angaben in der Zulassung und die Abhängigkeit vom Befestigungssystem sind dabei maßgeblich. Bei größeren Unebenheiten ist ein Toleranzausgleich vorzunehmen, z. B. durch Ausgleichsputz.

Tabelle 9: Verklebemethoden für Polystyrol- und Mineralwolleddämmplatten nach DIN 55699 (2017)

Auftragsart Klebemassen/ Klebemörtel	Auftrag auf	Dämmstoff			
		Polystyrol- Platten	Mineral- wolle- Platten	Mineralwolle-, Lamellen- platten	Mineralwolle- Lamellen- platten mit Haftbrücken- beschichtung
Randwulst-Punkt Verfahren	Dämmstoff- platten	x ^a	x ^a		
Ganzflächiger Auftrag mit Zahntraufel	Dämmstoff- platten	x	x	x	x
	Untergrund	x	x ^c		x
Wulstverfahren (maschinell)	Untergrund	x ^b	x ^c		x ^b

^a Sofern systemspezifisch nicht anders festgelegt, muss im angedrückten Zustand eine Klebefläche von $\geq 40\%$ erreicht werden.

^b Sofern systemspezifisch nicht anders festgelegt, muss im angedrückten Zustand eine Klebefläche von $\geq 50\%$ erreicht werden.

^c Mineralwolle-Platten mit spezieller Beschichtung

In Weißert et al. (2010) wird die Verklebung von Dämmpatten wie folgt beschrieben: Die Verklebung der Dämmplatten ist hinsichtlich der Standsicherheit (Lasteinleitung in die Wandkonstruktion) ein entscheidendes Kriterium. Bei der ausschließlichen Klebung erfolgt die Lasteinleitung in die Wand nur über die Kleber-Kontaktfäche. Bei einer zusätzlichen Dübelung stellt der Kleber eine schubsichere Verbindung zum Untergrund dar, auch wenn die Abreißfestigkeit unzureichend ist.

Als Kleber kommen sowohl

- ▶ dispersionsgebundene Kleber, welche verarbeitungsfertig geliefert werden,
- ▶ mineralisch gebundene Kleber (Mörtel), welche manuell oder maschinell mit Wasser angeteigt werden und
- ▶ Klebeschäume auf Polyurethan-Basis (PU-Schaum), die in speziellen Druckbehältern oder in Flaschenform geliefert werden

zum Einsatz. Der Kleber kann – je nach Festlegung in der Systemzulassung und abhängig vom Dämmstofftyp – in unterschiedlicher Form appliziert werden.

In den letzten Jahren werden Dämmplatten aus Polystyrol zunehmend mittels Klebeschaum aus Polyurethan am Untergrund befestigt. Der Vorteil gegenüber dem Klebemörtel ist die schnelle Aushärtung und die Vermeidung von Mörtelstaub. Das Expandieren des Schaumes wirft jedoch technische Probleme auf (Brumme, 2015; HECK, 2014).

Sofern mineralische oder organische Klebemörtel eingesetzt werden, handelt es sich häufig um die gleichen Massen, die später auch als Unter- / Armierungsputz dienen. Für weitere Informationen siehe daher Kap. 4.4.

4.2.2 Dübel

Dübel sichern zusätzlich zum Kleber die Dämmplatten mechanisch an der Fassade. Sie dienen der Ableitung von Windsogkräften und verhindern damit ein Herabfallen. Dübel bestehen aus Kunststoff oder einer Kunststoff-Metallkombination. Insgesamt gibt es eine große Auswahl von Dübeln. Für die Wahl des geeigneten WDVS-Dübel ist neben der Baustoffart und der Montageweise auch die Belastung von Bedeutung, der der Dübel im WDVS ausgesetzt ist.

Die Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (DIBt, 2017) enthält in der Technischen Regel „WDVS mit ETA nach ETAG 004“ genaue Vorgaben zum Einsatz von Dübeln als Zusatzbefestigung bei WDVS mit Polystyrol(EPS)-Platten, mit Mineralwolle(MW)-Platten (Fasern parallel zum Untergrund) oder mit Mineralwolle(MW)-Lamellen (Fasern senkrecht zum Untergrund). Nach Paragraph 2.1.2 und 2.1.3 der Technischen Regel sind die Dämmplatten in Abhängigkeit vom Winddruck w_e mit zusätzlichen Dübeln zu befestigen. Zugelassen für die Befestigung sind (Teller)dübel nach ETAG 014. Gemäß Paragraph 3.2 ist bei WDVS (schwerentflammbar) mit expandiertem Polystyrol (EPS)-Dämmstoff nach DIN EN 13163 (2017) der Einsatz gedübelter Brandriegel zwingend vorgeschrieben. WDVS-Dübel nach ETAG 014 bestehen aus Dübelteller und Hülse aus Kunststoff sowie Spreizelement aus Stahl. Der Durchmesser des Dübeltellers muss ≥ 60 mm betragen.

Auf die Brennbarkeit oder die Umweltverträglichkeit von WDVS haben Dübel wenig Auswirkung. Zur Berücksichtigung der Wärmebrückenwirkung von Dübeln in WDVS hat das DIBt Berechnungsregelungen entwickelt.

4.3 Wärmedämmplatten für WDVS

Wesentlich für die Verwendung von Wärmedämmstoffen in WDVS ist mechanische Stabilität, so dass grundsätzlich nur Wärmedämmplatten zur Auswahl stehen.

Nach Informationen des Baunetz Wissen (Baunetz Wissen, 2016) sind neben Polystyrol-Hartschaum (EPS), Mineralwolle, Polyurethan-Hartschaum (PUR), Phenolharz-Hartschaum (PHF), Mineralschaum, Holzfasern, Kork, Hanf, und Vakuumpaneelen auch Schilf und Perlite mögliche Dämmstoffe für WDVS. Krueger et al. (2016) nennen außerdem Polycarbonat, das als lichtdurchlässige Fassadenverkleidung verwendet werden kann.

Die in WDVS verwendeten Dämmstoffe können grob in vier Materialtypen klassifiziert werden.

- ▶ Synthetische organische Dämmstoffe (Expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS), Extrudierter Polystyrol-Hartschaum (XPS), Polyurethan/Polyisocyanurat Hartschaum (PUR/PIR), Phenolharz/Resolhartschaum (PHF));
- ▶ Synthetische anorganische (mineralische) Dämmstoffe (Steinwolle, Mineralschaum (Calciumsilikat), Aerogel, Schaumglas);
- ▶ Synthetische Verbundmaterialien (Vakuumpaneelle (VIP));
- ▶ Natürliche organische Dämmstoffe (Holzfaserdämmplatten, Holzwolle-Platten, Hanf, Kork) (Galinski & Paul, 2015, Brauer, 2015).

Nach Informationen des Instituts für Bauforschung e.V. sowie der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe sollen grundsätzlich auch Kokos, Flachs, und Stroh (Zellulose) in Doppelfassaden oder mit einer Putzschicht versehen für die Außendämmung möglich sein. Die Industrie betrachtet dies jedoch nicht als klassische WDVS. Zusätzlich werden Versuche mit WDVS aus Strohdämmplatten mit mineralischen Bindemitteln und Holzschaumplatten durchgeführt, die bislang jedoch noch nicht auf dem Markt sind. Dies könnte in gegebenenfalls 15 bis 20 Jahren der Fall sein.

Ein ausführlicher Überblick über den Einsatz und die Vor- und Nachteile verschiedener Dämmstoffe allerdings ohne spezifische Bewertung in Bezug auf WDVS findet sich in Sprengard et al. (2013).

4.3.1 Wärmeschutzeigenschaften

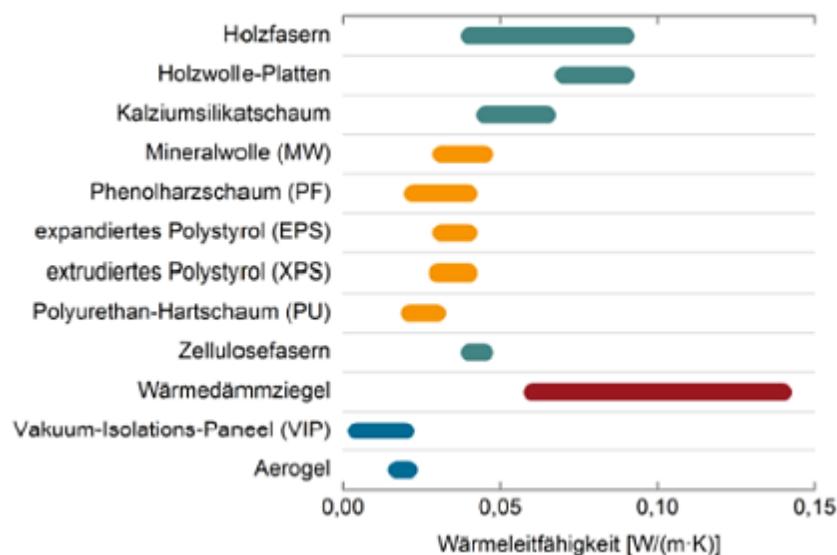
Die Energieeinsparverordnung (EnEV, 2015) legt detaillierte Anforderungen für den Energiebedarf von Gebäuden fest. Als Wert für Außenwände bei normal bewohntem Wohnraum (Innentemperatur $>19^{\circ}\text{C}$) forderte die EnEV vor der letzten Überarbeitung für Altbauten im Fall einer Sanierung einen Höchstwert für den Wärmedurchgangskoeffizienten U_{\max} von $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für die Außenwände. Dieser Wert wird zwar gemäß der neuesten EnEV-Auslegung nicht mehr gefordert, er kann aber weiter als Richtwert herangezogen werden.

Über den Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) wird der erlaubte Wärmefluss durch Bauteile festgelegt. Dieser U-Wert ist abhängig von der Wärmeleitfähigkeit (λ) bzw. dem Wärmedurchgangswiderstand (R) des Materials. Je niedriger λ ist, umso höher ist der erreichbare Wärmeschutz und desto besser dämmt ein Material. Ein sehr niedriger U-Wert trägt allerdings zu Bildung von Tauwasser auf der Außenwand bei (Krueger et al., 2016). Ein R von $4 \text{ (m}^2\text{K})/\text{W}$ entspricht einen U-Wert von $0,25 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$. Bei Altbauten (mit typischen U-Werten von $1,4\text{--}1,8 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ (Kienzlen et al., 2015)), wird der von der EnEV geforderte U-Wert für Außenwände in der Regel nur durch nachträgliche Außendämmungen mit Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) erreicht.

Dämmstoffe werden im Hinblick auf das Kriterium Wärmeleitfähigkeit nach den geltenden harmonisierten europäischen Normen (DIN EN 13162 bis 13171) charakterisiert. Die Umsetzung in nationale Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit obliegt den Mitgliedsstaaten. In Deutschland werden nach DIN 4108-4 (2017) Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit für die Berechnung der U-Werte verwendet.

Abbildung 12 bietet einen Überblick über die Wärmeleitfähigkeiten der wichtigsten Dämmstoffe für WDVS.

Abbildung 12: Vergleich der Wärmeleitfähigkeit von WDVS-Dämmstoffen



Quelle: Sprengard et al. (2013)

4.3.2 Herstellung der Dämmstoffe für WDVS

Das Fraunhofer Institut für Bauphysik, IBP, hat in einer Studie (Albrecht & Schwitalla, 2015) die Massen der von 1960 bis 2012 eingebauten WDVS-Komponenten berechnet. Die Ergebnisse beziehen sich auf die in diesem Zeitraum mit EPS-Hartschaumstoff gedämmte Fassadenfläche. Folglich machen die Dämmstoffe an den Gesamtmassen nur 12 % aus. Die massenmäßig größten Anteile der WDVS-Komponenten kommen vom Mörtel mit 32 % und dem Kleber mit 31 %. Für andere Dämmmaterialien in WDVS liegen zurzeit keine Daten vor. Je nach Dämmstoffart können sich aufgrund der angenommenen Dämmdicke sowie Rohdichte unterschiedliche prozentuale Massenströme ergeben.

Im Folgenden werden die Herstellung der am häufigsten verwendeten Dämmstoffe in WDVS, die darin vorkommenden Roh- und Zusatzstoffe sowie Informationen zu ihrer Verarbeitung dargestellt. Hinweise zu den Eigenschaften der Dämmstoffe sind im Anhang 1, Kapitel 10 zu finden.

4.3.2.1 Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen

Die Rohstoffbasis für Dämmstoffe aus synthetischen Polymeren sind fossile Rohstoffe, in der Regel Erdöl (selten auch Erdgas oder Kohle), das raffiniert und zu den jeweiligen Ausgangstoffen für die Polymerisation verarbeitet wird.

Polystyrol-Hartschaum

Je nach Herstellverfahren unterscheidet man expandierten Polystyrol-Hartschaum (EPS) nach DIN EN 13163 und extrudierten Polystyrol-Hartschaum (XPS) nach DIN EN 13164.

Expandiertes Polystyrol (EPS)

Das mittels Suspensionpolymerisation hergestellte Polystyrolgranulat enthält als Treibmittel Pentan (Anteil 3,5-7 %) und wird für die Dämmstoffproduktion mit Wasserdampf (ca. 90 °C) um das 20- bis 50fache aufgebläht, wobei das Treibmittel verdampft. Nach dem Abkühlen wird das Granulat ein zweites Mal mit Wasserdampf (ca. 110 bis 120 °C) aufgeschäumt, wobei sich die Perlen zu einem homogenen Material verschweißen. Der hergestellte Dämmstoff wird nach der Herstellung noch für eine bestimmte Zeit gelagert, um nachträgliche Schrumpfungen am Einbauort auszuschließen.

EPS-Hartschaumplatten bestehen zu 98 % aus Polystyrolgranulat, wobei der Anteil an Recyclat 0 bis 19 % betragen kann. Seit ein paar Jahren gibt es Bestrebungen von Seiten der Industrie eine

Rückführung von EPS-Baustellenabschnitten und anschließender Aufbereitung, siehe hierzu auch Kapitel 7.3. Als flammhemmenden Zusatz enthielt die Polymatrix bis 2014/2015 0,5 bis 1 % Hexabromocyclododecan (HBCD), seitdem wird das bromierte Polymer PolyFR eingesetzt (siehe Anhang 2, Kapitel 1).

Zur Verbesserung des Dämmwerts kann das EPS mit 3-5 % Graphit oder Ruß versetzt werden. Daraus entsteht graues EPS, welches unter anderem primär mit dem Markennamen Neopor in Verbindung gebracht wird. Der Energieaufwand für die Herstellung von Dämmstoffen aus EPS stammt fast vollständig aus der Herstellung des EPS-Granulates. Die Plattenherstellung mit Aufschäumen des Granulates und Pressen der Platten trägt nur einen geringen Teil zum gesamten Energieaufwand bei. Der Einsatz von recyceltem EPS aus gebrauchten Dämmstoffen stellt den wichtigsten Einflussfaktor zur Reduktion des Energieaufwands dar.

Extrudiertes Polystyrol (XPS)

Extrudiertes Polystyrol XPS (auch: Extrudierter Polystyrolschaum, Extruderschaum) ist ein harter Dämmstoff, der durch Extrudieren und Blähen aus Polystyrolgranulat (bei 85 - 93 Massen-%) hergestellt wird und dessen zahlreiche feine Poren durch ein Treibgas gefüllt sind. Als Treibgas kommt vorwiegend Kohlendioxid - teilweise mit einem Co-Treibmittel (Ethanol oder Aceton) - zum Einsatz. Hinzu kommen Talkum, Pigmente und Zusatzstoffe zur Stabilisation des Materials. Der HBCD-Gehalt war mit 2 - 4 % Masse höher als bei EPS. Inzwischen werden andere Flammenschutzmittel verwendet (siehe Anhang 2, Kapitel 1). XPS wird jedoch nicht als WDVS-Dämmstoff, sondern nur im Sockelbereich in Spritzwasserzonen angewendet.

Das Polystyrolgranulat wird bei ca. 200 °C unter Einsatz eines Treibmittels in einem Extruder aufgeschmolzen und mit den Zusatzstoffen vermischt. Die über eine Breitschlitzdüse kontinuierlich auf ein Fließband aufgetragene Schmelze bläht sich stark auf. Sie bekommt eine homogene und geschlossenporige Struktur. Sobald der Schaumstoff abgekühlt ist, kann er zugeschnitten werden. XPS-Dämmplatten (d = 20 – 320 mm) weisen durch das Produktionsverfahren eine geschlossene Oberfläche, mit unterschiedlicher Kantenbildung (Nut- und Feder-Ausbildung, Stufenfalte usw.) und Oberflächenprofilierungen auf. Die meisten Hersteller färben ihre XPS-Produkte ein, wodurch sie leicht vom weißen oder grauen EPS unterschieden werden können. Weißes XPS ist auf dem Markt ebenfalls verfügbar.

Polystyrol-Platten lassen sich mit üblichen Werkzeugen sägen oder schneiden, wobei jedoch die Gefahr besteht, dass einzelne Partikel ausbrechen können. Ein exakter Zuschnitt kann mithilfe von Heißdrähten erfolgen, allerdings sollten die dabei entstehenden Dämpfe nicht eingearbeitet werden. Wenn die Platten verklebt und verdübelt werden, muss mit die in der abZ/ETA benannten Systemkleber ohne Lösungsmittel gearbeitet werden (Hauser, Ettrich & Göttig, 2011).

Polyurethan-Hartschaum

PUR-Schaum wird aus den zwei Hauptbestandteilen Polyisocyanat und Polyol hergestellt. Nach einer chemischen Reaktion entsteht unter Zugabe von Treibmitteln wie Kohlendioxid, Pentan, Isobutan oder teilfluorierten Kohlenwasserstoffen Polyurethan-Hartschaum. Die Herstellung erfordert hier einen sehr hohen Energieeinsatz. Als Flammenschutzmittel werden meist halogenierte Phosphorsäureester (TCPP oder TCEP) beigefügt (siehe Kapitel 4.3.3).

Auf dem Markt werden PUR-Dämmplatten ohne Deckschichten, mit flexiblen Deckschichten (z. B. Aluminium-Folien) und Sandwich-Elementen angeboten. Für die Anwendung in WDVS werden vliestaschierte PUR- Dämmplatten eingesetzt. Für Sandwich-Elemente siehe Kapitel 4.5.1).

Je nach Einsatzmengen und Arten von Isocyanaten und Polyolen können zudem unterschiedliche Schäume hergestellt werden, zum Beispiel PIR-Hartschaum.

Bei der Verarbeitung sind keine besonderen Sicherheitsmaßnahmen zu beachten. Die Platten lassen sich mit üblichen Werkzeugen schneiden, sägen und fräsen. Nur beim Einsatz von Heißdrahtschneidegeräten sollten die dabei entstehenden Dämpfe nicht eingetauscht werden (Hauser et al., 2011).

Phenolharzschaum (PHF)

PHF-Schaum ist ein überwiegend geschlossenporiger, harter Schaumstoff. Er wird aus Phenolharzen durch Zugabe eines Treibmittels (z.B. Pentan) und eines Härters mit oder ohne Zufuhr äußerer Wärme erzeugt. Die Ausgangsstoffe sind Phenol, Resorcin und Formaldehyd. Es handelt sich um Grundstoffe, die in großen Mengen produziert werden und in der chemischen Produktion vielfältige Verwendung finden.

Die Herstellung der Dämmstoffplatten erfolgt in kontinuierlichen Verfahren als Bandware, vereinzelt auch als Blöcke (Forum Nachhaltiges Bauen, 2016a). In der Regel sind die Platten beidseitig mit Glasvlies vereinzelt auch mit Aluminium kaschiert. Für die Anwendung in WDVS gibt es spezielle Platten, die immer vlieskaschiert sind. Das Material lässt sich mit Handsägen oder Messern zuschneiden und die Befestigung erfolgt geklebt und gedübelt.

4.3.2.2 Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen

Mineralwolle

Für WDVS wird grundsätzlich Steinwolle und nicht Glaswolle eingesetzt. Die Steinwolle wird überwiegend aus natürlichen Gesteinen (Basalt, Feldspat, Dolomit, Sand und Kalkstein) durch Einschmelzen bei ca. 1500 °C im Kupolofen oder in der Schmelzwanne und Zerfaserung im Walzenspinnverfahren oder Düsenziehverfahren hergestellt. Als Bindemittel dient Phenolformaldehydharz (Forum Nachhaltiges Bauen, 2016b). Ebenso werden sog. Recyclingbriketts (gepresste, zementgebundene Briketts aus Zerfaserungsabfällen, werks- und baustellenseitigen Schnittabfällen) eingesetzt. Alternativ zu den Briketts kann auch gereinigtes Altglas zugeführt werden (Brockmann, Herr & Rössig, 2011). Der Herstellungsprozess ist mit einem hohen Energieaufwand verbunden.

Laut Expertenmeinung ist der Einsatz von Recyclingmaterial bei den Herstellungsverfahren bis zu einem gewissen Prozentsatz möglich. Dieser wird aus Wettbewerbsgründen nicht genannt. Der reale Anteil (der auch nicht genannt wird) ist aber erheblich kleiner. Vor 1996 produzierte Mineralwolle weist ein hohes krebserzeugendes Potential oder krebsverdächtige Eigenschaften auf; seit 2000 ist das Inverkehrbringen von krebserzeugenden Mineralfasern durch die Chemikalienverbotsverordnung verboten.

Kupolofen und Walzenspinnverfahren

Die Rohstoffe (Steine, Kalk, Koks) werden dem Kupolofen (kleiner Hochofen) zugeführt, bei ca. 1400 bis 1500 °C geschmolzen und im Walzenspinnerverfahren zerfasert. Danach werden Schmelzmittel (für die Staubminderung und Hydrophobierung), Bindemittel und Haftvermittler in wässriger Lösung aufgesprührt. Die entstandene Rohwolle wird in Kammern, welche unter Druck stehen, auf Transportbändern gesammelt und dem Härteofen zugeführt, in dem 200 bis 300 °C heiße Luft durch die Wollmasse gesaugt wird, wobei sich die Bindemittel zu Duroplasten vernetzen. Schließlich wird das Produkt konfektioniert und verpackt. Die Abluftmengen aus dem Produktionsprozess werden mechanisch gefiltert und thermisch nachverbrannt. Über Wärmetauscher wird ein Teil der Abwärme für die Vorwärmung des Ofenwindes zurückgewonnen. Die abgeschiedenen Faserstäube werden in den Produktionsprozess zurückgeführt. Das Prozesswasser wird intern gereinigt und zu einem erheblichen Teil wieder in den Prozess zurückgeführt (Brockmann et al., 2011; IBU, 2012).

Schmelzwanne und Düsenblasverfahren

Die pelletierten Rohstoffe werden mit Erdgas und Strom als Energieträger in einer Schmelzwanne kontinuierlich bei ca. 1500 °C geschmolzen (Brockmann et al., 2011). Das Düsenblasverfahren wird beim Zerfasern angewendet. Unter dem Zerfaserungsaggregat werden die Bindemittelbestandteile als wässrige Lösung, Emulsion oder Suspension auf die Fasern aufgesprührt. Nach Ablage auf einem Transportband wird das Rohvlies in Tunnelöfen überführt. In diesen härtet das Harz durch Heißluft aus. Danach wird die Steinwolle konfektioniert und verpackt. Produktabhängig kann während des Herstellungsprozesses das Rohvlies mit verschiedenen Kaschierungen oder Beschichtungen versehen werden (IBU, 2008).

Mineralschaum

Mineralschaumplatten sind dampfgehärtete Dämmplatten aus Quarzsand (20 % bis 50 %), Kalk (10 % bis 25 %), Zement (25 % bis 45 %), Wasser und einem porenbildenden Zusatzstoff. Das Herstellungsverfahren erfolgt analog jenem für Porenbeton oder Kalksandstein, doch entstehen durch die Porosierung mit Treibmitteln wie Proteinschaum (Eiweiß) oder Salzsäure und Natronlauge wesentlich mehr luftgefüllte Poren (Sprengard et al., 2013). Die aufgeschäumte Masse wird unter Temperatur (Dampf) ausgehärtet und zu Platten geschnitten. Die Platten (bis 200 mm Dicke) können einfach verarbeitet werden, da sie mittels eines Spezialklebers hohlräumfrei verklebt und/oder verdübelt werden.

Schaumglas

Hauptbestandteil ist üblicherweise Altglas (vorwiegend Windschutzscheiben), es können jedoch auch die gleichen Ausgangsstoffe wie bei der sonstigen Glasherstellung genutzt werden (u.a. Quarzsand). Die Glasherstellung erfolgt in einem Schmelzofen und ist bei der Verwendung von Altglas weniger energieaufwändig als bei der Herstellung aus Quarzsand. Das erkaltete Glas wird zu einem feinen Pulver zerrieben und mit Kohlendioxid als Treibmittel für den nachfolgenden Schäumungsvorgang bei etwa 850 °C versetzt. Das hierbei gewonnene Material wird entweder in Platten geschnitten oder gebrochen und zu Granulat verarbeitet (Hauser et al., 2011).

4.3.2.3 Dämmstoffe aus natürlichen organischen Rohstoffen

Natürliche Dämmstoffe haben den Vorteil einer grundsätzlich hohen Wärmespeicherkapazität, geringe CO₂-Emissionen sowie einen geringen Primärenergiebedarf (nicht erneuerbar und erneuerbar) während der Herstellung. Nachteile sind hohe Preise, Feuchtigkeitsempfindlichkeit und analog wie bei synthetischen organischen Dämmstoffen die Brennbarkeit ((Dorsch, Kaiser, Niklasch, Schöpgens & Spritzendorfer, 2017). Bei den nachwachsenden Dämmmaterialien stellt sich außerdem die Frage nach der Ressourcenherkunft bzw. der Art des Anbaus aber auch die Frage nach den Zusätzen wie Flammenschutzmitteln und Biozideinsatz.

Holzfasern

Laut der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. wird als Rohstoff für die Herstellung von Holzfasern Nadelholz-Restholz aus Durchforstungsholz oder Restmaterial der Sägewerksindustrie genutzt. Für die Herstellung von Holzfaserdämmplatten dienen langfaserige Nadelhölzer und Laubhölzer, welche überwiegend als Reste aus der holzverarbeitenden Industrie stammen. Das Restholz wird zerkleinert und unter Wasserdampf aufgeschärt. Die Hackschnitzel werden thermomechanisch aufgeschlossen, gemahlen und mit Zusatzstoffen wie Aluminiumsulfat sowie Bindemittel (Latex) vermengt. Es gibt zwei verschiedene Herstellungsverfahren von Holzfasern (VHD, 2017), die nachstehend kurz mit ihren Vor- und Nachteilen erläutert werden.

Herstellung im Trockenverfahren

Zur Herstellung von Dämmplatten im Trockenverfahren werden die Fasern unmittelbar nach dem Aufschlussprozess auf die für den Beleimungsprozess notwendige Restfeuchte getrocknet, und anschließend in einem Beleimungskanal oder -turm mit einem Bindemittel (meist PUR-Harzleim) beleimt. Die beleimten Fasern werden ausgestreut, auf die gewünschte Plattendicke gepresst und durch ein Dampf-Luft-Gemisch ausgehärtet. Bei der Herstellung flexibler Holzfaserdämmplatten werden die Fasern nach der Trocknung mit textilen Bindefasern verstärkt. Die Mischung wird über eine Formstraße zu einem endlosen Strang geformt. Es kommt zum partiellen Aufschmelzen und Vernetzen der Bindefasern bei der anschließenden Trocknung und Abkühlung. Die Verwendung von PUR-Harzleim ist hier nicht erforderlich (VHD, 2017).

Die Vorteile im Trockenverfahren sind ein geringer Energieverbrauch sowie eine freie Auswahl der gewünschten Dicke einschichtiger Platten (vgl. 4 cm im Nassverfahren). Als Nachteil ist die Verwendung problematischer Bindemittel, meist ca. 4 % PUR, zu nennen, deren Abbaupfade und Umweltauswirkungen ungeklärt sind.

Herstellung im Nassverfahren

Zur Herstellung von Holzfaserplatten im Nassverfahren werden Holzhackschnitzel unter Einwirkung von Wasserdampf bei einem Druck von 3 - 8 bar aufgeweicht und dann zerfasert. Bei nachfolgenden Aufschließungsprozessen wird die Faseroberfläche aktiviert, so dass beim Trocknen oder Pressen die holzeigenen Bindekkräfte (Lignin) zusammen mit Wasser zur Abbindung gebracht werden. Eine Beigabe von Klebstoffen ist bei diesem Verfahren nicht mehr erforderlich. Um beispielsweise die wasserabweisenden Eigenschaften zu verbessern, werden bei einzelnen Produkten (z. B. Unterdeckplatten) harz-, latex- oder bitumenhaltige Zusatzmittel eingesetzt. Die aufgeschlemmten Fasern werden zuerst in Butten zwischengelagert und anschließend auf einer Formmaschine zu Faserkuchen geformt. Nach dem mechanischen Auspressen eines Großteils des Wassers wird der Faserkuchen auf die Länge geschnitten, anschließend wird er in einem Trockenkanal bei Temperaturen zwischen 160 und 220 °C getrocknet. Die Platten werden abschließend auf Format geschnitten (konfektioniert). Mit diesem Verfahren können Dämmplatten mit einer Stärke von bis zu 4 cm hergestellt werden. Für größere Dämmstärken müssen die einzelnen Schichten miteinander verleimt werden, z. B. unter Verwendung von Weißleim (Polyvinylacetat / Essigsäurevinylester), Wasserglas oder pflanzlicher Stärke. Weißleim kann ohne Lösemittel und Weichmacher hergestellt werden. Über Wasserglas (auch Hauptbestandteil umweltfreundlicher Silikatfarben) und pflanzlicher Stärke sind dem Verfasser bei sachgerechter Anwendung keine negativen Umweltauswirkungen bekannt (VHD, 2017).

Der Vorteil des Nassverfahrens ist, dass keine Verwendung von PUR-Bindemittel erforderlich ist, da die holzeigenen Bindemittel (Lignin) genutzt werden können. Die Nachteile sind der erhöhte Energieverbrauch und die Schichtverleimung mit Vinylacetat, einen Stoff der in der MAK-Liste als krebsverdächtig eingestuft ist. Für Alternativen siehe oben (Bauzentrum München, 2010).

Das Bohren und Fräsen von Platten ist problemlos möglich. Die Dämmplatten lassen sich mit für die Holzbearbeitung geeigneten Werkzeugen bearbeiten. Auf Grund der Faserbelastung muss eine Staubmaske getragen werden

Holzwolleleichtbauplatten

Hauptbestandteile sind Holzspäne aus Holzteilen und Zuschnittsresten aus Nadelhölzern. Lange, dünne Holzspäne (z.B. 500 mm x 3 mm x 0,3 mm) werden angefeuchtet und mit Zement oder kaustisch gebranntem Magnesia (MgO) in Verbindung mit Magnesiumsulfat ($MgSO_4$) als Bindemittel und Zuschlagsstoff gebunden. Anschließend wird die daraus entstandene Rohmasse in Formen gepresst, getrocknet und in Platten zugeschnitten (Hauser et al., 2011). Aufgrund der mineralischen

Zuschläge / Bindemittel sind keine weiteren Flammenschutzmittel notwendig. Die Platten lassen sich z.B. mit einer Kreissäge mit feinzahnigem Sägeblatt zuschneiden. Wegen der dabei entstehenden Staubbelastungen muss hierbei eine Schutzmaske getragen werden. (Hauser et al., 2011).

Hanf

Da Hanf zu den anspruchslosen Pflanzen zählt, die ohne Behandlung von Herbiziden und Insektiziden auskommen, besitzt er gute Voraussetzungen zur Verwendung als Dämmstoff. Dafür wird das Hanfstroh in Fasern und Schäbe getrennt. Hauptsächlich Soda (Natriumcarbonat) oder Ammoniumphosphat werden als Flammenschutzmittel beigemischt. Hanfplatten bieten Wärmeschutz, Schalldämmung, eine gute Feuchtigkeitsregulierung und einen natürlichen Schutz gegen Motten-, Schädlings- oder Schimmelbefall. Unbeschädigtes Material kann wiederverwendet, mit Polyester gestützter Hanf nur verbrannt werden (Dorsch et al., 2017, Weiß & Paproth, 2001). Die Wärmeleitfähigkeit von Hanf ist etwas höher als die der konventionelleren Dämmstoffe und auch der Preis liegt noch darüber. Hanfdämmungen lassen sich problemlos zuschneiden. Spezielle Schutzmaßnahmen sind nicht erforderlich. Hanf ist gut hautverträglich und kann relativ staubarm verarbeitet werden. Dennoch empfiehlt sich bei maschinellem Einbau aufgrund der organischen Fasern und des geringen Staubanteils das Tragen einer Atemschutzmaske (Hauser et al., 2011).

Kork

Kork (auch „expandierter Kork“ genannt) wird aus der Rinde der Korkeiche (*Quercus suber*) gewonnen. Die Rinde der Korkeiche besteht aus 45 % Suberin (ähnelt in Struktur und Aufbau dem Lignin, 27 % Lignin, 12 % Polysaccharide, 6 % Wachse, 6 % Tannine und 4 % Asche). Nach dem Schälen wird die Rinde zu Granulat gemahlen (Korngröße ca. 2 mm bis 30 mm) und der Holzanteil ausselektiert. Dem Kork wird anschließend unter Luftabschluss bei 350 bis 380 °C überhitzter Wasserdampf zugegeben, wodurch sich sein Volumen etwa um das zwei- bis vierfache erhöht. Das enthaltene Harz verklebt das expandierte Material. Nach der Abkühlzeit erfolgt der Zuschnitt in Platten. Das Schneiden oder Sägen der Platten ist ohne besondere Sicherheitsmaßnahmen möglich. Jedoch ist ein passgenauer Zuschnitt auf Grund der Elastizität des Materials schwierig (Hauser et al., 2011).

4.3.2.4 Vakuumisolationspaneele (VIP) und Aerogel

Neben den oben genannten Dämmstoffen gibt es Versuche, VIP und Aerogel-Platten in WDVS einzusetzen.

Vakuum-Isolationspaneele (VIP) bestehen aus einer Hülle (meist mehrschichtige metallisierte Polyethylen- oder Polypropylenfolien) und einem Kern (meist pyrogene Kieselsäure). Als Kern kommen seltener auch Mineralwolle, bestimmte Polystyrole und Polyurethane zum Einsatz. VIP lassen sich mit primären Einsatzstoffen oder mit Recyclingmaterial herstellen. Aufgrund von mechanischen Anforderungen, dürfen VIP nicht beschädigt bzw. durchbohrt werden und werden daher vorwiegend in vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (siehe Kapitel 4.5.2) eingesetzt.

Aerogele für die Dämmstoffanwendungen sind vorwiegend auf Silicatbasis hergestellt und besitzen einen sehr hohen Porenanteil. Aerogel-Platten sind sehr strapazierbar und kommen z.B. an Stellen wo nur wenig Platz für die Dämmung ist oder als ergänzendes Zusatzmaterial zur Anwendung (Brockmann et al., 2011).

4.3.3 Flammenschutzmittel zur Behandlung von Dämmstoffen in WDVS

Dämmstoffe haben aufgrund ihrer Materialzusammensetzung eine unterschiedliche Brennbarkeit, die sich auf ihre Einsatzmöglichkeiten in bestimmten Gebäudetypen auswirkt und die im Brandfall zu unterschiedlichen Risiken für die Umwelt und die Bewohner führen kann.

Mineralische Dämmstoffe (Steinwolle, Mineralschaum, Schaumglas und Aerogel) sind nicht brennbar (siehe auch Kapitel 2.4) und können aufgrund dieser Tatsache auch in Gebäuden > 21 m eingesetzt werden. Darüber hinaus werden sie bei schwerentflammbaren WDVS mit EPS-Dämmstoffen als umlaufende Brandriegel und als Sturzschutz über Fenster- und Türöffnungen eingesetzt

Synthetisch hergestellte Dämmstoffe, wie die auf Erdöl basierenden Dämmstoffe (EPS, XPS, Neopor, PUR, Phenolharz), sind grundsätzlich brennbar und werden deshalb in der Regel mit Flammenschutzmitteln behandelt. Dämmstoffe, die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden, wie Holzfaser-, und Hanfplatten, sind auch grundsätzlich brennbar werden aber zum Teil nicht mit Flammenschutzmitteln behandelt.

Das Brandverhalten eines WDVS hängt ganz überwiegend von der Wahl des Dämmstoffs und dessen Behandlung mit Flammenschutzmitteln ab. Die Putzschicht stellt jedoch eine weitere Schutzschicht dar, die das Brandverhalten eines Außenwandbekleidungssystems positiv beeinflusst. (siehe auch Kapitel 4.4.2).

Beim Flammenschutz unterscheidet man generell zwischen additiven und reaktiven Flammenschutzmitteln sowie inhärentem Flammenschutz, wenn das Material zwar brennbar aber von sich aus schwer entflammbar ist. Chemisch unterscheidet man halogenierte Flammenschutzmittel (enthalten Chlor- oder Brom-Atome) und halogenfreie Flammenschutzmittel. Halogenfreie Flammenschutzmittel (sogenannte PINs) umfassen die folgenden Gruppen:

- ▶ Phosphorbasiert: mit organischen und anorganischen Phosphaten, Phosphonaten und Phosphinaten,
- ▶ Anorganisch (mineralisch): vor allem Metallhydroxide, wie Aluminiumhydroxid und Magnesiumhydroxid,
- ▶ Stickstoffbasiert: wie Ammoniumphosphat / -sulfat, Melamin; oft genutzt in Kombination mit phosphorbasierten Flammenschutzmitteln,
- ▶ Pflanzliche Stärke,
- ▶ Soda (Natriumcarbonat).

Abbildung 13 bietet eine Übersicht über die toxikologischen und chemischen Eigenschaften ehemals weit verbreiteter Flammenschutzmittel und ihrer Anwendungsgebiete bei Dämmstoffen.

Abbildung 13: Eigenschaften und Anwendungsgebiete ehemals wichtigster Flammenschutzmittel in Dämmstoffen

Flammenschutzmittel	HBCD Hexabrom-cyclododecan	TCPP Tris(chlorpropyl)phosphat	APP Ammonium-polyphosphat	ATH Aluminium-trihydroxid	Borax Natriumborat-decahydrat
Stoffgruppe	Halogenbasiert	Organisch phosphorbasiert	Anorganisch phosphorbasiert	Mineralisch	Andere
Wirkprinzip	Chemisch	Chemisch Physikalisch	Physikalisch	Physikalisch	Physikalisch
Bindung an das Substrat	Additiv	Additiv	Additiv	Additiv	Additiv
Anwendungsgebiet	EPS, XPS	PU	Holzfaser	Allgemein Kunststoffe	Zellulose, Holzfaser
Persistenz	Persistent	Persistent	Nicht nachgewiesen	Nicht nachgewiesen	Ubiquitär vorhanden
Bioakkumulierend	Stark bioakkumulierend	Nicht bioakkumulierend	Nicht nachgewiesen	Nicht nachgewiesen	Ubiquitär vorhanden
CMR ¹⁾	Nicht nachgewiesen	Nein	Nicht nachgewiesen	Nicht nachgewiesen	Reproduktions-toxisch
Ökotoxizität	Für aquatische Lebewesen	Gering	Nicht nachgewiesen	Nicht nachgewiesen	Für aquatische Lebewesen
Besondere Brandfolgeprodukte	Bromverbindungen Dioxin/Furan (gering)	Phosphorverbindungen Salzsäure	Phosphorverbindungen Stickoxide Ammoniak	-	Boroxide

¹⁾ CMR = cancerogen, mutagen, reproduktionstoxisch

Quelle: Sprengard et al. (2013)

Das in der Vergangenheit vor allem für EPS und XPS verwendete Hexabromocyclododecan (HBCD) darf seit 21.08.2015 innerhalb der Europäischen Union nicht mehr hergestellt und vermarktet werden. Auch Trichlorethylphosphat (TCEP), das als Flammenschutzmittel in Dämmstoffen aus Polyurethan genutzt wurde, ist bereits im Anhang XIV der REACH-Verordnung als zulassungspflichtig gelistet.

Für EPS / XPS und Neopor wurde bereits vor dem offiziellen Verbot von HCBD zum Teil ein neu entwickeltes bromiertes Polymer (PolyFR) eingesetzt. BASF hat wie diverse andere Hersteller bis Ende 2014 seine gesamte Produktion von Polystyrolgranulat auf das neue Mittel umgestellt (BASF, 2014). Der Europäische Verband für halogenfreie Flammenschutzmittel (Pinfa) stellte gleichzeitig fest, dass es für EPS und XPS keine befriedigenden PIN-Flammenschutzmittel gibt (PINFA, 2017).

Für PUR Dämmstoffe stehen dagegen nach Angaben des Pinfa als PIN-Flammenschutzmittel eine ganze Reihe von phosphorbasierten Flammenschutzmitteln wie Triethylphosphat (TEP), Diethyl- und Dimethylphosphonat (DEEP, DEMP), Cresyldiphenylphosphat (CDP), reaktive P-Polyole, Ammonium Polyphosphat (APP) und expandierbares Graphit (Graphen) zur Verfügung (Morgan, 2013). Auch für Phenolharze sollen halogenfreie Phosphorverbindungen zur Verfügung stehen. Als neues alternatives Flammenschutzmittel für synthetische organische Dämmstoffe werden „Phosphoramidate“ und Graphen genannt. Phosphoramidate sind organische phosphorhaltige Verbindungen, die von Empa-Forschern gemeinsam mit der Firma FoamPartner für Kunststoffschäume entwickelt wurden.

Aktuell werden auf der Homepage des Verbandes (PINFA, 2017) allerdings nur noch phosphorhaltige Flammschutzmittel Phosphatester, Phosphonate oder Phosphinate wie Resorcinol-bis(diphenylphosphat) (RDP) oder Bisphenol-A-bis(diphenylphosphat) (BDP) und Melanine als stickstoffhaltiges Flammschutzmittel für PUR-Schäume genannt.

Für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wurden in der Vergangenheit neben Ammonium-Polyphosphat (APP) und Aluminiumtrihydroxid (ATH) auch verschiedene Borate (Borsäure, Dibortrioxid, Natriumborat-Decahydrat (Borax)) eingesetzt. Die verschiedenen Borate und Tris(chlorpropyl)phosphat (TCPP) stehen jedoch auf der Kandidatenliste für SVHC unter REACH. ATH gilt als das weltweit am meisten eingesetzte Flammschutzmittel. APP und ATH gelten als unbedenklich (Sprengard et al., 2013). Für APP liegt derzeit keine Einordnung nach REACH vor. ATH wurde nach REACH registriert. Zu beiden Stoffen liegen keine weiterführenden Risikobewertungen vor. Als alternative bromfreie Entzündungshemmer bei Hanf und Flachs werden außerdem Soda (3-5 %), Molke und Stärke eingesetzt (Deilmann, Krauß, Gruhler & Reichenbach, 2014).

Viele halogenhaltige organische Flammschutzmittel haben die Tendenz, in der Umwelt persistent und bioakkumulierend zu sein, weshalb die Stoffgruppe aus Vorsorgegründen beim Umweltzeichen Blauen Engel ausgeschlossen ist. Darüber hinaus wird auch an halogenfreie Flammschutzmittel die Anforderung gestellt, dass sie nicht mit dem chemikalienrechtlichen Gefahrenhinweis H410 „Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung“ gekennzeichnet sind. In diesem Zusammenhang findet sich eine Übersicht der halogenfreien Flammschutzmittel für Dämmstoffe in WDVS in Kapitel 10 – Anhang 2.

Weitere Zusatzstoffe

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen können außerdem noch folgende teilweise problematische Zusätze enthalten:

- ▶ **Mottenschutzmittel:** Borsalze (mittlerweile als SVHC eingestuft), Soda, Harnstoffderivate (z.B. Sulcofuron), Pyrethroide, Thorlan IW (Kaliumfluorotitanat IV),
- ▶ **Feuchteschutzmittel:** Bitumen, Latex, Paraffine,
- ▶ **Stützfasern:** synthetische Polymere (Polyolefine, Polyurethane, Polyester aus fossilen Rohstoffen), biobasierte Kunststoffe aus Maisstärke,
- ▶ **Bindemittel:** Kartoffel- oder Maisstärke, Wasserglas, Polyurethan-Harze.

4.4 Schlussbeschichtung mit Putzen

Gemäß DIN 18550-1 (2018) dienen Putze zur Gestaltung von Oberflächen (optische Funktion) und zur Erfüllung von (bau-)physikalischen Aufgaben (technische Funktion), wie z. B. Witterungsschutz, Feuchteregulierung, Wärmeschutz, Schallschutz. Ihr Beitrag zum Brandschutz wird in Kapitel 4.3.3 und 4.4.2.2 beschrieben.

Zur besseren Anhaftung der Putzbeschichtung wird häufig eine Grundierung empfohlen, die jedoch nicht zwingend notwendig ist. Bei der Putzbeschichtung besteht große Variabilität. Verwendet wird z. B. (evtl. farbig abgetönter) mineralischer Putz in Reibe- und Kratzputzstruktur mit Kornstärken von 2 mm oder 3 mm und dispersionsbasierter Thermoputz oder Siloxanputz auf Silikonharzbasis. Optional kann auf die Putzbeschichtung noch eine Egalisierungsschicht in Form eines evtl. farbigen Anstriches aufgetragen werden. Anstelle der Putzbeschichtung kann auch eine Verkleidung mit Keramik, Klinker, Natursteinen oder anderen Fassadenelementen angebracht werden (Riedel et al., 2010).

4.4.1 Unterputz / Armierungsputz und Armierungsgewebe / Bewehrungsgewebe

Nach Weißert et al. (2010) sind Armierungsputz entweder mit Armierungsfasern versetzte Mörtelschichten (nicht im WDVS) oder werden als Putzlagen mit einer Gewebeeinlage ausgeführt. Sie dienen zur Überarbeitung z. B. gerissener aber tragfähiger Putze bzw. werden über rissegefährdeten Untergründen eingesetzt. Ebenso werden sie als Armierungsputz auf Unterputzen bei Mauerwerken mit geringer Festigkeit (z. B. hochwärmédämmenden Mauerwerken) verwendet.

Die DIN 18550-1 (2018) definiert Putzbewehrungen / -armierungen als Einlagen im Putz, z. B. aus Metall, aus mineralischen Fasern oder Kunststofffasern, welche keine nennenswerte Eigenfestigkeit, jedoch hohe Zugfestigkeit aufweisen und zur Verminderung der Gefahr von Rissbildungen im Putz dienen. Sie können je nach Aufgabenstellung ganzflächig oder teilflächig eingesetzt werden und müssen aus Werkstoffen bestehen, die ihre Eigenschaften insbesondere im Hinblick auf chemische und physikalische Einflüsse nicht nachteilig verändern sowie das Putzsystem nicht schädigen (z.B. bei salzhaltigen Untergründen aus Edelstahl). Putzbewehrungen / -armierungen sind daher auf den Putzgrund, die Putzart sowie die Zusammensetzung des Putzmörtels abzustimmen.

Weißert et al. (2010) legen weiterhin dar, dass durch das Einlegen eines für den Anwendungszweck geeigneten alkalibeständigen Armierungsgewebes in den Armierungsputz die Aufnahmefähigkeit des Systems für Zugspannungen um ein Vielfaches vergrößert werden kann, da die entstehenden Zugspannungen vom Armierungsputz auf die Armierung übertragen werden (Prinzip Stahlbeton).

Das Gewebe muss durch den Armierungsputz ausreichend überdeckt sein (ca. Größtkorn des Mörtels x 2), da eine ausreichende Einbettung der Matrix und eine ausreichende Haftung der nächsten Lage sonst nicht gewährleistet sind. Mineralische Armierungsputz mit Gewebeeinlage werden in einer Dicke von 3 – 8 mm aufgebracht. Organische Armierungsputz haben in der Regel einen relativ hohen Bindemittelanteil und werden mit Gewebeeinlage in einer Dicke bis 4 mm aufgebracht. Bei WDVS gelten die Angaben der Zulassung, bei Wärmedämmputzen die der Norm bzw. der jeweiligen Zulassung. Tabelle 10 zeigt Anforderungsbeispiele an Gewebe für Armierungsputz und Wärmedämmputze.

Tabelle 10: Anforderungsbeispiel an Gewebe für Armierungsputz

	Mindestwerte	
Anwendungsbereich	Mineralischer Armierungsputz auf WDVS, Wärmedämmputz	Organischer Armierungsputz auf WDVS
Maschenweite	ca. 8 x 8 mm	mind. 4 x 4 mm
Flächengewicht	ca. 210 g/m ²	mind. 150 g/m ²
Reißfestigkeit	> 2400 N/5 cm	mind. 1700 N/5 cm
Reißfestigkeit nach 28-tägiger Lagerung bei 23 °C in 5%iger Natronlauge	> 1200 N/5 cm	> 850 N/5 cm

N: Newton / Quelle: Weißert et al. (2010)

Nach DIN 55699 (2017) müssen vor dem Aufbringen des Unterputzes mit Bewehrung / Armierung folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- ▶ Die Klebemassen / der Klebermörtel müssen ausreichend verfestigt sein;
- ▶ Die Dämmstoffoberfläche muss eben und frei von Verunreinigungen bzw. Beschädigungen sein;
- ▶ Die Fugen zwischen den Dämmstoffplatten müssen dicht geschlossen sein;
- ▶ Die Anschlüsse an anderen Bauteilen müssen hergestellt sein;
- ▶ Die Dämmstoffplatten müssen ausreichend trocken sein;

- Durch die UV-Einwirkung vergilzte Schichten von Polystyrol-Hartschaumplatten müssen abgeschliffen sein (Schleifstaub entfernen).

Der Unterputz wird vollflächig auf die Dämmstoffoberfläche aufgezogen. Anschließend wird die Bewehrung / Armierung in den aufgetragenen Unterputz vollständig eingebettet. Die Bewehrung/Armierung wird in den Unterputz vollständig so eingebettet, dass sie bei Unterputzdicken bis 4 mm mittig und bei Unterputzdicken oberhalb von 4 mm in der oberen Hälfte liegt. Die Stöße der Bewehrung / Armierung sind etwa 10 cm zu überlappen. An den Ecken von Öffnungen, Aussparungen und Nischen ist jeweils eine zusätzliche Diagonalbewehrung / -armierung (z.B. Eckgewebe) einzubauen.

4.4.2 Oberputz / Edelputz und zusätzliche Schlussbeschichtungen

Die oberste dekorative Putzlage eines Putzsystems wird Oberputz genannt (Weißert et al., 2010). Putze lassen sich nach verschiedenen Kriterien unterscheiden. Im Folgenden wird auf die Art des Bindemittels, die Dicke und relative Festigkeit, die Art der Oberflächen, die Lieferform sowie die bauphysikalischen Parameter eingegangen.

4.4.2.1 Gliederung der Putze nach Hauptbindemittel

Es sind verschiedene Arten von Putzmörtel bzw. Putzarten im Außenbereich im Einsatz. Laut DIN 18550-1 (2018) unterscheiden sich Putze mit mineralischen Bindemitteln und Putze mit organischen Bindemitteln, wobei in beiden Gruppen dann weitere Unterscheidungen je nach dem konkret eingesetzten Bindemittel getroffen werden. Tabelle 11 und Tabelle 12 zeigen die wichtigsten Werkmörtel mit Angabe des Hauptbindemittels und der normativ definierten Druckfestigkeitskategorie. Die Produkteigenschaften der mineralischen Putzarten sind in der DIN EN 998-1 „Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau - Teil 1: Putzmörtel“ (2017) geregelt, diejenigen der organischen Putzarten in der DIN EN 15824 „Festlegungen für Außen- und Innenputze mit organischen Bindemitteln“ (2017).

Mineralische Putzarten

Tabelle 11: Putzmörtel-/Putzarten (mineralisch) nach DIN 18550-1 (2018), gekürzt

Bezeichnung	Hauptbindemittel	übliche Druckfestigkeitskategorie nach DIN EN 998-1	Anwendungsbeispiele
Mörtel mit Luftkalk (CL)	Luftkalk (Kalkhydrat)	CS I	Denkmalpflege auch in Verbindung mit Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen üblich bzw. gewünscht (geeigneter als Zementputze)
Mörtel mit hydraulischem Kalk (NHL, HL)	hydraulischer Kalk (NHL; HL)	CS I/CS II	Außenbereich Denkmalpflege
Kalk-Zementmörtel	Baukalk (Kalkhydrat) und Zement	CS II/CS III	Außenbereich Sockelbereich
Zementmörtel	Zement	CS III/CS IV	Außenbereich (Sockel, Kelleraußenwände)

Quelle: DIN 18550-1 (2018)

Die Europäische Norm DIN EN 998-1 (2017) „Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau - Teil 1: Putzmörtel“ enthält Definitionen und Leistungsanforderungen für im Werk hergestellten Putzmörtel aus anorganischen Bindemitteln, die als Außenputz und als Innenputz für Wände, Decken, Pfeiler und Trennwände verwendet werden. Die Eigenschaften von Putzmörteln hängen wesentlich von der Art des Bindemittels bzw. der Bindemittel und deren Mischungsverhältnissen ab. Spezielle Eigenschaften werden durch die Art der verwendeten Gesteinskörnungen, Zusatzmittel und / oder sonstigen Zusatzstoffe erzielt.

Bei Putzmörteln wird unterschieden:

a) nach dem Herstellungskonzept zwischen

- ▶ Mörtel nach Eignungsprüfung und
- ▶ Mörtel nach Rezept;

b) nach Herstellungsort oder Herstellungsart zwischen

- ▶ Werkmörtel,
- ▶ werkmäßig hergestelltem Mörtel und
- ▶ Baustellenmörtel;

c) nach den Eigenschaften und / oder dem Verwendungszweck zwischen

- ▶ Normalputzmörtel,
- ▶ Leichtputzmörtel,
- ▶ Edelputzmörtel,
- ▶ Einlagenputzmörtel für außen,
- ▶ Sanierputzmörtel und
- ▶ Wärmedämmputzmörtel.

Putzmörtel erreichen ihre endgültigen Eigenschaften erst nach ausreichender Verfestigung am Baukörper. Sie erfüllen verschiedenen Funktionen, die sich durch die Auswahl der verwendeten Ausgangsstoffe und ihre Eigenschaften sowie der Dicke ihrer Schichten gestalten lassen. Zugleich dienen sie der Oberflächengestaltung eines Bauwerks.

Organische Putzarten

Tabelle 12: Putzarten (organisch) nach DIN 18550-1 (2018), gekürzt

Bezeichnung	Eigenschaftsbestimmendes Bindemittel	Übliche Kategorie der Wasser-aufnahme nach DIN EN 15824	Übliche Kategorie der Wasserdampf-diffusions-stromdichte nach DIN EN 15824	Anwendungs-beispiele
Dispersions-Silikatputz (Silikatputz)	Kali-Wasserglas und Polymerdispersion	W3	V1	Außenbereich (inkl. WDVS)
Dispersionsputz (Kunstharzputz)	Polymerdispersion	W3	V1 bis V2	Außenbereich (inkl. WDVS)
Silikonharzputz	Silikonharzemulsion und Polymerdispersion	W3	V1	Außenbereich (inkl. WDVS)

Quelle: DIN 18550-1 (2018)

Für sogenannte „Kunstharzputze“ werden Begriffe und Definitionen in einer eigenen Norm, DIN 18558 (1985) „Kunstharzputze; Begriffe, Anforderungen, Ausführung“, erläutert und festgelegt.

Kunstharzputz

Kunstharzputze sind Beschichtungen mit putzartigem Aussehen. Für die Herstellung von Kunstharzputzen werden Beschichtungsstoffe aus organischen Bindemitteln in Form von Dispersionen oder Lösungen und aus Zuschlägen / Füllstoffen mit überwiegendem Kornanteil > 0,25 mm verwendet. Kunstharzputze erfordern (in der Regel) einen vorherigen Grundanstrich. Beschichtungsstoffe (siehe Definition im Kapitel 4.3.3) für die Herstellung von Kunstharzputzen werden im Werk gefertigt und verarbeitungsfähig geliefert. Nach Weißert et al. (2010) lassen sich Beschichtungsstoffe nach verschiedenen Kriterien einteilen, z.B. nach Anwendungsgebiet, nach Zusammensetzung, nach Bindemittel. Die Hauptbestandteile von Beschichtungsstoffen für Kunstharzputze sind Bindemittel, Pigmente und Füllstoffe sowie Löse- und Verdünnungsmittel. Des Weiteren sind Additive enthalten, mit denen bestimmte Eigenschaften erzielt werden. Mit Ausnahme geringer Zugaben von Verdünnungsmitteln (Wasser oder organisches Lösemittel) zur Regulierung der Konsistenz sind Veränderungen in der Rezeptur der Beschichtungsstoffe unzulässig.

Bindemittelarten

Als Bindemittel von Beschichtungsstoffen für Kunstharzputze sind Polymerisatharze zu verwenden; sie können vorliegen

- ▶ als Kunststoffdispersion mit oder ohne Weichmacheranteil, z. B. Polymere aus Acrylsäureestern, Methacrylsäureestern, Vinylacetat, Vinylpropionat, Styrol, Butadien, Vinylchlorid, Vinylversatat oder
- ▶ in Lösung mit oder ohne Weichmacheranteil, z. B. Polymere aus Acrylsäureestern, Methacrylsäureestern, Vinylaromaten.

Zuschlag

Es wird zwischen mineralischem und organischem Zuschlag unterschieden. Zuschläge zur Herstellung von Beschichtungsstoffen werden auch als Füllstoffe bezeichnet.

Mineralischer Zuschlag ist ein Gemenge (Haufwerk) aus ungebrochenen und / oder gebrochenen Körnern von natürlichen und / oder künstlichen mineralischen Stoffen, die

- ▶ ein dichtes Gefüge, z. B. Natursand, Brechsand, Granulat (Zuschlag mit dichtem Gefüge) oder
- ▶ ein poriges Gefüge, z. B. Perlit, Blähton, geblähte Schmelzflüsse (Zuschlag mit porigem Gefüge) haben.

Organischer Zuschlag ist ein Gemenge (Haufwerk) aus Körnern organischer Stoffe, die

- ▶ ein dichtes Gefüge, z. B. Kunststoffgranulate (Zuschlag mit dichtem Gefüge) oder
- ▶ ein poriges Gefüge, z. B. geschäumte Kunststoffe (Zuschlag mit porigem Gefüge) haben.

Zusatzmittel

Zusatzmittel im Sinne der DIN 18558 sind Hilfsmittel, die die Eigenschaften des Beschichtungsstoffes und / oder des Kunstharzputzes durch chemische und / oder physikalische Wirkung beeinflussen und in geringer Menge zugegeben werden; hierzu gehören z. B. Filmbilbehilfsmittel, Entschäumer, Verdickungsmittel.

Zusatzstoffe

Zusatzstoffe im Sinne der DIN 18558 sind Stoffe, die die Eigenschaften des Beschichtungsstoffes und / oder Kunstharzputzes beeinflussen und deren Stoffraumanteil im Gegensatz zu den Zusatzmitteln nicht vernachlässigt werden darf; hierzu gehören z. B. Weiß- und Buntpigmente.

Verdünnungsmittel

Verdünnungsmittel im Sinne der Norm sind Flüssigkeiten, die zur Einstellung der Verarbeitungskonsistenz von Beschichtungsstoffen verwendet werden; je nach Bindemittelart des Beschichtungsstoffes wird Wasser oder organisches Lösemittel verwendet.

4.4.2.2 Gliederung nach Dicke und relativer Festigkeit von Putzlagen

Laut DIN 18550-1 (2018) lassen sich Putze nach Dicke unterscheiden, in der sie aufgetragen werden. Genaue Angabe in mm oder Empfehlungen gibt die Norm allerdings nicht an. Die Angaben über zulässige Putze und Schichtdicken für WDVS sind der jeweiligen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung / allgemeiner Bauartgenehmigung oder Leistungserklärung zur Europäischen Technischen Bewertung bzw. European Technical Assessment zu entnehmen.

Normale Putze

Die mittlere Dicke von Putzen bzw. Putzsystemen, die allgemeinen Anforderungen genügen, muss außen 20 mm (zulässige Mindestdicke 15 mm) betragen. Einlagige wasserabweisende Putze aus Werkmörtel müssen an Außenflächen eine mittlere Dicke von 15 mm (erforderliche Mindestdicke 10 m) aufweisen. Das Vorkommen der jeweils zulässigen Mindestdicken muss sich auf einzelne Stellen beschränken. Die Dicke von geriebenen Oberputzen wird durch das Größtkorn vorgegeben. Durch das Abreiben entsteht keine durchgängig gleichmäßige Putzdicke. Die Putzdicke entspricht in diesem Fall dem Größtkorn. Für die Erfüllung besonderer Anforderungen können andere Dicken erforderlich werden.

Oberputz

Folgende Oberputze sind zu unterscheiden:

a) Dünnlagige mineralische Putze

Dünnlagige (verriebene, strukturierte oder gespritzte) mineralische Oberputze werden in der Regel in Körnungen bis 5 mm aufgebracht und mit geeigneten Werkzeugen oder Geräten bearbeitet.

Durch unterschiedliche Putzgrundtemperaturen oder infolge unterschiedlicher Saugfähigkeiten des Untergrundes können bei eingefärbten, mineralisch gebundenen Oberputzen Farbton- und Glanzunterschiede auftreten. Diese Farbton- und Glanzunterschiede stellen keine funktionelle Beeinträchtigung dar.

b) Dicklagige mineralische Putze

Als dicklagige Putze gelten z. B. Kratzputz, Kellenwurfputz oder dicklagig verriebene Putze. Kratzputze sind in der vorgeschriebenen Schichtdicke aufzuziehen oder anzuspritzen und ebenflächig zu verziehen. Nach ausreichendem Erhärten ist die Oberfläche mit einem Putzkratzer (z. B. Kratzigel) gleichmäßig, richtungsfrei abzukratzen und ggf. abzufegen. Bei Kratzputz dürfen sich einzelne Körner lösen. Das größere Wärmespeichervermögen der dickeren Putzschicht verringert beim nächtlichen Auskühlen die Kondenswasserbildung an der Oberfläche, damit wird die Gefahr der Bildung von Algen und Pilzen erheblich herabgesetzt (IWM, 2014b).

c) Putze mit organischen Bindemitteln

Putze mit organischen Bindemitteln nach DIN EN 15824 (2017) werden üblicherweise in verarbeitungsfertiger Konsistenz geliefert. Diese können unterschieden werden in Dispersionsputz (Kunstharzputz), Silikonharzputz und Dispersions-Silikatputz (Silikatputz).

Durch unterschiedliche Putzgrundtemperaturen oder infolge unterschiedlicher Saugfähigkeiten des Untergrundes können bei eingefärbten, silikatgebundenen Oberputzen Farbtonunterschiede auftreten.

Vergleiche zwischen Dünn- und Dickputzen bezüglich der Oberflächenfeuchte zeigen, dass an Dickputzen deutlich weniger Tauwasser gemessen werden kann als an Dünnputzen. Hierbei ist zu bedenken, dass diese Ergebnisse auch stark von den hygrischen Materialeigenschaften des Putzes und des verwendeten Anstrichs abhängen. Durch den Dickputz kann unter Umständen mehr Tauwasser unter die Oberfläche geleitet werden (Krueger et al., 2016; Krus, Fitz, Holm & Sedlbauer, 2006).

4.4.2.3 Gliederung nach Arten von Oberflächen

Je nach Art des Putzes, des Auftragverfahrens und der Oberflächenbehandlung werden bei Putzen verschiedene Oberflächenstrukturen bzw. -effekte DIN 18550-1 (2018) unterschieden.

a) Mineralische Putze sind:

- ▶ gefilzter Putz;
- ▶ geriebener Putz, z. B. Münchener Rauputz, Rillenputz, Scheibenputz;
- ▶ Kratzputz;
- ▶ Modellierputz, z. B. Kellenstrichputz, altdeutscher Putz;
- ▶ Kellenwurfputz;
- ▶ Spritzputz und
- ▶ Waschputz.

b) Putze mit organischen Bindemitteln sind:

- ▶ Kratzputz-Struktur;
- ▶ Reibe- /Rillenputz-Struktur;
- ▶ Spritzputz-Struktur;
- ▶ Rollputz-Struktur;
- ▶ Buntsteinputz und
- ▶ Modellierputz.

4.4.2.4 Gliederung nach Lieferform

Putze werden häufig auch danach unterschieden, in welcher Form sie an der Baustelle angeliefert werden.

Tabelle 13: Übliche Lieferform unterschiedlicher Putztypen

Putzart	Übliche Lieferform	Anmerkung
Kalk-Zementmörtel	Feststoff	wird an der Baustelle angemischt
Zementmörtel	Feststoff	wird an der Baustelle angemischt
Dispersions-Silikatputz (Silikatputz)	pastös	verarbeitungsfertig
Dispersionsputz (Kunstharzputz)	pastös	verarbeitungsfertig
Silikonharzputz	pastös	verarbeitungsfertig

Quelle: Eigene Darstellung

Gemäß DIN 55945 (2016) ist ein „pastöser Putz“ eine „Beschichtung mit putzartigem Aussehen auf Basis organischer Bindemittel.“ Beispiele für pastöse Putze sind Dispersionsputz (Kunstharzputz), Dispersions-Silikatputz und Silikonharzputz. Pastöse wässrige Putze sind in der Regel mit Bioziden zur Topfkonservierung ausgerüstet, damit sie auf dem Weg bis zur Nutzung auf der Baustelle nicht schlecht werden.

4.4.3 Anstriche - Beschichtungsstoffe – Begriffe

Definitionen und Begriffe zu Anstrichen und Beschichtungsstoffen finden sich in verschiedenen Normen. In den nachfolgenden Exzerpten werden die unterschiedlichen Begriffe entsprechend mit Hinweis auf die jeweilige Norm kurz umrissen (Tabelle 14).

In DIN 18550-1 (2018) findet sich neben der Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen zusätzlich noch eine Definition für den Begriff der Egalisationsanstriche:

Egalisationsanstriche auf farbigen mineralischen Oberputzen (mit Ausnahme der Putzweise Kratzputz) sowie farbigen Dispersions-Silikatputzen (Silikatputze) dienen dazu, eventuell vorhandene Farbungleichmäßigkeiten (z. B. Wolkenbildung) zu egalisieren und stellen eine optisch einwandfreie Oberfläche her. Sie müssen auf den jeweiligen Oberputz abgestimmt sein und dürfen seine günstigen Wasserdampfdiffusionseigenschaften nicht beeinträchtigen. Sie werden in der Regel in einem Arbeitsgang und entsprechend den Herstellerrichtlinien aufgebracht.

Nach DIN EN ISO 4618 (2015) ist ein Beschichtungsstoff flüssiges oder pastenförmiges oder pulverförmiges Produkt, das, auf ein Substrat aufgetragen, eine haftende Beschichtung mit schützenden, dekorativen und/oder anderen spezifischen Eigenschaften ergibt. Im Sinne dieser Norm ist es der Oberbegriff für Lacke, Anstrichstoffe und ähnliche Produkte, d.h. zum Beispiel auch für Kunstharzputze, Spachtelmassen, Füller, Bodenbeschichtungen u. a.

Tabelle 14: Normative Begriffe und Definitionen zu Anstrichen und Beschichtungsstoffen

Begriff	Norm: Definition	Anmerkung/weiterführende Normen
Acrylatharz, Acrylharz	DIN EN ISO 4618 (2015): Synthetisches Harz, hergestellt durch Polymerisation oder Copolymerisation von Acryl- und / oder Methacryl-Monomeren, häufig zusammen mit anderen Monomeren.	
Dispersion	DIN EN ISO 4618: Heterogenes Gemisch aus mindestens zwei Stoffen, die sich nicht oder kaum ineinander lösen oder chemisch miteinander verbinden.	Anmerkung zum Begriff: Dispersion ist der Oberbegriff für Suspension und Emulsion.
Silikonharz	DIN EN ISO 4618: Synthetisches Harz, bei dem die Grundstruktur aus Siloxan (Silicium-Sauerstoff-Silicium-Bindungen) besteht.	
Dispersionsfarbe	DIN 55945 (2016): Beschichtungsstoff auf der Grundlage einer wässrigen Polymerdispersion, der auf großen Flächen aufgetragen wird.	

Begriff	Norm: Definition	Anmerkung/weiterführende Normen
Kalkfarben	DIN 18363 (2016): Kalkfarben aus Weißkalk dürfen kalkbeständige Pigmente bis zu einem Massenanteil von 10 % aufweisen.	DIN EN 459-1 (2015): Baukalk – Teil 1: Begriffe, Anforderungen und Konformitätskriterien
Kalk-Weißzementfarben	DIN 18363 (2016): (s. weiterführende Normen)	DIN EN 197-1 (2011): Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement DIN EN 459-1 (2015): Baukalk – Teil 1: Begriffe, Anforderungen und Konformitätskriterien
Silikatfarben	DIN 18363 (2016): Silikatfarben müssen aus Kaliwasserglaslösungen und kaliwasserglas-beständigen Pigmenten bestehen und dürfen keine organischen Bestandteile, z. B. Kunststoffdispersionen, enthalten.	
Dispersions-Silikatfarben, Dispersions-Silikatfüllfarben und Dispersions-Silikatbeschichtungsstoffe für putzartige Oberflächen	DIN 18363 (2016): Dispersions-Silikatfarben, Dispersions-Silikatfüllfarben und Dispersions-Silikatbeschichtungsstoffe für putzartige Oberflächen müssen aus Kaliwasserglas mit kaliwasserglasbeständigen Pigmenten und Zusätzen von Hydrophobierungsmitteln bestehen. Sie dürfen maximal 5 % Massenanteil organische Bestandteile enthalten.	
Dispersions-Beschichtungsstoffe, Dispersions-Silikatfarben und Silikonharzfarben für den Außenbereich	DIN 18363 (2016): Silikonharzfarben für den Außenbereich müssen dauerhaft wasserabweisend und gegen Schmutzverklebung resistent sein.	DIN EN 1062-1 (2004): Beschichtungsstoffe – Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich – Teil 1: Einteilung

Quelle: Nach Angaben in den zitierten Normen.

4.4.4 Bauphysikalische Parameter

Diffusionswiderstand und Wasseraufnahmevermögen sind wichtige bauphysikalische und technische Eigenschaften, die nicht nur für die Dämmstoffe eines WDVS relevant sind, sondern auch für Putze und Fassadenbeschichtungen. Weitere Details zu den Klassifizierungen der Wasserdurchlässigkeit und des Diffusionswiderstandes, sowie zu den Auswirkungen von Hydrophilie und Hydrophobie der Schlussbeschichtung finden sich in Krueger et al. (2016).

Die den Feuchtigkeitsschutz betreffenden bauphysikalischen Kenngrößen sind der Wasseraufnahmekoeffizient w [$\text{kg}/(\text{m}^2\text{h}0,5)$] und die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke sd [m]. Fassaden können neben Schlagregen, Ablauf- und Spritzwasser auch durch Tauwasserbildung, die grundsätzlich auch auf der Wandinnenseite oder im Wandaufbau möglich ist, Feuchtigkeitsbeanspruchungen ausgesetzt sein. Die Bildung von Tauwasser auf der Außenwand resultiert aus zunehmender Dämmung und immer niedrigeren Werten des Wärmedurchgangskoeffizienten U [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] (Krueger et al., 2016).

Der Wasseraufnahmekoeffizient w ist eine Baustoffeigenschaft und ein Maß zur Beurteilung der kapillaren Wasseraufnahme eines Baustoffes. Die Bestimmung erfolgt gemäß DIN EN ISO 15148 (2016). Die Norm sieht eine Einteilung von Oberflächenschichten in vier Klassen vor (Tabelle 15).

Tabelle 15: Allgemeine Klassifizierung der Wasseraufnahme von Baustoffen nach DIN EN ISO 15148

wasserdicht	wasserabweisend	wasserhemmend	wassersaugend
$w < 0,01 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}0,5)$	$w \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}0,5)$	$0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}0,5) < w < 2,0 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}0,5)$	$w \geq 2,0 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}0,5)$

Quelle: DIN EN ISO 15148 (2016)

Für Beschichtungen auf porösen Untergründen gilt darüber hinaus die Klassifizierung nach Tabelle 16. In der Wasserdurchlässigkeitssklasse W3 finden sich die in Tabelle 12 aufgeführten Putzarten.

Tabelle 16: Klassifizierung der Wasserdurchlässigkeit von Beschichtungen

niedrige Wasserdurchlässigkeit	mittlere Wasserdurchlässigkeit	hohe Wasserdurchlässigkeit
$w \leq 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}0,5)$	$0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}0,5) < w < 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}0,5)$	$w \geq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}0,5)$
Klasse W1	Klasse W2	Klasse W3

Quelle: DIN EN 1062-1 (2004)

Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke $sd = \mu \times s$ [m] nach DIN EN 1062 Teil 1 beschreibt den Widerstand gegen Wasserdampfdiffusion und damit die Trocknungsmöglichkeit durch Verdunstung. μ ist dabei die dimensionslose, baustoffspezifische Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl, s die Schichtdicke des betrachteten Bauteils in m. Eine ruhende Luftschicht muss die Dicke sd besitzen, um Wasserdampf den gleichen Diffusionswiderstand wie das Bauteil zu bieten. Die Klassifizierung von Fassadenbeschichtungen erfolgt gemäß Tabelle 14. Zusätzlich zu den drei Kategorien diffusionsoffen, diffusionshemmend und diffusionsdicht sind die Begriffe „Dampfbremse“ ($sd \geq 10 \text{ m}$) und „Dampfsperre“ ($sd \geq 100 \text{ m}$) gebräuchlich.

Tabelle 17: Klassifizierung von Fassadenbeschichtungen hinsichtlich ihres Diffusionswiderstands

diffusionsoffen	Diffusionshemmend	diffusionsdicht
$sd \leq 0,5 \text{ m}$	$0,5 \text{ m} < sd < 1500 \text{ m}$	$sd \geq 1500 \text{ m}$

Quelle: DIN EN 1062-1 (2004)

Als Regenschutz geeignete Putzsysteme für mittlere Regenbeanspruchung (Beanspruchungsgruppe II nach DIN 4108 Teil 3, 2014) müssen wasserhemmend ($0,5 \text{ kg}/\text{m}^2\text{h}0,5 < w < 2,0 \text{ kg}/\text{m}^2\text{h}0,5$). Für starke Regenbeanspruchung (Beanspruchungsgruppe III nach DIN 4108 Teil 3, 2014) muss ein Putzsystem wasserabweisend sein ($w \leq 0,5 \text{ kg}/\text{m}^2\text{h}0,5$) und einen sd -Wert $\leq 2,0 \text{ m}$ haben bzw. das

Produkt aus w und sd darf maximal 0,2 kg/mh0,5 betragen. Moderne Oberputze und Anstrichsysteme erfüllen diese Anforderungen in der Regel problemlos.

Der Ratgeber rund um die Außenwand (IWM, 2016) unterscheidet zwischen Hydrophoben und Hydrophilen Putzen:

4.4.4.1 Hydrophobe Putze

Man kann mineralische und organische Putzsysteme so einstellen, dass sie flüssiges Wasser abweisen und dennoch diffusionsoffen sind. Man nennt diese Putze „hydrophob“. So soll erreicht werden, dass flüssiges Wasser die Fassade hinabrinnt und nicht auf der Putzoberfläche stehen bleibt.

4.4.4.2 Hydrophile Putze

Mineralische Putze enthalten grundsätzlich keine Biozide. Hier beruht der Widerstand einerseits auf der Alkalität der Bindemittel (Kalk und Zement) und andererseits darauf, dass diese Putze das Wasser von der Oberfläche „wegsaugen“ und es durch Verdunstung schnell wieder abgeben. Auf den Oberflächen steht deshalb kein flüssiges Wasser zur Verfügung. Algen und Pilzen wird dadurch der lebenswichtige Nährboden entzogen. Man spricht hier von hydrophilen (auch „hydroaktiv“) Eigenschaften der Putzsysteme.

4.4.5 Alternative Abschlussgestaltung (Verkleidungen)

DIN 55699 (2017) unterscheidet die folgenden Schlussbeschichtungen sofern nicht der Putz oder ein Egalisierungsanstrich die letzte Schicht bilden.

4.4.5.1 Flachverblender

Flachverblender sind kunstharzgebundene Platten bis 5 mm Dicke, z. B. mit klinkerartigem Aussehen. Sie werden mit einem systemzugehörigen Ansetzmörtel auf den Unterputz geklebt. Die mit Flachverblendern zu belegende Fläche ist entsprechend dem vorgegebenen Verband einzuteilen. Der Ansetzmörtel ist abschnittsweise vorzulegen und mit einer Zahntaufel aufzukämmen. Die einzelnen Verblender müssen vollflächig in das frische Mörtelbett eingedrückt werden. Die Fugen sind wahlweise mit einem Flachpinsel zu glätten oder mittels Fugenmörtel oberflächenbündig zu füllen.

4.4.5.2 Keramische Beläge

Keramische Beläge sind Riemchen, Fliesen oder Platten. Sie werden mit einem systemzugehörigen Verlegemörtel nach dem kombinierten Verfahren (Kleberauftrag auf Untergrund und Belag = Floating-Buttering-Verfahren) auf den Unterputz geklebt. Die mit den keramischen Belägen zu versehene Fläche ist entsprechend dem vorgegebenen Verband einzuteilen. Die Fugen sind mit einem systemzugehörigen Fugenmörtel zu füllen und glatt zu streichen. Sie können als Kellen- oder Schlämmfuge ausgebildet sein. Grundsätze für Planung und Ausführung von Außenwandbekleidungen im Speziellen für angemörtelte Fliesen oder Platten sind in der DIN 18515-1 (2017) geregelt.

4.5 Alternative Fassadenlösungen

Die Wärmedämmung von Außenwänden lässt sich grundsätzlich auf zwei Arten erreichen (IWM, 2016) Zum einen kann der Wandbaustoff selber die wärmedämmenden Eigenschaften mitbringen. Das ist zum Beispiel bei Wänden aus wärmedämmenden Ziegeln, Porenbeton oder Leichtbeton möglich. Die andere Art besteht darin, die Wand ausschließlich nach statischen Gesichtspunkten zu errichten, z. B. aus Mauersteinen oder Beton, und den Wärmeschutz durch zusätzliche Maßnahmen zu erreichen.

Weiterhin wird in Warm- und Kaltfassaden unterschieden. Warmfassaden erhalten eine wärmedämmende Schicht direkt auf der Unterkonstruktion. Die Außenwanddämmung muss wasserbeständig sein, da ihre Funktion bei Schäden ansonsten aufgehoben wird. Einschalige Fassaden, deren Schichtenaufbau aus einem oder aus mehreren Materialien besteht, werden auch Warmfassaden

genannt. Sowohl der äußere Witterungsschutz als auch der Wärmeschutz sind von der einschaligen Fassadenkonstruktion (z. B. WDVS, Sandwichpaneel) zu erfüllen.

Kaltfassaden zeichnen sich durch hinterlüfteten Hohlraum zwischen Witterungsschicht und der Wärmedämmung aus. Mehrschalige Außenwandkonstruktionen (z. B. vorgehängte, hinterlüftete Konstruktionen) werden daher als Kaltfassaden bezeichnet. Die einzelnen Schalen übernehmen unterschiedliche konstruktive und bauphysikalische Funktionen. Der Witterungsschutz wird von der vorgehängten Bekleidung gewährleistet, die dahinter liegende Luftsicht ist kalt. Die wärmedämmende Funktion übernimmt die innere Schicht aus Wärmedämmung, Dichtung und Konstruktion (vorgehängte hinterlüftete Fassade, VHF).

Die folgenden Lösungsansätze zur Außenwanddämmung sind jedoch nicht Gegenstand des vorliegenden Forschungsvorhabens und werden deshalb im Folgenden nur kurz angerissen.

4.5.1 Sandwichpaneelle

Es handelt sich um wärmegedämmte Bauverbundelemente zur Dach- und Außenwandbekleidung von Gebäuden. Sie bestehen aus einer inneren und einer äußeren Schale aus einseitig verzinkten Stahlblech. Das Einsatzgebiet erstreckt sich vom Industriebau, Wohnbau sowie bis zum Kühlhausbau (Brucha, 2012).

Meistens handelt es sich um einen Kern aus Polyurethanschaum (PUR) oder Mineralwolle. Es gibt aber auch Sandwichpaneelle mit einem Kern aus Styropor. Durch den Verbund (Anhaftung des Polyurethanschaums oder Verklebung) der Deckschichten mit dem schubsteifen Kern, in Abhängigkeit von dessen Dicke, ergeben sich für das Sandwichpaneel eine hohe Tragfähigkeit und eine große Steifigkeit. Gleichzeitig gewährleistet der Kern eine sehr gute Wärmedämmung der Gebäudehülle. Sandwichkonstruktionen sind schnell zu montieren, sofern die Anschlüsse fachgerecht geplant und ausgeführt werden.

Abbildung 14: Beispiel Sandwichpaneelle



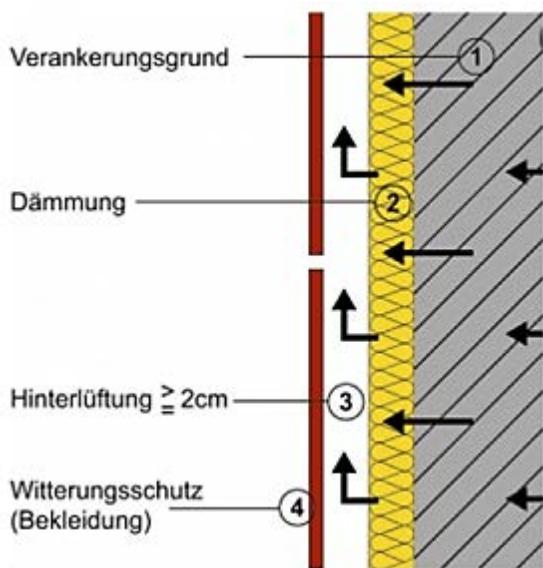
Quelle: Brucha (2012)

4.5.2 Vorgehängte Fassade

Der Aufbau einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade (VHF) besteht (von außen nach innen) grundsätzlich aus einer Außenverkleidung (Witterungsschutz), Hinterlüftung (Luftsicht), Dämmebene und Tragstruktur (Unterkonstruktion inkl. Befestigungsmittel) (FVHF, 2016). Ähnlich wie WDVS können auch VHF nachträglich an bestehende Außenwände angebracht werden.

In der folgenden Abbildung 15 ist schematisch der Aufbau einer VHF dargestellt.

Abbildung 15: Aufbau einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade (VHF).



Quelle: FVHF (2016)

Bei einer VHF wird die Bekleidung nicht direkt auf das Mauerwerk aufgebracht, sondern auf eine Unterkonstruktion montiert. Dadurch sind Dämmung (Feuchte-, Wärme-, Schall- und Brandschutz) und Bekleidung (Witterungsschutz) konstruktiv voneinander getrennt. Es entsteht eine Luftsicht, die sich zwischen dem gedämmten Gebäude und der Außenverkleidung befindet. Die Luftsicht sorgt für eine ständige Hinterlüftung der Außenhaut und trennt sie im Hinblick auf Feuchte und Wärme von der gedämmten Tragstruktur. Diese Trennung wiederum erlaubt es, eine geschlossene Dämmebene an der Außenseite des Gebäudes anzubringen. Bei VHF sind grundsätzlich nur Dämmstoffe einzusetzen, deren Funktion bei Luftfeuchteeinwirkung im Hinterlüftungsraum nicht beeinträchtigt wird. Für die Dämmung von VHF werden vornehmlich mineralische Dämmstoffe mit einer Wärmeleitfähigkeit zwischen 0,032 und 0,035 W/(mK) (Wärmeleitfähigkeitsgruppen 032 bis 035) eingesetzt. Auf Grund der guten Wärmedämmeigenschaften benötigt Steinwolle bei der Anbringung in einer VHF die geringste Dämmstoffstärke, um die jeweiligen U-Werte zu erfüllen. Es können jedoch auch synthetische oder nachwachsende Dämmmaterialien eingesetzt werden. Die Dämmstoffdicke ist variabel gestaltbar je nach vorhandener Unterkonstruktion.

Die VHF ist im Industrie- und Bürobau, zu Teilen aber auch im Wohnungsbau eine weitverbreitete Art der Gebäudehülle. Deren Anteil am deutschen Gebäudebestand liegt bei ca. 15 %¹⁹.

Für den Einsatz in VHF dürfen nur genormte oder bauaufsichtlich zugelassene Dämmstoffe verwendet werden, die die Anforderungen nach DIN 4108-10 (2015) Typ WAB (Außendämmung der Wand hinter Bekleidung) erfüllen. Die für die VHF gültige Normenreihe ist die DIN 18516 „Außenwandbekleidungen, hinterlüftet“ (mehrere Teile). Die Begrifflichkeiten für die VHF finden sich in der DIN EN 13119 (2016) „Vorhangfassaden – Terminologie“, in der sie als Kaltfassade beschrieben wird.

Die VHF stellt dabei zwar eine bautechnisch aufwändige, aber auch bauphysikalisch günstige Bauweise für Gebäudehüllen dar. Die Trennung von Wärmeschutz und Witterungsschutz führt zu einer

¹⁹ http://www.malerblatt-medien-service.de/out/media/docs/405756_405755_fassaden_brandschutz_technik_arch.pdf (aufgerufen am 8.1.2018)

geringeren Schadensanfälligkeit. Weiterhin ermöglichen unterschiedliche Werkstoffe (Materialien) für die Witterungsschicht eine große Gestaltungsvielfalt.

Bei der Gebäudesanierung bietet die VHF die Möglichkeit, mit entsprechenden Dämmstoffdicken und ohne Verlust der nutzbaren Grundfläche, ein bestehendes Gebäude den gestiegenen energetischen Anforderungen anzupassen und in gleicher Ebene alle Öffnungselemente (Fenster, Türen) aufzunehmen. Aufgrund ihres Aufbaus besitzen die VHF einen Vorteil gegenüber WDVS hinsichtlich der Rückbaubarkeit, da die Dämmstoffe nur gedübelt bzw. eingehängt sind und nicht geklebt.

Eine Vorhangsfassade ist nicht mit der VHF zu verwechseln. Zwar werden beide vor die Tragstruktur eines Gebäudes gehängt, bei der vorgehängten hinterlüfteten Variante handelt es sich konstruktiv jedoch um eine Kaltfassade während die Vorhangsfassade ohne Hinterlüftung eine leichte, nichttragende Außenwand darstellt.

4.5.3 Holzfassade (Holzrahmen- und Holztafelbauweise)

Eine Dämmung mit Schütt- oder Einblasdämmstoffen kann auch bei einem einschaligen Mauerwerk eingesetzt werden, wenn vor der Fassade eine Holzkonstruktion erstellt wird (Enbausa, 2016), ebenso kann sie bei keramischer Vorsatzschale verwendet werden.

Eine Holzfassade lässt sich an fast jeder Außenwand montieren. Die alte Fassade, beispielsweise aus Putz oder Ziegelsteinen, muss nicht verändert werden. Die Holzrahmen werden einfach auf die Außenwand gehängt und die Gefache zwischen den Rahmen mit Dämmstoff ausgefüllt. Auf diese Weise lassen sich sowohl im Neubau als auch bei einer Sanierung im Bestand die Anforderungen der Energieeinsparverordnung erfüllen. Die Holzrahmen- und Holztafelbauweise weist im Vergleich zu massiven Bauweisen bereits gute Dämmeigenschaften auf, weshalb bei dieser Bauweise dünne WDVS ausreichend sind.

Im Gegensatz zum Fachwerk- und Skelettbau sind bei der Holzrahmen- / Holztafelbauweise tragende und ausfachende bzw. aussteifende Teile in einem Bauelement zusammengefasst. Mit einem bestimmten Rasterabstand werden die Kanthölzer zu einer Rahmenkonstruktion zusammengebaut. Dieser Rahmen wird erst durch das Aufbringen von statisch mittragenden Holz- und / oder Gipswerkstoffen ausgesteift und bilden zusammen eine stabile Scheibe (Tafel), die ein Vielfaches der Tragfähigkeit der einzelnen Bauteile erreicht. Die Gesamtstabilität des Holzgebäudes entsteht erst durch die geschlossene Verbindung mehrerer Tafeln miteinander. Die einzelnen Rahmen bestehen aus Massivholz, welche hauptsächlich bei großen Wandstärken (z. B. Passivhäusern) eingesetzt werden.

Die Hohlräume zwischen der Tragkonstruktion können mit unterschiedlichen Dämmstoffen vollflächig ausgefüllt oder eingeblasen werden. Die Dämmstoffe sind keiner direkten Lasteinwirkungen aus dem Tragsystem oder durch den Wind ausgesetzt. Gut einsetzbar sind hier Einblas- oder Schüttämmstoffe, wie beispielsweise Zellulosefasern, Hobelspäne, Mineralfaserflocken, Perlite oder auch Wiesengras. Das Einblasen ist von geschultem Fachpersonal einzubringen, damit die Gefache ausreichend dicht verfüllt sind und sich durch Setzungen unter Eigengewicht keine Hohlräume bilden.

Holzfassaden und Vorhangsfassaden gelten als nichttragende Teile tragender Außenwände. Sie können bis GK 3 problemlos angewendet werden. Bei GK4+5 sind spezielle Brandschutzanforderungen einzuhalten (siehe Kapitel 5.2.2 und Anhang 10.4).

4.5.4 Zweischaliges Mauerwerk

Wärmedämmungen von zweischaligen Wänden werden am häufigsten im Mauerwerksbau angewendet. Das zweischalige Mauerwerk als Außenwand ist die konstruktive Trennung einer tragenden Wand (Innenschale) und einer nichttragenden Wand (Außenschale), wobei letztere den Witterungsschutz und die äußere Gestaltung übernimmt. Zwischen den beiden Schalen kann die Dämmung eingebaut werden. Der Vorteil einer Außenwand im zweischaligen Mauerwerk besteht in der Verbindung aus einem sehr guten Wärmeschutz, einer hohen Lebensdauer und einem geringen

Wartungs- und Instandhaltungsaufwand (Sprengard et al., 2013). In der Die Normenreihe DIN EN 1996 (Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten, mehrere Teile) enthält Anforderungen an das zweischalige Mauerwerk hinsichtlich Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Ausführung und Dauerhaftigkeit. Die Bemessung und Konstruktion des Mauerwerks erfolgt nach den allgemeinen Regeln der Technik und konnte bisher durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine europäische technische Bewertung ergänzt werden. Der Schalenzwischenraum (Luftschicht) kann entweder mit oder ohne Wärmedämmung ausgeführt werden. Diese kann den Hohlraum nur teilweise oder ganz ausfüllen. Bei den heutigen Wärmeanforderungen wird jedoch kaum noch ohne Wärmedämmung gebaut. Für die Dämmung in zweischaligem Mauerwerk werden Dämmplatten aus Mineralfasern, Polystryrol-, Polyurethan- und Phenolharz-Hartschaum verwendet. Holzfaserdämmplatten können nicht als Kerndämmung von zweischaligen Mauerwerken verwendet werden (Dorsch et al., 2017).

5 Baurecht für Dämmstoffe und WDVS

5.1 Europäischer Regelungsrahmen für WDVS

Die grundlegenden gesetzlichen Regelungen für die Vermarktung von Dämmstoffen und WDVS finden sich in der Europäischen Bauproduktenverordnung (Verordnung (EU) Nr. 305/2011) die seit 1. Juli 2013, die bis dahin gültige Bauproduktenrichtlinie (BPR, 89/106/EWG) ersetzt. Die Bauproduktenverordnung (EU-BauPVO) dient in erster Linie der Entwicklung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten innerhalb des Europäischen Binnenmarktes. Sie legt die Bedingungen für das Inverkehrbringen von Bauprodukten durch die Aufstellung von harmonisierten Regeln über die Angabe ihrer Leistungen fest (Artikel 1).

In ihren Erwägungsgründen beschreibt die BauPVO, dass den „Vorschriften der Mitgliedsstaaten zufolge“ Bauwerke weder die Gesundheit noch die Umwelt gefährden dürfen und dass die Anforderungen an Bauwerke sich durch Produktnormen und Bewertungsdokumente umsetzen lassen. Da sich aus unterschiedlichen nationalen Prüfanforderungen bisher Handelshemmisse ergeben haben, werden die Mitgliedsstaaten aufgefordert, ihre Verfahren und Vorschriften an europäische harmonisierte Normen anzupassen, sobald solche verfügbar sind.

Die nach der EU-BauPVO zu erstellende Leistungserklärung für ein spezifisches Bauprodukt enthält die festgestellten Leistungen zu wesentlichen Merkmalen, die den Bauwerksanforderungen in den Mitgliedstaaten entsprechen. Welche Leistungswerte für eine spezifische Anwendung erforderlich sind, legt das nationale Baurecht am Ort der Verwendung fest. Für die WDVS gibt es noch keine harmonisierte Norm mit Verpflichtung zur CE-Kennzeichnung und Leistungserklärung. Daher gilt für nicht harmonisierte WDVS weiterhin ein nationaler Regelungsrahmen (mit Verwendbarkeitsnachweisen über abZ). Weitere Details zu diesem Thema werden in Kapitel 5.2 dargestellt.

5.1.1 Definitionen und Begrifflichkeiten

Die Bauproduktenverordnung enthält eine Reihe von Definitionen, die für die Verwendung von WDVS wichtig sind und die im Folgenden näher erläutert werden.

Art. 2 EU BauPVO unterscheidet folgende Begriffe.

- ▶ „Bausatz“: Ein Produkt, das von einem Hersteller als Satz von mindestens zwei getrennten Komponenten in Verkehr gebracht wird, die vor Ort zusammengefügt werden.
- ▶ „Harmonisierte Spezifikationen“: Harmonisierte Normen (hEN) und Europäische Bewertungsdokumente (EAD).
- ▶ „Europäische Technische Bewertung (ETB)“: Die dokumentierte Bewertung der Leistung eines Bauproduktes in Bezug auf seine wesentlichen Merkmale in Einklang mit dem einschlägigen „Europäischen Bewertungsdokument“ (EAD).
- ▶ „Wesentliche Merkmale“: diejenigen Eigenschaften, die sich auf die Grundanforderungen an Bauwerke beziehen.

Grundanforderungen an Bauwerke gemäß Artikel 3 und Anhang I EU-BauPVO sind namentlich:

- ▶ Mechanische Festigkeit und Standsicherheit;
- ▶ Brandschutz;
- ▶ Hygiene, Gesundheit, Umweltschutz;
- ▶ Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung;
- ▶ Schallschutz;
- ▶ Energieeinsparung und Wärmeschutz und
- ▶ Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen.

Diese Grundanforderungen stellen die Grundlage für harmonisierte Normen (hEN) und Europäische Bewertungsdokumente (EAD) dar. Harmonisierte Normen (hEN) werden von der Europäischen Organisation für Normung, CEN, erstellt (Artikel 17). Sie enthalten alle für die Bewertung der Leistungsfähigkeit notwendigen technischen Angaben. Zuständig für die Europäischen Bewertungsdokumente von Bauprodukten ist die Europäische Organisation für Technische Bewertungen (European Organisation for Technical Assessments – EOTA).

Durch das Inkrafttreten der BauPVO haben sich einige sprachliche Änderungen ergeben, die zum Teil zu Verwirrung führen. Tabelle 18 enthält aus diesem Grund eine vergleichende Übersicht der für die Verwendung von WDVS wichtigsten Begriffe in der BauPVO und der BPR.

Tabelle 18: Vergleichende Darstellung wichtiger Begriffe aus BauPVO und BPR

BauPVO (de)	CPR (en)	BPR (de)	CPD (en)
Europäische Technische Bewertung (ETB)	European Technical Assessment (ETA)	Europäische Technische Zulassung (ETZ)	European Technical Approval (ETA)
Europäisches Bewertungsdokument	European Assessment Document – EAD	Leitlinien für die europäische technische Zulassung (ETAG)	European Technical Approval Guideline (ETAG)

Quelle: Eigene Darstellung

5.1.2 Harmonisierte Normen, Technische Bewertungen, CE Kennzeichnung und Anwendungsregeln

Für Produkte, die von harmonisierten Normen (hEN) erfasst sind oder einer ETB entsprechen, erstellen die Hersteller eine Leistungserklärung (Art. 4 und 6 EU-BauPVO). Die Leistungserklärung muss für mindestens ein wesentliches Merkmal aus der hEN/ETA die Leistung nach Stufen und Klassen oder eine Beschreibung enthalten (Art. 6 Abs. 3(g) EU-BauPVO). Für WDVS gibt es noch keine hEN, aber zahlreiche ETA.

Produkte mit Leistungserklärung erhalten eine CE-Kennzeichnung (Art. 8 Abs. 2 EU-BauPVO) als alleinige Konformitätskennzeichnung und als Voraussetzung für ihren Marktzugang. Mitgliedsstaaten dürfen die Verwendung von Bauprodukten mit CE-Kennzeichnung nicht untersagen oder behindern (Art 8 Abs. 4). Allerdings wird eingeschränkt, dass dies nur dann gilt, wenn die erklärten Leistungen den Anforderungen für die vorgesehene Verwendung in dem betreffenden Mitgliedstaat entsprechen.

Art. 26 Abs. 1 EU-BauPVO regelt die Vorgaben für eine Europäische Technische Bewertung (European Technical Assessment - ETA) anhand eines Europäischen Bewertungsdokuments (European Assessment Document – EAD). Eine Europäische Technische Bewertung (ETB bzw. engl. ETA) wird gemäß Artikel 19 dann erstellt, wenn ein Bauprodukt nicht in den Anwendungsbereich einer hEN fällt. Für Produkte, die nicht von einer harmonisierten technischen Spezifikation erfasst sind, gilt gemäß Artikel 21(c) das Verfahren nach Anhang II. Das bedeutet, dass ein neues Bewertungsdokument ausgearbeitet wird.

Als EAD können gemäß Art. 66 Abs. 3 EU-BauPVO auch bereits vorhandene Leitlinien für die europäische technische Zulassung (ETAG), die vor dem 1. Juli 2013 nach der Bauproduktenrichtlinie veröffentlicht worden sind, verwendet werden. Voraussetzung ist, dass die jeweilige Leitlinie aktuell ist und das betroffene Produkt voll abdeckt.

Für WDVS gibt es mit ETAG 004 (Europäische Organisation für Technische Zulassungen, 2013) eine solche Leitlinie für die europäische technische Zulassung, die vor dem 1. Juli 2013 nach der Bauproduktenrichtlinie veröffentlicht wurde. Gemäß dem vorläufigen Zeitplan der EOTA von 2014 soll diese Leitlinie bis 15. Dezember 2018 in eine EAD überführt werden (EOTA-ECservices, 2014).

In den ETAs für WDVS werden insbesondere Standsicherheit, Wärmeschutz und Brandschutz untersucht. Die Leistungserklärung nach ETA/ETB enthält für WDVS jedoch keine Anwendungsregeln, weshalb in Deutschland immer zusätzliche Anwendungsbestimmungen zu beachten sind (technische Regel oder Bauartgenehmigung für die Anwendung).

Als Verwendbarkeitsnachweis für WDVS, die keine CE-Kennzeichnung haben, war bisher eine Systemzulassung erforderlich. Jetzt sind allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (WDVS als Bauprodukt) in Verbindung mit allgemeinen Bauartgenehmigungen (WDVS als Bauart) vorgesehen. Die meisten WDVS auf dem deutschen Markt haben bisher keine CE-Kennzeichnung, da die ETB freiwillig sind.

In den vorhandenen, nicht harmonisierten Produktnormen DIN EN 13499 „Wärmedämmstoffe für Gebäude - Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus expandiertem Polystyrol“ (2003) und DIN EN 13500 „Wärmedämmstoffe für Gebäude - Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus Mineralwolle“ (2003), fehlen bisher die Kennwerte für die Standsicherheit. Daher sind beide Normen als Verwendbarkeitsnachweise ungeeignet. Werden diese Normen in harmonisierte EN-Normen überführt, sind mittelfristig alle national benötigte Leistungswerte in die Leistungserklärung und CE-Kennzeichnung zu integrieren. Gemäß Beschluss vom März 2011 hat das Europäische Komitee für Normung CEN ein Mandat (M/489), (European Commission, 2011)) für die Entwicklung einer harmonisierten europäischen Produktnorm für WDVS erhalten. Auch für genormte Produkte nach hEN sind Anwendungsregeln weiterhin notwendig.

5.1.3 Bestehende Normen und ETAGs für Dämmstoffe und WDVS sowie Ergänzungen durch das deutsche Baurecht

Es gibt bereits seit vielen Jahren harmonisierte europäische Produktnormen für Wärmedämmstoffe, die auch viele der in WDVS eingesetzten Dämmstoffe umfassen, und im Folgenden summarisch dargestellt sind (Tabelle 19).

Tabelle 19: Übersicht harmonisierter europäischer Normen (hEN) für Dämmstoffe

Nummer	Bezeichnung
DIN EN 13162	Mineralwolle (MW)
DIN EN 13163	expandiertes Polystyrol (EPS)
DIN EN 13164	extrudierter Polystyrolschaum (XPS)
DIN EN 13165	Polyurethan-Hartschaum (PUR)
DIN EN 13166	Phenolharzschaum (PF)
DIN EN 13167	Schaumglas (CG)
DIN EN 13168	Holzwolle (WW)
DIN EN 13169	Blähperlit (EPB)
DIN EN 13170	expandierter Kork (ICB)
DIN EN 13171	Holzfasern (WF)

Quelle: Eigene Darstellung

Für außenseitige Wärmedämmverbundsysteme gibt es zurzeit keine harmonisierten Normen gemäß EU-BauPVO, sondern nur freiwillige Normen für WDVS aus Mineralwolle und Polystyrol (Tabelle 20). Diese kommen in Deutschland nicht zur Anwendung, da sie aufgrund fehlender Inhalte bauaufsichtlich nicht eingeführt sind.

Tabelle 20: Freiwillige europäische Normen für WDVS

Nummer	Bezeichnung
DIN EN 13499	Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus expandiertem Polystyrol
DIN EN 13500	Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus Mineralwolle

Quelle: Eigene Darstellung

Die nationale Norm DIN 55699 „Verarbeitung von Wärmedämm-Verbundsystemen“ spiegelt im bauaufsichtlichen Kontext die anerkannten Regeln der Technik. In der Technischen Regel "WDVS mit ETA nach ETAG 004" der Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen, MVV TB, (DIBt 2017) wird für (WDVS) mit einer ETA nach ETAG 004 mit Dämmstoffen aus Polystyrol (EPS) nach DIN EN 13163 oder Mineralwolle (MW) nach DIN EN 13162 für die Ausführung explizit Bezug auf DIN 55699 genommen.

5.2 Nationale Regelungen für WDVS

Für das Bauordnungsrecht in Deutschland sind die Länder zuständig. Die Anwendung von WDVS in Deutschland wird über die Bauordnungen der Länder und technische Regeln bestimmt, die auf der MVV TB basieren. Die erforderlichen Nachweise für die Verwendbarkeit von WDVS werden im Folgenden vorgestellt.

Alle technischen Anforderungen an Bauwerke finden sich in baurechtlichen Verordnungen auf Landesebene (Landesbauordnungen nach Vorbild der Musterbauordnung), sowie in technischen Baubestimmungen, die die Bauwerksanforderungen konkretisieren und produktspezifische Umsetzungen spezifizieren (siehe Kapitel 5.2.2).

5.2.1 Musterbauordnung

Die Musterbauordnung (MBO) beschreibt den Geltungsbereich und die baurechtlichen Grundanforderungen und Verfahren für bauliche Anlagen und Bauprodukte, die in technischen Bestimmungen weiter vertieft und spezifiziert werden. Gültig ist die MBO aktuell in der Fassung von 2016 (Bauministerkonferenz, 2016). Die wesentlichen Bestimmungen für die Verwendbarkeit von WDVS finden sich neben allgemeinen Angaben und Definitionen in den Artikeln 2 und 3, vor allem in den Artikeln 16-25, in den Artikeln 26-28 und in Artikel 85a der MBO.

§ 2 der MBO beinhaltet Begriffsdefinitionen zu Baulichen Anlagen und Gebäuden, eine Unterteilung von Gebäuden in Gebäudeklassen, sowie die Definition von Sonderbauten, Bauprodukte und Bauart. Beim Oberbegriff Bauprodukte wurde der Begriff „Bausätze“ mit aufgenommen. Bauprodukte nach MBO sind: Produkte, Baustoffe, Bauteile und Anlagen sowie Bausätze gemäß Art. 2 Nr. 2 der Verordnung (EU) Nr. 305/2011, die hergestellt werden, um dauerhaft in bauliche Anlagen eingebaut zu werden. Bauart wird als das Zusammenfügen von Bauprodukten zu baulichen Anlagen oder Teilen von baulichen Anlagen definiert. Nach § 2 MBO sind damit WDVS Bauprodukte bzw. Bausätze, ihre Verwendung als WDVS zählt jedoch als Bauart (siehe Kapitel 5.1.1).

In § 3 der MBO werden die Allgemeinen Anforderungen von Anlagen festgesetzt. Durch ihre Anordnung, Errichtung, Änderung und Instandhaltung darf die öffentliche Sicherheit und Ordnung

nicht gefährdet werden. Die Grundanforderungen an Bauwerke sind dabei zu berücksichtigen. Dasselbe gilt auch für die Beseitigung von Anlagen und bei der Änderung ihrer Nutzung. Damit wird klargemacht, dass die nationalen Schutzziele die Grundanforderungen der EU-BauPVO mit umfassen. Die genannten Anforderungen nach § 3 können durch Technische Baubestimmungen gemäß § 85a konkretisiert werden.

§ 16 enthält die grundlegenden Vorschriften für die Verwendbarkeit von Bauarten (§ 16a) und Bauprodukten (§ 16b). Bauarten, die von den Technischen Baubestimmungen nach § 85a wesentlich abweichen, muss gemäß § 16a Absatz 2 eine allgemeine oder vorhabenbezogene Bauartgenehmigung durch entsprechende Behörde erteilt werden. § 18 Abätze 2 bis 7 gelten entsprechend.

In § 16c ist die Anforderung für die Verwendung von CE-gekennzeichneten Bauprodukten festgesetzt. Ein Bauprodukt mit CE-Kennzeichnung benötigt grundsätzlich keinen Verwendbarkeitsnachweis (§ 17), keine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (§ 18) und keine Übereinstimmungsbestätigung (§ 21), wenn die erklärten Leistungen den festgelegten Anforderungen für diese Verwendung entsprechen. Es müssen alle Leistungen erklärt sein, die erforderlich sind, um zu beurteilen, ob die Anforderungen und zwar alle durch und aufgrund der MBO gestellten bauwerksseitigen Anforderungen erfüllt sind (MBO, 2016). Die bauwerksseitigen Anforderungen sind in Sonderbauvorschriften und Technischen Baubestimmungen nach § 85a festgelegt. Die §§ 17 bis 25 Abs. 1 gelten nicht für Bauprodukte, die die CE-Kennzeichnung aufgrund der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 tragen.

§ 17 regelt Fälle in denen ein Verwendbarkeitsnachweis für ein (nicht harmonisiertes) Bauprodukt erforderlich ist (Absatz 1) und stellt dar, wann ein Verwendbarkeitsnachweis nicht erforderlich ist (Absatz 2). Des Weiteren wird auf die Technische Baubestimmungen nach § 85a verwiesen.

§ 85a beschreibt die Möglichkeit, die Schutzziele durch technische Baubestimmungen und technische Regeln zu konkretisieren. Dies beinhaltet auch Verfahren für die Feststellung der Leistung eines Bauproduktes und die für einen bestimmten Verwendungszweck anzugebende Leistung. Eine Abweichung der in den Technischen Baubestimmungen enthaltenen Planungs-, Bemessungs- und Ausführungsregelungen ist dann möglich, wenn mit einer anderen Lösung die Anforderungen in gleichem Maße erfüllt werden und in § 85a eine Abweichung nicht ausgeschlossen ist.

§ 87 stellt fest, dass die Verwendung des Ü-Zeichens auf Bauprodukten, die die CE-Kennzeichnung aufgrund der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 tragen, mit dem Inkrafttreten der neuen MBO nicht mehr zulässig ist, und es für bereits in Verkehr gebrachte Bauprodukte mit CE-Kennzeichnung seine Gültigkeit verliert.

Die wichtigsten Änderungen und Verschiebungen gegenüber der MBO in der Fassung von 2002 sind in nachfolgender Tabelle 21 dargestellt.

Tabelle 21: Wesentliche Inhalte der MBO 2016 in Bezug auf WDVS und Änderungen gegenüber 2002

	Inhalt	Verweis alte MBO	Änderung
§ 2	Definition Gebäudeklassen, Sonderbauten, Bauprodukte (10) und Bauart (11): hergestellt für dauerhaften Einbau in Anlagen Definition Bauart: Zusammenfügen von Bauprodukten zu baulichen Anlagen/Teilen von baulichen Anlagen	§ 2	Ergänzende Einführung von Bausätzen gemäß Art. 2, Nr.2 der BauPVO als Bauprodukt

	Inhalt	Verweis alte MBO	Änderung
§ 3	Allgemeine Anforderungen zur Anordnung von Anlagen zur Sicherstellung von Sicherheit und Ordnung; insbesondere Leben, Gesundheit und natürliche Lebensgrundlagen dürfen nicht gefährdet sein	§3	Ergänzender Bezug aus Anhang I BauPVo.
§ 16a	Bauarten	§ 3 (2), (3), § 21 (Bauarten) § 22 (Übereinstimmungsnachweis) § 23 (Übereinstimmungserklärung)	Klare Trennung zwischen Bauart und Bauprodukt; dürfen nur angewendet werden wenn für Anwendungszweck tauglich; Ergänzender Bezug auf §85a für Technische Baubestimmungen; Lösung („nicht geregelte Bauarten“); Ersatz abZ oder Einzelfallzulassung für Bauarten durch allgemeine oder vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (2); Übereinstimmungsbestätigung für Bauarten; Einführung besonderer Vorschriften für Sachkunde (6) und Sorgfalt bei Ausführung (7)
§ 16b	Bauprodukte	§ 3 (2), (3), (5)	Ausschließlich Bezug zu Bauprodukten gemäß Vorschriften anderer Vertragsstaaten
§ 16c	Anforderungen für CE-gekennzeichnete Bauprodukte		Neu: Bezug auf Entsprechung der erklärten Leistungen mit Verwendungsanforderungen; Für Produkte mit CE-Kennzeichnung gemäß BauPVo keine Verwendbarkeitsnachweise, keine abZ; keine Prüfzeugnisse, keine Übereinstimmungserklärungen, keine Zertifizierung etc.
§ 17	Verwendbarkeitsnachweis	§ 17 Absatz	Neu: Bezug zu § 85 Gelöscht Nachweis der Verwendbarkeit (4); Sachkunde (5) und Sorgfalt (6)
§ 21	Übereinstimmungsbestätigung	§ 22	Gelöscht: Bezug zu Bauarten (3) (2)2 Übereinstimmungszertifikat
§ 22	Übereinstimmungserklärung	§ 23	Neu: Pflicht zu Zertifizierung aus altem § 22
§ 23	Zertifizierung	§ 24	Änderung: Bezug zu Technischen Baubestimmungen statt zu technischen Regeln

	Inhalt	Verweis alte MBO	Änderung
§ 25	Besondere Sach- und Sorgfaltsanforderungen		Übernahme der Anforderungen aus ehemaligem § 17; neu Bezug zu BauPVo
§ 28	Außenwände	§ 28	Ergänzt: weitere Details zu Balkonen und Solaranlagen Weitere Details zu Brandvorkehrungen bei Außenwandbekleidungen für GK 1 und 2
§ 53	Bauherr	§ 53	Neu: Bereithalten von Nachweisen; Bei CE-gekennzeichneten Produkten
§ 55	Unternehmer	§ 55	Leistungserklärung
§ 61	Verfahrensfrei	§ 61	Ergänzung: Außenwandverkleidung einschließlich Maßnahmen zur Wärmedämmung
§ 66	Bautechnische Nachweise	§ 66	Zusätzliche Spezifikationen für die Kenntnisse des Experten für Brandschutznachweis
§ 81	Bauüberwachung	§ 81	Neu: Bezug zu CE und Leistungserklärung sowie zu BauPVo
§ 85a	Technische Baubestimmungen und technische Regeln zur Konkretisierung der Bauwerksanforderungen; Abweichung möglich, wenn mit einer anderen Lösung die Anforderungen in gleichem Maße erfüllt werden	§ 3 Abs. 3 § 17 Abs. 2 § 85 (1)1	Beschreibung der Inhalte der Technischen Baubestimmungen (im wesentlichen dieselben Inhalte wie in den Technischen Regeln von 2002) Absatz 3 (1) TB zur Konkretisierung von Bauwerksanforderungen; Absatz 3 (2 und 3a) Erlass von TB für Bauarten; Absatz 3 (3 b-f), (5), (6) TB für Bauprodukte
§ 87	Übergangsvorschriften		Ü-Zeichen auf Bauprodukten mit CE Kennzeichnung ist nicht zulässig, bisher erteilte abZ für Bauarten gelten als Bauartgenehmigung

Quelle: Eigene Darstellung

Durch die Änderungen der MBO wurde insbesondere sichergestellt, dass Bauprodukte und Bauarten klar getrennt sind und dass abZ nur noch die Form von Produkt- und nicht mehr von Anwendungsregelungen haben. Nach der Begründung zur Änderung der MBO entfällt mit dem In-Kraft-Treten der MBO die Rechtsgrundlage, für Bauprodukte mit CE-Kennzeichnung allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen zu erteilen und das Ü-Zeichen aufzubringen. Daher kann die Bauaufsichtsbehörde ab dem Zeitpunkt des In-Kraft-Tretens einer Landesbauordnung auf Basis der neuen MBO für Bauprodukte mit CE-Kennzeichnung keinen Verwendbarkeitsnachweis / keine Übereinstimmungsbestätigung mehr verlangen (MBO, 2016).

Um vor diesem Hintergrund aber gleichzeitig zu gewährleisten, dass das Niveau der Bauwerkssicherheit gehalten wird, wurden die Bauwerksanforderungen konkretisiert und gestärkt und manche bisher produktbezogene Anforderungen in bauwerksbezogene oder verwendungsbezogene Anforderungen geändert. In der Begründung zur MBO wird hervorgehoben, dass Anforderungen an die Verwendung der Bauprodukte auch unter der EU-BauPVO ausschließlich in

die Kompetenz der Mitgliedstaaten fallen und auch in Hinblick auf harmonisierte Bauprodukte erforderlich sind.

5.2.2 Technische Regeln und Bauregellisten

Bauwerksseitige Anforderungen an Bauprodukte wurden in Deutschland bisher in Sonderbauvorschriften und Technischen Baubestimmungen festgelegt. Mit der Änderung der MBO im Folge des EuGH Urteils C-100/13 von Herbst 2014 wurden die Inhalte in den Sonderbauvorschriften und in den Technischen Baubestimmungen angepasst. Die aktuellen Vorgaben finden sich in der Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (DIBt, 2017).

Die grundsätzlichen Anforderungen an WDVS haben sich durch die MVVTB nicht geändert. Die wesentlichen Vorgaben zu den Brandschutzanforderungen für WDVS (früher Bauregelliste B, Teil 1) finden sich in der MVV TB in den Teilen A und / oder B. Relevant sind v.a.

- ▶ die Abschnitte A 2.1.2 (Brandverhalten),
- ▶ A 2.1.5 (Außenwände),
- ▶ A 2.2 (Technische Anforderungen hinsichtlich Planung, Bemessung und Ausführung und Technische Anforderungen an Bauteile gemäß § 85a Abs. 2 MBO),
- ▶ sowie die technischen Regeln A 2.2.1.2 (Bauaufsichtliche Anforderungen, Zuordnung der Klassen, Verwendung von Bauprodukten, Anwendung von Bauarten) und
- ▶ B 2.2.1.5 (Technische Regel WDVS mit ETA nach ETAG 004; siehe auch Kapitel 6.1 und Anhang 4: Auf WDVS bezogene Vorgaben der MVV TB).

Die Verwaltungsvorschrift macht deutlich, dass Bauprodukte mit europäisch harmonisierten technischen Spezifikationen (hEN und EAD) baurechtlich nach der Technischen Regel A 2.2.1.2, die den Bezug zu den Europäischen Brandverhaltensklassen herstellt, zugeordnet sind. Die Technische Regel "WDVS mit ETA nach ETAG 004" enthält detaillierte Vorgaben zum Geltungsbereich, zur Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit, zum Brandschutz, zum Schall- und Wärmeschutz, sowie zur Bescheinigung²⁰ für den Einbau des WDVS. Sie umfasst allerdings nur geklebte oder gedübelte und geklebte WDVS mit einer ETA nach ETAG 004 mit Dämmstoffen aus Polystyrol (EPS) oder Mineralwolle (MW). Für die ETA-WDVS auf Basis von Mineralwolle und EPS, die die neue Technische Regel umfasst, sind keine allgemeinen oder vorhabensbezogenen Bauartgenehmigungen erforderlich.

5.2.3 Auswirkungen der neuen MBO und MVV TB auf die Planung und Ausführung von WDVS

Um die Konformität mit der BauPVO sicherzustellen, aber gleichzeitig das nationale Sicherheitsniveau beizubehalten, wurden in der Überarbeitung der MBO alle in der BauPVO vorgesehenen nationalen Regelungsvorbehalt voll ausgeschöpft. Wesentlich ist, dass der Einbau eines WDVS (Dämmstoff, Brandriegel, Putz) eine Bauart ist, die weiterhin in den nationalen Kompetenzbereich fällt.

Auf die produktbezogenen Anforderungen für WDVS-Dämmstoffe mit hEN, die früher in der Bauregelliste B Teil 1 enthalten waren, wurde in der neuen MVV TB verzichtet. Die bisher von Deutschland als abZ erteilte „Anwendungszulassung“ für WDVS mit ETA (ehemaliger Zulassungsbereich Z-33.41) wurde gelöscht. Stattdessen sind nach der neuen MBO jetzt eine Bauartgenehmigung und eine Übereinstimmungserklärung vorgesehen und die produktbezogenen

²⁰ „Der Unternehmer, der das WDVS vor Ort einbaut, muss für jedes Bauvorhaben eine Bescheinigung ausstellen, mit der er bestätigt, dass die von ihm eingebauten Bauprodukte (Komponenten) den Bestimmungen der europäischen technischen Zulassung bzw. der Europäischen Technischen Bewertung sowie der jeweils geltenden Einbauanleitung entsprechen und die Bestimmungen dieser Technischen Regel eingehalten sind; die entsprechenden Einstufungen und Eigenschaften sind darin anzugeben. Diese Bescheinigung ist dem Bauherrn zur ggf. erforderlichen Weiterleitung an die zuständige Bauaufsichtsbehörde auszuhändigen.“

Anforderungen wurden in bauwerksbezogene Anforderungen überführt. Für Bauarten gibt es kein Ü-Zeichen und auch keine gegenseitige Anerkennung.

Bauarten sind ab jetzt anwendbar, wenn sie Technischen Baubestimmungen entsprechen oder eine allgemeine oder eine vorhabensbezogene Bauartgenehmigung oder – bei Erfüllung bestimmter Voraussetzungen – ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis haben. Für Bauprodukte für die Verwendbarkeitsnachweise nach nationalen Regeln erforderlich sind, sind je nach Festlegungen in den Technischen Baubestimmungen entweder eine abZ, ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis oder eine Zustimmung im Einzelfall vorzuweisen.

Konkret ergeben sich daraus folgende Auswirkungen:

- Im Regelfall benötigen neue WDVS ab jetzt zusätzlich zu einer abZ oder ETB für ihre Anwendung eine Bauartgenehmigung (Ausnahme sind ETA nach ETAG 004 nach der mit MVV TB eingeführten Technischen Regel). Die Bauartgenehmigungen für WDVS enthalten auch alle für Dämmstoffe relevanten Aspekte. Bisherige WDVS-abZ gelten weiter als allgemeine Bauartgenehmigung.
- Die MVV TB enthält eine Technische Regel für WDVS mit ETA, die die bisherige ETA-ergänzende Verwendungszulassung für EPS- und Mineralwolle-WDVS ersetzt. Für WDVS mit ETA nach ETAG 004, enthält die MVV TB alle technischen Regeln, die in Deutschland zu beachten sind.
- Die abZ für Europäisch genormte Dämmstoffe zur Anwendung in WDVS verlieren ihre Funktion als bauaufsichtlicher Verwendungsnachweis. Das Ü-Zeichen entfällt, wodurch es auch keinen Überwachungsvertrag mehr gibt. Bestehende Zulassungen bleiben aber ohne Ü-Zeichen weiter gültig. Die Gewährleistung der Eigenschaften erfolgt durch Liefervereinbarungen.
- Für nationale Zulassungen für Bauprodukte ohne CE-Kennzeichnung gilt weiter die abZ. Dämmstoff-abZ für WDVS-Dämmstoffe ohne hEN/ETA können weiter beantragt werden.

6 Brandschutzanforderungen an Dämmstoffe und WDVS

Baurechtliche Anforderungen an den Brandschutz dienen der Sicherheit von Personen und werden in Deutschland bundesweit in der Musterbauordnung (MBO) geregelt, die in ihren Grundsätzen in die Landesbauordnungen (LBO) auf Ebene der Bundesländer übernommen wird. Allerdings sind die Bauordnungen im Detail durchaus unterschiedlich. Die Bauordnungen werden durch Verordnungen, Richtlinien, Erlasse, technische Vorschriften und Normen, Handlungsempfehlungen und technische Merkblätter konkretisiert.

6.1 Brandschutzanforderungen nach Bauordnung

Alle Anforderungen zum Brandschutz richten sich nach Gebäudeklassen (GK), die in § 2 Abs. 3 der MBO definiert sind. Allgemeine Vorgaben zum Brandschutz finden sich in § 3 MBO.

Wichtig für WDVS sind aber vor allem die folgenden Paragraphen:

- ▶ Gemäß § 14 müssen Bauliche Anlagen so errichtet, geändert oder instand gehalten werden, dass der Entstehung und Ausbreitung eines Brandes vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.
- ▶ Konkretisiert werden die Brandschutzanforderungen für WDVS insbesondere in den §§ 26 (Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen) und 28 (Außenwände).

6.1.1 Begriffsdefinitionen zum Brandverhalten

Die MBO unterscheidet Gebäudeklassen (GK) 1-5, sowie Sonderbauten, für die besondere Brandschutzanforderungen gelten (siehe Tabelle 22).

An Bauteile werden baurechtlich Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit gestellt, während bei Baustoffen das Brandverhalten beurteilt wird. Der Feuerwiderstand von Bauteilen ist in diesem Forschungsvorhaben nicht primärer Untersuchungsgegenstand, da es sich bei WDVS nicht um Bauteile handelt. Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen hängen eng zusammen. Auch wenn der Feuerwiderstand bei Außenwänden durch den Wandbildner zu gewährleisten ist und ein WDVS nicht zum Feuerwiderstand beiträgt, muss es Anforderungen an die Begrenzung der Brandweiterleitung erfüllen.

6.1.2 Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen (§ 26 MBO)

Nach § 26 Abs. 1 MBO werden Baustoffe nach den Anforderungen an ihr Brandverhalten unterschieden in die drei Klassen:

1. Nichtbrennbar;
2. Schwerentflammbar;
3. Normalentflammbar.

Leicht entflammbare Baustoffe dürfen in Gebäuden nur verwendet werden, wenn sie in Kombination mit anderen Baustoffen mindestens normalentflammbar sind.

Bei WDVS wird das Brand- und gegebenenfalls das Glimmverhalten vor allem vom Dämmstoffmaterial bestimmt, das durch Flammschutzmittel deutlich und durch Bindemittel leicht beeinflusst werden kann. Kleber und Putze / Beschichtungen haben einen kleinen zusätzlichen Einfluss auf das Brandverhalten.

Für Bauteile unterscheidet die MBO nach den Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit die Kategorien feuerbeständig, hochfeuerhemmend und feuerhemmend (§ 26 Abs. 2 MBO).

Die Feuerwiderstandsfähigkeit bezieht sich dabei auf die Tragfähigkeit im Brandfall beziehungsweise auf den Widerstand gegen die Brandausbreitung. Je nach Zahl der Minuten, die sie einem Feuer

widerstehen, werden Bauteile gemäß DIN 4102-2 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 2: Bauteile; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen“ (1977) und die ergänzende DIN EN 13501 Feuerwiderstandsklassen zugewiesen.

6.1.3 Brandschutzanforderungen für Außenwände

Das Ziel der Vorschriften für das Brandverhalten an der Außenwand ist es, an allen Fassaden zu verhindern, dass sich ein Brand schneller nach oben ausbreitet, als er es ohnehin über eine nichtbrennbare Fassade mit übereinanderliegenden Fenstern tut. Das Bauordnungsrecht orientiert sich bei seiner Risikoabschätzung an der Auftrittswahrscheinlichkeit „üblicher“ Brände und überprüft seine Ansätze ständig anhand aktueller Schadensfälle (Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme, 2016a).

Gemäß § 28 (3) MBO, der für WDVS gilt, müssen Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen ab GK 4 schwerentflammbar sein. Solche Baustoffe dürfen gleichzeitig nicht brennend abfallen oder abtropfen. Die Anforderung schwerentflammbar soll dabei verhindern, dass sich ein Brand, z. B. aus dem geborstenen Fenster eines Wohnraums, über die Fassade zu schnell nach oben ausbreitet. Das eventuelle Mitbrennen der Außenwandbekleidung wird bei Wohngebäuden bis zur Hochhausgrenze in gewissem Maße in Kauf genommen. Die Ausbreitung muss aber begrenzt sein.

Bei vorgehängten hinterlüfteten Außenwandbekleidungen (siehe auch Kapitel 4.5.2) müssen außerdem ab GK 4 besondere Vorkehrungen gegen die Brandausbreitung getroffen werden. Bei Doppelfassaden gilt dies ab GK 3.

Die Umsetzung der Anforderungen gemäß § 28 bedeutet, dass:

- ▶ bei Gebäuden der GK 1-3 baurechtlich normalentflammbar WDVS aus normalentflammabaren Dämmstoffen eingesetzt werden können (Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme, 2016b). Besondere Vorkehrungen gegen Brandausbreitung sind nicht notwendig, da der Gesetzgeber im Zuge seiner Risikoabschätzung davon ausgeht, dass bei derartigen Gebäuden Selbstrettung und Evakuierung in kurzer Zeit möglich sind (Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme, 2011).
- ▶ bei Gebäuden von $\geq 7 \text{ m}$ bis $\leq 22 \text{ m}$ (GK 4-5) sind dagegen mindestens schwerentflammbar WDVS vorgeschrieben. Diese können normalentflammabare Dämmstoffe enthalten solange das Gesamtsystem (z.B. durch die schützende Putzschicht) als schwer entflammbar eingestuft werden kann.

Bei Gebäuden $> 22 \text{ m}$ (Hochhäuser) und vielen Sonderbauten dürfen ausschließlich nichtbrennbare Baustoffe / Fassadenbekleidungen eingesetzt werden (Eberl-Pacan, 2013; Holm, Treml & Sprengard, 2014). Bei Sonderbauten gelten laut MVV TB A 2.1.20 für das Brandverhalten von Außenwandbekleidungen spezifische Brandschutzanforderungen (DIBt, 2017). Weitere Konkretisierungen zu den Anforderungen der MBO finden sich in der MVV TB (DIBt, 2017).

Tabelle 22 bietet einen Überblick über die Anforderungen an das Brandverhalten in Abhängigkeit von Gebäudeklasse oder Sonderbautyp.

Tabelle 22: Übersicht der Anforderung an das Brandverhalten von WDVS nach Gebäudeklasse und Gebäudetyp

Gebäudeart	Grundlage	Mindestanforderungen an das Brandverhalten von WDVS
GK 1-3 ($\leq 7 \text{ m}$ OKF)	Landesbauordnungen	normalentflammbar
GK 4-5 ($\geq 7 \text{ m}$ bis $\leq 22 \text{ m}$ OKF)	Landesbauordnungen	schwerentflammbar

Gebäudeart	Grundlage	Mindestanforderungen an das Brandverhalten von WDVS
Besondere Einbausituationen (z. B. Brandwände, Gebäudeabschlusswände, Laubengänge, Fluchtbalkone, etc.)	Landesbauordnungen	nichtbrennbar
Hochhäuser (≥ 22 m OKF)	Musterhochhausrichtlinie	nichtbrennbar
Krankenhäuser und Pflegeheime (nicht betreutes Wohnen und nicht Seniorenheime ohne Pflege)	Krankenhausverordnung	Gebäude > 1 Geschoss \rightarrow schwerentflammbar Gebäude > 5 Geschossen \rightarrow nichtbrennbar
Verkaufsstätten	Verkaufsstättenverordnung	Eingeschossige Gebäude ohne und mehrgeschossige Gebäude mit Sprinkleranlage \rightarrow schwerentflammbar
Industriebau	Industriebaurichtlinie	Empfehlung zur Anwendung der Verkaufsstättenverordnung
Versammlungsstätten	Versammlungsstättenverordnung	keine verschärfenden Forderungen gegenüber Gebäuden normaler Art und Nutzung
Schulen	Schulbaurichtlinie	

* OKF= Oberkante des Fußbodens des höchstgelegenen Geschosses mit Aufenthaltsraum.

Quelle: Erstellt auf Grundlage der in Spalte zwei angegebenen Bauordnungen, Verordnungen und Richtlinien

Ziel von Brandschutzanforderungen für Bauteile ist es, je nach Gebäudeklasse für das betreffende Bauteil einen Feuerwiderstand von 30, 60 oder 90 Minuten zu erreichen.

Nach der MVV TB (DIBt, 2017) gelten für die unterschiedlichen Klassen von Baustoffen die folgenden Anforderungen nach A 2.1.2.

- ▶ **Nichtbrennbare** Baustoffe dürfen auch bei einem fortentwickelten, teilweise voll entwickelten Brand keinen (eigenen) Beitrag zum Brand leisten. Sie dürfen sich nicht oder nur begrenzt entzünden, minimal rauchen, nicht forschreitend Glimmen oder Schwelen und nicht Abtropfen oder Abfallen.
- ▶ **Schwerentflammable** Baustoffe dürfen bei Einwirkung eines entstehenden Brandes nur einen begrenzten Beitrag leisten, so dass es während des Brandes und nach Wegfall der Brandquelle nur zu einer begrenzten Brandausbreitung kommt. Die Brandeinwirkung soll gemäß A 2.1.5 für WDVS statt einem Papierkorbbrand eine aus einer Wandöffnung schlagende Flamme sein. Brennendes Abtropfen / Abfallen ist nicht erlaubt.
- ▶ **Normalentflammable** Baustoffe dürfen bei einem Entstehungsbrand nur einen begrenzten Beitrag zum Brand leisten. Das heißt, Entzündbarkeit und Flammenausbreitung müssen bei Einwirkung einer kleinen definierten Flamme (z. B. Streichholz) eine Zeitlang begrenzt sein. Brennendes Abtropfen oder Abfallen darf nicht auftreten.

Die Übereinstimmung mit diesen Anforderungen wird durch eine Klassifizierung der einzelnen Bauprodukte auf der Basis von genormten Brandtests dokumentiert. Für die Klassifizierung stehen aus historischen Gründen ein nationales und ein Europäisches Normensystem mit grundsätzlich ähnlichen Kriterien aber einer unterschiedlichen Anzahl von Kategorien und teilweise unterschiedlichen Brandtests zur Verfügung. In den Brandschutzklassifizierungen von Dämmstoffen und WDVS nach den bestehenden Normen wird die Rauchgasdichte sowie brennendes Abtropfen / Abfallen, aber nicht die Rauchgastoxizität berücksichtigt.

Die beiden grundlegenden Normen für die Klassifizierung des Brandverhaltens von Dämmstoffen und WDVS sind:

- ▶ DIN 4102-1 (1998) Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 1: Baustoffe – Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Mai 1998.
- ▶ DIN EN 13501-1 (2010) Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten, Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten. Januar 2010.

DIN 4102-1 (1998) unterscheidet grundsätzlich nichtbrennbare Baustoffe (A1 und A2) und brennbare Baustoffe, die in schwerentflammbar (B1) und normalentflammbar (B2) unterteilt werden. Die Einstufung erfolgt entweder nach genormten Brandversuchen (DIN 4102-1) am konkreten Produkt oder, wenn es sich um bereits bewährte Baustoffe handelt, anhand der DIN 4102-4 (2016). Zusätzlich zum Brandverhalten von Baustoffen kann nach DIN 4102-1 (1998) auch die Rauchentwicklung geprüft werden. Ergebnisse werden allerdings nicht direkt in der Kennzeichnung deutlich, sondern müssen im Rahmen der Zulassung (abZ) dem Prüfbericht bzw. dem Verwendbarkeitsnachweis entnommen werden. DIN 4102-20 (2017) dient dem Nachweis der Schwerentflammbarkeit von Systemen wie WDVS.

Die EU-Klassifizierung nach DIN EN 13501-1 (2010) sieht sieben Euroklassen vor (A1, A2, B, C, D, E, F). Im deutschen Baurecht sind diese wie folgt zugeordnet: nichtbrennbar (A1, teilweise A2), schwerentflammbar (teilweise A2, B, C), normalentflammbar (D, E) und leichtentflammbar (F). Rauchentwicklung und brennendes Abtropfen werden durch die Symbole (s = smoke) und (d = droplets) gekennzeichnet. Dabei bedeuten die Zusatzzeichen folgendes:

Tabelle 23: Klassifizierungssymbole für Rauchentwicklung und brennendes Abtropfen

Kurzzeichen	Beschreibung
s1	Keine / kaum Rauchentwicklung
s2	Begrenzte Rauchentwicklung
s3	Unbeschränkte Rauchentwicklung
d0	Kein Abtropfen / Abfallen
d1	Begrenztes Abtropfen / Abfallen
d2	Starkes Abtropfen / Abfallen

Quelle: DIN EN 13501-1 (2010)

Welches Bauprodukt nach welchen Normen einzustufen ist, ergibt sich aus der MVV TB. Gemäß MVV TB (DIBt, 2017) erfolgt für alle Bauprodukte mit harmonisierten Normen oder Europäisch Technischen Bewertungen und Zulassungen (d.h. alle klassischen WDVS-Dämmstoffe mit hEN und WDVS nach ETA) die Klassifizierung nach DIN EN 13501-1. Die Einstufung für WDVS als

Gesamtsystem und für WDVS ohne ETA erfolgt dagegen über die neu eingeführten Bauartgenehmigungen und nach DIN 4102-1. Eine detaillierte Übersicht der Klassifizierungen nach DIN 4102-1 und DIN EN 13501-1 findet sich in Anhang 5, Kapitel 10.5).

6.1.4 Brandprüfungen zur Klassifizierung von Dämmstoffen

Die Klassifizierung von Baustoffen erfolgt anhand von genormten Brandprüfungen (siehe 6.1.3), die unterschiedlich schwere Brandeinwirkungen simulieren. Abhängig von der angestrebten Klassifizierung müssen die Materialien dabei unterschiedlich starken Brandlasten von einem kleinen Entstehungsbrand (Streichholzflamme) oder bis zu einem voll entwickelten Brand über definierte Zeiträume widerstehen.

Da das Brandverhalten des Dämmmaterials (aufgrund der Masse und des hohen Luftanteils) das Brandverhalten eines WDVS überwiegend bestimmt, ist der Dämmstoff auch die Komponente, die bei der Brandprüfung für die Klassifizierung von WDVS primär untersucht wird. Allerdings tragen auch Kleber und Putzschicht (siehe Kapitel 4.2 und 4.4) unabhängig vom Dämmmaterial zum Brandverhalten des eingebauten WDVS bei. Grundsätzlich gilt, dass eine dickere Putzschicht den Dämmstoff besser vor Entzündung schützt. Stabile Putzschichten sind insbesondere über Fensterstürzen extrem wichtig, um im Brandfall größeren Mengen von geschmolzenem oder verdampftem Dämmstoff (Polystyrol) standzuhalten.

Zuständig für die Durchführung der Brandtests sind in Deutschland die dafür zugelassenen Materialprüfanstalten (siehe 10.6). Die abschließende Bewertung der Prüfergebnisse erfolgt für WDVS durch die Erteilung von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (AbZ)/Bauartgenehmigungen zentral durch das DIBt.

DIN 4102-1 (1998) und DIN EN 13501-1 (2010) enthalten beide eine Reihe von Brandprüfungen unter Laborbedingungen, die in Abhängigkeit von der gewünschten Klassifizierung bestanden werden müssen (siehe Tabelle 24 und Anhang 10.5).

Tabelle 24: Labor-Brandprüfungen, die für verschiedene Klassifizierungen bestanden werden müssen.

Prüfungen nach DIN 4102 Teil 1 (1998)	Prüfungen nach DIN EN 13501 Teil 1 (2010)
Nichtbrennbarkeitsofen nach DIN 4102-1 (1998) Schmelzpunktbestimmung nach DIN 4102-17 (2017)	ISO-Ofen nach DIN EN ISO 1182 (2010) Schmelz-Fähigkeit unter Konvektionsluftstrom DIN EN 16733 (2016)
Brandschacht nach DIN 4102-1 (1998), -15 (1990) und -16 (2015)	Kalorimeter (PCS - Wert) nach DIN EN ISO 1716 (2010)
Rauchentwicklungsprüfungen nach DIN 4102-1 (1998) Anhang A und B	SBI - Prüfstand nach DIN EN 13823 (2015)
Brennkasten nach DIN 4102-1 (1998)	Brennkasten oder Kleinbrennerprüfung nach DIN EN ISO 11925-2 (2011)
Brenn- und Heizwert nach DIN 4102-1 (1998)	

Quelle: Angaben aus den zitierten Normen

Nach MVV TB (DIBt, 2017) dürfen nichtbrennbare und schwerentflammbare Baustoffe nicht weiterglimmen oder schwelen. Schwerentflammbare Baustoffe dürfen außerdem, ebenso wie normalentflammbare Baustoffe, nicht brennend abtropfen oder abfallen (DIBt, 2017).

Für alle nichtbrennbaren und schwerentflammbaren Bauprodukte mit hEN oder ETA muss zur Beurteilung der Verwendbarkeit eine Angabe zum Schmelz- und Glimmverhalten verfügbar sein. Damit

soll der Tatsache Rechnung getragen werden, dass der SBI-Test (Single Burning Item) DIN EN 13823 (2015) als nicht ausreichend angesehen wird, um Schwel- und Glimmverhalten abzubilden. Gewährleistet wird dies über die die europäische Norm DIN EN 16733 (2016). Diese legt ein Prüfverfahren der Neigung (Fähigkeit) eines Bauprodukts fest, kontinuierlich zu schwelen, wenn es dem Einfluss eines natürlichen Konvektionsluftstroms einer offenen Flamme ausgesetzt ist.

Je nach gewünschter Einstufung werden Brandprüfungen mit dem gesamten WDVS oder nur mit den Dämmmaterialien durchgeführt.

Prüfverfahren bei denen das Gesamtsystem bzw. ein realmaßstäblicher Ausschnitt geprüft wird sind:

1. Die Fassadenbrandprüfung nach DIN 4102-20 (2017),
2. Das Sockelbrandprüfverfahren (2016) für EPS basierte WDVS nach MVV TB und
3. Der British Standard BS 8414-1 (2015).

Die Fassadenbrandprüfung nach DIN 4102-20 (Feuertrutz, 2015) definiert ein Prüfverfahren für den Nachweis und die Bewertung des Brandverhaltens von Bauprodukten und Bauarten, die zur Verwendung an beziehungsweise auf Oberflächen von raumabschließenden Gebäudeaußenwänden bestimmt sind. Beurteilt werden soll dabei das Verhalten von Außenwandbekleidungssystemen (WDVS) bei Beanspruchung durch einen Vollbrand in einem angrenzenden Raum. Die Ergebnisse dieser Prüfung dienen als Grundlage für den Nachweis der Schwerentflammbarkeit von Außenwandbekleidungssystemen einschließlich der gegebenenfalls erforderlichen konstruktiven Brandschutzmaßnahmen in Verbindung mit der Bewertung der verwendeten Baustoffe und des Außenwandbekleidungssystems nach DIN 4102-1 beziehungsweise nach DIN EN 13501-1.

Die Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb) hat 2016 Einspruch gegen den Norm-Entwurf E DIN 4102-20 (2016-03) erhoben, weil er nur den "Lastfall-Brand aus einem Fenster" abdeckt. Reale Brandereignisse und großflächige Fassadenbrandprüfungen, wie die von der Bauministerkonferenz (BMK) in Auftrag gegebenen, haben nach vfdb gezeigt (Northe, Riese & Zehfuß, 2016), dass nach den Vorgaben der DIN 4102-20 zugelassene Systeme bei anderen realistischen Brandereignissen ein nicht hinnehmbares Brandverhalten und ein hohes Personenrisiko bedeuten. Der vfdb argumentiert, dass sich in Großversuchen mit einem Sockelbrandszenario, bei denen die Zündquelle einem brennenden Müllcontainer entsprach, bereits nach deutlich weniger als 20 Minuten ein Aufreißen des Putzes und ein Vollbrand im Großprüfstand ergeben hätte. Der Nachweis der Schwerentflammbarkeit im Zulassungsversuch müsse deshalb den Sockelbrandversuch als Normversuch umfassen. Ferner müsse einer Brandweiterleitung zwischen brennbaren Außenwandkonstruktionen und brennbaren Dachaufbauten entsprechend den derzeitigen Zulassungsvoraussetzungen mit einem oberen Brandriegel vorgebeugt werden (siehe Vorgaben zu Brandriegeln unter 6.1.5). Vorgeschlagen wird außerdem eine Ergänzung von Brandriegeln in jedem Obergeschoß nach dem Vorbild der Regularien in Österreich.

Wie von vfdb gefordert ist der Sockelbrandversuch seit 2016 verpflichtend zur Prüfung der Schwerentflammbarkeit. Mit dem Sockelbrandprüfverfahren (2016-06) wird gemäß MVV TB (DIBt, 2017) für Außenwandbekleidungen in der Ausführung als Wärmedämmverbundsystem mit EPS-Dämmstoffen zusätzlich eine Brandeinwirkung von außen, die unmittelbar im unteren Bereich der Fassade einwirkt, simuliert. Der Sockelbrandtest wird derzeit genormt und sollte ca. Mitte 2019 als Entwurf mit der Nummer DIN 4102-24 erscheinen.

Beim BS 8414-1 (2015) ist die Brandlast bei ähnlichem Aufbau zehnmal höher als im DIN 4102-20 (2017). DIN 4102-20 und BS 8414-1 werden daher auch als medium scale- und large scale-Tests unterschieden. Hintergrund für die höhere Brandlast bei der BS-Methode ist die Tatsache, dass in Groß-Britannien Fassadenbekleidungen mit brennbaren Dämmstoffen für die Anwendung an Hochhäusern, die in Deutschland unzulässig ist, geprüft werden.

Die Europäische Norm EN 16724 (2017) strebt die Vereinheitlichung der diversen nationalen Fassadenbrandtests an. Die Norm legt Einbau- und Befestigungsbedingungen zur Prüfung des Brandverhaltens von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS) fest und führt Regeln für den Anwendungsbereich von Prüfergebnissen auf. Der neue Test nach DIN EN 16724 (2017) enthält wesentliche Elemente von ETAG 004.

Bezüglich der Risikoeinschätzung beim Fassadenbrand besteht zwischen den im Fachgespräch konsultierten Experten keine Einigkeit. Einerseits wurde betont, dass Brandprüfungen nicht alle Gefahren in der baupraktischen Anwendung abdecken können. Das Baurecht und die Brandprüfung gehen von einem vollständigen und vorschriftsgemäßen Aufbau eines WDVS aus, da der Eigentümer gemäß MBO für die Erhaltung des vorschriftengemäßen Zustands verantwortlich ist. Andere Experten bezweifeln, ob die Brandlast bei E DIN 4102-20 ausreicht, um das Risiko von EPS-basierten WDVS korrekt abzubilden. Zusätzlich wurde bemängelt, dass in Deutschland Prüfungen an Prüfkörpern ohne Berücksichtigung von Änderungen im Bereich der Fassade (z. B. Fensteröffnungen) durchgeführt und dadurch das Risiko unterschätzt wird (Northe et al., 2016). Gefahren, die aus Beschädigungen entstehen können sind Gegenstand von Untersuchungen (Kaudelka, Hofmann-Böllinghaus, Hauswaldt & Krause, 2015).

6.1.5 Zusatzanforderungen gegen Brandeinwirkung von außen in der MVV TB

Aufgrund besonderer Gefahren bei Wärmedämmung mit EPS-basierten WDVS hat der Gesetzgeber in der Technischen Regel „WDVS mit ETA nach ETAG 004“ im Anhang 11 der MVV TB festgelegt, dass für WDVS mit expandiertem Polystyrol-(EPS)-Dämmstoff nach DIN EN 13163 verschiedene Brandriegel einzubauen sind (siehe Kapitel 5.2.2). Eine detaillierte Illustration der Vorgaben findet sich auch im FV WDVS -Kompendium (Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme, 2016a).

Die speziellen Brandschutzmaßnahmen gegen Brandeinwirkung von außen als Voraussetzung für die Anwendung für WDVS (schwerentflammbar) mit expandiertem Polystyrol -Dämmstoff nach MVV TB (siehe Kapitel 5.2.2) umfassen unter anderem Brandriegel einschließlich genauen Vorgaben bezüglich Material und Montage, Mindestanforderungen zu Putzdicke und zur Armierung , Vorgaben zu Außenwandbekleidung / Beplankung, oder Vorgaben zum Vorgehen bei der Aufdoppelung von Alt-WDVS. Eine genaue Beschreibung findet sich in Kapitel 10.4 (Anhang 4).

Die Brandschutzmaßnahmen sind so ausgelegt, dass durch das WDVS keine schnellere Brandausbreitung verursacht werden kann, als dies ohnehin durch den Flammensprung von Stockwerk zu Stockwerk an nichtbrennbaren Fassaden zu erwarten ist (Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme, 2016b)

Aufgrund der Brandfälle hat die Bauministerkonferenz 2015 (DIBt, 2015) außerdem für Bestandsbauten mit Fassadensystemen aus Polystyrol Instandhaltungsmaßnahmen und Maßnahmen zur Vermeidung der Brandlasten an der Außenfassade verabschiedet, die die Eigentümer oder andere Verfügungsberechtigte eigenverantwortlich umsetzen können.

Dazu gehört insbesondere:

- ▶ regelmäßige Kontrolle der gesamten Fassade auf Beschädigungen;
- ▶ Mindestabstand von drei Metern zur Fassade bei der Lagerung von brennbaren Materialien (z. B. Brennholz) und
- ▶ Geschlossene Einhausung aus nichtbrennbarem Material (z. B. aus Stahl oder Beton) bei der Aufstellung von Müllcontainern oder Mülltonnen aus Kunststoff direkt am Gebäude.

6.1.6 Brandschutzkonzept

Für Baustellen ist ein Brandschutzkonzept vorgeschrieben, dass in jedem konkreten Einzelfall einzuhalten ist und sogar Vorrang vor der abZ hat (Ausbau Fassade 3/2014). Das Brandschutzkonzept

macht praxisnahe Vorgaben zur Vermeidung nicht tragbarer Sicherheitssituationen auf Baustellen. Besonderes Augenmerk muss dem vorbeugenden Brandschutz und der Sicherheit der Rettungswege (Treppen und Anleiterstellen) gelten, wenn an genutzten Gebäuden nachträglich WDVS aufgebracht werden (MBO, 2016; VdS 3461, 2014). Für Gebäude der GK 4-5 sowie für Sonderbauten sollte daher, eigens für die Bauausführung der WDVS, ein in Brandschutzfragen erfahrener Fachbauleiter bestellt werden.

6.2 Spezifisches Brandverhalten von WDVS-Dämmstoffen, bauliche Zusatzanforderungen und Brandgastoxizität

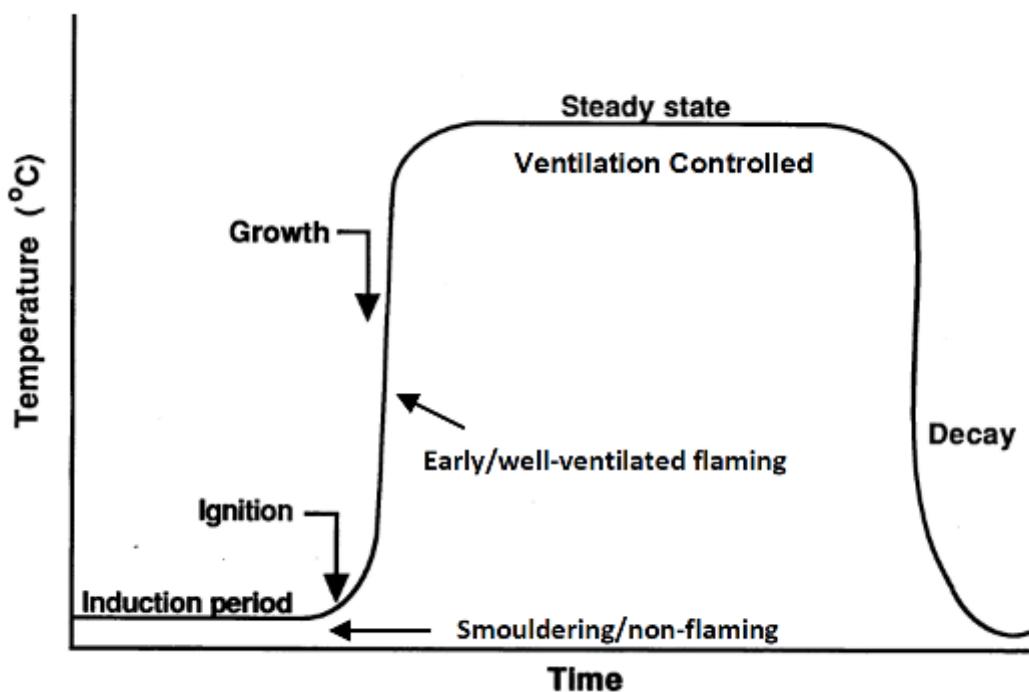
Zur Beurteilung der Risiken im Brandfall sollten für die in WDVS eingesetzten Dämmstoffe Informationen zu ihrer Brennbarkeit und Rauchentwicklung sowie der Neigung zum brennenden Abtropfen des geschmolzenen Dämmstoffes oder des Abfallens von Dämmstoffteilen vorliegen. Rauchentwicklung ist in der Risikobewertung eines Brandes wegen Sicht einschränkung und aufgrund der Entstehung von toxischen Kohlenmonoxid ein wesentliches Risikokriterium.

6.2.1 Grundlagen zu Bränden und Brandverlauf

Brände entwickeln sich je nach Lage, Brandlast und Sauerstoffverhältnissen. Zu unterscheiden sind insbesondere Raum- und Fassadenbrand. Grundsätzlich erfolgt die Ausbreitung nach einem relativ einheitlichen Schema aus einem Entstehungsbrand mit Zünd- und Schwelbrandphase, über einen Feuerübersprung „flash-over“ zu einem Vollbrand. Der zeitliche Brandverlauf und die Brandausbreitung sind wesentlich für die baurechtlichen Vorgaben zum Brandverhalten von Baustoffen einschließlich WDVS.

Die Schwellbrandphase dauert wenige Minuten. Bereits in dieser Phase eines Brandes entstehen große Mengen an Rauch und toxische Brandgase. Bei einem Raumbrand kommt es durchschnittlich 8 bis 12 Minuten nach dem „flash-over“ zu einem Vollbrand, der die Fensterscheibe sprengt. Dann treten schlagartig Flammen vor die Fassade aus, die Höhen über dem Sturz dieses Fensters von durchschnittlich 2,5 m, aber auch bis zu 6 m erreichen können. Ab diesem Zeitpunkt kommt es zur Brandbeschlagung der Außenwand. In der Folge kommt es zu einer sprunghaften Brandausbreitung über die Fassade in darüber liegende Geschosse, wenn die Feuerwehr nicht vorher eintrifft – auch bei Fassaden ohne Wärmedämmung. Beim Brand eines Müllcontainers oder eines Autos an einer Fassade (Sockelbrand) entsteht nach Auskunft des Fachverbandes WDVS meist bereits nach kurzer Zeit ein sehr intensiver Brand hoher Intensität mit Flammenlängen von 5-7 m und Temperaturen von > 800 °C. Wenn ein Schuppen oder ein angrenzendes Gebäude brennt, können mehrere Geschosse eines Gebäudes direkt durch die Flammen erreicht werden. Eine gute Beschreibung verschiedener Brandszenarien findet sich in einem Kompendium des FV WDVS (Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme, 2016a). In Abbildung 16 ist ein idealisierter Brandverlauf dargestellt.

Abbildung 16: Idealisierter Brandverlauf.



Quelle: Stec & Hull (2011)

6.2.2 Verflüssigung, Glimmen, Rauchentwicklung, brennendes Abtropfen und Abfallen

Tabelle 25 fasst übliche Klassifizierungen von WDVS-Dämmstoffen in Baustoffklassen gemäß nationaler und europäischer Kriterien für Brandverhalten zusammen. Die Einstufung des WDVS-Gesamtsystems kann davon in gewissen Grenzen abweichen.

Als Problem für die Beurteilung erweist sich, dass bei den europäischen Klassifizierungen für die normal entflammmbaren Baustoffe (Klasse E) keine Differenzierung für das Abtropf- und Rauchverhalten vorgesehen ist, was unter der nationalen Norm für B1 gefordert wurde (siehe auch Kapitel 10.5, Anhang 5).

Polystyrol (EPS)

In den letzten Jahren erregten einige Fassadenbrände von Gebäuden, die mit Dämmstoffen aus Polystyrol isoliert waren, die Aufmerksamkeit der Feuerwehren und der Öffentlichkeit. Aufgrund der schnellen Brandausbreitung und der starken Rauchentwicklung war es für die Feuerwehren schwierig, die Brände zu löschen, bevor bereits erheblicher Schaden entstanden war. Besonders hoch ist die Gefahr durch Entzündung von außen bei unverputzten oder noch nicht vollständig verputzten Fassaden (Albrecht & Schwitalla, 2014). Eine Dokumentation durch die Feuerwehr Frankfurt in Zusammenarbeit mit der AGBF (Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren) und dem Feuerwehrverband²¹ zeigt aber dass der Brandverlauf auch an einer fertig verputzen, mit EPS gedämmten Fassade im Vergleich zu einer anderen Fassade unerwartet stark sein kann (Feuerwehr Frankfurt, 2015).

Erklärt wird dies damit, dass Polystyrol bereits ab 140 °C schmilzt und dann der Schwerkraft folgend innerhalb des WDVS herunterfließt. Die brennbare Schmelze sammelt sich über dem Putz des Sturzes

²¹ <http://www.feuerwehr-frankfurt.de/index.php/projekte/wdvs> (aufgerufen am 8.1.2018)

innerhalb des WDVS und ist von außen weder sichtbar noch zugänglich. Wenn diese Schmelze weiter erhitzt wird, zersetzt sie sich zu brennbaren Gasen, die von innen auf den Putz drücken. Wird der Druck zu groß und das Gewicht der abgelaufenen Schmelze auf dem Sturz zu hoch, reißt die schützende Putzschicht (mechanisches Versagen) und die Flammen dringen in das WDVS und entzünden die brennbaren Gase. Dadurch kommt es zu einem explosionsartigen Brand an der darüber liegenden Fassade (Eberl-Pacan, 2013).

Durch einen Kamineffekt hinter der Putzschicht kann bei älteren Gebäuden ohne zusätzliche konstruktive Brandschutzmaßnahmen (Sturzschutz oder umlaufende Brandriegel), oder bei mangelhafter Installation binnen kürzester Zeit die gesamte Fassade in Flammen stehen. Durch selbständiges Brennen, Rauchentwicklung und brennendes Abtropfen werden Fluchtmöglichkeiten verschlossen und die Löscharbeiten werden besonders erschwert (Ries, 2015).

EPS zeigt eine starke Rauchentwicklung, die einen Feuerwehreinsatz und Fluchtmöglichkeiten massiv erschweren kann. Kritisch ist dies insbesondere, wenn Rettungswege betroffen sind. Starke Rauchentwicklung wird auch den zugesetzten Flammschutzmitteln zugeschrieben. Brennendes Abtropfen ist bei schwerentflammablen Außenwandbekleidungen nicht zulässig, wird aber im Praxisfall am ehesten bei EPS beobachtet. Glimmen bzw. Schwelen ist kein Thema bei EPS.

Die besondere Stärke des Brandes und die erhöhte Rauchentwicklung belegt auch eine kürzlich veröffentlichte Studie von Forschern der Universität von Zagreb, die das Brandverhalten von EPS-basierten WDVS mit und ohne Brandriegel und MW-basierten WDVS bei einer Fassadenbrandprüfung nach BS 8414-1 verglichen (Bjegović, Banjad Pečur, Milovanović, Jelčić Rukavina & Bagarić, 2016). Die kroatischen Forscher berichten von Temperaturen an der Brandwand zwischen 500-600 °C bereits nach 8 Minuten bei einer Fassadenbrandprüfung mit EPS, während die Temperaturen bei MW-basiertem WDVS und bei Einbau von Brandriegeln auch in der Vollbrandphase zwischen 200-300 °C lagen. Bei beiden EPS-Proben kam es zu ausgeprägter Rauchentwicklung (Bjegović et al., 2016).

Nach DIN 4102-1 (1998) wird EPS mit der Baustoffklasse B1, teilweise B2, klassifiziert. Nach DIN EN 13501-1 wird EPS mit der Baustoffklasse E klassifiziert (zur Erläuterung der Klassen siehe Kapitel 6.1.4).

Polyurethan (PUR / PIR) und Phenolharz (PHF)

Duroplaste²² wie PUR/PIR oder PHF brennen sehr langsam und dann auch nur oberflächlich. Sowohl Polyurethane als auch Phenolharze brennen mit Rauchentwicklung, wenngleich sie bei PUR / PIR höher ist als bei PHF. Brennendes Abfallen / Abtropfen kommt bei Duroplasten nicht vor. Nach DIN 4102-1 (1998) wird PUR / PIR mit der Baustoffklasse B2 klassifiziert. Nach DIN EN 13501-1 wird PUR / PIR mit der Baustoffklasse E klassifiziert. Nach DIN 4102-1 (1998) wird Phenolharz mit der Baustoffklasse B1, B2 klassifiziert. Nach DIN EN 13501-1 wird Phenolharz mit der Baustoffklasse C-s1/s2, d0 klassifiziert.

Holzfaser und Kork

Kork und Holzfaserdämmplatten zur Verwendung in WDVS sind üblicherweise normal entflammbar (Baustoffklasse B2) gemäß DIN 4102-2 bzw. Klasse E nach DIN EN 13501. Eine Behandlung der Platten mit Flammschutzmitteln ist technisch möglich, aber unüblich. Grundsätzlich ist aber eine Klassifizierung von WDVS auf der Basis von Holzfaserdämmplatten als schwerentflammbar denkbar.

²² Duroplaste sind Kunststoffe, die nach der Herstellung im Wesentlichen weder schmelzbar noch löslich sind. Im Gegensatz zu den Thermoplasten bleiben Duroplaste bei Erwärmung hart.

Holzfaserdämmplatten haben aufgrund der sich beim Abbrand bildenden isolierenden Verkohlungsschicht keine brandfördernde Wirkung. Für mit Holzfaser-WDVS gedämmte Holzbaukonstruktionen liegen allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse vor, in denen Feuerwiderstandsklassen bis F90 (feuerbeständig) nachgewiesen werden (VHD, 2017).

Holzfaser- und korkbasierte WDVS zeigen eine deutlich geringere Rauchentwicklung als Kunststoffe. Die Rauchgasdichte / -toxizität ist nach Ansicht der Experten nicht so kritisch wie z.B. bei Polystyrol- oder Polyurethan-Dämmstoffen. Ein Schmelzen oder brennendes Abtropfen / Abfallen tritt nicht auf.

Alle Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen können schwelen. Ein im Rahmen des Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) gefördertes Projekt untersucht das Schwel- und Glimmverhalten von Holzfaserdämmstoffen in Wärmedämmverbundsystemen. Erste Ergebnisse zeigen, dass sich durch die Verwendung von Flammeschutzmitteln das Schwelverhalten beeinflussen lässt und so GK 4-5 erreicht werden können (Küppers et al., 2016).

Mineralwolle (MW)

Mineralwolle ist nichtbrennbar, kann aber durch den organischen Restanteil (Binder) glimmen. MW-basierte WDVS zeigen eine deutlich geringere Rauchentwicklung als Kunststoffe. Brennendes Abfallen / Abtropfen kommt bei MW nicht vor. Nach DIN 4102-1 (1998) wird Steinwolle mit der Baustoffklasse A1 klassifiziert (Energieheld, 2017). Nach DIN EN 13501-1 wird Steinwolle mit der Baustoffklasse A1 klassifiziert. Im Fachgespräch bezeichneten die Experten der Feuerwehr Glimmen / Schwelen an der Außenwand als feuerwehrtechnisch eher nachrangiges Problem, wenn die Gefahr bekannt ist und durch Kontrollen überwacht wird.

Tabelle 25: Bestimmung des Brandverhaltens für Dämmstoffe in WDVS

Dämmstoff	Baustoffklasse DIN 4102-1	Baustoffklasse DIN EN 13501-1
Synthetische Dämmstoffe		
EPS	B1, B2	E
Neopor	B1	E
XPS	B1	E
PUR / PIR	B2	E
Phenolharz	B1, B2	C-s1/s2, d0
Vakuumdämmung	B1, B2	-
Mineralische Dämmstoffe		
Steinwolle	A1	A1
Mineralschaum	A1	A1
Schaumglas	A1	A1
Aerogel	A1	E
Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen		
Holzfaserdämmplatten	B2	E bis C
Holzwolledämmplatte	B1	A2-s1,d0 / B-s1,d0
Hanfdämmung	B2	E
Kork	B2	E

Quelle: Eigene Darstellung.

6.2.3 Toxizität des Brandgases und der Brandrückstände (Rauchgastoxizität)

Neben der Sichtbehinderung durch Rauchentwicklung und der Hitze sind toxische Brandgase das größte Risiko im Brandfall. Dieses Risiko ist nicht WDVS-spezifisch, aber ein relevanter Faktor für die Nachhaltigkeitsbewertung von Dämmstoffen in WDVS.

Bauordnungsrechtlich ist die Toxizität der Brandgase bislang nicht relevant. Gebräuchliche Testverfahren wurden beispielsweise für den Bereich der Schienenfahrzeuge entwickelt, wo es zu Situationen kommen kann, in denen eine Flucht schwierig oder unmöglich ist. Es gibt für manche Anwendungen im Bauwesen das Verbot halogenhaltiger Materialien, um in Brandfall die Bildung von korrosiven Gasen zu verhindern, die zu Schäden insbesondere an technischen Einrichtungen führen können. Es gibt aber keine spezifischen baurechtlichen Vorgaben bezüglich der Toxizität von Bauprodukten im Brandfall.

Über die Rauchgastoxizität und die Brandrückstände im Fall eines Brandes von Dämmstoffen / WDVS liegen insgesamt wenige Daten vor. Es fehlt an veröffentlichten Untersuchungsergebnissen, die eine vergleichende Beurteilung der Rauchgastoxizität in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Dämmstoffe und den eingesetzten Flammenschutzmitteln erlauben würde. Es besteht Konsens darüber, dass Kohlenmonoxid (CO) mit Blick auf die akute Gefährdung das bei weitem wichtigste toxische Brandgas ist. Der Europäische Verband der Flammenschutzmittel-Hersteller (EFRA) beschreibt zum Beispiel, dass Kohlenmonoxid (CO) für über 80 % aller Todesfälle durch Brandgase verantwortlich ist (EFRA, 2004).

Die rasche toxische Wirkung von CO ist allgemein bekannt. Sie führt dazu, dass in einem Brandfall bei Rauchentwicklung nur wenige Minuten für die Flucht bleiben und die bei weitem wichtigste Todesursache Tod durch Ersticken ist. Zusätzlich spielen noch Phosgen, Stickoxide und Cyanide eine wichtige Rolle für die akute Toxizität. Nach Guidotti (2016) hängt die Toxizität von Phosgen in hohem Maße von der Anwesenheit von Chlordonoren ab.

CO entsteht unabhängig vom Material bei jedem Brand mit relativem Sauerstoffmangel und einer hohen Brennstoffangebot, Cyanide entstehen bei der Verbrennung von stickstoffhaltigem Kunststoff wie z. B. PUR-WDVS aber auch von natürlichen Polymeren wie Wolle, Seide und Baumwolle. Trichlorethylen entsteht bei der Verbrennung von Chlordonoren. Andere akut wirkende Toxine sind unter anderem Kohlendioxid (CO₂), Cyanwasserstoff (HCN), Schwefeldioxid (SO₂), Salzsäure (HCl), Hydrogenbromid (HBr) und Flusssäure (HF). Dabei werden diese unterteilt in erstickende und reizende Gase (Wakefield, 2010). Die erstickenden Gase sind neben dem bereits erwähnten Kohlenmonoxid (CO) Kohlendioxid (CO₂) und Cyanwasserstoff (HCN). Alle führen akut zur Erstickung, da Sauerstoff verdrängt wird.

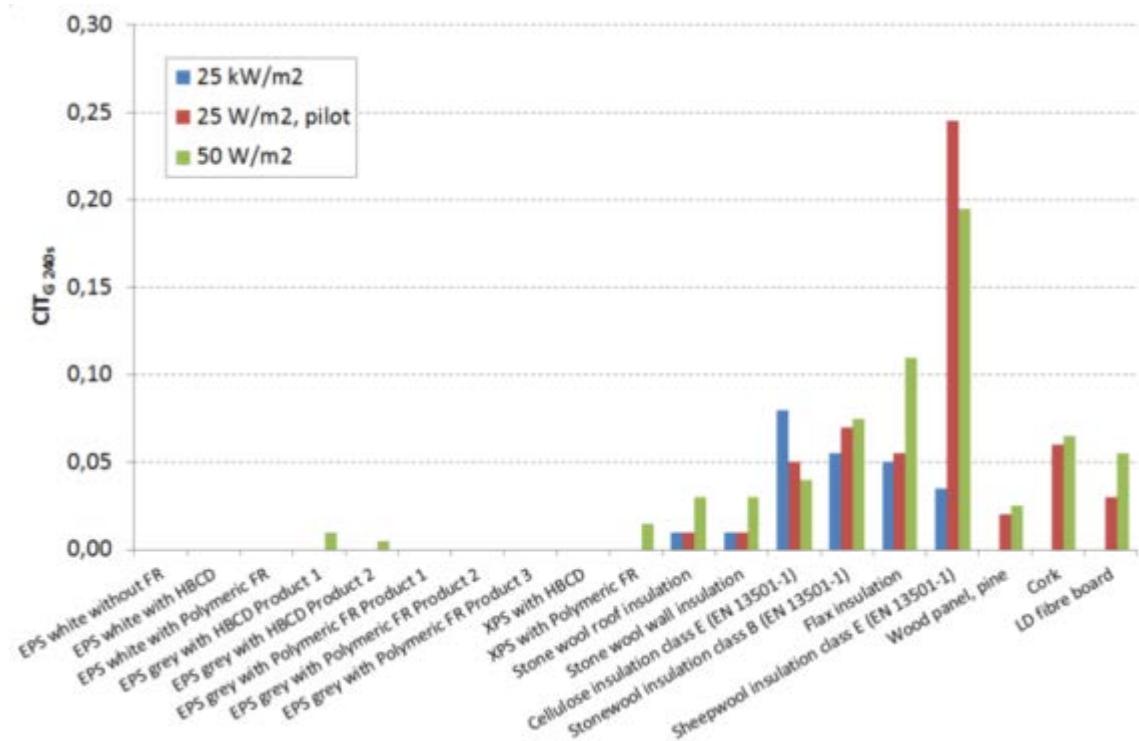
Die akute Toxizität der reizenden Gase (HCl, HBr, HF, SO₂, NO_x) hängt von ihrer Wasserlöslichkeit ab. So sind HCl und Schwefeldioxid sehr gut wasserlöslich und wirken akut ätzend auf das Lungengewebe (Gorguner & Agkun, 2010). Die Wirkweise von HBr ist nicht geklärt, da nur sehr wenige Daten vorliegen. Da es sich um ein Halogen handelt, wird angenommen, dass es sich ähnlich wie HCl auswirkt (Wakefield, 2010). HBr ist jedoch in Bezug auf WDVS von besonderen Interesse, da es bei der Verbrennung von Hexabromocyclododecan (HBCD) freigesetzt wird (Levin & Kuligowski, 2005). Auch Flusssäure (HF) wirkt ätzend auf das Lungengewebe. Es entsteht beim Brennen von fluorhaltigen Kunststoffen wie PTFE und PFA. Es wird angenommen, dass HF im Brandfall in geringer Menge freigesetzt wird als HCl (Wakefield, 2010).

In einer kürzlich durchgeführten Studie der Europäischen Kunststoffindustrie wurden die Toxizität der Brandgase von EPS und XPS (mit und ohne Flammenschutzmittel), Steinwolle, Zellulose, Flachs, Schafwolle, Holzplatten und Kork miteinander verglichen (Exiba, 2014). Über die Konzentrationen klassischer Brandgase wie Kohlendioxid (CO₂), Kohlenmonoxid (CO), Cyanwasserstoff (HCN,

Blausäure), Stickoxide (NO_x), Schwefeldioxid (SO_2), Hydrogenchlorid (HCl, Salzsäure), Hydrogenflourid (HF, Flusssäure) und Hydrogenbromid (HBr), die nach 240 s und 480 s gemessen wurden, wurde der „Conventional Index of Toxicity (CIT)“ berechnet. Als Testverfahren diente DIN EN ISO 5659-2 (2017), die die Rauchentwicklung bei kurzfristiger Einwirkung von Wärmestrahlung bzw. einer Zündflamme misst. Der Test wurde nach DIN EN 45545-2 („Bahnanwendungen – Brandschutz in Schienenfahrzeugen – Teil 2: Anforderungen an das Brandverhalten von Werkstoffen und Komponenten“, 2016) ausgewertet.

Auffällig ist, dass in dieser Studie mineralische und natürliche Dämmstoffe wie Schafwolle und Holz etc. einen weitaus höheren CIT aufweisen als EPS und XPS (siehe Abbildung 17). Vermutlich liegt dies darin begründet, dass sich die Polystyroldämmstoffe in diesem Versuchsaufbau zum Teil gar nicht entzündet haben, da der Dämmstoff von der Zündquelle wegschmolz, diese Ergebnisse jedoch ebenfalls berücksichtigt wurden.

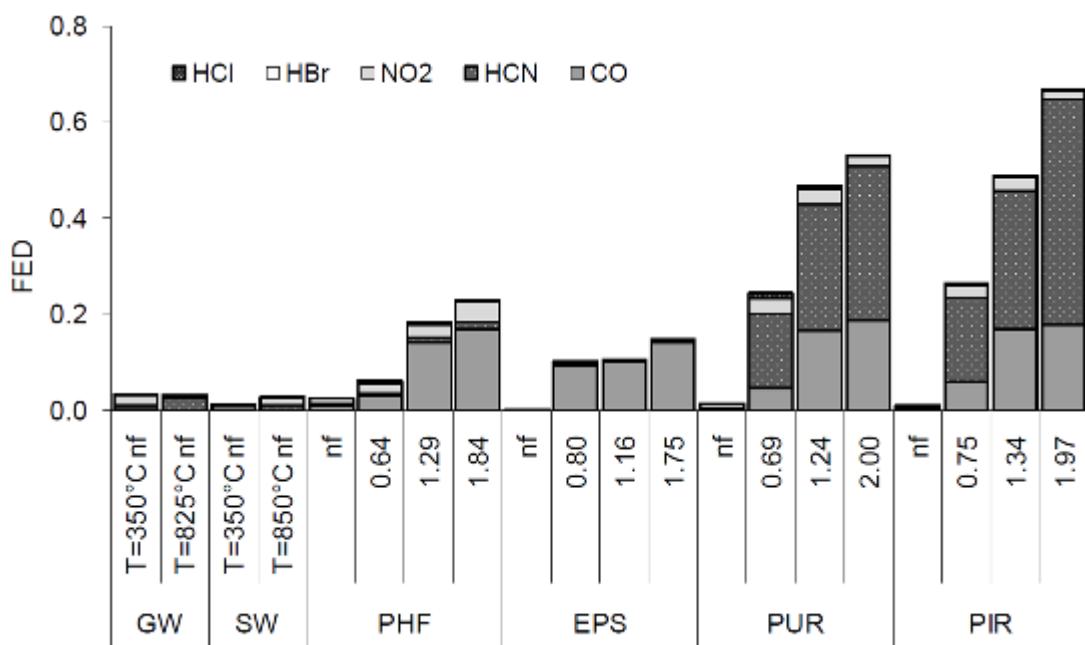
Abbildung 17: „Conventional index of toxicity“ (CIT) verschiedener Dämmstoffe im Brandfall nach 240s unter drei unterschiedlicher Strahlungswärmequellen nach DIN EN ISO 5659-2



Quelle: Exiba (2014)

Demgegenüber kamen Stec und Hull (2011) mit einem anderen Ansatz beim Vergleich von Glaswolle (GW), Steinwolle (SW), EPS, Phenolharzschaum (PHF), Polyurethan-Schaum (PUR) und Polyisocyanurat-Schaum (PIR) zu dem Ergebnis, dass mineralische Dämmstoffe gegenüber synthetischen organischen Dämmstoffen kaum Gase entwickeln. In dieser Studie wurden die Konzentration für HCl, HBr, NO_2 , HCN und CO mit Hilfe des „Fractional Effective Dose (FED)“-Wertes analysiert. Der Test erfolgte nach ISO/TS 19700 (2016) in einem Röhrenofen, der es ermöglicht, das Brandverhalten bei verschiedenen Brandbedingungen zu untersuchen. Innerhalb der synthetischen Dämmstoffgruppe fallen vor allem PUR/ PIR durch hohe Isocyanatwerte auf (siehe Abbildung 18).

Abbildung 18: Fractional Effective Dose (FED) – Wert der Toxizität von Brandgasen verschiedener Dämmstoffe



Quelle: Stec & Hull (2011)

Auch die Experten aus den Materialprüfungslabors erwähnten im Fachgespräch, dass PUR bei der Brandprüfung unter Toxizitätsgesichtspunkten (u.a. Isocyanate) problematischer ist als Phenolharz. Eigene Messungen haben die Materialprüfungslabors hierzu allerdings nicht. Nachdem PUR in der Schweiz viel eingesetzt wird, sollte die Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF) Praxisdaten für Brandgastoxizität und Brandprüfungen mit PUR haben, es liegen jedoch keine Veröffentlichungen vor. Eine neue Untersuchung der Brandgastoxizität soll im laufenden FNR-Vorhaben zu nawaRo erfolgen, in dem die Dämmstoffe mittels FT-IR (Fourier-Transformations-Infrarot-Spektroskopie) untersucht werden sollen.

Toxizität der schwerflüchtigen Brandrückstände

Zu unterscheiden von der akuten Toxizität ist die Toxizität der schwerflüchtigen Brandrückstände (Rechenbach & Troitzsch, 1999). So sind in dem am Brandort zurückbleibenden Rußfilm in unterschiedlichen Konzentrationen aromatische oder polyaromatische Kohlenwasserstoffe, wie die krebszeugenden PAK (polyaromatische Kohlenwasserstoffe), Trichlorethylen, Benzol, Asbest, 1,3-Butadien, oder gegebenenfalls auch Dioxine oder Furane zu finden (Guidotti, 2016). Anders als bei der Rauchgastoxizität gibt es zur Beurteilung der Toxizität der schwerflüchtigen Brandrückstände bislang keine genormten Testverfahren.

7 Rückbau und Abfallmanagement

Im Folgenden wird das theoretische Potenzial für ein stoffliches Recycling von WDVS diskutiert. Eingegangen wird insbesondere auf den abfallrechtlichen Rahmen, Abfallaufkommen, die Rückbaubarkeit und geeignete Verwertungsmöglichkeiten.

7.1 Abfallrechtlicher Rahmen

7.1.1 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)

Für den Umgang mit Abfällen gilt das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG, 2012), dass die EU-Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EG, AbfRRL) in deutsches Recht umsetzt. Ziel des Gesetzes ist eine nachhaltige Verbesserung des Umwelt- und Klimaschutzes sowie der Ressourceneffizienz in der Abfallwirtschaft durch Stärkung der Abfallvermeidung und des Recyclings von Abfällen. Kern des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist die fünfstufige Abfallhierarchie (§ 6 KrWG). Die Abfallhierarchie legt die grundsätzliche vorrangige Stufenfolge aus Abfallvermeidung, Wiederverwendung, Recycling und sonstiger, u.a. energetischer Verwertung von Abfällen und schließlich der Abfallbeseitigung fest (siehe Abbildung 19).

Abbildung 19: Abfallhierarchie nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz



Quelle: eigene Darstellung, BiPro GmbH

Im Gesetzestext hingegen werden manche Abfallbehandlungsmaßnahmen gleichrangig behandelt. Maßnahmen, die einen möglichen Schaden von Mensch und Umwelt abwenden, sind vorrangig. Dabei sind neben den ökologischen Auswirkungen auch technische, wirtschaftliche und soziale Folgen zu berücksichtigen. Die Kreislaufwirtschaft wird somit konsequent auf die Abfallvermeidung und das Recycling ausgerichtet, ohne etablierte ökologisch hochwertige Entsorgungsverfahren zu gefährden.

Für die WDVS bedeutet dies, dass rohstoffliche, werkstoffliche und energetische Verwertung als gleichrangig anzusehen sind. Im Sinne der Abfallvermeidung stellt das Thema Aufdoppelung eine interessante Fragestellung dar.

Relevante Begrifflichkeiten aus der Abfallhierarchie werden im § 3 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes genannt, u.a.:

- ▶ „(1) Abfälle im Sinne dieses Gesetzes sind alle Stoffe oder Gegenstände, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Abfälle zur Verwertung sind Abfälle, die verwertet werden; Abfälle, die nicht verwertet werden, sind Abfälle zur Beseitigung.“
- ▶ (20) Vermeidung im Sinne dieses Gesetzes ist jede Maßnahme, die ergriffen wird, bevor ein Stoff, Material oder Erzeugnis zu Abfall geworden ist, und dazu dient, die Abfallmenge, die schädlichen Auswirkungen des Abfalls auf Mensch und Umwelt oder den Gehalt an schädlichen Stoffen in Materialien und Erzeugnissen zu verringern. Hierzu zählen insbesondere die anlageninterne Kreislaufführung von Stoffen, die abfallarme Produktgestaltung, die Wiederverwendung von Erzeugnissen oder die Verlängerung ihrer Lebensdauer sowie ein Konsumverhalten, das auf den Erwerb von abfall- und schadstoffarmen Produkten sowie die Nutzung von Mehrwegverpackungen gerichtet ist.
- ▶ (21) Wiederverwendung im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren.
- ▶ (23) Verwertung im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verfahren, als dessen Hauptergebnis die das Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie entweder andere Materialien ersetzen, die sonst zur Erfüllung einer bestimmten Funktion verwendet worden wären, oder indem die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen.
- ▶ (25) Recycling im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden; es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, nicht aber die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind.
- ▶ (26) Beseitigung im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verfahren, das keine Verwertung ist, auch wenn das Verfahren zur Nebenfolge hat, dass Stoffe oder Energie zurückgewonnen werden.“

7.1.2 Gewerbeabfallverordnung und Abfallverzeichnis-Verordnung

Infolge der Novellierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) war eine grundlegende Anpassung der Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) erforderlich. Mit der Novelle sollen u.a. die Getrennthaltung und das Recycling von gewerblichen Siedlungsabfällen sowie Bau- und Abbruchabfällen gestärkt werden.

Ziele bei der kürzlich abgeschlossenen Novellierung der Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV, 2017) waren:

- ▶ Umsetzung der fünfstufigen Abfallhierarchie
- ▶ Stärkung des Recyclings
- ▶ Verbesserungen im Vollzug der Verordnung.

Nach der Novelle ist eine Getrennthaltung der anfallenden gewerblichen Siedlungsabfälle in der Regel verpflichtend. Eine gemischte Erfassung ist nur erlaubt, wenn die Getrennthaltung technisch unmöglich oder wirtschaftlich nicht zumutbar ist.

Das Gebot der Getrennthaltung betrifft unter Bau- und Abbruchabfällen auch die Dämmstoffe. Erzeuger und Besitzer von Bau- und Abbruchabfällen müssen die im Folgenden aufgeführten

Abfallfraktionen jeweils getrennt sammeln und vorrangig der Vorbereitung zur Wiederverwendung oder dem Recycling zuführen:

- ▶ Glas (Abfallschlüssel 17 02 02),
- ▶ Kunststoff (Abfallschlüssel 17 02 03),
- ▶ Metalle, einschließlich Legierungen (Abfallschlüssel 17 04 01 bis 17 04 07 und 17 04 11),
- ▶ Holz (Abfallschlüssel 17 02 01),
- ▶ Dämmmaterial (Abfallschlüssel 17 06 04),
- ▶ Bitumengemische (Abfallschlüssel 17 03 02),
- ▶ Baustoffe auf Gipsbasis (Abfallschlüssel 17 08 02),
- ▶ Beton (Abfallschlüssel 17 01 01),
- ▶ Ziegel (Abfallschlüssel 17 01 02) und
- ▶ Fliesen, Ziegel und Keramik (Abfallschlüssel 17 01 03).

Die zitierten Abfallschlüsselnummern werden in der Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung – AVV) geregelt. Abfälle werden anhand der AVV (2001) mit einem sechsstelligen Abfallschlüssel und der Abfallbezeichnung je nach Herkunft zugeordnet. Ziel der AVV ist eine einheitliche Abfallbezeichnung, die über die Gefährlichkeit der Abfälle Auskunft gibt und sich als Erkennung für Register- und Nachweispflichten eignet. Die gefährlichen Abfallarten sind durch einen Stern (*) hinter der Abfallschlüsselnummer gekennzeichnet. Das Verzeichnis ist in Obergruppen mit zweistelligen Nummern aufgeteilt. Vierstellige Nummern bedeuten die nächste Gliederungsgruppe. Das europäische Abfallverzeichnis wurde letztmals im Jahr 2014 und die deutsche Verordnung im Jahr 2016 novelliert.

7.2 Abfallaufkommen

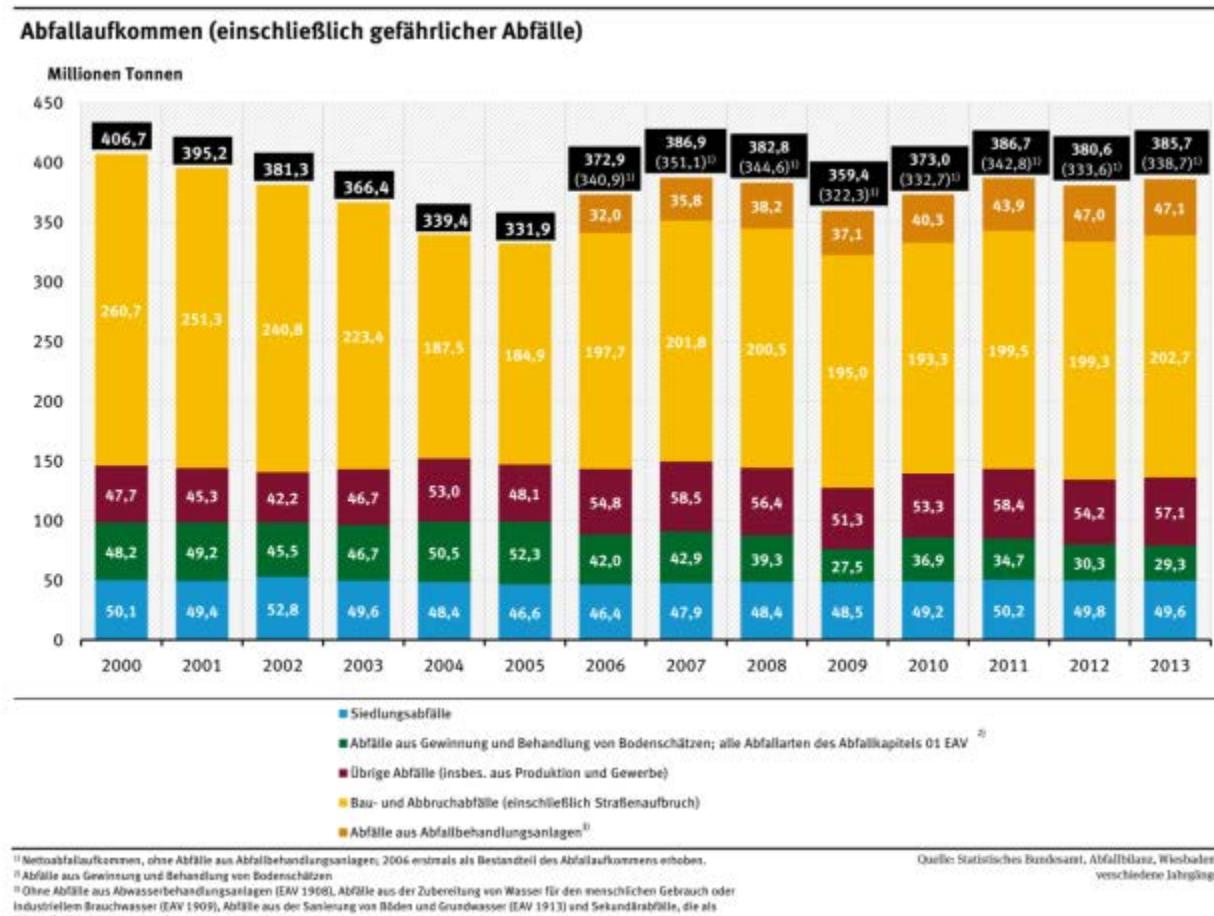
Ein Rückbau von WDVS kann aus den folgenden Gründen notwendig werden:

- ▶ Anhebung von Wärmedämmstandards;
- ▶ Reparatur eines beschädigten WDVS (Hagel-, Sturm-, Wasserschaden);
- ▶ Schäden durch Brand;
- ▶ Erweiterungs- oder Umbauarbeiten am Gebäude oder
- ▶ Abbruch des Gebäudes.

Zukünftig sollten Systeme entwickelt und gefördert werden, die eine Trennung und Rückgewinnung der Materialien ohne hohen Aufwand ermöglichen. In der Praxis kommt es häufig vor, dass die Verwertung von Abbruchabfällen durch die große Vielfalt an verbauten Materialien und ihre Vermischung untereinander verhindert wird (Albrecht & Schwitalla, 2015).

Pro Jahr fallen im Bausektor große Mengen an Abbruch- und Bauabfällen an. Laut des Statistischen Bundesamtes betrug das gesamte Abfallaufkommen in Deutschland im Jahr 2013 385,7 Mio. t. 202,7 Mio. t. davon waren Bau- und Abbruchabfälle, in der Abbildung 20 als gelber Balken dargestellt.

Abbildung 20: Abfallaufkommen in Deutschland

Quelle: UBA und Statistisches Bundesamt²³⁾

Innerhalb der Bau- und Abbruchabfälle lassen sich die Bestandteile eines WDVS zu diversen Abfallschlüsselnummern zuordnen (siehe Tabellen 26 und 27).

Tabelle 26: Mögliche Zuordnung von WDVS-Bestandteilen zu Abfallschlüsselnummern

WDVS- Komponente	Abfallschlüsselnummer	Abfallbezeichnung
Putz / Kleber / Farben / Haftvermittler	17 01 07	Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 01 06 * (gefährliche Stoffe) fallen
Putz / Kleber/ Farben/ Haftvermittler/ Dämmmaterialreste	17 09 04	Gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 09 01 * (Quecksilber), 17 09 02* (PCB) und 17 09 03* (gefährliche Stoffe) fallen
Amierungsmörtel	17 01 01	Beton

²³⁾ <https://www.umweltbundesamt.de/daten/abfall-kreislaufwirtschaft/abfallaufkommen> (aufgerufen am 20.07.2016)

WDVS- Komponente	Abfallschlüsselnummer	Abfallbezeichnung
Amierungsgewebe	10 11 03	Glasfaserabfall
	17 02 03	Kunststoff
	17 04 05	Eisen und Stahl
Dämmmaterial	17 06 04	Dämmmaterial mit Ausnahme derjenigen, das unter 17 06 01* (Asbest) und 17 06 03* (gefährliche Stoffe) fällt
	17 06 03*	anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält
Dübel	17 02 03	Kunststoff
Schienen	17 02 03	Kunststoff
Schrauben / Nägel	17 04 05	Eisen und Stahl

Quelle: Albrecht & Schwitalla (2015)

- Wenn der Dämmabfall sortenrein vorliegt, wird er in die AVV-Nr. 170604 eingestuft. Die verschiedenen Dämmstoffe werden in der Statistik nicht unterschieden. EPS-Dämmstoffe werden gemeinsam mit weiteren Dämmstoffen wie Mineralwolle, Polyurethan oder Holzwolle unter dem Begriff Dämmmaterial (170604) zusammengefasst. Für nicht sortenreine Abfälle gilt die Abfallschlüsselnummer 170904 (gemischte Bau- und Abbruchabfälle). Putzschichten, Armierungsgewebe, Klebstoffe, Mauerreste etc. sowie verunreinigte Dämmstoffe sind der AVV-Nr. 170904 zuzuordnen. Eine weitere Zuordnung innerhalb der AVV 170904 in die restlichen WDVS-Komponenten wie Putze, Kleber, Dübel, Schienen etc. ist nicht möglich.
- Vor dem Jahr 2000 kamen mineralische Dämmstoffe zum Einsatz, die heute als krebserzeugend mit dem Abfallschlüssel 170603* einzustufen sind. Neuere mineralische Dämmstoffe weisen kein schädigendes Potenzial auf. Sie werden deshalb als nicht gefährliche Abfälle dem Abfallschlüssel 170604 zugeordnet. Weiterhin sind auch Polyurethandämmstoffe verbaut, die FCKW als Treibmittel enthalten und als gefährlicher Abfall mit dem Abfallschlüssel 170603* eingestuft werden.
- Polystyrol-Dämmstoffe (u.a. EPS), die mit HBCD als Flammenschutzmittel ausgerüstet sind (siehe Kapitel 4.3.3) sind nach aktuellster Gesetzgebung nach der neuen POP-Abfall-ÜberwV (2017) nicht als gefährlicher Abfall eingestuft, aber dokumentationspflichtig. Ein Entsorgungsnachweis nach thermischer Verwertung soll sicherstellen, dass HBCD aus den Wertstoffkreisläufen hinreichend ausgeschleust wird.

Zur Bestimmung von Abfallaufkommen und -verbleib können die Daten der amtlichen Statistik - Fachserie 19, Reihe 1 (Statistisches Bundesamt, 2013) herangezogen werden. Veröffentlichte Daten der Abfallstatistik des Statistischen Bundesamts liegen für das Berichtsjahr 2013 vor. In dieser Statistik werden die WDVS- Komponenten mit vielen anderen Bauabfällen zusammengefasst, siehe Tabelle 28. Dämmmaterialien sind den entsprechenden Abfallschlüsselnummern zugeordnet und mit Mengen hinterlegt. Die Mengen, die aus WDVS stammen, lassen sich anhand der statistischen Abfallmengen nicht schätzen.

Tabelle 27: Abfallmengen von Dämmstoffen im Jahr 2013

AVV-Nr.	Abfallbezeichnung	Mengen	Entsorgung hauptsächlich über
170603*	anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält	143.400 t	Deponie (>90%)
170604	Dämmmaterial mit Ausnahme desjenigen, das unter 170601* (Asbest) und 170603* (enthält gefährliche Stoffe) fällt	144.000 t	Thermische Anlagen
170904	gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 170901* (enthält Quecksilber), 170902* (enthält PCB) und 170903* (enthält gefährliche Stoffe) fallen	3,7 Mio. t	Sortier- oder Aufbereitungsanlage (> 50%)

Quelle: Eigene Berechnung auf Basis der Angaben des Statistischen Bundesamts vom Jahr 2013

Im Jahr 2013 sind 143,4 kt Abfall mit dem AVV-Schlüssel 170603* (Dämmmaterial mit gefährlichen Stoffen) angefallen und größtenteils auf Deponien (Deponien ab der Klasse I) abgelagert worden. Hier handelt es sich um Steinwolle oder andere künstliche Mineralfasern, die bei der Sanierung oder beim Rückbau angefallen sind und in aller Regel als krebserzeugend einzustufen sind. Unter der Schlüsselnummer 170604 sind hauptsächlich nicht mineralische Dämmstoffe im Jahr 2013 angefallen. Die Abfälle mit der AVV-Nr. 170604 in Höhe von 144 kt wurden hauptsächlich thermisch behandelt und nur zu einem geringen Anteil deponiert.

Die weitaus größte Abfallmenge liegt bei der AVV-Nr. 170904 mit fast 3,7 Mio. t. In diese Kategorie der gemischten Bau- und Abbruchabfälle fallen viele Materialien mit höheren Anteilen an Fremdstoffen. Im Allgemeinen werden gemischte Bau- und Abbruchabfälle einer geeigneten Sortier- oder Aufbereitungsanlage zugeführt.

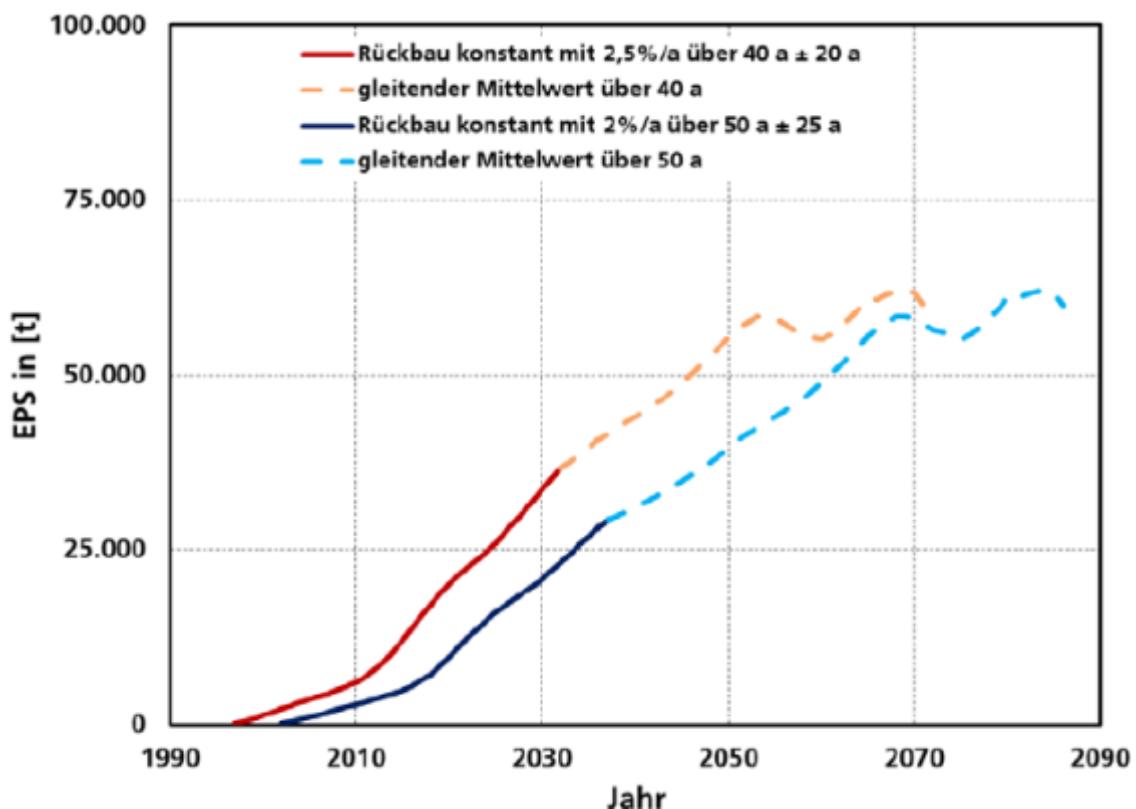
Die Daten der amtlichen Statistik können teilweise das tatsächliche Aufkommen an Abfällen signifikant unterschätzen. Im Bereich der Entsorgung wird der Abfall in der Masseeinheit Tonne erfasst. WDVS werden vornehmlich in Quadratmetern (m^2) an verbauter Fläche erfasst (siehe auch Kapitel 2.1). Bereits durch Annahmen bezüglich der Plattendicke und des Raumgewichts von verbauten Dämmstoffplatten kann es dabei zu Unschärfe kommen (Albrecht & Schwitalla, 2015).

7.2.1 Abfallmengen EPS (WDVS)

Die aktuellen und zukünftigen Abfallmengen von EPS lassen sich auf Grundlage von Literaturdaten abschätzen. Nach Angaben des Fachverbandes WDVS wurden zwischen 1960 bis 2012 bundesweit insgesamt 900.000.000 m^2 Wärmedämmverbundsysteme verbaut (Albrecht & Schwitalla, 2015). Mit dieser Mengenangabe sowie mit den Annahmen des Fraunhofer IBP zur Lebensdauer und Renovierungsrate von WDVS (siehe auch Abbildung 21) ist eine Berechnung der EPS-Abfallmenge möglich.

Durch den Rückbau oder Sanierungsmaßnahmen fielen im Jahr 2012 ca. 50.000 m^2 EPS-basierte WDVS mit einer Masse von ca. 75 – 100 Tonnen an. Das Abfallaufkommen von EPS aus WDVS ist im Verhältnis zum gesamten Abfallaufkommen an EPS aus dem Baubereich „sehr gering“. Grund hierfür sind die Lebenszyklen von > 40 Jahre der bisher verlegten WDVS. Die prognostizierten Rückbaumengen von EPS aus WDVS werden sich ab dem Jahr 2030 auf ca. 20-35 kt/a erhöhen. Im Jahr 2050 werden die EPS-Rückbaumengen die Größenordnung von 50 kt/a. erreichen (Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme, 2016b).

Abbildung 21: Prognostizierte Rückbaumengen an EPS aus WDVS



Quelle: Albrecht & Schwitalla (2015)

Für weitere Dämmmaterialien (mineralische Dämmstoffe etc.) liegen zu dieser Fragestellung aktuell keine Berechnungen vor. Für die weiteren Dämmstoffarten sind weitere Berechnungen zum Abfallaufkommen und -verbleib notwendig.

7.3 Rückbaumethoden

Beim Rückbau von Gebäuden gibt es drei prinzipielle Methoden:

- ▶ Selektiver Rückbau,
- ▶ Teilselektiver Rückbau und
- ▶ Konventioneller Rückbau.

Selektiver Rückbau

Bei dieser Art von Rückbau werden alle Bau-, Konstruktions- und Ausrüstungsteile nach ihrer Funktion oder nach ihrer Materialzusammensetzung direkt vor Ort rückgebaut und getrennt. Die Wiederverwendung gut erhaltener Bauteile, die stoffliche Verwertung und anderweitige Entsorgung der Abfälle, sowie die Ausschleusung von Stör- und Fremdstoffen aus den Abfallfraktionen sind hier die wichtigsten Vorteile im Vergleich zum konventionellen Abbruch (Albrecht & Schwitalla, 2015). Wärmedämmverbundsysteme müssen demnach vor dem eigentlichen Abbruch der Mauerwand abgetrennt werden. Auf die möglichen Trennverfahren für einen selektiven Rückbau von WDVS wird in dem Kapitel 7.3.1 eingegangen.

Teilselektiver Rückbau

Der Rückbau eines Gebäudes mit vorhergehender, zumindest teilweiser Entrümpelung und Entkernung des Innenausbaus wird als teilselektiver Rückbau bezeichnet. Der Hauptzweck der

Vorarbeiten besteht darin, die Vermischung der anfallenden Abbruchabfallfraktionen zu reduzieren. Dabei sollen die Schad- und Störstoffe so gut es geht ausgesondert werden. Durch dieses Vorgehen kann ein großer Teil der Abbruchabfälle einer direkten Verwertung zugänglich gemacht werden (Albrecht & Schwitalla, 2015). Hinsichtlich WDVS bedeutet der teilselektive Rückbau, dass der komplette Materialverbund von der Außenwand gelöst wird.

Konventioneller Rückbau

Beim konventionellen Rückbau wird das WDVS als komplettes System inkl. Außenwand abgetragen. Die Bausubstanz wird dabei mittels Einsatz von schweren Maschinen schnell und leicht durch Zertrümmern zerlegt und in transportierbare Bestandteile eingeteilt. Das daraus resultierende heterogene Gemisch der Baustoffe und die Vermischung der Abbruchabfälle sind im Hinblick auf die Entsorgung sehr ungünstig. Da die Abbruchabfälle in einer externen Sortieranlage vorsortiert werden müssen, entstehen für die Entsorgung höhere Kosten. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass das Abfallgemisch durch Schad- und Störstoffe aus einzelnen Bauteilen verunreinigt ist. Eine nachträgliche Entfernung dieser Verunreinigungen in der Sortieranlage ist kaum möglich. Die Abbruchabfälle aus dem konventionellen Rückbau können deshalb schlecht verwertet werden. Dennoch wird diese Art von Rückbau auch zukünftig bei einsturzgefährdeten oder durch Brand, Erschütterungen o. ä. geschädigten Objekten eine Rolle spielen (Albrecht & Schwitalla, 2015; Rentz, Seemann & Schultmann, 2001).

Die nachstehende Tabelle 28 fasst die Vor- und Nachteile des konventionellen Rückbaus gegenüber dem selektiven Rückbau zusammen.

Tabelle 28: Vor- und Nachteile der einzelnen Rückbauverfahren bezogen auf WDVS

	Konventioneller Rückbau	Selektiver Rückbau
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Arbeitsaufwand dank Einsatz von schweren Maschinen gering – schnelles Verfahren – Arbeitsaufwand proportional zum Gebäude-Volumen 	<ul style="list-style-type: none"> – Vermischung der einzelnen Fraktionen vermeidbar – Vermischung mit gefährlichen Stoffen vermeidbar – (Vor)Trennung der einzelnen Fraktionen bereits beim Rückbau auf der Baustelle möglich
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> – Vermischung der einzelnen Fraktionen – Trennung und Rückgewinnung von verwertbaren Fraktionen in separaten Anlagen notwendig – Ungeeignet für Gebäude mit gefährlichen Stoffen 	<ul style="list-style-type: none"> – Hoher Anteil an manueller Vorarbeit notwendig – Hoher zeitlicher Aufwand – Arbeitsaufwand ist proportional zur Gebäude-Fläche und steigt mit der Anzahl der miteinander verbundenen Lagen oder Schichten

Quelle: Albrecht & Schwitalla (2015)

7.3.1 Trennverfahren für WDVS

Die Rückbaumethode und damit die Recyclingfähigkeit sind zunächst und vor allem von der Einbauart eines Dämmstoffs abhängig. In Hohlräumen eingelegte Dämmmatten oder -filze sowie mechanisch befestigte Dämmplatten können leicht ausgebaut werden. Wird das Dämmmaterial mit dem Untergrund verklebt oder im Materialverbund, z.B. mit Putzmörteln als Wärmedämmverbundsystem, eingesetzt, erschwert dies den zerstörungsfreien und sortenreinen Rückbau erheblich.

Verschiedene Trennverfahren finden beim selektiven bzw. teilselektiven Rückbau von WDVS Anwendung. Die Verfahren müssen auf der jeweiligen Baustelle (Vor-Ort-Trennung) einsetzbar sein. Des Weiteren müssen sie eine gute Trennung der einzelnen Komponenten aufweisen. Aktuell gibt es nur geringe Erfahrung, da bisher noch vergleichsweise wenig WDVS zurückgebaut werden. Folgende Trennverfahren eines WDVS können auf der Baustelle routinemäßig angewendet werden (Albrecht & Schwitalla, 2015):

- ▶ **Manuelles Entschichten:** Voraussetzung für einen rückstandsfreien Rückbau der Putzschicht ist die Berücksichtigung des Schälwinkels, mit dem die Decklage (Oberputz, Armierungsgewebe etc.) von der EPS-Platte gelöst wird. Spitze Winkel (< 45°; Keilwirkung) und langsame Abzugsgeschwindigkeit eignen sich besser als weite Winkel (> 90°) und schneller Abzug, denn durch die Überstreckung wird das Armierungsgewebe zwischen Oberputz und Armierungsputz freigelegt. Die Dübel werden anschließend von Hand herausgezogen. Dieses Verfahren wird hauptsächlich bei Sanierungsmaßnahmen angewandt, wenn also das Mauerwerk stehen bleiben soll.
- ▶ **Maschinelles Entschichten mit Bagger (Sortiergreifer):** Das Abschaben des WDVS mit einem Bagger funktioniert weitgehend, wenn ausreichend Platz um das Gebäude besteht. Einiges vom Dämmstoff verbleibt am Mauerwerk. Je nach Aufbau der Wandkonstruktion (Beton, Mauerwerk etc.) muss darauf geachtet werden, dass die Wand nicht eingedrückt wird. In der Praxis wird jedoch aus zeitlichen Gründen größtenteils der gesamte Verbund von der Gebäudefassade abgeschabt.
- ▶ **Abfräsen oder Bürsten:** Abfräsen eines WDVS mit einer speziell angefertigten Handfräse. Versuche mit Handfräsen haben gezeigt, dass grundsätzlich ein Abfräsen der einzelnen Lagen des WDVSs möglich ist. Jedoch ist mit einer erhöhten Staubentwicklung zu rechnen und es sind Arbeitsschutzmaßnahmen einzuplanen. Besonders bei HBCD-haltigen EPS-Stäuben sind Absaugvorrichtungen notwendig.
- ▶ **Thermisches Entschichten:** Dieses Verfahren unterstützt das Schrumpfen von EPS unter Wärmeeinwirkung zur Trennung entlang der Grenzfläche Dämmstoff / Armierungsmörtel. Für ausgereifte Anwendungen sind jedoch noch weitere Entwicklungsschritte (Test und Entwicklung von entsprechenden Werkzeugen) nötig.

In der Studie von Albrecht & Schwitalla (2015) wurden die verschiedenen Trennverfahren für WDVS an diversen Testhäusern erprobt sowie an einem realen Objekt begleitet. Die untenstehende Tabelle 29 zeigt eine Übersicht der jeweiligen Vor- und Nachteile der oben vorgestellten Trennverfahren.

Tabelle 29: Vor- und Nachteile der einzelnen Trennverfahren für WDVS

Verfahren	Vorteile	Nachteile
Manuelles Entschichten	<ul style="list-style-type: none"> – Etabliertes Verfahren – Selektiver Schichtenabtrag – Flächiger Rückbau – Unabhängig von Zugänglichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> – Manuelles Verfahren – Zeitlich aufwendig (z. B. Dübel) – Kosten durch Gerüst
Maschinelles Entschichten, „Baggern“	<ul style="list-style-type: none"> – Etabliertes Verfahren – Schnell – Flächiger Rückbau – Selektiver Schichtenabtrag möglich 	<ul style="list-style-type: none"> – Höhenbegrenzung – großer Platzbedarf um das Gebäude – Selektiver Schichtenabtrag zeitaufwendig

Verfahren	Vorteile	Nachteile
Abfräsen oder Bürsten	<ul style="list-style-type: none"> – Schnell – Selektiver Schichtenabtrag – Abtrag trotz Dübel möglich 	<ul style="list-style-type: none"> – Bildung von kleinen PS-Teilchen – Störung durch Dübel – Elektrostatische Aufladung – Absaugung notwendig (Arbeitsschutz- und Sicherheitsmaßnahmen notwendig)
Thermisches Entschichten	<ul style="list-style-type: none"> – Selektiver Schichtenabtrag 	<ul style="list-style-type: none"> – Noch nicht ausgereift

Quelle: Albrecht & Schwitalla (2015)

Inwieweit die einzelnen Trennverfahren neben EPS auf WDVS mit anderen Dämmstoffen übertragen werden können ist nicht eindeutig belegt (Albrecht & Schwitalla, 2015). Ein selektiver Rückbau mit vorheriger Abtrennung des WDVS vom mineralischen Bauschutt ist notwendig, um eine fachgerechte Aufbereitung in den nachgeordneten Schritten zu ermöglichen. Der Aufwand des Rückbaus ist bei allen Dämmstoffen - speziell, wenn ein sortenreiner Ausbau erwartet wird - sehr hoch. Der Aufwand des Ausbaus erschließt sich aus der Art der Befestigung und der Montage des WDVS (siehe Kapitel 4.2). Der Aufwand des Rückbaus ist bei verklebten WDVS (98% der Systeme sind geklebt oder geklebt und zusätzlich gedübelt) höher als bei nicht verklebten Systemen, da die Verklebung einen erhöhten Fremdstoffanteil mit sich bringt. Eine sortenreine Abtrennung, beispielsweise in der Bauschuttaufbereitung ist dadurch nur schwer möglich.

Bereits existierende Schienensysteme und Dübel für WDVS sowohl zur Montage des WDVS auf der Außenwand als auch zur Befestigung zwischen den einzelnen WDVS-Lagen stellen eine Alternative zum Kleben, die die Trennung beim Rückbau erleichtert.

Der hohe manuelle Aufwand des selektiven Rückbaus ist zudem wirtschaftlich häufig nicht umsetzbar: daher ist bei Abbruchprojekten auf eine gute Planung und eine sinnvolle Kombination von konventionellem Abbruch und kontrolliertem Rückbau zu achten. Neue verbesserte selektive Rückbauverfahren, Technologien und Werkzeuge können die zurzeit noch existierenden wirtschaftlichen Nachteile weiter verringern. Schwerpunktmaßig sind zukünftige Entwicklungen für die Verwendung von maschinellen Entschichtungsverfahren (am besten mit Staubabsaugung) für die Bearbeitung großer Flächen, aber auch für die Bearbeitung von Flächen, die mit Großgeräten nicht bearbeitet werden können, anzustreben (Albrecht & Schwitalla (2015)).

Die Entwicklung fortgeschrittenen Techniken, Maschinen und Werkzeuge ist wichtig, da der Rückbau der größten Mengen an WDVS erst bevorsteht (siehe Abbildung 21). Der Planer kann durch die Auswahl bestimmter Produkte und Befestigungsvarianten bereits heute die zukünftigen Wiederverwendungsmöglichkeiten beim Rückbau beeinflussen.

7.4 Verwertungsmöglichkeiten und Beseitigung

7.4.1 Allgemeines

Laut Sprengard et al. (2013) empfiehlt sich bei der Entsorgung von rückgebauten WDVS eine Kaskadennutzung nach der Abfallhierarchie im Kreislaufwirtschaftsgesetz (siehe Abbildung 19). Dies bedeutet, dass eine Wiederverwendung vor dem Recycling durchzuführen ist. Können diese beiden Vorgänge nicht durchgeführt werden, steht als weitere Möglichkeit die thermische Verwertung zur Verfügung. Diese potentiellen Vorgänge der Verwertung werden im Folgenden kurz erläutert, bevor am Ende auf die Beseitigung eingegangen wird.

- ▶ Wiederverwendung

- ▶ Werkstoffliche Verwertung
- ▶ Rohstoffliche Verwertung
- ▶ Energetische Verwertung

Wiederverwendung

Die Wiederverwendung setzt voraus, dass das WDVS ohne Schäden ausgebaut worden ist und an einer anderen Stelle mit der gleichen Funktionalität wieder verbaut werden kann. Bei verklebten WDVS (siehe Kapitel 4.2) verhindert die Beschädigung beim Rückbau eine Wiederverwendung.

Recycling (werkstoffliche / rohstoffliche Verwertung)

Beim Recycling werden Produkte am Ende ihrer Lebensdauer stofflich aufbereitet. Dadurch entstehen entweder vermarktungsfähige Werkstoffe, die anschließend in der gleichen oder in einer anderen Anwendung Nutzung finden, oder chemische Rohstoffe. Im Folgenden wird anhand von Beispielen das Recycling eines WDVS kurz erläutert. Rückgebaute WDVS können komplett recycelt werden. Allerdings erfordert die große Verbundfestigkeit eine aufwändige Methode zur Trennung der einzelnen Komponenten wie Klebstoff, Dämmstoff, Armierungsträger und Putz. Bei einem komplett mineralischen System aus mineralischem Klebstoff, Mineralschaumdämmstoff und mineralischem Putz wäre eine Trennung nicht erforderlich. Das System könnte mit dem Mauerwerk ohne vorherige Trennung zu Gesteinskörnungen verarbeitet werden.

Energetische Verwertung

Als letzter Schritt innerhalb der Kaskadennutzung folgt die thermische Verwertung. Die Abfälle werden als Brennstoff genutzt, so dass natürliche Rohstoffquellen erhalten bleiben. Die aufgewendete Energie, die bei der Herstellung benötigt worden ist, lässt sich als Wärmeenergie zurückgewinnen. Sie steht dann für Industrieprozesse und Anwendungen zur Verfügung. Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) unterscheidet zwischen energetischer Verwertung und thermischer Behandlung von Abfällen zur Beseitigung. Für eine energetische Verwertung von Abfällen muss der Hauptzweck der Maßnahme in der Nutzung des Abfalls und nicht, wie bei der thermischen Behandlung, in der Beseitigung des Schadstoffpotenzials liegen.

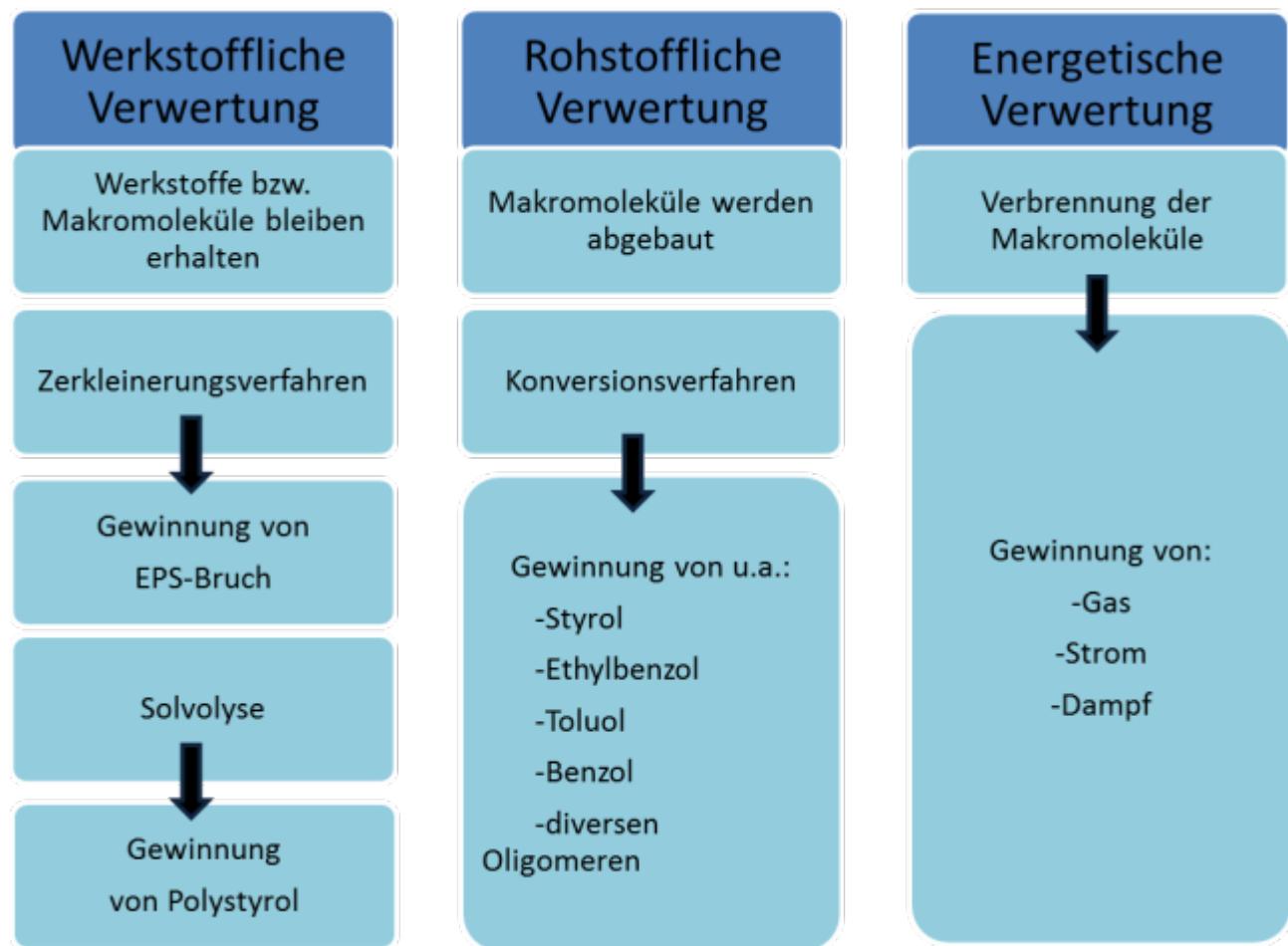
Beseitigung

Neben den genannten Verwertungsmöglichkeiten erfolgt die Beseitigung von Abfällen auf Deponien als letzte abfallwirtschaftliche Option nur dann, wenn die Abfälle nicht verwertet werden können. Die Abfälle müssen je nach Deponiekasse bestimmte Eigenschaften einhalten, zum Beispiel darf ihr Gehalt an organischem Material nicht über 5 % liegen. Hierzu werden sie gegebenenfalls vorbehandelt. Bei der Anlieferung der Abfälle an der Deponie wird überprüft, ob der Abfall die für die jeweilige Deponiekasse geltenden Schadstoffgrenzwerte (Zuordnungswerte) einhält. Dies gilt für inerte, nicht gefährliche oder gefährliche Abfälle gleichermaßen. Manche Abfallarten müssen zuerst behandelt werden, um die Zuordnungswerte einhalten zu können. Je nach Art und Beschaffenheit des gefährlichen Abfalls ist eine Behandlung in Sonderabfallverbrennungsanlagen oder in Anlagen zur chemisch-physikalischen Behandlung erforderlich. Aus WDVS werden nur mineralische Dämmstoffe, die bei der Sanierung oder beim Rückbau anfallen und in aller Regel als gefährlicher Abfall (siehe Abfallschlüsselnummer 170603*) in reißfesten und staubdichten Säcken verpackt sind, auf Deponien beseitigt.

7.4.2 Verwertung und Beseitigung von synthetischen WDVS (speziell auf EPS-Basis)

In diesem Kapitel werden das Rückbauverfahren, die Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten und die Recyclingfähigkeit von Dämmstoffen aus Polystyrol und Polyurethan, die in WDVS verbaut sind, dargestellt. Abbildung 22 zeigt die verschiedenen Verwertungsverfahren, d.h. die werkstoffliche, die rohstoffliche und die energetische Verwertung am Beispiel von einem WDVS mit EPS. Sowohl die werkstoffliche als auch die rohstofflichen Verwertungsmethoden sind aktuell und perspektivisch nur eingeschränkt nutzbar. Die derzeit beste Lösung ist ein selektiver Rückbau des Styropor-Wärmedämmverbundsystems mit anschließender Verbrennung.

Abbildung 22: Geeignete Verwertungsverfahren als Beispiel von einem EPS- Dämmstoff



Quelle: Albrecht et al. (2014)

Polystyrol-Dämmstoffe

Erfahrungen mit Verfahren der stofflichen Verwertung von expandiertem Polystyrol gibt es insbesondere bei Verpackungsmaterialien. Über 1500 Sammelstellen nehmen EPS-Verpackungsabfälle entgegen mit der Bedingung, dass das Material sortenrein, weiß und sauber ist und keine Anhaftungen, Farben, Lacke und Fremdstoffe aufweist. Ebenso ist bekannt, dass bei der Produktion von EPS-Dämmstoffen Produktionsabfälle und sortenreine Verschnittabfälle von Baustellen wieder mit eingesetzt werden. Die Recyclingmengen, die bei der Produktion eingesetzt werden, hängen erheblich von den Anforderungen für das spätere Einsatzgebiet ab. Das Material von Wärmedämmverbundsystemen ist auf der Außenseite mit Putz und Gewebe und auf der Innenseite mit Spachtel- und Klebemasse verschmutzt. Ein solches Material kann nicht zu einem hochwertigen

Produkt für WDVS verarbeitet werden. Bei Fassadendämmplatten darf laut Qualitätsrichtlinie des Industrieverbands Hartschaum e.V. (IVH) und des FV-WDVS der Anteil an Recycling-EPS 5 Gew.-% nicht überschreiten (Albrecht & Schwitalla, 2015). Bei Anwendungen mit geringeren technischen Anforderungen dürfen bzw. werden teilweise deutlich höhere Recyclingmengen zugesetzt.

Beispielsweise sind zu nennen:

- ▶ 20 Gew.-% in Fußbodendämmungen vom Typ DEO (Innendämmung unter Estrich ohne Schallschutzanforderungen) nach DIN 4108-10,
- ▶ 20 Gew.-% in Flachdach-Dämmplatten vom Typ DAA (Außendämmung von Dach oder Decke, witterungsgeschützt, unter Abdichtung) nach DIN 4108-10,
- ▶ EPS-Recyclingplatten mit bis zu 100 Gew.-% Recyclinggranulat bei Fußbodendämmung von Typ DEO nach DIN 4108-10, als Drainageplatten für die Perimeterdämmung mit einer Wärmeleitfähigkeitsstufe bis zu 0,035 W/(m*K) sowie für die Anwendungsgebiete Innendämmung der Wand (WI), Innendämmung (DI) und Zwischensparrendämmung (DZ) nach DIN 4108-10 und
- ▶ loses Recyclinggranulat als Ausgleichsschüttung, Füllstoff / Leichtzuschlag (bspw. zur Porosierung von Ziegeln) (Sprengard et al., 2013).

Dämmstoffe aus Polystyrol, die heute als Abfall anfallen enthalten in der Regel den bromierten Flammhemmer HBCD. Diese Substanz ist seit kurzem in der EU-Verordnung über persistente organische Schadstoffe, der sog. EU-POP-Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 850/2004) gelistet. Da nach den Anforderungen der EU-POP-Verordnung POP-haltige Abfälle dauerhaft aus dem Wirtschaftskreislauf auszuschleusen und von möglichen Recyclingprozessen auszuschließen sind, ist es zukünftig verstärkt erforderlich, diese mineralölbasierten Dämmstoffe getrennt zu erfassen und der energetischen Verwertung bzw. Beseitigung zu zuführen. Dies wird durch die in der Gewerbeabfallverordnung geforderte Getrennthaltung erreicht bzw. unterstützt. Eine werkstoffliche Verwertung von EPS-Dämmplatten wird künftig nur noch mit HBCD-freiem EPS möglich sein.

Ein Beispiel einer werkstofflichen Verwertung ist das CreaSolv-Verfahren zur selektiven Extraktion von Polystyrol mit Hilfe organischer Lösemittel. In diesem Verfahren wird durch Solvolyse das Polystyrol-Polymer vom Flammenschutzmittel HBCD gelöst, das Brom rückgewonnen sowie die Herstellung von hochwertigem PS-Granulat ermöglicht. Eine CreaSolv-Pilotanlage steht beim Flammenschutzadditivproduzenten ICL-IP Europe in den Niederlanden. Allerdings ist derzeit keine CreaSolv-Anlage im Industriemaßstab verfügbar; bislang wäre der Betrieb aufgrund der geringen Abfallmengen nicht wirtschaftlich. Eine Realisierung in naher Zukunft in Form von Kleinanlagen (Pilotanlagen²⁴) wäre jedoch wünschenswert, um somit das in den kommenden Jahren stark steigende WDVS-Abfallaufkommen optimal zu nutzen. Ein optimiertes Logistikkonzept, das WDVS-Abfälle bereits am Anfallort mechanisch aufbereitet (Volumenreduktion) und dann in regionalen CreaSolv-Aufbereitungsanlagen zuführt wäre für die Realisierung nötig. Hierzu wären ebenso geringe Entferungen notwendig, wie von den Rückbaustellen zu den ca. 80 Müllverbrennungsanlagen, die in Deutschland EPS-Abfälle energetisch verwerten dürfen. Aktuell und auch in naher Zukunft bleibt bei einem bevorstehenden Rückbau oder einer Sanierung weiterhin die energetische Verwertung in einer Müllverbrennungsanlage die günstigste Option für EPS-Abfälle. Dabei wird die POP-Substanz HBCD nach Angaben des Umweltbundesamts²⁵ vollständig zerstört. Eine Verbrennung als Ersatzbrennstoff in einer Zement- oder Ziegelanlage ist rechtswidrig, da bei diesem Brennvorgang das HBCD evtl. nicht vollständig verbrannt wird.

²⁴ Eine Pilotanlage zum stofflichen Recycling von EPS befindet sich im Aufbau (vgl. PolyStyrene Loop: <https://polystyreneloop.org>, aufgerufen am 8.1.2018)

²⁵ <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-werden-hbcd-haltige-daemmstoffe-entsorgt> (aufgerufen am 8.1.2018)

Auf der Grundlage des Berichts von Albrecht & Schwitalla (2015), weiterer Literatur und des im Jahr 2016 durchgeführten Fachgesprächs beim Umweltbundesamt wurden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Verwertungsverfahren am Beispiel von EPS analysiert und tabellarisch aufgelistet (siehe Tabelle 30). Vor allem bei der werkstofflichen und rohstofflichen Verwertung sind Nachteile bei der Logistik und der Nachfrage des Recyclingmaterials deutlich. Vorteile sind in allen drei Verwertungsverfahren zu erkennen.

Tabelle 30: Vor- und Nachteile der verschiedenen Verwertungsverfahren am Beispiel EPS

Verfahren	Nachteile	Vorteile
Werk- und rohstoffliche Verwertung (CreaSolv®-Verfahren)	<ul style="list-style-type: none"> • Fehlende Logistik • Geringe Nachfrage nach recyceltem EPS • Mangelnde Wirtschaftlichkeit • Entfernung von HBCD notwendig • Noch nicht kommerziell • Derzeit geringe Nachfrage nach recyceltem Polystyrol 	<ul style="list-style-type: none"> • steigende Nachfrage nach recyceltem EPS durch steigende Rohstoffpreise und zunehmendes EPS-Abfallaufkommen • viele Schäumbetriebe mit guter technischer Ausstattung und regionaler Verteilung • Rückgewinnung des Polymers • Ausschleusung von Stör- und Schadstoffen
Energetische Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> • Keine werkstoffliche oder rohstoffliche Verwertung 	<ul style="list-style-type: none"> • HBCD wird zerstört (Forderung der POP-Verordnung) • Geringe Transportentfernung zur kommunalen Müllverbrennung • Sauberkeit und geringer Fremdstoffgehalt des WDVS Abfalls nicht erforderlich • Ökologisch vorteilhaft: Energierückgewinnung und Schadstoffsenke

Quelle: Albrecht & Schwitalla (2015)

Polyurethan-Dämmstoffe

Einige der eingesetzten Rohstoffe wie z. B. Polyole können mittels Acidolyse aus PU-Schaum rückgewonnen werden. Dieses Verfahren wird mittlerweile im industriellen Maßstab umgesetzt. Die rückgewonnenen Polyole können für verschiedene Anwendungen wie (Hart- und Weichschäume) eingesetzt werden (Rampf, 2012; Sprengard et al., 2013).

7.4.3 Verwertung und Beseitigung von WDVS aus mineralischen Dämmstoffen

Für ein stoffliches Recycling von mineralischen Baustellenabfällen ist die Entwicklung geeigneter Verfahren sowie der Ausbau von Sammel- und Logistiksystemen erforderlich. Eine recyclinggerechte Planung der Baukonstruktionen ermöglicht einen sortenreinen Rückbau der Materialien.

Mineralwolle

Steinwolle ist zurzeit nach EPS das meist verbaute Dämmmaterial in WDVS. Die genaue Zusammensetzung älterer Dämmungen (vor dem Jahr 2000) ist unklar und die Fasern sind zum Teil

krebszeugend. Deshalb müssen bei deren Rückbau und Entsorgung entsprechende Sicherheitsmaßnahmen eingehalten werden. Bei Mineralfasern, die als „alt“ gelten, kommt die AVV-Nr. 17 06 03* zur Geltung und sie werden auf der Bauschuttdeponie luftdicht und angefeuchtet abgepackt in speziellen Säcken gelagert. Der Rückbaubereich wird auch in naher Zukunft von diesen alten Mineralwollen geprägt sein. Nicht gefährliche Mineralfaserdämmstoffe werden unter der AVV-Nr. 17 06 04 geregelt (Brockmann et al., 2011).

Eine betriebsinterne Rückführung von Produktionsresten ist bereits seit Jahren gängige Praxis bei allen Herstellern. Die Firma Rockwool hat bereits seit 1993 ein Rücknahmesystem²⁶ von sortenreinen und kaschierten Mineralwolleabfällen der eigenen Firma aufgebaut. Dieses stoffliche Recyclingsystem wurde im Jahr 1994 auch durch die Annahme von gebrauchten Dämmstoffen erweitert. Getrennt erfasste sortenreine Steinwolldämmstoffe von der Baustelle können ebenfalls, sofern frei von Fremdstoffen, sehr gut in den Produktionsprozess zurückgeführt und beinahe zu 100 % recycelt werden. Recycling von Steinwolle ist bislang nur sortenrein möglich, beispielsweise aus großen Flachdächern, bei denen oft die Entsorgung der alten Wolle auch Bedingung für neuen Auftrag ist, oder aus Verschnitt. Die Frage, wie viel Prozent Verunreinigungen (z. B. durch Putzreste, Dübel, Armierungsgewebe) beim Recycling tolerabel sind, wird von den Herstellern nicht konkret beantwortet. Abbruchabfälle sind häufig sehr verunreinigt und daher ungeeignet für das Recycling. Die Verunreinigungen sind nicht nur ein technisches Problem bei der Prozessführung, sondern sie verändern auch die Zusammensetzung der Mineralwolle. Dann können ggf. nicht mehr die Qualitätsanforderungen gewährleistet werden. Insofern sind nach Angaben der Hersteller dem Recycling ohne genaue Kontrolle der Materialzusammensetzung Grenzen gesetzt.

Laut Expertenmeinung wurden in den letzten Jahren Rücknahmesysteme neben Rockwool auch von anderen großen Mineralwolle-Herstellern (Knauf Insulation) aufgebaut und eingerichtet. Dennoch ist laut den Herstellern das stoffliche Verwertungspotential von rückgebautem WDVS auf Basis von Steinwolle derzeit als niedrig anzusehen.

Ein weiteres Beispiel zeigt das Rücknahmesystem von der FLUM ROC AG (Schweiz). Diese verkaufen Foliensäcke, die dazu dienen, die Mineralwolle sicher zu verpacken und zum Hersteller zurückzubringen. Die befüllten Säcke werden beim Kauf einer Neuware vom Händler zurückgenommen und anschließend zum Hersteller transportiert. Nach Einschätzung von Brockmann et al. (2011) ist die Anwendung dieses Systems in Deutschland nicht umsetzbar, insbesondere dann nicht, wenn es sich bei der zu recycelnden Mineralwolle um einen gefährlichen Abfall nach AVV-Nr. 170603* handelt.

Eine VDI ZRE -Studie (2014) berichtet, dass die hessische Firma Woolrec eine erste Anlage zur Verwertung von Mineralfaserstoffen gebaut hatte. Diese stammten überwiegend aus Abfällen vom Bauabriß. Die Mineralfasern wurden in diesem Recyclingverfahren in zwei Stufen zu Mineralfaserpulpe zerkleinert. Die Entfernung von metallischen Rückständen und weiteren Reststoffen erfolgte danach. Die entstandene Pulpe wurde eingekapselt und zu einem Granulat weiterverarbeitet, das in der Ziegelherstellung unter dem Markennamen WOOLIT eingesetzt werden konnte. Das Verfahren musste unter massiven Protesten eingestellt werden, da die Faserstruktur des Woolit beim Brennvorgang in der Ziegelei (950 °C) nicht vollständig zerstört wurde und eine Freisetzung von Fasern auf der Oberfläche der Ziegelsteine nicht ausgeschlossen werden konnte.

Weitere neue Ansätze zum Recycling finden sich am Institut für Angewandte Bauforschung Weimar (IAB). Dort wird ein Verfahren entwickelt, mit dem mineralische Verbundbaustoffe nach Trennung beim Rückbau oder bei der anschließenden Aufbereitung, u.a. auch WDVS-Abfälle, unter Einsatz der

²⁶ Rockwool hat ein Rücknahmesystem namens „Rockcycle“ entwickelt. <http://www.rockwool.de/services-und-tools/planungshilfen/abfallruecknahme---rockcycle/> (aufgerufen am 8.1.2018)

Mikrowellentechnologie (Erwärmung) umweltgerecht recycelt und verwertet werden können (Leydolph, Müller, Reimann & Schulze, 2008). Die entstehenden Schlacken sollen als Füllstoff in Baustoffen genutzt oder zu einem Mineralwolle-Leichtgranulat weiterverarbeitet werden (VDI ZRE, 2014).

Ein aktuelles Projekt wird an der TU Berlin in Zusammenarbeit mit der Firma Rockwool zum Thema Weiterverwendung von künstlichen Mineralfasern nach dem Ende der Nutzungsphase der Gebäude durchgeführt²⁷.

Mineralschaum

Mineralschaumplatten und ihre Deckschicht sind sortenrein trennbar. Die Trennung des Klebers von der Wand ist wie bei anderen WDVS schwieriger, da dieser fest am Produkt anhaftet. Eine Wiederverwertung als Dämmstoff ist bislang nur für unverschmutzte Produktionsreste möglich, eine Verwertung zu Recyclingbaustoffen ist jedoch denkbar. Recyclingkonzepte speziell für Mineralschaumplatten, gibt es derzeit noch nicht. Eine potentielle Verwertungsmöglichkeit wird vom Hersteller als Zuschlag für Leichtmauermörtel gesehen. Die mineralischen Abfälle des Dämmsystems sind als Granulat für Schüttungen oder als Verfüllmaterial geeignet. Als Zuschlagstoff für zementgebundene Baustoffe ist die Mineralschaumplatte laut Herstellerauskunft nicht geeignet. Da Mineralschaumplatten beinahe zu 100 % aus mineralischen Rohstoffen besteht können sie auf Baurestmassendeponien entsorgt werden.

7.4.4 Verwertung und Beseitigung WDVS aus nachwachsenden Rohstoffen

Laut des VDI Zentrums Ressourceneffizienz (VDI ZRE, 2014) sind praktische Erfahrungen mit dem Recycling und der Entsorgung nachwachsender Dämmstoffe bisher kaum erforscht, da diese derzeit nur einen sehr geringen Anteil von etwa drei Prozent des Dämmstoffmarktes und zwei Prozent bei den WDVS ausmachen. Die nachwachsenden Dämmstoffe sind nicht einfach zu kompostieren. Sie weisen häufig Zusätze zum Brand- und Insektenschutz auf (Bundesgütegemeinschaft Recycling-Baustoffe e.V.). Die thermische Verwertung ist allerdings für alle Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen möglich (VDI ZRE, 2014).

Für die Verwertung bieten sich bei Holzfaserdämmplatten alle drei Verwertungsmöglichkeiten an. Die ausgebauten Holzfasern können einer energetischen Verwertung (Verbrennung) zugeführt werden. Eine stoffliche Verwertung für die Holzwerkstoffproduktion oder für die Herstellung vom Recyclingpapier ist auch möglich. Ein sortenreiner Ausbau von Holzfaserplatten als werkstoffliche Verwertung stellt eine weitere Alternative dar. Laut der (FNR, 2015b) ist ein vollständiges und problemloses Recycling möglich. Eine Wiederverwendung bei der Einblasdämmung ist nach einem mechanischen Ausbau möglich.

Laut einer Studie des NABUs (Weiß und Paproth, 2001) hängt bei vielen verbauten Holzfaserdämmstoffen die Kompostierbarkeit von den Bindemitteln und Zusatzstoffen in der Holzfaserplatte ab. Zur Realisierung eines ökologisch fortschrittlichen Recyclings gehört die Minderung des Einsatzes umweltbedenklicher Entzündungshemmer in den Produkten, darunter die Umstellung auf boratfreie Zusätze.

Im Anhang 10.7, Tabelle 46, wird für die relevantesten Dämmstoffe für WDVS ihre Möglichkeiten der Verwertung / Recycling tabellarisch dargestellt.

²⁷ http://www.bauphysik.tu-berlin.de/menue/forschung/lifecycle_kmf/ (aufgerufen am 8.1.2018)

7.4.5 Verwertungsmöglichkeiten von den restlichen WDVS-Bestandteilen

Die Entsorgung der einzelnen WDVS-Komponenten und die dazugehörige Abfallschlüsselnummer ist in Tabelle 31 aufgelistet. Unter den Begriff „Gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit dem Abfallschlüssel 17 09 04“ fallen neben verschmutzen Dämmmaterialresten auch Putze, Kleber, Farben, Armierungsgewebe, Klebstoffe, Mauerreste etc. „Die abgetrennten mineralischen Bestandteile des WDVS können weiter zerkleinert werden und stehen als Betonsand, Ziegelsplit oder Betonschotter für Anwendungen im Straßen- und Wegebau oder zur Geländefüllung“ zur stofflichen Verwertung zur Verfügung (Sprengard et al., 2013). Zusammen mit mineralischen Baustoffen können Leichtputze und -mörtel auch als Bauschutt deponiert werden.

Tabelle 31: Verwertungsmöglichkeiten von WDVS-Bestandteilen inkl. deren Abfallschlüssel

WDVS- Komponente	Abfallschlüssel	Mögliche Verwertungswege
Putz / Kleber / Farben / Haftvermittler	17 01 07 17 09 04	Derzeit keine; potentiell als mineralische Gesteinskörnungen für, Erdbauanwendungen wie Bauwerkshinterfüllungen und Lärmschutzwälle sowie im Garten- und Landschaftsbau
Armierungsmörtel	17 01 01	Derzeit keine
Amierungsgewebe	10 11 03 17 02 03	Glasfaser Kunststoffregulat
Dübel und Schienen	17 02 03	Kunststoffregulat
Schrauben / Nägel	17 04 05	Eisen und Stahl Rückgewinnung von Eisen und Stahl

Quelle: Albrecht & Schwitalla (2015)

7.5 Aufdoppelung

Eine alternative Möglichkeit neben dem Rückbau ist eine sogenannte „Aufdoppelung“ der bestehenden Wärmedämmung. Das alte System wird dabei nicht demontiert (rückgebaut), sondern durch eine weiteres System aus Kleber, Dübeln, Dämmstoff, Armierungsputz und Armierungsgewebe ergänzt, so dass das Gebäude den technischen Anforderungen sowie den gestiegenen energetischen Anforderungen gemäß der aktuellen Energieeinsparverordnung (EnEV) entspricht. Die Nutzungsdauer des WDVS könnte so auf einen Zeitraum bis zu 120 Jahren ausgedehnt werden. Vom Deutschen Institut für Bautechnik wurden bereits verschiedene Aufdoppelungssysteme zugelassen. Somit können nun auch „in die Jahre gekommene“ WDVS, die entweder den technischen oder den stark gestiegenen energetischen Anforderungen nicht mehr gerecht werden, durch das Aufbringen einer zusätzlichen Dämmstofflage rechtskonform saniert werden.

Im Sinne der Abfallvermeidung ist eine Aufdoppelung eine Art „Vermeidung“ als oberstes Kriterium der fünfstufigen Abfallhierarchie im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) anzusehen. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass eine Aufdoppelung sich optimal mit ohnehin anstehenden Instandsetzungsmaßnahmen an jeder Fassade verbinden lässt. In diesen Fällen entstehen ohnehin Kosten für Baustelleneinrichtung, Gerüst und evtl. Sanierungsarbeiten, so dass Kosten für die Dämmung nicht so stark ins Gewicht fallen.

Jedoch stellt sich die Frage, in welchen Fällen eine Aufdoppelung sinnvoll ist und wie Aufdoppelungen zu bewerten sind, die zu einem Mix an Materialien führen (z.B. Aufdoppelung von Mineralwolle-WDVS mit EPS-System oder Vermischung von HBCD-freien und HBCD-haltigen WDVS). Für HBCD-haltige WDVS ist es nötig, dass HBCD-haltige und HBCD-freie Dämmstoffe schnell und sicher mittels einer Farbkennzeichnung (eingefärbtes EPS ist bereits am Markt erhältlich) des HBCD-freien EPS-Dämmstoff unterscheiden werden können. Eine weitere Herausforderung beim Aufdoppeln stellt die Entwicklung von rückbaufreundlichen Befestigungssystemen für einen späteren Rückbau dar.

7.6 Ökobilanzen von Dämmstoffen und WDVS

In einer Ökobilanz werden möglichst umfassend der gesamte Lebensweg eines Produktes bzw. Produktsystems und die zugehörigen ökologischen Auswirkungen erfasst. Die entlang des Lebenswegs auftretenden Stoff- und Energieumsätze und daraus resultierende potenzielle Umweltbelastungen, wie beispielsweise das Treibhauspotenzial, werden quantifiziert. Bei der Ökobilanz handelt es sich um eine systematische Methode, aktuell nach den Normen DIN EN ISO 14040 (2009) und 14044 (2006).

In Ökobilanzen werden potenzielle Umweltauswirkungen grundsätzlich auf die Funktion(en) des betrachteten Produktsystems bezogen und dazu eine sogenannte funktionelle Einheit festgelegt. Die funktionelle Einheit dient nach DIN EN ISO 14040 dazu, einen quantifizierten Bezug für die Input- und Outputflüsse in der Ökobilanz zu schaffen. Die Funktionen des untersuchten Systems spiegeln die geforderten Gebrauchseigenschaften wider.

Ökobilanzen betrachten grundsätzlich:

- ▶ die Herstellung des Produktes inklusive der Herstellung aller relevanten benötigten Materialen / Energie (Rohstoffbereitstellung);
- ▶ den Transport vom Hersteller zum Verwendungsort sowie Montage;
- ▶ die Nutzung und
- ▶ die Entsorgungsphase (End of Life).

Für WDVS sind damit grundsätzlich die Herstellung aller Bestandteile, Dämmstoffe, Armierung, Kleber, Putze, die Nutzung sowie die Entsorgungsphase des Gesamtsystems zu berücksichtigen. Die Recherchen im Rahmen dieser Studie haben gezeigt, dass für Dämmstoffe unterschiedlicher Art zahlreiche Ökobilanzen vorliegen. In vielen ökobilanziellen Studien wird die Nutzungsphase nicht mitberücksichtigt, da sie sehr stark von den jeweiligen technischen Eigenschaften der Konstruktion eines Gebäudes abhängt. Folgende Ökobilanzen zu Dämmstoffen liegen hauptsächlich vor:

- ▶ Produktökobilanz Dämmstoffe ohne Einbezug der Baukonstruktion (isolierte Bilanzierung),
- ▶ Gesamtbilanzierung inkl. Baukonstruktion des Gebäudes.

Beim Vergleich verschiedener Dämmstoffe oder WDVS für eine geplante Anwendung müssen bei Dämmstoffen insbesondere die gewünschten Anforderungen an den Wärmeschutz gleich sein. Bei Dämmstoffen oder WDVS bietet sich hierfür ein Bezug auf einen bestimmten Wärmedurchgangswiderstand an. Produkte mit einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit benötigen für den gleichen Wärmedurchgangswiderstand eine geringere Schichtdicke als Produkte mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit. Liegt also ein Ökobilanzdatensatz auf kg-Basis vor, so müssen die dort enthaltenen Angaben unter Berücksichtigung der Rohdichte und der Wärmeleitfähigkeit umgerechnet werden, um für den konkreten Anwendungsfall unterschiedliche Produkte vergleichen zu können.

Für einen Vergleich von WDVS wäre eine geeignete funktionelle Einheit 1 m² Baukonstruktionsfläche mit einem ausgewählten Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) und einem definierten Betrachtungszeitraum. Die Energieeinsparung in der Nutzungsphase wäre somit für alle verglichenen Dämmstoffe gleich und könnte im Vergleich ausgeblendet werden. Für die Nutzungsdauer von

synthetischen und mineralischen Dämmstoffen geht man in Fachkreisen von ca. 50 Jahren aus. Laut Deutscher Umwelthilfe (2016) sind Naturdämmstoffe ebenso lange haltbar, wenn sie fachgerecht und vor Feuchte geschützt eingebaut werden.

Eine Betrachtung und Bilanzierung von Treibhausgasen in der Nutzungsphase für einen Vergleich von verschiedenen Dämmstoffen bzw. WDVS ist aus unserer Sicht nicht sinnvoll. Dies liegt darin begründet, dass über die lange Nutzungsdauer die eingesparte Raumwärme für alle Dämmstoffe bei weitem die Energie für die Produktherstellung überschreitet. Wenn aus dem Bauwerk Emissionen von toxischen Substanzen in Oberflächengewässern, in den Boden oder in die Innenraumluft auftreten können, ist eine Betrachtung der Nutzungsphase wichtig (Kasser, Savi & Klingler, 2015). Für den Außenbereich (WDVS) spielt besonders die Auswaschung von Bioziden, diversen Additiven, und die Witterungsexposition des Baustoffs im Bauwerk eine wichtige Rolle.

Für zuverlässige Ergebnisse ist wichtig, dass alle verwendeten Daten von der gleichen Quelle entstammen, dieselbe deklarierte Einheit (z.B. in 1 m³ oder kg) und dieselben Referenzjahre haben. Als Berechnungsbasis können beispielsweise die Parameter der Datenbank Ökobaudat²⁸, Nachhaltiges Bauen oder Wecobis²⁹ verwendet werden. Mit neuen Technologien z. B. im Produktionsprozess können sich energietechnisch und emissionsbezogen Verbesserungen in der Ökobilanz ergeben.

7.7 Umweltproduktdeklarationen (EPDs)

Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declarations, EPDs) sind Typ III - Umweltdeklarationen nach DIN EN ISO 14025 (2011) und beruhen auf Produktökobilanzen nach ISO 14040 ff. sowie auf der DIN EN 15804 (2014). Sie werden von Herstellern nach für die entsprechende Produktgruppe vorgegebenen Regeln, sogenannten Produktkategorieregeln (Product Category Rules, PCRs), erstellt. Die von den Herstellern vorgelegten EPDs werden von unabhängigen Prüfern darauf überprüft, ob sie den Anforderungen des PCRs entsprechen. Umweltproduktdeklarationen haben sich in Deutschland und zahlreichen weiteren Ländern in Europa vor allem im Bausektor etabliert. Das deutsche Deklarationssystem für EPDs von Bauprodukten wird vom Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU, ehemals AUB) organisiert.

EPDs für Bauprodukte bieten wichtige Informationen zu Produkten und Ihrer Anwendung. Sie erleichtern die Materialauswahl beim Bauen und sind Grundlage für die Dokumentation der im Gebäude verbauten Baustoffe (z. B. mittels Gebäudepass). Sie können für Ökobilanzen größerer Baueinheiten genutzt werden und helfen so, Gebäude ökologischer zu planen und bauen. EPDs für Bauprodukte sind deswegen Teil des Konzeptes zum Nachhaltigen Bauen der Bundesregierung. Neben dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen des Bundes (BNB) greift eine Vielzahl weiterer behördlicher und privater Aktivitäten auf EPDs zurück. Umweltproduktdeklarationen eignen sich als Nachweis für eine umweltorientierte öffentliche Beschaffung (Ausschreibungen fordern teilweise EPDs). Sie bieten die relevanten Datengrundlagen, um die Umwelteigenschaften eines Produktes im Marketing oder im Verkauf darzustellen.

Die Frage der Vergleichbarkeit ist aus Sicht des Auftragnehmers eine wichtige Voraussetzung, um evtl. Anforderungen an Produkte zu definieren. Durch Aufnahme von Parametern wie Emissionen in der Nutzungsphase, die sich gut vergleichen lassen, können EPDs vergleichbar gestaltet werden. Für die aktuelle Überarbeitung der Vergabegrundlage des Blauen Engels ist das Vorliegen einer EPD für WDVS

²⁸ <http://www.oekobaudat.de/>

²⁹ www.wecobis.de

als mögliches Kriterium heranzuziehen, da hiermit die Grundlage für die weitere Bilanzierung von Gebäuden bzw. Gebäudeteile in den Zertifizierungssystemen des Nachhaltige Bauen gelegt wird.

7.7.1 Auswertung EPDs

Beispiele für EPDs finden sich in der IBU-Datenbank³⁰. Für Dämmstoffprodukte liegen (mit dem Stand 06.10.2016) 110 EPDs vor. Hiervon sind zwei EPDs für WDVS. Nicht alle der 110 Dämmstoffprodukte werden in WDVS eingesetzt, da verschiedene Anwendungsbereiche (z.B. für die Innendämmung) abgedeckt werden.

Für Putze (werden in der IBU-Nomenklatur unter der Hauptkategorie „Mauerwerk und Mörtel“ und Kategorie „mineralische Werkmörtel“ gelistet) liegen verschiedene EPDs mit diversen Bezeichnungen wie Leichtputze, Gipsputze, Kratzputze etc. sowie für verschiedene Anwendungen im Innen- und Außenbereich vor. Welche der Putze in WDVS eingesetzt werden können, lässt sich aus den Produktbeschreibungen nicht immer ableiten.

Es liegen zwei EPDs für Befestigungssysteme speziell für den Anwendungsbereich WDVS vor. Die angegebenen Kleber sind hauptsächlich für Bodenbelagsarbeiten vorgesehen.

In den untersuchten EPDs wurden folgende Lebenswegphasen berücksichtigt:

- ▶ Die Herstellung und Bereitstellung der Bauprodukte (Wiege zum Werkstor, engl. Cradle to gate), d.h. die Materialzusammensetzung (einschließlich Vorketten der eingesetzten Materialien) sowie die Aufwendungen für die Produktion (Fertigung und Verpackung) unter Berücksichtigung der technologiespezifischen Unterschiede;
- ▶ Transport der Bauprodukte und
- ▶ Entsorgungsphase (End of Life, auch Bahre, engl. grave), d.h. Ausbau / Abriss, Wiederverwendung, Recycling, Entsorgung (thermischer Verwertung, Deponierung, Kompostierung etc.).

In den EPDs wird missverständlich von der „Wiege bis zur Bahre“ bzw. „cradle to grave“ angegeben, was per Definition alle Phasen des Lebenszyklus umfasst, also auch die Nutzungsphase. Bei allen betrachteten EPDs fällt jedoch auf, dass die Nutzungsphase des Bauprodukts nicht deklariert und bilanziert wurde. Grund hierfür ist, dass die Nutzungsphase nur in Kenntnis der exakten Bauausführung und Baukonstruktion abgebildet werden kann. Daher sollte die Systemgrenze für die meisten bilanzierten EPDs als „cradle to gate + end of life (EOL)“ und nicht als „cradle to grave“ angegeben werden.

Die Ergebnisse der Ökobilanz werden durch Wirkungsindikatoren dargestellt. Beim Gesamtprimärenergiebedarf für die Dämmstoffherstellung wird in den EPDs zwischen erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie unterschieden, wobei letztere bei vielen Studien das entscheidendste Bewertungskriterium darstellt. Weitere Wirkungsindikatoren sind:

- ▶ Gesamtprimärenergie (P) [MJ]
 - Primärenergie, nicht erneuerbar (Pne) [MJ]
 - Primärenergie, erneuerbar (Pe) [MJ]
- ▶ Treibhauspotenzial (GWP) [kg CO₂-Äqv.]
- ▶ Ozonabbaupotenzial (ODP) (kg R11-Äqv.)
- ▶ Versauerungspotenzial (AP) (kg SO₂- Äqv.)
- ▶ Eutrophierungspotenzial (EP) [kg PO₄3--Äqv.]
- ▶ Sommersmogpotenzial (POCP) [kg C₂H₄-Äqv.]

³⁰ <http://ibu-epd.com/epd-programm/veroeffentlichte-epds/> (aufgerufen am 8.1.2018)

Nicht angegeben in EPDs sind die Wirkungsindikatoren für den Flächenverbrauch bei Deponie und Landbau und auch die Toxizität fehlt. Für Angaben zur Toxizität fehlt laut Expertenmeinung derzeit ein Konsens / eine allgemein anerkannte Konvention für einen geeigneten Wirkungsindikator.

7.7.1.1 Auswertung Dämmstoffe

Die Recherchen im Rahmen dieser Studie haben gezeigt, dass die Umweltauswirkungen der Herstellungsphase bei allen Dämmstoffen deutlich gegenüber der Entsorgungsphase und den Transporten zur Baustelle überwiegen. Vergleicht man die einzelnen EPDs je nach Dämmstoff miteinander, sind der Primärenergiebedarf und die CO₂-Bilanz bei der Herstellung sehr unterschiedlich hoch. Auffallend ist der große Anteil erneuerbarer Primärenergie am Gesamtprimärenergiebedarf für alle nachwachsenden Dämmstoffe, der die beim Pflanzenwachstum in Biomasse umgewandelte solare Energie widerspiegelt. Die Dominanz der Herstellungsphase zeigt sich in allen Wirkungskategorien.

Für die Entsorgung am Lebenswegende stehen zurzeit zwei wesentlichen Varianten zur Verfügung, die unter dem Gesichtspunkt der ressourcenschonenden Kreislaufführung längerfristig nicht als ideal anzusehen sind. Diese sind die Deponierung, die bei den mineralischen Dämmstoffen angewendet wird, und die thermische Verwertung, die bei fast allen anderen Dämmstoffen möglich ist. Bei einigen nachwachsenden Dämmstoffen ist die Kompostierung eine zusätzliche Option. In die Ökobilanz am Lebenswegende gehen die Emissionen aus der Verbrennung des Dämmstoffs sowie eine Gutschrift für die reduzierte Verbrennung fossiler Energieträger ein. Hier ist besonders dem EPS eine hohe Gutschrift anzuschreiben, die sich in der Gesamtbilanz positiv gegenüber den mineralischen Produkten darstellt. Neben der Herstellungsphase hat die Entsorgungsphase – hier besonders die Deponierung für die mineralischen Dämmstoffe – einen nennenswerten Anteil (ca. 5-20 %) in einzelnen Wirkungskategorien. Infolge der Deponierung entsteht Methan und trägt zum GWP bei. Weiterhin trägt die Zersetzung des Binderanteils zum POCP bei. Aus Ammoniak der Bindemittelrezepturkomponente entstehen im Deponiekörper Ammoniakemissionen, die zum Eutrophierungspotenzial beitragen³¹.

Es liegen zahlreiche Studien und Quellen vor, die die Herstellungsenergie von Dämmstoffen modellieren und berechnen. Die Zahlen zum Primärenergiebedarf sind als Orientierungswerte zu betrachten, unterliegen jedoch unterschiedlichen Festlegungen der Systemgrenzen, der funktionellen Einheit oder einer unterschiedlichen Datenerhebung bei den Berechnungen und Modellierungen. Im folgenden Kapitel gehen wir auf eine Studie als eine Art Fallstudie näher ein.

7.7.1.2 Fallstudie VDI

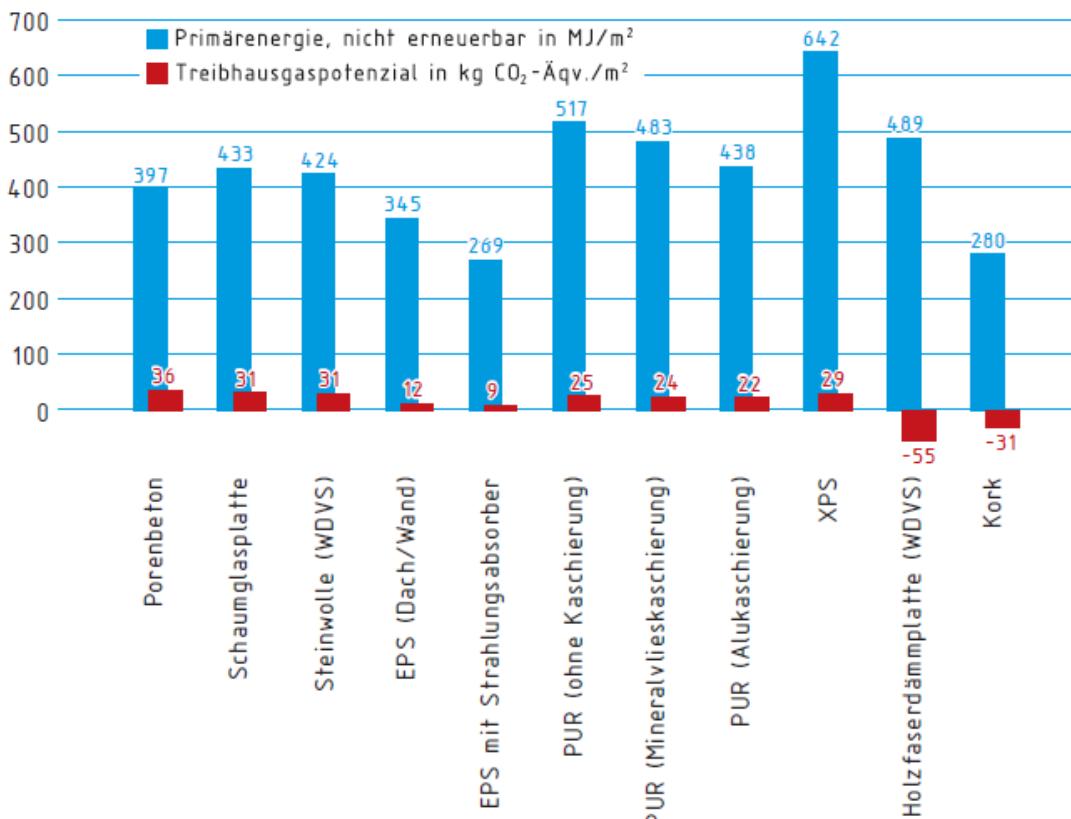
Eine Kurzstudie des VDI Zentrum Ressourceneffizienz (VDI ZRE) "Ressourceneffizienz der Dämmstoffe im Hochbau" vergleicht verschiedener Dämmstoffe für unterschiedliche Einsatzbereiche (VDI ZRE, 2014). Die Daten für die Bewertung der Dämmstoffe stammen u.a. auch aus vorliegenden EPDs. Als funktionelle Einheit wurde eine Dämmwirkung von $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ festgelegt. Es wurde davon ausgegangen, dass ein schlecht wärmedämmendes Bauteil mit einem U-Wert von $2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, wie dies beispielsweise als oberer Gebäudeabschluss bei Mehrfamilienhäusern aus den 60er Jahren anzutreffen ist, nachträglich gedämmt wird. Neben der Herstellung wurde auch die Entsorgungsphase berücksichtigt. Um die Daten der Dämmstoffe untereinander vergleichbar zu machen, musste eine Umrechnung der in den EPDs vorliegenden Daten des Primärenergiebedarfs von MJ/kg in MJ/m², bezogen auf die funktionale Einheit einer Dämmwirkung von $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, erfolgen. Entsprechend der unterschiedlichen Wärmedämmmeigenschaften (Wärmeleitfähigkeit) der einzelnen Dämmstoffe variiert die erforderliche Dämmschichtdicke, um den oben genannten U-Wert zu erzielen.

³¹ <http://www.baunetzwissen.de/dl/579203/Umweltpunktdeklaration.pdf> (aufgerufen am 8.1.2018)

Da nicht jeder Dämmstoff für jeden Einsatzbereich in Frage kommt, wurden die gängigsten Anwendungsfelder der zur Verfügung stehenden Dämmstoffe mit ihrem Energiebedarf und ihrer CO2-Emission gegenübergestellt. In der folgenden Abbildung (Abbildung 23) sind Dämmstoffe dargestellt, welche in der Kurzstudie für eine Außenwand bzw. ein WDVS System ausgewählt wurden.

Abbildung 23: Primärenergiebedarf (Pne) und Treibhausgaspotenzial für die Dämmstoffherstellung bei Wärmedämmverbundsystemen

Wanddämmung als Wärmedämmverbundsystem (WAP)



Quelle: VDI ZRE (2014)

Die Ergebnisse für die nicht erneuerbare Primärenergie variieren ziemlich in der Höhe zwischen 269 MJ/m² für EPS mit Graphit und 642 MJ/m² für XPS. Demnach schneidet im Primärenergiebedarf das „graue“ EPS (in der Abbildung 23 als Strahlungsabsorber genannt) sowie Kork am besten ab. Das EPS-System schneidet gegenüber der Steinwolle in der Wirkungskategorie Primärenergie und Treibhausgaspotential besser ab. Die Ergebnisse zeigen, dass das graue EPS gegenüber dem konventionellen EPS einen deutlich geringeren Primärenergiebedarf aufweist. Beim Treibhausgaspotential erzielen die Holzfaserdämmplatten und Kork mit einer negativen Emission die besten Ergebnisse (VDI ZRE, 2014).

7.7.1.3 Auswertung WDVS

Die Ökobilanzdaten des vorliegenden WDVS-Systems (IBU, 2011) berücksichtigen die Zusatzmaterialien wie Kleber, Dübel, Unterputz, Armierungsgewebe und Oberputz, die jeweils separat hergestellt und erst auf der Baustelle zu einem Wärmedämmverbundsystem zusammengesetzt werden. Je nach Dämmstoff ergeben sich für diese Materialien unterschiedliche Gewichtsanteile, was sich auf die Ökobilanz auswirkt. Für die Systemkomponenten des geklebten WDVS wurden die Rahmenparameter laut Tabelle 32 festgelegt. Als funktionelle Einheit wurde 1 m² des

Wärmedämmverbundsystems gewählt. Die Umrechnung erfolgt durch die einzelnen Verbräuche der Systemkomponenten in kg/m². Die Verbräuche des Klebers, Unterputzes, und Oberputzes wurden im betrachteten Mustersystem als praxisbezogene Durchschnittswerte berücksichtigt.

Tabelle 32: Systemkomponenten für 1 m² WDVS geklebt

Komponente	Spezifikation	Verbrauch
Befestigung Kleber	mineralisch	4,5 kg/m ²
Dämmstoff	EPS Außendämmung der Wand unter Putz (WAP)	16 cm ($\lambda=0,035\text{W}/(\text{m}^*\text{K})$)
Gewebe	Glasgewebe	1,1 m ² (160g/m ²)
Unterputz	organisch	3,0 kg/m ²
Oberputz	Dispersion	3,0 kg/m ²

Quelle: IBU (2011)

Die Systemgrenzen entsprechen den EPD-Grenzen der Einzelkomponenten für alle Lebenszyklusstufen d. h. von der Ressourcenentnahme über die Herstellung bis zur Recyclings- / Entsorgungsphase, jedoch ohne die Nutzungsphase³², cradle to gate + end of life (EoL). Die Systemgrenzen werden folgendermaßen gezogen:

- ▶ Herstellung: Herstellung der Komponenten und deren Verpackung;
- ▶ Montage: Transporte der Komponenten zur Baustelle und der Einbau;
- ▶ Entsorgung: Zwei Entsorgungsszenarien – selektiver Rückbau und konventioneller Abbruch (hier Abriss genannt).

Die Produktionsstandorte der Komponenten befinden sich in Deutschland, daher wird in der Bilanz der deutsche Strommix verwendet. Reste der organischen Putze bzw. Unterputze werden als Verlust deklariert, deren Entsorgung aber nicht weiter behandelt. Im End of life werden zwei Szenarien angenommen (IBU, 2011):

- ▶ selektiver Rückbau: Das EPS wird zu 90 % sortenrein durch die gezielte Abnahme des Putzes gewonnen und verbrannt. Die restlichen 10 % verbleiben an Putz und Kleber und werden zusammen mit diesen und den restlichen Komponenten deponiert.
- ▶ konventioneller Abbruch: Bei diesem Szenario wird von einem unspezifischen Abriss mit der Abrissbirne und einer nachgeschalteten Bauschuttaufbereitung ausgegangen. Während der Bauschuttaufbereitung entstehen Verluste, dennoch können vom verbleibenden Material noch 90 % des EPS gewonnen und verbrannt werden. Der Rest wird wieder deponiert. Weiterhin wird unterstellt, dass das mineralische Bauschuttrecyclat deponiert und nicht weiterverwertet wird. Energetische Aufwendungen für den Rückbau bzw. Abriss werden nicht betrachtet.

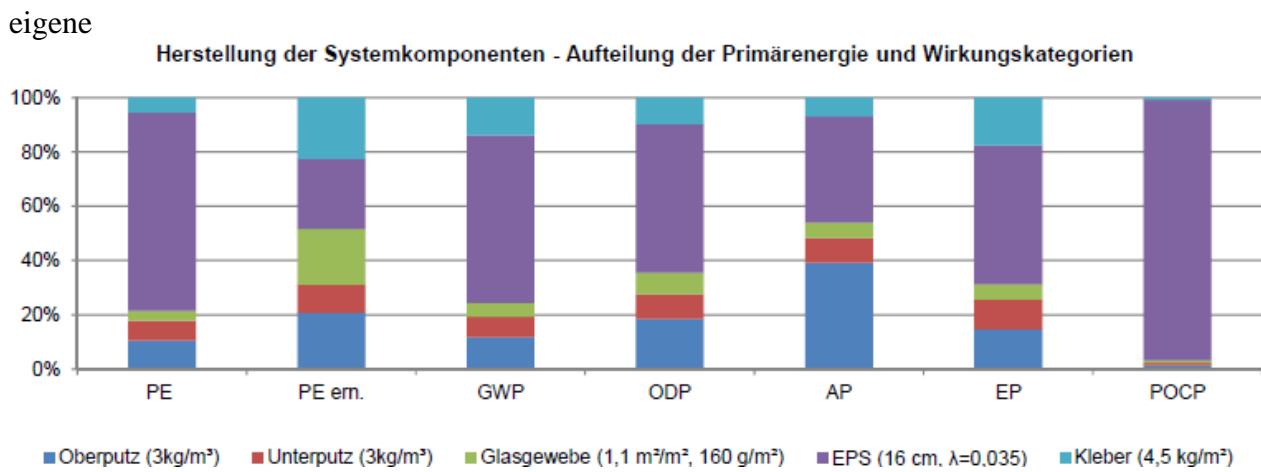
Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse nach Wirkungskategorien bezogen auf die funktionelle Einheit (IBU, 2011)³³. Der EPS-Anteil überwiegt in fast allen Wirkungskategorien. Jedoch ist der Anteil des Putzsystems (Oberputz und Unterputz) nicht zu vernachlässigen und macht beim Treibhauspotenzial im Mittel 36 %, beim Primärenergiebedarf bis zu 47 % aus. Inwieweit die Aussage

³² Bei einem Vergleich von WDVS ist diese Herangehensweise methodisch sinnvoll, um die Größenordnungen der Wirkungen der einzelnen Komponenten des WDVS zu erfassen.

³³ Eine detaillierte Übersicht über die Ergebnisse der relativen und absoluten Zahlen für die einzelnen Komponenten ist aus der Quelle nicht abzulesen.

auf andere WDVS übertragen werden kann, ist aufgrund fehlender ökobilanzieller Untersuchungen und EPDs nicht möglich.

Abbildung 24: Prozentuelle Anteile der Komponenten eines WDVS (Oberputz, Unterputz, Glasgewebe, EPS, Kleber) in der WDVS-Herstellung in den Wirkkategorien Gesamtprimärenergie (PE), Primärenergie, erneuerbar (PE ern), Treibhauspotenzial (GWP), Ozonabbaupotenzial (ODP), Versauerungspotenzial (AP), Eutrophierungspotenzial (EP) und Sommersmogpotenzial (POCP)



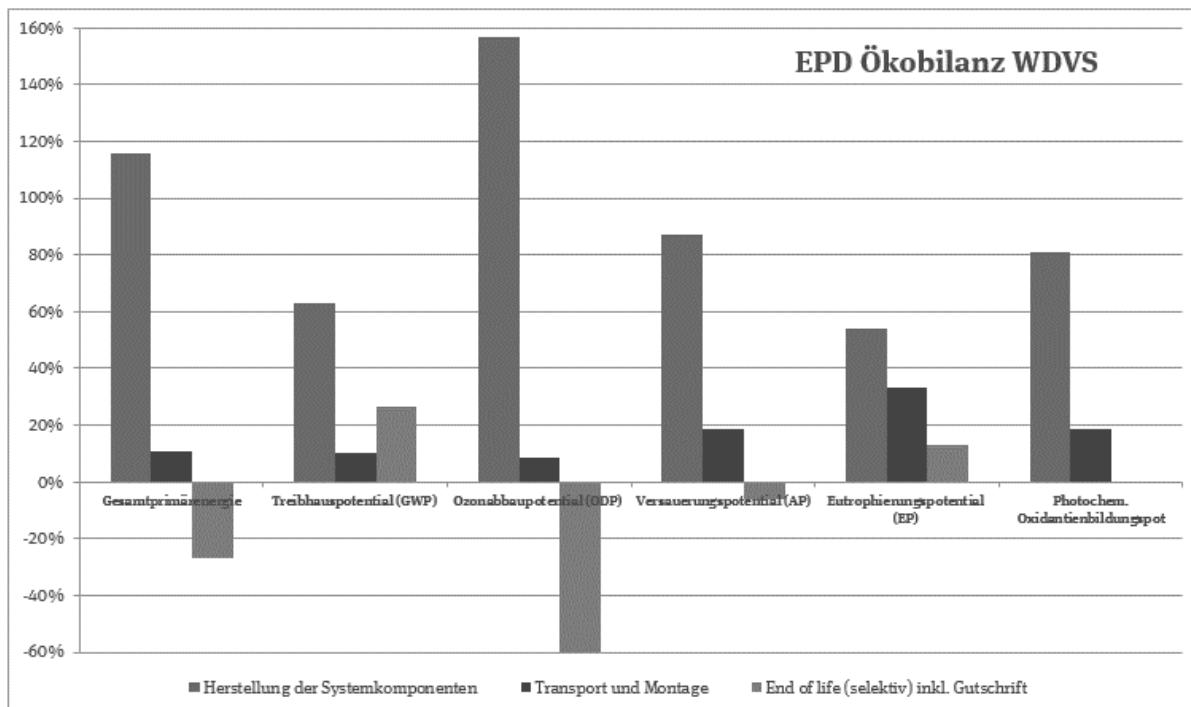
Quelle: IBU (2011)

In der folgenden Abbildung 25 sind die relativen Anteile für alle Wirkungskategorien entlang des Lebenswegs von Herstellung über Transport und Montage bis Entsorgung für das definierte WDVS dargestellt.

- ▶ Die Herstellung hat eindeutig den größten Einfluss auf das Gesamtergebnis bei allen Wirkungskategorien.
- ▶ Der Transport und die Montage haben mit < 10 % des Gesamtverbrauchs eine geringe Bedeutung. Eine Ausnahme hier ist die Wirkungskategorie Eutrophierung mit einem Anteil > 30 % für Transport und Montage.
- ▶ Die Entsorgung darf keineswegs vernachlässigt werden. Durch den Verbrennungsprozess entsteht eine Gutschrift, die rechnerisch zu negativen Emissionen in den Wirkungskategorien Gesamtprimärenergie, Ozonabbaupotenzial und Versauerungspotential führt. Ausnahmen sind hier das Treibhausgaspotential und das Eutrophierungspotenzial, die in der Entsorgungsphase trotz Gutschrift wachsen.

Die Ergebnisse der beiden verschiedenen Rückbaumethoden „Selektiver Rückbau“ und „Konventioneller Abbruch“ haben keine nennenswerten Auswirkungen auf das Gesamtergebnis. Alle Betrachtungen zu den Ergebnissen dieser Umweltdeklaration für geklebte Wärmedämmverbundsysteme mit EPS-Dämmplatten lassen sich nicht eins zu eins auf andere WDVS übertragen: Die Herstellungsphase mit den Systemkomponenten wird erwartungsgemäß bei allen WDVS dominieren. Für den Blauen Engel lassen sich zurzeit noch keine zielführenden Kriterien für eine stärkere Einbeziehung der Herstellungsphase ableiten.

Abbildung 25: Relative Anteile der Herstellung, des Transports und der Montage und der Entsorgung bei allen Wirkungskategorien in der Ökobilanz eines EPS-basierten WDVS



Quelle: eigene Berechnung und Darstellung nach IBU (2011)

8 Untersuchungen biozidfreier Putze und Beschichtungen

Das Umweltzeichen Blauer Engel für Wärmedämmverbundsysteme (RAL-UZ 140) wird auf Antrag des jeweiligen Herstellers für Produkte vergeben, die konkreten Anforderungen genügen müssen (siehe auch Kapitel 3). Unter anderem werden Mindestanforderungen an Haltbarkeit und Dauerhaftigkeit sowie an die optischen Eigenschaften des Produktes gestellt. Ganz konkret auf mikrobiellen Aufwuchs auf Oberflächen bezogen gilt die Auflage, dass die verwendeten Putze und Anstriche keine Filmkonservierer enthalten dürfen. Gleichzeitig dürfen nur bestimmte Topfkonservierer in niedrigen Konzentrationen eingesetzt werden. Diese Anforderungen werden derzeit von 25 Systemen 13 verschiedener bekannter Hersteller erfüllt (Blauer Engel, 2016, siehe auch Kap. 3.3). Als Oberflächenbeschichtungen sind sowohl mineralisch als auch pastös gebundene Putze und Anstriche zugelassen.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Akzeptanz des Blauen Engels ist es, dass das Produkt trotz Verzicht auf den Einsatz von Bioziden unter Praxisbedingungen eine geringe Neigung zu mikrobiellem Bewuchs aufweist. In dieser Studie soll daher für verschiedene Arten von Putz, die allesamt keine Biozide als Filmschutzmittel enthalten, vergleichende Versuche zu mikrobiellen Bewuchs durchgeführt werden. Es sollen Hinweise gesammelt werden, ob und wenn ja in welchem Umfang, sich die verschiedenen Putztypen in dieser Hinsicht unterscheiden und wenn ja, welchen Einfluss die Zusammensetzung des Putzes bzw. seine bauphysikalischen Parameter darauf haben. Darüber hinaus ist der Einfluss einer abschließenden Schlussbeschichtung mit einem Deckanstrich Gegenstand der Untersuchung.

An Fassaden, besonders an gedämmten Fassaden, bildet die Taupunktunterschreitung einen wesentlichen Faktor, der die Algenbildung begünstigen kann. Im eingesetzten Schnellbewitterungsverfahren ist bewusst schon die Tauwasserbildung durch die regelmäßige Taupunktunterschreitung berücksichtigt. Das Verfahren der Oberflächentauwasserbestimmung kann nochmal explizit zeigen, wie anfällig die einzelnen Systeme gegen Tauwasserbildung sind. Im Vorhaben wurden konkret 15 Systemvarianten in zwei Durchgängen untersucht.

8.1 Untersuchungen in der Schnellbewitterungskammer

Freilanduntersuchungen sind zwar für die Erforschung des Aufwuchsverhaltens als besonders praxisnah geeignet, sie sind aber zum einen mit einem hohen finanziellen Aufwand verbunden und bedeuten zum anderen eine jeweilige Untersuchungszeit von mehreren Jahren. Aus diesem Grund ist am Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) eine Schnellbewitterungsanlage aufgebaut, mit der in wesentlich kürzerer Zeit verlässliche Aussagen über die Bewuchsanfälligkeit ermöglicht werden sollen. Übliche Schnellbewitterungsverfahren (z.B. ASTM G 155 (2013), DIN EN ISO 846 (1997)), die auf einer deutlichen Verstärkung der einwirkenden Randbedingungen, einer extremen Verkürzung der Belastungszyklen oder einer Kombination von beidem beruhen, sind für diese Art Test ungeeignet, da die Mikrobiologie stark auf überhöhten Stress reagiert, sodass keine aussagekräftigen Ergebnisse resultieren.

8.1.1 Versuchsaufbau

In einem Versuch am IBP-Testverfahren sollen die unter nichtgleichbleibenden Bedingungen auftretenden Unterschiede einzelner WDVS-Beschichtungen wiedergegeben werden. Dazu werden die Proben von verschiedenen Beschichtungssystemen in einer Bewitterungskammer (Abbildung 27) realitätsnahen Bedingungen ausgesetzt. Im Gegensatz zu gebräuchlichen Schnellbewitterungsverfahren werden hier nicht überhöhte Randbedingungen gewählt, sondern die realen klimatischen Verhältnisse zugrunde gelegt. Eine Beschleunigung wird dadurch erhalten, dass optimale Wachstumsvoraussetzungen gewählt werden. Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass besonders im Herbst die Wachstumsbedingungen für Mikroorganismen günstig sind. Deshalb wurde

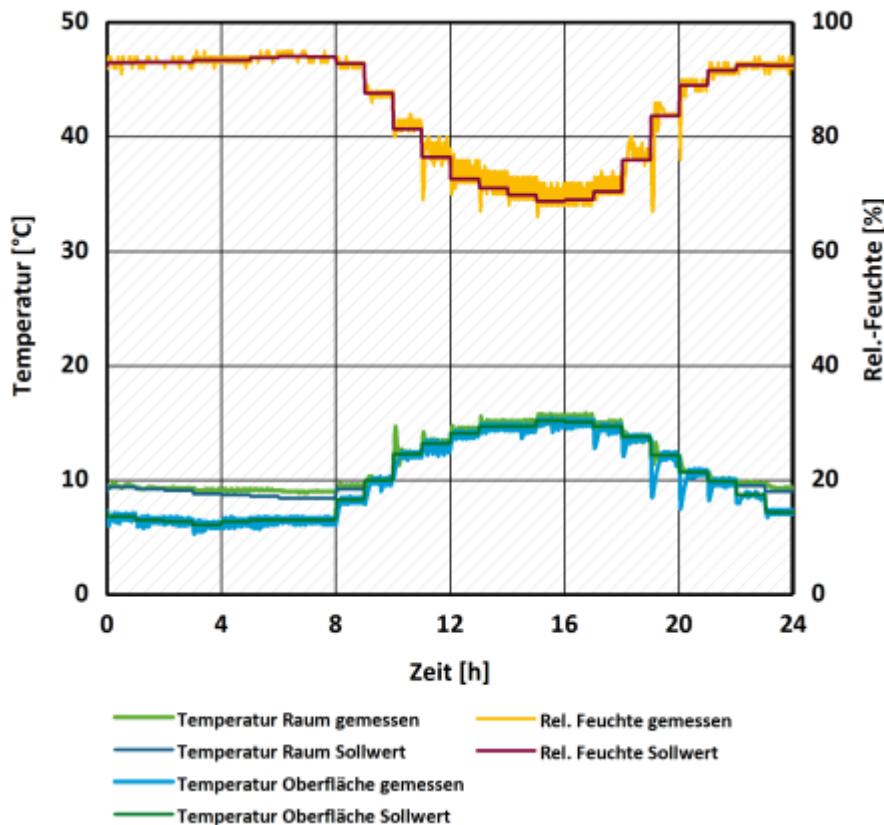
aus den für den Standort Holzkirchen vorliegenden Klimadaten ein »mittlerer Herbsttag« ermittelt und dieses Klima in der Kammer nachgefahren (Künzel et al., 2011).

Um eine Betauung der Proben zu erreichen, wird die Rückwand der Kammer gekühlt. Die Bedingungen werden so gewählt, dass über einen Zeitraum von ca. 8 Stunden der Taupunkt um 1,5 K unterschritten wird, was den realen Bedingungen entspricht. Außerdem wird in einem 7-Tage-Zyklus eine Beregnungsdauer von 4 Stunden eingestellt. In der Regel werden 15 Zyklen gefahren, so dass die gesamte Versuchsdauer rund 100 Tage beträgt. Die Beregnung der Proben erfolgt über spezielle Düsen von vorne mit aufbereitetem Wasser, aus einem separaten Behälter mit entkalktem Leitungswasser. Die Düsen ermöglichen eine realitätsnahe Beregnung der Proben, vor allem, was die Tropfengröße betrifft. Um eine gegenseitige Kontamination der Proben durch Abtropfen von Wasser vorzubeugen, sind unter den Proben Abflussrinnen angebracht. Zur Beleuchtung sind seitlich an den Türen zwei Lampen angebracht, die an den Proben im Tag-Nacht-Wechsel eine Lichtstärke von 650 Lux erzeugen.

Vor Beginn des Kammerversuches ist es notwendig, die Prüfkörper einer Vorbehandlung zu unterziehen. Dazu werden die Proben 3 Zyklen mit jeweils 24 Stunden Wasserlagerung und 24 Stunden Trocknung ausgesetzt. Dadurch werden störende Einflüsse von gegebenenfalls vorliegenden Salzen und von einer eventuell bestehenden Topfkonservierung ausgeschaltet.

Abbildung 26 zeigt die entsprechenden Temperatur- und Feuchteverläufe an einem Tag in der Bewitterungsanlage.

Abbildung 26: Vergleich zwischen Soll- und Ist-Werten von Temperatur und Luftfeuchte in der Bewitterungsanlage



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 27: Schnellbewitterungskammer



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

8.1.2 Geprüftes Material

Auswahl der Produktvarianten

Die Produktauswahl für die Versuche in der Schnellbewitterungskammer erfolgte in enger Abstimmung mit den Auftraggebern nach folgenden Prämissen:

- ▶ Es sollten die am Markt vorhandenen Putztypen einbezogen werden (siehe Kap. 4.4.2), sofern sie ohne Filmkonservierung angeboten werden. Es resultiert jeweils eine Versuchsreihe mit Silikonharzputz, mineralischem Dickschichtputz, Dispersions-Silikatputz und Dispersionsputz.
- ▶ In jeder Versuchsreihe wird der Putz einmal ohne Schlussanstrich und mit drei verschiedenen Farben als Schlussanstrich untersucht.
- ▶ Es wurden auch Produkte ausgewählt die schon mit dem Blauen Engel ausgezeichnet sind, um einen Vergleichsmaßstab zu haben.
- ▶ Es sollte sich um marktgängige Systeme, die auch vom Hersteller als geeignet empfohlen werden, und nicht um selten eingesetzte Nischenprodukte handeln.

Das größte Problem bestand darin, verbreitete pastöse Produkte ohne Filmkonservierung zu finden, die nicht bereits vom Blauen Engel erfasst sind. Wie die folgenden Tabellen zeigen hatten alle untersuchten Varianten von Unter- und Oberputzen den Blauen Engel für WDVS. Von den ausgewählten Anstrichen waren vier vom Blauen Engel abgedeckt. Sieben für die Untersuchung ausgewählte Anstriche hatten keinen Blauen Engel, aber hätten als Bestandteil der WDVS die Kriterien erfüllen können.

Produktvarianten

In Tabelle 33 und Tabelle 34 sind die Varianten mit ihren physikalischen Kennwerten aufgelistet, die im ersten Durchgang untersucht wurden. Die Varianten in Tabelle 35 und Tabelle 36 wurden im zweiten Durchgang getestet.

Der gesamte Schichtaufbau wurde mit den Herstellern der Prüfkörper abgestimmt, daher wurden zwar gleiche Beschichtungstypen, aber nicht zwingend dieselben Beschichtungen bei den unterschiedlichen Varianten verwendet. So ist zum Beispiel die Silikonharzfarbe in den unterschiedlichen Proben zwar der gleicher Typ Farbe, aber nicht dasselbe Produkt (bei beiden Proben im Versuch handelt es sich um Dünnschichtsysteme).

Tabelle 33: Variantenblock Silikonharzputz mit verschiedenen Schlussbeschichtungen

Variante	Armierungsputz	Abschlussputz	Anstrich
1	Organische, zementfreie	Silikonharzputz	--
2	Armierungsmasse / Unterputz mit Führungskorn	Physikalische Kennwerte: W: < 0,05 kg/(m ² *h ^{0,5}) S _d : 0,16 - 0,18 m Dichte: 1,7 - 1,9 g/cm ³	Kiesel-Silikatfarbe Physikalische Kennwerte: W: 0,10 kg/(m ² *h ^{0,5}), S _d : 0,02 - 0,03 m Dichte: 1,4 - 1,6 g/cm ³
3	Physikalische Kennwerte (Putz): W: < 0,05 kg/(m ² *h ^{0,5}) S _d : 0,51 - 0,7 m Dichte: 1,4 - 1,6 g/cm ³ Wasserdampf-durchlässig		Fassadenfarbe mit Ultrahydrophobie Physikalische Kennwerte: W: 0,05 kg/(m ² *h ^{0,5}), S _d : 0,01 m Dichte: 1,4-1,6 g/cm ³
4			Fassadenfarbe mit bionischem Wirkprinzip Physikalische Kennwerte: W: < 0,1 kg/(m ² *h ^{0,5}), S _d : 0,73 - 0,84 m Dichte: 1,2 - 1,4 g/cm ³

Varianten blau: mit Blauem Engel / Varianten schwarz: bisher ohne Blauen Engel

Tabelle 34: Variantenblock mineralischer Putz mit verschiedenen Schlussbeschichtungen

Variante	Unterputz & Armierung	Abschlussputz	Anstrich
5		mineralischer Trockenmörtel	--
6	Dickschichtiger, mineralischer Klebe- und Armierungsmörtel & Armierungsgewebe	Physikalische Kennwerte: W: < 0,5 kg/(m ² *h ^{0,5}) S _d : < 0,1 m	Fassadenfarbe auf Silikonharzbasis. Physikalische Kennwerte: W: ≤ 0,5 / > 0,1 kg/(m ² *h ^{0,5}), S _d : < 0,14 m, Dichte: 1,3 - 1,5 g/cm ³
7	Physikalische Kennwerte (Putz): W: < 0,5 kg/(m ² *h ^{0,5}) S _d : ≤ 1,25 – 2 m Festmörtelrohdichte: ca. 1500 kg/m ³	Dichte: nicht anwendbar	Fassadenfarbe auf Dispersionsbasis Physikalische Kennwerte: W: ≤ 0,5 / > 0,1 kg/(m ² *h ^{0,5}) S _d : ≥ 0,14 / < 1,4 m Dichte: 1,3 - 1,5 g/cm ³

Variante	Unterputz & Armierung	Abschlussputz	Anstrich
8			<p>silikatische Fassadenfarbe auf Kaliwasserglasbasis.</p> <p>Physikalische Kennwerte:</p> <p>W: $> 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$</p> <p>$S_d: < 0,14 \text{ m}$, Dichte: $1,3 - 1,5 \text{ g}/\text{cm}^3$</p>

Varianten blau: mit Blauem Engel / Varianten schwarz: bisher ohne Blauen Engel

Tabelle 35: Variantenblock Dispersions-Silikatputz mit verschiedenen Schlussbeschichtungen

Variante	Unterputz & Armierung	Abschlussputz	Anstrich
9	Armierungsmörtel (Kalk-Zementputz) 2,0 mm & Glasfaser-Gittermatte	Sol-Silikatputz	--
10	Physikalische Kennwerte (Putz): W: $< 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ $S_d: -$ Dichte: $1,5 - 1,8 \text{ g}/\text{cm}^3$ $\mu: < 30$	Physikalische Kennwerte (Putz): W: $< 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ $S_d: -$ Dichte: $1,5 - 1,8 \text{ g}/\text{cm}^3$ $\mu: < 30$	Kieselsol-Silikatfarbe Physikalische Kennwerte: W: $> 1,0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$, $S_d: < 0,01 \text{ m}$ Dichte: $1,6 \text{ g}/\text{cm}^3$
11	W: $0,05 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ $S_d: 0,12 - 0,15 \text{ m}$ Dichte: $1,1 \text{ g}/\text{cm}^3$ (Schüttgewicht) $\mu: \leq 15$		Dispersions-Silikatfarbe Physikalische Kennwerte: W: $0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$, $S_d: 0,01 \text{ m}$ Dichte: $1,6 \text{ g}/\text{cm}^3$

Varianten blau: mit Blauem Engel / Varianten schwarz: bisher ohne Blauen Engel

Tabelle 36: Variantenblock silikatische Abschlussputz mit verschiedenen Abschlussbeschichtungen

Variante	Unterputz & Armierung	Grundierung	Abschlussputz	Anstrich
12	Armierungsmasse & Gewebe	Grundierfarbe aus Kunststoffdispersion	Dispersionsgebundener Strukturputz	--
13	Physikalische Kennwerte: W: $\leq 0,2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ $S_d: 0,04 \text{ m}$ Dichte: $1,0 \text{ g}/\text{cm}^3$ Bindemittel: - Zement - Kalk		Physikalische Kennwerte (Putz): W: $< 0,2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ $S_d: < 0,14 \text{ m}$ Dichte: $1,8 \text{ g}/\text{cm}^3$	Dispersions-Silikatfarbe Physikalische Kennwerte: W: $\leq 0,09 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ $S_d: 0,01 \text{ m}$ Dichte: $1,44 \text{ g}/\text{cm}^3$
14				Silikonharzfarbe Physikalische Kennwerte: W: $\leq 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ $S_d: < 0,14 \text{ m}$ Dichte: $1,5 \text{ g}/\text{cm}^3$
15				Dispersionsfarbe Physikalische Kennwerte: W: $> 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ $S_d: < 0,14 \text{ m}$ Dichte: ca. $1,5 \text{ g}/\text{cm}^3$

Varianten blau: mit Blauem Engel / Varianten schwarz: bisher ohne Blauen Engel

Vorbereitung der Proben

Das von den Herstellern zur Verfügung gestellte Material war auf Polystyrolplatten aufgetragen. Für die Untersuchung wurden je 5 Prüfkörper ($10 \times 10 \text{ cm}^2$) zugeschnitten, von den Polystyrolplatten getrennt und einer Vorbehandlung unterzogen. Dafür werden die Proben dreimal für 24 Stunden gewässert und für 24 Stunden getrocknet (bei 40°C mit trockener Umluft). Über das Wochenende und vor Versuchsbeginn werden die Proben im Klimaraum bei 23°C und 50 % gelagert. Die Putzproben werden rückseitig mit Alufolie abgedichtet und mit Wärmeleitpaste an der Rückwand der Schnellbewitterungskammer angebracht (Abbildung 28), um einen thermisch optimalen Kontakt zu ermöglichen.

Abbildung 28: Aufbringen der Leitpaste auf der Rückseite der Prüfkörper



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

8.1.3 Versuchsdurchführung

Im Gegensatz zu den natürlichen Verhältnissen im Freiland müssen in der Schnellbewitterungskammer die Mikroorganismen auf die Beschichtungsproben aufgebracht werden. Die Applikation der Organismen erfolgt unter Einhaltung der hygienischen Anforderungen, d.h. durch das Tragen geeigneter Schutzausrüstung. Dazu wird eine wässrige Suspension, die besonders häufige bauteilrelevante Pilz- und Algenspezies aus der institutseigenen Sammlung enthält, mittels Pinsel aufgetragen.

Die Keimsuspension enthält folgende Prüforganismen:

Pilze

Ulocladium chartarum HOKI F 304

Alternaria alternata HOKI F 303

Cladosporium herbarum HOKI F 242

Epicoccum purpurascens HOKI F 224

Phoma herbarum HOKI F 306

Algen

Diplosphaera chodatii HOKI A 315

Stichococcus bacillaris HOKI A 281

Chlorella trebouxioides HOKI A 39

Abhängig von den Eigenschaften der Beschichtung können sich die Mikroorganismen schneller oder langsamer bzw. in unterschiedlichen Mustern entwickeln. Die Beimpfung der Proben erfolgt 5-mal regelmäßig im Abstand von jeweils 2 Wochen, wobei die erste Beimpfung nach dem ersten Regenereignis erfolgt.

Die Prüfkörper werden nach dem Zufallsprinzip in der Schnellbewitterungskammer angeordnet. Jeweils eine Parallele wird nicht beimpft und dient als Kontrollvariante.

Die Versuchsdauer beträgt 15 Wochen, der Versuchsaufbau wird regelmäßig kontrolliert, die Aufwuchsaufnahme wird zweimal wöchentlich durchgeführt.

Zur quantitativen Erfassung des Aufwuchses wird eine bereits am IBP entwickelte visuelle Bewertungsskala (Künzel et al., 2011) in modifizierter Form verwendet (siehe Tabelle 37). Im unteren Bereich der Skala, Stufe 1 bis 3 (sehr schwach bis mäßig), wird nach dieser Skala stärker differenziert, um auch kleine Unterschiede bei der Untersuchung erfassen zu können. Hier werden einzelne punktuelle Verschmutzungen, die mit bloßem Auge gerade noch wahrnehmbar sind, berücksichtigt. In den höheren Bewertungsklassen folgt die Skalierung im Wesentlichen dem „Deckungsgrad“ des Aufwuchses. Zu Beanstandungen kann es erfahrungsgemäß ab den Bewertungsstufen 3 - 5 kommen. Daher wurde die Bewertungsstufe 3 grafisch durch eine gestrichelte Linie zusätzlich hervorgehoben (niedrigster Aufwuchsbereich, ab dem es bereits zu Beanstandungen kommen könnte).

Tabelle 37: Aufnahmeskala zur visuellen Bewertung des Prüfkörperaufwuchses

Bewertung	Bedeutung
10	Sehr stark, Fläche fast durchgehend bewachsen, über 87,5% bis die gesamte Fläche sind von deutlichem Aufwuchs bzw. Verschmutzung bedeckt
9	Stark bis sehr stark, über 75% bis 87,5% der Fläche zeigen Aufwuchs bzw. Verschmutzung
8	Starke(r) Aufwuchs/Verschmutzung, über 62,5% bis 75% der untersuchten Oberfläche sind bewachsen bzw. verschmutzt
7	Deutlich bis stark, über 50% bis 62,5% der Aufnahmefläche sind von Aufwuchs und/oder Verschmutzung betroffen
6	Aufwuchs/Verschmutzung deutlich, über 37,5% bis 50% der Oberfläche sind bewachsen oder verschmutzt
5	Aufwuchs/Verschmutzung mäßig bis deutlich, über 25% bis 37,5% sind insgesamt verschmutzt oder bewachsen
4	Zahlreiche Punkte bzw. schütttere Flecken, gesamt über 5% bis 25% von Aufwuchs und Verschmutzung betroffen
3	Einige Punkte bzw. schütttere Flecken, Gesamtausdehnung bis 5 %
2	2 bis wenige deutliche Punkte und / oder blasse – schütttere Flecken bzw. Ablaufspuren (gesamte Ausdehnung deutlich unter 5 %)
1	Nur 1 bis 3 kleine Punkte
0	Visuell kein Befall zu erkennen

Quelle: Künzel et al. (2011)

Der Ausgangs-pH Wert und eine Emissionsmessung waren nicht Teil der Untersuchung. Eine Infrarotemission dürfte eher weniger relevant sein, da nur einheitlich weiße Oberflächen und keine speziell reflektierenden Farben untersucht wurden.

8.1.4 Ergebnisse

Aufwuchsverlauf und Fotodokumentation

In Abbildung 29 bis Abbildung 58 sind die Aufwuchsverläufe auf den Prüfkörpern sowie der Endzustand der Oberflächen nach den 100 Tagen (1. Lauf) bzw. 97 Tagen (2. Lauf) dargestellt. Die x-Achse der Diagramme zeigt dabei die Versuchslaufzeit, die y-Achse die Bewertung des Prüfkörperaufwuchses. Ein Balken entspricht dabei dem Durchschnitt der Bewertungen der 4 Parallelen. Bewertet wurde der optische Eindruck, d.h. es sind sowohl Pilzwachstum als auch Algenwachstum mit in die Bewertung eingeflossen. Die gestrichelte Linie ist analog zur Linie in der Bewertungsskala eingezeichnet.

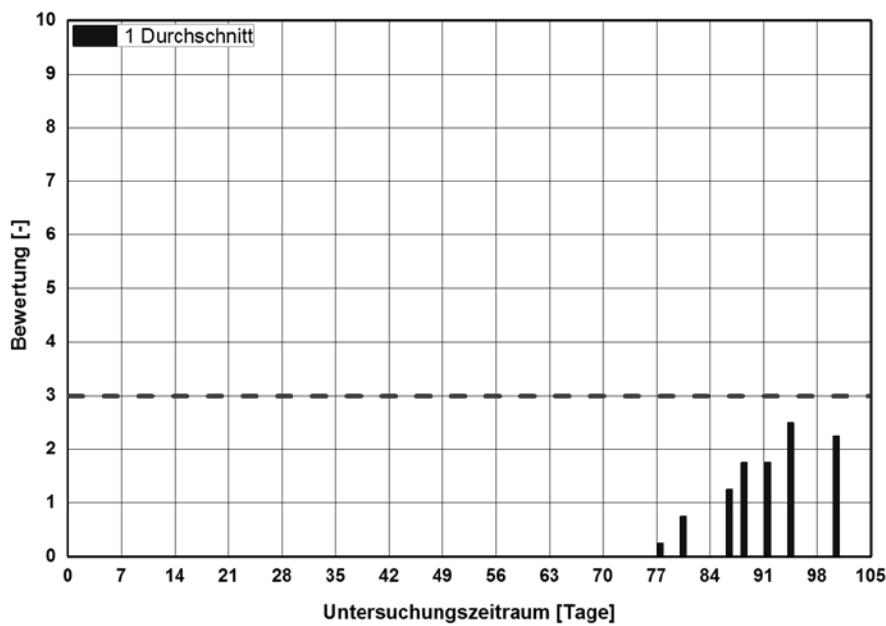
Bei Aufwuchsverläufen von Freilandbewitterungen kann häufig eine Stagnation oder sogar Rückgang des Aufwuchses im Sommer und/oder Winter in Form eines wellenförmigen Anstiegs beobachtet werden. Im Versuch werden durch die Simulation eines „Dauer-Herbstes“ die sommerliche bzw. winterliche Abtrocknung und ein damit evtl. einhergehender Rückgang des Aufwuchses nicht berücksichtigt, um eine Beschleunigung der Entwicklung zu erhalten. Es zeigt sich bei den Verläufen daher nicht der typische wellenförmige, sondern ein eher kontinuierlicher Anstieg.

Nach Ende der Schnellbewitterung ist der Aufwuchs auf der Variante 1 mit weniger als Stufe 3 zu bewerten. Es sind nur wenige kleine Punkte zu sehen. Auf den Prüfkörpern der Variante 2 übersteigt der Aufwuchs nach Ende der Schnellbewitterung gerade mal die Stufe 5. Der Aufwuchs ist mäßig bis deutlich. Die Prüfkörper der Variante 3 zeigen nach Ablauf der Versuchslaufzeit zahlreiche Punkte und einige schütttere Flecken. Die Bewertung überschreitet knapp die Stufe 4. Variante 4 zeigt lange nur einige Punkte, bevor sie gegen Ende der Versuchslaufzeit doch noch schütttere Flecken zeigt und knapp die Bewertungsstufe 3 überschreitet. Der Aufwuchs auf den Prüfkörpern der Variante 5 zeigen deutlichen Aufwuchs zum Ende des Versuchs. Die Bewertung überschreitet nach Ende der Schnellbewitterung die Stufe 6. Der Aufwuchs auf den Prüfkörpern der Variante 6 ist mäßig bis deutlich und erreicht zum Ende des Versuchs gerade die Stufe 5. Auf den Prüfkörpern der Variante 7 unterliegt der Aufwuchs gegen Ende des Versuchs geringen Schwankungen, es bleibt aber mäßig bzw. bei schütteten Flecken und überschreitet die Stufe 5 nicht. Variante 8 zeigt einen mäßigen bis deutlichen Aufwuchs, überschreitet aber die Bewertungsstufe 6 auch nach Ende der Schnellbewitterung nicht. Auf Variante 9 zeigen sich lange Zeit nur kleine Pünktchen. Erst kurz vor Ende des Versuchs werden sie zahlreicher bzw. zu schütteten Flecken und die Bewertung erreicht Stufe 4. Die Prüfkörper der Varianten 10, 11 und 12 zeigen ebenfalls lange nur einzelne Pünktchen. Gegen Ende der Schnellbewitterung gibt es hier nur noch einen geringen Anstieg, der unter der Bewertungsstufe 3 bleibt. Die Prüfkörper der Variante 13 zeigen schon im Verlauf des Versuchs einen starken Aufwuchs. Die Bewertung steigt nach Ende der Schnellbewitterung über die Stufe 7. Auf den Prüfkörpern der Varianten 14 und 15 sind selbst zum Versuchsende hin nur einzelne kleine Pünktchen zu erkennen, die Bewertungsstufe 3 wird nicht überschritten.

Während für den allgemeinen Aufwuchs kontinuierliche Aufzeichnungen gemacht wurden, wurde der Algenaufwuchs im Speziellen erst nach Abschluss der Versuche abschließend bewertet, da dazu die Prüfkörper unter dem Stereomikroskop untersucht werden mussten. Dies wäre während des Versuchs nicht möglich gewesen, ohne den Prüfkörper aus der Kammer zu entnehmen und damit seine Umweltbedingungen längerfristig zu unterbrechen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 59 dargestellt.

Allgemein kann festgehalten werden, dass die 4 Parallelen jeweils sehr konsistent bewertet werden konnten, es gab höchstens Abweichungen in der Bewertung um eine Bewertungsstufe nach oben oder nach unten.

Abbildung 29: Aufwuchsverlauf auf Variante 1 (Silikonharzputz ohne Anstrich)

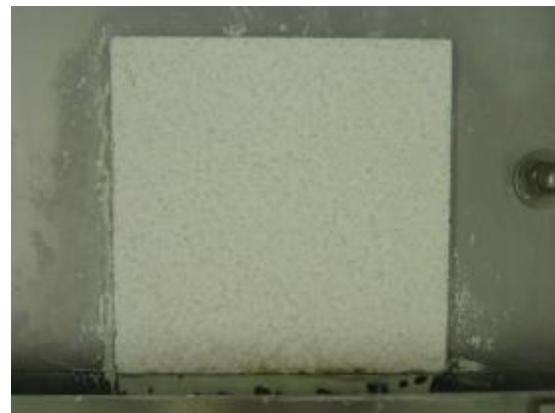


Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

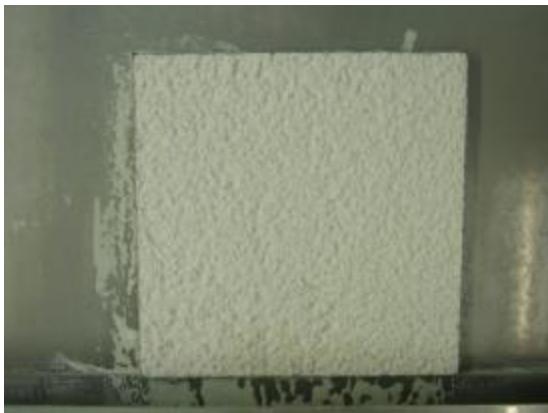
Abbildung 30: die 4 Parallelen der Variante 1 (Silikonharzputz ohne Anstrich) zum Ende der Versuchslaufzeit



1.6



1.7



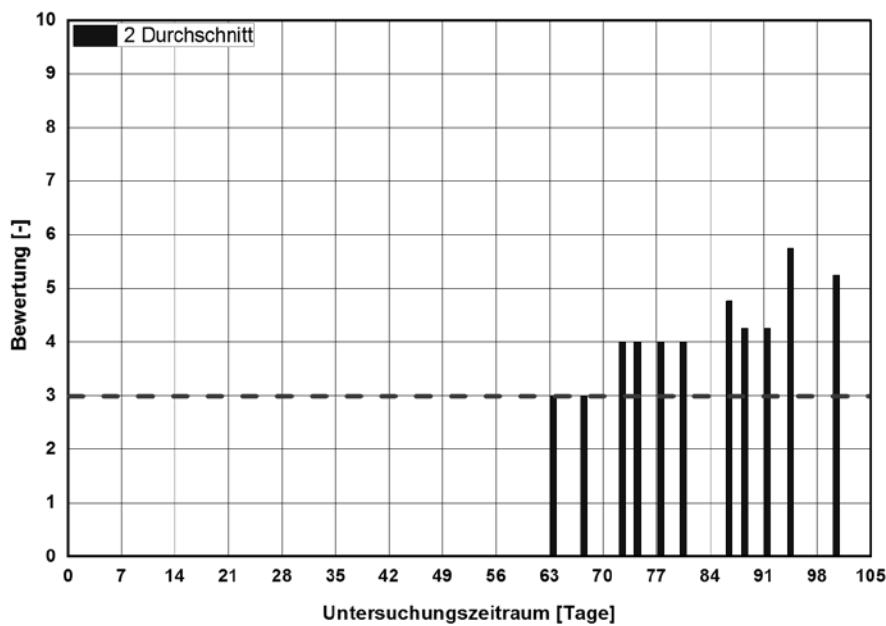
1.9



1.10

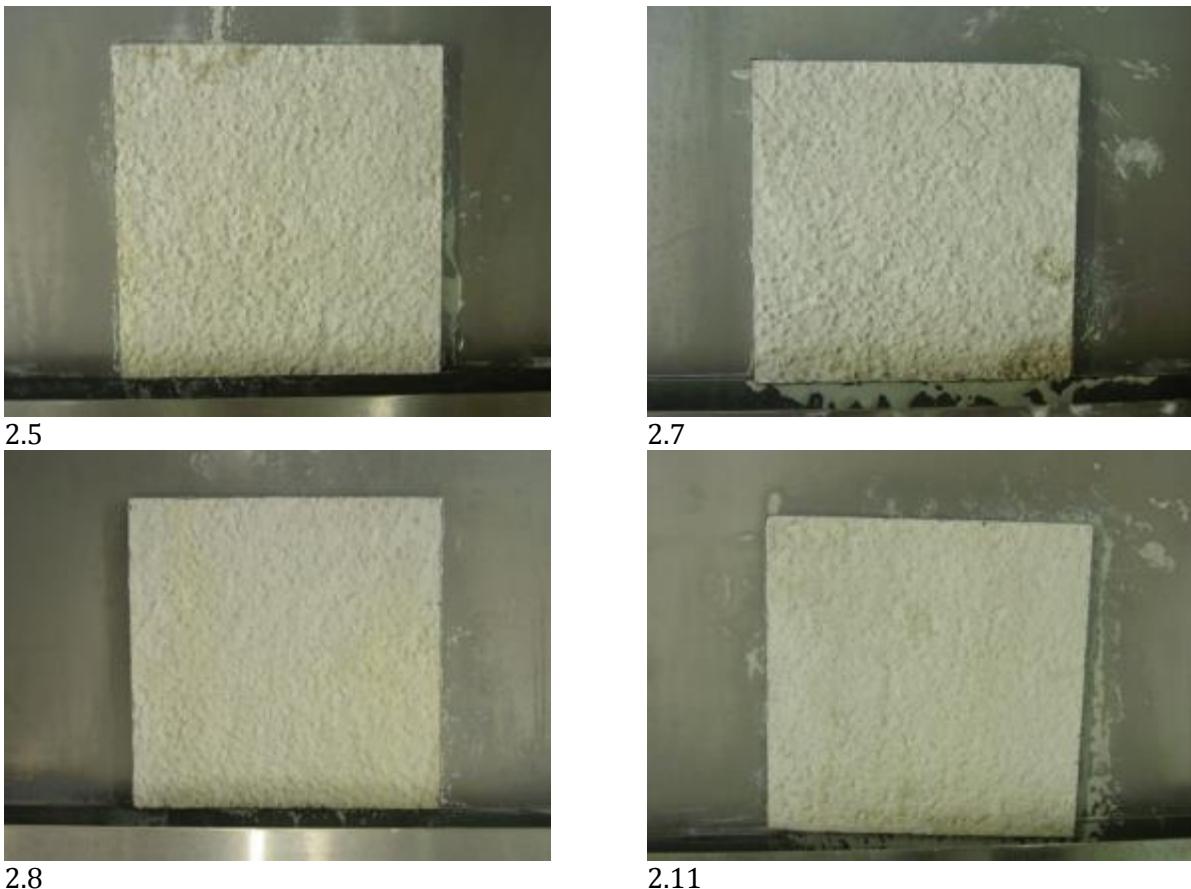
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 31: Aufwuchsverlauf auf Variante 2 (Silikonharzputz mit Kieselsol-Silikatfarbe)



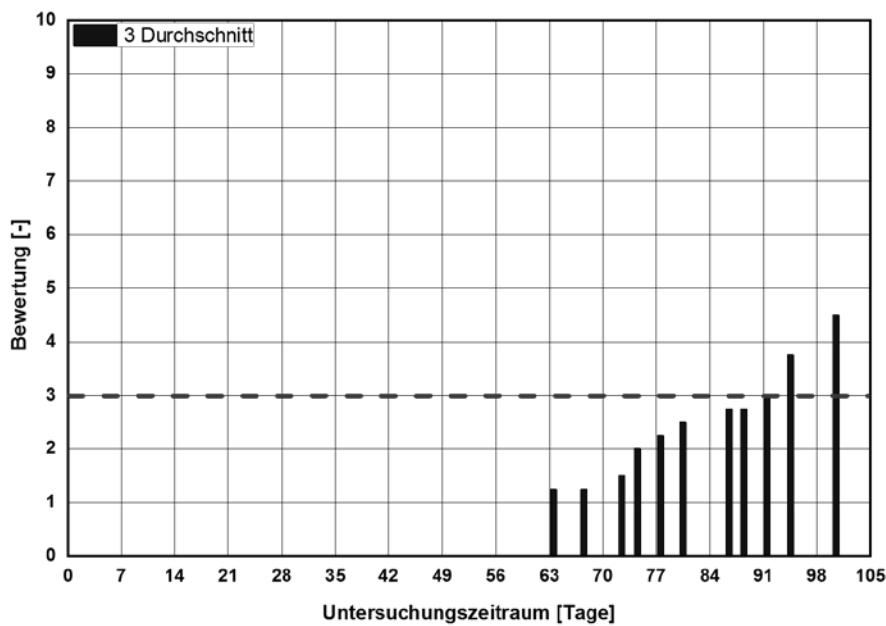
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 32: die 4 Parallelen der Variante 2 (Silikonharzputz mit Kieselsol-Silikatfarbe) zum Ende der Versuchslaufzeit



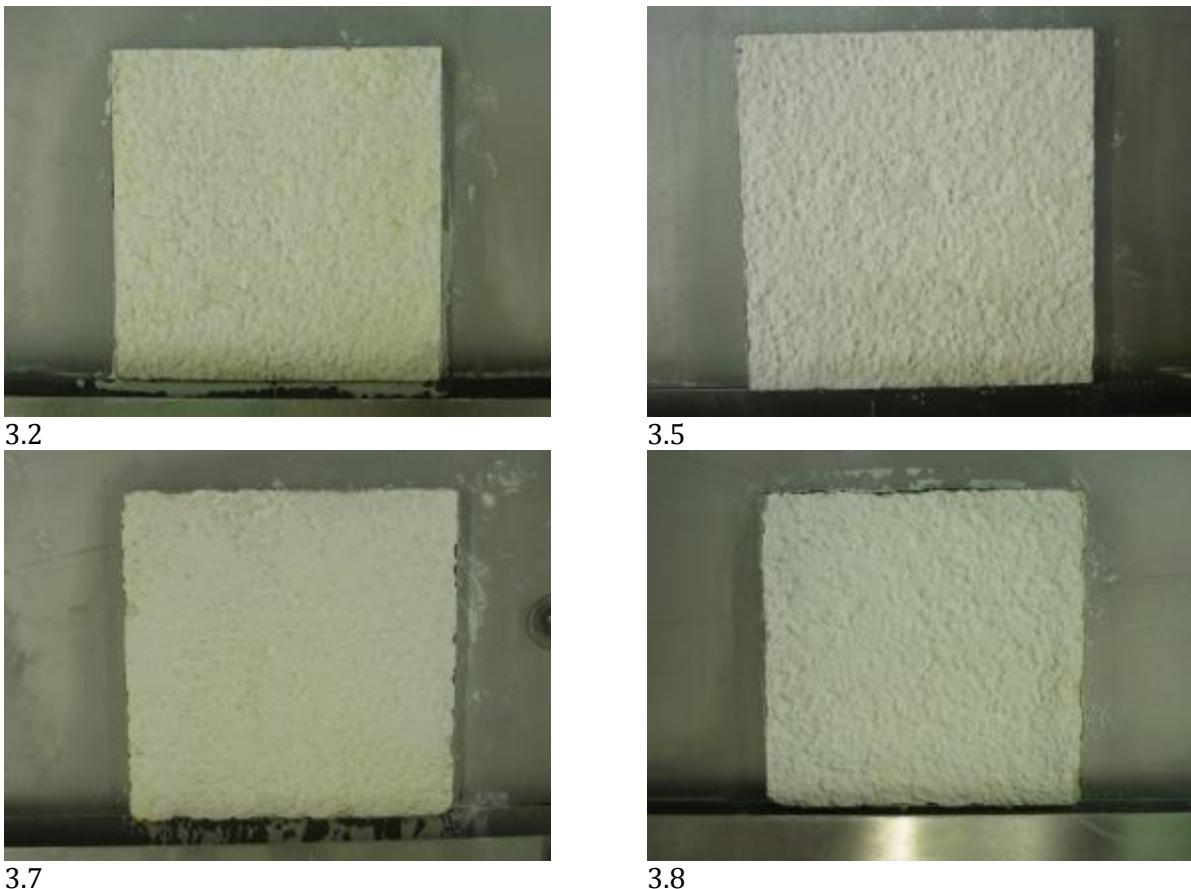
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 33: Aufwuchsverlauf auf Variante 3 (Silikonharzputz mit ultrahydrophober Farbe)



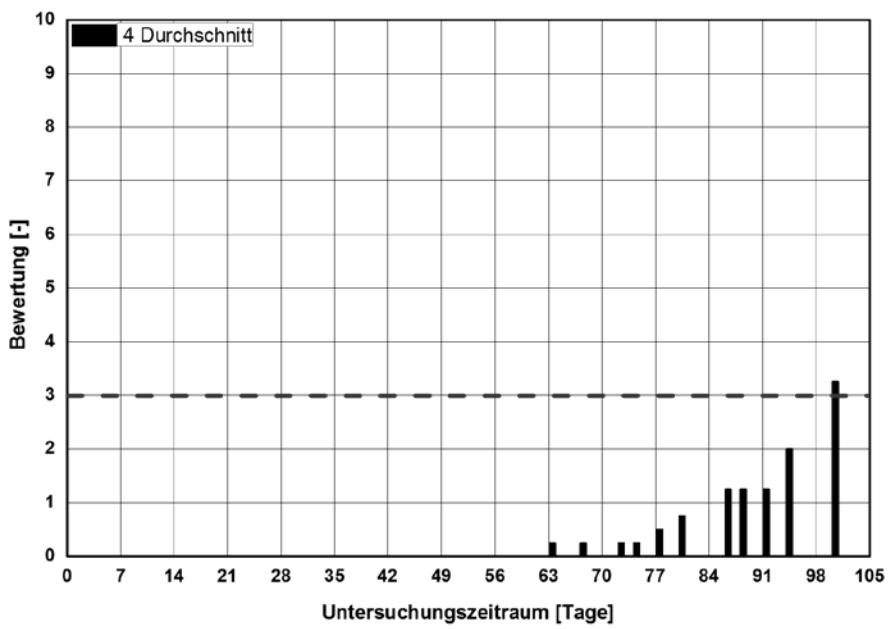
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 34: die 4 Parallelen der Variante 3 (Silikonharzputz mit ultrahydrophober Farbe) zum Ende der Versuchslaufzeit



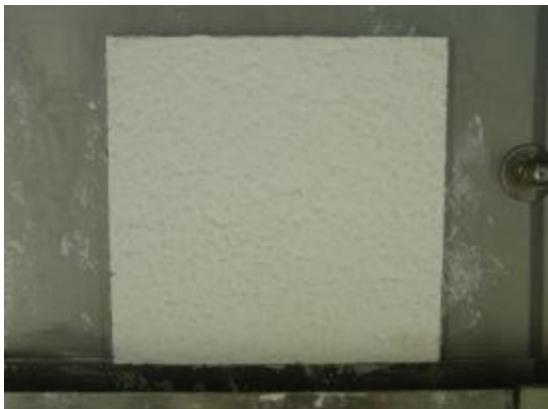
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 35: Aufwuchsverlauf auf Variante 4 (Silikonharzputz mit Farbe mit bionischem Wirkprinzip)



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 36: die 4 Parallelen der Variante 4 (Silikonharzputz mit Farbe mit bionischem Wirkprinzip) zum Ende der Versuchslaufzeit



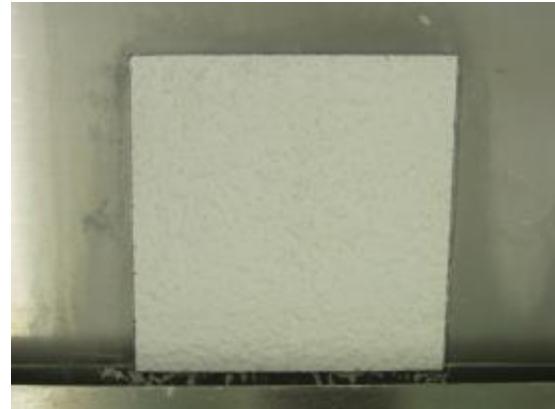
4.2



4.3



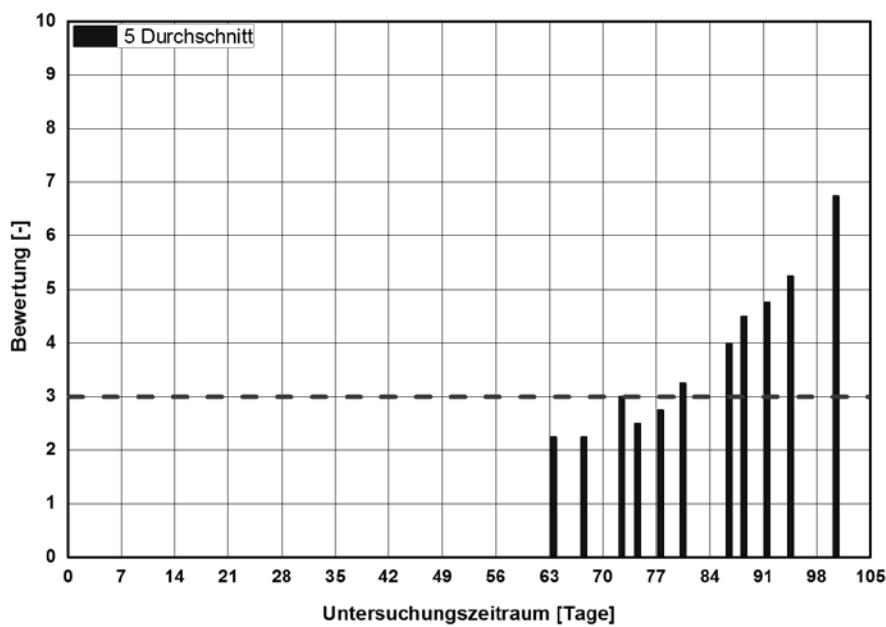
4.7



4.9

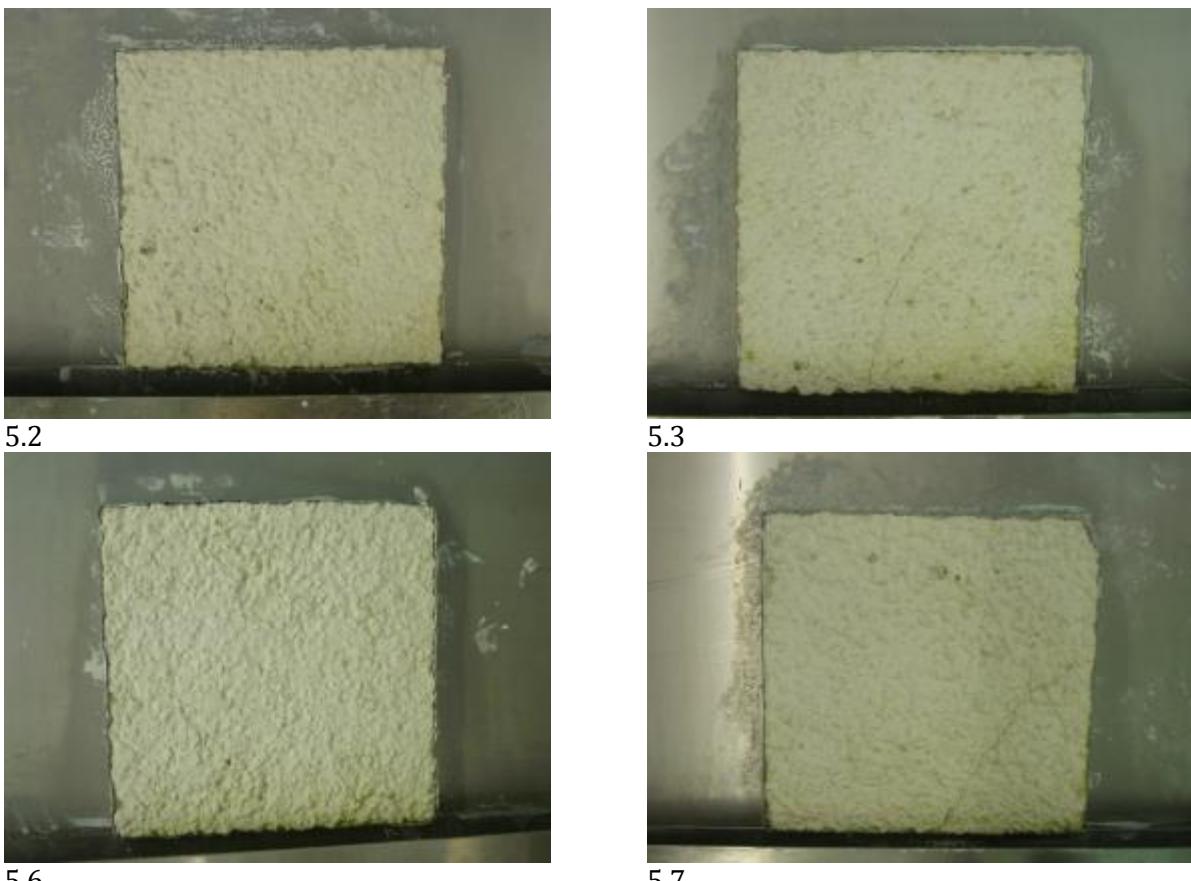
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 37: Aufwuchsverlauf auf Variante 5 (mineralischer Putz ohne Anstrich)



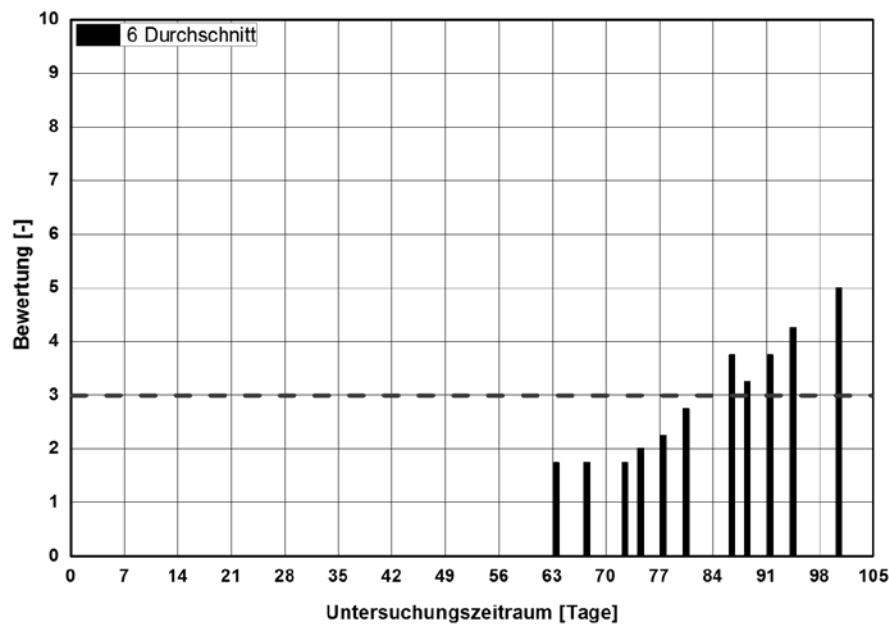
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 38: die 4 Parallelen der Variante 5 (mineralischer Putz ohne Anstrich) zum Ende der Versuchslaufzeit



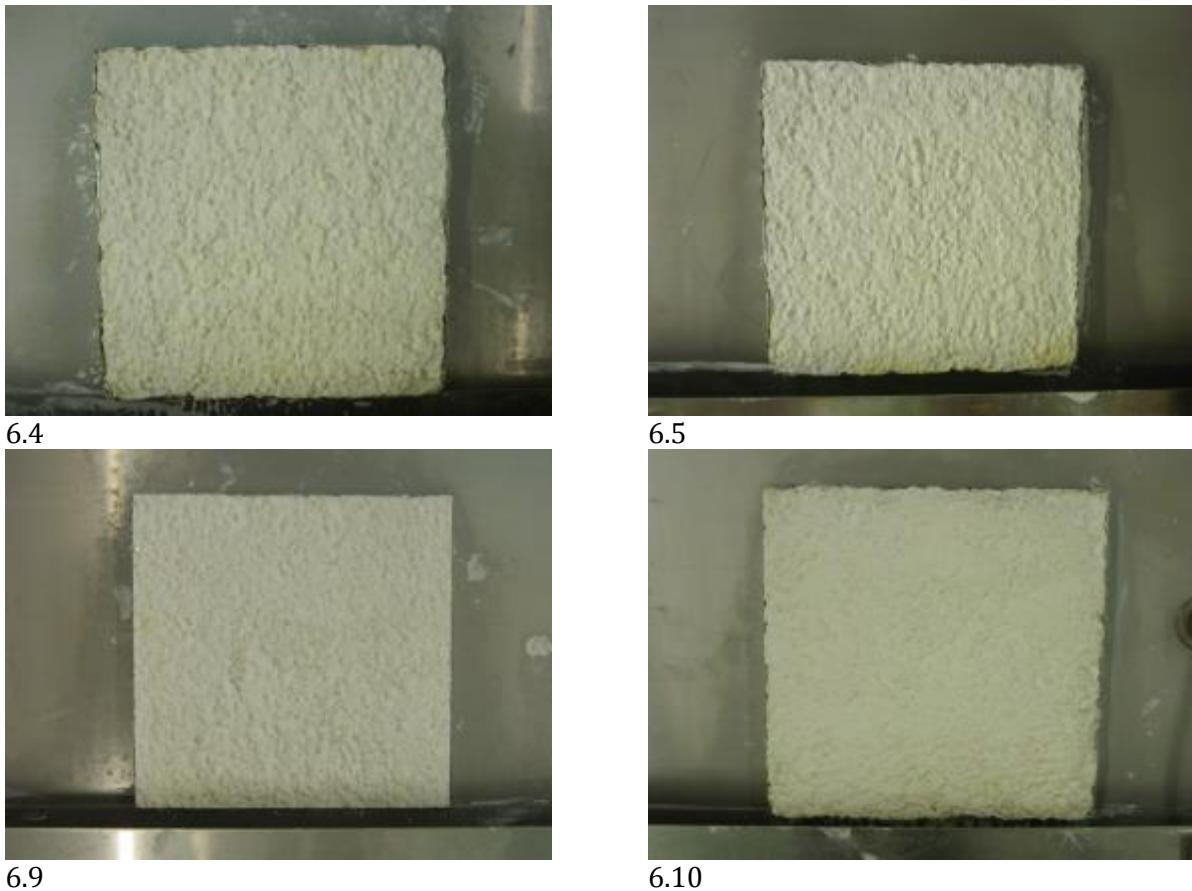
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 39: Aufwuchsverlauf auf Variante 6 (mineralischer Putz mit Silikonharzfarbe)



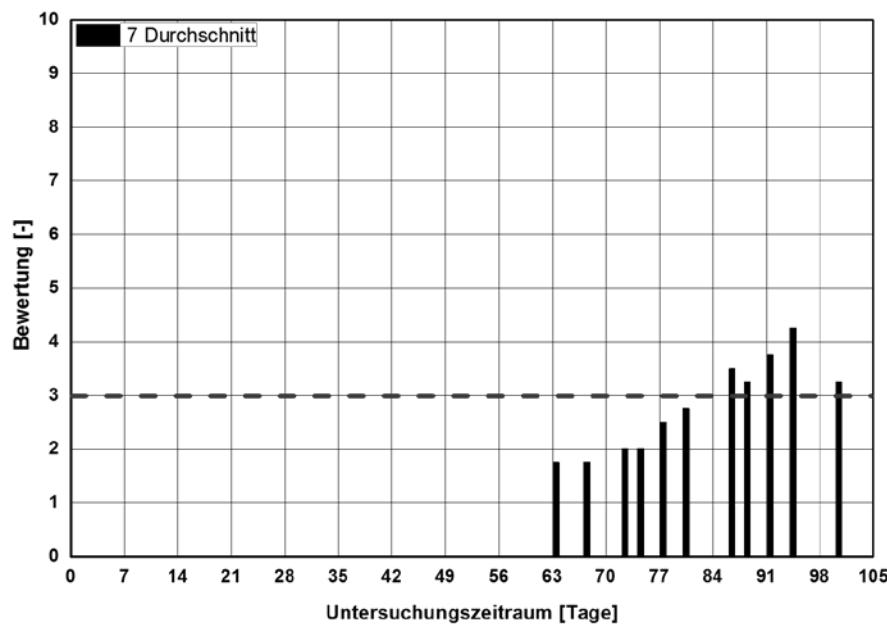
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 40: die 4 Parallelen der Variante 6 (mineralischer Putz mit Silikonharzfarbe) zum Ende der Versuchslaufzeit



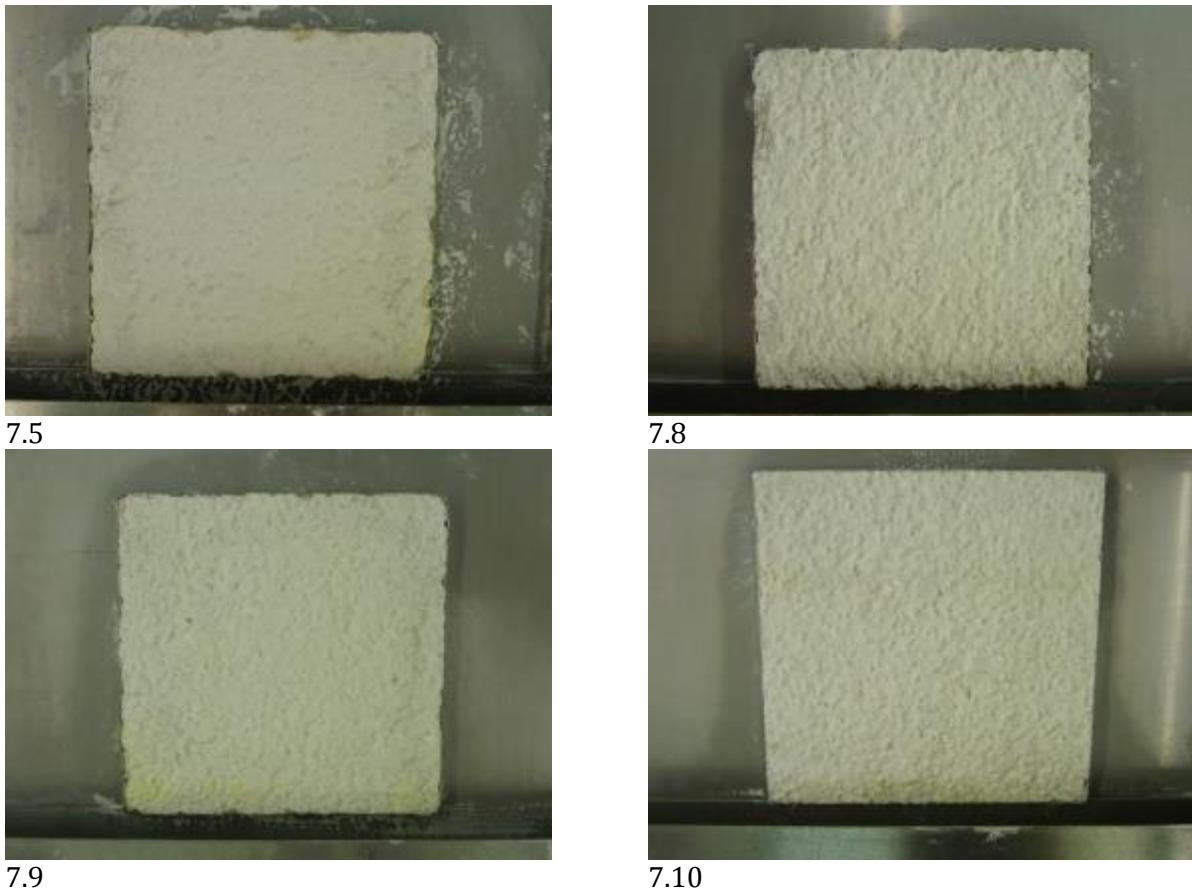
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 41: Aufwuchsverlauf auf Variante 7 (mineralischer Putz mit Dispersionsfarbe)



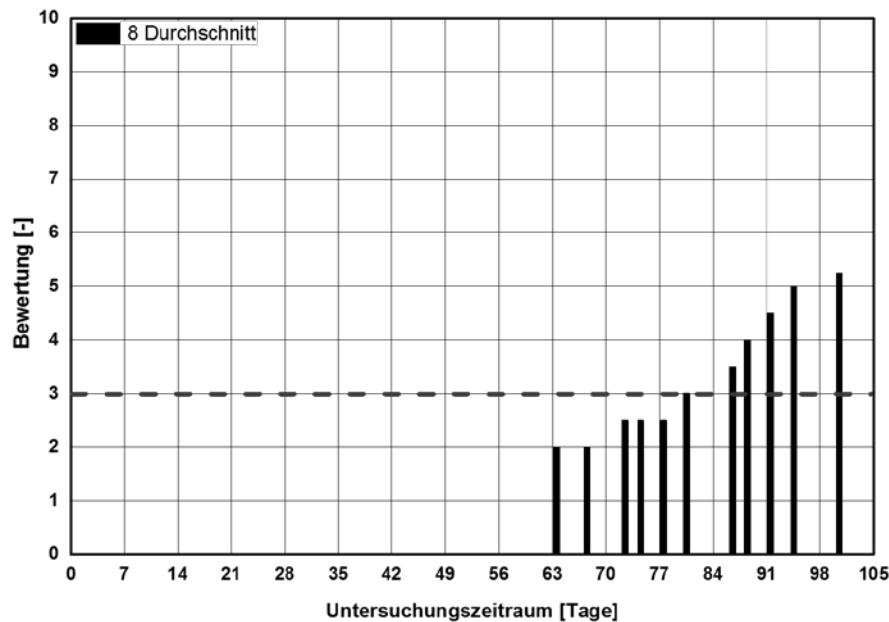
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 42: die 4 Parallelen der Variante 7 (mineralischer Putz mit Dispersionsfarbe) zum Ende der Versuchslaufzeit



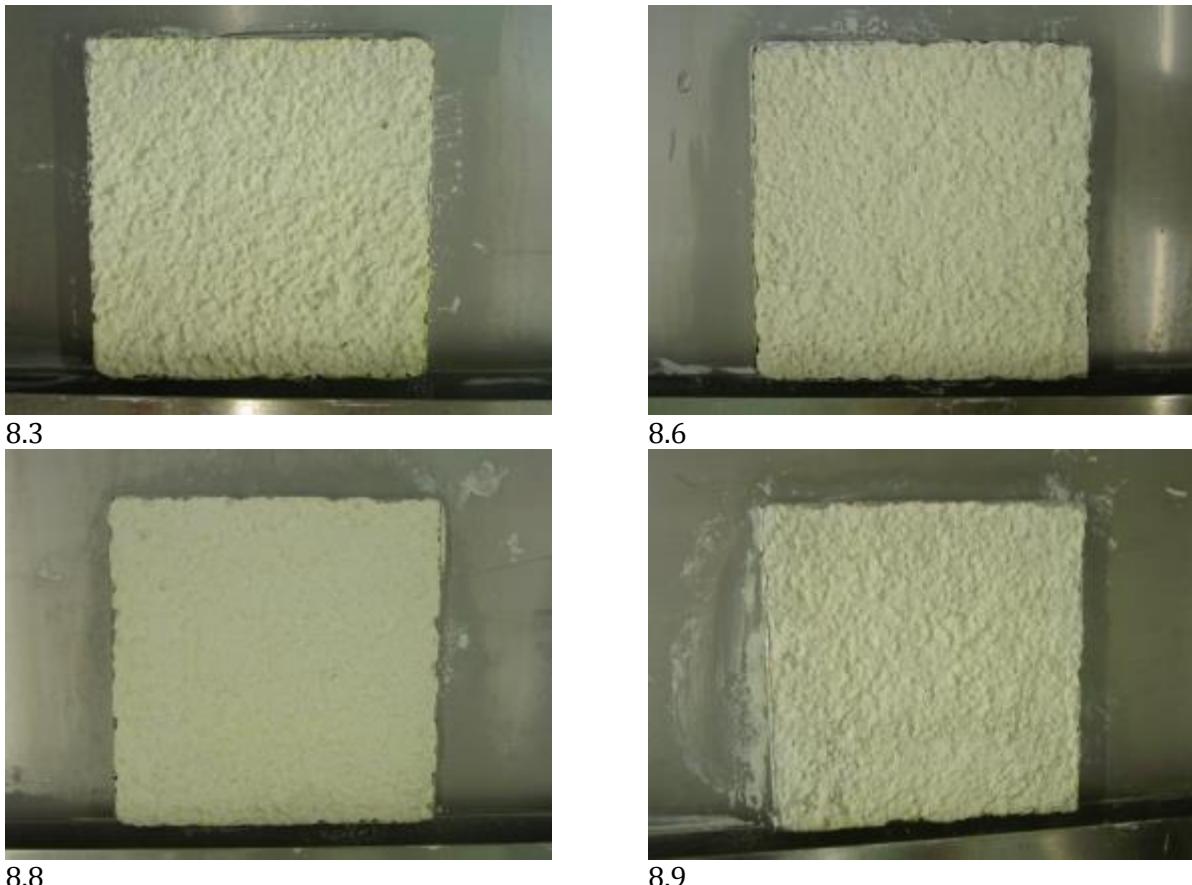
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 43: Aufwuchsverlauf auf Variante 8 (mineralischer Putz mit silikatischer Fassadenfarbe auf Kaliwasserglasbasis)



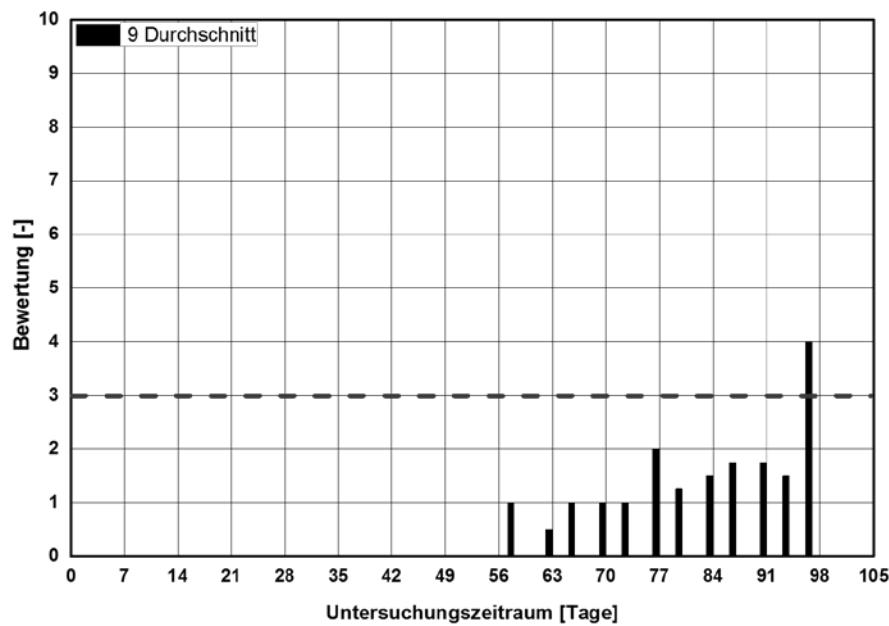
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 44: die 4 Parallelen der Variante 8 (mineralischer Putz mit silikatischer Fassadenfarbe auf Kaliwasserglasbasis) zum Ende der Versuchslaufzeit



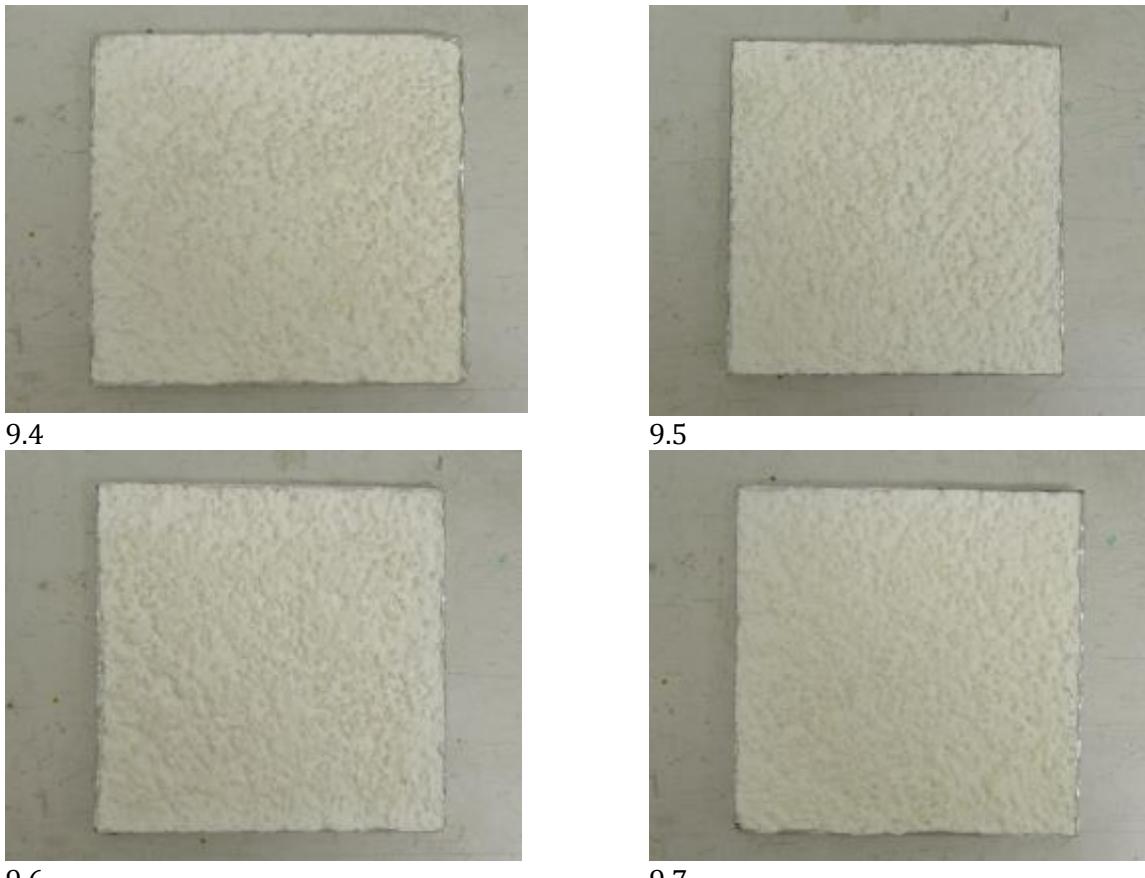
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 45: Aufwuchsverlauf auf Variante 9 (Dispersions-Silikatputz ohne Anstrich)



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 46: die 4 Parallelen der Variante 9 (Dispersions-Silikatputz ohne Anstrich) zum Ende der Versuchslaufzeit

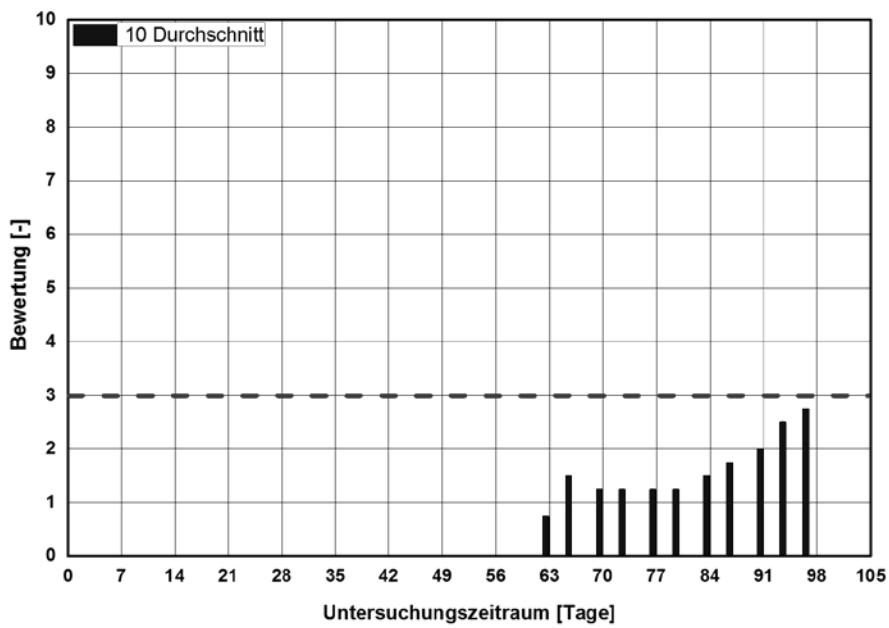


9.6

9.7

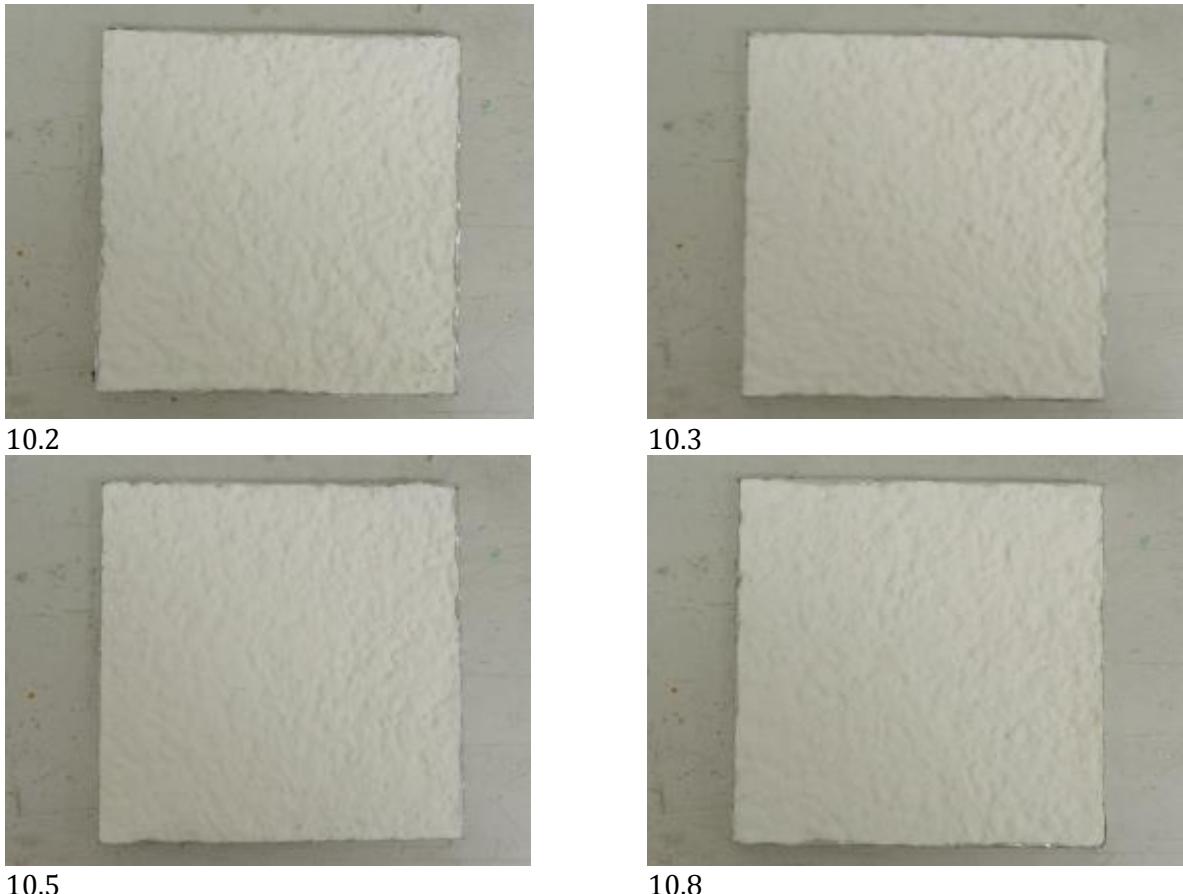
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 47: Aufwuchsverlauf auf Variante 10 (Dispersions-Silikatputz mit Kieselsol-Silikatfarbe)



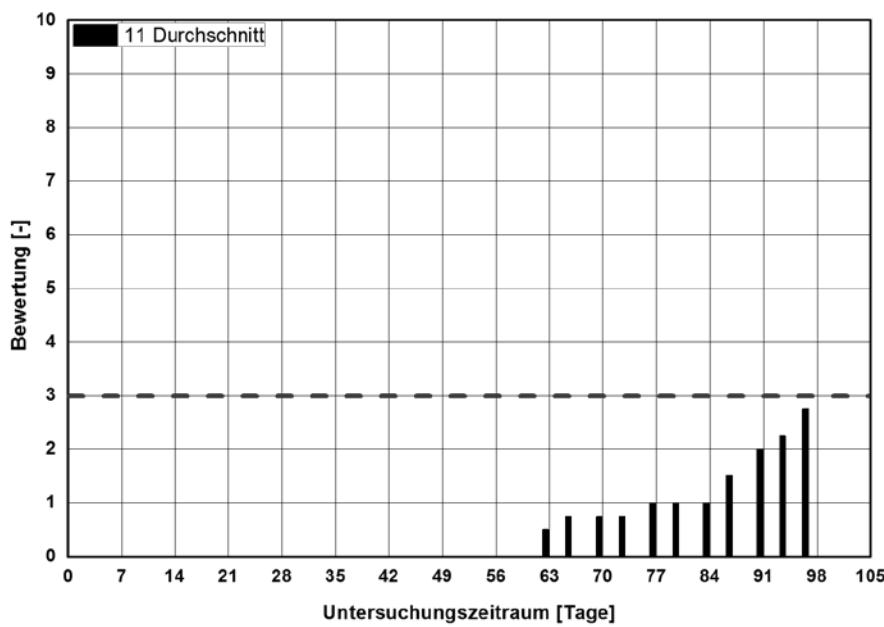
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 48: die 4 Parallelen der Variante 10 (Dispersions-Silikatputz mit Kieselsol-Silikatfarbe) zum Ende der Versuchslaufzeit



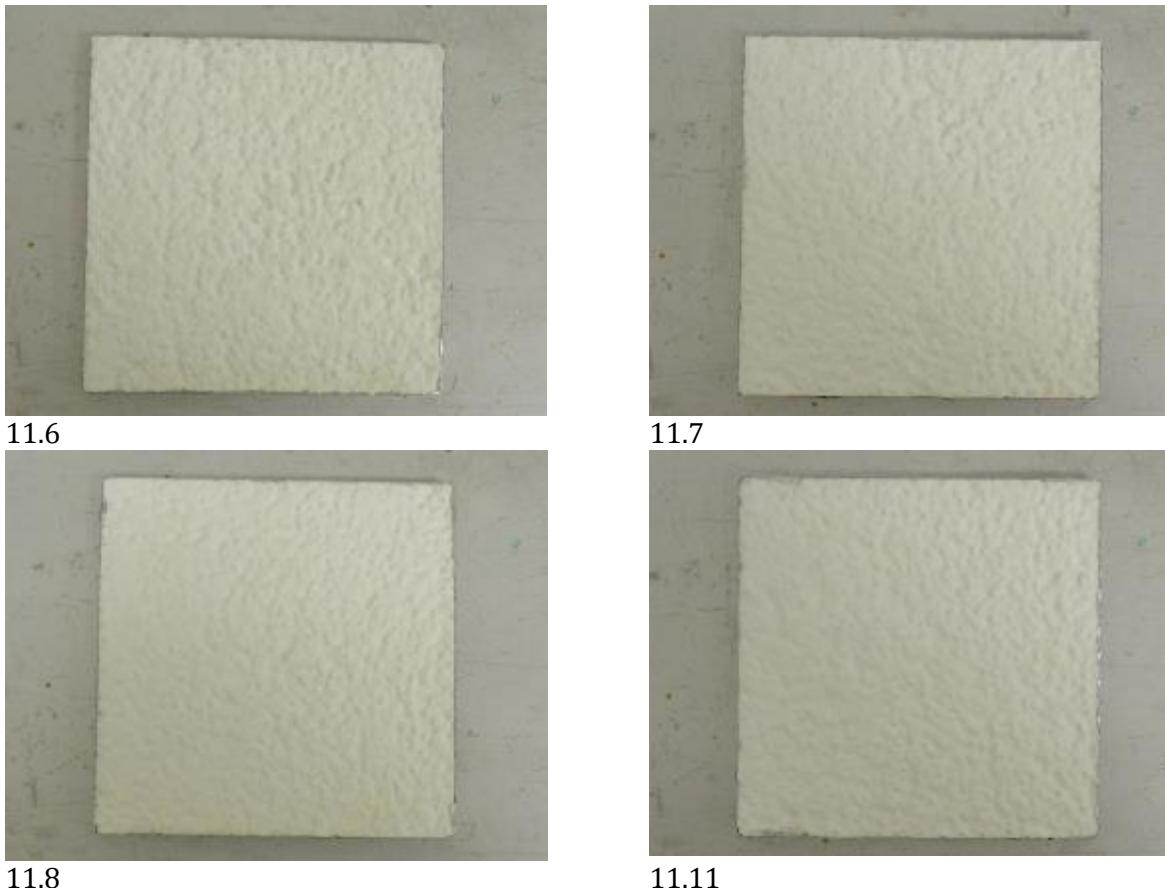
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 49: Aufwuchsverlauf auf Variante 11 (Dispersionssilikatputz mit Dispersions-Silikatfarbe)



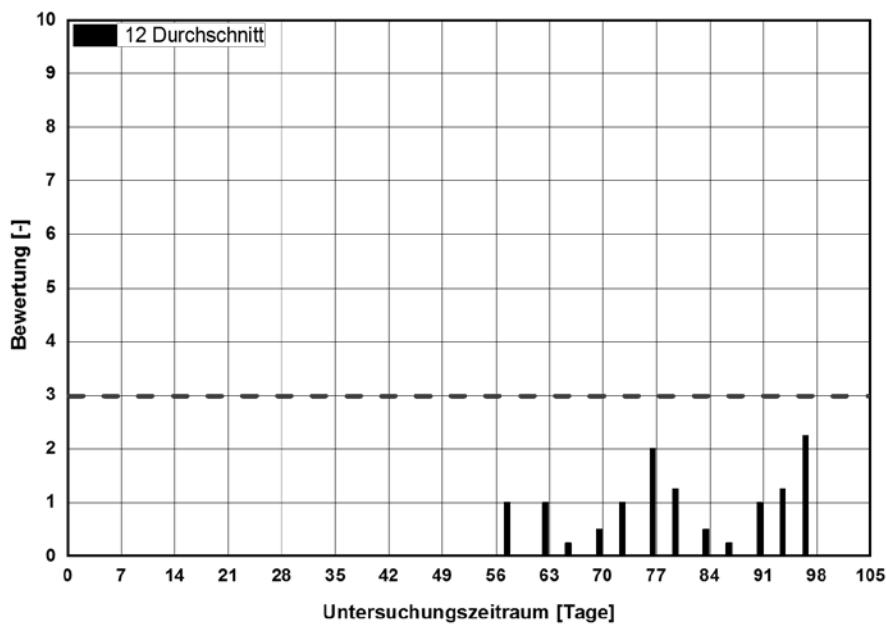
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 50: die 4 Parallelen der Variante 11 (Dispersionssilikatputz mit Dispersions-Silikatfarbe) zum Ende der Versuchslaufzeit



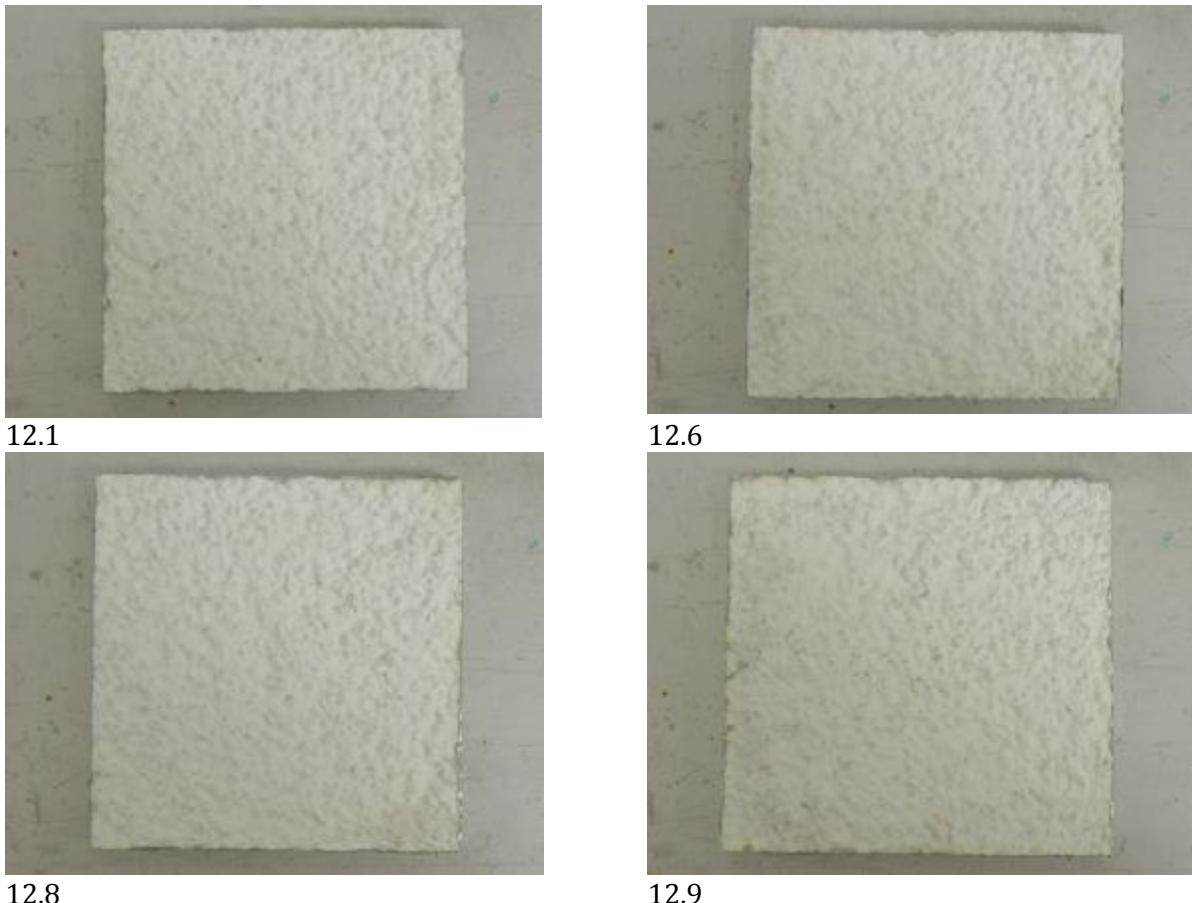
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 51: Aufwuchsverlauf auf Variante 12 (silikatischer Putz ohne Anstrich)



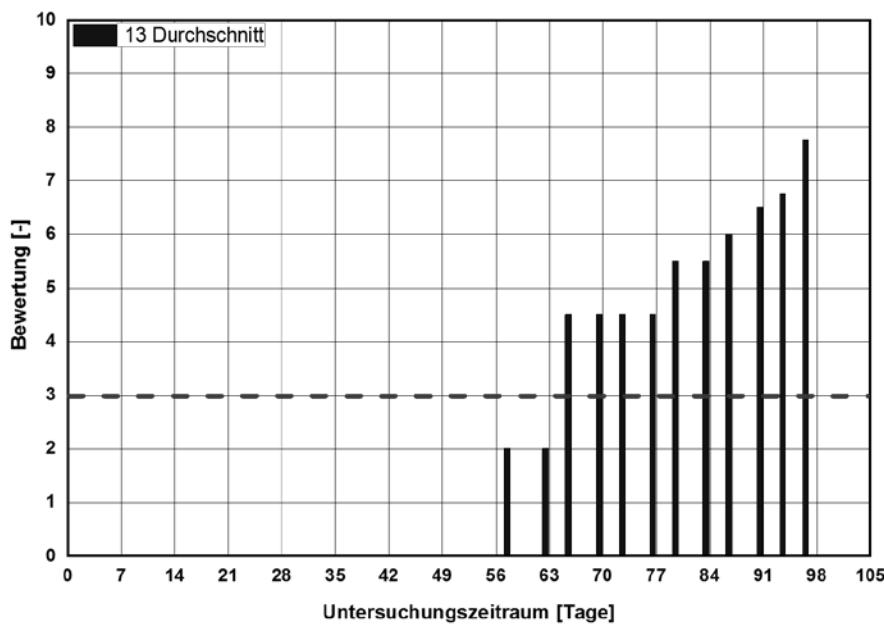
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 52: die 4 Parallelten der Variante 12 (silikatischer Putz ohne Anstrich) zum Ende der Versuchslaufzeit



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 53: Aufwuchsverlauf auf Variante 13 (silikatischer Putz mit Dispersions-Silikatfarbe)



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 54: die 4 Parallelten der Variante 13 (silikatischer Putz mit Dispersions-Silikatfarbe) zum Ende der Versuchslaufzeit

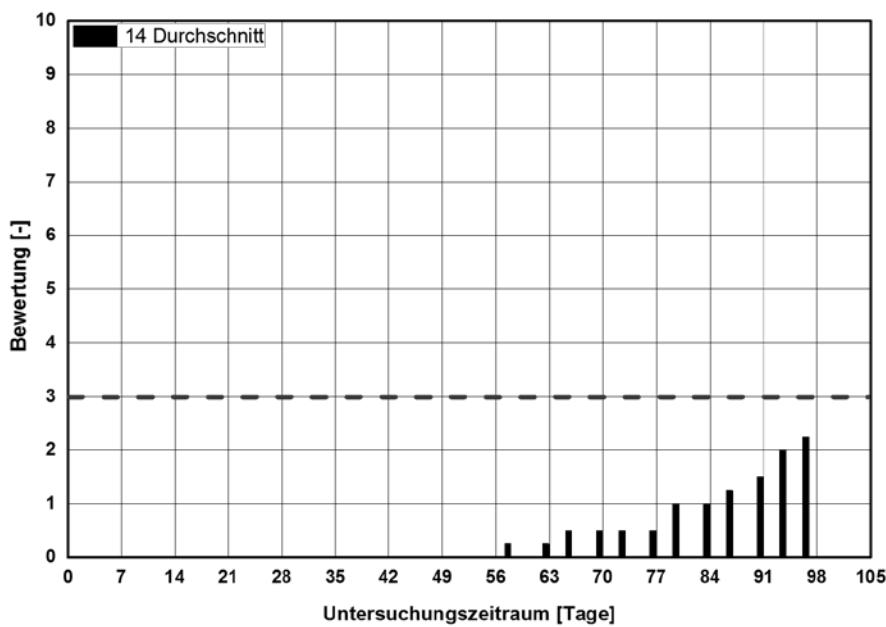


13.4

13.10

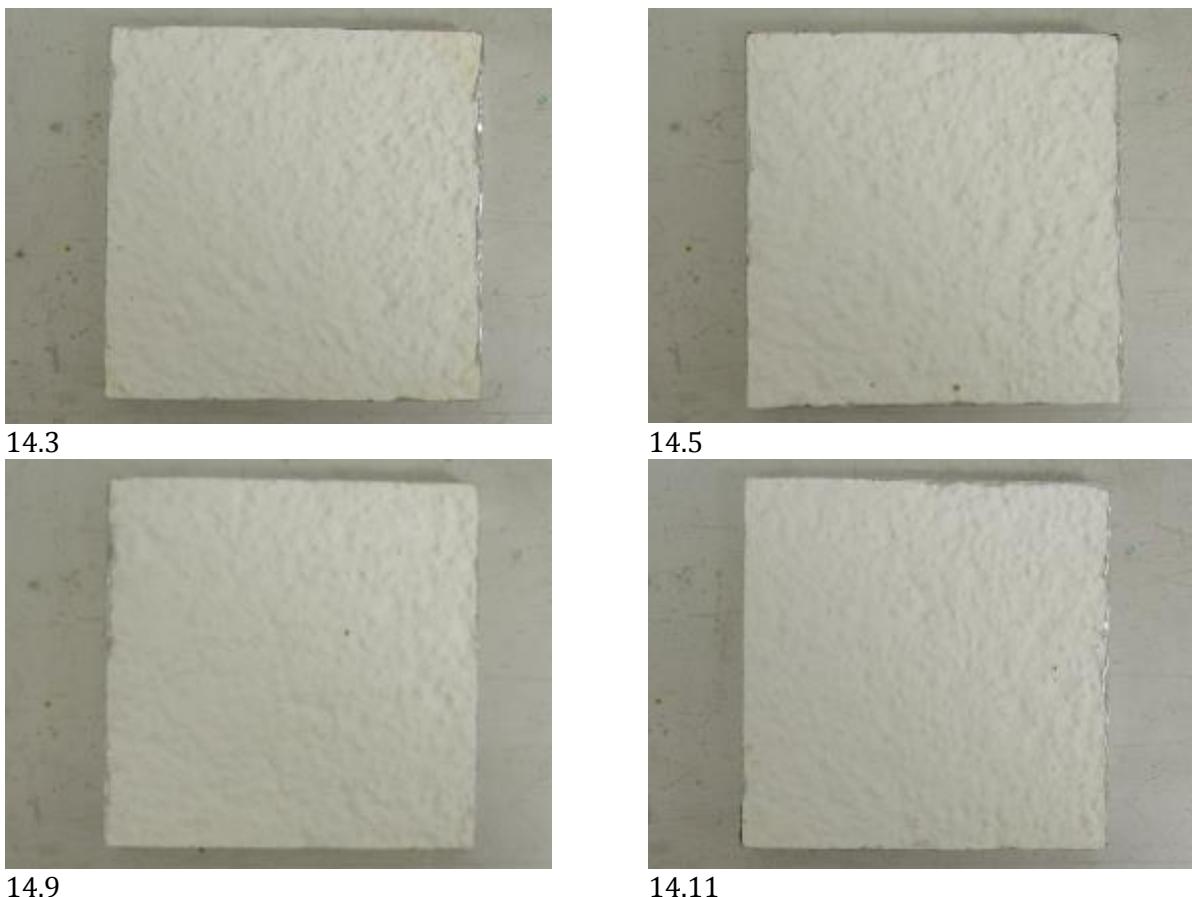
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 55: Aufwuchsverlauf auf Variante 14 (silikatischer Putz mit Silikonharzfarbe)



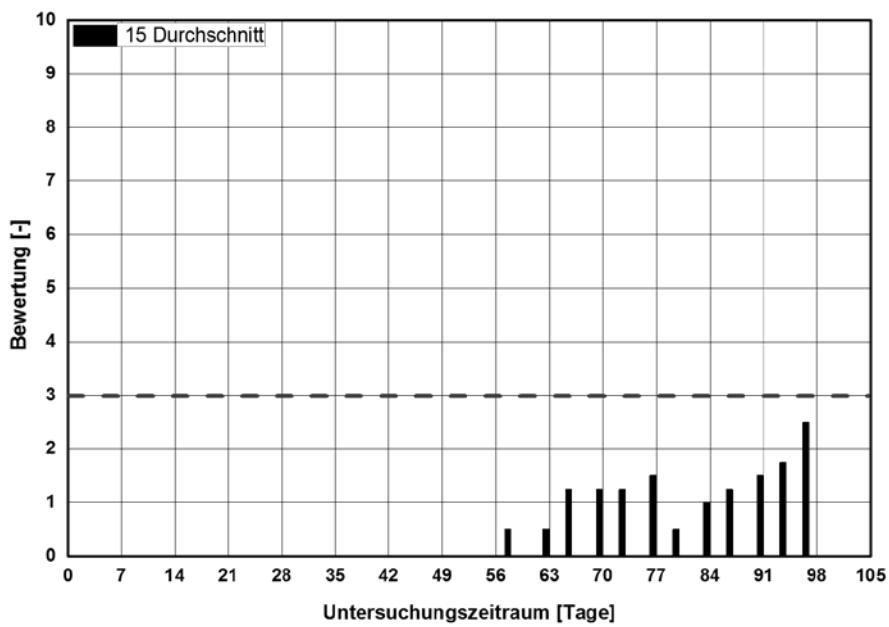
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 56: die 4 Parallelen der Variante 14 (silikatischer Putz mit Silikonharzfarbe) zum Ende der Versuchslaufzeit



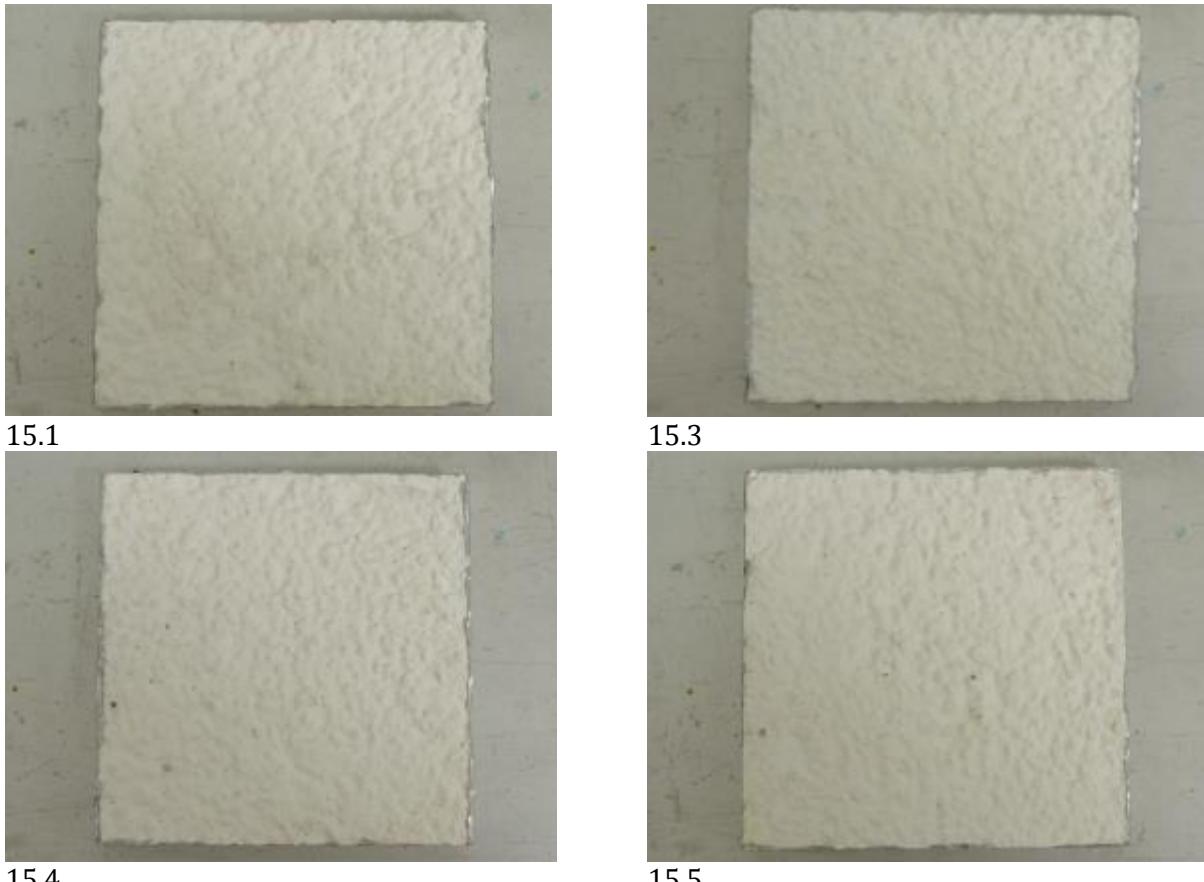
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 57: Aufwuchsverlauf auf Variante 15 (silikatischer Putz mit Dispersionsfarbe)



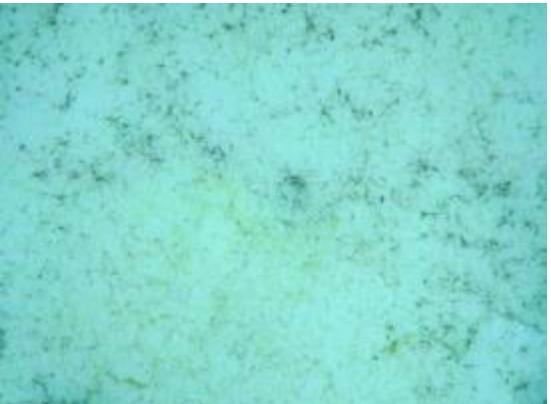
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 58: die 4 Parallelen der Variante 15 (silikatischer Putz mit Dispersionsfarbe) zum Ende der Versuchslaufzeit



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 59: Fotodokumentation des Algenaufwuchses auf den untersuchten WDVS-Prüfkörpern mit dem Stereomikroskop nach 100 Tagen Schnellbewitterung und Beschreibung der Detailaufnahmen

Variante	Material, Detailaufnahme bei Betrachtung durch Stereomikroskop	Widerstandsfähigkeit gegenüber Algen
1		Algenaufwuchs im Auflichtmikroskop sichtbar
2		Algenaufwuchs mit freiem Auge sichtbar
3		Algenaufwuchs mit freiem Auge sichtbar

4		Kein Algenaufwuchs sichtbar
5		Algenaufwuchs mit freiem Auge sichtbar
6		Algenaufwuchs im Auflichtmikroskop sichtbar
7		Algenaufwuchs im Auflichtmikroskop sichtbar

8		Algenaufwuchs im Auflichtmikroskop sichtbar
9		Algenaufwuchs im Auflichtmikroskop sichtbar
10		Kein Algenaufwuchs sichtbar
11		Kein Algenaufwuchs sichtbar

12		Kein Algenaufwuchs sichtbar
13		Kein Algenaufwuchs sichtbar
14		Kein Algenaufwuchs sichtbar
15		Kein Algenaufwuchs sichtbar

Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Zusammenfassung der Untersuchungen in der Schnellbewitterungskammer

Eine Einschätzung der Widerstandsfähigkeit der Varianten gegenüber Aufwuchs zeigt Tabelle 38. Die Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufwuchs wurde dabei in 5 Stufen eingeteilt:

- ▶ Hoch: Aufwuchs bleibt über die 100 Tage unterhalb der Bewertungsstufe 3.
- ▶ Hoch bis Mittel: Aufwuchs überschreitet die Bewertungsstufe 3 geringfügig und erst gegen Ende des Laufes.
- ▶ Mittel: Aufwuchs wird größer als Stufe drei, entwickelt sich erst relativ spät und erreicht kein gravierendes Ausmaß.
- ▶ Mittel bis Gering: deutliche Aufwuchsentwicklung erreicht ein erhöhtes Niveau.
- ▶ Gering: deutlicher Aufwuchs entwickelt sich relativ rasch und erreicht gegen Ende des Laufes hohe Werte.

Die Algen können in den 100 Tagen teilweise nur sehr kleine Kolonien ausbilden. Daher kann hier nur eine Einteilung der Widerstandsfähigkeit in 3 Stufen erfolgen:

- ▶ Hoch: Kein Algenaufwuchs sichtbar,
- ▶ Mittel: Algen unter dem Stereomikroskop sichtbar,
- ▶ Gering: Algen am Ende des Laufes mit freiem Auge sichtbar.

Insgesamt liegt die Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufwuchs bei fast allen Varianten im Bereich von hoch bis mittel. Da es sich bei den untersuchten Varianten um bewährte Marktprodukte handelt ist dieses Abschneiden nicht verwunderlich. Es zeigt aber auch, dass Beschichtungsprodukte von WDVS auch ohne den Einsatz von Bioziden hoch widerstandsfähig gegen Aufwuchs gestaltet werden können. Eine Übersicht über die Aufwuchsverläufe aller Varianten findet sich in Abbildung 60. Ausnahmen bilden die Varianten 13 und 5, die eine geringe bzw. mittlere bis geringe Widerstandsfähigkeit aufweisen.

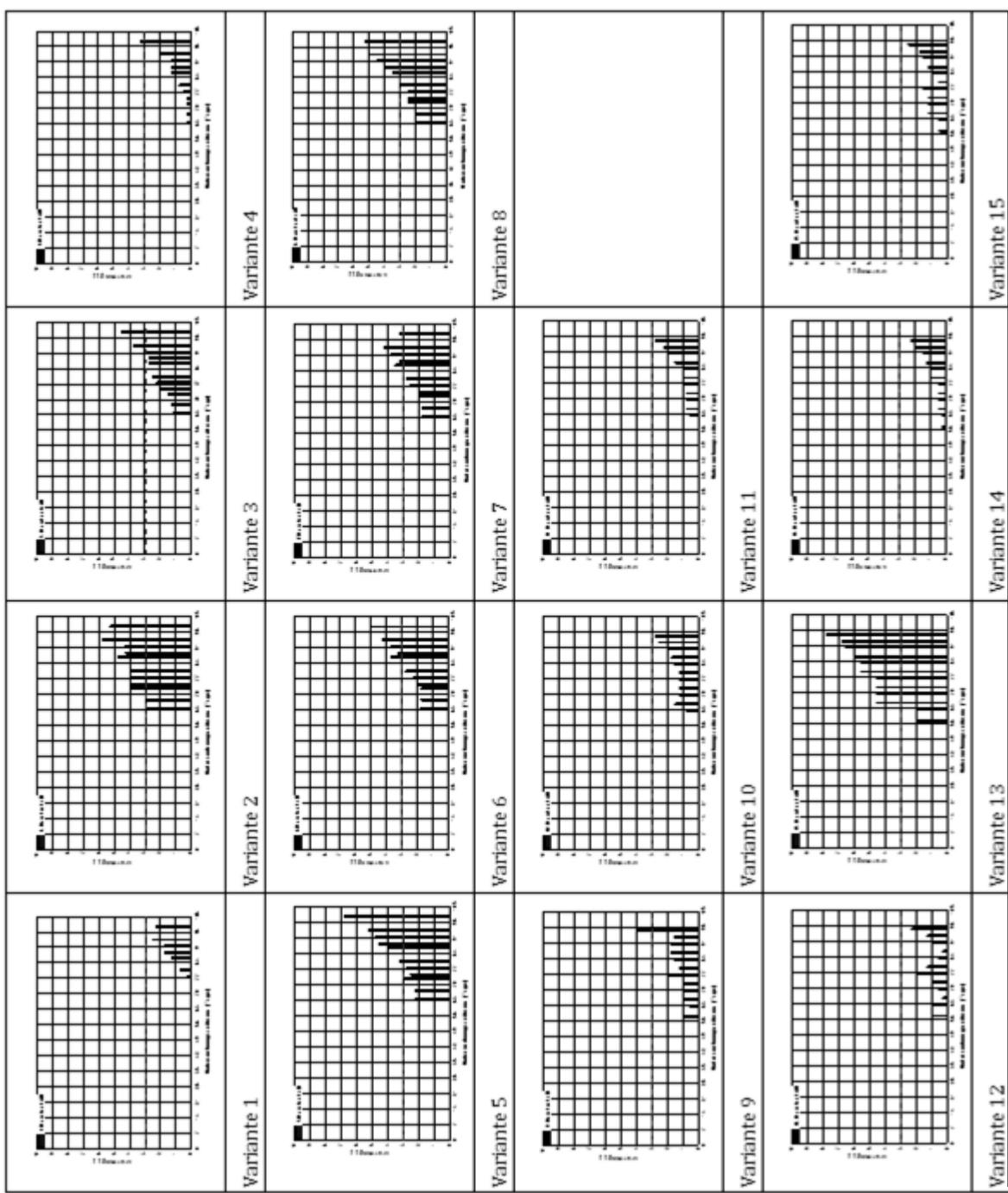
Tabelle 38: Einschätzung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufwuchs

Variante	Material	Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufwuchs	Widerstandsfähigkeit gegenüber Algen
1	Silikonharzputz ohne Anstrich - BLAUER ENGEL	Hoch	Mittel
2	Silikonharzputz Anstrich: Kieselsol-Silikatfarbe - BLAUER ENGEL	Mittel	Gering
3	Silikonharzputz Anstrich: Fassadenfarbe mit Ultrahydrophobie - BLAUER ENGEL	Gut bis mittel	Gering
4	Silikonharzputz Anstrich: bionisches Wirkprinzip	Hoch	Hoch
5	mineralischer Trockenmörtel ohne Anstrich - BLAUER ENGEL	Mittel bis gering	Gering
6	mineralischer Trockenmörtel Anstrich: Silikonharzfarbe	Mittel	Mittel
7	mineralischer Trockenmörtel Anstrich: Dispersionsfarbe	Gut bis mittel	Mittel

Varianten	Material	Widerstands-fähigkeit gegenüber Aufwuchs	Widerstands-fähigkeit gegenüber Algen
8	mineralischer Trockenmörtel Anstrich: silikatische Kaliwasserglas-Farbe	mittel	Mittel
9	Sol-Silikatputz ohne Anstrich	Gut bis mittel	Mittel
10	Sol-Silikatputz Anstrich: Kieselsol-Silikatfarbe - BLAUER ENGEL	Hoch	Hoch
11	Sol-Silikatputz Anstrich: Dispersions-Silikatfarbe	Hoch	Hoch
12	Dispersionsgebundener Strukturputz ohne Anstrich	Hoch	Hoch
13	Dispersionsgebundener Strukturputz Anstrich: Dispersions-Silikatfarbe - BLAUER ENGEL	Gering	Hoch
14	Dispersionsgebundener Strukturputz Anstrich: Silikonharzfarbe	Hoch	Hoch
15	Dispersionsgebundener Strukturputz Anstrich: Dispersionsfarbe	Hoch	Hoch

Quelle: eigene Darstellung, *Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)*

Abbildung 60: Übersicht über die Aufwuchsverläufe aller Varianten



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Im Versuch wurden sowohl hydrophilere wie stark hydrophobe Proben untersucht, die ein unterschiedliches Aufwuchsverhalten zeigten. Aufgrund der vielen Einflussfaktoren konnten jedoch keine einzelnen Einflussfaktoren isoliert werden.

Unter den untersuchten Proben waren verschiedene Putzdicken vertreten. Dadurch, dass die dickeren Beschichtungen zwar langsamer auskühlen, sich aber auch langsamer wieder erwärmen, wirkten sich in der gewählten Versuchsanordnung die unterschiedlichen Putzdicken allerdings nicht auf die Taupunktunterschreitung aus.

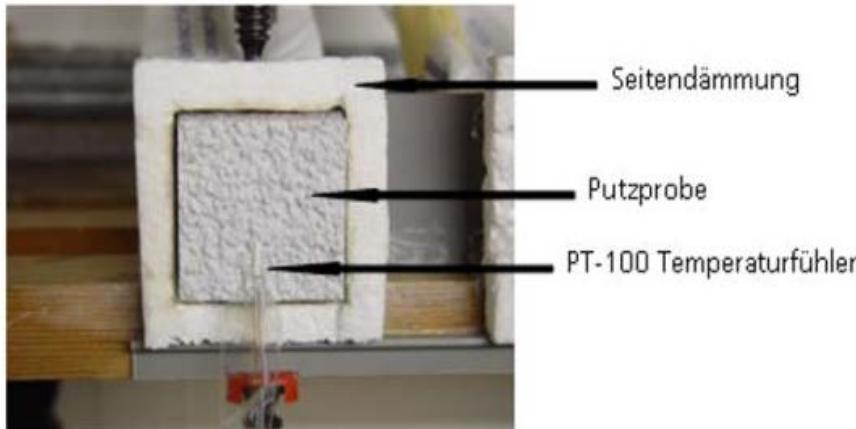
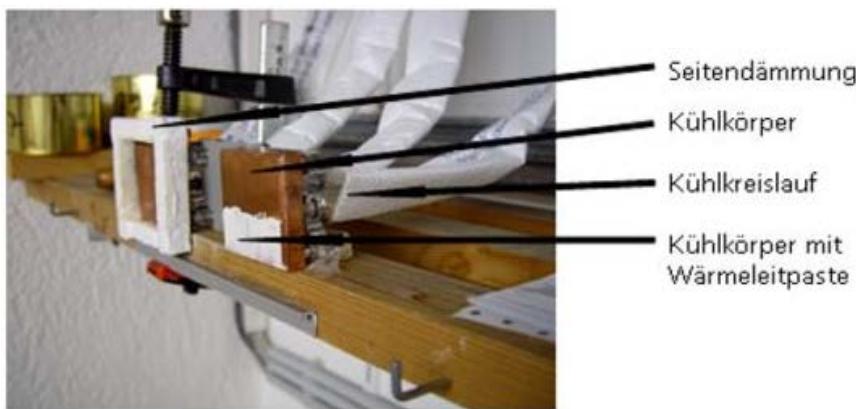
8.2 Oberflächentauwasser

8.2.1 Versuchsaufbau

Für die Beurteilung des Verbleibs von Tauwasser auf der Oberfläche wurde eine Versuchseinrichtung entwickelt, mit deren Hilfe es möglich ist, die nächtliche Betauung im Labor nachzuvollziehen. Bei der Entwicklung dieses Laborversuches musste erreicht werden, dass die Bedingungen im Labor den Bedingungen an der Fassade möglichst ähnlich sind. Dies bedeutet in diesem Fall vor allem, dass die Taupunkttemperaturunterschreitungen in der Größenordnung der bei Freilandversuchen ermittelten liegen sollten.

Der entsprechende Versuchsaufbau ist in Abbildung 61 dargestellt. Da im Labor keine nächtliche Abstrahlung realisierbar ist, wird die Betauung der Prüfkörperoberfläche durch eine Unterkühlung der Probe mittels einer rückseitig angebrachten Kühlplatte hervorgerufen. Die zu untersuchenden Proben mit einer Oberfläche von 10 cm x 10 cm werden dazu mittels einer Wärmeleitpaste, die einen optimalen Wärmetransport zur Probe gewährleistet, auf einen Kühlblock aus Kupfer aufgebracht. Die Kühlung des Kupferblocks wurde über einen Kühlwasserkreislauf realisiert. Für die Temperatur erfassung auf der Oberfläche wird ein spezieller sehr flacher Pt-100-Fühler mittels Schmelzkleber aufgebracht.

Abbildung 61: Versuchsaufbau zur Betauung einer Putzoberfläche unter vorgebbaren Randbedingungen im Klimaraum.



Oben ist die Vorderansicht der seitlich gedämmten Putzprobe dargestellt. In der Seitenansicht (unten) erkennt man die rückseitig angebrachte Kühl einrichtung zur Unterkühlung der Probenoberfläche, um deren Betauung zu ermöglichen. Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Um das Verhalten an der Fassade im Labor nachzuvollziehen, werden die Temperaturen so gewählt, dass die Taupunktunterschreitung sich in einem Bereich bewegt, der den natürlichen Taubedingungen

entspricht. Die Betauungsdauer wird je Variante auf eine Stunde, zwei Stunden, vier Stunden und sechs Stunden eingestellt. Diese Betauungsdauer wird durch den Vergleich der gemessenen Oberflächentemperatur mit der Taupunkttemperatur im Klimaraum verifiziert. Das an der Oberfläche befindliche Wasser wird durch ein Abtupfen mit einem saugfähigen Vlies und anschließende Wägung bestimmt.

Die zu untersuchenden Putzsysteme entsprechen denen der Prüfkörper aus den Untersuchungen in der Schnellbewitterungskammer.

8.2.2 Ergebnisse

Gravimetrisch bestimmte Tauwassermenge

Die mittlere Raumtemperatur beträgt während der Messung 23,2 °C und die mittlere relative Luftfeuchtigkeit im Raum liegt bei 65,8 %. Der Taupunkt ist im Mittel um 1,4 K unterschritten. Die Ergebnisse der gravimetrisch bestimmten Tauwassermenge der verschiedenen Varianten bei unterschiedlichen Taupunktunterschreitungsdauern sind aus Tabelle 39 ersichtlich.

Tabelle 39: Übersicht der Tauwassermenge in Abhängigkeit von der Betauungsdauer.

Putzsystem	Tauwassermenge [g/m ²] bei einer Betauungsdauer von			
	1 h	2 h	4 h	6 h
Variante 1	10,6	20,3	39,2	43,6
Variante 2	5,1	17,6	47,7	60,3
Variante 3	28,8	39,4	67,0	57,3
Variante 4	25,3	28,9	17,1	17,2
Variante 5	1,7	2,5	26,1	30,6
Variante 6	4,9	10,2	17,6	42,4
Variante 7	14,8	25,0	30,0	53,9
Variante 8	0	0	1,0	3,5
Variante 9	0,9	0	12,3	13,1
Variante 10	0	0	0	10,9
Variante 11	5,7	23,2	67,4	95,7
Variante 12	0	0	0	0
Variante 13	0	0	0	2,7
Variante 14	2,2	4,3	10,9	16,6
Variante 15	0	0	0	20,7

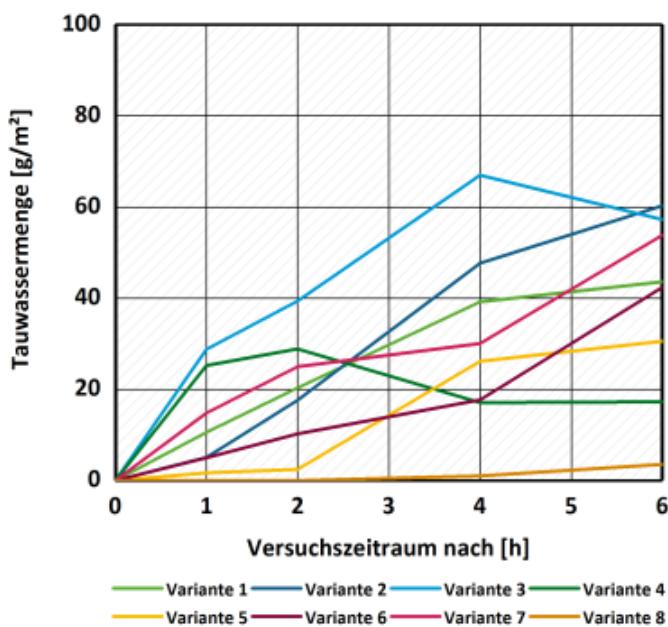
Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Die Tauwassermengen in Abhängigkeit von der Taupunkttemperaturunterschreitungsdauer für die einzelnen Varianten sind im Abbildung 62 für die Proben aus dem ersten Lauf und in Abbildung 63 für den zweiten Lauf, analog zu der Bestückung in der Schnellbewitterungsanlage, grafisch dargestellt. Dabei zeigt sich, dass nur die Variante 12 kein Tauwasser auf der Oberfläche nach 6 Stunden aufweist. Die Variante 8, die Variante 9, die Variante 10, die Variante 13 und die Variante 14 weisen nur wenig Tauwasser (nach 6 h Betauung < 20 g/m²) an der Oberfläche auf.

Ein interessantes Verhalten zeigt die Variante 4, welche bereits nach ca. 15 Minuten Betauungsdauer eine deutliche Menge an Tauwasser auf der Probenoberfläche aufweist, aber am Ende wenig

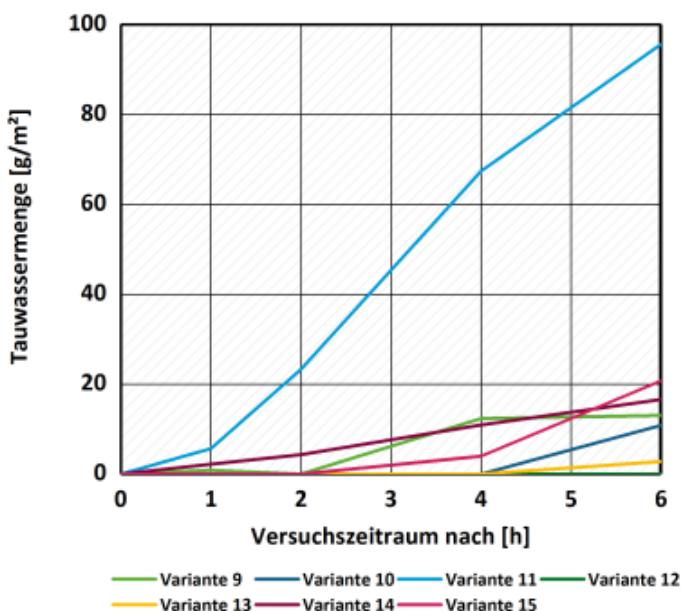
Tauwasser auf der Oberfläche hat. Das Tauwasser am Ende der Betauungszeit ist als geschlossener Wasserfilm zu erkennen, wie in Abbildung 67 zu sehen ist. Eine hohe ermittelte Tauwassermenge von über 30 g/m² weisen die Varianten 1, 2, 5, 6, 7 und 15 am Ende der Betauungszeit auf. Besonders die Variante 3 und die Variante 11 zeigen den höchst gemessenen Wassergehalt, welcher für mikrobielles Wachstum kritisch sein kann.

Abbildung 62: Zeitlicher Verlauf der Tauwassermenge auf den verschiedenen Varianten des ersten Laufs.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 63: Zeitlicher Verlauf der Tauwassermenge auf den verschiedenen Varianten des zweiten Laufs.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Fotodokumentation des Tauwassers

Vor dem Abtupfen der Tauwassermenge werden die Proben eingehend begutachtet, um zu überprüfen, inwieweit sich Wassertropfen oder ein Wasserfilm gebildet haben. Anschließend werden die Proben fotografiert.

Die Abbildung 64 zeigt eine Probe der Variante 1 nach sechs Stunden Betauungsdauer. Dabei weist die Probe größere Wassertropfen und eine Filmbildung auf. Zu erkennen ist auch am oberen linken Rand das beginnende Abrollen der Wassertropfen.

Abbildung 64: Ansicht der Variante 1 nach 6 Stunden Betauungsdauer.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Auf der Probe der Variante 2 (Abbildung 65) sind Wassertropfen vermehrt auf dem im Putz befindlichen an der Oberfläche liegenden Korn zu sehen.

Abbildung 65: Ansicht der Variante 2 nach 6 Stunden Betauungsdauer.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Im folgenden Bild (Abbildung 66) ist die Variante 3 zu sehen. Hier ist nach sechs Stunden Betauungszeit ein Wasserfilm im linken Bereich zu erkennen. Ebenso beginnen am unteren Rand die Tauwassertropfen abzurollen.

Abbildung 66: Ansicht der Variante 3 nach 6 Stunden Betauungsdauer.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Die Variante 4 (Abbildung 67) weist am Ende der Betauungsperiode einen geschlossenen Wasserfilm auf über die ganze Probe auf.

Abbildung 67: Ansicht der Variante 4 nach 6 Stunden Betauungsdauer.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

In der folgenden Abbildung 68 ist die Variante 5 dargestellt. Dabei zeigt sich stellenweise eine vermehrte Ansammlung von Tauwassertropfen.

Abbildung 68: Ansicht der Variante 5 nach 6 Stunden Betauungsdauer.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Die Variante 6, welche in Abbildung 69 dargestellt ist, zeigt größere Tauwassertropfen und vereinzelte Filmbildung auf der Oberfläche. Am unteren Rand rechts befindet sich eine Ansammlung abgelaufenes Wasser.

Abbildung 69: Ansicht der Variante 6 nach 6 Stunden Betauungsdauer.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Nachfolgend wird die Variante 7 am Ende der Betauungsdauer von 6 Stunden gezeigt (Abbildung 70). Zu erkennen ist hierbei ein geschlossener Wasserfilm auf der Oberfläche. Vereinzelt bilden sich größere Wassertropfen kurz vor dem Ablaufen.

Abbildung 70: Ansicht der Variante 7 nach 6 Stunden Betauungsdauer.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

In folgender Abbildung 71 ist die Variante 8 zu sehen. Auf der Oberfläche ist bis auf eine Stelle, kein Tauwasser feststellbar.

Abbildung 71: Ansicht der Variante 8 nach 6 Stunden Betauungsdauer.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Die Variante 9 weist nach 6 Stunden wenig Tauwasser auf der Oberfläche auf. Das Tauwasser ist in Form von kleinen Wassertropfen vor allem im unteren Bereich der Oberfläche zu finden.

Abbildung 72: Ansicht der Variante 9 nach 6 Stunden Betauungsdauer.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Bei der Variante 10 (Abbildung 73) ist Tauwasser in Form von kleinen Tropfen über die Probe verteilt vorhanden.

Abbildung 73: Ansicht der Variante 10 nach 6 Stunden Betauungsdauer.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

In folgender Abbildung 74 ist die Variante 11 nach der Betauung dargestellt. Hier ist zu sehen, dass über die Oberfläche größere und kleine Tauwassertropfen anhaften. Stellenweise beginnen die Tropfen sich als Wasserfilm zu verbinden und sind kurz vor dem abrollen. Bei dieser Variante wurde die höchstmögliche Tauwassermenge festgestellt.

Abbildung 74: Ansicht der Variante 11 nach 6 Stunden Betauungsdauer



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Die Variante 12, dargestellt in Abbildung 75, zeigt am Ende der Betauungszeit keinerlei Tauwasser auf der Oberfläche. Auch die Variante 13 in Abbildung 76 hat fast kein anfallendes Tauwasser auf der Putzoberfläche. Die gemessene Menge kann augenscheinlich kaum gesehen werden.

Abbildung 75: Ansicht der Variante 12 nach 6 Stunden Betauungsdauer.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Abbildung 76: Ansicht der Variante 13 nach 6 Stunden Betauungsdauer.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Bei der Variante 14 (Abbildung 77) ist Tauwasser in Form von Filmbildung vor allem ab der Hälfte der Probe im unteren Bereich ersichtlich.

Abbildung 77: Ansicht der Variante 14 nach 6 Stunden Betauungsdauer.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Bei der Variante 15 (Abbildung 78) zeigt sich am Ende ein fast geschlossener Wasserfilm auf der Oberfläche. An der oberen Kante der Probe ist noch kein Tauwassermanfall sichtbar.

Abbildung 78: Ansicht der Variante 15 nach 6 Stunden Betauungsdauer.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP)

Zusammenfassung der Untersuchungen zum Oberflächentauwasser

Die an der Außenfassade durch nächtliche Abstrahlung hervorgerufene Absenkung der Außenoberflächentemperatur unter die Taupunkttemperatur und die damit verbundene Tauwassermenge wird im Labor durch rückseitige Unterkühlung der Proben nachvollzogen.

Es werden für 15 verschiedenen Putz- und Beschichtungssysteme die in Abhängigkeit von der Betauungsdauer anfallende Oberflächenfeuchte gemessen. Dabei ergeben sich bei der Variante 12 kein Tauwasser und bei den Varianten 8 und 13 zu Versuchsende nur sehr geringe Tauwassermengen. Bei beiden Varianten zeigt sich nach 3 Stunden kein Tauwasser auf der Oberfläche.

Die Variante 9, die Variante 10 und die Variante 14 weisen am Ende der Betauungsperiode von 6 Stunden höhere Wassergehalte auf als die Varianten 8 und 13, dennoch liegen diese auf niedrigem Niveau.

Bei der Variante 4 wurde ebenfalls am Ende des Versuchsdurchführung wenig anfallendes Tauwasser auf der Oberfläche bestimmt, allerdings wurden zu Beginn, nach einer bzw. zwei Stunden, höhere Mengen an Tauwasser ermittelt, welches sich aber aufgrund der Putzstruktur nicht lang an der Putzoberfläche halten kann und dementsprechend früh abzurollen beginnt.

Mittlere Tauwassermengen ergeben sich bei der Variante 5 und der Variante 15. Bei beiden zeigt sich zunächst zu Beginn der Betauungsdauer kein oder nur sehr wenig Tauwasser an der Oberfläche, erst im weiteren Verlauf werden höhere Wassergehalte festgestellt.

Alle anderen Varianten (1, 2, 3, 6, 7, 11) weisen hohe Wassergehalte auf. Besonders auffällig ist hierbei die Variante 11, bei welcher nach 6 Stunden die höchst gemessene Tauwassermenge ($95,7 \text{ g/m}^2$) auf der Oberfläche festgestellt werden konnte.

Vergleicht man die Ergebnisse aus den Betauungsversuchen mit den Ergebnissen aus den Zyklenversuchen der Schnellbewitterungsanlage, stellte man fest, dass teilweise sehr gute Übereinstimmungen bezüglich des zu erwartenden mikrobiellen Bewuchs gegeben sind.

Allerdings treten bei einigen Varianten gegensätzliche Ergebnisse auf. Dies kann darin begründet sein, dass das anfallende Tauwasser auf der Oberfläche und im Putzsystem selbst, je nach Eigenschaften des Putzes, schnell oder langsam wieder austrocknet. Im Falle der Variante 11 mit hoher Oberflächenfeuchte aber geringem Bewuchs, könnte eine schnelle Abtrocknung die Ursache sein. Trocknet die Probe hingegen zu langsam aus, kann das den Bewuchs begünstigen, da für die Organismen gebundenes Wasser oberflächennah zur Verfügung steht. Aus diesem Grund ist das Zusammenspiel des w -Wertes für die Wasseraufnahme und der sd -Wert für den Wasserdampfdiffusionswiderstand mit entscheidend, um die Funktionsfähigkeit eines Putzsystems zu beurteilen.

Für die Beurteilung sollte deshalb nicht nur die Untersuchung in der Schnellbewitterungsanlage betrachtet werden, sondern ebenso das anfallende Tauwasser im Putzsystem selbst und nicht nur, wie im hier durchgeführten Laborversuch das Wasser auf der Probenoberfläche. Zusätzlich ist es sinnvoll, den Trocknungsverlauf nach einer maximalen Betauungsperiode zu erfassen, um beurteilen zu können, über welche Zeiträume den Bewuchs fördernde Feuchte vorhanden ist.

Generell bieten beide Ansätze, Schnellbewitterung und Untersuchungen zu Oberflächentauwasser, in Kombination sehr gute Möglichkeiten zur Beurteilung der Widerstandsfähigkeit von Schlussbeschichtungen für WDVS.

9 Zusammenfassung wichtiger Ergebnisse und Ausblick

9.1 Empfehlungen zu Brandschutzkriterien für die Vergabegrundlage des Blauen Engels

Aus der Recherche zu bauaufsichtlichen Brandschutzanforderungen und Brandeigenschaften von WDVS sowie dem Fachgespräch zu Brandschutzaspekten am 29. Januar 2016 in Berlin ergeben sich folgende Schlussfolgerungen und Empfehlungen für eine mögliche Anpassung der Vergabegrundlagen des Blauen Engels.

Die Auswirkungen der EU-BauPVO auf die bauaufsichtlichen Nachweise für WDVS in Deutschland sind bisher begrenzt, da die CE-Kennzeichnungspflicht noch nicht für WDVS gilt. Dies trifft auch für die bauaufsichtlichen Zulassungen / Bauartgenehmigungen zu. Der aktuell alleinige Bezug zur „abZ“ im Geltungsbereich des Blauen Engels müsste an den ab Herbst 2017 geltenden Stand der baurechtlichen Regelungen angepasst werden. Es wurde außerdem geraten, sofern nicht vorhanden, einen allgemeinen Bezug auf das Vorhandensein des Nachweises der Verwendbarkeit nach MBO/LBO zu setzen.

Die Bezüge der Vergabegrundlage auf die Zulassung von Dämmstoffen und WDVS müssten an die aktuelle Gesetzeslage und Normung angepasst werden. Da sich die Neufassung der DIN 55699 Ausgabe 2017-08³⁴ auf WDVS auf EPS- und MW-Basis beschränkt, wird es notwendig sein, unter anderem diesen Bezug mit vergleichbaren Hinweisen für andere WDVS zu ergänzen.

Mit Blick auf die Brennbarkeit der WDVS gibt es deutliche Unterschiede zwischen verschiedenen Dämmmaterialien und Putzen, die in den Vergabegrundlagen des Blauen Engel berücksichtigt werden könnten. Eine positive Bewertung der brand- und feuchteschutztechnischen Vorteile von Dickschicht-Putzsystemen oder von vorgeputzten Dämmplatten (Dorsch et al., 2017; Küppers et al., 2016) wäre denkbar.

Teilnehmer des Fachgesprächs zu Brandschutz rieten, insbesondere die Rauchgasdichte zu berücksichtigen. Anforderungen an das Glimmverhalten oder zusätzliche Glimmprüfungen sollten dagegen eher nicht als Kriterium in die Vergabegrundlagen des Blauen Engel aufgenommen werden, da das Risiko des Glimmens bei der Bauart WDVS von der Feuerwehr beherrscht werden kann.

Der VDPM stellte dagegen in Frage, ob die Rauchgasdichte ein geeignetes Kriterium darstellt. Er argumentierte, dass die durch den Dämmstoff erzeugten Rauchgase primär außerhalb des Gebäudes auftreten. Für Bewohner unmittelbarer ist die Gefahr durch CO im Gebäudeinneren. Dieses CO wird insbesondere auch durch brennende Inneneinrichtungen verursacht. Gleichzeitig wies er darauf hin, dass Glimmen als bauaufsichtliches Anforderungskriterium und Parameter in Dämmstoffnormen, konsequenterweise ebenfalls Berücksichtigung finden müsste.

Im Blauen Engel zu verlangen, dass die Brandschutzanforderungen für die höchste Gebäudeklasse erfüllt werden müssen, wurde als streng für ein Umweltzeichen bewertet. Das war

³⁴ Nach DIN 55699 müssen die einzelnen Komponenten des WDVS sowie die zu dämmende Fläche detailliert beschrieben werden. Zudem werden bauliche Voraussetzungen zur Beschaffenheit des Untergrunds, der Horizontalabdeckung und der Abdichtung gegen Bodenfeuchte beschrieben. Weiterhin werden Vorgaben zu Transport und Lagerung, zur Verarbeitungstemperaturen, zur Befestigung der Dämmstoffplatten, zum Aufbringen des Unterputzes, zu den zugelassenen Schlussbeschichtungen (unterschieden in mineralische Putze als Werkrockenmörtel, Kunstharzputze, Dispersionssilikatputze, Silikonharzputz, Flachverblender, und Keramische Beläge), Anschlüsse und Fugen, Kantenausbildung und Ecken, Sockelabschluss und Sockeldämmung und zusätzlichen brandschutztechnischen Maßnahmen bei über 10 cm dicken Polystyrol-Hartschaumplatten gemacht. Auch unter 100 mm Dämmstoffdicke sind jedoch zusätzliche Brandschutzmaßnahmen möglich.

brandschutztechnisch zulässig ist, sollte unter den anderen Ökologiekriterien bewertet werden. Eine Unterteilung in GK 1-3 und GK 4 & GK 5 wäre denkbar, wenn in der Praxis umsetzbar.

Der Einbau eines Brandriegels nach jedem Stockwerk wurde bei EPS-Dämmstoffen von den anwesenden Experten als wünschenswert betrachtet, wenngleich er baurechtlich nicht gefordert ist. Von einzelnen Experten wurde angeregt, sich ggf. im Blauen Engel bezüglich Brandriegeln an den Vorgaben aus Österreich zu orientieren.

Zusätzlich wurde angeregt, sich in den Vergabegrundlagen des Blauen Engels statt auf die Klassifizierung aus Brandtests mehr auf die Nutzungs- und Planungsaspekte von WDVS zu konzentrieren. Für EPS wurde empfohlen, gegebenenfalls aus Brandschutzgründen die Dämmstoffdicke auf < 150 mm zu begrenzen.

Da Energieeffizienz- und Brandschutzanforderungen bei brennbaren Dämmstoffen einander gegenläufig sind, wurde in Frage gestellt, ob in den Vergabegrundlagen zusätzliche Anforderungen zum Brandschutz für WDVS mit brennbaren Dämmstoffen sinnvoll und möglich sind.

Über die Rauchgastoxizität und die Brandrückstände im Fall eines Brandes von WDVS liegen insgesamt zu wenig Daten vor, um diese Aspekte in der Vergabegrundlage des Blauen Engels derzeit berücksichtigen zu können. Hier besteht noch Forschungsbedarf, um eine vergleichende Beurteilung der Rauchgastoxizität in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Dämmstoffe und den eingesetzten Flammenschutzmitteln zu ermöglichen.

9.2 Empfehlungen zu Ressourceneffizienzkriterien für die Vergabegrundlage des Blauen Engels

Zum derzeitigen Stand lassen sich die Situation und Perspektive auf eine Weiterentwicklung der Vergabegrundlage für WDVS hinsichtlich Ressourcenschonung wie folgt zusammenfassen:

Herstellung und Montage der Komponenten eines WDVS

Bislang gibt es für das Thema Ressourcenschonung in der Herstellung, d.h. bezogen auf den herstellungsbedingten Material-, Energie- und Wasserverbrauch, mögliche Schadstoffemissionen sowie das Aufkommen von Abfall und Abwasser, in der WDVS-Vergabegrundlage für den Blauen Engel keine Anforderungen über die gesetzlichen Mindeststandards hinaus.

- ▶ Aus den vorliegenden Informationen über die Herstellung bzw. die Herkunft von WDVS lässt sich kein schlüssiges Kriterium für Ressourceneffizienz ableiten. Die Expert/innen sind sich jedoch einig, dass die Rohstoffherkunft und die Prozesskette für die im WDVS eingesetzten Dämmstoffe eine transparente Darstellung benötigt. Gleiche Kriterien sollten sowohl für nachwachsende Rohstoffe als auch für fossile oder mineralische Rohstoffe gelten. Andererseits sollten zukünftige Kriterien nicht so ambitioniert sein, dass kein Produkt sie einhalten kann.
- ▶ Derzeit lässt sich nicht ermitteln, wie viel Massenprozent Recyclate (Sekundärrohstoffe) in den einzelnen Dämmstoffen eingesetzt werden können, ohne die technischen Eigenschaften zu beeinträchtigen. Zur Erhöhung der Ressourceneffizienz wäre die Sicherstellung einer möglichst hohen Recyclingrate für Dämmstoffe in Herstellung unabdingbar. Mittelfristig wäre eine Recyclatquote ein anzustrebendes Vergabekriterium für WDVS-Dämmstoffe für den Blauen Engel.
- ▶ Das Gelingen einer WDVS-Fassade hängt wesentlich davon ab, ob eine sorgfältige Planung vorliegt (hinsichtlich der Anschlüsse an Dach, Türen, Fenstern etc.) sowie eine sachgemäß durchgeführte Montage auf der Baustelle. Zudem sind die Planer maßgeblich an der Vorentscheidung zur Auswahl der zu verwendenden Produkte beteiligt (durch Ausschreibung und Vergabe). Beispielsweise können bei der Planung und Montage bereits Befestigungstechniken berücksichtigt werden, die die späteren Rückbaubarkeiten erleichtern. Solche sind bereits heute existierende Schienensysteme und Dübel sowie „Klettverschlüsse“ für WDVS sowohl auf der Außenwand als

auch zwischen den einzelnen WDVS-Lagen als Alternativen zum derzeit üblichen Kleben. Bevor die neuen Befestigungstechniken als Vergabekriterium aufgenommen werden können, besteht noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

- Das Thema „Dauerhaftigkeit von Fassadendämmssystemen“ wurde aus Expertensicht als ein wichtiger Punkt angesprochen. Für die Dauerhaftigkeit einer mit WDVS gedämmten Fassade sind ebenso die fachgerechte Planung und Montage und die regelmäßige Wartung und Pflege ausschlaggebend. Dies wird bereits in der Vergabegrundlage des Blauen Engels, die die Bereitstellung detaillierter Verarbeitungshinweise für Bauleiter, Handwerker sowie Bauherren fordert, angesprochen. Eine praktische Schwierigkeit scheint hier nach Aussagen von Praktikern aus dem Baubereich allerdings darin zu bestehen, dass die Handwerker vielfach zu wenig Zeit für den Einbau haben. Ggf. könnte hier ein Nachweis der Hersteller über ein funktionierendes Planer- und Baustellenberatungsnetz zielführend sein.

Rückbau und Abfallmanagement

Der Rückbau der WDVS sollte zukünftig in der Regel selektiv erfolgen, um die einzelnen Komponenten einer spezifischen Verwertung zuführen zu können. Eine sortenreine Entsorgung von Verbundwerkstoffen wie WDVS ist aktuell noch aufwendig. Bisher fehlen noch Abfallmanagement-Strategien für eine ressourcenschonende und umweltgerechte Entsorgung von Wärmedämmverbundsystemen bzw. in den WDVS eingesetzten Dämmstoffen, beispielsweise Lösungsansätze für den volumenoptimierten Transport von EPS-Dämmstoffen.

Für ein rückbaufreundliches-WDVS wäre eine eindeutige Kennzeichnung von Komponenten hilfreich. Beispielsweise, um in Zukunft eine gute Unterscheidung von HBCD-haltigem und HBCD-freiem EPS/XPS zu ermöglichen, ist eine herstellerübergreifende Farbkennzeichnung des HBCD-freien EPS/XPS notwendig. Bei einem komplett mineralischen System aus mineralischem Klebstoff, Mineralschaumdämmstoff und mineralischem Putz wäre eine Trennung nicht erforderlich. Das System könnte mit dem Mauerwerk ohne vorherige Trennung zu Gesteinskörnungen verarbeitet werden.

Einige Lösungen für das Abfallmanagement von WDVS (besonders EPS-WDVS) sind bereits verfügbar. Dennoch gibt es derzeit noch nicht genügend detaillierte und übereinstimmende Informationen über die Vor- und Nachteile der verschiedenen Verwertungswege (werkstoffliche, rohstoffliche). Daher ist es aktuell noch nicht möglich, konkrete Kriterien für die Verwertung von WDVS in der Blauen Engel – Vergabegrundlage zu formulieren. Ein allgemeiner Hinweis zur Entsorgung in der Produktdokumentation ist jedoch zu empfehlen.

Lebenswegbetrachtungen

Ein aussagekräftiger Vergleich der Umwelteinflüsse von Dämmstoffen und WDVS sind nur im Rahmen der Gesamtbetrachtung der jeweiligen Baukonstruktion möglich. Die Zulassungen von WDVS zeigen, dass Dämmstoffe aus mineralischen, synthetischen und natürlichen Dämmstoffen über eine gleichermaßen geeignete Stabilität und Dauerhaftigkeit verfügen.

Die freiwilligen Umweltproduktdeklarationen (EPDs) werden bisher beim Blauen Engel nicht angefordert. Dies wäre zukünftig für alle Bauprodukte zu überprüfen. Für die aktuelle Überarbeitung der Vergabegrundlage des Blauen Engels für WDVS ist das Vorliegen einer EPD für das auszuzeichnende WDVS als geeignetes Kriterium zu empfehlen, da die EPD als Grundlage für die weitere Bilanzierung von Gebäuden bzw. Gebäudeteilen in den Zertifizierungssystemen des Nachhaltigen Bauens dient.

Für einen Vergleich der Leistungen der WDVS-EPDs auf Produktebene sind die Informationen in den EPD's zu unterschiedlich. Daher können in der Vergabegrundlage noch keine Mindestleistungsniveaus

als Kriterien vorgeschlagen werden. Die Verfügbarkeit der Daten für das nachhaltige Bauen ist jedoch wichtig.

Alternative Fassadensysteme für die Außenwand

Verschiedene „alternative Fassadensysteme“ für die Außenwand in Kombination mit einer Wärmedämmung sind neben den WDVS sowohl im Neubau als auch bei der Sanierung eines Gebäudes möglich. Für den bisherigen Geltungsbereich der Vergabegrundlage (nur WDVS) wäre mittelfristig zu erwägen, weitere Fassadensysteme mit aufzunehmen. Diese Fassadensysteme sollten bautechnisch geprüft sein und eine allgemeine Bauartgenehmigung haben.

9.3 Empfehlungen zu biozidfreien Putzen für die Vergabegrundlage des Blauen Engels

Die Ergebnisse der Versuche in der Schnellbewitterungskammer lassen den Schluss zu, dass auch biozidfreie Putze sich gut für eine dauerhafte Beschichtung der Fassade eignen und somit ein Biozideinsatz nicht zwingend notwendig ist. Allerdings sollte bei der Materialzusammensetzung darauf geachtet werden, das komplette System, d. h. die einzelnen Bestandteile des Gesamtsystems aufeinander abzustimmen. Außerdem wäre eine Empfehlung seitens der Hersteller hilfreich, ob ein Putz mit oder ohne Anstrich verwendet werden sollte.

Die Biozidfreiheit sollte weiterhin als Kriterium in der Vergabegrundlage des Blauen Engels bleiben. Es sei denn in der Zukunft würden Schutzstoffe entwickelt, die ausschließlich an der Fassade auf die Zielorganismen wirken und nicht in die Umwelt gelangen. Durch den Einsatz derartig spezifischer Schutzmittel könnten Ertüchtigungsfrequenzen deutlich ausgedehnt und somit Ressourcen und Energie gespart werden.

Ausgewählte Topf-Konservierer sollten bei Bedarf weiter zulässig sein, auch wenn es erstrebenswert wäre, auch hier möglichst zu minimieren und Alternativlösungen zu suchen (z.B.: hoher pH-Wert). Ebenfalls sollte es eine Deklaration der verwendeten Stoffe geben.

Derzeit stellt es sich als schwierig dar, bestimmte physikalische Parameter, die für das Aufwuchsverhalten ausschlaggebend sind, für die Vergabe des Blauen Engels festzulegen. Dazu sind weitere Vergleiche und Untersuchungen notwendig. Grundsätzlich könnten aber die Vorteile biozidfreier Dickschicht-Putzsysteme (z.B. $\geq 15\text{mm}$) berücksichtigt werden, die (generell) nicht zum Algenbefall neigen.

Es empfiehlt sich, die Durchführung eines (transparenten und nachvollziehbaren) definierten Schnellbewitterungstests in die Vergabekriterien für den Blauen Engel mit aufzunehmen, bei dem ein bestimmter Grenzwert unterschritten werden muss, um die Widerstandsfähigkeit gegenüber Aufwuchs nachzuweisen. Allerdings sollten die Kriterien für die Vergabegrundlage des Blauen Engels so gestaltet werden, dass bewährte und gut funktionierende nachhaltige Systeme aufgrund einzelner Festlegungen nicht ausgeschlossen werden. In der Funktionalität bewährten Produkten sollte nicht der Marktzugang erschwert werden.

Als Übergangslösung oder auch allgemein als Vergabekriterium könnten unterschiedliche Zertifizierungskriterien angewendet werden, wie z.B. von Herstellern betriebene und ausreichend dokumentierte Freibewitterungsversuche, entsprechend dokumentierte „Referenzobjekte“ sowie weitere Schnelltests oder Verfahren zur Beurteilung der Widerstandsfähigkeit gegen Aufwuchs. Um hierbei einen gleichbleibenden Standard zu gewährleisten, sollten neutrale Dritte derartige unterschiedliche Angaben begutachten, entsprechend zusammenführen und bewerten, bzw. auditieren. Denkbar wäre auch eine Vergabe des Blauen Engels unter Vorbehalt bis entsprechende Laborergebnisse oder längerfristige Ergebnisse nachgereicht werden können.

10 Anhänge

10.1 Anhang 1: Übersicht der technischen Parameter für WDVS-Dämmstoffe

Tabelle 40: Übersicht unterschiedlicher Klassifizierungen für Dämmstoffe in WDVS

Dämmstoff	Baustoff-klasse DIN 4102-1 (1998)	Baustoff-klasse DIN EN 13501-1 (2010)	Baustoffklasse nach Sprengard et al. (2013)	Baustoffklasse nach Stec & Hull (2011) (Euroklassen)	Baustoffklasse nach Drewer et al. (2013)	Wärmespeicher-fähigkeit [J/kg*K]	Durch-schnittliche Wärme-leitfähigkeit [W/(m*K)]	Primärenergie-bedarf [kWh/m ²]
Synthetische Dämmstoffe								
EPS	B1	E	B1, B2 E	E-F	B1, B2	1.000 – 1.200	0,03 – 0,04	200-760
Neopor	B1	E	-	-			0,03	
XPS	B1	E	-	E-F	B1, B2	1.000 – 1.200	0,03 – 0,04	450-1.000
PUR/PIR	B2	E	B1, B2 E, D-s2-d0, C-s3-d0 PIR: A1	PUR: D-E PIR: C-D	B2	1.200 – 1.400	0,02 – 0,03	800-1.500
Phenolharz	B1, B2	C-s1/s2, d0	B2, C-s1 / s2, d0	-	B1, B2	1.500	0,03 -0,05	
Vakuumdämmung =VIP?	B1, B2	?	B2	-	B1, B2		0,02 – 0,07	200
Mineralische Dämmstoffe								
Steinwolle	A1	A1	A1, A2, B1 A1, A2-s1, d0 (Mineralwolle)	A1-A2	A1	840	0,033 – 0,04	150-400
Mineralschaum	A1	A1	A1, A1	-	A1		0,045 – 0,065	
Schaumglas	A1	A1	A1, A1	-	A1	840 – 1.100	0,04 – 0,06	750-1.600

Dämmstoff	Baustoff-klasse DIN 4102-1 (1998)	Baustoff-klasse DIN EN 13501-1 (2010)	Baustoffklasse nach Sprengard et al. (2013)	Baustoffklasse nach Stec & Hull (2011) (Euroklassen)	Baustoffklasse nach Dreher et al. (2013)	Wärmespeicher-fähigkeit [J/kg*K]	Durch-schnittliche Wärme-leitfähigkeit [W/(m*K)]	Primärenergie-bedarf [kWh/m ²]
Aerogel	A1	E	A1, E	-	B1	1.000 – 1.500	0,02	
Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen								
Holzfaserdämmplatten	B2	E bis C	B1, B2, E	-	B1, B2	2.000 – 2.100	0,04 – 0,05	50-100
Holzwolledämmplatte	B1	A2-s1,d0 B-s1,d0	B1, B2 B, A2-s1,d0, E	-	B1		0,09	
Hanfdämmung	B2	E	B2, E	-	B2	1.600 – 1.700	0,04 – 0,05	50-80
Kork	B2	E	B2	-	B2	1.800	0,04	40
Gepresstes Stroh (FNR, 2015a)	B2	B-s1, d0 (als System mit ca. 10 mm dicken Putzschicht)						
Seegras	B2	E				2.502	0,039 - 0,046	
Schilf	B2	E				1.200	0,055–0,065	

10.2 Anhang 2: Übersicht nicht halogenierter Flammenschutzmittel für Dämmstoffe in WDVS

Tabelle 41: Halogenierte und nicht halogenierte Flammenschutzmittel für Dämmstoffe in WDVS

Dämmstoff	Früher	Nicht halogenierter Flammenschutz	Referenz
EPS/XPS/Neopor	Hexabromocyclododecan (HBCD) (CAS: 3194-55-6, unspezifisch; 25637-99-4, Isomerengemisch)	Phosphoramidate expandierbares Graphit (Graphen - EG)	(EFRA, 2004; Sprengard et al., 2013)
Polyurethan	Tris(chlorpropyl)phosphat (TCPP) (CAS: 13674-84-5)	Triethylphosphat (TEP) (CAS: 78-40-0); Diethylethylphosphonat (DEEP) (CAS: 78-38-6); Dimethylpropylphosphonat (DMPP) (CAS: 18755-43-6); Diphenyltolylphosphat (CDP) (CAS: 26444-49-5); Ammonium Polyphosphat (APP) (CAS: 68333-79-9)	(Morgan, 2013; Sprengard et al., 2013)
Phenolharz	Tetrabrombisphenol A (TBBPA) (CAS: 79-94-7)	Phosphatverbindungen	
Holzwoll- und Holzfaserdämmplatten	Borax (Natriumtetraboratdecahydrat, CAS: 1303-96-4)	Aluminiumtrihydroxid (ATH) (CAS: 21645-51-2); Ammoniumphosphat (CAS: verschiedene); Ammoniumsulfat (CAS: 7783-20-2); Ammoniumpolyphosphat (APP) (CAS: 68333-79-9); Natriumcarbonat (Soda) (CAS: verschiedene) Molke	(Sprengard et al., 2013)
Hanf		Methylphosphonsäure (CAS: 993-13-5); Aluminiumtrihydroxid (ATH) (CAS: 21645-51-2); Ammoniumphosphat (CAS: verschiedene); Ammoniumsulfat (CAS: 7783-20-2); Ammonium Polyphosphat (APP) (CAS: 68333-79-9); Natriumcarbonat (Soda) (CAS: verschiedene) Molke	(Morgan, 2013)

10.3 Anhang 3: Übersicht der WDVS (und WDVS-Komponenten) mit allgemeiner bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) nach Kategorie und Hersteller

Tabelle 42: Übersicht WDVS Zulassungen nach Kategorie und Hersteller

Hersteller	Dämmstoffe für WDVS nach abZ		sonstige Bauteile		Angeklebte Dämmstoffplatten EPS	Angeklebte MineralfaserLamellenplatten	WDVS mit Keramik	Schienensysteme	angeklebte und angedübelte WDVS			WDVS für Außenwände in Holzbauart				WDVS Sonstiger Art		ETICS		
	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Klebeschraum	Sonstiges				EPS	Mineralwolle / faser	Sonstiges / unklar	Holzfaser	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Holzwolle	Aufdoppelung	Sonstiges	EPS	Mineralwolle
Saint Gobain Isover/Weber	x																			
Saint Gobain Weber	x			x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Paroc	x																			
BACHL Dämmtechnik	x																			
RYGOL Dämmstoffe	x																			
swisspor	x																			
HASIT Trockenmörtel	x			x		x	x	x	x											
HECK Wall System		Aerogel	x			x	x	x	x	x	x		x							
Knauf Insulation	x	Holzwolle, Mineral-woll-Lamelle										x								

Hersteller	Dämmstoffe für WDVS nach abz			sonstige Bauteile		angeklebte Dämmstoffplatten EPS			angeklebte MineralfaserLamellenplatten			WDVS mit Keramik			angeklebte und angedübelte WDVS			WDVS für Außenwände in Holzbauart			WDVS Sonstiger Art			ETICS				
	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Klebeschraum	Sonstiges																							
Knauf Gips				x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Brohlburg Dämmstoff- und Recyclingwerke	x																											
Holzwerk Gebr. Schneider		Holzfaser											x				x											
IsoBouw Dämmtechnik	x																											
puren		PU																										
Kingspan Insulation		Phenolharz																										
Deutsche Rockwool Mineralwolle	x																											
FROEWIS AKTIEN-GESELLSCHAFT					mechanisch																							
Sto SE				x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Sto Aktiengesellschaft																		x		keramisch und Naturstein								

Hersteller	Dämmstoffe für WDVS nach abz			sonstige Bauteile		Angeklebte Dämmstoffplatten EPS	Angeklebte MineralfaserLamellenplatten	WDVS mit Keramik	Schienensysteme	angeklebte und angedübelte WDVS			WDVS für Außenwände in Holzbauart			WDVS Sonstiger Art		ETICS	
	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Klebeschaum	Sonstiges					EPS	Mineralwolle / faser	Sonstiges / unklar	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	
Brillux				x		x	x	x	x	x	x			x			x	Pulverkleber und Armierungsmasse	
GIMA				x	Laibungsplatte	x	x	x			x	x			Lignin				
Fema Farben und Putze				x		x	x	x			x	x		x					
Rathor				x															
Baumit				x		x	x	x	x	x	x	Phenolharz		x	Ökofassade		x		
Soudal				x															
alsecco				x		x	x	x	x		x			x	x		x		x
CAPAROL				x		x	x	x	x	x	x	x		x			x	mit Unterputz und Spachtel	
ZERO LACK				x		x			x	x		Resol Hartschaum					x	x	
Schwenk Putztechnik				x													x	x	

Hersteller	Dämmstoffe für WDVS nach abz			sonstige Bauteile		Angeklebte Dämmstoffplatten EPS	Angeklebte MineralfaserLamellenplatten	WDVS mit Keramik	Schienensysteme	angeklebte und angedübelte WDVS			WDVS für Außenwände in Holzbauart			WDVS Sonstiger Art		ETICS		
	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Klebeschraum	Sonstiges					Mineralwolle / faser	Sonstiges / unklar	Holzfaser	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Holzwolle	Aufdoppelung	Sonstiges	EPS	Mineralwolle
Tremco illbruck Productie B.V.				x																
villerit Putzsysteme				x		x			x	x	x	Phenolharz						x	x	
quick mix Gruppe				x		x	x	x	x	x	x	x								
quick-mix Putztechnik						x		x	x	x	x	x	x	x						
Dracholin				x		x	x	x	x	x	x	Holzfaser	x	x						
Adolf Wagner				x		x	x	x	x	x	x	Lamelle								
KIM Jarolim Im- und Export GmbH				x																
ALLIGATOR FARBWERKE				x		x	x	x	x	x	x				x	x		x (mit Mörtel)		
HUGARD OPTOLITH BAUPRODUKTE POSLKA				x												x				
SÜDWEST Lacke und Farben				x																
EinzA Lackfabrik				x				x	x	x	x	Lamelle								

Hersteller	Dämmstoffe für WDVS nach abZ			sonstige Bauteile		Angeklebte Dämmstoffplatten EPS	Angeklebte MineralfaserLamellenplatten	WDVS mit Keramik	Schienensysteme	angeklebte und angedübelte WDVS			WDVS für Außenwände in Holzbauart			WDVS Sonstiger Art		ETICS	
	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Klebeschraum	Sonstiges					EPS	Mineralwolle / faser	Sonstiges / unklar	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	
GenoColor				x		x										x	x		
Grigolin				x													x	x	
SOVA				x													x		
Franken Maxit Mauermörtel				x		x	x			x	x	Lamelle							
beko				x															
Alfa				x															
RELIUS Farbwerke GmbH				x		x	x		x		x								
Kemmler Baustoffe				x		x					x								
Schwarzwälder Edelputzwerk GmbH				x		x	x		x	x	x		x	x		x		x	
MEGA Malereinkaufs- genossenschaft				x															
Adolf Würth				x															
Dinova				x					x							x			
Meffert				x		x	x		x	x	Lamelle					x		x	

Hersteller	Dämmstoffe für WDVS nach abz			sonstige Bauteile		Angeklebte Dämmstoffplatten EPS	Angeklebte MineralfaserLamellenplatten	WDVS mit Keramik	angeklebte und angedübelte WDVS			WDVS für Außenwände in Holzbauart			WDVS Sonstiger Art		ETICS		
	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Klebeschraum	Sonstiges				EPS	Mineralwolle / faser	Sonstiges / unklar	Holzfaser	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Holzwolle	Aufdoppelung	Sonstiges	EPS
Dow Deutschland Aktiengesellschaft				x															
Mplus				x		x	x	x	x										
KHG Kunststoffhandels- gesellschaft				x															
Wilhelm Meinl				x															
WDVS-direkt.de				x		x	x		x	x									
Debratec				x															
TERRA IMPEX SRL					Textilglas- gittergewebe														
SAKRET Bausysteme						x	x	x	x	x	x	Lamellen	x			x			
SAKRET GmbH					Schnellkleber	x		x	x	x	x		x			x	x		
HAGO Chemotechnik				x															
D-TACK				x															
Selena				x															

Hersteller	Dämmstoffe für WDVS nach abZ			sonstige Bauteile		Angeklebte Dämmstoffplatten EPS	Angeklebte MineralfaserLamellenplatten	WDVS mit Keramik	Schienensysteme	angeklebte und angedübelte WDVS			WDVS für Außenwände in Holzbauart			WDVS Sonstiger Art		ETICS				
	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Klebeschraum	Sonstiges					EPS	Mineralwolle / faser	Sonstiges / unklar	Holzfaser	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Holzwolle	Aufdoppelung	Sonstiges	EPS	Mineralwolle	Sonstiges
ROTH Edelputze				x		x							Mineralfaserlamellen									
Heller					Textilglasgit-tergewebe																	
HAERING						x	x			x					x			x				
DRACHOLIN						x																
Wolfgang Endress						x				x	x	Lamelle										
Helmut Reichel						x																
Sebastian Wochner						x																
einZa						x																
NOFA-Farben GmbH						x				x	x											
Strikolith System						x	x					x										
hawo						x	x			x	x				x			x	x			
BAHAG						x				x	x											
GREUTOL						x																
ACU Klebeband Rößler						x	x					x										

Hersteller	Dämmstoffe für WDVS nach abZ			sonstige Bauteile		Angeklebte Dämmstoffplatten EPS	Angeklebte MineralfaserLamellenplatten	WDVS mit Keramik	angeklebte und angedübelte WDVS			WDVS für Außenwände in Holzbauart			WDVS Sonstiger Art		ETICS					
	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Klebeschraum	Sonstiges				Schienensysteme	EPS	Mineralwolle / faser	Sonstiges / unklar	Holzfaser	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Holzwolle	Aufdoppelung	Sonstiges	EPS	Mineralwolle	Sonstiges
Rudolf Laier						x		x												x		
Intrakustik Baustoffhandel						x				x	x			x								
Malfa Farben						x				x	x											
IMPARAT Farbwerk						x						x		x								
SUDING & SOEKEN						x				x	x											
SIMOTHERM						x	x					x										
HDI Dämmstoff Isolierung						x																
WeGO Systembaustoffe						x	x			x	x	Lamelle					x	x				
Kombi Therm Systemdämmung						x		x														
PMZ Partner-Markt-Zentrale						x	x			x	x	Lamelle										
H.J. BÜNDER						x				x	x											
IDV						x																
Drepper Dolsenhain						x																

Hersteller	Dämmstoffe für WDVS nach abZ			sonstige Bauteile		Angeklebte Dämmstoffplatten EPS	Angeklebte MineralfaserLamellenplatten	WDVS mit Keramik	Schienensysteme	angeklebte und angedübelte WDVS			WDVS für Außenwände in Holzbauart			WDVS Sonstiger Art		ETICS	
	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Klebeschraum	Sonstiges					EPS	Mineralwolle / faser	Sonstiges / unklar	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	
SCHMITT & ORSCHLER					x														
Kalkwerk Rygol					x	x				x	x								
Heer & Werz					x							x							
Kolor					x														
BHB Bergmann					x							x							
muro Bauprodukte					x					x	x								
bausep					x					x	x								
Bundesverband Leichtbeton					x														
Hornbach Baustoff Union					x	x						x					x		
Kipp & Grünhoff					x					x	x								
Durolith Edelputzwerk					x					x	x								
Bremer					x					x	x								
Wessendorf Systembeschichtungen					x							x							

Hersteller	Dämmstoffe für WDVS nach abz			sonstige Bauteile		Angeklebte Dämmstoffplatten EPS	Angeklebte MineralfaserLamellenplatten	WDVS mit Keramik	Schienensysteme	angeklebte und angedübelte WDVS			WDVS für Außenwände in Holzbauart			WDVS Sonstiger Art		ETICS	
	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Klebeschraum	Sonstiges														
Schmidt Gipser- und Malerbedarf GmbH						x													
TERMO ORGANIKA						x													
SCHAFER KRUSEMARK						x													
PRIMO COLOR						x					x x								
Kombitex						x					x x								
BENZ						x	x				x x								
KEIMFARBEN						x	x	x			x x				x x				
Busch & Co						x					x x	Lamelle						x	
Diessner											x x	Lamelle		x				x	
Xella Deutschland											x								
Gutex											x			x					
Johannes Happe											x								
KT Dämmsystem												mit Putz							
BaumitBayosan											x								
SIVA Baustoffhandel											x								

Hersteller	Dämmstoffe für WDVS nach abZ			sonstige Bauteile		Angeklebte Dämmstoffplatten EPS	Angeklebte MineralfaserLamellenplatten	WDVS mit Keramik	Schienensysteme	angeklebte und angedübelte WDVS			WDVS für Außenwände in Holzbauart			WDVS Sonstiger Art		ETICS						
	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Klebeschraum	Sonstiges																EPS	Mineralwolle	Sonstiges	
HELAWIT						x				x	x		Lamelle		x									
SCHAEFER KRUSEMARK										x	x											x	x	
W & M Espanion GmbH										x														
Power-Mix										x	x		Lamelle											
Sebo Therm										x	x		Lamelle											
Treffert													x											
Fast												x												
Brickworld Insulation							x																	
Fryderyk							x																	
Isoklinker Produktion							x																	
Renowall WDVS Systemtechnik							x																	
CASAtherm							x																	
Klinker Zentrale						x																		

Hersteller	Dämmstoffe für WDVS nach abZ			sonstige Bauteile		Angeklebte Dämmstoffplatten EPS	Angeklebte MineralfaserLamellenplatten	WDVS mit Keramik	angeklebte und angedübelte WDVS			WDVS für Außenwände in Holzbauart			WDVS Sonstiger Art		ETICS					
	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Klebeschraum	Sonstiges				Schienensysteme	EPS	Mineralwolle / faser	Sonstiges / unklar	Holzfaser	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Holzwolle	Aufdoppelung	Sonstiges	EPS	Mineralwolle	Sonstiges
ISOLIERTECHNIK-ZENTRUM							x															
Unger-Diffutherm GmbH												x									x	
Inthermo												x										
DOSER Holzfaser-Dämmssysteme																						
Homatherm																						
ZKW Zement- und Kalkwerke Otterbein												x										
Glunz																						
Pavatex																						
Veit Dennert																						
Fachverband																	x	x				
Rubensteinwerk																					x	
Atlas Spolka																				x		
Bito																			x			

Hersteller	Dämmstoffe für WDVS nach abZ			sonstige Bauteile		Angeklebte Dämmstoffplatten EPS	Angeklebte MineralfaserLamellenplatten	WDVS mit Keramik	angeklebte und angedübelte WDVS			WDVS für Außenwände in Holzbauart				WDVS Sonstiger Art		ETICS					
	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Klebeschraum	Sonstiges				EPS	Mineralwolle / faser	Sonstiges / unklar	Holzfaser	EPS	Mineralwolle	Sonstiges	Holzwolle	Aufdoppelung	Sonstiges	EPS	Mineralwolle	Sonstiges		
Webersberger QUARZOLITH Fertigputz						73	37	23	11	56	54	41	11	24	5	7	10	14	1	19	10	8	
Bolix																		x					
Henkel																					Keramik		
Torggler																		x					
doitBau Handel und Service																		x					
Creative Baustoffe																		x					
FAST Sp.																		x					
Summe	7	4	5	48	5	73	37	23	11	56	54	151	41	11	24	5	7	10	14	1	19	10	8
Summe Kategorie				16		73	37	23	11									25			37		

Quelle: Eigene Darstellung nach DiBt (2016a, 2016b)

10.4 Anhang 4: Auf WDVS bezogene Vorgaben der MVV TB

Tabelle 43: Anforderungen der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) an WDVS

Artikel	Wesentliche Inhalte
A 2.1.2 Anforderungen an das Brandverhalten baulicher Anlagen	<p>Bei baulichen Anlagen oder Teilen von baulichen Anlagen, bei denen die Anforderungen nichtbrennbar oder schwerentflammbar gestellt werden, darf es nicht durch unbemerktes fortschreitendes Glimmen und/oder Schwelen zu einer Brandausbreitung innerhalb eines Gebäudes kommen.</p> <p>Zur Erfüllung nachfolgender Anforderungen ist die Technische Regel A 2.2.1.2 zu beachten.</p> <p>A 2.1.2.2 Nichtbrennbar</p> <p>Bei der Verwendung in baulichen Anlagen muss bei Einwirkung eines Brandes, insbesondere eines fortentwickelten teilweise vollentwickelten Brandes, gewährleistet sein, dass die Teile baulicher Anlagen keinen Beitrag zum Brand leisten. Dabei dürfen je nach Verwendung keine oder eine begrenzt bleibende Entzündung, geringstmögliche Rauchentwicklung, kein fortschreitendes Glimmen und/oder Schwelen und kein Abtropfen (ausgenommen Aluminium) oder Abfallen auftreten; die Art der Bestandteile, Formstabilität sowie Schmelzpunkt/Schmelztemperatur sind zu berücksichtigen.</p> <p>Hinweis:</p> <p>Die Anforderungen können mit Baustoffen erfüllt werden, die dauerhaft bei Einwirkung eines Brandes nach DIN 4102-1 (1998), Abschnitt 5.1 oder 5.2, die dort angegebenen Kriterien einhalten und nach Abschnitt 4.1 klassifiziert sind, ggf. mit der Angabe zum Schmelzpunkt von mindestens 1000°C nach DIN 4102-17.</p> <p>A 2.1.2.3 Schwerentflammbar</p> <p>Bei der Verwendung in baulichen Anlagen muss bei Einwirkung eines Entstehungsbrandes oder eines sich entwickelnden Brandes gewährleistet sein, dass die Teile baulicher Anlagen nur einen begrenzten Beitrag zum Brand leisten und dass nur eine begrenzte Brandausbreitung während und bei Wegfall der Brandeinwirkung vorliegt. Als Brandeinwirkung ist mit Ausnahme von Außenwandbekleidungen und Bodenbelägen der Brand eines Gegenstandes in einem Raum (z. B. Papierkorb in einer Raumecke) anzunehmen, bei Außenwandbekleidungen die aus einer Wandöffnung schlagenden Flammen (siehe auch A 2.1.5). Bei Bodenbelägen ist von einer Brandsituation auszugehen, bei der Flammen aus der Türöffnung zu einem benachbarten Raum schlagen und bei der die waagerechte Flammenausbreitung und die Rauchentwicklung unbedenklich sind.</p> <p>Dabei dürfen je nach Verwendung des Bauteils eine Entzündung erst nach einer bestimmten Zeit der Flammeneinwirkung, nur eine begrenzte Temperatur der entstehenden Rauchgase, eine begrenzte Freisetzung von Energie, begrenzte Rauchentwicklung, kein selbstständiges Weiterbrennen, kein fortschreitendes Glimmen und/oder Schwelen, ggf. kein brennendes Abfallen oder Abtropfen auftreten.</p> <p>Hinweis:</p>

Artikel	Wesentliche Inhalte
	<p>Diese Anforderungen können mit Baustoffen erfüllt werden, die dauerhaft bei Einwirkung eines Brandes nach DIN 4102-1 (1998), Abschnitt 6.1, die dort angegebenen Kriterien einhalten und nach Abschnitt 4.1 klassifiziert sind.</p> <p>Ist es nicht zulässig, dass Teile baulicher Anlagen brennend abtropfen oder abfallen, müssen zusätzlich die Kriterien gemäß DIN 4102-16 (2015), Abschnitt 9.3, erfüllt sein.</p> <p>A 2.1.2.4 Normalentflammbar</p> <p>Bei der Verwendung in der baulichen Anlage muss bei Einwirkung eines Entstehungsbrandes gewährleistet sein, dass die Teile der baulichen Anlage nur einen begrenzten Beitrag zum Brand leisten. Dabei muss bei der Brandeinwirkung durch eine kleine, definierte Flamme (Streichholzflamme) die Entzündbarkeit und die Flammenausbreitung innerhalb einer bestimmten Zeit begrenzt sein, ggf. darf kein brennendes Abfallen oder Abtropfen auftreten. Die Anforderungen können mit Baustoffen erfüllt werden, die dauerhaft bei Einwirkung eines Brandes nach DIN 4102-1:1981-05, Abschnitt 6.2, die dort angegebenen Kriterien erfüllen.</p> <p>Ist es nicht zulässig, dass Teile baulicher Anlagen brennend abtropfen oder abfallen, müssen zusätzlich die Kriterien gemäß DIN 4102-16 (2015), Abschnitt 9.3, ebenfalls erfüllt sein.</p> <p>Werden mehrere Bestandteile für die Verwendung zusammengefügt, müssen die Anforderungen an Teile der baulichen Anlage auch nach dem Zusammenfügen erfüllt sein, es sei denn, dass insgesamt das Brandverhalten erreicht wird, das alle anderen Anforderungen der Einzelbestandteile mit erfüllt.</p> <p>Soweit für die bauliche Anlage ein Bestandteil verwendet werden soll, der nicht mindestens der Anforderung „normalentflammbar“ entspricht (leichtentflammbar) ist § 26 Abs. 2 MBO einzuhalten.</p>
A 2.1.5 Außenwände	<p>Nichttragende Außenwände und nichttragende Teile tragender Außenwände baulicher Anlagen, d. h. Bauteile die keine Vertikallasten, außer ihrem Eigengewicht, abtragen und lediglich für die Aufnahme der Eigengewichts- und Windlasten bemessen sind, müssen nach § 28 MBO grundsätzlich aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen, damit eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist. Ausreichend lange Begrenzung der Brandausbreitung bedeutet auch, dass nach Ende der Brandeinwirkung und der Löscharbeiten ein fortschreitendes Glimmen und/oder Schwelen in diesen Bauteilen nicht mehr stattfindet. Sie sind aus brennbaren Baustoffen zulässig, wenn die nichttragenden Außenwände und die nichttragenden Teile tragender Außenwände als raumabschließende Bauteile feuerhemmend sind.</p>

Artikel	Wesentliche Inhalte
	<p>Abweichend von den Festlegungen in Abschnitt A 2.1.3.3.4 (zu § 26 MBO) ist es für die Brandeinwirkung von außen nach innen zulässig, dass ein Versagen frühestens nach 30 Minuten gemäß DIN 4102-3 (1977), Abschnitt 5.3.2 (abgeminderte Einheits-Temperaturkurve), eintreten darf. Ausgenommen von diesen Festlegungen werden insbesondere Fenster und Türen (sog. Lochfassade); die notwendigen Höhen der Fensterbrüstungen sind durch die Regelungen zur Verkehrssicherheit nach § 38 Abs. 3 MBO gegeben. Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen grundsätzlich in ihren einzelnen Bestandteilen schwerentflammbar sein. Zusätzlich müssen Außenwandbekleidungen aus mehreren Bestandteilen insgesamt schwerentflammbar sein.</p> <p>Für schwerentflammable Außenwandbekleidungen sind die Ergebnisse bei Einwirkungen gemäß DIN 4102-20 (2017) zu berücksichtigen. Die Anwendung von schwerentflammablen Außenwandbekleidungen in der Ausführung als Wärmedämmverbundsystem (WDVS) mit EPS-Dämmstoffen ist zur Erfüllung des Schutzzieles des § 26 Abs. 1 Satz 1 MBO bei Gebäuden der Gebäudeklasse 4 und 5 nur zulässig, wenn an vorhandenen Öffnungen in der Außenwand im Bereich der Stürze oberhalb der Öffnung auch bei Brandeinwirkung standsichere und formstabile, nichtbrennbare konstruktive Maßnahmen angeordnet werden. Darauf kann verzichtet werden, wenn umlaufend horizontal angeordnete, auch bei Brandeinwirkung standsichere und formstabile, nichtbrennbare konstruktive Maßnahmen angeordnet werden. Für solche Außenwandbekleidungen in der Ausführung als Wärmedämmverbundsystem (WDVS) mit EPS-Dämmstoffen ist zusätzlich eine Brandeinwirkung von außen, die unmittelbar im unteren Bereich der Fassade einwirkt, zu berücksichtigen. Dazu sind geeignete nichtbrennbare konstruktive Maßnahmen vorzusehen, damit das Schutzziel gemäß § 26 Abs. 1 Satz 1 MBO erfüllt ist oder es ist die Technische Regel A 2.2.1.5 einzuhalten.</p> <p>Ist für Gebäude die Verwendung von schwerentflammablen Baustoffen nicht vorgeschrieben und sollen leichtentflammabre Baustoffe in Verbindung mit anderen Baustoffen gemäß § 26 Abs. 1 Satz 2 MBO verwendet werden, muss die Verbindung dauerhaft sein. Dies ist nicht der Fall, wenn solche Außenwandbekleidungen zugänglich sind und beschädigt werden können. Bei Außenwänden mit hinterlüfteten Bekleidungen, die geschossübergreifende Hohlräume haben oder die über Brandwände hinweggeführt werden, sind auch dann, wenn sie aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen, ergänzende Vorkehrungen zur Begrenzung der Brandausbreitung zu treffen und die Technische Regel A 2.2.1.6 zu beachten. Bei Gebäuden mit Doppelfassaden muss eine Brandausbreitung über Zwischenräume im Bereich von Geschossdecken wirksam eingeschränkt sein. Die erforderlichen Vorkehrungen sind im Einzelfall zu treffen und im Brandschutznachweis darzustellen.</p>
Technische Regel A 2.2.1.2	Festlegung der Zuordnung der Brandverhaltensklassen nach DIN 4102-1 beim Nachweis des Brandverhaltens von Teilen baulicher Anlagen nach Technischen Baubestimmungen, die in C 2 genannt sind, oder nach Verwendbarkeitsnachweisen gemäß § 17 MBO.

Artikel	Wesentliche Inhalte
	<p>Für schwerentflammable und normalentflammable Bauprodukte – ausgenommen Bodenbeläge – werden bei den Prüfungen nach DIN 4102-1 (1998) Ergebnisse über das brennende Abtropfen oder das Abfallen brennender Probenteile festgestellt, bei den schwerentflammablen Bauprodukten außerdem Werte über die Rauchentwicklung. Tritt brennendes Abtropfen/Abfallen auf bzw. wird bei schwerentflammablen Bauprodukten – ausgenommen Bodenbeläge – der Grenzwert für die Rauchentwicklung überschritten, ist dies zusätzlich zur Baustoffklassifizierung mit dem Ü-Zeichen anzugeben.</p> <p>Zum Nachweis des Brandverhaltens von Teilen baulicher Anlagen, bei denen Bauprodukte nach harmonisierten technischen Spezifikationen nach der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 verwendet werden, erfolgt die Zuordnung der Brandverhaltensklassen nach DIN EN 13501-1. Solche Bauprodukte können aufgrund von EU-Rechtsvorschriften (Entscheidungen, Delegierte Rechtsakte) ohne weitere Prüfung hinsichtlich des Brandverhaltens klassifiziert werden.</p>
Technische Regel Wärmedämm- verbundsysteme A 2.2.1.5	Technische Regel - WDVS aus EPS, Sockelbrandprüfverfahren: 2016-06 (Verweis auf Anhang 5)
B 2.2 Bauteile / B 2.2.1.5 Außenseitige Wärmedämm- Verbundsysteme	WDVS mit ETA nach ETAG 004: 2017-02 (Verweis auf Anhang 11)
Sockelbrandprüfverfahren: 2016-06 (Anhang 5) Brandschutzmaßnahmen gegen Brandeinwirkung von außen: Anhang 11	<p>Detaillierte Vorgaben zum Prüfstand, zur messtechnischen Ausrüstung, zur Primärbrandquelle, zur Konditionierung der zu prüfenden WDVS, zur Versuchsdurchführung, zur Bewertung, etc.</p> <p>3.2 WDVS mit expandiertem Polystyrol-(EPS)-Dämmstoff nach DIN EN 13163</p> <p>Brandschutzmaßnahmen gegen Brandeinwirkung von außen:</p> <ol style="list-style-type: none"> ein Brandriegel an der Unterkante des WDVS bzw. maximal 90 cm über Geländeoberkante oder genutzten angrenzenden horizontalen Gebäudeteilen (z. B. Parkdächer u. a.); ein Brandriegel in Höhe der Decke des 1. Geschosses über Geländeoberkante oder angrenzenden horizontalen Gebäudeteilen nach Nr. 1, jedoch zu dem darunter angeordneten Brandriegel mit einem Achsabstand von nicht mehr als 3 m. Bei größeren Abständen sind zusätzliche Brandriegel einzubauen; ein Brandriegel in Höhe der Decke des 3. Geschosses über Geländeoberkante oder angrenzender horizontaler Gebäudeteile nach Nr. 1, jedoch zu dem darunter angeordneten Brandriegel mit einem Achsabstand von nicht mehr als 8 m. Bei größeren Abständen sind zusätzliche Brandriegel einzubauen;

Artikel	Wesentliche Inhalte
	<p>4. weitere Brandriegel an Übergängen der Außenwand zu horizontalen Flächen (z. B. Durchgänge, -fahrten, Arkaden), soweit diese in dem durch einen Brand von außen beanspruchten Bereich des 1. bis 3. Geschosses liegen. Weiterhin ist ein Brandriegel (wie vorstehend beschrieben) maximal 1,0 m unterhalb von angrenzenden brennbaren Bauprodukten (z. B. am oberen Abschluss des WDVS unterhalb eines Daches) in der Dämmebene des WDVS anzutragen.</p> <p>Das applizierte WDVS muss von der Unterkante des WDVS bis mindestens zur Höhe des Brandriegels nach Nr. 3 folgende Anforderungen erfüllen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Mindestdicke des Putzsystems (Oberputz und Unterputz) 4 mm, bei Ausführung vorgefertigter, klinkerartiger Putzteile („Flachverblender“) Dicke des Unterputzes \geq 4 mm, ▶ An Gebäudeinnenecken im bewehrten Unterputz Eckwinkel aus Glasfasergewebe, Flächengewicht 280 g/m² und Reißfestigkeit $>$ 2,3 kN/5 cm (im Anlieferungszustand), ▶ Verwendung eines Bewehrungsgewebes mit einem Flächengewicht von \geq 150 g/m², ▶ Oberhalb des Brandriegels nach Nr. 3: 1) Dämmstoffdicken $d > 100$ mm bis $d \leq 300$ mm bei geklebten bzw. geklebt-gedübelten WDVS <ul style="list-style-type: none"> ○ ausschließlich mineralisch oder organisch gebundene Klebemörtel (keine Klebeschäume) ○ mineralisch gebundene Unter- und Oberputze (Bindemittel Zement/Kalk) mit einem Gehalt an organischen Bestandteilen in der Trockenmasse von Unter- und Oberputz jeweils \leq 5 %, Nassauftragsmenge jeweils \geq 2,5 kg/m² mit einer Gesamtputzdicke (Unter- + Oberputz) \geq 4 mm, ○ organisch gebundene Unter- und Oberputze (Bindemittel: Kunstharz-, Silikonharz- oder Silikatdispersion) mit einem Gehalt an organischen Bestandteilen in der Trockenmasse von Unter- und Oberputz jeweils \leq 10 %, Nassauftragsmenge jeweils 2,5 bis 8 kg/m², Gesamtputzdicke (Unter- + Oberputz) 4 bis 14 mm <p>sind in folgenden Bereichen Brandschutzmaßnahmen auszuführen:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Oberhalb jeder Öffnung im Bereich der Stürze, mindestens 300 mm seitlich überstehend (links und rechts der Öffnung) und im Bereich gedämmter Laibungen, b. beim Einbau von Rollläden oder Jalousien unmittelbar oberhalb von Öffnungen bzw. bei der Montage von Fenstern in der Dämmebene sind diese dreiseitig – oberhalb und an beiden Seiten, mindestens 200 mm hoch bzw. breit, wie unter a) beschrieben – zu umschließen. Die Ausführung nach a) und b) darf entfallen, wenn mindestens in jedem 2. Geschoss ein horizontal das Gebäude umlaufender Brandriegel angeordnet wird. Der Brandriegel ist so anzutragen, dass ein maximaler Abstand von 0,5 m zwischen Unterkante Sturz und Unterkante Brandriegel eingehalten wird. <p>2) Dämmstoffdicken \leq 100 mm: Der Einbau der Fenster erfolgt bündig mit oder hinter der Rohbaukante.</p>

10.5 Anhang 5: Brandschutzklassifizierung von Dämmstoffen und Brandprüfungen

Tabelle 44: Brandschutzklassifizierungen für Baustoffe und Tests in Deutschland

Bauaufsichtliche Anforderungen Deutschland	Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Brandtest nach DIN 4102-1	Baustoffklasse nach DIN EN 13501-1	Brandtest nach DIN EN 13501-1 (Dubravka Bjegović, 2016)	Material
Nichtbrennbar	A1			EN ISO 1182 und EN ISO 1716	Stein, Keramik, Glas
Nichtbrennbar	A2		A2 – s1*, d0** mit Angabe zum Glimm- und Schwelverhalten	EN ISO 1182 oder EN ISO 1716 und EN 13823 (SBI)	Stein, Keramik, Glass mit kleinem Anteil organischer Materialien
Nichtbrennbar und Schmelzpunkt > 1.000°C	A1, A2 und Angabe: Schmelzpunkt mind. 1000° C	DIN 4102-17 (2017) Schmelzpunkt von Mineralfaser Dämmstoffen; Begriffe, Anforderungen, Prüfung	A2 – s1, d0 mit Angabe zum Glimm- und Schwelverhalten sowie zum Schmelzpunkt	EN ISO 1182 EN ISO 1716 EN 13823	Mineralfaserdämmstoffe
schwerentflammbar	B1	$I \leq 400 \% \times \text{Min.}$ nach DIN4102-15: 1990-05 Brandschacht	C – s1, d2 mit Angabe zum Glimm- und Schwelverhalten	EN 13823 und EN ISO 11925-2	
Schwerentflammbar und nicht brennend abfallend oder abtropfend	B1	$I \leq 400 \% \times \text{Min.}$ nach DIN4102-15: 1990-05 Brandschacht	C – s3 – d0 mit Angabe zum Glimm- und Schwelverhalten	EN 13823 und EN ISO 11925-2	

Bauaufsichtliche Anforderungen Deutschland	Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Brandtest nach DIN 4102-1	Baustoffklasse nach DIN EN 13501-1	Brandtest nach DIN EN 13501-1 (Dubravka Bjegović, 2016)	Material
	nicht brennend abfallend oder abtropfend sowie begrenzte Rauchentwicklung				
Schwerentflammbar und geringe Rauchentwicklung	B1 Und geringe Rauchentwicklung	$I \leq 100 \% \times \text{Min.}$ nach DIN4102-15: 1990-05 Brandschacht	C – s1, d2 mit Angabe zum Glimm- und Schwelverhalten	EN 13823 EN ISO 11925-2	
Schwerentflammbar und nicht brennend abfallend oder abtropfend sowie geringe Rauchentwicklung	B1 nicht brennend abfallend oder abtropfend sowie geringe Rauchentwicklung	$I \leq 100 \% \times \text{Min.}$ nach DIN4102-15: 1990-05 Brandschacht	C – s3, d0 mit Angabe zum Glimm- und Schwelverhalten	EN 13823 EN ISO 11925-2 (30s)	
Normalentflammbar nicht brennend abfallend oder abtropfend	B2		E	EN ISO 11925-2 (15 s)	Organische Dämmstoffe
Normalentflammbar	B2 (auch brennend abfallend oder abtropfend)		E – d2	EN ISO 11925-2 (15 s)	
Leicht entflammbar	B3		F	Keine Brandtest-anforderungen	

* s: Rauchentwicklung dreistufig: s1 – s3

**d: Tropfenbildung dreistufig: d0 – d2

Tabelle 45: Brandschutzklassifizierungen für Baustoffe und Tests in der Schweiz

Brandverhaltensgruppe Schweiz	Brandverhaltensgruppe	Baustoffklasse SN EN 13501-1
Kein Brandbeitrag	RF = 1	A1; A2 – s1 – d0
Geringer Brandbeitrag	RF = 2	A2-s1,d1 A2-s2,d0 A2-s2,d1 B-s1,d0 B-s1,d1 B-s2,d0 B-s2,d1 C-s1,d0 C-s1,d1 C-s2,d0 C-s2,d1 Baustoffe mit kritischen Verhalten: A2-s1,d2 A2-s2,d2 A2-s3,d0 A2-s3,d1 A2-s3,d2 B-s1,d2 B-s2,d2 B-s3,d0 B-s3,d1 B-s3,d2 C-s1,d2 C-s2,d2 C-s3,d0 C-s3,d1 C-s3,d2
Zulässiger Brandbeitrag	RF = 3	D-s1,d0

Brandverhaltensgruppe Schweiz	Brandverhaltensgruppe	Baustoffklasse SN EN 13501-1
		D-s1,d1 D-s2,d0 D-s2,d1 D-s1,d2 D-s2,d2 D-s3,d0 D-s3,d1 D-s3,d2
Unzulässiger Brandbeitrag	RF = 4	E E-d2

10.6 Anhang 6: Materialprüfungsanstalten

1. Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen (MPA NRW)
2. Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH - MFPA Leipzig GmbH
3. Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (MPA Stuttgart, Otto-Graf-Institut, (FMPA))
4. Materialprüfanstalt für das Bauwesen Braunschweig
5. Materialprüfanstalt für das Bauwesen Hannover
6. Amtliche Materialprüfungsanstalt der Freien Hansestadt Bremen
7. Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar
8. Fraunhofer-Institut für Holzforschung Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
9. Entwicklungs- und Prüflabor Holztechnologie GmbH
10. Kiwa GmbH Niederlassung MPA Berlin-Brandenburg
11. TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH
12. Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
13. HFB Engineering GmbH
14. Forschungs- und Prüfinstitut Steine und Erden Karlsruhe e.V.
15. Güteschutzmehrheit Hartschaum e.V.
16. Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München (FIW)
17. ift Rosenheim GmbH

10.7 Anhang 7: Verwertungs- und Beseitigungsmöglichkeiten für WDVS-Dämmstoffe

Tabelle 46: Verwertungs- und Beseitigungsmöglichkeiten für WDVS-Dämmstoffe

Dämmstoff	AVV- Nr.	Werkstoffliche Verwertung	Rohstoffliche Verwertung	Energetische / Thermische Verwertung	Beseitigung (Deponierung)	Bemerkungen
WDVS mit synthetischen Dämmstoffen						
Polystyrol z.B. EPS	17 06 04 17 09 04	<ul style="list-style-type: none"> • Wiederverwendung sauberer unbeschädigter Platten möglich • Schutzplatten bei Abbrucharbeiten • Gemahlene EPS-Abfälle ohne HBCD als Leichtzuschlag für Beton, Mauerziegel, Mörtel und Putz • Recycling-Dämmplatten mit verschiedenen Anteilen an HBCD-freien Recyclaten • Vor 2016 legal als Ersatzbrennstoff in Zementwerken • HBCD-verunreinigtes EPS als Recyclat nach 2016 illegal 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgeschäumtes Material aus dem CreaSolv®-Verfahren als Dämmstoff oder in anderen Anwendungen; noch nicht im industriellen Großmaßstab; hohe Transportkosten von Baustelle zur Recyclinganlage 	<ul style="list-style-type: none"> • häufigster Verwertungsweg (Stand der Technik) • beseitigt HBCD-Verunreinigungen 	<ul style="list-style-type: none"> • verboten 	<ul style="list-style-type: none"> • Derzeit kein Recyclingverfahren, das eine hochwertige Wiederverwertung von EPS ermöglicht. • Umsetzung des CreaSolv®-Verfahren ist anzustreben. • Werkstoffliche und rohstoffliche Verwertung anzustreben.

Dämmstoff	AVV- Nr.	Werkstoffliche Verwertung	Rohstoffliche Verwertung	Energetische / Thermische Verwertung	Beseitigung (Deponierung)	Bemerkungen
Schaumstoffe aus Polyurethan	17 06 04 17 09 04	<ul style="list-style-type: none"> Wiederverwendung sauberer unbeschädigter Platten möglich Recycling von Produktionsabfällen wird durchgeführt 		<ul style="list-style-type: none"> Verbrennung in Abfallverbrennungsanlagen (PU erfüllt dabei das Kriterium der rückstandsfreien Verbrennung) 		<ul style="list-style-type: none"> Wiederverwertung nur bei Produktionsresten praktiziert, sonstige stoffliche Verwertung derzeit ökologisch u. ökonomisch nicht vertretbar

- WDVS mit mineralischen Dämmstoffen

Steinwolle	Alte Fasern 17 0603* Nicht gefährliche Fasern 17 06 04	<ul style="list-style-type: none"> unverschmutzt: stoffliche Wiederverwertung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Rohstoffliche Verwertung bei nicht gefährlichen Fasern Sortenreine, in speziellen Kunststoff Säcken (nach TRGS 521) gesammelte und zu Briketts gepresste Mineralwolle-Dämmstoffe für Herstellung neuer Mineralwolle geeignet <ul style="list-style-type: none"> ✓ Bsp1 : Firma Rockwool und der Firma FLUM ROC AG Mikrowellentechnologien ermöglichen umweltgerechtes 	<ul style="list-style-type: none"> thermische Verwertung nicht möglich 	<ul style="list-style-type: none"> verschmutzt: Bauschuttdeponie, luftdicht und angefeuchtet abgepackt in speziellen Säcken Art der Deponierung abhängig von Abfallart nach Europäischen Abfallkatalog (EAK) und Abfallschlüssel nach Abfallverzeichnisverordnung (AVV) 	<ul style="list-style-type: none"> Zukünftige Ziele: Entwicklung von Recyclingkonzepten, Aufbereitungs- und Verwertungsverfahren, Sammel- und Logistiksystemen
------------	---	--	---	---	---	---

Dämmstoff	AVV- Nr.	Werkstoffliche Verwertung	Rohstoffliche Verwertung	Energetische / Thermische Verwertung	Beseitigung (Deponierung)	Bemerkungen
			<p>Recycling von WDVS aus Mineralwolle</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ziegelherstellung³⁵ • als Recyclingbrikett; z.T. als Zuschlagstoff für die Herstellung von Ziegeln, Fliesen³⁶ • Verschnitt als Einblasdämmung 		<ul style="list-style-type: none"> • alte Mineralwolle ohne RAL-Gütezeichen (Kauf vor dem 1.6.2000) gemäß TRGS 521 und TRGS 201 zu verpacken und zu kennzeichnen: Abfallschlüsselnummer 170603* für gefährliche Abfälle und entsprechende Deponierung 	
Aerogel	17 06 04 17 09 04	<ul style="list-style-type: none"> • nicht möglich, da vermutlich sehr aufwändig, bzw. noch keine Entwicklungen, noch keine 		<ul style="list-style-type: none"> • Thermische Verwertung nicht möglich, da mineralisch • thermische Behandlung (Hochtemperaturverbrennung) zukünftig 	<ul style="list-style-type: none"> • üblicher Beseitigungs- weg 	

³⁵ <http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/2NachhaltigesBauenBauqualitaet/2016/ressourceneffizienzpotenziale/Endbericht.pdf?blob=publicationFile&v=2> (aufgerufen am 8.1.2018)

³⁶ <http://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Steinwolle> (aufgerufen am 8.1.2018)

Dämmstoff	AVV- Nr.	Werkstoffliche Verwertung	Rohstoffliche Verwertung	Energetische / Thermische Verwertung	Beseitigung (Deponierung)	Bemerkungen
		Erfahrungswerte zum Langzeitverhalten ³⁹		empfohlen, um Nanopartikel umzuwandeln / jedoch noch keine Erfahrungswerte zum Langzeitverhalten ³⁷		
Mineralschäume	17 06 04 17 09 04	<ul style="list-style-type: none"> Derzeit nur Produktionsreste (sortenrein) als Sandersatz in der Mischung für neue Platten; Verwertung zu Recyclingbaustoffen möglich³⁸ Auch Verwertung als Ölbindemittel, Streu etc. keine praktischen Erfahrungen zur Wieder- oder Weiterverwendung rückgebauter Platten 	<ul style="list-style-type: none"> Als Bauschutt begrenzt recyclingfähig Zuschlag für Wärmedämmputz 	<ul style="list-style-type: none"> Nicht möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Deponierung gemäß Klasse II TA Siedlungsabfälle 	<ul style="list-style-type: none"> werkstoffliche und rohstoffliche Verwertung anzustreben

³⁷ <http://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/daemmstoffe/aus-mineralischen-rohstoffen/daemmstoffe-mit-aerogelen.html> (aufgerufen am 8.1.2018)

³⁸ <http://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Mineralschaumplatten> (aufgerufen am 8.1.2018)

Dämmstoff	AVV- Nr.	Werkstoffliche Verwertung	Rohstoffliche Verwertung	Energetische / Thermische Verwertung	Beseitigung (Deponierung)	Bemerkungen
WDVS mit nachwachsenden Dämmstoffen						
Holzfaser und Holzwolle	170201 oder 030105 (laut Firma GUTEX ³⁹),	<ul style="list-style-type: none"> bei sortenreinem Ausbau möglich, aber nicht wirtschaftlich⁴⁰ als Einblasdämmung nach mechanischen Ausbau im Herstellerwerk wenn frei von Verunreinigungen und Fremdkörpern Kompostierung bei nicht verunreinigten Platten ohne Zusatzstoffe möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Wiederverwertbar nur sortenrein im Papierrecycling 	<ul style="list-style-type: none"> Aufgrund der eingesetzten Borate üblich Plattenreste z. B. in Feuerungsanlagen der holzverarbeitenden Betriebe als leistungsstarke Energiequelle beim Beheizen der Werkräume 	<ul style="list-style-type: none"> abhängig von den Bindemitteln/ Zusatzstoffen 	<ul style="list-style-type: none"> werkstoffliche und rohstoffliche Verwertung anzustreben
Hanf	k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Schüttgut wiederverwendbar⁴¹ bei sortenreinem Ausbau und Rücknahmesystem (zum Teil vorhanden) des Herstellers möglich⁴⁴ 	<ul style="list-style-type: none"> Recycling von Dämmmatte aufgrund der Verbundstoffe nicht möglich 	<ul style="list-style-type: none"> thermische Verwertung wegen des günstigen Heizwertes der natürlichen Dämmstoffe möglich und sinnvoll 	<ul style="list-style-type: none"> abhängig von den Bindemitteln/ Zusatzstoffen 	

³⁹ <http://blog.gutex.de/2015/11/03/aus-der-natur-fuer-die-umwelt-gutex-daemmstoffe-aus-holz-sind-zu-100-recycelbar-und-kompostierfaehig/> (aufgerufen am 8.1.2018)

⁴⁰ <http://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/daemmstoffe/aus-nachwachsenden-rohstoffen/holzfaserdaemmplatten.html> (aufgerufen am 8.1.2018)

⁴¹ <http://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Hanf%20D%C3%A4mmstoffe> (aufgerufen am 8.1.2018)

Dämmstoff	AVV- Nr.	Werkstoffliche Verwertung	Rohstoffliche Verwertung	Energetische / Thermische Verwertung	Beseitigung (Deponierung)	Bemerkungen
		<ul style="list-style-type: none"> als Dämmvlies bei zerstörungsfreiem Ausbau wiederverwendbar 				
Kork	k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Wiederverwertbar als Dämmgranulat Kompostierbarkeit von Bindemittel und Zusatzstoffen (wie Phenolharze) abhängig 		<ul style="list-style-type: none"> Thermische Verwertung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Verboten ohne thermische Vorbehandlung 	
Vakuum-paneele	k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Nach Erkenntnisstand von WACKER Chemie AG Kieselsäure aus VIP nach einem Trennungsprozess von Faserstoffen und Trübungsmitteln erneut als Bestandteil von VIP Stützkernen einsetzbar 				<ul style="list-style-type: none"> Gegenwärtig noch schwer abschätzbar da noch keine Rückbau-maßnahmen VIP besteht aus Aluminium, EPS, Polyurethan, Kleber etc. VIP bisher noch nicht in eine Abfallschlüsselnr. eingestuft

Quellen: Albrecht & Schwitalla (2015), Bauzentrum München (2010), Brockmann et al. (2011), VDI ZRE (2014), Dorsch et al. (2017), Weiß & Paproth (2001)

10.8 Anhang 8: Begleitkreis

Ständige Mitglieder des Begleitkreises	
André Gloßmann Peter Proschek (1. Fachgespräch, 29.01.2017) Brigitte Strathmann (2. Fachgespräch, 12.04.2017)	Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt)
Claus Asam	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
Christoph Sprengard	Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (FIW)
Markus Blepp	Öko-Institut e.V. Freiburg
Anke Joas	BiPRO GmbH München
Outi Ilvonen	Umweltbundesamt
Johanna Wurbs	Umweltbundesamt
Wolfgang Plehn	Umweltbundesamt
Fachgespräch 1	
Andreas Ruhs	Feuerwehr Frankfurt
Heike Böhmer	Institut für Bauforschung e.V.
Sebastian Hauswaldt	MFPA Leipzig GmbH Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH
Olaf Riese	TU Braunschweig – Institut für Baustoffe, Massivbau & Brandschutz Fachgebiet Brandschutz
Ingolf Kotthoff	Ingenieur-Büro für Brandschutz an Fassade in Leipzig; bis 2012 AG-Leiter für Originalbrände an der MFPA

Fachgespräch 2	
Susanne Moritz	Öko-Institut

Hans-Joachim Riechers	Industrieverband WerkMörtel e.V.
Christoph Schwitalla	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Arnold Drewer	IPEG-Institut
Gotthard Walter	Fachhochschule Münster Fachbereich Bauingenieurwesen IWARU Institut für Wasser·Ressourcen·Umwelt Arbeitsgruppe Ressourcen
Julia Lehmann	C.A.R.M.E.N. e.V. Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe
Oliver Berg	Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V. (FV-WDVS)
Jens Forberger	Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT

Fachgespräch 3

Helge Kramberger	Dr. Robert-Murjahn-Institut GmbH
Werner Duttlinger	STO AG
Matthias Becker	Saint-Gobain Weber
Jörg Rich	Saint-Gobain Weber
Thomas Koch	Keimfarben GmbH
Franz Heidberger	Keimfarben GmbH
Stefan Basler	STO AG
Nicole Bandow	BAM
Ute Schoknecht	BAM

11 Quellenverzeichnis

- Albrecht W. und Schwitalla C. (2015): Rückbau, Recycling und Verwertung von WDVS. Möglichkeiten der Wiederverwertung von Bestandteilen des WDVS nach dessen Rückbau durch Zuführung in den Produktionskreislauf der Dämmstoffe bzw. Downcycling in die Produktion minderwertiger Güter bis hin zur energetischen Verwertung. Forschungsinitiative Zukunft Bau, Band F 2932. Stuttgart.
- ASTM G 155 (2013): Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials.
- AVV (2001): Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung) vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), die durch Artikel 2 der Verordnung vom 17. Juli 2017 (BGBl. I S. 2644) geändert worden ist
- BAF (2014): Bundesverband Ausbau und Fassade. <http://www.zdb.de/zdb-cms.nsf/id/bundesverband-ausbau-und-fassade-im-zdb-de>. Aufgerufen am 06.12.2017.
- BASF (2014). BASF nimmt an öffentlicher Anhörung über Zulassung von Flammschutzmittel nach der REACH-Verordnung teil [Press release]. https://www.bASF.com/documents/corp/de/news-and-media/news-releases/2014/06/P268d_BASF_Flammschutz_PublicConsultation.pdf. Aufgerufen am 06.12.2017.
- Baumit (2016): Leitfaden für die WDVS-Verarbeitung.
- Baunetz Wissen (2016): Wärmedämmverbundsystem. <https://www.baunetzwissen.de/fassade/fachwissen/fassadenelemente/waermedaemmverbundsysteme-wdvs-154443>. Aufgerufen am 06.12.2017.
- Bauzentrum München (2010): Handbuch ökologische Wärmedämmstoffe. Neckarbischofsheim
- BFS (2012): Bundesausschuss Farbe und Sachwertschutz e.V.: Merkblatt Nr. 21: Technische Richtlinien für die Planung und Verarbeitung von Wärmedämm-Verbundsystemen.
- Bigalke, U.; Discher, H.; Lukas, H.; Zeng, Y.; Bensmann, K. und Stolte, C. (2012): Der dena-Gebäudereport 2012. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand. Berlin.
- Bjegović, D.; Banjad Pečur, I.; Milovanović, B.; Jelčić Rukavina, M. and Bagarić, M. (2016): Comparative full-scale fire performance testing of ETICS systems. Građevinar, 68(05.). doi:10.14256/JCE.1347.2015.
- Blauer Engel (2010): Basic Criteria for Award of the Environmental Label, External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS), RAL-UZ 140. https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/raluz_uz/e-UZ-140.zip. Accessed 06 December 2017.
- Blauer Engel (2016): Vergabegrundlage für Umweltzeichen. Wärmedämmverbundsysteme - RAL-UZ 140 <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/bauen/waermedaemmverbundsysteme/waermedaemmverbundsysteme>. Aufgerufen am 06.12.2017.
- Brauer, U. (2015): Gibt es Alternativen zur Polystyrol-Dämmung? Interview des Norddeutschen Rundfunks am 13.11.2015. <http://www.ndr.de/ratgeber/verbraucher/Gibt-es-Alternativen-zur-Polystyrol-Daemmung,waermedaemmung199.html>. Aufgerufen am 14.12.2017.
- Brockmann, T.; Herr, R. und Rössig, S. (2011): Vakuumisolationspaneele (VIP) in der Baupraxis. In: BBSR (Hrsg.): Analysen Bau. Stadt. Raum, Band 3, Bonn.
- Brucha (2012): Gebäudehüllen aus Sandwichpaneelen. Leitfaden zur Verarbeitung. http://www.brucha.at/opmodule/user/brucha-neu/dokumente/dl_de_Verlegerichtlinien_11_2012.pdf. Aufgerufen am 06.12.2017.
- Brumme D. (2015): WDVS-Platten mit Klebe- und Armierungsmörtel richtig verkleben. <http://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/wdvs/klebemoertel.html>. Aufgerufen am 06.12.2017.
- BS 8414-1+A1 (2015): Fire performance of external cladding systems. Test method for non-loadbearing external cladding systems applied to the masonry face of a building.
- Bundesregierung (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Berlin.
- BV-Farbe (2017): Zahlen und Fakten des Maler- und Lackiererhandwerks. <https://www.farbe.de/verband/wissenswertes/zahlen-daten-fakten/>. Aufgerufen am 06.12.2017.
- Deilmann, C.; Krauß, N.; Gruhler, K. und Reichenbach, J. (2014): Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau. Endbericht zum vom BBSR im BBR geforderten Forschungsvorhaben. Dresden.

Deutsche Umwelthilfe (2016): Naturdämmstoffe - Wider die falschen Mythen. Hintergrundpapier.

http://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Energieeffizienz/Gebaeude/Mythen_Naturdaemmstoffe_110216.pdf. Aufgerufen am 15.12.2017.

DIBt (2012): Deutsches Institut für Bautechnik, Zulassungsbereiche (abZ). <http://www.dibt.de/de/Zulassungen/abZ-Zulassungsbereiche.html>. Aufgerufen am 06.12.2017.

DIBt (2015): Newsletter 03, 8. Merkblatt (Stand 18.06.2015) – Empfehlungen zur Sicherstellung der Schutzwirkung von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) aus Polystyrol. <https://www.dibt.de/de/Service/Newsletter.html>. Aufgerufen am 06.12.2017.

DIBt (2016a): Deutsches Institut für Bautechnik. ETA-Verzeichnis. Zulassungsbereich: Gebäudehülle.
https://www.dibt.de/de/zv/ETA_n/zv_referat_II1/SVA_9004.htm. Aufgerufen am 06.12.2017.

DIBt (2016b): Deutsches Institut für Bautechnik. Europäische Bewertungsdokumente und Europäische Technische Bewertungen. <https://www.dibt.de/de/zulassungen/ETB.html>. Aufgerufen am 06.12.2017.

DIBt (2016c): Verzeichnis der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen. Zulassungsbereich: Fassadenbau.
https://www.dibt.de/de/zv/NAT_n/zv_referat_II1/SVA_33.htm. Aufgerufen am 06.12.2017.

DIBt (2017): Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen. Ausgabe 2017/1 vom 31. August 2017. Amtliche Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik.

Diefenbach, N.; Cischinsky, H.; Rodenfels, M. und Clausnitzer, K.-D. (2010): Datenbasis Gebäudebestand. Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Darmstadt.

DIN 4102-1 (1998): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.

DIN 4102-2 (1977): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.

DIN 4102-4 (2016): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile.

DIN 4102-15 (1990): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Brandschacht.

DIN 4102-16 (2015): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 16: Durchführung von Brandschachtprüfungen.

DIN 4102-17 (2017): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 17: Schmelzpunkt von Mineralwolle-Dämmstoffen - Begriffe, Anforderungen und Prüfung.

DIN 4102-20 (2017): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 20: Ergänzender Nachweis für die Beurteilung des Brandverhaltens von Außenwandbekleidungen.

DIN 4108-2 (2013): Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.

DIN 4108-3 (2014): Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz - Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung.

DIN 4108-4 (2017): Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte.

DIN 4108-10 (2015): Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe - Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe.

DIN 18345 (2016): VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Wärmedämm-Verbundsysteme.

DIN 18363 (2016): VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Maler- und Lackierarbeiten - Beschichtungen.

DIN 18550-1 (2018): Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen - Teil 1: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-1:2016-09 für Außenputze.

DIN 18515-1 (2017): Außenwandbekleidungen - Grundsätze für Planung und Ausführung - Teil 1: Angemörtelte Fliesen oder Platten.

DIN 18558 (1985): Kunstrarzputze; Begriffe, Anforderungen, Ausführung.

DIN 55699 (2017): Anwendung und Verarbeitung von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS) mit Dämmstoffen aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum (EPS) oder Mineralwolle (MW).

DIN 55945 (2016): Beschichtungsstoffe und Beschichtungen - Ergänzende Begriffe zu DIN EN ISO 4618.

DIN EN 197-1 (2011). Zement - Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement; Deutsche Fassung EN 197-1:2011.

DIN EN 459-1 (2015). Baukalk - Teil 1: Begriffe, Anforderungen und Konformitätskriterien; Deutsche Fassung EN 459-1:2015.

DIN EN 998-1 (2017): Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau - Teil 1: Putzmörtel; Deutsche Fassung EN 998-1:2016.

DIN EN 1062-1 (2004): Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 1: Einteilung; Deutsche Fassung EN 1062-1:2004.

DIN EN 1062-3 (2008): Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 3: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit; Deutsche Fassung EN 1062-3:2008.

DIN EN 13119 (2016): Vorhangfassaden - Terminologie; Dreisprachige Fassung EN 13119:2016.

DIN EN 13162 (2015): Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) - Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13162:2012+A1:2015.

DIN EN 13163 (2017): Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Polystyrol (EPS) - Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13163:2012+A2:2016.

DIN EN 13499 (2003): Wärmedämmstoffe für Gebäude - Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus expandiertem Polystyrol - Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13499:2003.

DIN EN 13500 (2003): Wärmedämmstoffe für Gebäude - Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus Mineralwolle - Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13500:2003.

DIN EN 13501-1 (2010): Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten; Deutsche Fassung EN 13501-1:2007+A1:2009.

DIN EN 13823 (2015): Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten - Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen; Deutsche Fassung EN 13823:2010+A1:2014.

DIN EN 13914 (2016): Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen - Teil 1: Außenputze; Deutsche Fassung EN 13914-1:2016.

DIN EN 15804 (2014): Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A1:2013.

DIN EN 15824 (2017): Festlegungen für Außen- und Innenputze mit organischen Bindemitteln; Deutsche Fassung EN 15824:2017.

DIN EN 16724 (2017): Wärmedämmstoffe für Gebäude - Einbau- und Befestigungsbedingungen für die Prüfung des Brandverhaltens von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS); Deutsche Fassung EN 16724:2015.

DIN EN 16733 (2016): Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten - Bestimmung der Neigung eines Bauprodukts zum kontinuierlichen Schwelen; Deutsche Fassung EN 16733:2016.

DIN EN 45545-2 (2016): Bahnanwendungen - Brandschutz in Schienenfahrzeugen - Teil 2: Anforderungen an das Brandverhalten von Materialien und Komponenten; Deutsche Fassung EN 45545-2:2013+A1:201.

DIN EN ISO 846 (1997): Kunststoffe - Bestimmung der Einwirkung von Mikroorganismen auf Kunststoffe. Deutsche Fassung EN ISO 846:1997.

DIN EN ISO 1182 (2010): Prüfungen zum Brandverhalten von Produkten - Nichtbrennbarkeitsprüfung (ISO 1182:2010); Deutsche Fassung EN ISO 1182:2010.

DIN EN ISO 1716 (2010): Prüfungen zum Brandverhalten von Produkten - Bestimmung der Verbrennungswärme (des Brennwerts) (ISO 1716:2010); Deutsche Fassung EN ISO 1716:2010.

DIN EN ISO 4618 (2015): Beschichtungsstoffe - Begriffe (ISO 4618:2014); Dreisprachige Fassung EN ISO 4618:2014.

DIN EN ISO 5659-2 (2017): Kunststoffe - Rauchentwicklung - Teil 2: Bestimmung der optischen Dichte durch Einkammerprüfung (ISO 5659-2:2017); Deutsche Fassung EN ISO 5659-2:2017.

DIN EN ISO 7783 (2012): Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit - Schalenverfahren (ISO 7783:2011); Deutsche Fassung EN ISO 7783:2011.

DIN EN ISO 11925-2 (2011): Prüfungen zum Brandverhalten - Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeneinwirkung - Teil 2: Einzelflammentest (ISO 11925-2:2010); Deutsche Fassung EN ISO 11925-2:2010.

DIN EN ISO 14025 (2011): Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Typ III Umweltdeklarationen - Grundsätze und Verfahren (ISO 14025:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14025:2011.

DIN EN ISO 14040 (2009): Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2006.

DIN EN ISO 14044 (2006): Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14044:2006.

DIN EN ISO 15148 (2016): Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen (ISO 15148:2002 + Amd 1:2016); Deutsche Fassung EN ISO 15148:2002 + A1:2016.

Dorsch, L.; Kaiser, C.; Niklasch, W.; Schöpgens, H. und Spritzendorfer, J. (2017): MARKTÜBERSICHT. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Gützow-Prüzen.

Drewer, A.; Paschko, H.; Paschko, K. und Pastschke, M. (2013): Wärmedämmstoffe. Kompass zur Auswahl und Anwendung. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller. Köln.

Eberl-Pacan, R. (2013): Wärmedämmverbundsysteme und Brandschutz. FeuerTrutz Magazin, Nr. 4.

EFRA (2004): The European Flame Retardants Association. Flammeschutzmittel - Häufig gestellte Fragen.

https://www.ngtex.de/Flammschutzmittel/EFRA_edu_FAQ.pdf. Aufgerufen am 06.12.2017.

Enbausa (2016): Energetisch Bauen und Sanieren. Auch in einem WDVS muss es nicht immer Polystyrol sein.

<https://wdvs.enbausa.de/fakten/daemmstoffe-auch-in-einem-wdvs-muss-es-nicht-immer-polystyrol-sein.html>. Aufgerufen am 06.12.2017.

Energieheld (2017): Übersicht. Die wichtigsten Dämmstoffe und ihre Eigenschaften.

<https://www.energieheld.de/daemmung/daemmstoffe/daemmstoff-uebersicht>. Aufgerufen am 06.12.2017.

EnEV (2015): Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden.

Energieeinsparverordnung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 24. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1789) geändert worden ist.

EOTA-ECservices (2014): ETAGs used as EADs according to Regulation (EU) No 305/2011 and related development of European Assessment Documents (EAD). <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/nando/index.cfm?fuseaction=cp.etagart66&cpr=Y#>. Aufgerufen am 06.12.2017.

Europäische Organisation für Technische Zulassungen (2013): ETAG 004 - GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL of EXTERNAL THERMAL INSULATION COMPOSITE SYSTEMS (ETICS) WITH RENDERING.

<https://www.eota.eu/handlers/download.ashx?filename=endorsed-etags%5cetag004%2fetag-004-february-2013.pdf>. Aufgerufen am 06.12.2017.

European Commission (2011): M/489 Mandate to CEN concerning the execution of harmonisation work for harmonized standards on external thermal insulation composite systems/kits with rendering (ETICS). <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/mandates/index.cfm?fuseaction=search.detail&id=474#>. Aufgerufen am 20.12.2017.

Exiba (2014): Toxicity of Combustion Gases from PS foams. Factsheet. The European extruded polystyrene insulation board association.

<http://www.exiba.org/upload/public/documents/Toxicity%20of%20Combustion%20Gases%20from%20PS%20Foams%20XPS.pdf>. Aufgerufen am 14.12.2017.

Fachgruppe Putz & Dekor (2017): <http://www.putz.de/index.php?id=6>. Aufgerufen am 06.12.2017.

Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme (2011): Informationen zu aktuellen Berichterstattungen in den Medien zum Thema Wärmedämm-Verbundsysteme. Baden Baden.

Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme (2016a): Kompendium WDVS und Brandschutz.

Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme (2016b): Leitfaden WDVS. Deutsche Bauzeitschrift.

<http://www.dbz.de/download/1244166/leitfaden-wdvs-2016.pdf>. Aufgerufen am 15.12.2017.

Feuertrutz (2015): Normentwurf E DIN 4102-20. Vfdb legt Einspruch ein. Feuertrutz Network für Brandschutz.

<http://www.feuertrutz.de/normentwurf-e-din-4102-20-vfdb-legt-einspruch-ein/150/40593/>. Aufgerufen am 06.12.2017.

Feuerwehr Frankfurt (2015): Zusammenstellung von Brandereignissen in Verbindung mit WDVS im Auftrag von AGBF-Hessen, AGBF-Bund, Deutscher Feuerwehrverband e.V. <http://www.feuerwehr-frankfurt.de/index.php/mediathek/category/31-wdvs?download=145:brandereignisse-in-verbindung-mir-waermedaemmverbundsystemen>. Aufgerufen am 06.12.2017.

Forum Nachhaltiges Bauen (2016a): <http://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Phenolharz-Hartschaum>. Aufgerufen am 06.12.2017.

Forum Nachhaltiges Bauen (2016b): <http://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Steinwolle>. Aufgerufen am 06.12.2017.

FVHF (2016): Fachportal vorgehängte hinterlüftete Fassaden. <http://www.fvhf.de/Fassade/VHF-System/Aufbau-und-Technik.php>. Aufgerufen am 06.12.2017.

Galinski, A. und Paul. N. (2015): Dämmen mit Baustroh – Option mit vielen Vor(ur)teilen. www.Bundesbaublatt.de. Nr. 1-2/2015. S. 6-10. https://www.fnr.de/uploads/media/Beleg_BBB_Strohtext.pdf. Aufgerufen am 06.12.2017.

GewAbfV (2017): Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen (Gewerbeabfallverordnung) vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 896), die durch Artikel 2 Absatz 3 des Gesetzes vom 5. Juli 2017 (BGBl. I S. 2234) geändert worden ist.

Gorguner, M. and Agkun, M. (2010): Acute Inhalation Injury. The eurasian Journal of medicine. Nr. 42. S. 28-35.

Guidotti, T. L. (Ed.), (2016). Health Risks and Fair Compensation in the Fire Service. Heidelberg.

Hauser, G.; Ettrich, M. und Göttig, R. (2011): Grenzen einer kurz und mittelfristigen Substitutionsmöglichkeit von HBCD-haltigen Dämmstoffen durch andere Dämmstoffe im Hochbau. Gutachten im Auftrag des Industrieverband Hartschaum e.V., München, 30. Juni.

HECK (2014): Heck Wall Systems. Das Kompendium der Wärmedämmung. https://www.wall-systems.com/fileadmin/database/broschüre/heck/HECK_Kompendium_web.pdf. Aufgerufen am 06.12.2017.

Holm, A.; Treml, S.; Sprengard, C. (2014): Anforderungen aus dem Brandschutz. In: Rexroth, S., May, F. und Zink, U. (Hrsg.): Wärmedämmung von Gebäuden - Zeitgemäß und wandlungsfähig. Berlin.

IBU (2008): Umwelt-Produktdeklaration, Unkaschierte Steinwolle-Platten und -Filze, Saint-Gobain ISOVER G+H AG, Deklarationsnr. EPD-GHI-2008111-D. Institut Bauen und Umwelt e.V.

IBU (2011): Muster-Umwelt-Systemdeklaration. WDVS mit EPS-Dämmplatte geklebt gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-33.41-xxx. Fachverband WDVS. Deklarationsnummer Muster-ESD-FVW-2011211-D. Institut Bauen und Umwelt e.V.

IBU (2012): Umwelt-Produktdeklaration, Steinwolle-Dämmstoffe im mittleren Rohdichtebereich. Deutsche ROCKWOOL Mineralwoll GmbH & Co. OHG-Deklarationsnummer EPDDRW20120112IBC2DE. Institut Bauen und Umwelt e.V.

Imparat (2011): Imparat Farbwerk, Iversen & Mähl GmbH & Co. KG.: Impact Wärmedämm-Verbund-Systeme. Systembeschreibung, Verarbeitungshinweise. <http://www.imparat.de/Home/Ueber-Imparat/Service/Infomaterial/contentParagraphs/013/document/Prospekt%20IMPACT-WDVS%20Systembeschreibung.pdf>. Aufgerufen am 06.12.2017.

ISO/TS 19700 (2016): Controlled equivalence ratio method for the determination of hazardous components of fire effluents - Steady-state tube furnace.

IWM (2014a): Industrieverband WerkMörtel – Organisationsstruktur. <http://www.iwm.de/der-verband/organisationsstruktur/>. Stand 15.07.2014, Aufgerufen am 06.12.2017.

IWM (2014b): Leitlinien für das Verputzen von Mauerwerk und Beton. Grundlagen für die Planung, Gestaltung und Ausführung. <http://www.iwm.de/download/leitlinien-fuer-das-verputzen-von-mauerwerk-und-beton/?wpdmld=2982>. Aufgerufen am 06.12.2017.

IWM (2016): Der Ratgeber rund um die Außenwand – Für Modernisierer und Bauherren. Industrieverband WerkMörtel e.V. <http://www.iwm.de/broschueren-und-merkblaetter/#>. Aufgerufen am 06.12.2017.

Kasser, U.; Savi, D. und Klingler, M. (2015): Ökobilanzierung der Nutzungsphase von Baustoffen. Schlussbericht. Stadt Zürich - Amt für Hochbauten, Bundesamt für Umwelt BAFU, Hochbauamt Kanton Zürich. <https://www.stadt-zuerich.ch/hbd/de/index/hochbau/bauen-fuer-2000-watt/grundlagen-studienergebnisse/archiv-studien/2015/2015-07-nb-nutzungsoekobilanz.html>. Aufgerufen am 14.12.2017.

Kaudelka, S.; Hofmann-Böllinghaus, A.; Hauswaldt, S. und Krause, U. (2015), Auswirkung von Zündquellen und Systembeschaffenheit auf das Brandverhalten EPS-basierter Wärmedämm-Verbundsysteme. *Bauphysik*, 37: 205–212. doi:10.1002/bapi.201510023.

Kienzlen, V.; Erhorn, H.; Krapmeier, H.; Lützkendorf, T.; Werner, J. und Wagner, A. (2015): Über den Sinn von Wärmedämmung - Argumente zur Überwindung von Missverständnissen. Positionspapier. KEA - Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH. Karlsruhe. http://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Shop/PDFs%20zum%20Download/059_Buch_Waermedaemmung.pdf Aufgerufen am 14.12.2017.

KrwG (2012): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz) vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212). Zuletzt geändert durch Art. 2 Abs. 9 G zur Modernisierung des Rechts der Umweltverträglichkeitsprüfung vom 20.7.2017 (BGBl. I S. 2808).

Krueger, N.; Schwerd, R. und Hofbauer, W. (2016): Verbesserung der Umwelteigenschaften von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) - Evaluierung der Einsatzmöglichkeiten biozidfreier Komponenten und Beschichtungen. Texte 17/2016. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/verbesserung-der-umwelteigenschaften-von>. Aufgerufen am 14.12.2017.

Krus, M., Fitz, C., Holm, A. und Sedlbauer, K. (2006): Vermeidung von Algen- und Schimmelpilzwachstum an Fassaden durch Beschichtungen mit verringelter langwelliger Abstrahlung. *IBP-Mitteilung*, 478. https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/478_tcm45-65427.pdf. Aufgerufen am 14.12.2017.

Künzel, H.M.; Krus, M.; Fitz, C.; Hofbauer, W.; Scherer, C.; Breuer, K. (2011): Accelerated Test Procedure to Assess the Microbial Growth Resistance of Exterior Finishes. In: Freitas, V.P. de; Corvacho, H.; Lacasse, M. (eds.) XII DBMC 2011, 12th International Conference on Durability of Building Materials and Components. Vol.1 : Conference Proceedings; 12th - 15th April 2011, Porto, Portugal, pp. 275-282.

Küppers, J.; Zehfuß, J.; Steeger, F. und Kampmeier, B. (2016): Fire safety of ETICS with wood fibreboards for multi-storey buildings – first research and development results. *MATEC Web of Conferences* 46, 05007. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20164605007>.

Levin, B.C. and Kuligowski, E.D. (2005): Toxicology of fire and smoke. In: Salem, H. and Katz, S.A. (eds.) *Inhalation Toxicology*. 2nd Edition. CRC Press (Taylor and Francis Group). Boca Raton, Florida. pp. 205-230.

Leydolph, B.; Müller, A.; Reimann, M. und Schulze, R. (2008): Entwicklung eines neuartigen Verfahrens zum umweltgerechten Behandeln und Verwerten kanzerogener Mineralwolle auf der Basis der Mult-Mode-Mikrowellentechnologie. Deutsche Bundesstiftung Umwelt, DBU AZ 24946-23.

MBO (2016): Musterbauordnung. Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 16.05.2016. <https://www.bauministerkonferenz.de/Dokumente/42318979.pdf>. Aufgerufen am 14.12.2017.

Morgan, A.B. (ed.), (2013): Innovative and Sustainable Flame Retardants in Building and Construction. Pinfa – Phosphorus, Inorganic and Nitrogen Flame Retardants Association. Brussels. <http://www.pinfa.org/index.php/en/media-events/brochures>. Aufgerufen am 14.12.2017.

Neumann H.-H. (2009): Praxis-Handbuch Wärmedämm-Verbundsysteme. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller. Köln.

Northe, C.; Riese, O. und Zehfuß J. (2016): Experimental investigations of the fire behavior of facades with EPS exposed to different fire loads. Paper presented at the International Seminar for Fire Safety of Facades. *MATEC Web of Conferences* 46, 02001. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20164602001>.

PINFA (2017): What are PIN FRs? <http://www.pinfa.org/index.php/en/flame-retardants/what-are-pin-frs>. Aufgerufen am 14.12.2017.

POP-Abfall-ÜberwV (2017): Verordnung über die Getrenntsammlung und Überwachung von nicht gefährlichen Abfällen mit persistenten organischen Schadstoffen (POP-Abfall-Überwachungs-Verordnung - POP-Abfall-ÜberwV) vom 17. Juli 2017 (BGBl. I S. 2644).

Rampf (2012): Pressemitteilung der Firma Rampf vom 13. Dezember 2012. Immer einen Schritt voraus: RAMPF Ecosystems betreibt seit April 2012 weltweit erste Industrieanlage zur Herstellung von Polyolen aus PU-Weichschaumreststoffen. <http://www.rampfgruppe.de/aktuelles/pressearchiv/presseartikel-im-archiv/archive/2012/12/article/immer-einen-schritt-voraus/>. Aufgerufen am 14.12.2017.

Rechenbach, P. und Troitzsch, J. (1999): Rauchgastoxizität und Schadstoffe bei Bränden. *Kunststoffe*, 89(9), 132-134.

Rentz, O., Seemann, A. und Schultmann, F. (ed.) (2001): Abbruch von Wohn- und Verwaltungsgebäuden - Handlungshilfe. Endbericht zum gleichnamigen Projekt im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Reihe Kreislaufwirtschaft und Abfallbehandlung, (17), 17.

Riedel, W.; Oberhaus, H.; Frössel, F. und Haegele, W. (2010): Wärme-Dämmverbundsysteme - Von der Thermohaut bis zur transparenten Wäremedämmung. Fraunhofer IRB Verlag.

Ries, R. (2015): Telefonat mit Prof. Ries, Leiter der Branddirektion der Feuerwehr Frankfurt, über die Zusammenstellung der Brandereignisse in Verbindung mit Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) im September 2015.

Sockelbrandprüfverfahren (2017): WDVS mit EPS. Anhang 5 der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen. Ausgabe 2017/1 vom 31. August 2017. Amtliche Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik. S. 235.

Sprengard, C., Treml, S. und Holm, A. H. (2013): Technologien und Techniken zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Wärmedämmstoffe. Metastudie Wärmedämmstoffe – Produkte – Anwendungen – Innovationen. FIW München. Bericht FO 12/12. http://www.fiw-muenchen.de/media/pdf/metastudie_waermedaemmstoffe.pdf. Aufgerufen am 15.12.2017.

Statistisches Bundesamt (2013): Abfallentsorgung. Fachserie 19, Reihe 1.

Stec, A. A. and Hull, T.R. (2011): Assessment of the fire toxicity of building insulation materials. *Energy and Buildings*, 43(2), 498-506.

Testorf L.; Voigtländer, M. und Zens, T. (2010): Wohngebäudesanierer-Befragung 2010. Hintergründe und Motive zur energetischen Sanierung des Wohnungsbestands. KfW Bankengruppe, Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V. Frankfurt am Main.

VDI ZRE (2014): Ressourceneffizienz der Dämmstoffe im Hochbau. VDI Zentrum Ressourceneffizienz. VDI ZRE Publikationen, Kurzanalyse Nr. 7. http://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/2014-Kurzanalyse-07-Ressourceneffizienz-der-Daemmstoffe-im-Hochbau.pdf. Aufgerufen am 15.12.2017.

VdS 3461 (2015): Wärmedämmverbundsystem – Leitfaden zum Brandschutz. Technische Regel.

Verordnung (EG) Nr. 850/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über persistente organische Schadstoffe und zur Änderung der Richtlinie 79/117/EWG (ABl. Nr. L 158 S. 7, ber. Nr. L 229 S. 5). Zuletzt geändert durch Art. 1 ÄndVO (EU) 2016/460 vom 30. 3. 2016 (ABl. Nr. L 80 S. 17).

Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission (ABl. Nr. L 396 S. 1, ber. 2007 Nr. L 136 S. 3[4]). Zuletzt geändert durch Art. 1 ÄndVO (EU) 2017/1510 vom 30.8.2017 (ABl. Nr. L 224 S. 110).

Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates vom 9. März 2011 (ABl. Nr. L 88 S. 5, ber. 2013 Nr. L 310 S. 10). Zuletzt geändert durch Art. 1 ÄndVO (EU) 574/2014 vom 21. 2. 2014 (ABl. Nr. L 159 S. 41).

VHD (2017): Verband Holzfaser Dämmstoffe e.V.. Eigenschaften der Holzfaser-WDVS.

<http://www.holzfaser.org/anwendungsbereiche/wdvs/eigenschaften.php>. Aufgerufen am 15.12.2017.

Wakefield, J.C. (2010): A toxicological review of the products of combustion. Health Protection Agency, Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards, Chemical Hazards and Poisons Division.

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/458052/HPA-CHaPD-004_for_website.pdf. Aufgerufen am 15.12.2017.

Weiβ, R.-G. und Paproth, O. (2001): Leitfaden ökologische Dämmstoffe – Wärmedämmung für Wohnungsgesundheit und Energieeinsparung. NABU (Naturschutzbund Deutschland e.V.) Bonn.

<https://www.nabu.de/downloads/studien/leitfadendaemm.pdf>. Aufgerufen am 14.12.2017.

Weißert, M.; Stalder, M.; Schwarz, E.; et al. (2010): Technisches Handbuch Putz, Stuck, Trockenbau, Wärmedämmung. Technischer Ausschuss des Fachverbandes der Stuckateure für Ausbau und Fassade Baden-Württemberg (SAF) und Schweizerischer Maler- und Gipserunternehmer-Verband (SMGV). Stuttgart.