FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

F 2824

Rainer Oswald, Ralf Spilker, Ruth Abel, Klaus Wilmes

Zustandsänderungen von Mineralwolledämmstoffen in Warmdachaufbauten bei Flachdächern infolge Feuchteeintritt

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

Fraunhofer IRB Verlag

F 2824

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2012

ISBN 978-3-8167-8772-3

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

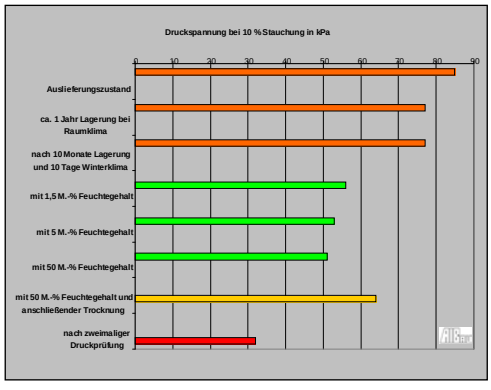
E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

AACHENER INSTITUT FÜR BAUSCHADENSFORSCHUNG UND ANGEWANDTE BAUPHYSIK GEMEINNÜTZIGE GESELLSCHAFT mbH
PROF. DR.-ING. RAINER OSWALD
DIPL.-ING. GÜNTER DAHMEN

Zustandsänderungen von Mineralwolledämmstoffen in Warmdachaufbauten bei Flachdächern infolge Feuchteeintritt



Abschlussbericht, Mai 2012

Zustandsänderungen von Mineralwolledämmstoffen in Warmdachaufbauten bei Flachdächern infolge Feuchteeintritt

Abschlussbericht, Mai 2012

Gefördert vom:	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau
Aktenzeichen:	Z 6 – 10-08-18.7 – 08.31 / II2-F20.08-08
und der	Deutschen Rockwool GmbH & Co. OHG, Gladbeck

Bearbeitet durch:	AIBau – Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik, gem. GmbH, Aachen
Projektleiter:	Prof. Dr.-Ing. Rainer Oswald
Autoren:	Dipl.-Ing. Ralf Spilker Dipl.-Ing. Ruth Abel Dipl.-Ing. Klaus Wilmes

Forschungspartner:	FIW – Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V., München
Projektleiter:	Dipl.-Phys. Johannes Cammerer
Bearbeiter:	Gerhard Treiber Michael Zimmermann

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

Aachen, im Mai 2012

Inhalt:

1. Einleitung 7
2. Fallbeispiele 7
2.1 Objekt 1: Dach Verwaltungsgebäude 7
2.2 Objekt 2: Dachflächen über Produktions- und Lagerhallen 10
2.3 Objekt 3: Dächer über Gewerbehallen 14
2.4 Objekt 4: Dach über Gewerbehalle 18
2.5 Objekt 5: Produktionshalle 21
2.6 Schlussfolgerung aus den Fallbeispielen 21
3. Mineralwolle und Wassertransport 22
3.1 Begriffsbestimmung 22
3.2 Herstellung und Struktur von Steinwolledämmstoffen 22
3.3 Feuchte in Mineralwolle 25
4. Anforderungen entsprechend den Regelwerken 27
4.1.1 DIN EN 13162:2009-02 27
4.1.2 DIN 4108-10:2008-06 27
4.1.3 Produktdatenblatt des ZVDH, Ausgabe März 2004: 29
4.1.4 Flachdachrichtlinien 2008 29
4.1.5 Ältere Ausgaben 29
5. Normprüfungen 30
5.1.1 Druckspannungsprüfung 30
5.1.2 Prüfungen zur Wasseraufnahme 31
5.1.3 Wärmeleitfähigkeit und Wärmeübertragung 32
5.1.4 Zugfestigkeit 34
5.1.5 Dimensionsstabilität bei definierten Temperatur- und Feuchtebedingungen 35
5.1.6 Zusammenfassender Kommentar zu den Prüfverfahren 35
5.2 Qualitätssicherung der Hersteller 35
6. Exkurs 1: Gesundheitsgefährdung und Entsorgung 35
6.1 Gesundheitsgefährdung 36
6.2 Entsorgung 37

7. Exkurs 2: Rohdichte und Lastannahmen 37
8. Zustandsveränderungen von Mineralwolle im Flachdach 38
8.1 Einfluss der Feuchte auf die Wärmeleitfähigkeit 38
8.2 Druckbelastbarkeit 40
8.3 Hygrothermische Belastung der Mineralwolle 41
8.4 Geruchsbelästigung 42
9. Produktübersicht 42
10. Theorien zum Festigkeitsverlust 43
11. Sachverständigenumfrage 44
11.1 Einleitung 44
11.2 Entscheidungskriterien für den Ausbau von Dämmstoffen 44
11.3 Untersuchungsmethoden zur Feststellung des Feuchtegehaltes 46
11.4 Zustand des vorgefundenen feuchten Dämmstoffs 47
11.5 Auswirkungen bei wiederholt mechanischer Belastung 47
11.6 Schädigung der mechanischen Befestigung der Dachhaut 48
11.7 Trocknung von Mineralwolle 48
11.8 Zusammenfassung der Umfrageergebnisse 48
12. Umfrage unter Trocknungsfirmen 49
12.1 Umfrage und Ergebnisse 49
12.2 Interpretation der Ergebnisse 51
13. Umfrage unter Herstellern 52
14. Materialprobenvergleich 52
15. Hygrothermische Simulationen 54
16. Druckspannungsprüfungen nach Befeuchtung und Temperaturwechsellagerung 60
16.1 Prüfung von praktisch trockenen Proben 62
16.2 Prüfung von Proben mit unterschiedlichen Feuchtegehalten 63
16.3 Erneute Prüfung von ehemals feuchten Proben nach Trocknung 66
16.4 Zweifachprüfung von Dämmstoffproben 67
16.5 Vergleich der Ergebnisse 68
16.6 Zusammenfassende Auswertung der Ergebnisse 71
17. Schlussfolgerungen 74

1. Einleitung

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die Folgen von Durchfeuchtungen in Mineralwolledämmschichten in Warmdachaufbauten zuverlässig abschätzen zu können. Es ging dabei um den Einfluss der Durchfeuchtungen auf die Dauerhaftigkeit ("Festigkeit") und die Wärmeleitfähigkeit. Dabei sollten ausschließlich Dämmschichten betrachtet werden, die oberhalb der tragenden Konstruktion angeordnet werden und Druckbelastungen durch die Nutzung ausgesetzt sind. Zwischensparrendämmungen in Holzdachkonstruktionen müssen diese Anforderungen nicht aufweisen und waren daher nicht Gegenstand der Untersuchung.

Zu untersuchen war, unter welchen Randbedingungen (z. B. Durchfeuchtungsgrad, -dauer, Zusammensetzung der Mineralwolle) eine Durchfeuchtung zur Schädigung des Dämmstoffs führt, unter welchen Umständen eine Trocknung (aufgrund der natürlichen, klimatischen Randbedingungen oder durch Zwangstrocknung) möglich ist und wann aus technischer Sicht der Austausch der Dämmung erforderlich ist. Es sollten entsprechende Grenzwerte gefunden werden, die eine objektivere Bewertung im Streitfall ermöglichen. Letzlich geht es um Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit durch die Möglichkeit der Weiterverwendung durchfeuchteter Mineralwolle–Dämmschichten.

Zunächst wurden bisher vorliegende Untersuchungen zu durchfeuchteten Mineralwolledämmstoffen ausgewertet. Anhand einer Befragung wurden die Erfahrungen von Sachverständigen mit durchfeuchteten Mineralwolledämmstoffen zusammengetragen. Einzelne Flachdächer, bei denen eine Durchfeuchtung von Mineralwolledämmstoffschichten bereits festgestellt und dokumentiert wurden, sind im Rahmen der Forschungsarbeit erneut untersucht worden. An den Dächern wurden Dämmstoffproben entnommen, bei denen Feuchtegehalt, Druckbelastbarkeit, Dicke und Strukturveränderungen untersucht wurden. Parallel dazu wurden Laboruntersuchungen zur Simulation der Langzeiteinwirkung von Feuchtigkeit durchgeführt. Die Veränderungen des Dämmstoffs im Hinblick auf die Druckbelastbarkeit wurden dabei gemessen.

Forschungsarbeiten zu Praxiserfahrungen im Baubereich sind nicht möglich ohne die Mithilfe vieler Kollegen, die in ihrer Sachverständigentätigkeit entsprechende Erfahrungen dokumentieren und bewerten. Wir danken allen, die an der Befragung teilgenommen und uns geantwortet haben und insbesondere denjenigen, die uns mit Informationen über entsprechende Objekte weitergeholfen, in Telefongesprächen über Ihre Einschätzungen berichteten und/oder durch Zusendung von Unterlagen aus ihrem Tätigkeitsbereich Informationen zur Verfügung gestellt haben.

2. Fallbeispiele

Anhand der folgenden Fallbeispiele soll verdeutlicht werden, dass die weitverbreitete Auffassung, durchfeuchtete oder durch Belastung veränderte Mineralwolledämmungen seien in Flachdächern grundsätzlich auszutauschen, im praktischen Einzelfall häufig als unverhältnismäßig einzuschätzen ist.

2.1 Objekt 1: Dach Verwaltungsgebäude

Bei einem größeren Verwaltungsgebäudekomplex, der im Frühjahr 2006 bezogen wurde, kam es bereits während des Bauablaufs zu Durchfeuchtungen an der Deckenunterseite. Die Deckenkonstruktion bestand aus Stahlbeton (Spannweiten zwischen 5 bzw. 7,30 m) auf der ein Warmdachaufbau aufgebracht wurde.

Die Abdichtung wurde aus mehreren Lagen Bitumenbahnen hergestellt. Teilweise wurde das Dach aus Brandschutzgründen mit gefällegebender Mineralwolle in einer Dicke von bis zu 23 cm gedämmt.

Über die gesamte Dachfläche verteilt wurden die Geräte der Klimazentralen montiert (s. Abbildung 1 und 2). Die Geräte wurden auf einen Stahlträgerrost gestellt, der auf quadratischen Stützfüßen unmittelbar auf der Betondecke stand. An den Stützfüßen wurde die Dachabdichtung jeweils aufgekantet.

Abbildung 1 und 2: Mit Klimaaggregaten überbaute Dachfläche

Aufgrund der Durchfeuchtungserscheinungen wurden zunächst folgende Nachbesserungsmaßnahmen durchgeführt:
In Teilbereichen der Dachfläche wurde die Dämmung und die Abdichtung vollständig ausgetauscht, in anderen Bereichen nur die Dachabdichtung überklebt. Zusätzlich wurden insgesamt 15 Lüfteraufsätze eingebracht. Die Lüfter konnten oberseitig geöffnet werden, so dass eine regelmäßige Kontrolle der Dampfsperre zur Feststellung von ggf. eindringendem Wasser stattfinden konnte. Nach Abschluss der Arbeiten im Juni 2006 wurde die Dachfläche zur Dichtigkeitsprüfung geflutet. Dabei zeigten sich erneut Feuchteansammlungen auf der Dampfsperre und Abtropfungen im Gebäudeinneren.

Im Rahmen der anschließenden Untersuchung der Dachfläche wurden an mehreren Öffnungsstellen Dämmstoffproben entnommen und die Feuchtigkeitsgehalte mittels Darren ermittelt. Im Einzelnen ergaben sich die in Abbildung 3 aufgeführten Werte.

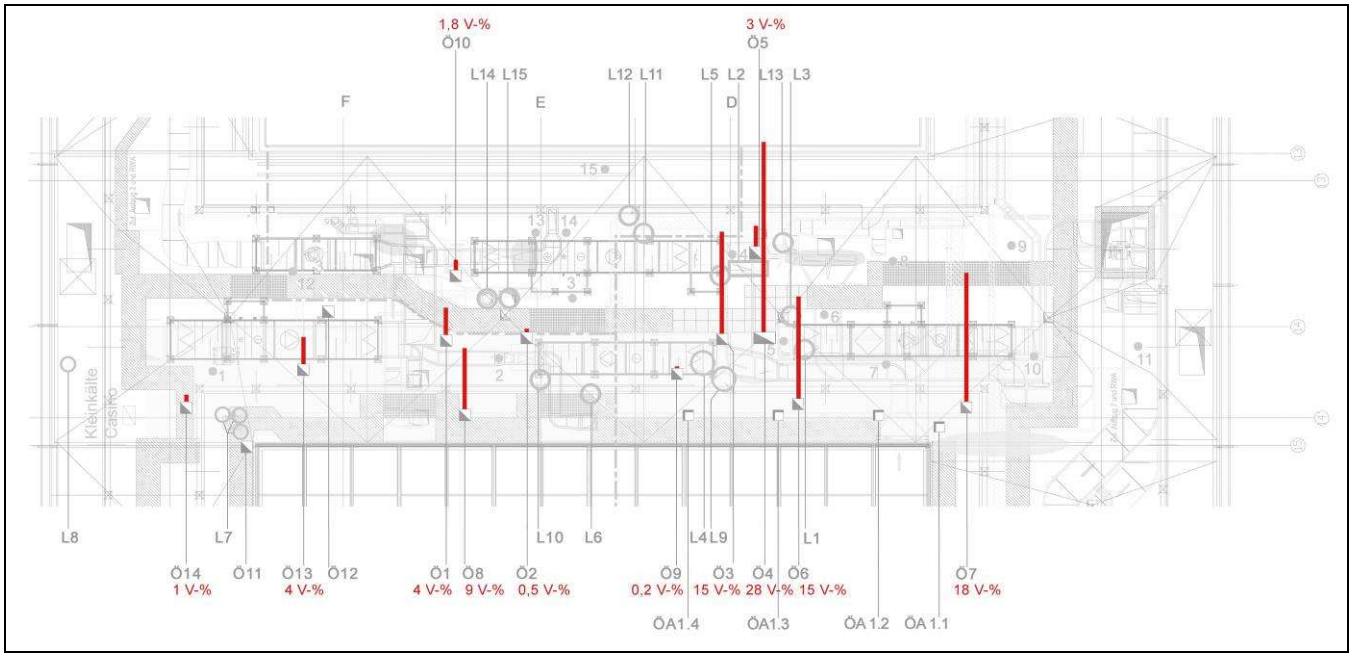


Abbildung 3: Dachaufsicht Objekt 1 mit Lage der Öffnungsstellen und Angabe der Feuchtegehalte des Dämmstoffs in Vol-% (in rot).

In den Proben waren stellenweise sehr hohe Feuchtegehalte vorhanden. Es wurden Werte zwischen 1,6 und 167 Masse-% (0,2 und 28 Vol-%) gemessen und im Plan dokumentiert (siehe Abbildung 3).

An keiner Öffnungsstelle stand tropfbar flüssiges Wasser auf der Dampfsperre, deren Oberfläche war lediglich feucht. Das Wasser an der Leckstelle hatte sich also vollständig über den Dämmstoffquerschnitt verteilt.

Die Probenentnahme konnte aufgrund der Zugangsmöglichkeiten nur in Achsnähe erfolgen. Es war davon auszugehen, dass der Feuchtegehalt der Dämmung im Bereich der nicht zugänglichen Tiefpunkte der sich durchbiegenden Decke höher war.

Anhand von Messreihen älteren Datums für Mineralwolle-Dämmstoffe mit niedrigerer Rohdichte ließ sich grob abschätzen, dass die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs an den drei stärker durchfeuchteten Stellen um mehr als das Doppelte erhöht war, der Wärmeschutz des Daches im Bereich der Mineralwolledämmung also mindestens halbiert war.

Die Druckbelastbarkeit der Dämmstoffe war zur Zeit der Entnahme bei den untersuchten Proben augenscheinlich noch relativ hoch. Unklar war, ob es im Lauf der Jahre bei den ständig wechselnden Feuchteumlagerungen im Dämmstoff zu einer weiteren Auflösung der Dämmstoffstruktur kommen und damit die Druckbelastbarkeit und die Dämmfähigkeit noch weiter abnehmen kann.

Bei Instandsetzung der Dachfläche durch vollständigen Austausch der Dämmung muss in diesem Beispiel nicht nur das gesamte Dachabdichtungspaket, sondern zusätzlich die Klima- und Lüftungstechnik demontiert werden. Damit wäre der Betrieb des Gebäudes während der Arbeiten nur eingeschränkt möglich.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob die durchfeuchtete Mineralwolle, zumindest in den schwer zugänglichen Bereichen, liegen gelassen werden kann. Es müssen allerdings nachvollziehbare Kriterien entwickelt werden, um die möglichen technischen Einschränkungen durch Beibehaltung der Dämmung beurteilen und ggf. einen Minderwert ermitteln zu können. Dazu müssen die langfristigen Eigenschafts-

veränderungen abgeschätzt werden können. Diese Erkenntnisse und Beurteilungskriterien lagen zum Beurteilungszeitraum nicht vor.

2.2 Objekt 2: Dachflächen über Produktions- und Lagerhallen

Die Produktions-, Lager- und Versandhallen eines Brauereibetriebs wurden 1999 gebaut. Im Jahr 2008 wurden die bis dahin mit Blech eingedeckten Dächer mit einer bahnenförmigen Abdichtung versehen. Anschließend wurden auf der Dachkonstruktion Fotovoltaikanlagen aufgebaut.

Die Konstruktion bestand aus einer Trapezblechschale, darüber je nach Nutzung der Halle einer Dampfsperrbahn aus Bitumen mit Aluminiumeinlage oder eine LDPE-Kunststofffolie. Als Dämmstoff wurde Mineralwolle des Herstellers Deutsche Rockwool „Durock“, eingebaut. Bei der Abdichtung handelte es sich um eine 1,8 mm dicke FPO-Kunststoffbahn.

Die Fotovoltaikelemente wurden so aufgesetzt, dass mehrere nebeneinander liegende Elemente auf Aluminiumprofilen montiert wurden, deren Enden die Lasten über Betonwerksteinplatten auf die Dachhaut übertrugen. Die Auflager wurden im Bereich der Binder der Dachkonstruktion auf der Dachhaut angeordnet.

Bei der Montage ist es zu Beschädigungen der Dachhaut sowie der Fotovoltaikelemente selbst gekommen. Außerdem wurde bei der Begehung festgestellt, dass das Schichtenpaket relativ weich war.

Der vom Eigentümer hinzugezogene Sachverständige empfahl den großflächigen Austausch der Dachabdichtung, dafür musste die Fotovoltaikanlage wieder demontiert werden.

Abbildung 4 und 5: Aufständerung der Fotovoltaik-Elemente (Foto: LGA) und Dachfläche nach Abräumen der Elemente.

Anschließend wurden weitere Begehungen durchgeführt, um den erforderlichen Umfang der Dacherneuerung festzulegen. Für die Versicherung des Fotovoltaikaufstellers war die Festlegung des Umfangs der erforderlichen Austauscharbeiten von zu weichem Dämmstoff allein durch Begehung und in Augenscheinnahme nicht hinreichend nachvollziehbar. Deswegen wurden an sieben Stellen Proben des Dämmmaterials entnommen und zum Labor des FIW in München zur Feststellung von Druckbelastbarkeit und Feuchtegehalt geschickt. (Die Ergebnisse der Druckprüfungen sind im anliegenden FIW-Bericht als „Dachentnahme Nr. 3“ überschrieben)

Vor der Entnahme wurde jeweils eine Messung der Einsinktiefe vorgenommen. Dazu wurde an der zu untersuchenden Stelle ein Stück Hartfaserplatte in der Größe eines Schuh-Absatzes auf die Dachhaut aufgelegt (s. Abbildung 6 und 7). Unmittelbar daneben wurde ein Aluminium-Rechteckrohr (Wasserwaage) von 80 cm Länge gelegt. Anschließend wurde die Hartfaserplatte mit dem Körpergewicht belastet. Mittels einer Schieblehre wurde die entstehende Verformung der Dachhaut als Abstand zwischen der Unterkante des Rechteckrohres und der Dachhaut gemessen.

Abbildung 6 und 7: An besonders weichen Stellen wurden Verformungsmessungen mit Hilfe einer Hartfaserplatte und einem Rechteckrohr (Wasserwaage) durchgeführt. Rechts eine relativ große Verformungstiefe von ca.33 mm.

Die Messwerte, an derselben Stelle angenommen, schwankten um ca. 3 mm, je nach Verlagerung des Körpergewichts und Belastung der Hartfaserplatte. Die erhaltenen Messwerte ließen sich aber trotz dieser Ungenauigkeiten gut mit dem subjektiven Eindruck der Festigkeit der Dämmstoffunterlage in Bezug setzen.

Die Lage der Öffnungsstellen und die festgestellten Verformungstiefen wurden in einen Plan eingetragen. Ein Ausschnitt davon ist in der Abbildung 8 dargestellt.

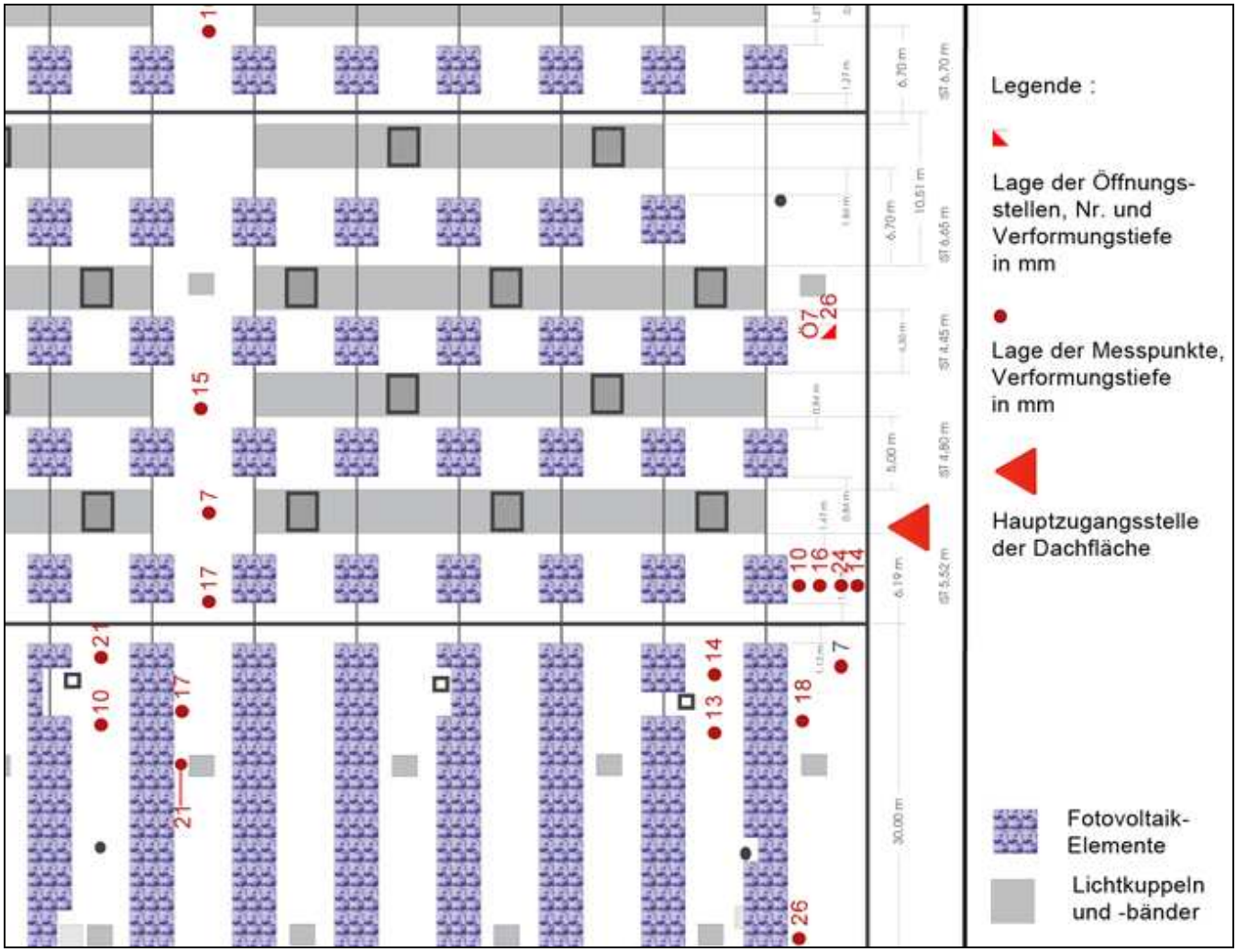


Abbildung 8: Planausschnitt mit Verformungsmessungen

Da typische Proben aus mehreren Dachbereichen entnommen wurden, fiel das Ergebnis der Labormessungen entsprechend unterschiedlich aus: Es wurden sowohl Proben gemessen, die beim Begehen keine deutliche Änderung gegenüber dem Neuzustand aufwiesen, als auch solche, bei denen der subjektive Eindruck eines zerstörten, sehr weichen Dämmstoffs vorherrschte. Dabei handelte es sich meist um Proben aus Bereichen, wo aufgrund der Lage auf dem Dach und der Nutzungssituation von einer häufigen mechanischen Belastung durch Begehen ausgegangen werden kann.

Die gemessenen Werte der Druckspannung bei 10 % Stauchung streuten zwischen 68,3 kPa und 2,6 kPa.

Nur eine der Proben wies einen deutlich spürbaren Feuchtegehalt auf. Dieser lag bei 3,1 Masse-%. Andere Messwerte lagen maximal bei 1 Masse-% (Abbildung 9 und Abbildung 10).

Im nachfolgenden Diagramm kann die Korrelation zwischen den Druckspannungswerten aus dem Labor (grüne Balken, als positive Werten aufgetragen) und den Verformungsmessungen auf der Dachfläche (rote Balken, als negative Werten aufgetragen) abgelesen werden:

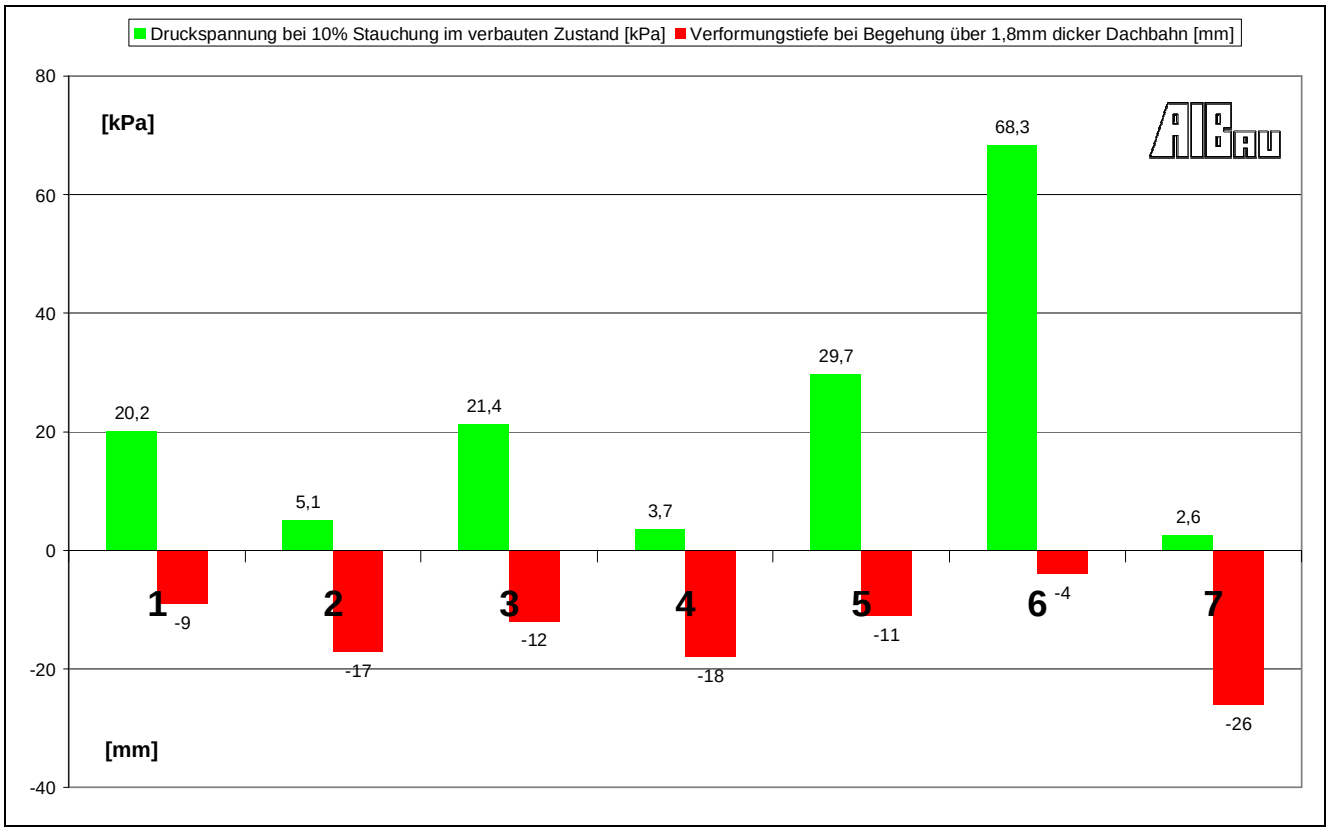


Abbildung 9: Häufig druckbelastete Mineralwolle unter Dachabdichtung: Vergleich zwischen Laborwerten der Druckspannung bei 10% Stauchung und praktischer Verformung der Dachabdichtung an 7 Öffnungsstellen

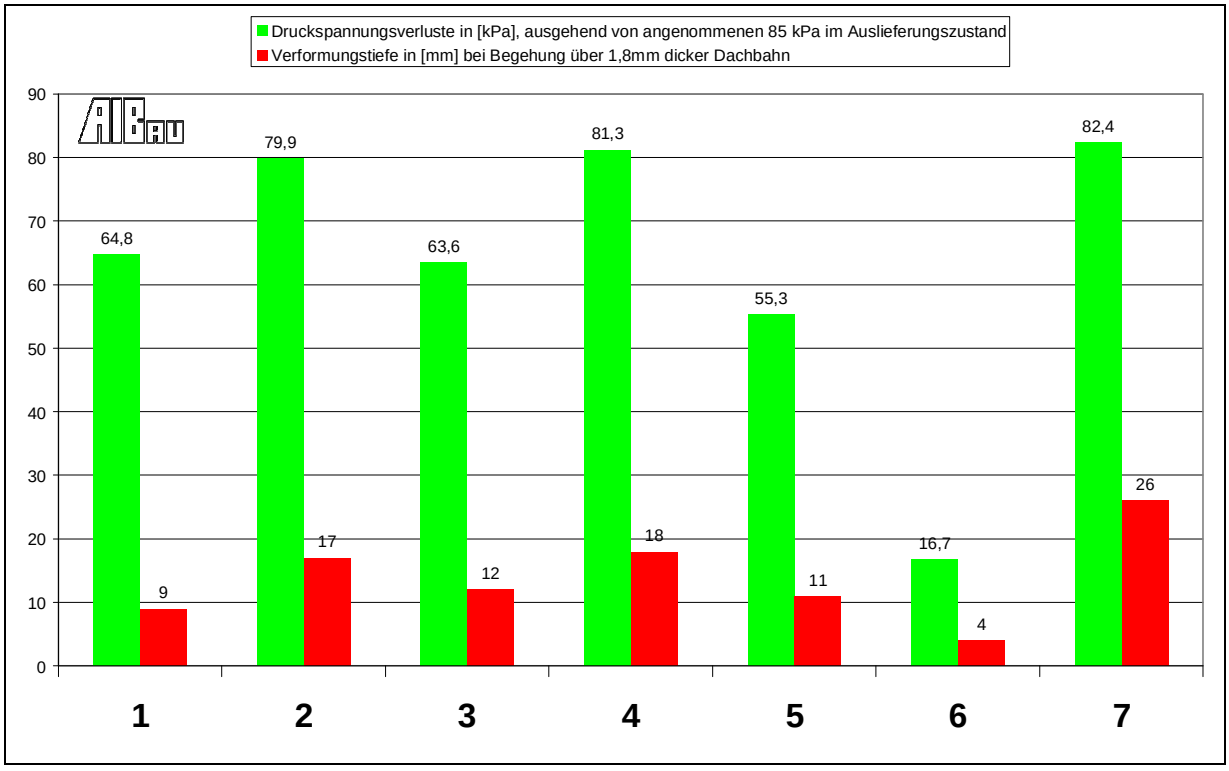


Abbildung 10: Häufig druckbelastete Mineralwolle unter Dachabdichtung: Vergleich zwischen Verlusten der Druckspannung bei 10 % Stauchung (in kPa) und praktischer Verformung der Dachabdichtung (in mm) an 7 Öffnungsstellen

Tendenziell bestätigte sich die Annahme: Je höher der Laborwert der Druckspannung bei 10 % Stauchung, desto geringer war die Verformungstiefe. Aufgrund der so nachgewiesenen Korrelation konnte von den auf der Dachfläche gemessenen Verformungstiefen auf den Wert der entsprechenden Druckspannung bei 10 % Stauchung geschlossen werden.

Allerdings gab es bei den weiteren Untersuchungen Diskussionen darüber, bei welchem Wert der Druckspannung die Mineralwolle ausgetauscht werden muss: Als Referenzstelle für die Messungen wurde von der Stelle 1 ausgegangen, als typische Stelle des Daches, die noch nicht mangelbehaftet war. Diese Entscheidung beruhte auf dem subjektiven Eindruck bei der Begehung. Nach Vorlage der Druckspannungsergebnisse wurde aber mit Bezug auf den gegenüber dem Normwert deutlich verminderten Messwert auch dieser Zustand als nicht mehr hinnehmbar bezeichnet. Es wurde ausgeführt, dass der Dämmstoffhersteller auf telefonische Nachfrage eine Hinnehmbarkeitsgrenze von ca. 35 kPa genannt hatte.

Gegen die Festlegung eines fiktiven Grenzwertes spricht, dass der Messwert der Druckspannung bei 10 % Stauchung lediglich beschreibt, mit welcher Kraft ein Dämmstoff von 100 mm Dicke auf 90 mm Dicke zusammengedrückt werden kann. Wenn der Dämmstoff nach der Belastung wieder die ursprüngliche Dicke von 100 mm annimmt, seine Verformung also reversibel ist, sind die Dämmeigenschaften in keiner Weise eingeschränkt. Reduziert ist lediglich das Maß des Widerstands, dass einer Druckbelastung entgegengesetzt wird. Wenn der Dämmstoff aller Wahrscheinlichkeit nach kaum noch einer Druckbelastung ausgesetzt ist, kann diese Funktion nicht der entscheidende Grund dafür sein, dass der Dämmstoff ausgetauscht werden muss. Außerdem wäre zu untersuchen, ob andere Dächer nach 3 Jahren mit ähnlicher Belastung nicht sogar vergleichbare Werte aufweisen und damit der Zustand als üblich bezeichnet werden müsste. Solange es darüber keine Untersuchungen gibt, ist die Festlegung eines Grenzwertes der Druckspannung bei 10 % Stauchung nach längerer Standzeit willkürlich. Es ist fragwürdig, ob einem ausführenden Betrieb des Dachdeckerhandwerks oder eines Solarelementeaufstellers die Erneuerung eines Dachpakets aufgebürdet werden kann, wenn das Ausmaß des Schadens nur anhand von Vergleichen zum Auslieferungszustand beurteilt wird.

Die Entscheidung muss vom konkreten Zustand der Dachfläche abhängig gemacht werden: Bei welcher Verformungstiefe und der in Zukunft noch zu erwartenden mechanischen Belastung ist tatsächlich mit einer Schädigung zu rechnen? Schädigungsmechanismen können z. B. das Durchstanzen mechanischer Befestiger, erhebliche Pfützenbildungen, drohende Überlastung an Abläufen, Dachrändern, Durchdringungen und Einbauten wie Lichtbändern und Lichtkuppeln sein. Selbstverständlich ist eine irreversible Dickenverminderung ein Mangel, da neben den gerade genannten Schadensmechanismen auch der Wärmeschutz eingeschränkt ist.

Entsprechende Einschränkungen der Funktionstüchtigkeit lagen im beschriebenen Schadensfall jedoch nicht vor.

2.3 Objekt 3: Dächer über Gewerbehallen

Eine sehr große, im Jahr 2002 errichtete Dachfläche über ausgedehnten Gewerbe- und Lagerhallen wurde mit einer Trapezblechschale und Warmdachaufbau, bestehend aus einer PE-Dampfsperrbahn, 8 cm Mineralwolle-Dämmschicht Typ Rockwool-Durock und einer einlagigen PIB-Kunststoffbahn errichtet.

Bei der Abnahme der Dachfläche wurden weiche Stellen in den Kehlbereichen und unterhalb der Glasoberlichter bemängelt.

Im Rahmen eines selbständigen Beweisverfahrens wurden Öffnungen des Schichtenpakets vorgenommen, bei denen u. a. festgestellt wurde, dass die Dampfsperrbahn nicht ordnungsgemäß verklebt war. Insbesondere aus diesem Grund kam der Gerichtssachverständige zu dem Schluss, dass der Dachaufbau nicht den anerkannten Regeln der Technik entspricht und der Dachaufbau oberhalb der Trapezblechschale zum überwiegenden Teil erneuert werden müsse, um eine neue Dampfsperrfolie einzubauen.

Parallel zum Gerichtsverfahren wurden im Jahr 2006 Proben der Dämmstoffe entnommen und auf ihren Feuchtegehalt hin untersucht. Dabei wurden sowohl trockene (0,2- 0,5 Masse-% Feuchtegehalt im Dämmstoff) als auch nasse Proben mit einem mittleren Feuchtegehalt von ca. 30 Masse-% vorgefunden. Die Proben wurden teilweise horizontal geteilt, weil die Feuchteverteilung über den Dämmstoffquerschnitt bei der Entnahme deutlich unterschiedlich war. So lag der Feuchtegehalt einer Probe, die an einem sonnigen Sommertag genommen wurde, im oberen Bereich bei 0,3 Masse-%, in der unteren Hälfte bei 64 Masse-%. Dort stand Wasser unter der Dämmung in einer Tiefsicke des Trapezblechs bzw. in der dort durchhängenden Dampfsperrfolie. Bei einer am gleichen Tag entnommenen, anderen Probe lag der Unterschied zwischen ca. 3 Masse-% oben und 48 Masse-% unten. Auch dort war die Dampfsperrbahn feucht, es gab aber keine Pfützenbildung in der Ebene der Dampfsperrbahn. An der letztgenannten Stelle fühlte sich die Dämmung beim Begehen sehr weich an.

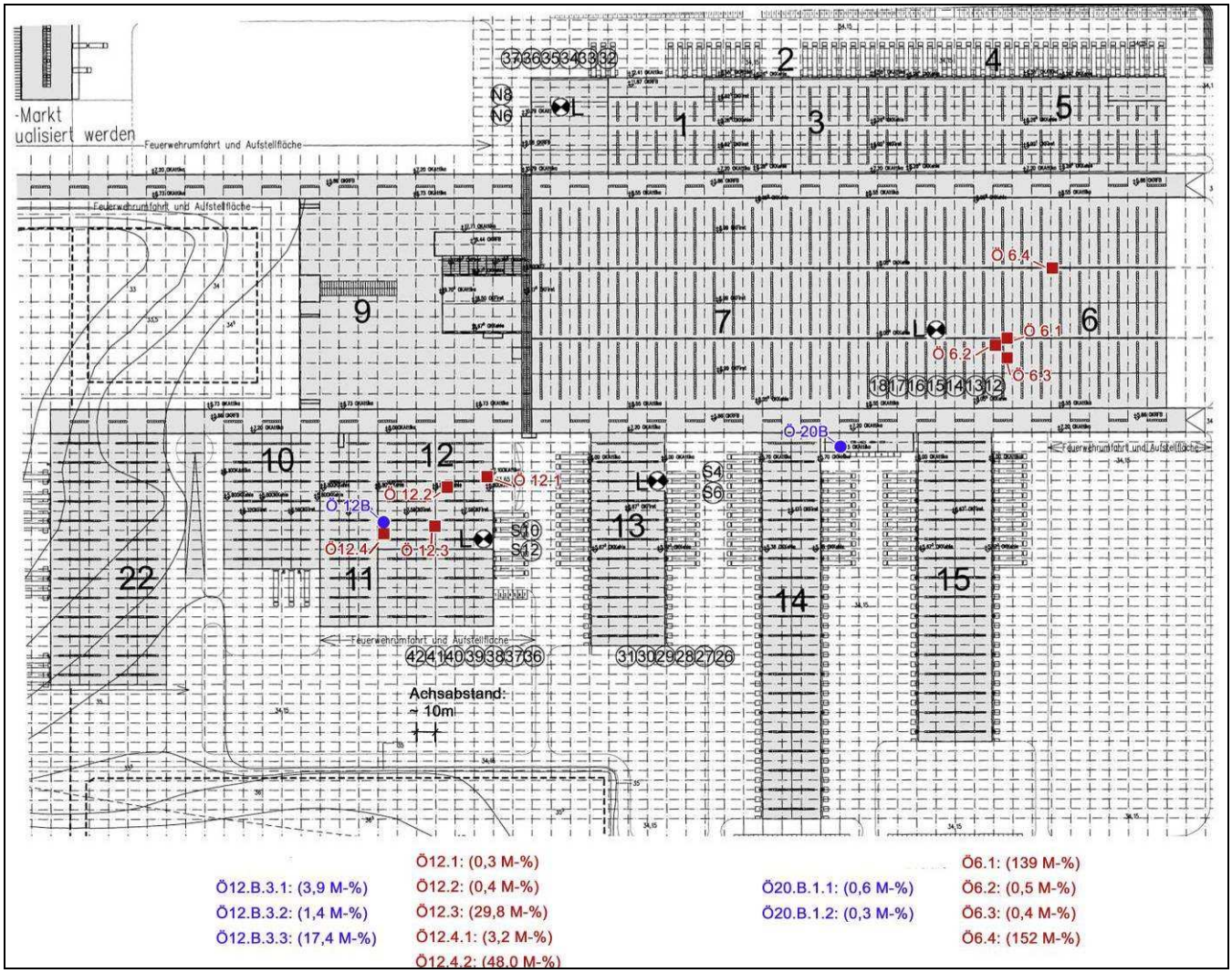


Abbildung 11: Dachaufsicht mit Lage der Öffnungsstellen und Feuchtegehalte der Dämmung

Die entnommenen Dämmplatten waren überwiegend formstabil und wiesen nur eine leichte Veränderung der Oberflächenstruktur auf. Die oberseitige, produktionsbedingte Riffelung der Platten war noch erkennbar, auch bei den Platten, die einen sehr hohen Feuchtegehalt (0,3 oben, 64 M.-% unten) aufwiesen.

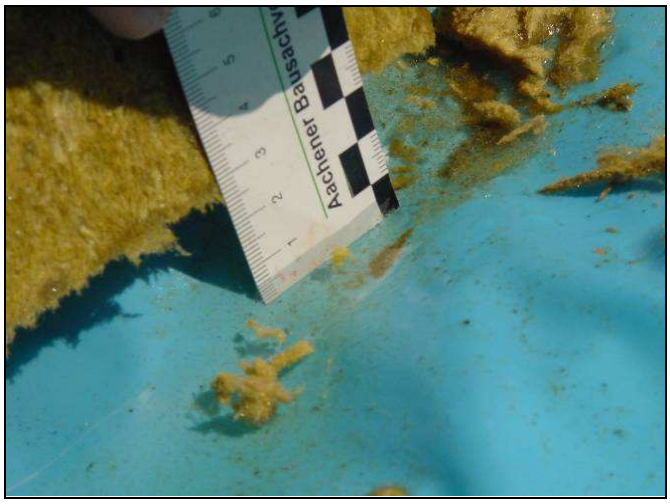


Abbildung 12 und 13: Öffnungsstelle mit durchfeuchtetem Dämmstoff, der über einer 4 mm tiefen Pfütze auf der Dampfsperre liegt.

Auf der Oberseite der Dampfsperre befand sich auch bei den Platten, bei denen im Labor nur ein Feuchtegehalt von 0,3 Masse-% ermittelt wurde, (z. B. bei Probe 12.1), Wasser. Bei der Entnahme im Sommer ist davon auszugehen, dass es sich um Tauwasser durch Umkehrdiffusion handelt.

Abbildung 14 und 15: Probestelle mit Tauwasser auf der Dampfsperrfolie

Im Herbst wurden weitere Proben in einem anderen Teilbereich entnommen. Die Feuchtegehalte lagen bei 139 und 152 Masse-%, andere Entnahmestellen wiesen trockene Dämmstoffe mit einem Feuchtegehalt zwischen 0,4 und 0,7 Masse-% auf.

Abbildung 16 und 17: Probestelle im Bereich einer Kehle mit lang anhaltend stehendem Wasser

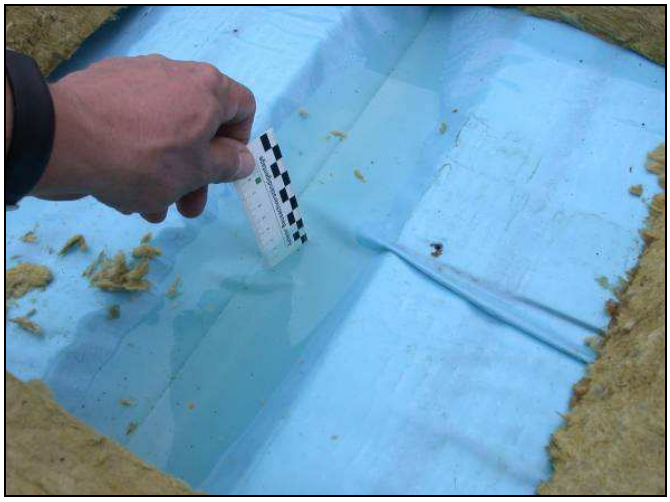


Abbildung 18, 19 und 20: Erheblich durchfeuchteter Dämmstoff über einer Tiefsicke, in der Wasser steht.

Die Dämmstoffproben mit hohem Feuchtegehalt fanden sich überwiegend in den Kehlbereichen, teilweise über stehendem Wasser, die trockenen Proben weiter oberhalb und rings um die Lichtbänder herum. Es lag daher die Vermutung nahe, dass Festigkeitsverluste der Dämmstoffe überwiegend durch mechanische

Überbelastung (Arbeiten an den Lichtbändern) verursacht wurden. Klare Bewertungskriterien, inwieweit die Dämmstoffe auch durch – andauernde oder zeitweise auftretende – hohe Feuchtegehalte geschädigt wurden, fehlten.

Die Überprüfung der Wärmeleitfähigkeit an 3 wenig druckstabilen Proben, die jedoch bei der Entnahme keinen höheren Feuchtegehalt aufwiesen, zeigte, dass die Hauptfunktion des Dämmstoffs, der Wärmeschutz, nicht beeinträchtigt war (s. Anlage FIW-Bericht „Dachentnahme Nr.1“). Auch die Dicke war nicht vermindert.

Proben	Wärmeleitfähigkeit, feucht	Druckspannung bei 10% Stauchung	Feuchtegehalt	Dicke	Trockenrohdichte
Nr.	W/(mK)	kPa	M.-%	mm	kg/m³
1	0,0378	43,5	0,13	89,0	145
2	0,0379	25,3	0,20	90,8	140
3	0,0383	28,4	0,07	91,0	127

2.4 Objekt 4: Dach über Gewerbehalle

Die Dachfläche über einer Produktionshalle wurde 2010 errichtet. In der Firstlinie des mit zweiseitigem Gefälle versehenen Flachdachs war ein Lichtband angeordnet, im Übrigen waren auf der Dachfläche Fotovoltaikelemente aufgestellt. Die Elemente wurden auf einer Unterkonstruktion befestigt, deren Auflager mit der Dachkonstruktion verbunden und die mit Dichtungsmanschetten eingedichtet waren.

Abbildung 21: Dachfläche mit mittig angeordnetem Lichtband und seitlich aufgereihten Fotovoltaik-Anlagen.

Abbildung 22: Öffnungsstelle 3 mit oberflächlich feuchter, aber insgesamt trockener (0,7 Masse-%) Dämmung

Abbildung 23: Probe Nr. 1 mit hoher Druckbelastbarkeit

Abbildung 24: Probe Nr. 5 mit stark verminderter Druckbelastbarkeit

Der Dachaufbau bestand aus einem Warmdach mit folgender Schichtenfolge (von oben nach unten): einer
- Dachbahn aus PVC-weich,
- 12 cm dicker Mineralwolle-Wärmedämmung,
- PE- Kunststofffolie als Dampfsperrbahn,
- einer Trapezblechschale.

Bei der Abnahme der Dachfläche wurden weiche Stellen unter der Dachhaut bemängelt. Der hinzugezogene Sachverständige klassifizierte die unterschiedlich stark nachgebenden Stellen zunächst nach seinem persönlichen Gefühl der Einsinktiefe beim Begehen, anschließend wurden an typischen Stellen Öffnungen angelegt und der Zustand der Mineralwolledämmung untersucht.

Die Dämmstücke wurden anschließend beim FIW e.V. in München auf Druckspannung bei 10 % Stauchung untersucht. (Die Ergebnisse der Untersuchungen sind im anliegenden FIW-Bericht unter „Dachentnahme Nr. 2“ dargestellt.) Dabei bestätigte sich die optische Einschätzung des Sachverständigen im Hinblick auf die Druckbelastbarkeitsunterschiede: Die Messwerte entsprachen der Höhe nach im Wesentlichen der Reihenfolge der zuvor durchgeführten Klassifizierung. Allerdings lagen die Messwerte deutlich niedriger als erwartet worden war.

Im Einzelnen wurden folgende Werte gemessen:

Klassifizierung des Sachver-ständigen	Vorab-Einschätzung des Sachverständigen	Messwert der Druck-spannung bei 10 % Stauchung in kPa	Nr. der Öffnungsstelle
0	Auslieferungszustand	-	-
1	Intakt ohne deutliche Einschränkung der Druckbelastbarkeit	53,3	1
2	Intakt mit geringer Einschränkung der Druckbelastbarkeit	28,5	2
3	Deutliche Einschränkung der Druckbelast-barkeit, aber noch verwendbar	16,1	4
4	Nicht mehr verwendbar	9,0 2,3	3 5

Abbildung 25: Vergleich der persönlichen Einschätzung des Sachverständigen und Messwerten der Druckspannung bei 10 % Stauchung in kPa bei Objekt Nr. 4

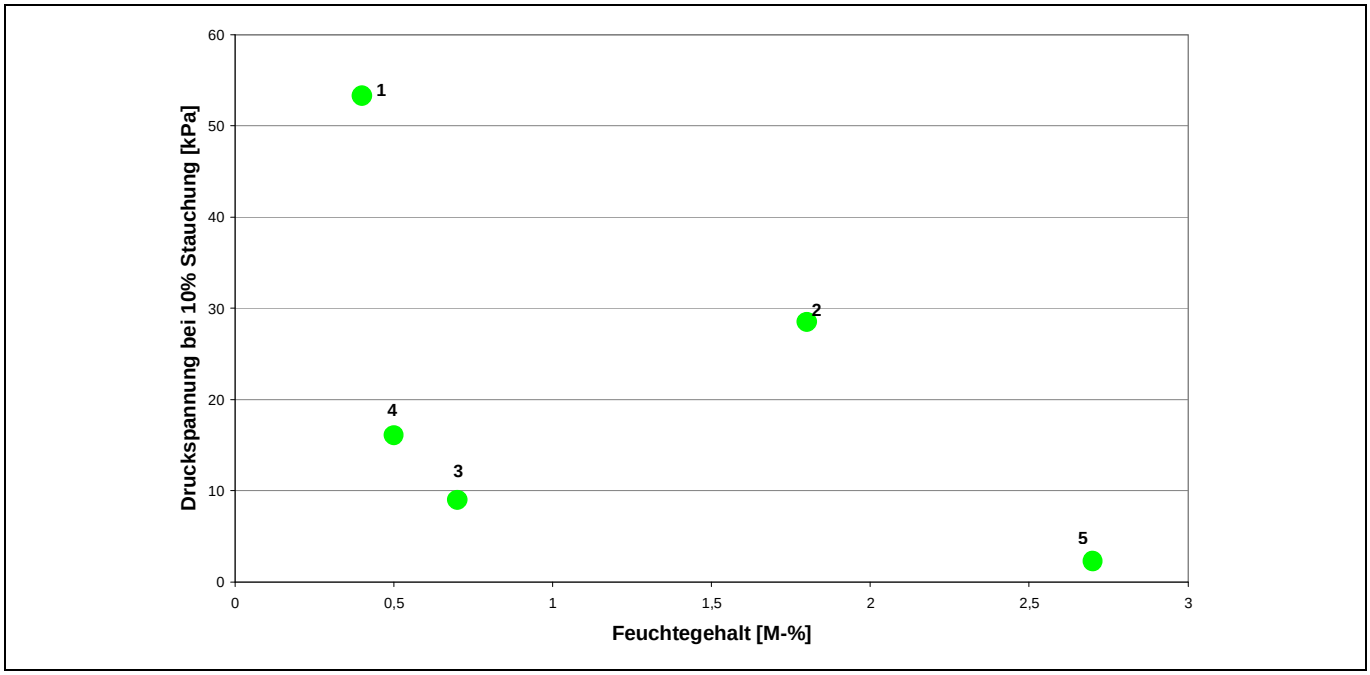


Abbildung 26: Feuchtegehalte und Druckspannungswerte bei 10 % Stauchung entnommener Mineralwolleproben bei Objekt Nr. 4

Die Feuchtegehalte der Proben waren eher gering. Ein Zusammenhang mit den verminderten Druckbelast-barkeiten war nicht zu erkennen.

Ein deutlich plausiblerer Zusammenhang mit den verminderten Druckbelastbarkeiten war mit der Lage der Öffnungsstellen bzw. der vermuteten häufigsten Belastung während der Bauzeit herzustellen. Unter den aufgestellten Fotovoltaik-Elementen, die mit Hilfe eines Krans auf das Dach gehievt und dort montiert wurden, war die Zugänglichkeit eingeschränkt und keine große mechanische Belastung anzunehmen. Dort war die Druckbelastbarkeit am höchsten. Der Verlust der Druckbelastbarkeiten war dafür umso höher, je

näher die Entnahmestellen an dem Hauptzugang und um die Hauptzugangswege um die Lichtbänder herum lagen.

Auch bei diesem Objekt zeigte sich, dass die Dämmstoffe durch die mechanische Belastung stärker beeinträchtigt wurden als durch die Feuchtegehalte. Außerdem ist auch hier erkennbar, dass die Gebrauchstauglichkeit höher eingeschätzt wird als die Laborwerte für die Druckspannung bei 10 % Stauchung es erscheinen lassen würden.

2.5 Objekt 5: Produktionshalle

2 weitere Proben wurden an einem Objekt entnommen, bei dem ein akuter, lokal begrenzter Schadensfall aufgetreten war. Die Entnahme erfolgte bei einer 5 Jahre alten Dachfläche, etwa ein Jahr nachdem der Schaden erstmalig bemerkt wurde. Es wurde eine Probe mit hohem und eine Probe mit niedrigem Feuchtegehalt entnommen.

Die Druckbelastbarkeit der erheblich durchfeuchteten Probe war zwar gegenüber der leicht feuchten Probe um etwa 12 % vermindert, lag jedoch noch bei 59,4 kPa (s. Anlage: FIW-Bericht „Dachentnahme Nr. 4“) und damit nur unwesentlich unter der Herstellerangabe für die Druckspannung bei 10 % Stauchung von 60 kPa.

Der Dachbereich war nach der Verlegung von keinem anderen Gewerk begangen worden, die mechanische Belastung des Dämmstoffs war daher für ein nicht genutztes Dach typisch.

Proben	Druckspannung bei 10% Stauchung	Feuchtegehalt	Dicke	Trockenrohdichte
Nr.	kPa	M.-%	mm	kg/m³
1	67,5	2,7	119,7	160
2	59,4	84,0	118,2	176

Das Beispiel zeigt, dass ein hoher Feuchtegehalt der Mineralwolle nicht unmittelbar eine wesentliche Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit des Dämmstoffs bewirkt.

2.6 Schlussfolgerung aus den Fallbeispielen

Aus den oben dargestellten Fallbeispielen sind im Wesentlichen zwei Schlussfolgerungen zu ziehen:

- der Feuchtegehalt eines eingebauten Mineralwolledämmstoffs kann – in gewissem Rahmen - nicht das einzige Kriterium für einen Austausch sein. Weder sind die unmittelbaren Auswirkungen des Feuchtegehalts auf den Dämmstoff bekannt (Welche Veränderungen bewirkt die Feuchtigkeit in der Materialstruktur?) und quantifizierbar (Wie verändert sich die Druckbelastbarkeit und die Wärmeleitfähigkeit?) noch die langfristigen Folgen (Hat der Feuchtegehalt Auswirkungen auf die technische Lebensdauer?).

- die Druckbelastbarkeitseigenschaften eines eingebauten Mineralwolledämmstoffs verändern sich deutlich in Abhängigkeit von der Intensität der mechanischen Belastung, d. h. der Nutzung auf der „nicht genutzten“

Dachfläche. Grenzwerte, in welchem Maß diese Veränderung üblich, technisch hinnehmbar und ab wann eine Funktionseinschränkung vorliegt, sind bisher nicht definiert.

Es ist dringend nötig,

- einen noch hinnehmbaren Feuchtegehalt

und

- einen noch hinnehmbaren Druckbelastbarkeitsverlust

ggf. abgestuft nach der Art der Mineralwolledämmung und Einbausituation zu definieren.

Die Beurteilung von Dachflächen mit Mineralwolledämmung stützt sich zur Zeit nur auf eine subjektive Einschätzung.

Objektive Kriterien für diese Beurteilungen zu finden, war Zielsetzung des vorliegenden Forschungsprojekts. Welche Kriterien bisher bekannt sind, wird im Folgenden zusammengestellt.

3. Mineralwolle und Wassertransport

3.1 Begriffsbestimmung

Nach der alten Norm [DIN 18165-1:1991-07] wurden als „Mineralfaser-Dämmstoff“ solche Dämmstoffe bezeichnet, die „*aus künstlichen Mineralfasern, die aus einer silikatischen Schmelze (z. B. Glas-, Gesteins- oder Schlackenschmelze) gewonnen werden, mit oder ohne Faserbindung*“. Die Definition wurde abgegrenzt von „Pflanzlichen Dämmstoffen“ aus Kokos, Holz oder Torffasern.

Die 2011 gültige europäische Norm [DIN EN 13162:2001-10] formuliert für den jetzt verwendeten Begriff „Mineralwolle“ allgemeiner: „*Dämmstoff mit wolliger Beschaffenheit, der aus geschmolzenem Stein, Schlacke oder Glas hergestellt wird*.“

Eine weitere Differenzierung erfolgt nach dem Ausgangsmaterial, das für die Schmelze überwiegend verwendet wird. Es wird im Wesentlichen unterschieden zwischen Steinwolle und Glaswolle. Daneben gibt es noch Schlackenwolle, die aber keinen nennenswerten Marktanteil aufweist.

Eine gute, schematische Darstellung des Herstellungsprozesses und der unterschiedlichen Bestandteile findet sich auf der Seite des Verbandes der Mineralwolle-Hersteller [www.fmi-mineralwolle.de].

Das Bindemittel gibt Glaswolle eine eher gelbliche und Steinwolle eine grau-braune Färbung.

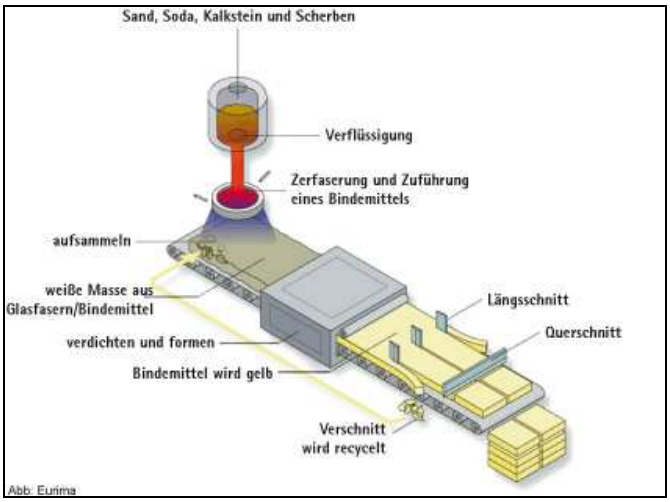
Bei den hier untersuchten Flachdachdämmstoffen in druckbelasteten Warmdächern handelt es sich ausschließlich um Steinwolle.

3.2 Herstellung und Struktur von Steinwolledämmstoffen

Die Herstellung von Steinwolle wird vom Hersteller Rockwool wie folgt beschrieben:

„*Steinwolle entsteht durch die Verschmelzung von Stein, Kalkstein, Recycling–Formsteinen und anderen Rohstoffen bei 1.500℃ in einem koksbeheizten Kupol ofen.*

Die flüssige Steinschmelze wird dann in einem weiteren Arbeitsschritt zu Fasern versponnen. Bindemittel und Imprägnierungsöl werden hinzugefügt, um den Produkten Stabilität und wasserabweisende Eigenschaften zu geben. Die Steinwolle wird danach erneut auf ca. 200°C erhitzt, um die Bindemittel auszuh ärten und das Material für die Endbearbeitung zu stabilisieren.“



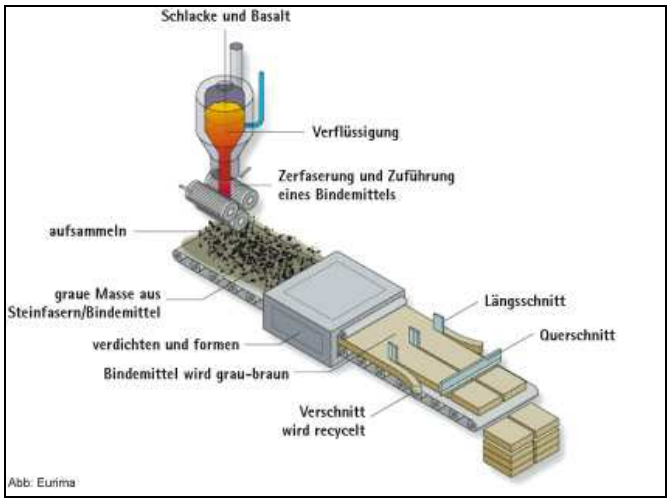


Abbildung 27 und 28: Schematische Darstellung der Herstellung von Glaswolle (links) und Steinwolle (rechts), Quelle: www.fmi-mineralwolle.de/Produkte

Eine gute Darstellung wesentlicher struktureller und chemischer Eigenschaften von Mineralwolle findet sich in verschiedenen Aufsätzen von Gerd-Rüdiger Klose, der über lange Jahre Werksleiter und Leiter Forschung und Entwicklung der Deutschen Rockwool Mineralwoll GmbH & Co. KG war. Einige Auszüge daraus sind im Folgenden wiedergegeben:

„*Steinwolle-Dämmstoffe bestehen aus punktweise miteinander verbundenen Einzelfasern. Diese Fasern sind zur Erzielung einer hohen Druckspannung und Querzugfestigkeit besonders steil orientiert. Bei Belastung reagieren die Fasern elastisch-federnd. Bei wiederholten höheren Belastungen sinkt die „Federkonstante“, die Auslenkungen werden größer. … In den Dämmstoffen treten Relaxationseffekte auf, die von hydromechanischen Belastungen während der Bau- und Nutzungsphase überlagert werden.*“ [Klose1995]

„Das Know-How besteht darin, die gegeneinander bewegten Faserschichten dennoch fest miteinander zu verbinden.“ [Klose 1995]

„Die Steinwolle-Fasern bestehen aus Gläsern mit rel. hohen Anteilen an den Erdalkalien Calcium und Magnesium sowie an Eisen. Im Vergleich zu Behälter- oder gar technischen Gläsern ist die hydrolytische Beständigkeit gering. Hinzu kommt noch, dass die Fasern bei der Herstellung abgeschreckt werden, wodurch sich hohe innere Spannungen aufbauen können. Behälterglas wird beispielsweise nach der Formgebung „gekühlt“, d. h., so weit und so lange aufgeheizt, bis die inneren Spannungen abgebaut worden sind. Wenn dieser Prozess unvollständig bleibt, würde ein Glas bei der geringsten Beanspruchung oder sogar spontan zerbrechen. Die Fasern werden durch Säuren stark angegriffen, wodurch es zunächst zu Spannungsrisskorrosionen, d. h., zum Zerbrechen, bei anhaltendem Angriff zur Auflösung kommt. … Jede Einzelfaser, aus der sich die Dämmstoffe zusammensetzen, muss demzufolge gegen Korrosion geschützt werden.“ [Klose 1995]

„Die mittleren Faserdurchmesser betragen etwa 3 -6 µm. Die Faserlängen variieren von wenigen Millimetern bis zu etwa 20 mm.“ [Klose 1993]

„Durch das schlagartig verdampfende Wasser wird die Faser abgeschreckt und erstarrt glasförmig. Gleichzeitig mit der Bindemittel-Lösung werden entweder hochsiedende Mineralöle, Öl-Wasser-Emulsionen, Silikonöle oder -harze resp. Kombinationsharze als Hydrophobier-, Staubbinde- und Gleitmittel einge-

sprüht. Diese Schmelzmittel schlagen sich in Form von wenige Nanometer dicken Filmen auf den Fasern nieder und bewirken u. a. die Wasserabweisung jeder einzelnen Faser.“ [Klose 1993]

„Die Bindemittel bestehen zumeist aus Phenol-Harnstoff-Formaldehydharzen in Mengen von max. 3,5 M.-% (Rockwool u. a.) bis max.8 M.-% bei KI-40 Steinwolle. Die Harze sollen die Fasern nur an den Berührungspunkten miteinander verbinden. Eine überschlägige Berechnung zeigt aber, dass die geringen Bindemittelmengen gar nicht ausreichen können, um alle Fasern ausreichend zu fixieren. Die Faseroberflächen werden entweder mit hochsiedenden aliphatischen Mineralölen oder Öl-in-Wasser-Emulsionen hydrophobiert. … Bei KI-40-Steinwolle ist der Einsatz von (wesentlich wirksameren) Silikonverbindungen (die aber ungern verwendet werden, weil z. B. die Automobilindustrie grundsätzlich silikonfreie Dämmstoffe verlangt) unumgänglich. Die Gehalte an Hydrophobiermitteln betragen nur 0,2 … 0,4 Masse-%, so dass die Schichtdicke bei vollständiger Belegung der Faseroberfläche nur wenige Nanometer betragen dürfte.“ [Klose 1998]

„Die Verbindung Harz – Glas-Oberfläche reagiert empfindlich auf die Attacken durch Wasser (-dampf)“ [Klose 1995]

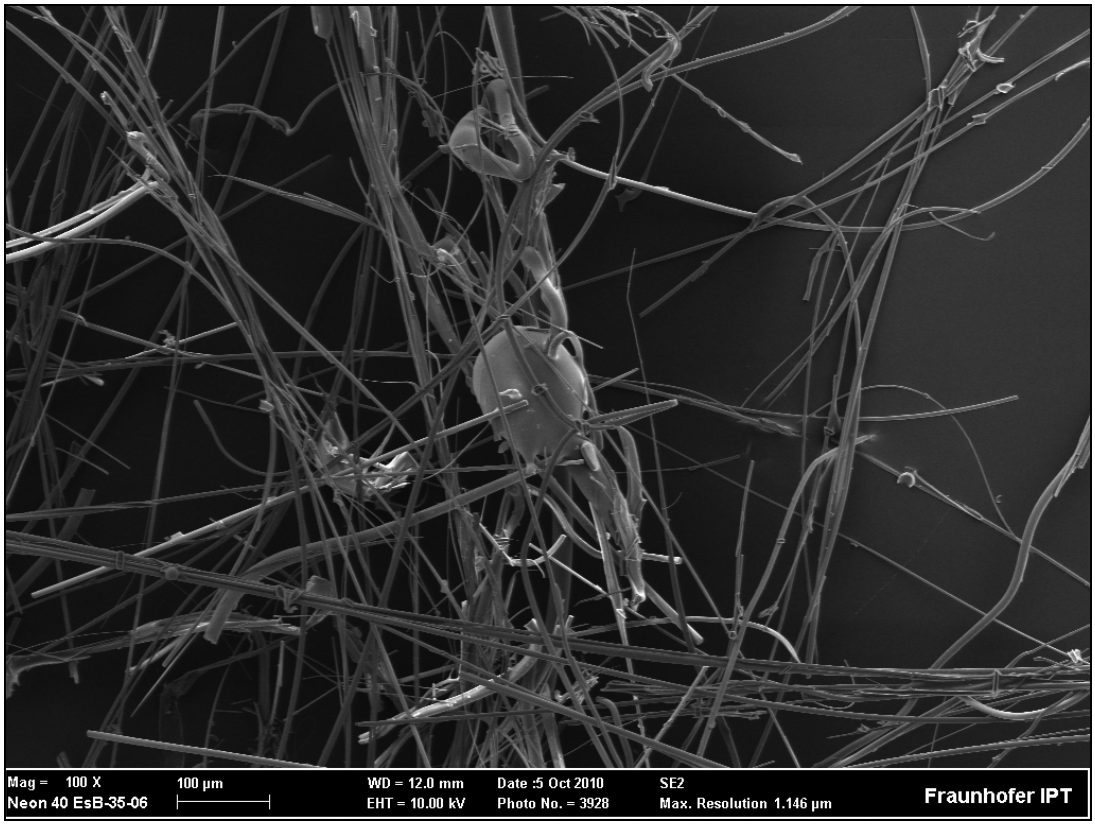


Abbildung 29: Rasterlektronische Aufnahme einer ehemals durchfeuchteten Mineralfaserprobe, 100-fache Vergrößerung

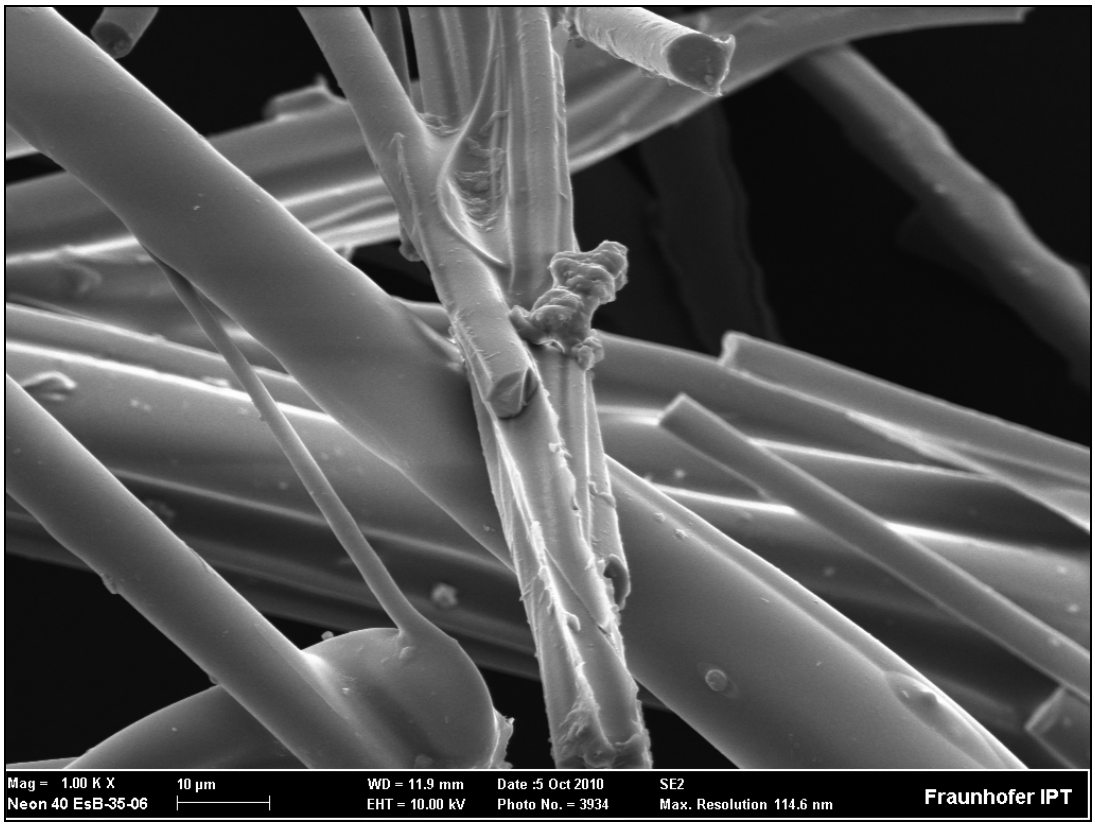


Abbildung 30: Rasterelektronische Aufnahme einer ehemals durchfeuchteten und druckbelasteten Mineralfaserprobe, 1000-fache Vergrößerung

3.3 Feuchte in Mineralwolle

Mineralwolle-Dämmstoffe weisen keine Kapillaren auf. Im Gegensatz zu massiven, porösen Baustoffen, die Wasser durch Kapillarleitung aufnehmen und in denen Wasser in den Poren gespeichert wird, kann Wasser bei Mineralwolle auf diese Weise weder aufgenommen noch eingelagert werden. Die Fasern sind überwiegend hydrophobiert, das Material saugt daher nicht, sondern stößt flüssiges Wasser ab.

Entsprechend wird schon bei [Künzel 1988] darauf hingewiesen, dass die Wasseraufnahme bei Mineralwolledämmstoffen unter den üblichen Prüfbedingungen (entweder auf Wasser aufgelegt oder ca. 30 mm in Wasser eingetaucht oder Unterwasserlagerung) nur gering ist (maximal 1 Vol-% bei Rohdichten von 160 kg/m³). Lediglich bei Unterwasserlagerung und Unterdruck wurden erhebliche Mengen (40 Vol-% bei gleicher Rohdichte) Feuchtigkeit in den Dämmstoff eingebracht.

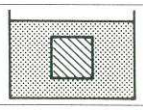
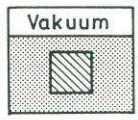
Zeile	Messung	Versuchs-anordnung	Meßwerte nicht hydrophobierte Mineralfaserplatte	Meßwerte hydrophobierte Mineralfaserplatte
1	Wasseraufnahme nach DIN 52617 senkrecht zur Faserlage (24-Stunden-Wert)		1,3 kg/m² h^{0,5}	0,007 kg/m² h^{0,5}
2	Wasseraufnahme nach DIN 52617 parallel zur Faserlage (24-Stunden-Wert)		1,3 kg/m² h^{0,5}	0,01 kg/m² h^{0,5}
3	Wasseraufnahme bei 30 mm WS Überdruck senkrecht zur Faserlage (24-Stunden-Wert)		5,0 kg/m² h^{0,5}	0,015 kg/m² h^{0,5}
4	Wasseraufnahme bei 30 mm WS Überdruck parallel zur Faserlage (24-Stunden-Wert)		5,5 kg/m² h^{0,5}	0,03 kg/m² h^{0,5}
5	Wasseraufnahme bei Unterwasserlagerung (24 h)		87 Vol-%	1,0 Vol-%
6	Wasseraufnahme bei Unterwasserlagerung und Unterdruck von 550 mb (24 h)		88 Vol-%	40 Vol-%

Abbildung 31: Wasseraufnahme von Mineralwolledämmstoffen [Künzel 1988]

Mineralwolle-Dämmstoffe gelten als nicht hygroskopisch, weil sie im Gleichgewichtszustand keinen Feuchtegehalt annehmen, der physikalisch bedeutsam wäre: Bei 23℃ und 80% r. F. stellt sich in Mineralwolle-Platten der Rohdichte 120 kg/m³ nach [Künzel 1988] ein Feuchtegehalt von lediglich 0,015 Vol-% ein, bei 160 kg/m³ schweren Platten nur etwa 0,026 Vol-%. Bei 10 cm Dämmstoffdicke wären das 15 bzw. 26 g/m² Wasser. Ein Feuchtegehalt von 0,1 Vol-% (bzw. 100 g/m² Wasser im Beispielfall) wird „in der Regel“ nicht überschritten.

Die Untersuchungen von Künzel bezogen sich in erster Linie auf Dämmstoffe in Außenwänden, insbesondere bei kerngedämmtem Mauerwerk. Es wurde zwar bestätigt, dass höhere Feuchtegehalte in der Praxis gemessen wurden, dies jedoch auf vorübergehende Tauwasserbildung zurückgeführt, die ohne nachhaltige Bedeutung sei.

Längs der Fasern kann es aber aufgrund von Adhäsionskräften nach [Künzel 1993] zu einem Migrieren von Wasser kommen. Die Folge davon ist, dass sich Wasser bevorzugt in Längsrichtung der Fasern bewegt. Allerdings ist dieser Transportvorgang durch die Hydrophobierung der Fasern stark eingeschränkt und beim Flachdach bei den im Allgemein geringen Neigungen zunächst nicht von Bedeutung. Die Feuchtetransportvorgänge beschränken sich hier im Wesentlichen, zumindest bei hydrophobierten Mineralwolledämmstoffen, auf die Dampfdiffusion und auf die Schwerkraft.

Aussagewert für durchfeuchtete Dächer:

Die Prüfbedingungen zur Wasseraufnahme, die auch in Kapitel 5.1.2 beschrieben sind, entsprechen nicht den tatsächlichen Verhältnissen auf Flachdächern: Die Wasseraufnahme kann – auch ohne Unterdruck – aufgrund des Feuchtetransports durch Diffusion erheblich sein, wie die Probeentnahmen an ausgeführten Dächern zeigen und wie anhand der Fallbeispiele in diesem Bericht dargestellt wird.

Die Dauerzufuhr von Feuchte auf der warmen Seite der Dämmung kann bei Leckagen der Flachdachabdichtung langanhaltend den Dämmstoff belasten. Kleinere Leckstellen, die oft über einen langen Zeitraum nicht bemerkt werden oder nicht geortet werden können, führen oft zu einem regelmäßigen Feuchteeintrag. Insbesondere bei Flachdächern, bei denen die Dampfsperrebene ohne geplantes Gefälle konzipiert ist, ist dieses Wasser als Feuchtefilm oder mehrere mm hoch stehendes Wasser permanent vorhanden. Entsprechend findet ein sehr intensiver Diffusionsprozess statt, weil ein hohes Dampfdruckgefälle innerhalb der Dämmschicht vorhanden ist: es ist mit ca. 18 - 20℃ und 100% r. F. auf der Unterseite der Dämmung zu rechnen; für die Oberseite der Dämmung ist je nach Witterungsbedingungen beim Einbau von 0 bis 20°C und einer wesentlich niedrigeren Luftfeuchte auf der Oberseite der Dämmung auszugehen. Infolgedessen ist es nicht verwunderlich, wenn bei der Entnahme von Dämmstoffproben in ausgeführten Dächern Feuchtegehalte der Mineralwolle von 50 Masse-%/7 Vol-% und mehr gemessen werden.

Inwieweit der Diffusionstransport der Feuchtigkeit zu deutlichen Wärmeverlusten führt, oder diese sogar durch Transportvorgänge in die umgekehrte Richtung und durch Latentwärmeeffekte wieder aufgehoben werden, muss noch untersucht werden (siehe Kapitel 8.1).

4. Anforderungen entsprechend den Regelwerken

4.1.1 DIN EN 13162:2009-02

Die Stoffnorm „DIN EN 13162 Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) –Spezifikation“ legt die allgemeinen Anforderungen und die entsprechenden Prüfverfahren für Dämmstoffe aus Mineralwolle fest. Für den hier untersuchten Anwendungsfall der Dämmung unter Abdichtungen sind die hier interessierenden Anforderungen im Wesentlichen in DIN 4108-10 festgelegt.

4.1.2 DIN 4108-10:2008-06

Die Norm „DIN 4108, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe – Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe“ legt Mindestanforderungen an die Wärmedämmstoffe in Bezug auf die einzelnen Anwendungsgebiete fest.

Für den Anwendungsfall unter einer Dachabdichtung (DAA – Dämmung außen unter Abdichtung) werden in Tabelle 3 Anforderungen an Mineralwolledämmstoffe in Bezug auf die Dicke (Grenzabmaße), die Dimensionsstabilität unter Temperatur und Feuchteeinwirkungen, die Druck- und Zugfestigkeit, auf die Punktlast und die kurzzeitige Wasseraufnahme aufgeführt.

Anwendungsgebiet	Kurzzeichen		Bezeichnungsschlüssel										
			Grenzabmaße für die Dicke	Dimensionsstabilität bei definierter Temperatur	Dimensionsstabilität unter definierten Temperatur- und Feuchtebedingungen	Druckspannung oder Druckfestigkeit	Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene	Punktlast	Kurzzeitige Wasseraufnahme	Langzeitige Wasseraufnahme	Dynamische Steifigkeit[a]	Zusammendrückbarkeit	Längenbezogener Strömungswiderstand
			Ti	DS(T+)	DS(TH)	CS(10/Y)i	TRi	PL(5)i	WS	WL(P)	SDi	CPi	AFri
Dach, Decke	DAD	dk[b]	T2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	AFr5
		dg	T4	—	—	CS(10)20	—	—	—	—	—	—	—
		dm	T4	—	—	CS(10)50	TR5	—	—	—	—	—	—
	DAA		T4	DS(T+)	DS(TH)	CS(10\Y)60	TR7,5	PL(5)500	WS	—	—	—	—
	DUK		Keine genormte Anwendung										
	DZ[b]		T2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	AFr5
	DI		T2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	AFr5
	DEO		T4	—	—	CS(10)40	TR7,5	—	WS	—	—	—	—
		dg	T4	—	—	CS(10)20	WS	—	—	—	—	—	—
		dm	T4	—	—	CS(10)40	WS	—	—	—	—	—	—
	DES	sh	T6	—	—	—	—	—	—	—	≤ SD25	CP5	—
		sm	T6	—	—	—	—	—	—	—	≤ SD40	CP3	
		sg[c]	T7	—	—	—	—	—	—	—	≤ SD50[d]	CP2	—

Abbildung 32: Tabelle 3 aus DIN 4108-10

Als Mindestanforderung für die Druckbelastbarkeit wird ein Mindestwert der Druckspannung bei 10 % Stauchung von 60 kPa gestellt.

Die Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene muss 7,5 kPa betragen.

Die Punktlast bei 5 mm Verformung darf nicht geringer sein als 500 N. Die Prüfung erfolgt durch einen Druckstempel von 50 cm² (entsprechend 79,8 mm Durchmesser). Das entspricht einer Druckbelastung von 10 N/cm² bzw. 100 kPa.

Die kurzzeitige Wasseraufnahme muss geprüft werden, es wird aber kein Anforderungsniveau definiert. Daher gilt die Forderung der Stoffnorm DIN EN 13162, nach der kein Prüfergebnis über 1 kg/m² liegen darf. (Die Prüfbedingungen werden in Kap. 5.1.2 näher beschrieben.) Anforderungen an eine langzeitige Wasseraufnahme werden nicht gestellt.

Laut Norm muss die Dimensionsstabilität geprüft werden. Anforderungen werden nicht gestellt. Gemäß der Stoffnorm DIN 13162 dürfen sich Länge, Breite und Dicke des Dämmstoffs nach 48h Lagerung in einem Klima von 70°C und 90 % r. F. um nicht mehr als je weils 1 % verändert haben. Da der Wassergehalt in Luft bei 70°und 90 % 177,3 g/m³ beträgt, bedeutet das einen Feuchtegehalt des Dämmstoffs von lediglich rund 0,1 Masse-% (bei einem etwa 150 kg/m³ schweren Dämmstoff).

Aussagewert für durchfeuchtete Dächer:

Die Anforderungen der Norm beziehen sich auf die üblichen Prüfvoraussetzungen. Dabei werden in der Regel nur trockene Dämmstoffe den Prüfungen ausgesetzt. Zwar lassen die Prüfungen auf kurzzeitige Wasseraufnahme oder Dimensionsstabilität auf den ersten Blick vermuten, dass darin auch der Einfluss von Feuchte erfasst wird. Die Norm stellt aber einerseits kein eigenes Anforderungsniveau auf, und andererseits sind die Feuchtebelastungen der in der Stoffnorm festgesetzten Prüfungen so gering, dass aus den Prüfwerten nicht auf das Verhalten des Dämmstoffs bei erheblicher Feuchtebelastung geschlossen werden kann.

4.1.3 Produktdatenblatt des ZVDH, Ausgabe März 2004:

Der Zentralverbands des Deutschen Dachdeckerhandwerks fordert in seinem Produktdatenblatt über Wärmedämmstoffe, Ausgabe März 2004, in „Tabelle 4: Anwendungsgebiete und Differenzierungen der Produkteigenschaften" für verschiedene Dämmstoffmaterialien im Anwendungsgebiet „DAA – Dämmung außen unter Abdichtung" bestimmte Produkteigenschaften im Hinblick auf die Druckbelastbarkeit. Sie werden mit Kurzbezeichnungen, z. B. „dm – mittlere Druckfestigkeit" oder „ds – sehr hohe Druckfestigkeit" gekennzeichnet. Für Dämmstoffe aus Mineralwolle entfällt diese Differenzierung nach Druckbelastbarkeiten. Das Produktdatenblatt formuliert daher in dieser Hinsicht keine Vorgabe an Mineralwolledämmstoffe.

4.1.4 Flachdachrichtlinien 2008

In den [Flachdachrichtlinien 2008] werden in Kap. 4.4. „Wärmedämmstoffe" folgende allgemeine Forderung aufgestellt:

„(4) Beim Einsatz von Dämmstoffplatten in nicht belüfteten Dächern müssen druckbelastbare Dämmplatten, bei genutzten Dächern solche mit erhöhter Druckbelastbarkeit verwendet werden." Grenzwerte für die geforderte Druckbelastbarkeit werden nicht genannt.

„(8) Wenn Dämmplatten mechanisch befestigt werden, müssen Druckbelastbarkeit und Oberflächenbeschaffenheit der Dämmung und das Befestigungssystem aufeinander abgestimmt werden (siehe Abschnitt 2.6.3.4). Bei Mineralwoll- Dämmstoffen ist das Verhalten unter Punktlast bei Deformation zusätzlich zu berücksichtigen."

Zur mechanischen Befestigung von Dachbahnen wird im genannten Abschnitt 2.6.3.4 für Mineralwolle gefordert:

„(11) Werden Dämmstoffe aus Mineralwolle mit einer Punktbelastbarkeit kleiner 600 N eingebaut, sind trittsichere Befestigungselemente zu verwenden."

4.1.5 Ältere Ausgaben

Flachdachrichtlinien

Bei den älteren Ausgaben der Flachdachrichtlinien bestanden die allgemeine Anforderungen an Dämmstoffe: *„Stoffe für Wärmedämmschichten müssen temperaturbeständig und unverrottbar, für einschalige Dächer außerdem trittfest und maßhaltig sein."* (Ausgabe 1973) 1982 kam die Forderung der „Formbeständigkeit" hinzu.

Laut der Ausgabe 1973 waren für „einschalige Dächer" „Trittfeste Mineralfaserdämmplatten" möglich.

In den Ausgaben 1982 und 1992 waren allgemein „Faserdämmstoffe" „in unbelüfteten Dächern unter der Dachhaut" als Anwendungstyp „WD" zugelassen. Sie mussten DIN 18165 entsprechen. Es gab aber keine Anforderung an die Rohdichte.

DIN 18165-1: 1991-07 und DIN 18165-1:2002-01

In Tab.1 der alten Stoffnorm „DIN 18165 Faserdämmstoffe für das Bauwesen – Dämmstoffe für die Wärmedämmung, Ausgabe Juli 1991" wurde der Anwendungstyp „WD" wie folgt definiert:

„Wärmedämmstoffe, druckbelastbar, z. B. unter druckverteilenden Böden (ohne Trittschallanforderung) und in Dächern unter der Dachhaut."

Für diesen Anwendungstyp wurde der Mindestwert der Druckspannung bei 10 % Stauchung auf 40 kPa (0,040 N/mm²) festgelegt. Die Abreißfestigkeit musste im Mittel 7,5 kPa (0,0075 N/mm²) betragen.

Wasserabweisende Eigenschaften waren nur für Dämmstoffe für hinterlüftete Fassaden gefordert.

5. Normprüfungen

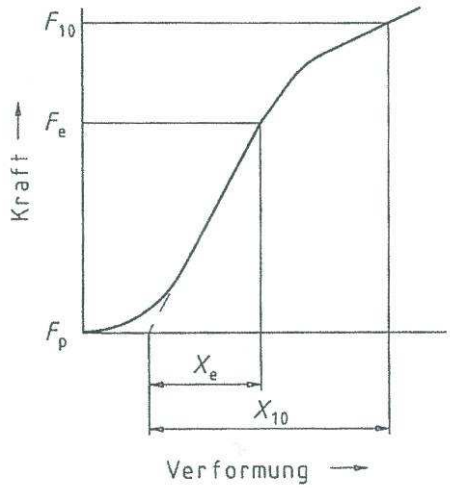
Der Einsatz einer Wärmedämmung im Flachdach ist nicht selten mit einer Durchfeuchtung der Dämmplatten bei der Lagerung oder beim Einbau verbunden. Bei einer Beurteilung, wie schwerwiegend die Durchfeuchtung sich auf das Verhalten des Dämmstoffs auswirkt, sind zunächst die in Normen definierten Anforderungen heranzuziehen und zu überpüfen, inwieweit diese auf die feuchtebelasteten Dämmstoffe anzuwenden sind. Die relevanten Normprüfungen werden im Folgenden kurz beschrieben.

5.1.1 Druckspannungsprüfung

Das Verhalten von Dämmstoffen bei Druckbeanspruchung ist von dessen Materialstruktur abhängig.

Dämmstoffe, bei denen bei Maximalbelastung (Höchstkraft F_m) ein Bruch erfolgt, werden auf „Druckfestigkeit“ geprüft. Im Gegensatz dazu lässt sich bei Mineralwolledämmstoffen die „Druckspannung bei 10 % Stauchung“ messen. Zur Charakterisierung der Festigkeitseigenschaften von Mineralwolle und zur Abgrenzung zum Begriff der Prüfnormen wird daher im vorliegenden Bericht nicht der Begriff „Druckfestigkeit“, sondern der Begriff „Druckbelastbarkeit“ verwendet.

Die Prüfung hat gemäß [DIN EN 826:1996-05]an 200 x 200 mm dicken Quadern mit der Lieferdicke des Dämmstoffs zu erfolgen. Der Dämmstoff wird bei der Prüfung zwischen zwei parallelen Platten mit einer langsamen Vorschubgeschwindigkeit so lange belastet, bis eine Stauchung von 10 % eingetreten ist. Die dazu aufgebrachte Druckspannung wird gemessen. Der Verlauf der Belastung und der Verformung ist in einer Kraft-Verformungs-Kurve aufzuzeichnen. Die Verformung um 10 % wird ab einem „Verformungsnullpunkt“ bestimmt, der anhand des Diagramms grafisch ermittelt wird. Ein in der Norm abgedrucktes Beispiel für ein Verformungsdiagramm ist unten abgebildet.



F_p	der Vorbelastung entsprechende Kraft
F_m	Höchstkraft
X_m	Verformung bei Höchstkraft
F_{10}	Kraft bei 10 % Stauchung
X_{10}	Verformung bei 10 % Stauchung
F_e	zu X_e gehörige Kraft (konventionelle Proportionalitätsgrenze)
X_e	Gesamtverformung im konventionellen elastischen Bereich

Abbildung 33: Beispiel für Kraft-Verformungs-Diagramm; Ausschnitt aus Bild 1 in [DIN EN 826:1996-05]

Die Prüfungen werden unter Normklimabedingungen (23℃, 50 % r. F.), durchgeführt.

Aussagewert für durchfeuchtete Dächer:

Ob und wie sich das Verhalten des Dämmstoffs nach länger einwirkender Durchfeuchtung ändert, ist aus den Prüfergebnissen nicht ableitbar.

5.1.2 Prüfungen zur Wasseraufnahme

In der [DIN EN 13162:2009-02] sind Anforderungen an die Wasseraufnahme von Mineralwolldämmstoffen gestellt. Danach darf die kurzzeitige Wasseraufnahme bei kurzzeitigem teilweisem Eintauchen (gemäß [DIN EN 1609]) nicht größer als 1,0 kg/m², die nach langem teilweisen Eintauchen (gemäß [DIN EN 12087]) nicht größer als 3,0 kg/m² sein.

Die Prüfnorm [EN 1609:2007-06] für die kurzfristige Wasseraufnahme sieht vor, dass der Dämmstoff mit seiner Unterseite 24 h lang 10 mm tief in Wasser eingetaucht und anschließend die Masseveränderung bestimmt wird. Der Wasserspiegel soll über die Versuchsdauer konstant gehalten werden.

In der Prüfnorm [EN 12087:2007-06] für die langzeitige Wasseraufnahme ist festgelegt, dass der Dämmstoff 28 Tage lang eingetaucht wird. Entweder wird nur die Unterseite (Prüfverfahren 1) eingetaucht oder der ganze Dämmstoff (Prüfverfahren 2) mit einer Wasserüberdeckung von 50 mm. In der Produktnorm [DIN EN 13162:2009-02] ist festgelegt, dass nur das Prüfverfahren 1 durchgeführt werden soll. Sie definiert dafür das Kurzzeichen W_{lp} für langzeitiges, teilweises Eintauchen.

In den Laborprüfungen ist das Umgebungsklima mit 23℃ und 50 % Luftfeuchte festgelegt, die Wassertemperatur ebenfalls mit 23°C (± 5℃). Damit ergib t sich ein Diffusionsstrom von der Unterseite (23℃ und 100% r. F. bzw. 2806 Pa) zur Oberseite (23℃ und 50 % r. F. bzw. 1406 Pa).

Aussagewert für durchfeuchtete Dächer:

Aus den Normbedingungen der Wassertemperatur von 23℃ und dem Raumklima von 23℃ / 50% r. F. ergibt sich eine Diffusionsstromdichte von 0,00935 kg/m²h. In 24 h werden bereits 0,2244 kg/m² transportiert, im Laufe von 28 Tagen sind es schon 6,28 kg/m² Wasser.

Dieser Wassergehalt wird aber im Labor nicht im Dämmstoff festgehalten, sondern verdunstet in die Raumluft. Der Dämmstoff wird also nur geringfügig mit der Feuchte des Diffusionsstroms belastet und mit dem Wasser, das in der Eintauchzone vorhanden ist.

Geht man davon aus, dass sich im Dämmstoff im Mittel der Feuchtegehalt zwischen Wasserkontaktzone und Außenoberfläche einstellt, so wäre das der Mittelwert von 20,6 g/m³ (Wassergehalt der Luft bei 23° und 100% r. F.) und 10,3 g/m³ (Wassergehalt der Luft bei 23℃ und 50 % r. F.), mithin also rund 15 g/m ³. Auf 10 cm Dämmstoff bezogen entspricht das einem Wassergehalt von 1,5 g/m³. Das liegt weit unter dem von der Stoffnorm gesetzten Grenzwert von 1 kg/m³. Für einen nicht kapillar saugenden, nicht sorptiven Dämmstoff wie Mineralwolle ist diese Normprüfung daher leicht erfüllbar.

Im nicht belüfteten Flachdach bleibt die Feuchte aber im Wesentlichen eingeschlossen. Die Feuchtigkeit kann an der Oberseite der Dämmung nicht entweichen, sondern akkumuliert dort. Je nach Klimabedingungen wird sich dort bald ebenfalls ein Feuchtegehalt von 100 % einstellen und der Diffusionsstrom langsam abnehmen. Gegebenenfalls kommt es zu einem Rücktransport der Feuchte, insbesondere bei Sonneneinstrahlung und höheren Temperaturen auf der Oberseite des Dämmstoffs. Der Feuchtetransport findet also

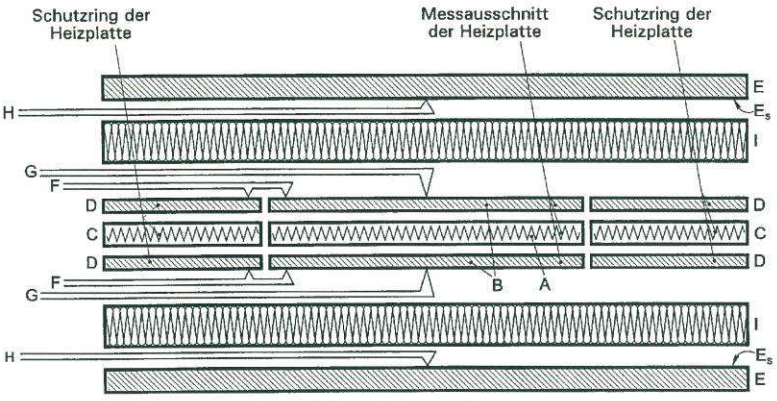
nicht nur gleichmäßig in eine Richtung statt, sondern das auf der Dampfsperre vorliegende Feuchteangebot wird mehr oder weniger gleichmäßig im Dämmstoff verteilt. Handelt es sich nicht nur um einmal während der Bauzeit eingetragene Feuchte, sondern um Feuchtigkeit, die ausgehend von einer Leckage weiter zunimmt, so verteilt sich auch die zunehmende Feuchte im Dämmstoff. Bei häufiger gemessenen Feuchtegehalten von 5 Masse-% sind dies bei 150 kg/m³ Rohdichte immerhin 7,5 kg/m³, also ein Feuchtegehalt, der deutlich über den Grenzwert der Norm hinausgeht.

5.1.3 Wärmeleitfähigkeit und Wärmeübertragung

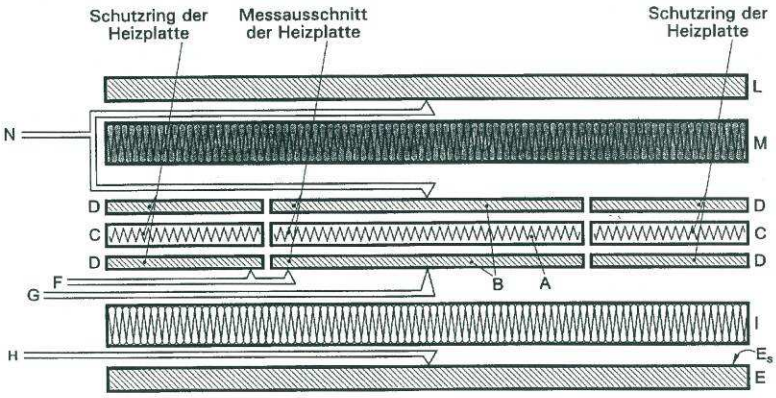
Die Produktnorm [DIN EN 13162:2009-02] schreibt vor, dass Wärmedurchlasswiderstand und Wärmeleitfähigkeit auf Messwerten beruhen müssen, die nach [DIN EN 12667] (oder [DIN EN 12939] für dicke Produkte) ermittelt wurden.

Die Wärmeübertragungseigenschaft der Dämmstoffe wird mit einem Plattengerät oder mit einem Wärmestrommessplattengerät ermittelt.

Beim Plattengerät (Zweiplattengerät) werden zwei nahezu identische Dämmplatten beidseitig einer Heizplatte und zwischen zwei Kühlplatten (bzw. beim Einplattengerät eine Dämmplatte zwischen einen Heizplatte und eine Kühlplatte) angeordnet. Hat sich ein stationärer Zustand eingestellt, wird die Leistungsaufnahme der Messplatte gemessen.



a) Zweiplattengerät



b) Einplattengerät

Legende

A Heizeinrichtung des Messausschnittes	G Thermoelemente der Heizplattenoberfläche
B Deckplatten des Messausschnittes	H Thermoelemente der Kühlplattenoberfläche
C Heizeinrichtung des Schutzringausschnittes	I Probekörper
D Deckplatten des Schutzringausschnittes	L Schutzplatte
E Kühlplatte	M Schutzplattendämmung
E_s Deckplatte der Kühlplatte	N Differenzthermoelemente der Schutzplatte
F Differenzthermoelemente	

Der Spalt ist der Abstand zwischen dem Messausschnitt (siehe A und B) und dem Schutzring (siehe C und D).

Abbildung 34: Bild 1 aus DIN EN 12667: Allgemeine charakteristische Merkmale des Zweiplattengerätes und des Einplattengerätes

Beim Wärmestrommessplattengerät werden ein oder zwei Dämmplatten zwischen eine Heizplatte und eine Kühlplatte eingebaut und zwischen diesen Platten ein oder zwei Wärmestrommessplatten eingebaut, die die Wärmestromdichte mittels der Temperaturdifferenz messen.

Die Produktnorm [DIN EN 13162:2009-02] legt fest, dass die Messungen in der Regel bei einer Mitteltemperatur von (10 ± 0,3℃) durchgeführt werden sollen . Es ist keine Vorbehandlung erforderlich. Üblicherweise ist der zu prüfende Dämmstoff trocken.

Ein Verfahren, wie die Wärmeleitfähigkeit ermittelt werden kann, wenn der Dämmstoff feucht oder gar richtig nass ist, ist in der Norm nicht enthalten.

Einen deutlichen Hinweis darauf, dass die sich verändernden Dämmeigenschaften bei Feuchte differenziert nach den Stoffeigenschaften und der Wärmeübertragung durch den Wassertransport zu betrachten sind,

enthält schon der Anhang A der [DIN EN 12667]: Dort wird darauf hingewiesen, dass „die tatsächliche Wärmeübertragung das Ergebnis eines Zusammenwirkens verschiedener Beiträge
- der Strahlung,
- der Leitung in der festen und in der gasförmigen Phase,
- der Konvektion (unter bestimmen Betriebsbedingungen)
- und deren Wechselwirkung zusammen mit der Massenübertragung vor allem in feuchten Stoffen sein“ kann.

Daher sei der Begriff „Wärmeleitfähigkeit“ in diesen Fällen besser durch den Begriff „Übertragungsfaktor“ zu ersetzen, oftmals würde diese Wärmeübertragungseigenschaft auch „scheinbare“ oder „effektive“ Wärmeleitfähigkeit genannt. Speziell auf Mineralwolle bezogen wird formuliert:
„Wenn die Möglichkeit des Beginns einer Konvektion innerhalb des Probekörpers gegeben ist (z. B. in Mineralwolle geringer Dichte), können die Lage des Prüfgerätes, die Dicke und die Temperaturdifferenz sowohl den Übertragungsfaktor als auch den Wärmedurchlasswiderstand beeinflussen.“

Daraus wird in der Norm der Schluss gezogen, dass *„die Auswahl eines Kennwertes für die Wärmeübertragungseigenschaften, der im konkreten Anwendungsfall als repräsentativ für einen Stoff gilt, auf geeigneten Verfahren für die Probenahme sowie auf geeigneten Prüfbedingungen und Umwandlungsregeln usw. beruhen muss.“*

Aussagewert für durchfeuchtete Dächer:

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Normen zur Zeit nur die Bestimmung der wärmetechnischen Eigenschaften von trockenen Mineralwolledämmstoffen zulassen. Wird der Wärmestrom zusätzlich durch Feuchtigkeit beeinflusst, ist zur Abgrenzung der stofflichen Eigenschaften besser der Begriff der Wärmeübertragung anzuwenden, der außer der Wärmeleitfähigkeit des Materials auch den Wärmetransport durch Feuchteströme einschließt. Wie weiter unten noch beschrieben wird, bestehen hinsichtlich der Bewertung von feuchten Mineralwolledämmschichten zur Zeit noch keine allgemein anerkannten Prüf- und Beurteilungsverfahren.

5.1.4 Zugfestigkeit

Die Produktnorm [DIN EN 13162:2009-02] beschreibt im Hinblick auf die Zugfestigkeit zwei Prüfungen:

1. Gemäß DIN EN 1608: Bestimmung der Zugfestigkeit in Plattenebene. Die Produkte müssen „aus Gründen der Handhabung“ eine Zugfestigkeit parallel zur Plattenebene aufweisen, die „so groß ist, dass sie das zweifache Gesamtgewicht des Produkts tragen können“. Bei der Prüfung wird eine etwa 1000 mm x 500 mm große Platte, deren Breite in der Mitte auf 300 mm reduziert ist, auf den Querseiten eingeklemmt und damit in eine Zugprüfmaschine eingebaut. Die Zugkraft wird bei konstanter Vorschubgeschwindigkeit bis zum Versagen erhöht. Die Prüfung kann entfallen, wenn Prüfungen zur Druckspannung oder zur Zugfestigkeit nach DIN EN 1607 zur Anwendung kommen.
2. Gemäß DIN EN 1607: Bestimmung der Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene. Dabei werden Proben von bis zu 300 mm x 300 mm zwischen zwei parallele Platten gelegt und mit diesen verklebt. Die Platten werden mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit auseinandergezogen bis zum Versagen des Dämmstoffs. Kein Prüfergebnis darf dabei kleiner als die angegebene Stufe TR sein.

Die Prüfungen finden unter Normklima-Bedingungen statt.

Aussagewert für durchfeuchtete Dächer:

Auch mit diesen Prüfungen lassen sich nur Qualitäten von nicht eingebauten Produkten beschreiben. Inwieweit sich das Verhalten bei Durchfeuchtung ändert, wird nicht geprüft.

5.1.5 Dimensionsstabilität bei definierten Temperatur- und Feuchtebedingungen

Die Produktnorm [DIN EN 13162:2009-02] schreibt vor, dass die Längen-, Breiten- und Dickenänderung des Dämmstoffs nach 48 h Lagerung bei (70 ± 2)℃ un d (90 ± 5)% rel. Luftfeuchte 1,0 % nicht übersteigen darf.

Die Prüfung dazu wird in [DIN EN 1604:2007-06] beschrieben: Es werden 200 mm x 200 mm große Dämmplatten der Lieferdicke in eine Klimakammer eingebracht. Die Abmessungen werden etwa 3 h nach Herausnahme aus der Klimakammer neu bestimmt und mit den Anfangswerten verglichen.

Aussagewert für durchfeuchtete Dächer:

Auch diese Norm kann zur Beurteilung der Eigenschaften einer durchfeuchteten Dämmung im Warmdach nicht herangezogen werden: Die Dämmstoffe werden in der Prüfung einer extremen Klimabelastung über einen sehr kurzen Zeitraum ausgesetzt. Weder das Klima noch der Zeitraum sind als Belastung realitätsnah. Typisch im Dach sind eher wechselnde Temperaturverhältnisse und höhere Feuchtegehalte. Als Beurteilungsgrundlage für die Dämmstoffe nach Durchfeuchtung ist daher auch diese Norm ungeeignet.

5.1.6 Zusammenfassender Kommentar zu den Prüfverfahren

Alle oben beschriebenen Normprüfungen gehen von trockenem Dämmstoff aus und setzen ihn höchstens einer geringfügigen Durchfeuchtung aus. Daher lassen sich die Eigenschaftsveränderungen erheblich durchfeuchteter Mineralwolle nur bedingt anhand von Normprüfungen bewerten. Wie sich eine deutliche Durchfeuchtung auf den Mineralwolledämmstoff auswirkt, ist den Normprüfungen nicht zu entnehmen.

5.2 Qualitätssicherung der Hersteller

Die Hersteller der Dämmstoffe führen eine Überprüfung des Alterungsverhaltens durch, indem sie die Dämmstoffe im Autoklaven einer „Schnellalterung“ unterziehen. Die Dämmstoffe werden 15 Minuten lang über einem Wasserbad bei 121℃ gelagert, anschließe nd bei 100℃ getrocknet und auf Druck- und Zugfestigkeit überprüft. Die so geprüften Dämmstoffe sind nach den Erfahrungswerten der Hersteller geeignet, die Normwerte innerhalb der üblichen Nutzungsdauer zu erfüllen.

Laut [Klose 1995] entspricht der bei der o. g. internen Überprüfung „auftretende Abfall der Druckspannung von ca. 30 bis 35 % … im Allgemeinen demjenigen, der als Relaxationseffekt der vorgespannten Struktur plus einer normalen Beanspruchung auf den Baustellen eintritt.“

6. Exkurs 1: Gesundheitsgefährdung und Entsorgung

Bei der Entscheidung, ob eine durchfeuchtete Mineralwolle-Flachdachdämmung ausgetauscht werden muss, sind auch die Aspekte der Gesundheitsgefährdung durch den Umgang mit älteren Mineralwolle-Dämmstoffen und deren Entsorgung von Bedeutung.

6.1 Gesundheitsgefährdung

Künstliche Mineralfasern können krebserzeugend sein. Seitdem diese Einstufung in die MAK-Werte-Liste der Deutschen Forschungsgemeinschaft 1980 erfolgt ist, hat es verschiedene Einstufungsvorschläge und Festlegungen von Grenzwerten gegeben, die die Gesundheitsgefährdung – insbesondere bei der Verarbeitung – von Dämmstoffen aus Mineralwolle begrenzen sollen.

Zur Zeit besteht laut Gefahrstoffverordnung Anhang II Nr. 5 ([GefstoffV 2010-11]) ein Herstellungs- und Verwendungsverbot für Mineralwolle Erzeugnisse aus biopersistenten Fasern, soweit diese Erzeugnisse für die Wärme- und Schalldämmung im Hochbau bestimmt sind. Das Verbot gilt nicht für Erzeugnisse aus biolöslichen Fasern, wenn mindestens eins von 4 Freizeichnungskriterien erfüllt ist. Ausnahmslos wird dazu das zweite Kriterium erfüllt, demgemäß nachzuweisen ist, dass „die Halbwertszeit nach intratrachealer Instillation von 2 mg einer Fasersuspension für Fasern mit einer Länge größer 5 Mikrometer, einem Durchmesser kleiner 3 Mikrometer und einem Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis von größer 3 zu 1 (WHO-Fasern) höchstens 40 Tage beträgt“.

Die geltende Legaleinstufung von Mineralwolle erfolgt nach der EU Richtlinie 1272/2008. Auch hier gelten Freizeichnungskriterien, bei deren Erfüllung keine Einstufung als krebserzeugend erfolgt.

Mineralwolle Dämmstoffe mit dem RAL Gütezeichen erfüllen die Voraussetzungen sowohl der EU Richtlinie als auch der Gefahrstoffverordnung und unterliegen keiner Einstufung und keinem Verbot.

Bei Arbeiten mit alter Mineralwolle, die als krebserzeugend eingestuft wird, gelten die Regeln der [TRGS 521].

Als „alte Mineralwolle“ wird dort Folgendes bezeichnet:

„Im Sinne dieser TRGS sind alte Mineralwollen biopersistente künstliche Mineralfasern nach Anhang IV Nr. 22 (jetzt Anhang II Nr. 5) der Gefahrstoffverordnung. Nach der TRGS 905 ‚Verzeichnis krebserregender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe’ sind die aus alter Mineralwolle freigesetzten Faserstäube als krebserzeugend zu bewerten.

Für alte Mineralwolle gilt seit Juni 2000 das Herstellungs- und Verwendungsverbot nach Anhang IV Nr. 22 (jetzt Anhang II Nr. 5) der Gefahrstoffverordnung. Bei Mineralwolle, die vor 1996 eingebaut wurde, ist davon auszugehen, dass es sich um alte Mineralwolle im Sinne dieser TRGS handelt.“

Dort ist auch folgender Hinweis aufgeführt:

„Auch bei Einhaltung der in Nr. 3.3 genannten Faserstaubkonzentration am Arbeitsplatz (50.000 Faser/m³) kann nach derzeitigem Stand der Wissenschaft ein Krebsrisiko nicht ausgeschlossen werden. Weitergehende Maßnahmen zur Minimierung der Faserstaubkonzentration sind daher anzustreben.“

Zur Unterscheidung zwischen den Herstellzeiträumen macht die TRGS außerdem folgende Anmerkungen:

„Seit 1996 werden in Deutschland Mineralwolleprodukte hergestellt, die als unbedenklich gelten. Tätigkeiten mit diesen Produkten erfordern neben den Mindestanforderungen nach TRGS 500 keine zusätzlichen Anforderungen.

Liegen keine Informationen über die Beurteilung der Mineralwolleprodukte vor – dies wird in der Praxis bei Arbeiten an/mit eingebauten Produkten die Regel sein – ist bei der Beurteilung von alter Mineralwolle auszugehen."

Praktische Hinweise für den Umgang mit alter Mineralwolle gibt die Handlungsanleitung der Bau Berufsgenossenschaft „Umgang mit Mineralwolle – Dämmstoffen (Glaswolle, Steinwolle)" [BGBau Mineralfaser 2010].

Ein gesundheitsbasierter Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) für eingestufte Faserstäube aus Mineralwolle-Dämmstoffen liegt derzeit nicht vor.

6.2 Entsorgung

Der Hersteller Rockwool bietet die Rücknahme alter Steinwolle-Dämmung an, für den Fall, dass neue Produkte aus seiner Produktion bestellt werden.

In anderen Fällen ist zu unterscheiden, ob es sich bei der Mineralwolle um Produkte handelt, die bis 1995 hergestellt worden sind. Dann sind sie der Kategorie „Gefährliche Abfälle" zuzuordnen. Da der Umstellungsprozess von 1995 bis 2000 erfolgte, werden von den Abfallwirtschaftsämtern der Kommunen zum Teil auch Dämmstoffe aus diesem Zeitraum als „Gefährlicher Abfall" eingestuft. Wiederum andere Abfallwirtschaftsämter unterscheiden gar nicht zwischen den unterschiedlichen Produktionszeiträumen. Dies ist unter dem Gesichtspunkt, dass der Herstellungszeitraum der zu entsorgenden Produkte häufig nicht prüfbar ist, eine nachvollziehbare Entscheidung.

Alte Mineralwolle hat die Abfallschlüsselnummer (ASN) 170603*, neue Mineralwolle die ASN 170604. Das Sternchen (*) bedeutet, dass es sich um eine Abfallart handelt, die als gefährlich im Sinne des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes eingestuft ist. Da für die Entsorgung landesspezifische Regelungen gelten, ist die ordnungsgemäße Entsorgung bei der örtlich und fachlich zuständigen Behörde zu erfragen.

Mineralwolle kann in Müllverbrennungsanlagen verbrannt werden.

7. Exkurs 2: Rohdichte und Lastannahmen

Die Rohdichte von Mineralwolle wird in den Herstellerangaben nicht mehr deklariert.

Die Angabe ist aber schon aus statischen Gründen erforderlich: Bei immer leichter werdenden Dachkonstruktionen und immer dichteren Mineralwolledämmstoffen kann es inzwischen auch zu einer Unterschätzung der Lasten bei der statischen Berechnung der Dachkonstruktion kommen. Während sich die Tabellenwerte für Lastannahmen in [DIN 1055-1:2002-06] auf eine Rohdichte von 100 kg/m³ beziehen, muss bei den heute üblicherweise verwendeten Mineralwolledämmstoffen unter Abdichtungen von einer mittleren Rohdichte von ca. 150 kg/m³ und mehr ausgegangen werden.

Im Fall einer großflächigen Durchfeuchtung des Dachaufbaus, wenn die Dachdämmplatte einen Wassergehalt von 50, 100 oder gar 150 M.-% aufweist, ist die Belastung deutlich höher als nach DIN 1055 der Statik zugrunde gelegt wurde.

Beispielsweise ist bei einem 14 cm dicken Dämmstoff laut DIN 1055 eine Flächenlast von 0,14 kN/m² anzusetzen.

Bei einer Rohdichte von 150 kg/m³ wäre aber bereits für den trockenen Dämmstoff eine Flächenlast von 0,21 kN/m² anzusetzen, für den im Schadensfall langanhaltend mit z. B. 50 M.-% durchfeuchteten Dämmstoff sogar etwa 0,30 kN/m².

Der Unterschied von rund 0,16 KN/m² beträgt immerhin etwa 18 bis 25 % einer anzusetzenden Schneelast, je nach Schneelastzonen.

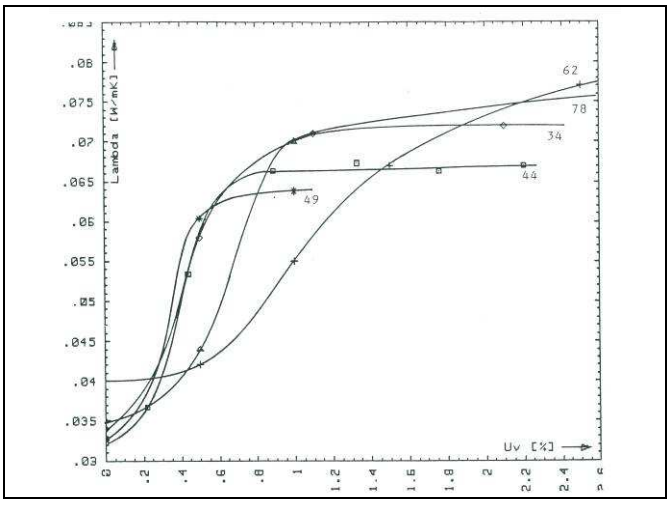
Damit die erhöhten Lasten der Dämmstoffe und ein ggf. eintretender Feuchteeinbruch nicht zu Standsicherheitsproblemen führen, sollten die Lastannahmen entsprechend höher angesetzt werden. Die Hersteller sollten deshalb verpflichtet werden, die Rohdichte ihrer Produkte wieder in ihren Unterlagen offen zu legen.

Auch für die Bestimmung des Feuchtegehalts einer dem Dach entnommenen Probe wäre die Angabe der Rohdichte hilfreich, damit der Wassergehalt auch ohne Trocknung abgeschätzt werden kann.

8. Zustandsveränderungen von Mineralwolle im Flachdach

8.1 Einfluss der Feuchte auf die Wärmeleitfähigkeit

Angaben zur Veränderung der Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt sind bereits von [Achtziger, Cammerer 1984] zusammengestellt worden. Der Bericht dokumentiert auch Messungen zu Mineralwolle-Dämmstoffen. Es wurden Messungen von 5 verschiedenen Dämmstoffen mit Rohdichten von 34 bis 78 kg/m³ dokumentiert. Die Messwerte für die Stoffe mit der höheren Rohdichte (62, 78 kg/m³) beruhten auf Untersuchungen von Jespersen aus dem Jahr 1953. Der Vergleich zwischen den Messergebnissen von Mineralfaserplatten mit Rohdichten von 45 – 50 kg/m³ zwischen hydrophobierten und nicht hydrophobierten Platten zeigte keinen signifikanten Unterschied.



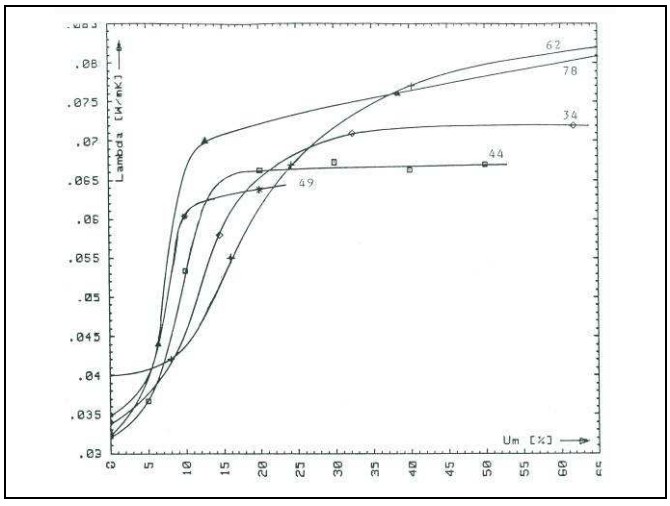


Abbildung 35 und 36: Messwerte der Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom volumenbezogenen (links) und massebezogenen (rechts) Feuchtegehalt, dokumentiert in [Achtziger/Cammerer 1984]

Aus den Messwerten wurden in späteren Veröffentlichungen Zahlenwerte für die Zunahme der Wärmeleitfähigkeit, z. B. in % je 1 % volumenbezogenem Feuchtegehalt, teilweise auf unterschiedliche Feuchtege-

halte bezogen, genannt. Ein Zuschlagswert Z wurde auch für Mineralwolledämmstoffe festgesetzt, mit dessen Hilfe die Änderung der Wärmeleitfähigkeit errechnet werden kann.

Diese Mess- und Rechenwerte können allerdings nicht zur Beurteilung aktueller Dächer herangezogen werden, da die Messmethode in Bezug auf Mineralwolledämmstoffe nicht aussagefähig ist. Außerdem entsprechen die damals untersuchten Dämmstoffe in ihrer Struktur und Dichte nicht den hier untersuchten Dämmstoffen.

Messungen der Wärmeleitfähigkeit bei Mineralwolledämmstoffen, bei denen während der Messung dauernd Feuchte zugeführt wurde, wurden in [Künzel 1988] als „praxisfremd“ kritisiert.

Bei diesen Messungen handele es sich nicht um reine Wärmeleitfähigkeitsmessungen, sondern um kombinierte Wärmeleit-/Diffusionsmessungen. Die scheinbare Zunahme der Wärmeleitfähigkeit von Mineralfaserstoffen mit der Feuchte, die in Wirklichkeit auf Dampfdiffusion zurückzuführen sei, könne nicht dem Dämmstoff „angelastet“ werden. Die eindeutige Konsequenz sei, dass für Mineralfaserdämmstoffe der Feuchtezuschlag „Null“ gelte. Dem Wasserdampftransport müsse durch Maßnahmen begegnet werden, die unabhängig von den Eigenschaften des Dämmstoffs seien, z. B. durch Dampfsperren.

Einer Untersuchung des FIW aus dem Jahr 2001 zufolge [Schreiner 2001] ist die Wärmeleitfähigkeit von durchfeuchteter Mineralwolle nach Rücktrocknung nur wenig vermindert, die Hauptursache für einen verminderten Wärmeschutz besteht in der Dickenverminderung. Für Dämmstoffe im Hochbau wurden in dieser Untersuchung neben Dickenverminderungen allerdings auch Erhöhungen der Dicke beobachtet.

Bei feuchtebelasteten Mineralwolledämmstoffen wurden im Rahmen der Untersuchung von Kerndämmplatten festgestellt, dass im Feuchtebereich von 0 bis 0,1 Volumen-% eine deutliche Veränderung der Wärmeleitfähigkeit auftrat, darüber hinaus aber ein weniger steiler Anstieg der Wärmeleitfähigkeit bei zunehmendem Feuchtegehalt zu verzeichnen war.

Der Aussagewert von Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit wird durch den Sachverhalt beeinträchtigt, dass durch die Verdunstung und Kondensation des Wassers auch Latentwärmeeffekte auftreten, die das Messergebnis verfälschen. Der Wärmestrom erhöht sich temporär durch den Feuchtetransport, wird sich aber wieder vermindern, wenn der Feuchtetransport abgeschlossen ist.

[Künzel 2011] geht davon aus, dass im Flachdach durch beidseitig angeordnete Sperrschichten keine Feuchte aus der Dämmung entweicht. Die Feuchte wandere insbesondere im Sommer von oben nach unten, im Winter konzentriere sie sich überwiegend unter der Dachhaut. Es könne zwar kurzfristig zur Verdoppelung der Wärmeströme kommen. Er schätzt aber, dass es im Mittel nur geringe feuchtebedingte Wärmeverluste und –gewinne gibt.

Zur Zeit existieren keine allgemein anerkannten Methoden, die Wärmeleitfähigkeit von erheblich durchfeuchteten Mineralwolledämmstoffen zu bestimmen. Wie oben beschrieben, ist der durch hohe Feuchtegehalte veränderte Wärmetransport mit den vorhandenen Messverfahren nicht eindeutig zu bestimmen. Es ist zu wünschen, dass aktuelle Forschungen, die zur Zeit auf internationaler Ebene durchgeführt werden – Ende 2010 hat Japan einen Vorstoß zu einem Projekt „Evaluation of measurement uncertainty by moisture transfer“ (Beurteilung von Messunsicherheiten durch Feuchtetransport) gemacht, dem sich Deutschland angeschlossen hat – bald dazu führen werden, dass sich daraus eine zutreffende und handhabbare Berechnungsmöglichkeit entwickeln lässt. Da Latentwärmeeffekte von den Temperaturen im Dämmstoff abhängig sind, müssten auch alle Einflussfaktoren berücksichtigt werden, die diese Temperatur beeinflussen: die Farbe der Dachabdichtung, deren Dicke, die Schutzschichten (z. B. Kies oder extensive Begrü-

nung). Solange diese Berechnungsmöglichkeit nicht vorliegt, können sich Abschätzungen nur auf die pauschalisierenden Messungen beziehen, die in [Achtziger, Cammerer 1984] zusammengestellt wurden. Es ist davon auszugehen, dass die tatsächlichen Wärmeverluste allerdings deutlich geringer sind, als sie sich mit den dort gemessenen Wärmeleitfähigkeiten berechnen lassen.

8.2 Druckbelastbarkeit

In Flachdächern ist einerseits die Druckstabilität des Dämmstoffs wichtig, damit die Dachhaut eine feste Unterlage hat und damit sich der Dämmstoff bei Druckbelastung nicht verformt bzw. nach kurzzeitiger Druckbelastung seine ursprüngliche Form wieder annimmt, damit das definierte Volumen wieder die vorgesehene Dämmwirkung erreicht. Mineralwolledämmschichten bringen aufgrund ihrer Flexibilität Vorteile im Hinblick auf Verarbeitung und die Vermeidung von Lücken an Stoßstellen, sind aber nur begrenzt druckstabil. Da das Dämmstoffgerüst aus sehr vielen kleinen, für sich genommen wenig stabilen Fasern besteht, ist bei einer Zerstörung dieser Einzelfasern oder der Verbindungen untereinander die ursprüngliche Druckbelastbarkeit nicht mehr gegeben. Da bei jeder stärkeren Druckbelastung Fasern und Verbindungen brechen oder sich eine teilweise irreversible Verschiebung und Verdichtung der Faserstruktur ergibt, ist die Anzahl an aufnehmbaren Druckbelastungen bei diesem Dämmstoff begrenzt.

In dem Artikel [Klose 1993] wurde das schon im Jahr 1993 so beschrieben:

„Es ist eine Charakteristik der Steinwolle-Dämmplatten, dass ihre Festigkeit durch wiederholtes Belasten bis an die Grenze der Tragfähigkeit abgebaut wird. Wenn beispielsweise eine Druckspannung von 65 kN/m² bei 10 % Deformation angegeben wird, kann nicht erwartet werden, dass dieser Wert an demselben Prüfkörper wiederholt reproduziert werden kann. Die Überprüfungen im Labor zeigen, dass schon eine 5-malige Wiederholung des Lastspiels mit jeweils 10-%iger Kompression zu Festigkeitsverlusten in der Größenordnung von 30 -40 % führt.“

Für die ausschließliche Belastung durch den Dachdecker hat Klose in seinem Artikel [Klose 1993] folgende Belastungsabschätzung getroffen:

„Bei einem Durchschnittsgewicht von 75 kg und einer Grundfläche des Schuhs von geschätzt 27 cm x 9 cm entsteht bei dem Begehen nur eine spez. Druckspannung von etwa 31 kN/m², unter Anrechnung des Profils der Sicherheitsschuhe von rd. 34 kN/m². Nun trägt der Handwerker auch schon einmal Dachbahnenrollen oder andere Lasten, wodurch sich die spez. Belastung schnell auf 46 kN/m² und mehr steigert.“

Das „nur“ im o. g. Zitat bezog sich auf den Vergleich der Belastung durch Rollen von Transportfahrzeugen, die nach seiner Schätzung in der Größenordnung von rund 140 kN/m² (= 140 kPa) liegen konnten.

Daher war seine Forderung, die Transportgeräte und Auflagerflächen von Materialien, die auf den bereits verlegten Dämmplatten gelagert werden, zu optimieren und die Lasten möglichst großflächig zu verteilen.

Für mechanische Befestigungen sollte die Druckspannung bei 10 % Stauchung nach [Klose 1995] mindestens 60 kPa betragen. Er forderte: *„Die ‚Gebrauchsspannung’ über einen längeren Zeitraum muss > 35 kPa sein.“*

Diese Größe wird auch von den Herstellern noch als Grenzwert genannt, wenn Anfragen im Rahmen von Schadensfällen gestellt werden. Eine Differenzierung nach Art der Abdichtung, der Schutzschichten oder der noch zu erwartenden Nutzung erfolgt dabei aber offenbar nicht. Eine offizielle Stellungnahme war von der Herstellern dazu nicht zu erhalten (s. Herstellerumfrage).

Inwieweit die Druckbelastbarkeit vom Feuchtegehalt abhängt, haben bereits [Achtziger, Hoffmann 1990] untersucht. Sie lagerten Prüfkörper einer Mineralfaserplatte hoher Rohdichte (144 kg/m³) unter Wasser und überprüften anschließend die Druckspannung in verschiedenen Austrocknungsstadien. Bei diesen Versuchen sind, ausgehend von einer anfänglichen Druckspannung von 80 kPa bei 10 % Stauchung, die Werte auf 60 und 40 kPa gesunken.

Vol-%	M.-%	Druckspannung bei 10% Stauchung
39	270	ca. 60 kPa
22	152	ca. 40 kPa
5	35	ca. 40 kPa
0	0	ca. 60 kPa

Abbildung 37: Messwerte der Druckspannung bei 10 % Stauchung nach Unterwasserlagerung von Mineralwolleproben (144 kg/m³) und schrittweiser Trocknung nach [Achtziger/Hoffmann 1990]

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen wurde geschlossen: *„Die Mineralfaserplatten erleiden durch Wasser eine Reduzierung ihrer Druckspannung bei 10% Stauchung. Die nach Austrocknung erreichte Druckspannung liegt aber immer noch deutlich über der Mindestanforderung der Stoffnorm."* Die Stoffnorm forderte damals 40 kPa Druckspannung bei 10% Stauchung.

Wie weiter unten noch darzustellen ist, sind entsprechende Messwerte auch bei neueren Dämmstoffen zu verzeichnen.

8.3 Hygrothermische Belastung der Mineralwolle

Die in der Praxis auftretenden hygrothermischen Bedingungen wurden in Bezug auf den Dämmstoff in Wärmedämmverbundsystemen von [Holm, Künzel 1998] mittels instationären Wärme- und Feuchteberechnungen simuliert. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass hohe Temperaturen (> 30℃) und hohe relative Luftfeuchten (> 95 %) nur sehr kurzfristig gleichzeitig auftreten. Dies sei *„verständlich, da die damit verbundene hohe absolute Feuchte sofort einen starken Diffusionstransport in Bereichen mit geringer absoluter Feuchte in Gang bringt. Dieser Vorgang führt dazu, dass kritische hygrothermische Belastungen in der Mineralwolle aufgrund ihrer hohen Dampfdurchlässigkeit rasch abgebaut werden."* Sie weisen ferner darauf hin, dass *„Beständigkeitstests, die bei extremen Feuchtebedingungen und Temperaturen über 50℃ durchgeführt werden"*, für das Verhalten von Dämmplatten im Einbauzustand nur sehr eingeschränkt aussagekräftig seien, da diese Zustände in der Praxis nicht aufträten. Praxisfremde Randbedingungen sollten bei Beständigkeitstests durch praxiskonforme Bedingungen ersetzt werden.

Entsprechende vergleichende Untersuchungen zwischen Berechnungen und Feldversuchen bei Flachdächern sind in [Zirkelbach, Künzel, Bludau 2007] veröffentlicht worden. Zielsetzung dabei war, neue Testbedingungen für die Dämmstoffe zu entwickeln, die Aussagen zur Alterungsbeständigkeit auf der Grundlage von realistischen Beanspruchungssituationen zulassen. Auch bei diesen Versuchen wurde bestätigt, dass ein Zusammentreffen von hoher Luftfeuchte und hohen Temperaturen im Flachdach nur relativ selten stattfindet, weil der Feuchtetransport mittels Diffusion einen dauerhaften Zustand bei diesen Extremwerten verhindert. Entsprechend der in der Regel stärkeren klimatischen Belastungen von Flachdächern wurde von höheren Temperaturen – maximal 50℃ – und höher en Feuchten - 80 bis 100 % - als bei den Versu-

chen zum Wandaufbau ausgegangen. Allerdings wird ein relativ geringer Durchfeuchtungsgrad (2 kg/m²) zugrunde gelegt. Dazu wurde in den Versuchsaufbau von der Oberseite mit einer Sprühflasche Wasser aufgetragen.

Als vorläufiges Ergebnis der Untersuchungen wurde vorgeschlagen, dass auch die Alterungstests mit realistischeren Wärme- und Feuchtebedingungen durchgeführt werden sollten.

Es wird auch darauf hingewiesen, dass die Feldversuche vermuten lassen, dass das Dämmmaterial – allerdings wohl unter eher trockenen Bedingungen – seine Festigkeit zurückgewinnt. Dieser Effekt sei unter den extremen Prüfbedingungen nicht zu erwarten. Die Zeitdauer der Testverfahren sollte ebenfalls von einem Jahr auf eine Woche reduziert werden, was immer noch die Summe von 100 Stunden mit Extremwerten, die nach den Untersuchungen realistisch zu erwarten sind, überträfe.

8.4 Geruchsbelästigung

Häufig ist bei der Entnahme von durchfeuchteten Proben von Mineralwolledämmung ein unangenehmer, etwas stechender, fischähnlicher Geruch wahrzunehmen. Dabei handelt es sich um Amine, die entstehen, wenn das Bindemittel durch Feuchteangriff hydrolytisch zersetzt wird.

Bei sorgfältiger Ausführung ist die Dämmung zwischen Dampfsperre und Dachabdichtung luftdicht eingeschlossen; wenn aber die Dampfsperrbahn selbst nicht luftdicht oder an den Rändern oder Durchdringungen nicht luftdicht angeschlossen ist, kann der Geruch aus der feuchten Mineralwolle auch in den Innenraum gelangen und zu einer deutlichen Geruchsbelästigung und Nutzungseinschränkung führen.

9. Produktübersicht

Dämmprodukte aus Mineralwolle für die Verwendung in druckbelasteten Warmdächern werden in Deutschland im Wesentlichen nur von drei Hersteller angeboten: Rockwool, Isover und Knauf Insulation.

Einen großen Marktanteil weist der Dämmstoff mit der Fabrikatsbezeichnung „Rockwool Durock“ auf. Die obere Lage dieses Dämmstoffs – ca. 2 cm - ist höher verdichtet und bietet so mehr Widerstand bei der Begehung auf. Aktuell gibt es die Platte nicht nur mit der üblichen Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,040 W/mK, sondern auch mit λ = 0,037 W/mK.

Höher belastbar ist die Dämmplatte Rockwool „Hardrock“.

Die noch stärker druckbelastbare Dachdämmplatte Rockwool „Megarock“ ist vor allem für die Anwendungsfälle, in denen eine höhere Verkehrsbelastung auf der Dachfläche zu erwarten ist, vorgesehen – insbesondere also für Wartungs- und Fluchtwege und Dächer mit aufgestellten Solaranlagen.

Die Dämmplatte ist mit einer lastverteilenden, anorganischen, faserverstärkten Beschichtung versehen.

Bei 120 mm Dämmstoffdicke weist der Hersteller folgende Preise (Stand: 01.06.2011) aus:

„Durock 037“	29,55 €/m²
„Durock 040“	26,40 €/m²
„Hardrock 040“	27,70 €/m²
„Megarock“	45,10 €/m²

10. Theorien zum Festigkeitsverlust

Unabhängig von der Belastung aus Druck oder Feuchtigkeit ist mit einer Abnahme der Festigkeit bereits aufgrund des Abbaus der inneren Spannungen der Fasern – entstanden im Herstellungsprozess durch Abschreckung – zu rechnen.

Bei Druckbelastung brechen Fasern, wenn ihre Elastizitätsgrenze überschritten wurde.

Zum Einfluss der Feuchtigkeit auf die Strukturstabilität von Mineralwolle gibt es mehrere Theorien:

1. Verringerung der Klebewirkung zwischen Harz und Faser durch Wasser(-dampf)

2. Hydrolyse der Fasern, Bruch und Auflösung nach Säureangriff

3. Einzelfasern und Faserbruchstücke können im „schwimmenden“ Zustand nicht zur Strukturstabilität beitragen, weil sie sich nicht verkeilen und nicht aufrecht stehend belastet werden können.

Bisher ist der Einfluss von Wasser und Feuchtigkeit auf die Struktur der Mineralwolle nicht zugänglich erforscht. Im Allgemeinen wird angenommen, dass Feuchtigkeit auf die Kunstharz-Bindemittel in der Mineralwolle einen zerstörenden Einfluss hat und daher eine irreversible Veränderung der Struktur der Wolle unvermeidbar ist.

Präziser beschreibt [Klose 1995], dass die Verbindung zwischen den Fasern und den Harzen, denen Haftvermittler zugesetzt werden, “empfindlich auf die Attacken von Wasser (-dampf)“ reagiert.

Die Erfahrung beim Ausbau erheblich durchnässter Proben im Flachdach zeigt allerdings, dass zumindest die druckfesten Steinwolle-Produkte nicht vollständig zerfallen. Das bedeutet, dass entweder die Verbindungen überwiegend beständig sind oder die Druckbelastbarkeit der Mineralwolle nicht in erster Linie von der Verbindung zwischen Kleber und Faser abhängig ist.

Die Fasern selbst sind hydrolytisch wenig beständig, d. h., sie können einem Korrosionsprozess unterliegen und zerfallen. Allerdings kann dieser Korrosionsprozess nicht stattfinden, wenn die Fasern hydrophobiert sind, so dass die Oberfläche gar nicht mit Wasser in Berührung kommt. Feuchtigkeit könnte hier nur schädigend wirken, wenn ein bedeutender Anteil der Fasern beim Herstellungsprozess nicht von den Imprägnierölen vollständig ummantelt wird oder die Hydrophobierung selbst altert und zerfällt. Bei qualitativ hochwertigen Dämmstoffen dürfte daher die Hydrolyse der Fasern – zumindest bei relativ neu eingebauten Dämmstoffen - keine wesentliche Rolle spielen.

Fraglich ist auch, welcher Aggregatzustand des Wassers am ehesten Schäden verursacht – Wasser in dampfförmiger, flüssiger, gefrorener Form oder Tauwasser.

Wenn die Einwirkungsmechanismen von Feuchte auf die Struktur von Mineralwolle bekannt wäre, ließen sich relativ klare Vorhersagen zur Lebensdauer von durchfeuchteter Mineralwolle treffen. Entsprechende Untersuchungen gibt es aber nicht oder sie sind nicht veröffentlicht worden.

Hinzu kommt, dass auch der Vorgang des Festigkeitsverlustes durch mechanische Beanspruchung nicht vollständig geklärt ist. Bei der Druckbelastung können Fasern brechen, die Verbindungen zwischen Harzen und Fasern abreißen oder die elastischen Strukturen deformiert werden.

Als gesichert kann gelten, dass die Zerstörung der Struktur mit der Anzahl der mechanischen Belastungen proportional ist, so dass jede (Über-) Beanspruchung einen Teil der Struktur irreversibel schädigt. Aus diesem Grunde ist bei bereits auf Druckbelastbarkeit geprüften Proben bei einer Wiederholungsprüfung mit einer Verschlechterung der Werte zu rechnen.

Zur Prognose der weiteren Funktionstauglichkeit von eingebauten, aber geschädigten Mineralwolleplatten muss daher zunächst beurteilt werden, welcher Feuchtebelastung und welcher mechanischen Belastung die Mineralwolleplatten in Zukunft ausgesetzt sein werden.

Sobald insbesondere über die Langzeitwirkungen der Feuchtigkeit, die im Schichtenpaket eingeschlossen ist, neue Erkenntnisse vorliegen, ist auch eine bessere Abschätzung der Rest-Lebensdauer möglich.

11. Sachverständigenumfrage

Auf welcher Basis die Beurteilungen von Sachverständigen erfolgen, denen die Aufgabe gestellt wurde, die o. a. Prognose abzugeben und ob es Dachflächen gibt, auf denen langjährig durchfeuchtete Dämmplatten untersucht werden können, waren die Fragen, denen in der im Folgenden beschriebenen Umfrage nachgegangen wurde.

11.1 Einleitung

Praxiserfahrungen mit durchfeuchteten Mineralwolledämmstoffen wurden auf Basis einer Befragung von insgesamt 1978 öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen zusammengestellt. Die Befragung richtete sich an 1114 Sachverständige für Schäden an Gebäuden, 485 Sachverständige für das Dachdeckerhandwerk und 410 Sachverständige für Bauwerksabdichtungen (Einige Sachverständige sind für mehrere Sachgebiete bestellt.). Knapp 10 % (185) der angeschriebenen Personen haben ausführlich auf den ihnen zugesandten Fragebogen [siehe Anlage *Fragebogen an Sachverständige*] geantwortet, teilweise mehrere Schadensfälle beschrieben und waren überwiegend damit einverstanden, auch telefonisch zusätzliche Fragen zu beantworten.

Insgesamt konnten Informationen von 566 Objekten mit durchfeuchteter Mineralwolle ausgewertet werden. Dabei wurden ausschließlich Schadensfälle der vergangenen 10 Jahre berücksichtigt.

In den Fragebögen wurde vorrangig der Frage nachgegangen, wie mit dem durchfeuchteten Dämmstoff umgegangen wurde (Austausch, Beibehaltung nach Trocknung, Beibehaltung nur in Teilbereichen oder grundsätzliches Liegenlassen des Dämmstoffs) und von welchen Kriterien diese Entscheidung abhängig gemacht wurde. Des Weiteren sind Angaben zu den Untersuchungsmethoden zur Feststellung des Durchfeuchtungsgrades erhoben worden.

Ebenfalls von Interesse war die Frage, welche Langzeiterfahrungen mit sanierten Dachkonstruktionen, bei denen durchfeuchtete Mineralwolledämmstoffe im Querschnitt geblieben waren, gemacht wurden.

11.2 Entscheidungskriterien für den Ausbau von Dämmstoffen

Die Mehrzahl der befragten Sachverständigen gab an, dass sie grundsätzlich empfehlen, feuchte Mineralwolle auszutauschen. Es wird aber in der Regel keine klare Definition des Zustands „feuchte Mineralwolle“ gegeben (siehe auch Absatz 11.3 „Untersuchungsmethoden zur Feststellung des Feuchtegehaltes“).

Werden die Sanierungsempfehlungen der einzelnen Sachverständigen in Kategorien unterteilt, so ergibt sich im Mittel folgende Verteilung:

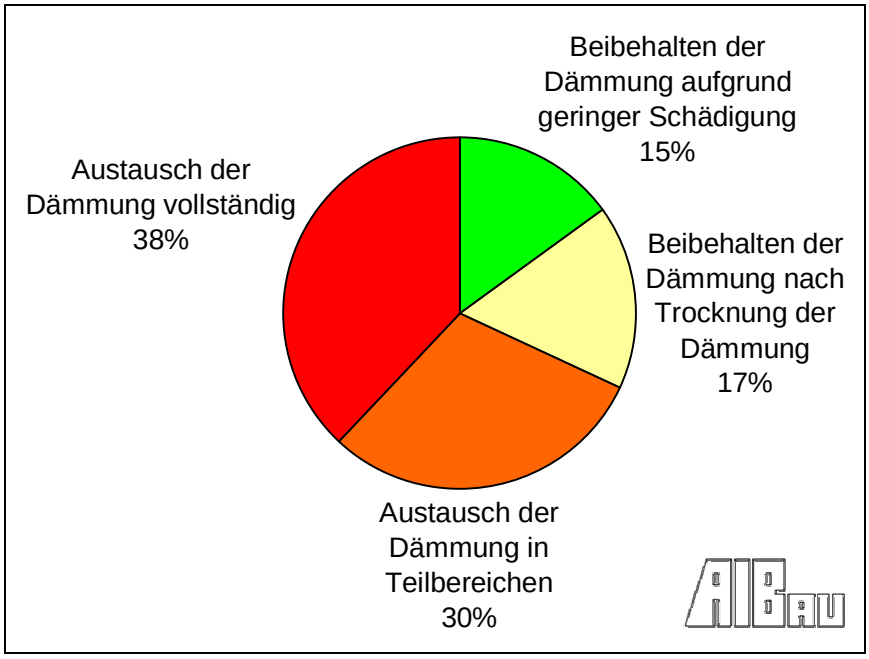


Abbildung 38: Verteilung der Empfehlungen zum Austausch oder Beibehalten der Mineralwolledämmung

Aus den Antworten ergibt sich auch, dass die Sachverständigen durchaus differenziert auf den jeweiligen Schadensfall reagieren und nicht grundsätzlich nur eine Lösung empfehlen. In der folgenden Grafik ist zusammenfassend dargestellt, wie sich die Empfehlungen des einzelnen Sachverständigen auf die von ihnen bearbeiteten Fälle verteilen:

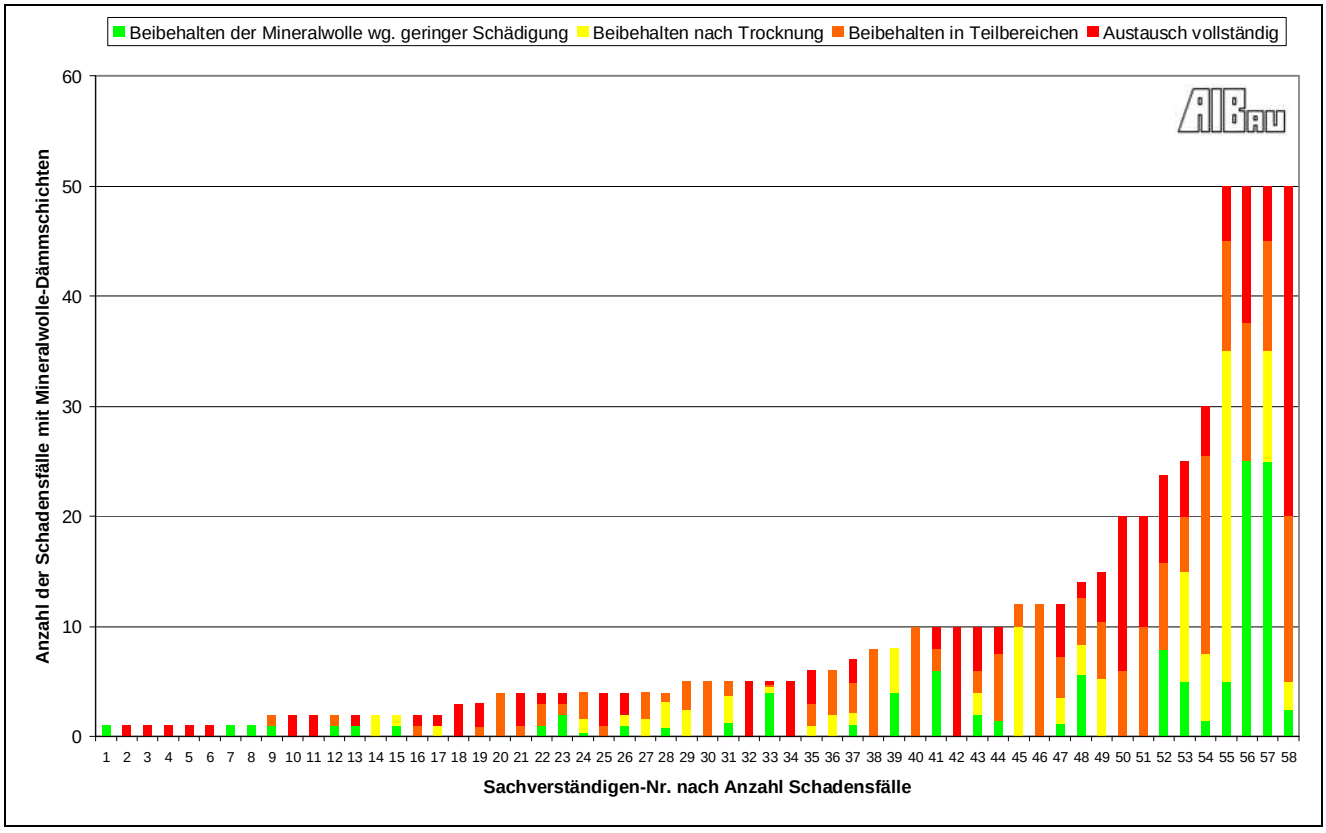


Abbildung 39: Differenzierung der Empfehlungen bei den einzelnen Sachverständigen

Als Gründe für einen notwendigen Austausch wurden folgende Aspekte genannt:
- grundsätzlich Verringerung der Dämmstoffdicke auch ohne Druckbelastung bei feuchter Dämmung
- vertragsrechtliche Überlegungen (u. a. vorhandene Gewährleistungsansprüche)
- Versagen des Klebers durch Feuchtigkeitseinfluss
- Aufsaugen zusätzlicher Feuchtigkeit durch den bereits feuchten Dämmstoff, vergleichbar mit einem Schwamm
- durchfeuchtete Mineralwolle ist vor allem bei Unterkonstruktionen aus Beton problematisch, da eine Entwässerung z. B. über Sicken (Trapezblechkonstruktionen) nicht möglich ist
- Gefahr der Schimmelpilzbildung

Vollständig ausgetauscht werden sollte der Dämmstoff nach Meinung einiger Sachverständiger auch, wenn abzusehen ist, dass zukünftig eine höhere Druckbelastung der Dachfläche zu erwarten ist, z. B. durch die Montage einer Fotovoltaikanlage.

Ein Konsens herrscht bei fast allen Befragten hinsichtlich des Umgangs mit stark durchfeuchteter Mineralwolle. Als stark durchfeuchtet gilt Mineralwolle mit mehr als 20 - 30 Masse-% Feuchtegehalt oder mit stehendem Wasser in der Dämmschicht. In diesen Situationen sollte die Mineralwolle grundsätzlich erneuert werden.

Einige Sachverständige betonten, die Entscheidung für einen Austausch auch von der Höhe der ggf. anfallenden Sanierungskosten (z. B. hoher Aufwand bei vorhandener Dachbegrünung) abhängig zu machen. Sofern mit vertretbarem Aufwand die Dämmung ausgetauscht werden kann, wird diese Maßnahme bevorzugt durchgeführt. Teilweise führen weitere Sachverhalte wie z. B. eine starke Verschmutzung des Dämmstoffs oder z. B. eine fehlerhafte Dampfsperre zu der Entscheidung, den gesamten Dachaufbau zu erneuern und dabei die Dämmung auszutauschen.

Ein wesentliches Entscheidungskriterium für die Beibehaltung des Dämmstoffs ist fast durchgängig der vorhandene Durchfeuchtungsgrad. Sofern der Feuchtigkeitsgehalt nur gering über der „Ausgleichsfeuchte“ (ca. 1,5 M.-%) liegt, sind viele Befragte der Meinung, dass der Dämmstoff beibehalten werden kann.

Ein Sachverständiger hat in Rücksprache mit Kollegen für sich sogar einen Grenzwert von 5 Vol-% (entspricht z. B. 33 Masse-% bei 150 kg/m³ Rohdichte) festgelegt. Er akzeptiert damit einen weitaus höheren Feuchtegehalt als die Mehrzahl seiner Kollegen. Bei einem Objekt konnte er nach 5-jähriger Liegezeit erneut Messungen durchführen. Der Feuchtegehalt hatte in diesem Zeitrahmen nur gering bzw. messtechnisch nicht nachweisbar abgenommen.

Drei Sachverständige gaben an, dass auch eine Sanierung unter Beibehaltung des leicht durchfeuchteten Dämmstoffs nicht zum gewünschten Erfolg führte.

11.3 Untersuchungsmethoden zur Feststellung des Feuchtegehaltes

Die Ermittlung der Feuchtegehalte der Dämmstoffe erfolgte in rund 65 % der Fälle durch einfaches Fühlen mit der Hand. Lediglich 12 % der Sachverständigen gaben an, dass sie einfache Messungen über den Vergleich zwischen Gewicht der Probe und der Rohdichte des Ausgangsdämmstoffs durchgeführt hätten.

35 % der Sachverständigen bestimmten den Feuchtegehalt nach der Darrmethode (Proben wiegen, trocknen bis zur Gewichtskonstanz, wiegen (Doppelnennungen waren möglich)). Teilweise wurden auch verschiedene Messinstrumente zur Bestimmung des Feuchtegehaltes verwendet bzw. für qualitative Vergleiche mit trockeneren Bereichen im Dach eingesetzt.

Von den befragten Sachverständigen setzten rund 63 % als Richtwert für die Beurteilung der Schädigung die Ausgleichsfeuchte nach DIN 4108-4:1998-03 (1,5 Masse-%.) an. Sechs dieser angesprochenen Sachverständigen verweisen auf weitere Quellen der Literatur oder auf Werksangaben oder sie geben Toleranzbereiche an.

Ein Sachverständiger ermittelt die Feuchteverteilung im Dämmstoff durch eine Art „Abklatschversuch“ mit Löschpapier.

11.4 Zustand des vorgefundenen feuchten Dämmstoffs

Durch den Einfluss von Feuchtigkeit wurden folgende Veränderungen an der Mineralwolle beobachtet:

Einige Sachverständige beschreiben, dass sich der Dämmstoff in der Kontaktzone zur Dachhaut auflöst (der Zustand sei mit Blätterteig vergleichbar) bzw. die Fasern brechen. Ein Sachverständiger spricht von so genannter „Faserkorrosion“.

Bei starken Durchfeuchtungserscheinungen verklumpte das Material und fiel irreversibel in sich zusammen.

Des Weiteren wird teilweise angemerkt, dass das Bindemittel seine Funktionsfähigkeit verliert.

Neben der mechanischen Schädigung und dem hohen Feuchtegehalt wird von den Sachverständigen ein weiteres Problem, nämlich starke Geruchsbelästigung beschrieben. In manchen Fällen mache sich ein deutlicher Fisch- oder Fäkaliengeruch bemerkbar. Dieser sei vermutlich auf die Abspaltung von Aminen, die als Katalysator dem Harz des Bindemittels zugesetzt wurden, zurückzuführen. Dies sei für die Nutzer besonders dann ein Problem, wenn die Luftdichtheitsschicht nicht funktioniere.

11.5 Auswirkungen bei wiederholt mechanischer Belastung

Einige Teilnehmer dieser Umfrage sind der Ansicht, dass in erster Linie durch mechanische Beanspruchung, z. B. durch regelmäßige Begehung zu Wartungszwecken bzw. in Folge von Reparaturarbeiten, der Dämmstoff seine Festigkeitseigenschaften verliert. Anlass für diese Ansicht ist der Umstand, dass die geschädigten Dämmstoffe in Bereichen der Dachfläche liegen, die öfter begangen werden müssen (im Bereich von Lichtbändern, im Bereich der Zugänge auf die Dachfläche, Wartungsbereiche bei Solaranlagen).

Bestätigt wird diese Theorie zum Schädigungsmechanismus durch die Beobachtung eines Sachverständigen, dass der Feuchtegehalt in dem von ihm untersuchten Dach zwar sehr homogen verteilt war, die Druckbelastbarkeiten aber teilweise sehr unterschiedlich ausfielen. Ein anderer Sachverständiger hat

festgestellt, dass die verminderte Druckbelastbarkeit auch Bereiche betraf, in denen der Dämmstoff trocken war.

Oft wird angemerkt, dass die Druckbelastbarkeit des Materials bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 3 - 4 Masse-%, nicht beeinträchtigt ist.

11.6 Schädigung der mechanischen Befestigung der Dachhaut.

Eine Verminderung der Druckbelastbarkeit der Mineralwolleplatten könne vor allem bei mechanischer Befestigung der Dachdichtungsbahnen zu Problemen führen, da der erforderliche Anpressdruck nicht mehr gewährleistet sei. Größere Windsogkräfte könnten zum „Flattern“ der Bahnen führen und ggf. die gesamte Dachkonstruktion schädigen.

11.7 Trocknung von Mineralwolle

Die technische Trocknung ist für einen Großteil der Befragten keine Alternative zum Austausch der Dämmung. Dies wurde immer wieder damit begründet, dass die Trocknungsmaßnahmen nicht Erfolg versprechend seien. Fünfzehn Sachverständige beschrieben verschiedene Fälle, in denen durchfeuchtete Mineralwolledämmung im Flachdach technisch getrocknet wurde. Zu vier Fällen wurde die Trocknung als „erfolgreich“ bezeichnet. In sieben Fällen führte die Trocknung nicht zum Erfolg und in weiteren sieben Situationen konnte das Ergebnis der Trocknung nicht überprüft werden bzw. es wurde nicht bekannt gegeben (Doppelnennungen waren möglich).

Als weiterer Aspekt wurde aufgeführt, dass bei stark durchfeuchteter Mineralwolle i. d. R. die Struktur des Materials so stark geschädigt sei, dass allein deswegen das Material ausgetauscht werden müsse und daher eine Trocknung nicht zweckmäßig sei.

Allerdings gaben zwei Sachverständige an, dass seitens der Dämmstoffhersteller keine Gewährleistung für den getrockneten Dämmstoff übernommen würde und dass deshalb von Trocknungsmaßnahmen Abstand genommen worden sei.

Zwei Sachverständige haben auch gute Erfahrung mit dem Setzen von Dachentlüftern gemacht. Sie gaben an, dass nach 1 - 2 guten Sommerperioden der Dämmstoff allein durch diese Maßnahme ausgetrocknet sei.

11.8 Zusammenfassung der Umfrageergebnisse

Die Gespräche mit den Sachverständigen zeigten, dass die Entscheidung für oder gegen den Austausch der Dämmung in der Regel sehr differenziert und jeweils bezogen auf die Randbedingungen des Einzelfalls erfolgten. Die Auswertung der Umfrage ergab keine Hinweise auf eine einheitliche Vorgehensweise beim Umgang mit durchfeuchteter Mineralwolle.

Ein Austausch der Dämmung wurde von den Sachverständigen insbesondere dann empfohlen, wenn zusätzlich zum Durchfeuchtungsgrad weitere Gründe dafür sprachen (z. B. bereits vorhandene Schädigung des Untergrundes, Alterungszustand der Gesamtkonstruktion, etc.).

Bei starker Durchfeuchtung mit stehendem Wasser in der Konstruktion und bei bereits optisch sichtbarer Schädigung des Dämmstoffs wird der Austausch der Dämmung allgemein befürwortet.

Insbesondere im Fall bestehender Gewährleistungsansprüche halten die Sachverständigen häufig den vollständigen Austausch von Dämmstoffen mit höheren Feuchtegehalten für die einzige Möglichkeit, den geschuldeten Zustand herzustellen. Diese Ansicht wird gestützt von den Empfehlungen der Dämmstoffhersteller, die keine Grenzwerte für Feuchtegehalte ihrer Produkte festlegen.

Als problematisch wird wiederholte Druckbelastung der Fläche nahezu unabhängig vom Feuchtigkeitsgehalt der Dämmung beschrieben. Bereiche, die regelmäßig begangen werden, weisen oft eine Beeinträchtigung der Druckbelastbarkeit auf.

Trocknungsmaßnahmen werden überwiegend nicht als geeignete Sanierungsmethode angesehen.

(Höhere Feuchtegehalte werden möglicherweise auch deshalb häufig und gerne als Begründung für den Austausch der Dämmplatten herangezogen, weil ein Bewertungskriterium für die Druckbelastbarkeit eines Dämmstoffs im Dach fehlt!)

12. Umfrage unter Trocknungsfirmen

12.1 Umfrage und Ergebnisse

Neben den Erfahrungen der Sachverständigen und Hersteller sollten auch die Erfahrungen der Unternehmen einbezogen werden, die Gebäudetrocknungen bei Flachdächern, aber auch bei Dämmungen unter Estrichen durchführen.

Einer Auswahl an Trocknungsfirmen wurde nach telefonischer Kontaktaufnahme ein zweiteiliger Erhebungsbogen übermittelt mit der Bitte um Weiterleitung an die verschiedenen Filialen und Vertriebspartner (s. Anlage: Erhebungsbogen an Trocknungsfirmen). Einerseits sollten die Erhebungsbögen ausgefüllt, andererseits aber auch potenzielle Untersuchungsobjekte benannt werden, die entweder bereits in zurückliegender Zeit getrocknet wurden oder in naher Zukunft für Trocknungsmaßnahmen vorgesehen waren.

Insgesamt wurden nur 10 Fragebögen ausgefüllt zurückgesendet. Lediglich acht Fragebögen enthielten Angaben zu Schadensfällen. In letzteren sind die Erfahrungen, die in den Filialen gemacht wurden, aber bereits berücksichtigt.

Insgesamt wurden von den befragten Firmen in den letzten 10 Jahren

- ca. 215 Schadensfälle an Flachdächern
- ca. 12.300 Schadensfälle an Estrichen

mit durchfeuchteter Mineralwolledämmung bearbeitet. Zwei der Firmen waren nicht mit derartigen Schadensfällen befasst. Potenzielle Untersuchungsobjekte wurden nicht benannt.

Erfahrungen mit Estrichdämmung

Bei der Estrichtrocknung im Unterdruckverfahren wird die Luft über Löcher im Estrich (alle 3 bis 5 m²) abgesaugt, sie strömt über die offenen Randfugen nach. Die Trocknungstemperaturen liegen mit weniger als 30 ℃ bis 35 ℃ nicht viel höher als die Raumt emperatur. Das Unterdruckverfahren, bei dem auch Filter eingesetzt werden, verhindert eine Faserfreisetzung in die Raumluft.

Die erforderliche Trocknung kann auch mit Überdruck durchgeführt werden. In diesen Fällen sind aber die Randfugen abzudichten, damit die Fasern der Mineralwolle nicht freigesetzt werden.

Bei stehendem Wasser in der Dämmstoffschicht bietet es sich an, das Wasser vorab abzusaugen, z. B. im Bereich eines Randstreifens.

Bei der Trocknung der Mineralwolle unter dem Estrich wurden folgende Erfahrungen gesammelt: Im Mittel in 89 % der Fälle war die Trocknung erfolgreich und führte zu einer vollständigen Wiederherstellung der Gebrauchstauglichkeit. Lediglich in 11 % der Fälle führte eine Trocknung nicht zu dem gewünschten Erfolg. Als Ursachen für den Misserfolg werden genannt:

- Absacken des Estrichs nach Trocknung, Zusammenfall der Dämmung
- Zerfall der Mineralwolle durch lange Einwirkung der Wasser- und Druckbelastung. Derartig geschädigte Mineralwolle lässt sich nicht wieder regenerieren. Eine Trocknungsfirma verzichtet in derartigen Fällen generell auf eine Trocknung.
- Bereits sehr alte Wasserschäden, ggf. mit Schimmelpilzbildung
- Falsche Einschätzung der Situation

Die Trocknung von Dämmstoffen unter schwimmenden Estrichen wurde in den 80er Jahren von einem der befragten Unternehmen am Markt eingeführt. In einem Großversuch wurde der schwimmende Estrich (mit Mineralwolledämmung) eines Versuchsraumes bis Oberkante Estrich geflutet und anschließend innerhalb von 15 Tagen mit Hilfe eingeblasener Trockenluft wieder getrocknet. Die abschließende Prüfung des Feuchtigkeitsgehaltes der Dämmung sowie der Luft- und Trittschalldämmwerte der Konstruktion belegen die Wiederherstellung der Eigenschaftswerte nach der durchgeführten Trocknung und damit die Eignung des Verfahrens.

Auch nach den Angaben anderer Befragter lässt sich ein „frischer“ Schaden gut trocknen und die Eignung als Trittschalldämmschicht kann wieder hergestellt werden. In den Fällen, in denen die Dämmung allerdings schon durch Schimmelpilzbildung geschädigt oder bereits „matschig“ und zusammengefallen ist, ist eine Trocknung nicht Erfolg versprechend.

Absackungen des Estrichs können einerseits durch Wassereinwirkung bereits vor den Trocknungsmaßnahmen auftreten, andererseits sich aber auch erst nach der Trocknung einstellen.

Erfahrungen mit Flachdachdämmungen

Die Flachdachtrocknung erfolgt im kombinierten Saug-/Druckverfahren, bei dem aufgrund der verformungsfähigen Dachhaut mit einem Unterdruck gearbeitet wird. Die Außenlufttemperaturen sollten nicht unter 6 ℃ bis 8 ℃ liegen. In Feldern mit Größen von 20 m² bi s 50 m² werden Löcher in der Dachhaut angelegt, in die vorgetrocknete Luft eingeblasen wird. Im Luftstrom der zugeführten wie auch der abgesaugten Luft werden sowohl die Temperatur als auch die relative Luftfeuchtigkeit überwacht. Der Vergleich der Werte lässt Aussagen über den Trocknungserfolg zu. Die Trocknungszeiten betragen im Durchschnitt 3 bis 4 Wochen. Stehendes Wasser in der Dämmschicht wird vorher abgepumpt.

Die Trocknung von Mineralwolle in Flachdächern konnte im Mittel in 98 % der Fälle erfolgreich abgeschlossen werden, lediglich in 2 % der Fälle war die Trocknung nicht erfolgreich. Als Ursache für einen Misserfolg werden eine starke Durchfeuchtung bzw. ein Zusammenfallen der Dämmung genannt. In diesen Fällen wird in der Regel keine Trocknung durchgeführt.

Solange die Mineralwolle feucht und fest ist, wird eine Trocknung für möglich gehalten. Hat die Dämmung allerdings einen solch hohen Feuchtegehalt, dass sie sich auswringen lässt oder einzelne Fasern aus der Mineralwolle herausziehbar sind, ist eine Trocknung nicht Erfolg versprechend.

Nach den Angaben eines anderen Befragten funktioniere die Trocknung in der Regel problemlos und ohne die Dämmung beeinträchtigende Schäden. Allerdings wollten die Bauherren anstelle einer Trocknung meist lieber einen neuen Dämmstoff eingebaut bekommen. Von einer Trocknung wird in den Fällen abgeraten, in denen die Dämmstoffoberfläche marode ist oder das Wasser bereits lange in der Dämmschicht steht. Zur Beurteilung wird in der Regel ein Sachverständiger hinzugezogen.

Ermittlung des Feuchtegehaltes der Dämmung

In 5 von 8 Unternehmen bzw. Unternehmensverbünden wird der Feuchtegehalt des Dämmstoffs haptisch-sensorisch, in einem Unternehmen durch Darren bestimmt. Darüber hinaus arbeiten die Firmen mit unterschiedlichen Messgeräten, um die Feuchtegehalte der Dämmstoffe bzw. den Trocknungserfolg dokumentieren zu können. Dabei werden einerseits elektronische Feuchtigkeitsmessgeräte zur Bestimmung des Feuchtegehalts der Dämmstoffe, andererseits aber auch Geräte verwendet, die die relative Luftfeuchte im Luftstrom (vor und nach Trocknung) oder im Bohrloch (im Vergleich zur Raumluft) messen. Der Vergleich der so ermittelten relativen Luftfeuchten gibt einen Anhaltswert für den Erfolg der Trocknung.

In den meisten Unternehmen (5 von 8) wird die Ausgleichsfeuchte nach DIN 4108-4:1998-03 als Richtwert für die Beurteilung des Trocknungserfolgs angesetzt, in zwei Unternehmen dient der mit dem elektronischen Feuchtemessgerät ermittelte Feuchtegehalt als Beurteilungsgrundlage für den Trocknungserfolg. Von einem Unternehmer werden diesbezüglich keine Angaben gemacht.

12.2 Interpretation der Ergebnisse

Die weitaus meisten Erfahrungen haben die Trocknungsfirmen mit der Trocknung durchfeuchteter Mineralwolledämmschichten unter Estrichen gemacht. „Frische“ Schäden lassen sich in der Regel gut instand setzen. Bei älteren Wasserschäden mit hohem Feuchtegehalt, ggf. unter zusätzlicher Druckbeanspruchung und bei einsetzendem Zerfall der Mineralwolle oder Schädigung durch Schimmelpilze wird auf eine Trocknung verzichtet. Gleichartige Erfahrungen wurden auch bei der Trocknung von Mineralwolledämmschichten in Flachdächern gemacht.

Diesen Erfahrungen der Trocknungsfirmen stehen die Erfahrungen der Sachverständigen gegenüber (siehe Abschnitt 11.7), nach denen eine technische Trocknung in jeweils ca. 40 % der Fälle nicht erfolgreich bzw. das Ergebnis der Trocknung nicht überprüfbar war.

Ursache dieser unterschiedlichen Erfahrungen kann sein, dass die Sachverständigen eher zu älteren Schäden hinzugezogen werden, bei denen eine Trocknung vielfach nicht (mehr) Erfolg versprechend ist, oder aber, dass der Trocknungserfolg nicht ausreichend zuverlässig dokumentiert wird.

Von den Trocknungsfirmen wird der Trocknungserfolg teilweise durch Bestimmung der relativen Luftfeuchte im Luftstrom (vor und nach Trocknung) gemessen oder z. T. durch Bestimmung des Feuchtegehalts

mittels elektronischer Feuchtigkeitsmessgeräte. Als Richtwert wird häufig die Ausgleichsfeuchte nach DIN 4108-4:1998-03 angenommen.

Es ist davon auszugehen, dass der Feuchtegehalt an Stellen überprüft wird, die im Bereich der für die Trocknung erforderlichen Öffnungen liegen und damit dem Luftstrom unmittelbar ausgesetzt waren. Inwieweit die so ermittelten Kontrollmessungen für die gesamte Fläche repräsentativ sind, ist bislang nicht nachvollziehbar untersucht worden.

Keines der befragten Unternehmen war bereit, Referenzobjekte zur weiteren Untersuchung zu benennen.

13. Umfrage unter Herstellern

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts war vorgesehen, die Hersteller zu ihren Erfahrungen im Umgang mit durchfeuchteten Dämmschichten zu befragen. Leider waren die Hersteller nicht bereit, einen entsprechenden Fragebogen zu beantworten.

Es kann daher nur auf die vorliegenden schriftlichen Empfehlungen der Hersteller in deren Informationsbroschüren zurückgegriffen werden.

So schreibt zum Beispiel der Hersteller „Rockwool“ in seiner Broschüre [Rockwool 2011]:

„Ein trockener Dachaufbau kann bei der Sanierung häufig zumindest teilweise noch mitgenutzt werden. Ist der Dachaufbau jedoch sichtbar durchfeuchtet oder steht großflächig Wasser auf der Dampfsperre, zeigt sich eine Komplettsanierung meist als die bessere Lösung.

In vielen Fällen findet man Dachaufbauten mit geringfügigem Wassereintritt durch kleinste Undichtigkeiten vor. Die Dämmung fühlt sich dann noch nicht durchfeuchtet an, hat aber sichtbar Wasserkontakt gehabt bzw. nur die Oberfläche der Dämmung ist leicht feucht. In diesen Fällen kann nur eine Probenentnahme mit anschließender Laboranalyse Aufschluss über den Feuchtegehalt des Dämmstoffes geben. Wichtig ist dabei der luftdichte Transport der Proben, z. B. in PE-Säcken, sowie eine ausreichende Probengröße und -anzahl. Um die Gebrauchstauglichkeit von Rockwool Dachdämmplatten nicht einzuschränken, sollte langfristig die natürliche Ausgleichsfeuchte nicht überschritten werden.“

Konkret heißt das, dass Dämmstoffe mit einem Feuchtegehalt von mehr als 1,5 Masse-% ausgetauscht werden sollten.

Mit dieser Empfehlung müssten in vielen Fällen Dämmschichten und Abdichtungen erneuert werden, obwohl die Dämmstoffe noch einen hohen Gebrauchswert aufweisen und die Funktionstüchtigkeit des Dachaufbaus nur unwesentlich eingeschränkt ist.

Die Hersteller geben keine Begründung an, warum die Gebrauchstauglichkeit ihrer Dämmstoffe bei Überschreitung von 1,5 Masse-% Feuchtigkeit nicht mehr gegeben ist. Im Gegensatz zu Dämmstoffen aus Schaumkunststoffen, bei denen auch bei wesentlich höheren Feuchtegehalten nur geringfügige Änderungen ihrer wesentlichen Eigenschaften nachgewiesen wurden, müssen Dämmstoffe aus Mineralwolle daher als wesentlich weniger fehlertolerant gelten.

14. Materialprobenvergleich

Zur Frage, ob der Zustand durchfeuchteter Mineralwolleproben ggf. von der speziellen Werkstoffzusammensetzung abhängt, wurden verschiedene Proben auf ihre Zusammensetzung hin überprüft.

Dazu wurden 6 Proben aus drei unterschiedlichen Objekten ausgewählt (s. Abbildung 40). Der Hersteller der Mineralwolle war nur in einem Fall bekannt. Die Dämmstoffe wurden von der Deutschen Rockwool chemisch mittels Röntgenfluoreszenz-Verfahren analysiert und auf eventuelle, ungewöhnliche Bestandteile hin gemessen.

Der Vergleich der Proben zeigte keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen Durchfeuchtungsgrad und Zustandsänderungen:

Zustand	Fabrikat	Ort	Feuchtegehalt	Liegezeit	Lage	Abdichtung	Druckbelastung	
weich	A-	F	152 M-%	6 Jahre	obere Lage	EVA	Begehung durch Folge-Gewerke	
weich	A	H	49 M-%	1-2 Jahre	obere Lage	Bitumen	Begehung durch Folge-Gewerke	
weich	A-	S	51 M-%	6 Jahre	voller Querschnitt	PIB	Begehung durch Folge-Gewerke	
weich-stabil	B	H	58 M-%	1-2 Jahre	untere Lage	Bitumen	Begehung durch Folge-Gewerke	
stabil	B	H	158 M-%	1-2 Jahre	Lage unbek.	Bitumen	Begehung durch Folge-Gewerke	
stabil	A	S	152 M-%	4 Jahre	voller Querschnitt	PIB	Begehung durch Folge-Gewerke	

Abbildung 40: Vergleichende Zusammenstellung 6 verschiedener, ehemals deutlich durchnässter Proben

Während bei einigen entnommenen Proben eine deutliche Änderung der Struktur zu erkennen war, sind andere nicht in ihrer Konsistenz geschädigt, obwohl sie einen extrem hohen Feuchtegehalt aufwiesen. Die Proben wurden keiner genormten Druckbelastbarkeitsprüfung unterzogen, sondern wurden aufgrund ihrer Beschaffenheit als „weich“, „weich-stabil“ oder „stabil“ klassifiziert. Die „weichen“ Dämmstoffe konnten sich sehr leicht zusammendrücken lassen, bei einem Teil des Dämmstoffs war die Dichte deutlich niedriger als beim Rest des Dämmstoffs, und er war insgesamt nur noch wenig dimensionsstabil. Bei als „stabil“ bezeichneten Dämmstoffen war die Struktur gegenüber einem fabrikneuen Dämmstoff nur wenig verändert, er konnte nur mit relativ großem Kraftaufwand zusammengedrückt werden und war insgesamt dimensionsstabil. Der als „weich bis stabil“ bezeichnete Dämmstoff lag mit seinen Eigenschaften zwischen den beiden Extremen.

Sowohl „weiche“ Dämmstoffe als auch „stabile“ Proben waren mit einem hohen Durchfeuchtungsgrad (ca. 150 M.-%) und nach einer relativ langen Einbauzeit (4 bzw. 6 Jahren) entnommen worden. Zwei dieser Proben mit gegensätzlichem Zustand waren mit sehr großer Wahrscheinlichkeit sogar vom gleichen Hersteller produziert worden. Daher muss daraus der Schluss gezogen werden, dass alleine der Grad der Durchfeuchtung der Mineralwolle nicht den Grad des Druckbelastbarkeitsverlustes bestimmt.

Im Vergleich zwischen den Proben deutete sich auch keine Kausalität zwischen dem Zustand und dem Fabrikat, der Einbaudauer, der Einbaulage der Dämmplatte (mehrlagig/einlagig), oder der Druckverteilschicht (mehrlagige Bitumenbahnenabdichtung oder einlagige Kunststoffbahnenabdichtung) an.

Die jeweilige Häufigkeit der Druckbelastung konnte nicht genauer ermittelt werden: Bei allen Dämmstoffproben war davon auszugehen, dass sie nicht nur durch die Dachdecker, sondern auch durch Folgegewerke mechanisch belastet wurden. Daher spricht auch dieser Probenvergleich dafür, dass der unterschiedliche Zustand der Dämmplatten eher in Zusammenhang mit der Häufigkeit der mechanischen Belastung auf dem Dach steht.

15. Hygrothermische Simulationen

Wie oben bereits beschrieben, berücksichtigen die Prüfbedingungen entsprechend der Normen nicht die tatsächlichen klimatischen Verhältnisse in einem Flachdachaufbau. Die Proben werden in keiner Normprüfung einem so großen Diffusionsstrom ausgesetzt, wie er in einem Dachaufbau schon bei geringer eingeschlossener Feuchte zu erwarten ist. Daher lassen die Normprüfergebnisse keine Rückschlüsse auf das Verhalten des Dämmstoffs bei gleichmäßig über den Dämmstoffquerschnitt verteilter, über der Ausgleichsfeuchte liegender Feuchte oder bei Tauwasserausfall im Querschnitt zu.

In der Praxis werden aber bei Öffnungen im Dachquerschnitt häufig Dämmstoffe gefunden, die diesen Bedingungen offensichtlich über einen längeren Zeitraum ausgesetzt waren.

Da diese Feuchtegehalte extrem schwanken können, war zunächst zu untersuchen, ob sich mit Hilfe von hygrothermischen Berechnungen Unterschiede in der Feuchtebelastung des Dämmstoffs in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt feststellen lassen.

Dazu wurden Feuchtesimulationen in einem typischen Warmdachaufbau über 3 Jahre rechnerisch mit dem Simulationsprogramm [WUFI] simuliert. Es wurden vier verschiedene Feuchtesimulationen durchgerechnet:

1. 0 % Feuchtegehalt, Anfangsfeuchtegehalt 80 % r. F. bei 20℃ (= 1,4 g/m²)
2. 1,5 Masse-% Feuchtegehalt (= 210 g/m²)
3. 10 Masse-% Feuchtegehalt (= 1.400 g/m²)
4. 50 Masse-% Feuchtegehalt (= 7.000 g/m²)

Der Dachaufbau von oben nach unten wurde wie folgt festgelegt

- 1,5 mm PVC-P Abdichtungsbahn, s_d = 22,5 m
- 100 mm Mineralwolle-Wärmedämmung λ= 0,04 W/mK, 140 kg/m³
- Dampfbremse, s_d-Wert = 100 m

Als Außenklima wurde das Feuchtereferenzjahr am Standort des IBP in Holzkirchen zugrundegelegt, innenseitig das Innenklima nach prEN 15026, Feuchtelast normal, angenommen.

Bei der Berechnung wurde der Feuchtezustand der Mineralwolledämmung unmittelbar unter der Dachabdichtung untersucht.

Für den Fall einer trocken eingebauten Mineralwolldämmung ergibt sich folgende Darstellung der Temperatur- (rot) und Feuchtebedingungen (grün) unmittelbar unter der Dachhaut:

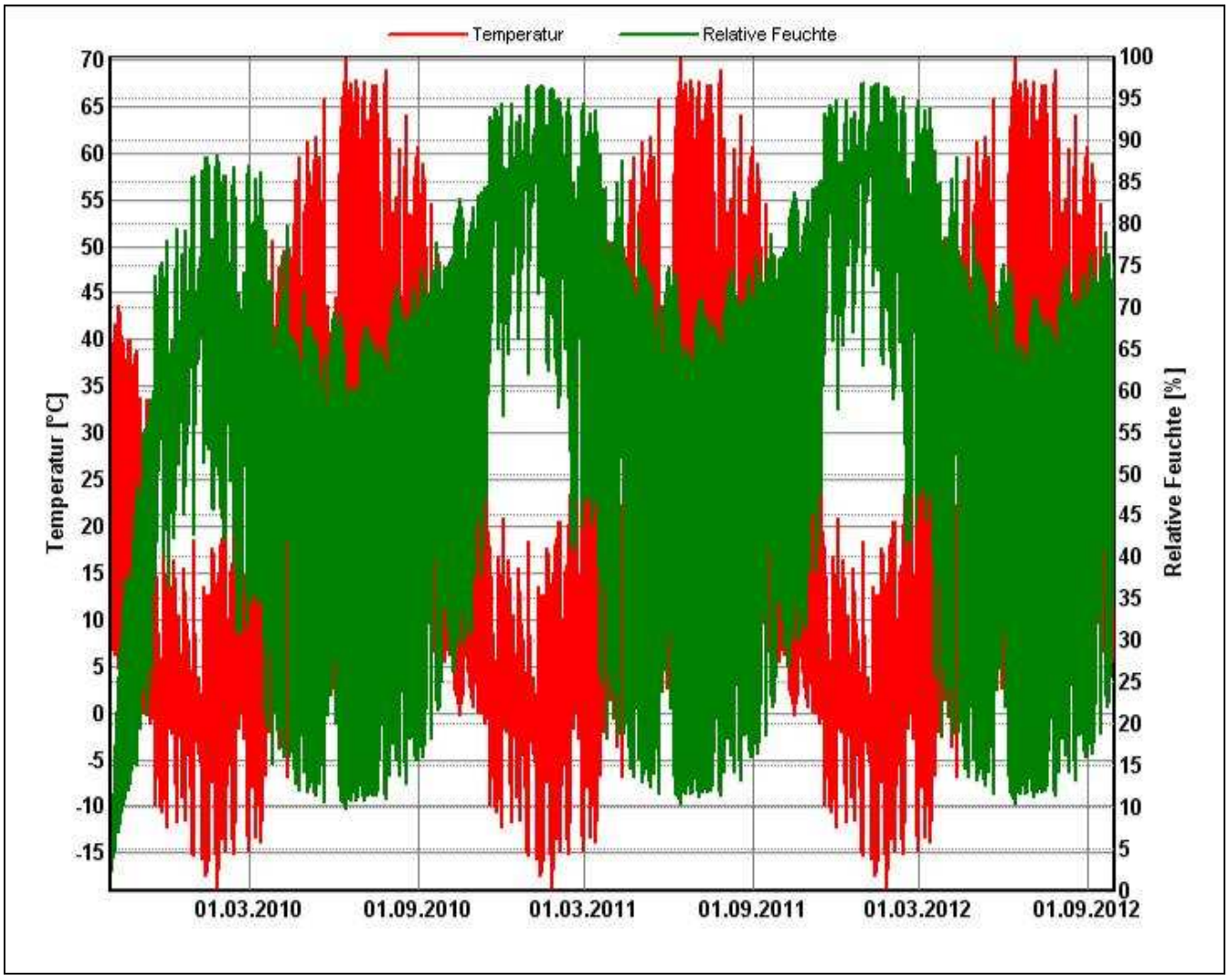


Abbildung 41: Temperatur und relative Feuchte unmittelbar unter der Dachhaut, trockener Dämmstoff

Als Varianten dazu wurde der Wassergehalt im Mineralwolledämmstoff mit einem Anfangswert von 1,5 M.-%, 5 M.-%, 10 M.-% und 50 M.-% gerechnet:

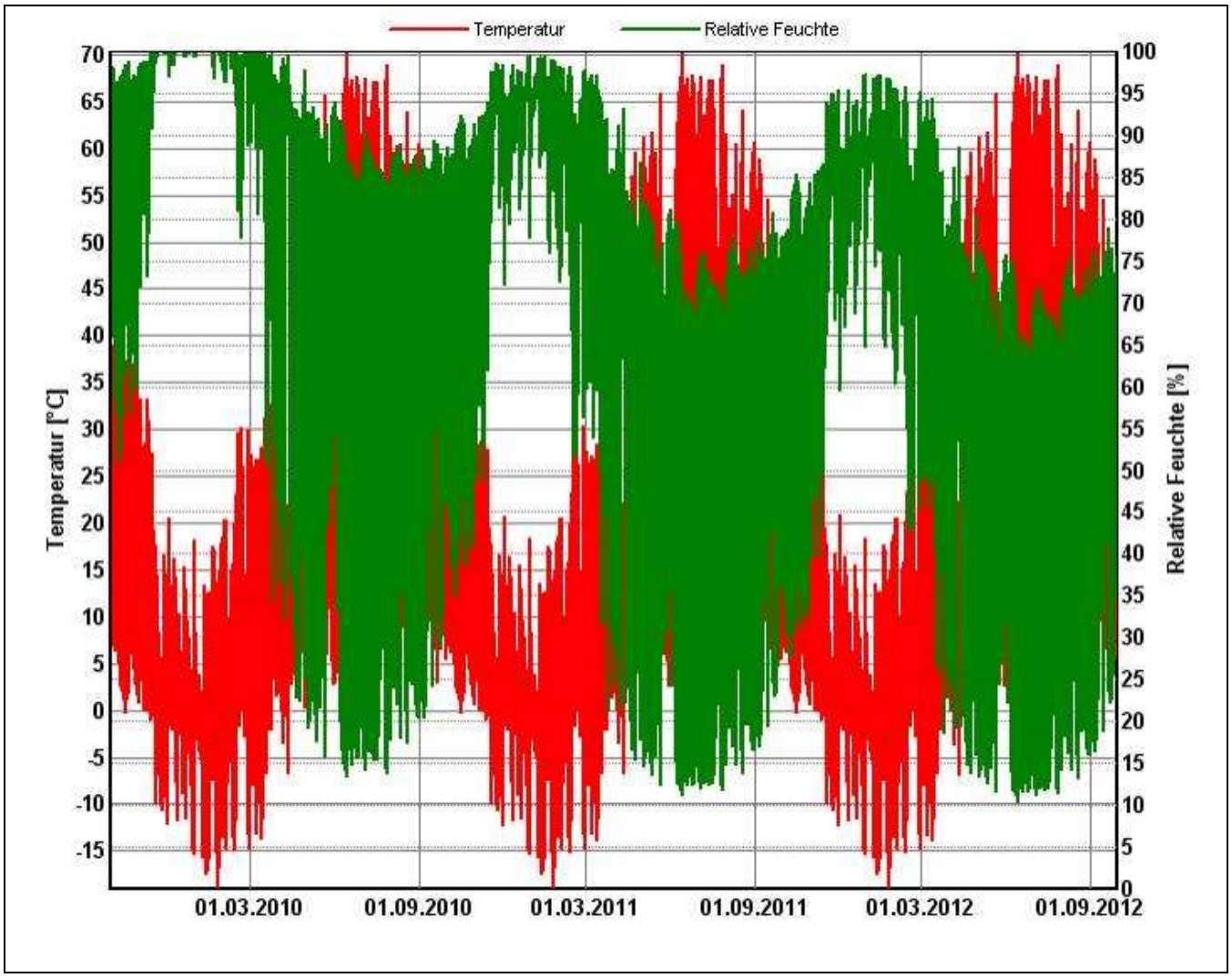


Abbildung 42: Temperatur und relative Feuchte unmittelbar unter der Dachhaut (0,0017 m), Wassergehalt im Dämmstoff 1,5 Masse-%

Bei 1,5 Masse-% Feuchtegehalt im Dämmstoff (entspricht 210 g/m²) ist rechnerisch mit einem Tauwasserausfall unter der Dachhaut nur im ersten Winter zu rechnen, danach bleibt die Luftfeuchte unmittelbar unter der Dachhaut unter 100%, weil ein geringer Teil der Feuchtigkeit durch die PVC-Dachbahn ausdiffundiert.

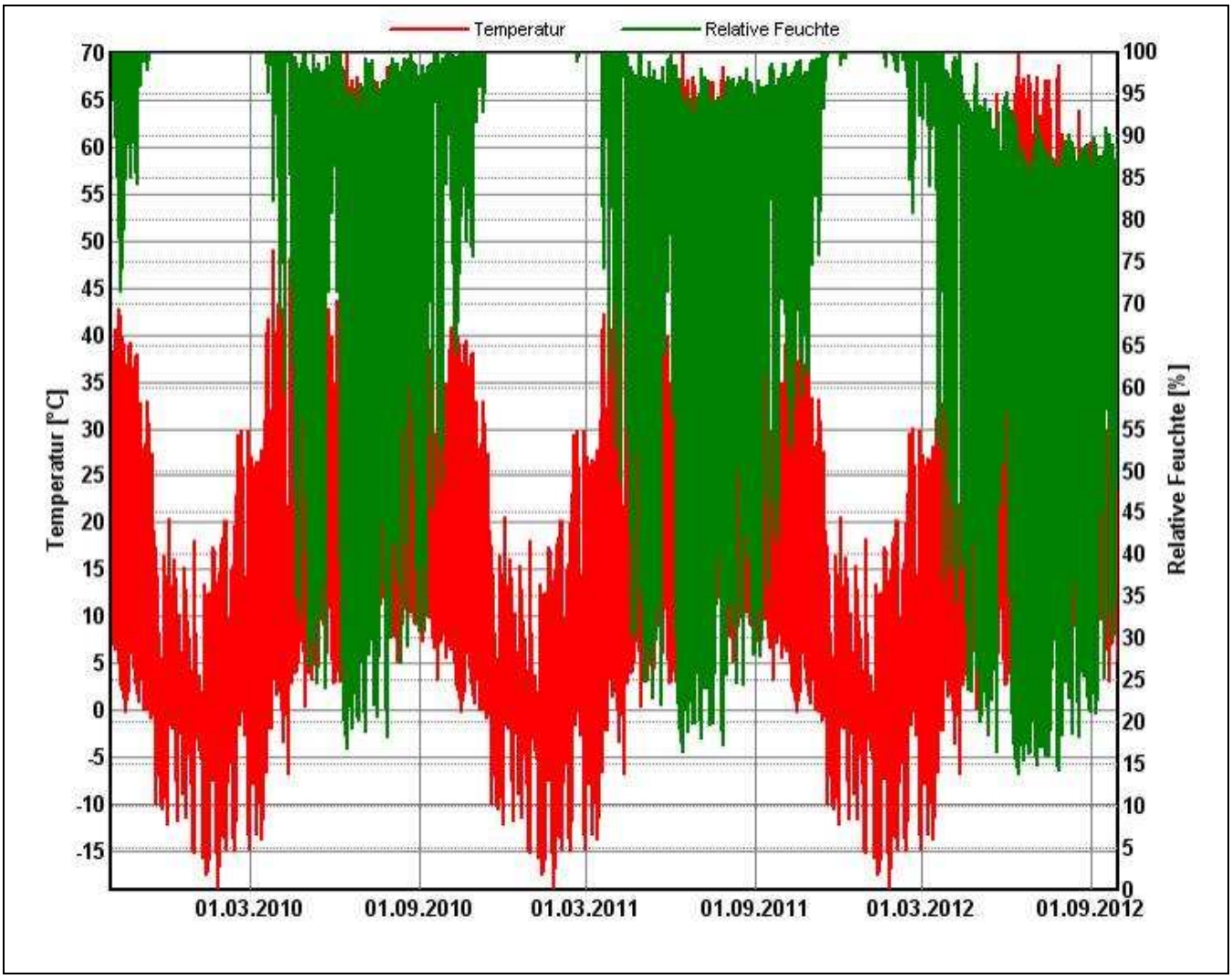


Abbildung 43: Temperatur und relative Feuchte unmittelbar unter der Dachhaut, Wassergehalt im Dämmstoff 5 Masse-%

Bei 5 Masse-% Wassergehalt im Dämmstoff fällt allerdings in den Wintermonaten über einen langen Zeitraum Tauwasser unter der Dachoberfläche aus. Noch deutlicher wird dies bei höheren Wassergehalten von 10 oder 50 Masse-%. Die Dauer des Tauwasserausfalls unter der Dachoberfläche verlängert sich deutlich, wie den folgenden beiden Diagrammen zu entnehmen ist. (Die grüne Darstellung des Feuchtegehalts ist über einen längeren Zeitraum mit der 100 %-Linie identisch, bei 50 M.-% über mehr als ein halbes Jahr lang.)

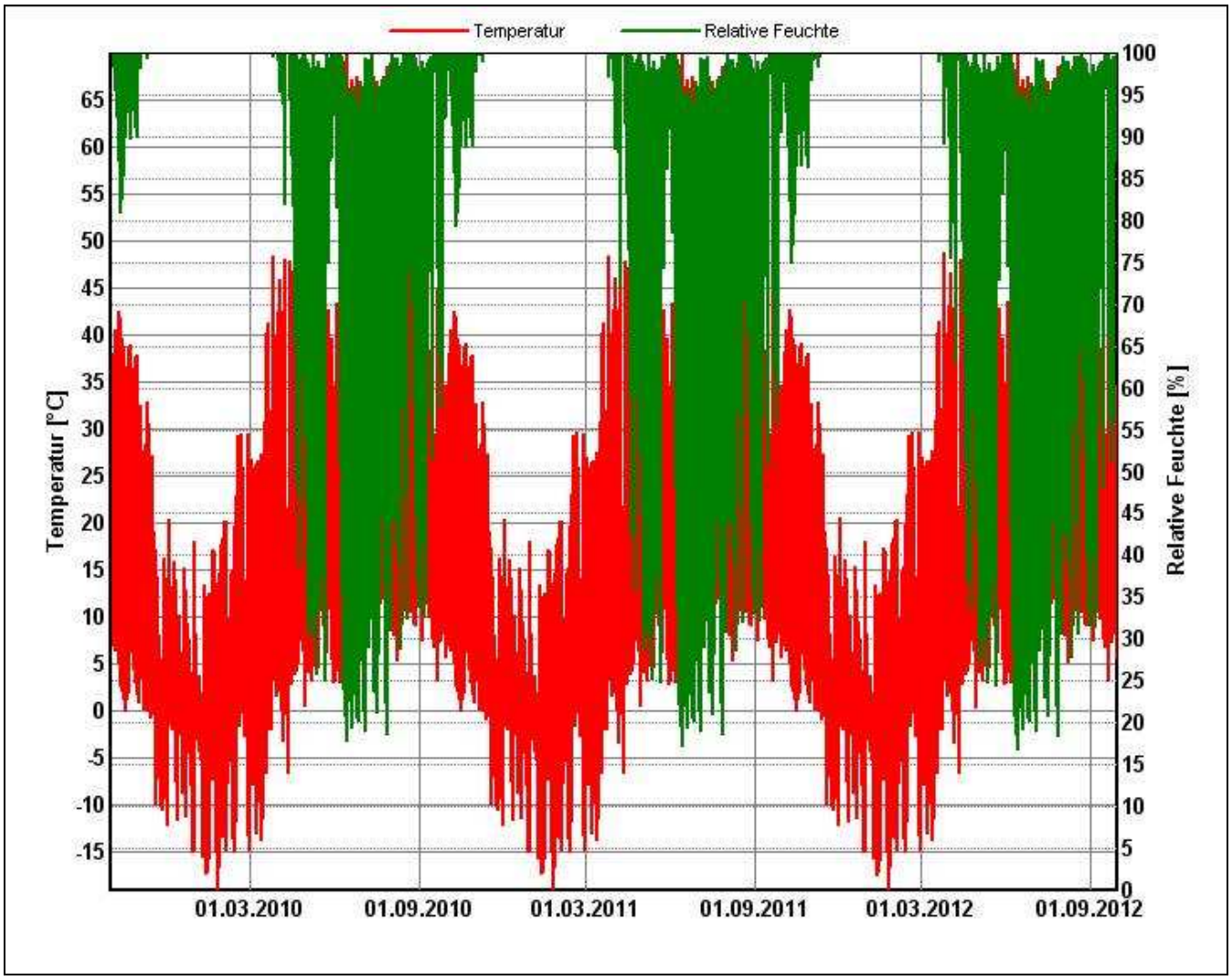


Abbildung 44: Temperatur und relative Feuchte unmittelbar unter der Dachhaut, Wassergehalt im Dämmstoff 10 Masse-%

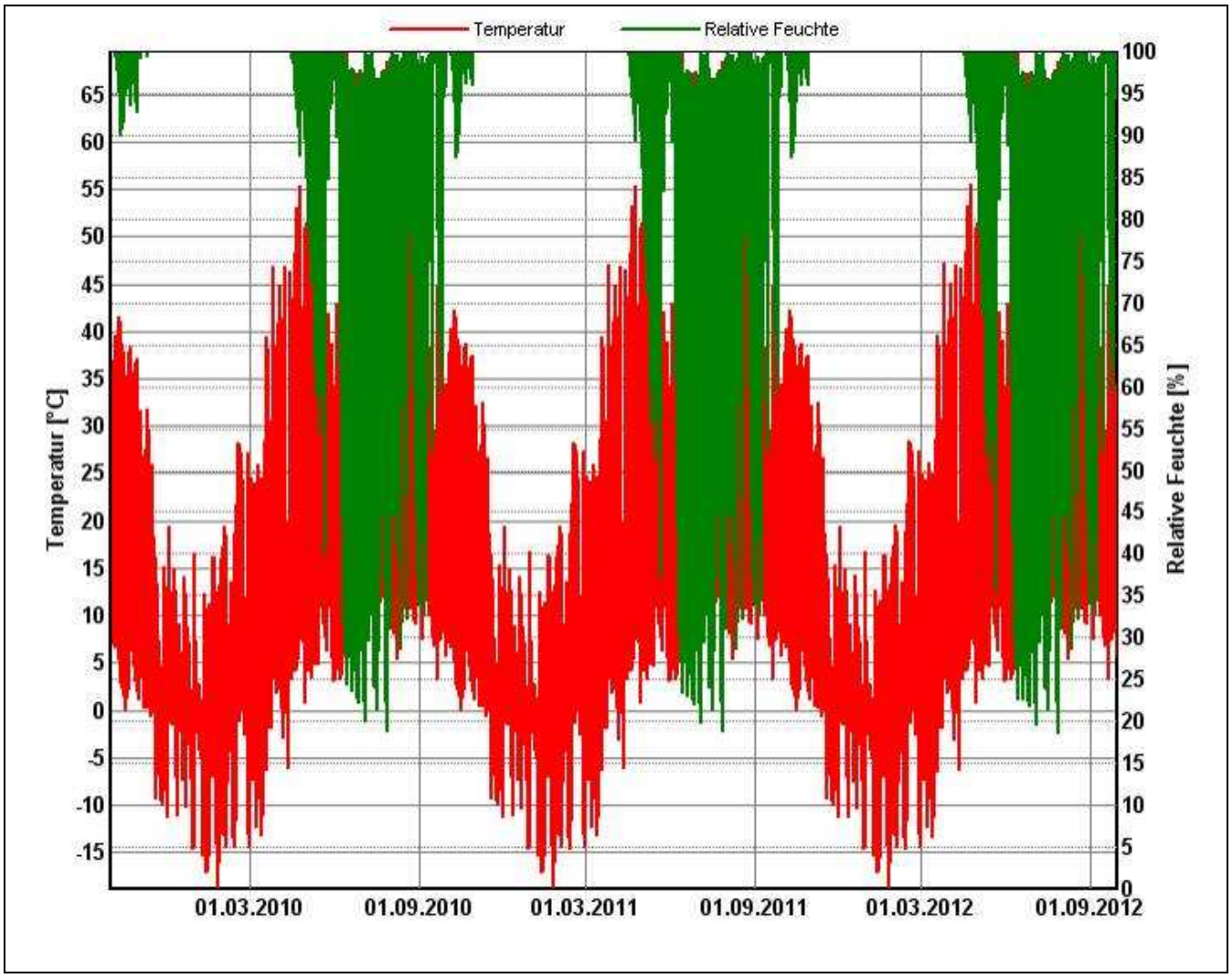


Abbildung 45: Temperatur und relative Feuchte unmittelbar unter der Dachhaut, Wassergehalt im Dämmstoff 50 Masse-%

Bei den Berechnungen ist zu berücksichtigen, dass diese zur Zeit noch auf den klassischen, berechenbaren Feuchtetransportmechanismen – im Fall von Mineralwolle ausschließlich Dampfdiffusion – beruhen. Inwieweit noch andere Mechanismen, z. B. Feuchtemigration entlang der Fasern und Schwerkraft einen wesentlichen Einfluss auf die Berechnungen haben können, ist noch zu untersuchen. Aus den in der Praxis häufig vorgefundenen, nassen Dämmstoffoberseiten auch bei relativ geringem Gesamtwassergehalt kann geschlossen werden, dass nach einem Tauwasserausfall flüssiges Wasser langanhaltend in den oberen Dämmstoffschichten verbleibt.

Allen oben durchgeführten Berechnungen liegt ein relativ geringer s_d-Wert der Abdichtungsschicht zugrunde. Daher verändert sich der Gesamtwassergehalt im Schichtpaket, weil Diffusionsprozesse durch die Abdichtung rechnerisch berücksichtigt werden. Bei höheren Diffusionswiderständen der Abdichtung werden die Veränderungen des Feuchtegehaltes deutlich geringer ausfallen und zu vernachlässigen sein.

Anhand der oben dargestellten Berechnungen wird der in der Praxis regelmäßig bei Dachöffnungsarbeiten festgestellte Sachverhalt bestätigt, dass die Dauer der Tauwasserbelastung unter der Dachhaut mit steigenden Feuchtegehalten in der Dämmschicht zunimmt. Bei trockener Dämmung fällt nach den hygrother-

mischen Berechnungen – im Gegensatz zur traditionellen Berechnung nach Glaser – gar kein Tauwasser aus, bei der gewählten Abdichtung mit geringer Diffusion.

Wenn sich die Struktur der Mineralwolle ausschließlich bei Tauwasserausfall verändern würde, könnte man eine Feuchtegehaltsgrenze, ab der die Mineralwolle tatsächlich substantiell geschädigt würde, relativ leicht definieren, indem man die Grenze ermittelt, bei der Tauwasser beim vorhandenen Schichtpaket unter der Dachhaut anfällt.

Auch wenn die Mineralwolle nur bei hohen Temperaturen und gleichzeitig auftretenden hohen Feuchtegehalten geschädigt würde, wäre die Schädigungsgrenze wie oben ebenfalls relativ leicht festzulegen.

Wenn aber die Schädigung der Bindemittel bereits bei hoher Luftfeuchte erfolgen würde, dann wäre die Belastbarkeitsgrenze des Dämmstoffs schon früh erreicht. Ohne Kenntnis des Schädigungsmechanismus sind sinnvolle Grenzwerte daher nicht definierbar.

16. Druckspannungsprüfungen nach Befeuchtung und Temperaturwechsellagerung

Wie oben ausführlich dargestellt wurde, wird in den Normprüfungen sowohl die Festigkeit als auch die Wasseraufnahme ausschließlich am trockenen Werkstoff und unter Normklimabedingungen untersucht. Es wird aber keine im Schadensfall erreichbare Wasserbelastung und keine Temperaturwechselbeanspruchung berücksichtigt.

Der von den Herstellern durchgeführte Autoklav-Test ist zwar für diese offenbar ein hinreichend genaues Prüfverfahren zur Bestimmung des Langzeitverhaltens auf dem Dach. Eine Aussage über die noch zu erwartende Lebensdauer nach Durchfeuchtung kann daraus aber ebenfalls nicht abgeleitet werden.

Daher wurden im Rahmen des vorliegenden Forschungsberichts zusammen mit dem FIW München e.V. Laboruntersuchungen entwickelt, bei denen stark durchfeuchtete Proben einer wechselnden Temperaturbeanspruchung ausgesetzt wurden (siehe auch Untersuchungsbericht des FIW München e.V. in der Anlage). Anschließend wurde die Druckspannung bei 10 % Stauchung in Anlehnung an die Normprüfung gemessen. Es sollte ermittelt werden, welche Anzahl von Temperaturzyklen und welche Feuchtegehalte ggf. zu deutlichen Veränderungen der Druckbelastbarkeit führen. Mit dieser Untersuchung wurde erstmals ein realistischer Zusammenhang zwischen in der Praxis gemessenen Feuchtegehalten und Zustandsänderungen des Dämmstoffs simuliert.

Für die Untersuchungen wurde zunächst ein typischer Temperaturverlauf des Außenklimas festgelegt. Dazu wurde auf Messungen zurückgegriffen, die jeweils eine Woche lang im August und im Dezember an Flachdächern aufgezeichnet wurden und in [Zirkelbach, Künzel, Bludau 2007] veröffentlich wurden. Aus diesen Daten wurden 2 typische Tagesgänge ausgewählt und als Sollwert einem Steuerprogramm eingegeben. Der Abschnitt für den Sommerfall liefert Temperaturen von +5℃ bis + 55℃, der Abschnitt für de n Winterfall Temperaturen von -11℃ bis + 21℃.

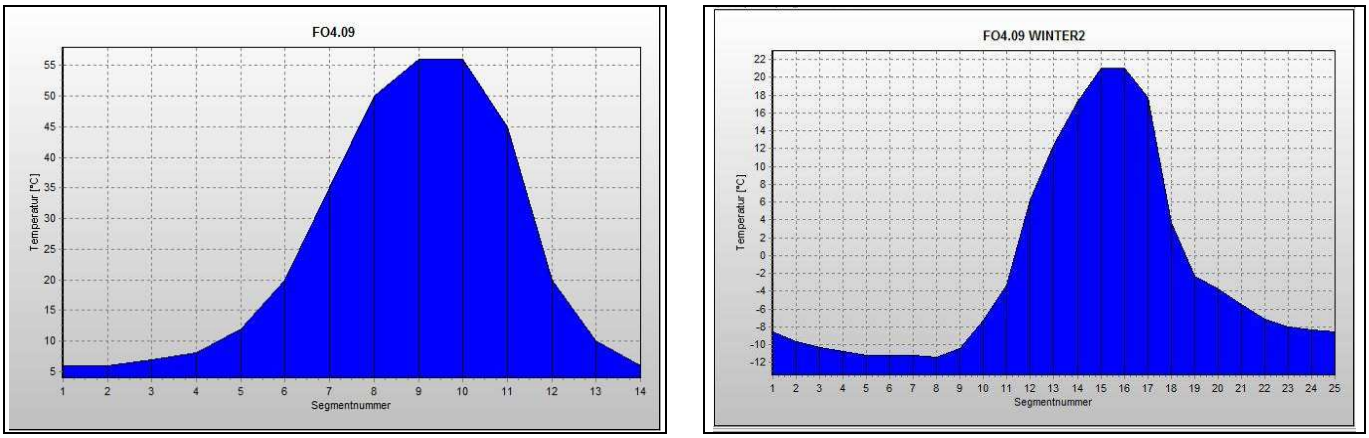


Abbildung 46: Temperaturtagesgänge der Temperaturwechsellagerung für Sommer (links) und Winter (rechts)

Der Temperaturverlauf über 24 Stunden wurde über einen Zeitraum von jeweils 10 Tagen wiederholt.

Auf der Unterseite der Dämmung wurde eine konstante Temperatur von 20℃ angelegt.

Für die Prüfung wurden von der Deutschen Rockwool Mineralwolle-Dämmstoffe vom Typ „Durock“, 100 mm dick, zur Verfügung gestellt. Der Hersteller gibt einen Nennwert der Druckspannung bei 10 % Stauchung von 60 kPa an.

Die Proben wurden für die spätere Druckspannungsprüfung in 200 mm x 200 mm große Stücke geschnitten. Anschließend wurden sie mit einem Kunststoffbeutel umhüllt und je nach Versuchsreiche mit Wasser befüllt (s. Abbildung 47). Die Wassergehalte wurden mit 1,5 Masse-%, 5 Masse-% und 50 Masse-% festgelegt.

Die Durchfeuchtung des Dämmstoffs erfolgte in Stufen: Zunächst trat eine geringe Menge Wasser dort ein, wo der Wasserstrahl auftraf. Der überwiegende Teil des Wassers sammelte sich zwischen Kunststoffbeutel und Dämmstoff. Nach etwa einer Viertelstunde war bei der Füllung mit 300 g Wasser (50 M.-%) etwa die Hälfte aufgesaugt. Der Rest des Wassers ist bei der Lagerung unter den Temperaturwechseln in den Dämmstoff eingedrungen. Im Laufe der Prüfzeit (10 bzw. 20 Tage) hatte sich das Wasser gleichmäßig im Dämmstoff verteilt.

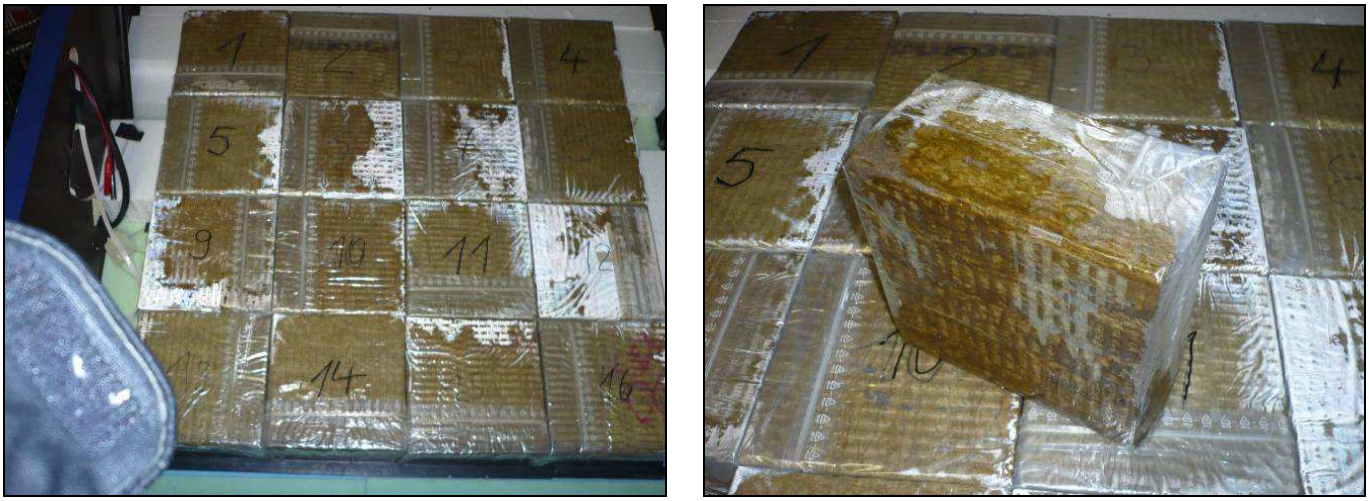


Abbildung 47: Für die Temperaturwechsellagerung vorbereitete Proben

Die wassergefüllten Proben wurden in einem für den Untersuchungszweck umgerüsteten Plattengerät mit der jeweiligen Temperaturbelastung über 10 Tage belastet. Diese Belastung sollte dazu dienen, eine praxisgerechte Feuchteverteilung herzustellen. In einem realistischen Fall steht das Wasser aus Baufeuchte oder aus einer Leckage zunächst auf der Dampfsperrebene, also auf der Unterseite der Dämmung. Durch die Laborprüfung wird die Situation in der Praxis simuliert: Der Feuchtetransport von der warmen (20℃) zur kalten Seite (5℃) treibt die Feuchtigke it aus dem „Wasserreservoir“ auf der Unterseite der Dämmung auf die obere, meist kältere Seite. Dort kommt es erfahrungsgemäß bei höheren Feuchtegehalten vereinzelt zu Tauwasserbildung, was durch die oben dargestellten Berechnungen mit WUFI rechnerisch nachzuvollziehen ist. Im Sommerfall tritt auch ein umgekehrter Feuchtetransport von der warmen Oberseite (55 ℃) der Dämmung zur „kalten“ (20 ℃) Unterseite auf.

Im Winterfall ist von einem Feuchtetransport nur in eine Richtung auszugehen, nämlich von der warmen Unterseite (20℃) bis zur kalten (bis -11 ℃) Obers eite. In dieser Zeit tritt nach den hygrothermischen Berechnungen wesentlich häufiger Tauwasser auf. Zudem wird das ausfallende Tauwasser zeitweise gefrieren.

Durch die verschiedenen Klima- und Feuchtebedingungen sollte ermittelt werden, ob bestimmte Zustände eine signifikant stärkere Auswirkung auf die Dämmstoffstruktur haben.

16.1 Prüfung von praktisch trockenen Proben

Zunächst wurden Proben im Auslieferungszustand bei einer Temperatur von 20℃ untersucht.

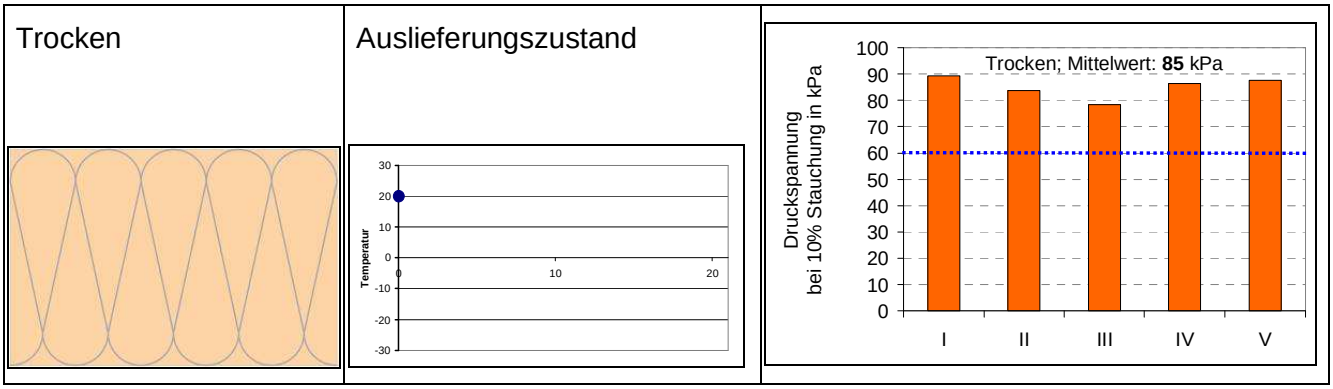


Abbildung 48: Druckspannung bei 10 % Stauchung im Auslieferungszustand i.M. 85 kPa (5 Proben)

Es zeigte sich, dass die Druckspannungswerte bei 10 % Stauchung im Mittel bei 85 kPa lagen und damit deutlich über dem vom Hersteller gemäß den Produktunterlagen zugesagten Wert von 60 kPa.

Im Vergleich zu den zwischenzeitlich erfolgten Messungen unter Feuchteeinfluss wurden nicht verwendete Proben nach Lagerung im Raumklima nach einem Jahr untersucht:

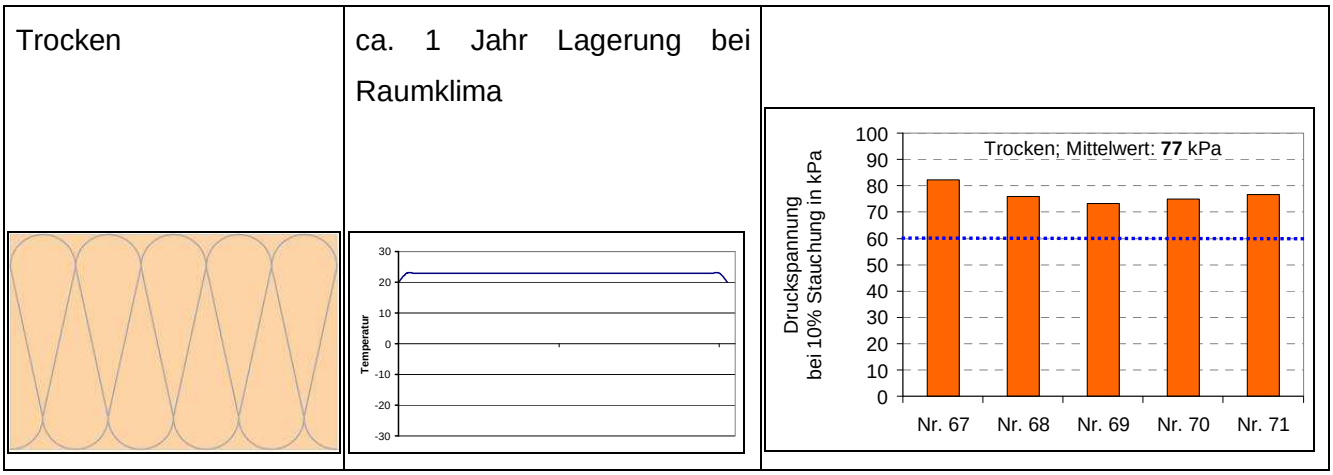


Abbildung 49: Druckspannung bei 10 % Stauchung nach Lagerung im Raumklima i.M. 77 kPa (5 Proben)

Die Mittelwerte der Druckspannung bei 10 % Stauchung lagen bei 77 kPa und damit um 10 kPa niedriger als der Anfangswert. Daraus muss geschlossen werden, dass ein Festigkeitsverlust in der Größenordnung von rund 10 % allein durch Relaxationseffekte zustande kommt.

Andere Proben wurden etwa 10 Monate nach Anlieferung im nicht befeuchteten Zustand und nach Temperaturwechsellagerung einer Druckprüfung unterzogen:

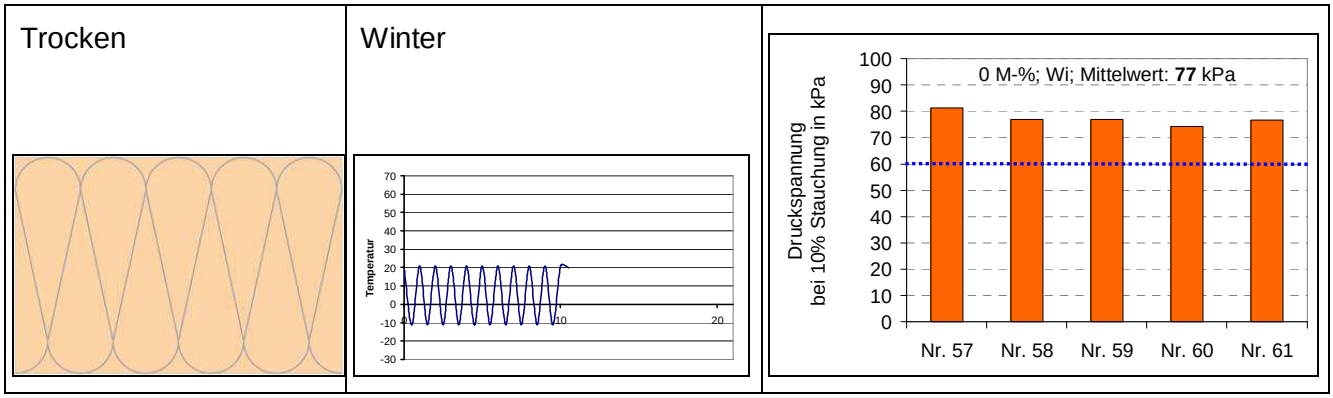


Abbildung 50: Druckspannung bei 10% Stauchung bei trockenen Proben nach 10 Tagen Winterklima i. M. 77 kPa (5 Proben)

Auch nach dieser Prüfung lag der Mittelwert bei 77 kPa. Es ist also kein wesentlicher Unterschied zur Lagerung im Raumklima festzustellen.

16.2 Prüfung von Proben mit unterschiedlichen Feuchtegehalten

3 Versuchsreihen wurden mit Feuchtegehalten von 1,5 Masse-% durchgeführt: Eine 10-tägige Belastung mit Sommerklima, eine weitere 10-tägige Belastung mit Winterklima und eine insgesamt 20-tägige Belastung mit 10 Tagen Sommer- und 10 Tagen Winterklima:

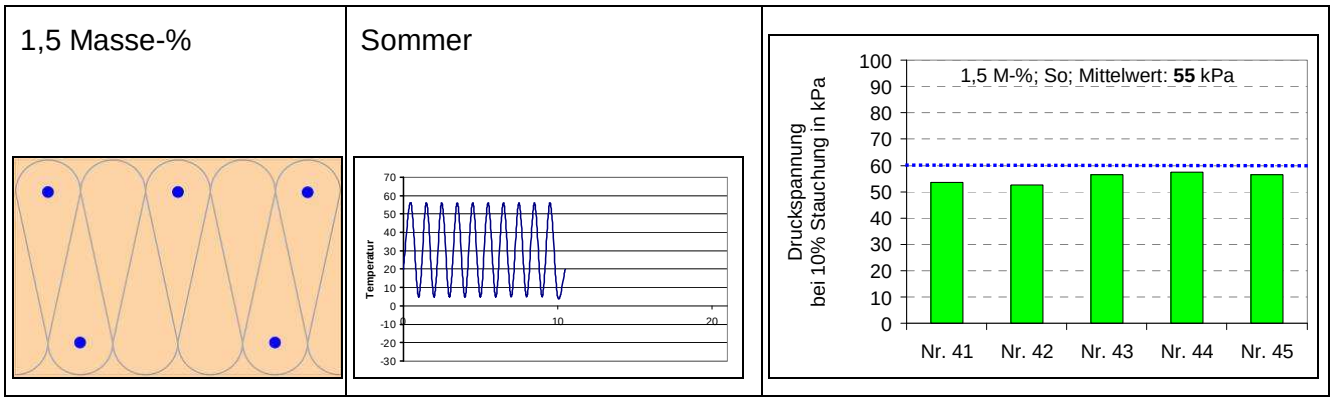


Abbildung 51: Druckspannung bei 10 % Stauchung und 1,5 Masse-% Feuchtegehalt nach 10 Tagen Sommerklima i.M. 55 kPa (5 Proben)

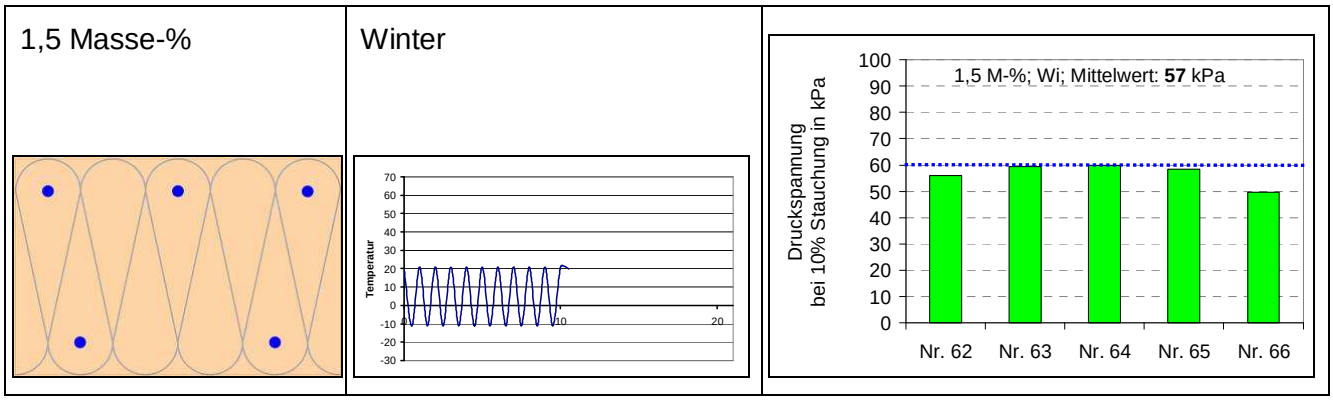


Abbildung 52: Druckspannung bei 10 % Stauchung und 1,5 Masse-% Feuchtegehalt nach 10 Tagen Winterklima i.M. 57 kPa (5 Proben)

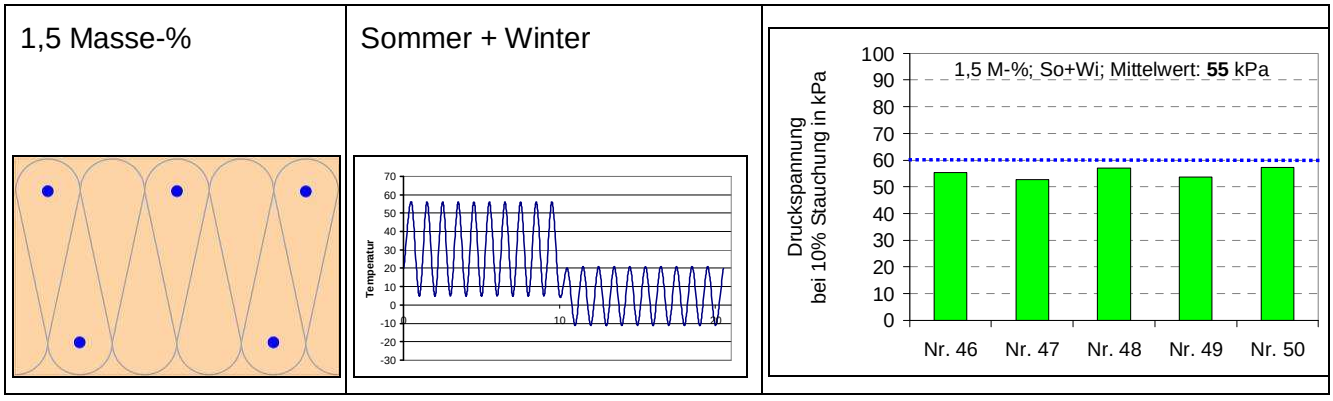


Abbildung 53: Druckspannung bei 10 % Stauchung und 1,5 Masse-% Feuchtegehalt nach 10 Tagen Sommer- und 10 Tagen Winterklima i.M. 55 kPa (5 Proben)

Der Festigkeitsabfall gegenüber dem Auslieferungszustand ist deutlich. Die Mittelwerte der Druckspannung bei 10 % Stauchung liegen mit 55, 57 und 55 kPa 35 % unter denen des Auslieferungszustandes. Allerdings liegen sie mit etwa 9 % nur relativ geringfügig unter dem Nennwert von 60 kPa.

An weiteren Proben mit einem Feuchtegehalt von 5 Masse-% wurde eine Messreihe mit Winterbelastung durchgeführt:

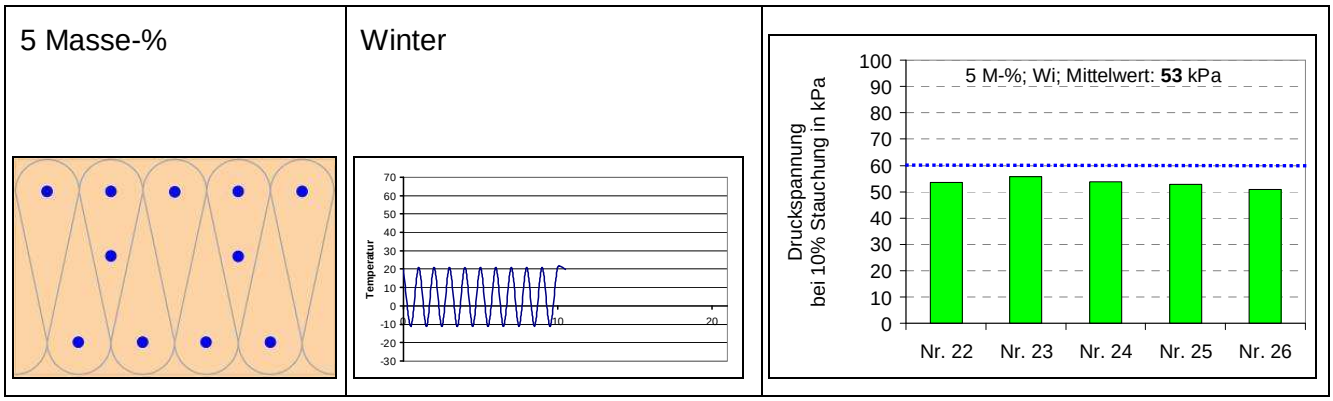


Abbildung 54: Druckspannung bei 10 % Stauchung und 5 Masse-% Feuchtegehalt nach 10 Tagen Winterklima i.M. 53 kPa (5 Proben)

Die Druckspannung bei 10 % Stauchung liegt mit 53 kPa um etwa 7 % unter den Werten der Vergleichsmessung mit 1,5 Masse-%, bei der im Mittel 57 kPa gemessen wurden.

Mit einem Feuchtegehalt von 50 Masse-% besonders hoch durchfeuchtetete Dämmstoffproben wurden mit der gleichen Beanspruchung (Lastfall Sommer, Winter und die Kombination von Sommer/Winter) wie die mit 1,5 Masse-% belasteten Dämmstoffe gemessen:

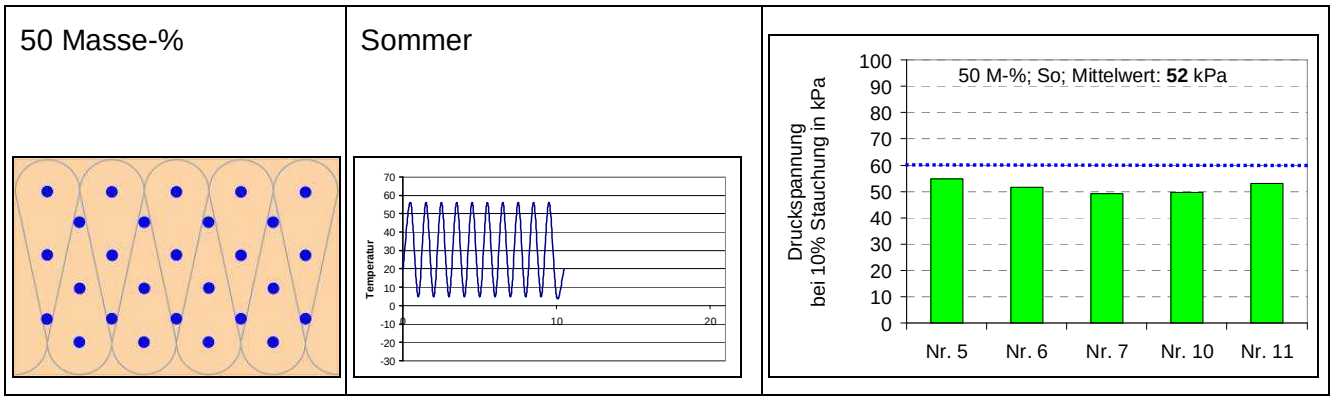


Abbildung 55: Druckspannung bei 10 % Stauchung und 50 Masse-% Feuchtegehalt nach 10 Tagen Sommerklima i.M. 52 kPa (5 Proben)

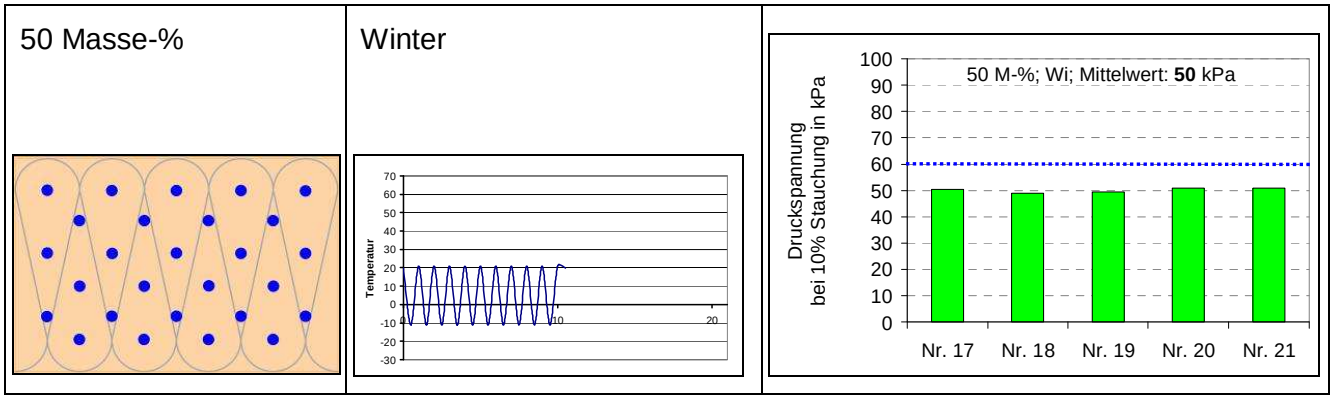


Abbildung 56: Druckspannung bei 10 % Stauchung und 50 Masse-% Feuchtegehalt nach 10 Tagen Winterklima i.M. 50 kPa (5 Proben)

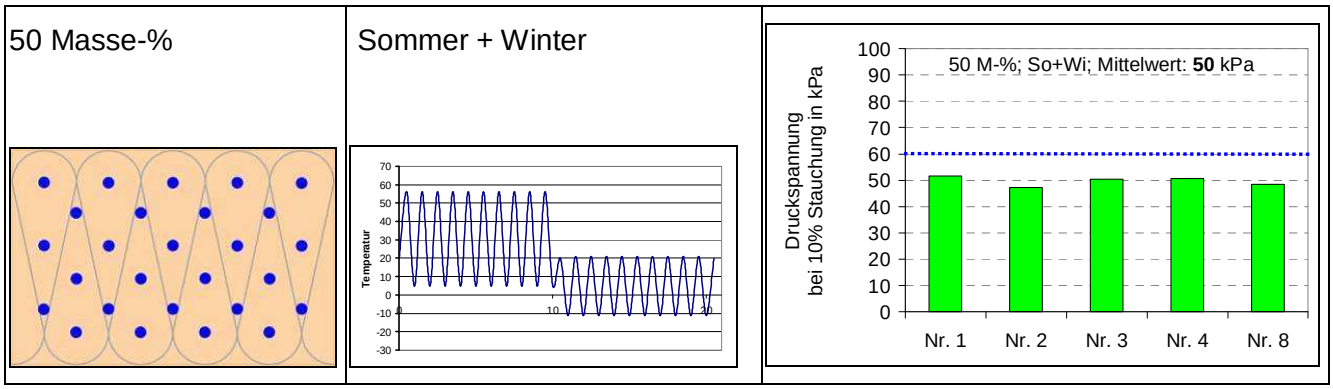


Abbildung 57: Druckspannung bei 10 % Stauchung und 50 Masse-% Feuchtegehalt nach 10 Tagen Sommer- und 10 Tagen Winterklima i.M. 50 kPa (5 Proben)

Ein eher überraschendes Ergebnis dieser Messreihen ist, dass die Druckspannung bei 10 % Stauchung nicht im gleichen Maße absinkt wie die Feuchtebelastung zunimmt: Mit 52, 50 und 50 kPa liegen die Werte auch nur wenig (ca. 9%) unter den Werten der Proben mit den Feuchtegehalten von 1,5 M.-%.

Aus den Messungen ist auch ablesbar, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen der Belastung mit Sommerklima oder Winterklima gibt: Weder scheint die Häufigkeit eines Tauwasserausfalls noch das Gefrieren von Wasser in der Dämmschicht eine entscheidende Rolle zu spielen.

16.3 Erneute Prüfung von ehemals feuchten Proben nach Trocknung

In einem weiteren Versuch wurden hoch belastete Proben, die sowohl einer Sommer- als auch einer Winterbelastung ausgesetzt waren, zunächst getrocknet und erst dann auf ihre Druckspannungswerte hin untersucht:

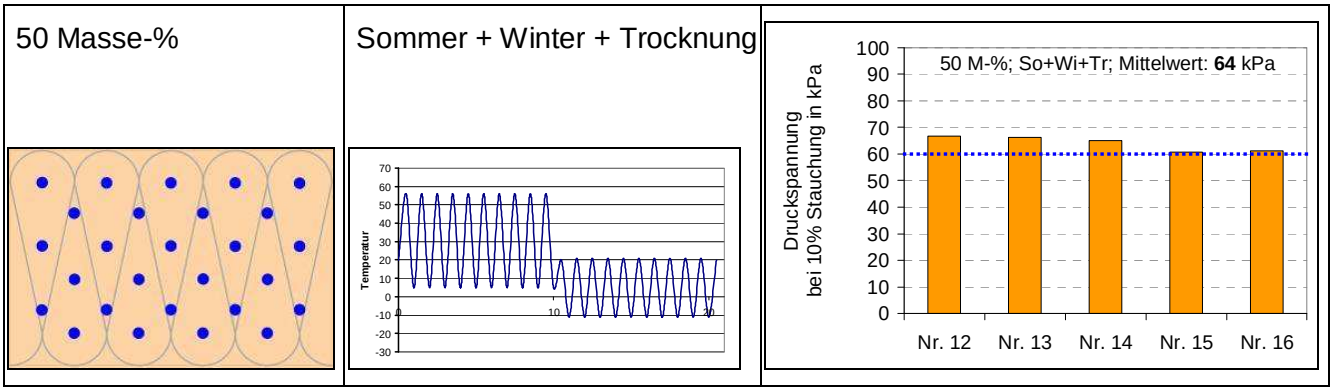


Abbildung 58: Druckspannung bei 10 % Stauchung und 50 Masse-% Feuchtegehalt nach 10 Tagen Sommer- und 10 Tagen Winterklima und anschließender Trocknung i. m. 64 kPa (5 Proben)

Erstaunlicherweise wurden nach der Feuchtigkeitsbeanspruchung und der anschließenden Trocknung deutlich höhere Festigkeiten als an den nassen Proben (im Mittel 64 kPa gegenüber 50-52 kPa) ermittelt. Die Festigkeiten lagen sogar wieder über dem Nennwert nach Herstellerangaben (60 kPa).

Daraus ist zu schließen, dass ein Teileffekt der Durchfeuchtung reversibel ist. Vorstellbar ist, dass die Fasern zum Teil im Wasser „schwimmen“ und daher nicht mit anderen Fasern verkrallen und zur Stabilität beitragen können.

Allerdings führt die Durchfeuchtung auch zu einer irreversiblen Schwächung, da der Dämmstoff auch im getrockenen Zustand weder die Anfangsfestigkeit von 85 kPa noch die Werte nach einjähriger Lagerung

(75 kPa) erreicht, sondern nur noch eine um ca. 25 % geschwächte Struktur hinterlässt. Gegenüber dem trocken gelagerten Dämmstoff ergibt sich eine Reduzierung von 77 kPa auf 64 kPa, d. h., um etwa 17 %.

16.4 Zweifachprüfung von Dämmstoffproben

Eine Druckspannungsprüfung an Mineralwolleproben gilt als „zerstörend“ und wird daher in der Regel nicht wiederholt. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden dennoch Proben, die nach Feuchtebelastung einer Druckspannungsprüfung ausgesetzt waren, getrocknet und anschließend erneut einer Druckspannungsprüfung unterzogen:

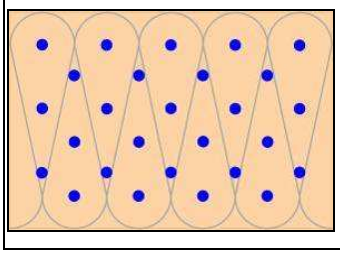
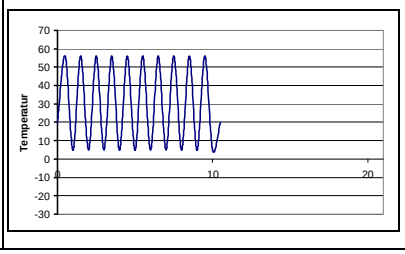
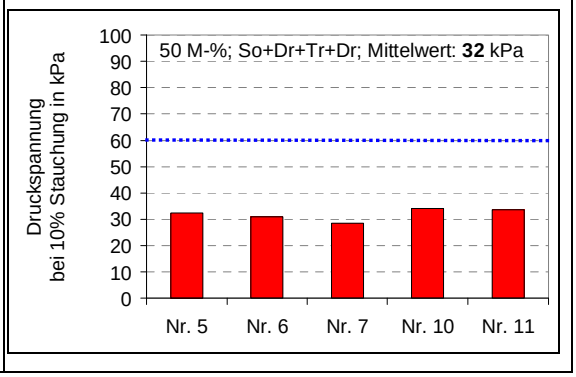
50 Masse-%	Sommer + Druckbelastung + Trocknung + erneute Druckbelastung	
		

Abbildung 59: Druckspannung bei 10 % Stauchung und 50 Masse-% Feuchtegehalt nach 10 Tagen Sommerklima, Druckprüfung, Trocknung und erneuter Druckprüfung i.M. 32 kPa (5 Proben)

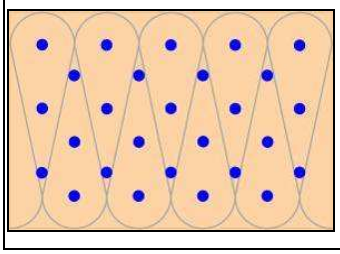
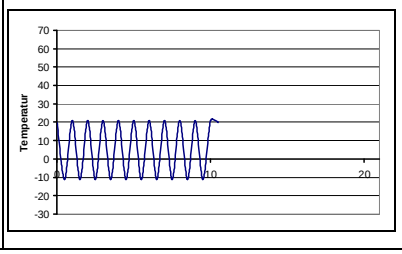
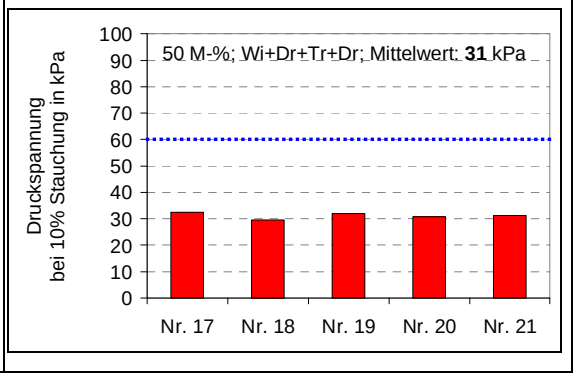
50 Masse-%	Winter + Druckbelastung + Trocknung + erneute Druckbelastung	
		

Abbildung 60: Druckspannung bei 10 % Stauchung und 50 Masse-% Feuchtegehalt nach 10 Tagen Winterklima, Druckprüfung, Trocknung und erneuter Druckprüfung i.M. 31 kPa (5 Proben)

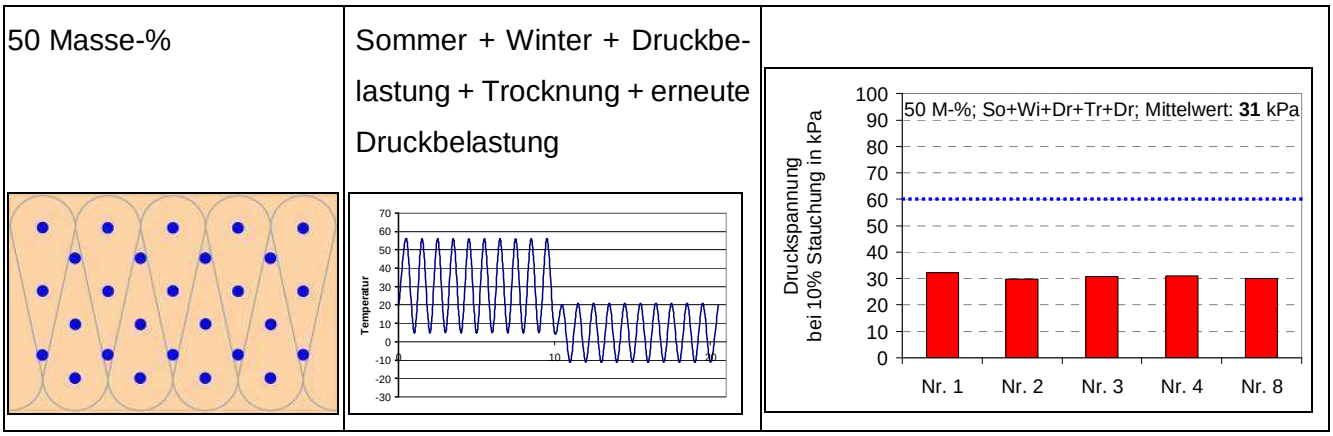


Abbildung 61: Druckspannung bei 10 % Stauchung und 50 Masse-% Feuchtegehalt nach 10 Tagen Sommer-, 10 Tagen Winterklima, Druckprüfung, Trocknung und erneuter Druckprüfung i.M. 31 kPa (5 Proben)

Hierbei zeigt sich deutlich der Einfluss, den eine zweimalige Druckbelastung auf die Festigkeit des Dämmstoffs hat: Die Mittelwerte von 32, 31 und 31 kPa liegen um etwa 38 % deutlich unter den Werten der im feuchten Zustand bereits druckbelasteten Proben. Der Anfangswert von 85 kPa ist um ca. 64 % reduziert.

Zur Überprüfung, inwieweit diese Abnahme vom Feuchtegehalt abhängig ist, wurden auch Proben mit geringerem Feuchtegehalt nach Trocknung erneut druckbelastet:

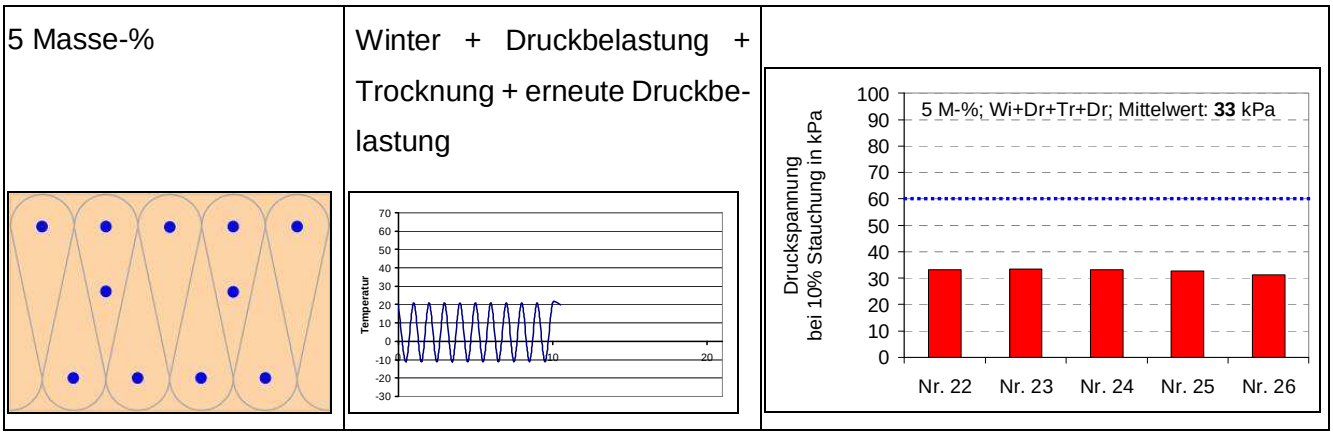


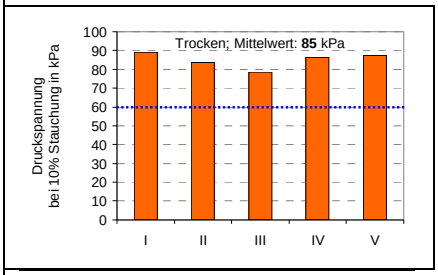
Abbildung 62: Druckspannung bei 10 % Stauchung und 5 Masse-% Feuchtegehalt nach 10 Tagen Winterklima, Druckprüfung, Trocknung und erneuter Druckprüfung i.M. 33 kPa (5 Proben)

Das Ergebnis zeigt, dass auch bei deutlich geringerem Feuchtegehalt eine zweimalige Beanspruchung zu Messwerten in der gleichen Größenordnung führt. Die Zerstörung der Dämmstoffstruktur ist also in größerem Maße von der Häufigkeit der Druckbelastung als von der Größe der Feuchtebelastung abhängig.

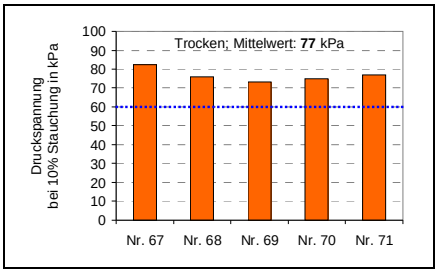
16.5 Vergleich der Ergebnisse

Zum besseren Vergleich sind die Diagramme noch einmal nebeneinander dargestellt:

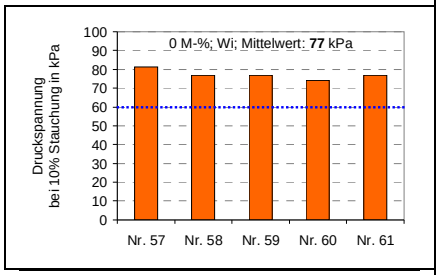
Zustand der Proben: **trocken**, Druckspannung bei 10 % Stauchung



Probe bei Anlieferung

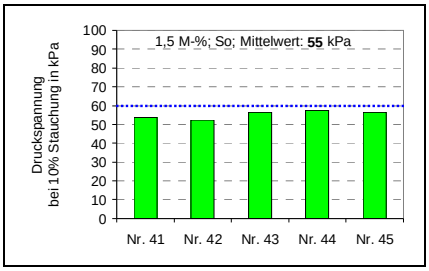


Probe nach ca. 1 Jahr Lagerung bei Raumklima

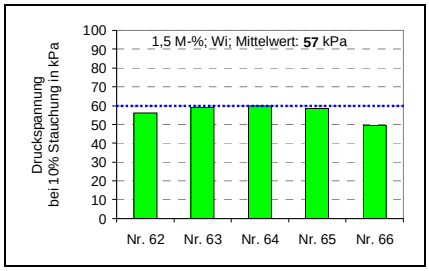


Probe nach 10 Monaten Lagerung bei Raumklima und 10 Tage Winterklima

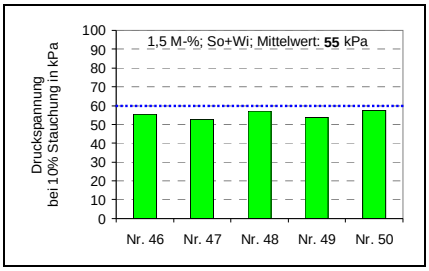
Feuchtegehalt der Proben**: 1,5 Masse-%**, Druckspannung bei 10 % Stauchung



Sommer

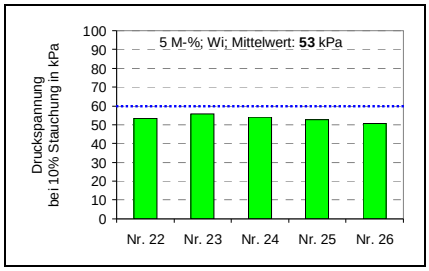


Winter



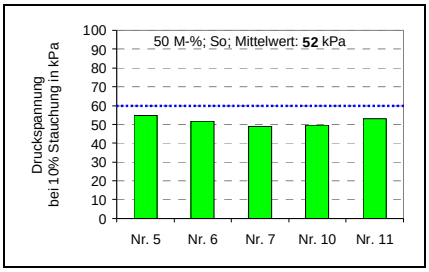
Sommer / Winter

Feuchtegehalt der Proben **5 Masse-%**, Druckspannung bei 10 % Stauchung

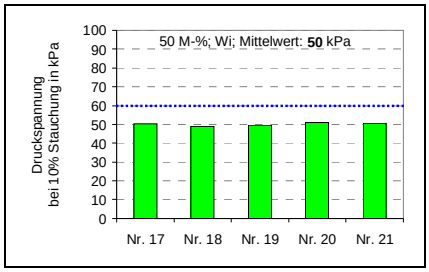


Winter

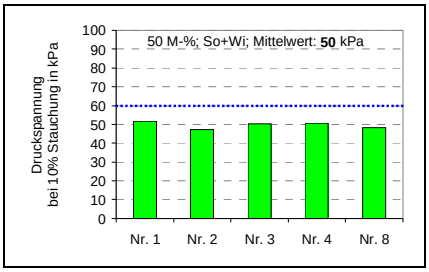
Feuchtegehalt der Proben **50 Masse-%**, Druckspannung bei 10 % Stauchung



Sommer



Winter



Sommer / Winter

Abbildung 63: Zustand der Proben trocken und bei 50 M.-%, Druckspannung bei 10 % Stauchung

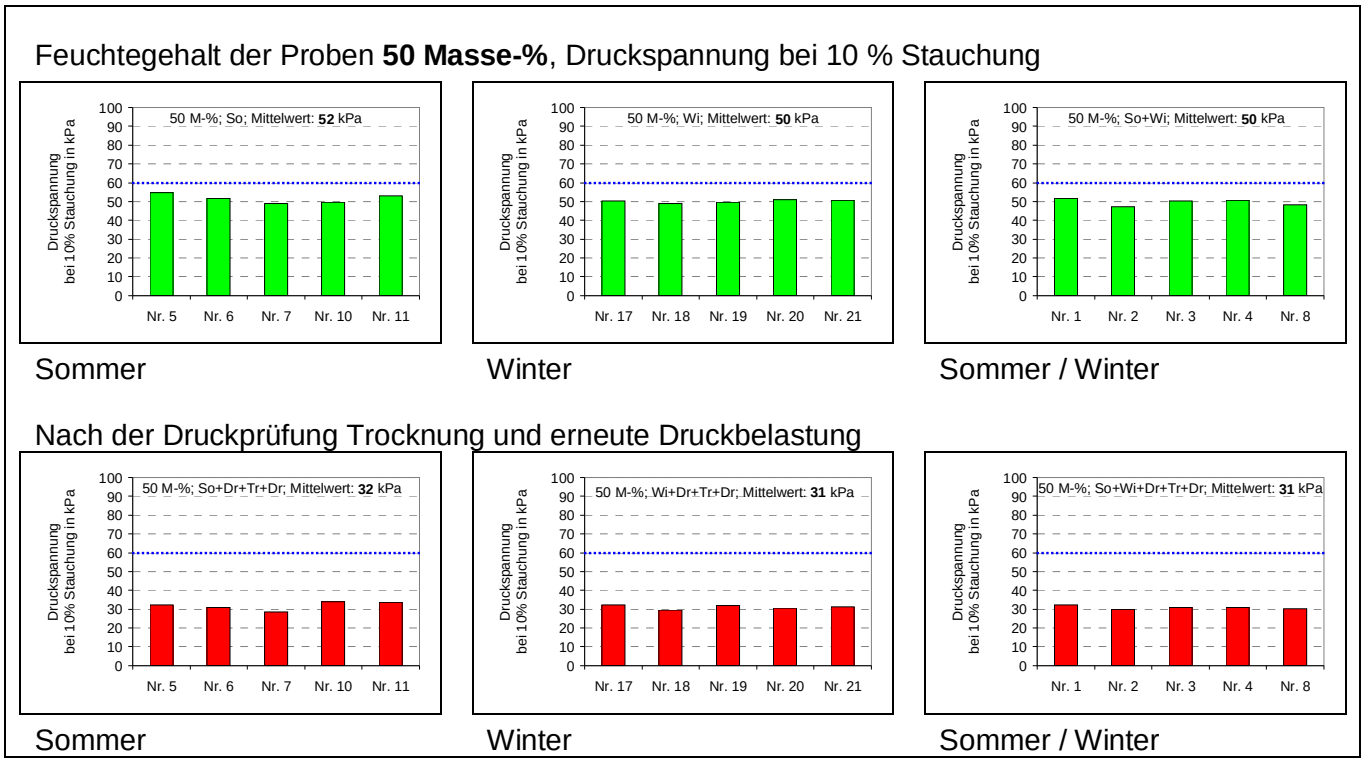


Abbildung 64: Feuchtegehalt der Proben 50 M.-%, Druckspannung bei 10 % Stauchung

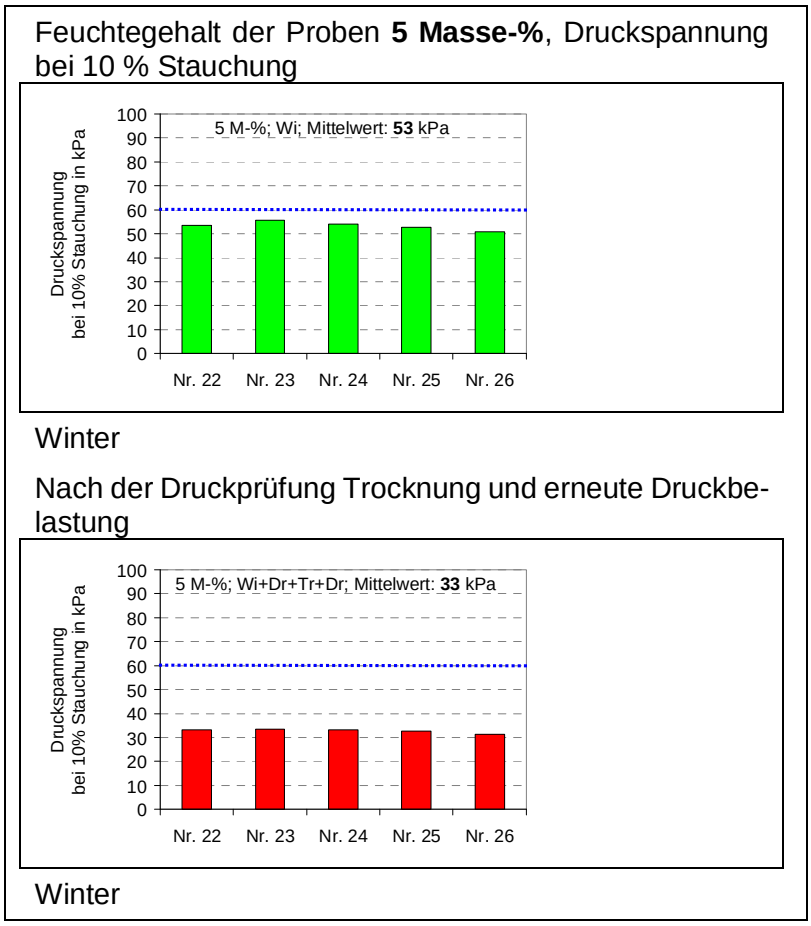


Abbildung 65: Feuchtegehalt der Proben 5 M.-%, Druckspannung bei 10 % Stauchung

Feuchtegehalt in Masse-%	Lagerung 10 Tage im Sommerklima	Llagerung 10 Tage im Winterklima	Einzelwerte					Mittelwert	**Mittelwert, gerundet**	Trocknung	Mittelwert nach Trocknung	**Mittelwert nach 2-facher Druck-prüfung**
M.-%			kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa			kPa	kPa
0			89,3	83,8	78,5	86,4	87,6	85,1	**85**			
0_{365}			82,3	75,9	73,2	75,0	76,8	75,2	**77**			
0		X	77	76,9	74,3	76,8	81,4	77,3	**77**			
1,5	X		53,6	52,5	56,6	57,4	56,6	55,3	**55**			
1,5		X	56,0	59,3	59,8	58,5	49,6	56,6	**57**			
1,5	X	X	55,4	52,7	57	53,6	57,3	55,2	**55**			
5		X	53,5	55,7	53,9	52,8	50,8	53,3	**53**	T		**33**
50	X		54,7	51,6	49,1	49,8	53	51,6	**52**	T		**31**
50		X	50,4	49,0	49,5	51,0	50,8	50,1	**50**	T		**32**
50	X	X	51,7	47,3	50,3	50,7	48,4	49,7	**50**	T		**31**
50	X	X	66,7	66,2	65,1	60,6	61,1	63,9		T	**64**	

Abbildung 66: Einzelwerte und Mittelwerte; Druckspannung bei 10 % Stauchung nach verschiedenen Lagerungszuständen

16.6 Zusammenfassende Auswertung der Ergebnisse

Die Messungen zeigen, dass der Festigkeitsverlust der Dämmstoffe nicht in einer direkten Abhängigkeit von der eingetragenen Wassermenge steht. Deutliche Unterschiede sind auch nicht zu erkennen in Bezug auf die Belastung mit Sommer- oder Winterklima oder beidem. Auch ob die Proben über einen Zeitraum von 10 Tagen den Klimabedingungen ausgesetzt wurden oder doppelt so lange, scheint keinen Einfluss auf die Festigkeit zu haben.

Bereits geringe Feuchtegehalte haben einen entscheidenden Einfluss auf die Druckbelastbarkeit des Dämmstoffs. Höhere Feuchtegehalte führen nur in relativ geringem Umfang zur zusätzlichen Verringerung der Druckbelastbarkeit. Da ein geringer Feuchtegehalt nicht zuverlässig vermeidbar ist, kann aus einem höheren Feuchtegehalt nicht zwingend auf eine nennenswerte Schädigung geschlossen werden. (Der Einfluss des Feuchtigkeitsgehaltes auf die Dämmwirkung des Materials wird im Abschnitt 8.1 behandelt.)

Zumindest über den relativ kurzen Messzeitraum lässt sich der Festigkeitsverlust in Abhängigkeit vom Durchfeuchtungsgrad wie folgt darstellen:

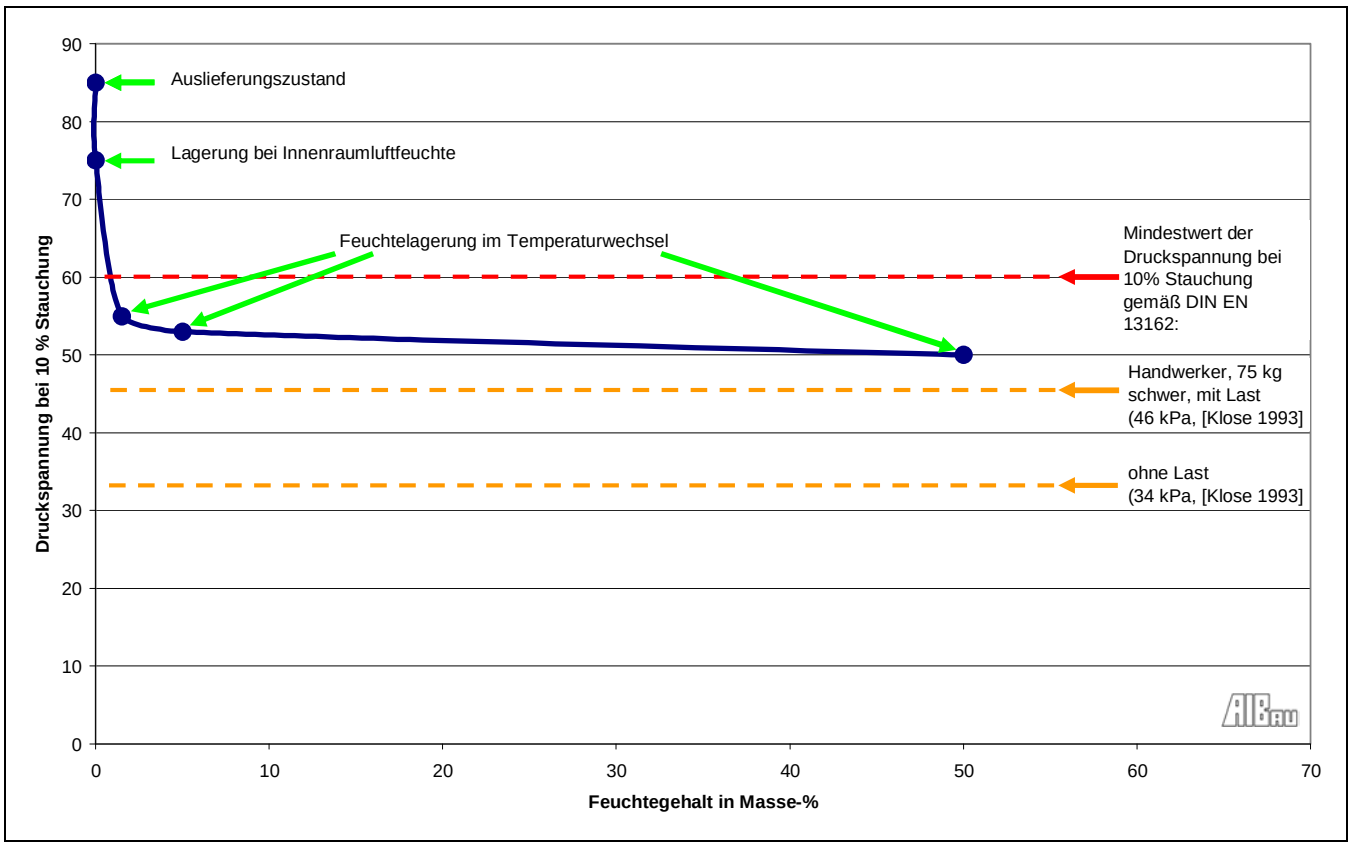


Abbildung 67: Druckspannung bei 10 % Stauchung in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt

Die im Dämmstoff eingeschlossene Feuchte führt zwar offensichtlich schon bei geringen Mengen zu einem merklichen Verlust an Druckbelastbarkeit und zu einem Absinken unter die Nennfestigkeit bzw. den Norm-Grenzwert von 60 kPa, liegt aber noch über den kritischen Werten in Bezug auf die Soll-Festigkeit, die nach Einschätzung aus Herstellerkreisen etwa 35 kPa als typischen Wert eines nicht genutzten Daches nicht unterschreiten sollte.

Zusammenfassend lassen die Messungen erkennen, dass Feuchte im Dämmstoff sowohl einen temporären als auch einen irreversiblen Einfluss auf die Festigkeit hat, dass dieser aber zunächst unabhängig vom Grad der Durchfeuchtung ist, und dass ein wesentlich stärkerer Einfluss in der mechanischen Belastung des Dämmstoffs liegt. Zumindest gilt dies für die hier untersuchten Steinwolle-Dämmstoffe mit großer Rohdichte und Druckbelastbarkeit.

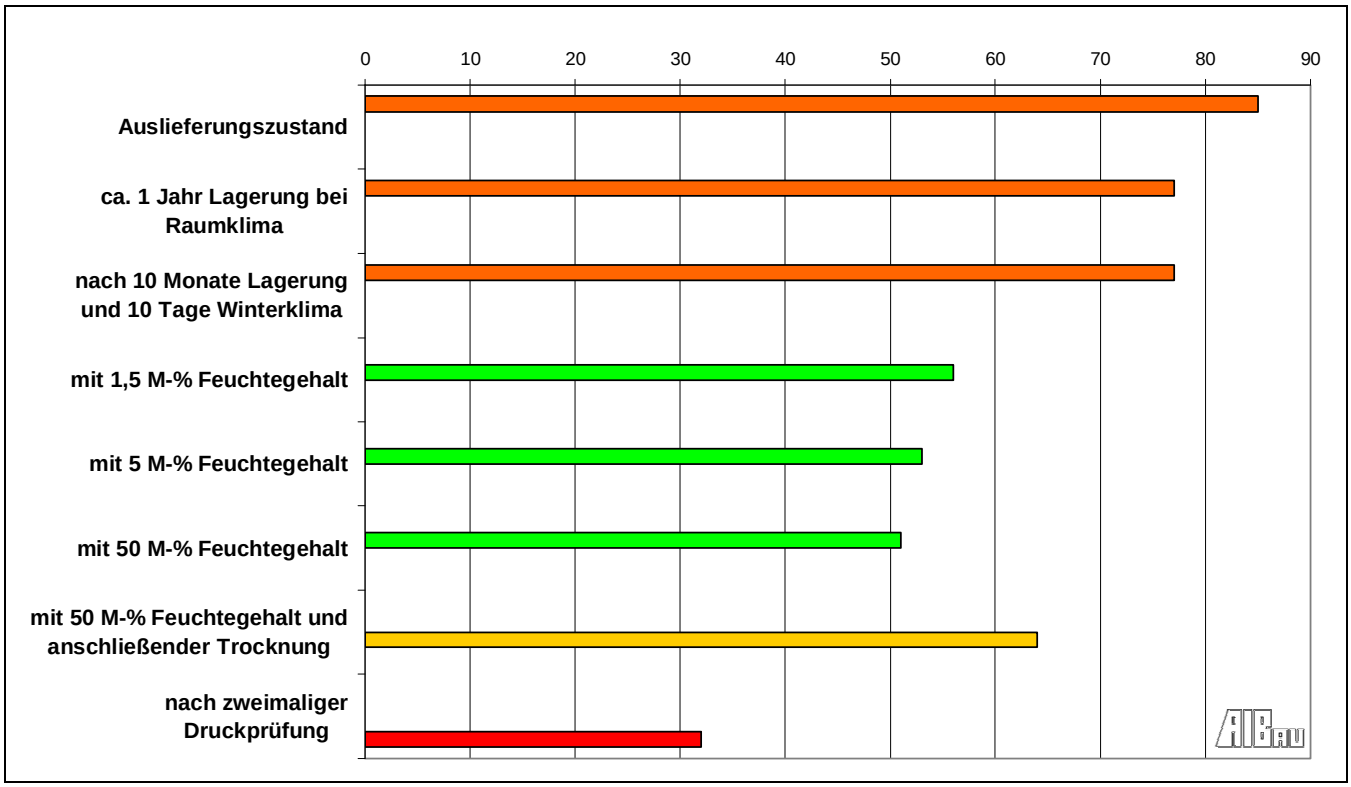


Abbildung 68: Zusammenfassung der Messergebnisse (Mittelwerte), Druckspannung bei 10 % Stauchung in kPa und verschiedenen Lagerungsbedingungen

17. Schlussfolgerungen

Aus den Untersuchungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

1. Feuchtigkeit im Mineralwolle-Dämmstoff reduziert dessen Druckbelastbarkeit. Die Höhe des Feuchtigkeitsgehaltes ist dabei von untergeordneter Bedeutung.

Mineralwolledämmstoffe mit hohem Feuchtegehalt können eine hohe Druckbelastbarkeit aufweisen. Der Grad der Durchfeuchtung ist alleine betrachtet kein hinreichendes Kriterium für eine wesentliche Funktionseinschränkung des Dämmstoffs hinsichtlich seiner Druckbelastbarkeit.

In Bezug auf die Druckspannung bei 10 % Stauchung ist nur ein relativ geringer Unterschied festzustellen zwischen einem Dämmstoff mit einem Feuchtegehalt von 1,5 Masse-% – ehemals als Ausgleichsfeuchte bezeichnet – und einem Dämmstoff mit deutlich höherem Feuchtegehalt von z. B. 50 M.-%. Gegenüber dem Zustand bei Auslieferung (85 kPa) sinkt die Druckspannung bei 10% Stauchung bei der Laborprüfung bei 1,5 M.-% auf 55 kPa, bei 50 M.-% nur wenig mehr auf 52 kPa. Sie liegen damit auch nicht wesentlich unter dem Normwert von 60 kPa.

Die Ergebnisse decken sich mit den Praxisfällen, bei denen festgestellt wurde, dass die Druckbelastbarkeit von Dämmstoffen mit hohen Feuchtegehalten nicht einheitlich herabgemindert war, sondern die Mineralwolle zum Teil weiterhin eine ähnliche Formstabilität wie ein neu verlegter Dämmstoffs aufwies.

Da auf Dächern eine gewisse Durchfeuchtung beim Einbau nur schwer vermeidbar ist, sollten die Hersteller von Mineralwolledämmstoffen realistische und technisch begründete Grenzwerte der Feuchtebelastung nennen.

2. Die Veränderung der Wärmeübertragung durchfeuchteter Mineralwolledämmung ist zur Zeit nicht eindeutig quantifizierbar.

Die Ergebnisse älterer, wissenschaftlicher Untersuchungen, die den Wärmetransport in durchfeuchteter Mineralwolle quantifizieren, sind umstritten. Neuere Berechnungen und Validierungen liegen zur Zeit nicht vor.

Mineralwolle kann, wie die Praxis bei Schadensfällen zeigt, erhebliche Mengen an Feuchtigkeit aufnehmen, auch wenn sie hydrophobiert ist. Aufgrund der bislang noch wenig untersuchten Feuchtetransportvorgänge in Mineralwolledämmstoffen muss davon ausgegangen werden, dass frühere Messungen der Veränderungen der Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt nicht mehr gültig sind. Es wird unterschieden zwischen der Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs und den durch den Feuchtetransport auftretenden Energieströmen. Zurzeit ist davon auszugehen, dass die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs selbst nicht verändert wird. Der Wärmetransport eingeschlossener, diffundierender Feuchtigkeit mit Veränderungen des Aggregatzustands muss noch wissenschaftlich untersucht werden. Entsprechende Untersuchungen finden auf internationaler Ebene statt. Wenn der Dämmstoff allerdings durch einen deutlichen Dickenverlust geschädigt ist, ist der Wärmedurchlasswiderstand selbstverständlich mindestens im gleichen Maße reduziert.

3. Weiche Dämmstoffe sind primär Folge zu hoher und/oder wiederholter Druckbelastung.

In vielen Fällen ist davon auszugehen, dass die Verminderung der Druckbelastbarkeit von Mineralwolledämmstoffen nicht in erster Linie auf Feuchtigkeit, sondern auf erhöhte mechanische Belastung, z. B. durch Transportarbeiten auf der fertig gestellten Dachfläche, zurückzuführen ist.

Die Labormessungen zeigen, dass bereits eine einfache Wiederholung der Druckprüfung zu einer wesentlich deutlicheren Abnahme der Druckbelastbarkeit führt als ausschließlich der Einfluss von hoher Feuchtebelastung. Eine Messung der Druckspannung bei 10 % Stauchung ergibt nach Durchfeuchtung mit 50 M.-% und Temperaturwechsellagerung eine Abnahme auf ca. 52 kPa, einen Wert, der nicht erheblich unter dem Nennwert von 60 kPa liegt – nach einer weiteren Druckprüfung fällt der Wert aber bereits auf ca. 32 kPa.

Dies entspricht auch der Erfahrung des Großteils der Sachverständigen, die die Ursache weicher Dämmstoffe ebenfalls überwiegend in der wiederholten mechanischen Belastung sehen.

4. Die zulässige Stauchung eingebauter Dämmstoffe sollte nicht von der Normprüfung bei 10 % Stauchung abhängig gemacht werden.

Weiche Dämmstoffe beeinträchtigen ab einem bestimmten Grad die Funktionstauglichkeit des Daches erheblich. Für die Beurteilung eines notwendigen Austauschs fehlen jedoch objektive Grenzwerte, die für alle Schadensfälle anwendbar wären. Der naheliegende Grenzwert wäre der für die Druckspannung bei 10 % Stauchung, den die Hersteller für den Auslieferungszustand ihrer Dämmstoffe angeben. Dieser kann aber nicht allgemein als Richtwert für einen eingebauten Dämmstoff gelten, da der Wert allein nicht hinreichend eine Funktionseinschränkung des Dachaufbaus beschreibt: Diese ist in erster Linie von der Art der Abdichtung, deren Befestigungssystem und der noch zu erwartenden mechanischen Belastung abhängig. Sie kann nicht durch einen einheitlichen Grenzwert beschrieben werden.

Bei größer werdenden Dämmstoffdicken bis zu 20 cm ist auch die Dickenabhängigkeit der Normprüfung zu berücksichtigen. Bei gleicher Nennfestigkeit wird das absolute Maß einer Dickenreduzierung größer. Vom Wert der Druckspannung bei 10 % Stauchung kann also nicht auf das Maß der möglichen Verformung geschlossen werden, wenn dabei nicht die Dämmstoffdicke berücksichtigt wird. Für die Beurteilung „weicher“ Dämmstoffe ist daher das auf dem Dach ermittelte Verformungsmaß wichtiger als der relativ abstrakte Wert einer Labormessung der Druckspannung bei 10 % Stauchung.

5. Eine Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit ist von den Bedingungen des Einzelfalls abhängig.

Ein Austausch der Wärmedämmung muss dann erfolgen, wenn die Schädigung der Dachabdichtung aufgrund eines zu weich gewordenen Dämmstoffs bzw. eines lang anhaltend zu hohen Feuchtegehalts die Komponenten der Dachabdichtung bzw. Dachkonstruktion schädigen könnte oder der Wärmeschutz allein schon durch den Dickenverlust merklich vermindert wird.

Schädigungsmechanismen sind z. B. mechanische Überbelastung der Dachabdichtung aufgrund von Scherbelastung an mechanischen Befestigern oder Korrosionsbelastung der Verbindung mechanischer Befestiger mit der Tragschale. Der Schädigungsgrad ist auch unter Berücksichtigung noch zu erwartender mechanischer Belastung durch Folgegewerke zu ermitteln.

Bei Mineralwolledämmschichten in Dächern mit loser Verlegung und Auflast werden gravierende Funktionseinschränkungen nur bei einer deutlichen Verminderung der Dämmstoffdicke vorliegen.

Bei Mineralwolledämmschichten in Dächern mit Windsogsicherung durch Verklebung ist davon auszugehen, dass die Zugfestigkeit der Dämmung senkrecht zur Plattenebene infolge Durchfeuchtung deutlich abnehmen wird.

6. Eine mechanische Belastung ist weitestgehend zu vermeiden.

Bei der Verlegung von Mineralwolledämmschichten und insbesondere dann, wenn nach Fertigstellung der Dachfläche noch weitere Gewerke die Dachfläche nutzen, sind Maßnahmen zur Minderung der mechanischen Beanspruchung zu treffen. Festgelegte Zugangsbereiche der Dachfläche (z. B. fest installierte Zugangsleitern, Türen aufgehender Gebäudeteile, Anlieferungsflächen) sind in jedem Fall durch Lastverteilungsschichten während der Bauzeit zu schützen. Lastentransporte müssen ebenfalls über Lastverteilungsschichten erfolgen.

Diese Forderung bezieht sich zunächst auf das Gewerk, das die Mineralwolle verlegt: die Dachdecker.

Darüber hinaus ist die Forderung auch den Folgegewerken klar zu machen, weil diesen die Eigenschaften der Dämmung und die Belastbarkeitsgrenzen nicht unbedingt bekannt sein müssen. Das betrifft zunächst alle Gewerke, die mit der Herstellung der Dachfläche selbst befasst sind, z. B. Glasdach- und Fassadenbauer, Dachbegrüner, Blitzschutzverleger.

Außerdem müssen auch Folgegewerke wie Lüftungsbauer und Solaranlagenmonteure dem nur begrenzt druckbelastbaren Dämmstoff durch lastverteilende Schichten Rechnung tragen.

Hierbei steht nicht nur die Bauleitung in einer erhöhten Verantwortung, sondern auch die ausschreibende Stelle, die entsprechende lastverteilende Schichten als besondere Positionen formulieren sollte.

Auch der Einsatz von höher belastbaren Dämmstoffen mit erhöhten Werten der Druckspannung bei 10 % Stauchung ist sinnvoll. Eine mechanische Überlastung des Dämmstoffs ist aber auch in diesem Fall möglich. Zukünftig sollten auch Untersuchungen an ausgeführten Praxisobjekten mit diesen höher verdichteten Dämmstoffen durchgeführt werden.

7. Empfehlung:
Bei Abnahmen und vor Arbeitsbeginn anderer Gewerke sollten die Einsinktiefen protokolliert werden!

Bei Abnahmen und vor dem Beginn der Arbeiten anderer Gewerke, die die Dachfläche begehen, sollte der Zustand der Mineralwolledämmung unter einlagigen Kunststoffbahnen anhand der Verformung der Abdichtungsoberfläche bei üblicher Belastung (Begehung) dokumentiert werden.

Eine einfache Möglichkeit ist die Dokumentation der Einsinktiefe des Fußes einer Person mit üblichem Gewicht. Bei einer gemeinsamen Begehung mit Bauleitung, Dachdecker und Nachfolgegewerk (Lüftung, Klima, Begrünung, Solargeräte etc.) sollten die tiefsten Einsinkstellen markiert, kartiert und mit einem reproduzierbaren Messsystem das Maß der Verformung dokumentiert werden.

Nach Fertigstellung der weiteren Arbeiten kann dann ggf. überprüft werden, ob und inwieweit sich die Verformung durch die weiteren Arbeiten vergrößert hat. Damit besteht die Möglichkeit, evtl. später auftretende Veränderungen der Druckbelastbarkeit genauer zu quantifizieren und dem Verursacher besser zuordnen zu können.

8. Hinweise zur Beurteilung feuchter Dächer

Bei der Beurteilung durchfeuchteter Dämmstoffe ist zwischen dem Gewährleistungs- und dem Sanierungsfall zu unterscheiden.

Gewährleistungsfall:

Feuchtegehalte bis ca. 1,5 M.-% sind nicht sicher vermeidbar. Sie sollten als „übliche Beschaffenheit" bewertet werden.

Feuchtegehalte über 1,5 M.-% haben nur wenig Einfluss auf die Veränderung der Druckbelastbarkeit. Diese Aussage ist aber nur in Bezug auf die hier untersuchten Dämmstofffabrikate formulierbar. Die Beeinträchtigung des Wärmeschutzes ist zurzeit nicht genau bestimmbar. Sie entspricht jedoch mindestens einer ggf. vorhandenen Dickenreduzierung der Dämmung.

Im Zweifelsfall ist ein Austausch erforderlich. Der Austausch sollte auch davon abhängig gemacht werden, ob der Hersteller der Mineralwolle-Dämmung die Gebrauchstauglichkeit bei den vorgefundenen Feuchtegehalten bestätigen kann.

Sanierungsfall:

Höhere Feuchtegehalte beeinträchtigen die Brauchbarkeit der hier untersuchten Dämmstoffe nicht generell. Sie können – unter Berücksichtigung der oben unter 5. und 6. genannten Bedingungen – beibehalten werden. Damit können die volkswirtschaftlichen Schäden begrenzt und Ressourcen geschont werden.

9. Weiterentwicklung der Dämmstoffe

Die Mineralwollehersteller sollten die Materialeigenschaften von Mineralwolledachdämmstoffen mit der Zielsetzung optimieren,

- dass nicht bereits eine geringe Feuchteeinwirkung zu einer deutlichen Verringerung der Druckbelastbarkeit führt,
- dass auch bei höherer Durchfeuchtung eine langanhaltende Funktionstüchtigkeit gewährleistet ist,
- dass die Abbauprodukte der Bindemittel bei Durchfeuchtung keine Geruchsbelästigungen verursachen.

10. Folgerungen für Regelwerke

In Regelwerken sollten bezüglich mineralwollegedämmter Flachdächer deutliche Hinweise gegeben werden, dass auf Dachflächen in Bereichen mit erhöhter oder häufiger mechanischer Belastung Druckverteilungsschichten eingebaut werden müssen.

Diese müssen entweder dauerhaft (z. B. in Zugangsbereichen, die zu Wartungszwecken regelmäßig begangen werden) oder in den Fällen von Montagearbeiten der Folgegewerke (z. B. Glasdach-, Klimaanlagen-, Solaranlagenbauer) zumindest temporär vorgesehen werden. Möglichst konkrete Angaben dazu sollten insbesondere in folgenden Regelwerken aufgenommen werden:

- DIN 4108-10 und DIN 18531
- Flachdachrichtlinien und Merkblatt Solartechnik für Dach und Wand

Ausblick

Zur Beurteilung des dauerhaften Einflusses von Feuchtigkeit sind weitere Langzeit-Laboruntersuchungen wie auch längerfristig wiederholte Untersuchungen an ausgeführten Objekten notwendig. Es sind keine Fälle bekannt, bei denen durchfeuchtete Mineralwolledämmstoffe über einen Zeitraum von 10 Jahren und

länger im Dach verblieben sind. Nach solchen Objekten sollte gesucht werden, um aus deren Zustand Aussagen über das praktische Langzeitverhalten abzuleiten.

Für die Bewertung der Veränderung des Wärmeschutzes sind ebenfalls weitere theoretische und praktische Untersuchungen erforderlich.

Ziel ist es, Flachdächer mit Mineralwolledämmungen praxistauglicher zu machen, indem begrenzte Durchfeuchtungen und Belastungsspitzen schadlos verkraftet werden und so die ökonomischen und ökologischen Nachteile eines Abbruchs vor Ablauf der erwarteten Nutzungsdauer vermieden werden.

Anlagen:
- Literaturverzeichnis
- Erhebungsbogen an Sachverständige
- Erhebungsbogen an Trocknungsfirmen
- Erhebungsboden an Hersteller
- Bericht FIW

Literaturverzeichnis

[Achtziger, Cammerer 1984]
Achtziger, J.; Cammerer, J.: Einfluss des Feuchtegehalts auf die Wärmeleitfähigkeit von Bau- und Dämmstoffen, Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau; Gräfelfing 1984, IRB-Verlag Nr. F 1988

[Achtziger, Hoffmann 1990]
Achtziger, Joachim; Hoffmann, Horst: Weiterverwendung ursprünglicher Dachaufbauten; Festigkeitseigenschaften feuchter Dämmstoffe als Beurteilungsgrundlage bei der Sanierung von Flachdächern; Mitteilungen des Forschungsinstituts für Wärmeschutz e.V., München, Reihe IV: Wärmeschutz im Wohnungsbau, Nummer 35; Sonderdruck aus „Das Dachdeckerhandwerk 16/90“

[Albrecht 2009]
Albrecht, Wolfgang: Ist der Dämmstoffmarkt noch überschaubar?- Erfahrungen und Probleme mit neuen Dämmstoffen; in: Aachener Bausachverständigentage 2009, Verlag Vieweg+Teubner, Wiesbaden 2010

[Albrecht, Koppold 2010]
Albrecht, Wolfgang; Koppold, Stefan: Langzeitverhalten von Dämmstoffen; in: Bauphysik-Kalender 2010; Verlag Ernst & Sohn, Berlin

[Benedix 2008]
Benedix, Roland: Bauchemie; Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten, Verlag Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2008

[BGBau Mineralfaser 2010]
Umgang mit Mineralwoll-Dämmstoffen (Glaswolle, Steinwolle), Handlungsanleitung; Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft BG Bau, Ausgabe 05/2010

[DBU 2009]
“Stoffliche Verwertung von Mineralwolle“ in DBU aktuell Informationen aus der Fördertätigkeit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Mai 2009, als PDF unter www.dbu.de

[Fick 2005]
Fick, Karlfriedrich: Zweischaliges Binderdach aus Stahltrapezprofilen – Fehlende Regendichtheit an den Durchdringungen und Kondenswasserwegen durchlöcherter Luftsperre; in: Bauschadensfälle Band 8, Hrsg: Günter Zimmermann, Ralf Schumacher; IRB-Verlag, Stuttgart, 2005

[FIW 1983]
Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München: Rationelle Nutzung von Energie; Kerndämmung von zweischaligem Mauerwerk; Minderung der Wärmedämmung bei Durchfeuchtung der Dämmschicht

[FIW 1990]
Achtziger, Joachim, Dr.-Ing.; Hoffmann, Horst, Dipl.-Ing.: Weiterverwendung ursprünglicher Dachaufbauten; Festigkeitseigenschaften feuchter Dämmstoffe als Beurteilungsrundlage bei der Sanierung von Flachdächern; Mitteilungen des Forschungsinstituts für Wärmeschutz e.V. München; Sonderdruck aus Das Dachdeckerhandwerk 16/90

[FIW 2001]
Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München: „Untersuchung der Auswirkungen der Langzeitbeanspruchung unter Betriebsbedingungen sowohl im Industriebau wie auch im Bauwesen auf die Fasergeo-

metrie, Korngrößenverteilung und Stoffänderungen und damit auf die Wärmeschutzeigenschaften der Dämmstoffe“, Forschungsbericht abgeschlossen im August 2001

[GGM 2004]
Gütegemeinschaft Mineralwolle: „50 Antworten zur modernen Dämmung“, 6. Auflage, September 2008

[IVPU 2006]
Industrieverband Polyurethan-Hartschaum: „Der Marathon-Mann“: Ein neu entwickeltes Prüfverfahren simuliert wiederholte Druckbelastungen im Flachdach; www.ivpu.de; 2006

[Hohmann 2010]
Hohmann, Rainer, Materialtechnische Tabellen; in: Bauphysik-Kalender 2010, Ernst+Sohn Verlag, Berlin 2010

[Klose 1993]
Klose, Gerd Rüdiger: Zerstörerische Einflüsse auf Steinwolle-Dämmplatten; in: Das Dachdeckerhandwerk 11/93

[Klose 1994]
Klose, Gerd Rüdiger: Zusammen sind sie stark; in: Das Dachdeckerhandwerk 2/94

[Klose 1995]
Klose, Gerd Rüdiger: Aufrechtstehend dem Druck gewachsen; in: Das Dachdeckerhandwerk 20/95

[Knaut, Berg 2005]
Knaut, Jürgen; Berg, Alexander: Handbuch der Bauwerkstrocknung - Ursachen, Diagnose und Sanierung von Wasserschäden in Gebäuden, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2005

[Künzel 1986]
Künzel, Helmut: Bestimmt der volumen- oder der massebezogene Feuchtegehalt die Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen? In: Bauphysik, Heft 2, April 1986

[Künzel 1988]
Künzel, Helmut: Das Verhalten von Mineralfaserdämmstoffen gegenüber Wasser; wksb-Zeitschrift für Wärmeschutz·Kälteschutz·Schallschutz·Brandschutz; Heft 25, 1988

[Künzel 1993]
Künzel, Helmut: Das Feuchteverhalten von Mineralfaserplatten und praktischen Bedingungen, Transportmechanismen und Prüfverfahren; wksb-Zeitschrift für Wärmeschutz·Kälteschutz·Schallschutz·Brandschutz; Heft 32, 1993

[Künzel 1999]
Künzel, H.M.: Einfluss der Deckschicht auf die Temperaturverhältnisse in Flachdächern, IBP-Mitteilung 354, Fraunhofer Institut für Bauphysik 26 (1999)

[Künzel 2011]
Künzel, Hartwig: Einfluss der Feuchte auf die Wärmedämmwirkung; Vortrag beim IBP-Symposium „Dämmstoffe – Neue Erkenntnisse und Messmethoden“, Stuttgart 11. Oktober 2011

[Rockwool 2011]
Deutsche Rockwool Mineralwoll GmbH & Co. GmbH, Gladbeck: Flachdachsanierung, Ausgabe 01/2011

[Schreiner 2001]
Schreiner, Roland: Extreme Beanspruchungen und deren Auswirkungen auf die Wärmedämmwirkung von

Dämmstoffen; Mitteilungen des Forschungsinstituts für Wärmeschutz e.V. München; Sonderdruck aus Isoliertechnik, Lambda-Verlag, Gars, Heft 6/2001

[Willems, Schild, Völkner 2010]
Willems, Wolfgang m., Schild, Kai; Völkner, Stefan: Dämmstoffe im Bauwesen; in: Bauphysik-Kalender 2010, Verlag Ernst & Sohn, Berlin

[Zimmermann 2006]
Zimmermann, Günter; Ottomann, Alfred; Klopfer, Heinz; Soergel, Carl: Wasserschäden; Schadensfälle – Leckortung – Bautrocknung – Verantwortlichkeit; Fachbuchreihe Schadenfreies Bauen, Band 38, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2006

[Zirkelbach, Künzel, Bludau 2007]
Zirkelbach, Daniel; Künzel, Hartwig m.; Bludau, Christian: Durability Assessment of Glass Fibre Insulation in Flat Roof Constructions; IBP-Report HTB-12/2007

Literatur zu Mineralwolle in Wärmedämmverbundsystemen

[Cziesielski/Vogdt 2007]
Cziesielski, Erich; Vogdt, Frank: Schäden an Wärmedämmverbundsystemen; Fachbuchreihe: Schadenfreies Bauen, Hrsg.: Günter Zimmermann und Ralf Ruhnau, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage 2007, Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart.

[Fitz, Künzel 2009]
Fitz, Cornelia; Künzel, Helmut: Alterungsverhalten von Mineralwolleplatten in Wärmedämmverbundsystemen; in: Bauphysik 31 (2009), Heft 3

[Holm, Künzel 1998]
Holm, Andreas; Künzel, Hartwig M: Feuchte- und Temperaturbelastung von Mineralwolleplatten in Wärmedämmverbundsystemen, ; wksb-Zeitschrift für Wärmeschutz·Kälteschutz·Schallschutz·Brandschutz, Heft 41, 1998

[Klose 1998]
Klose, Gerd Rüdiger: Wärmedämmverbundsysteme: Verfahren zur künstlichen Alterung von Steinwolle – Dämmschichten; in: Hochbau-Ingenieur, Berichte aus Forschung und Praxis; Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. Erich Cziesielski, Hrsg: Ralf Ruhnau, Werner-Verlag, Düsseldorf, 1998

[Riedel/Oberhaus/Frössel/Haegele 2010]
Riedel, Werner; Oberhaus, Heribert; Frössel, Frank; Haegele, Wolfgang: Wärmedämmverbundsysteme; von der Thermohaut bis zur transparenten Wärmedämmung, baulino-Verlag, Waldshut-Tiengen; 2., überarbeitete Auflage 2010

Regeln zur Gesundheitsgefährdung

[TRGS 521:2008-02]
Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 521: Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle; Ausgabe Februar 2008

[TRGS 905:2008-05]
Verzeichnis krebserregender, erbgutschädigender und fortpflanzungsgefährdender Stoffe, Ausgabe Mai 2008

[EU-Richtlinie 1272/2008]
Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinie 67/548/EWG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006

[GefstoffV 2010-11]
Gefahrstoffverordnung, Fassung vom 26.November 2010, geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 28.07.2011 (BGBI. I S 1622)

Internetquellen

[www.mansea-ensan.com]
Materialdatensammlung für die energetische Altbausanierung; ein Kooperationsprojekt von Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen; Institut für Bauklimatik, Technische Universität Dresden; Zentrum für umweltbewusstes Bauen e.V, Kassel; gefördert durch Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie sowie Projektträger und Forschungszentrum Jülich; Forschungsprojekt vonEnOB und EnSan – Forschung für energieoptimiertes Bauen,

[www.fmi-mineralwolle.de]
Fachverband Mineralwolle-Industrie e.V.

[www.ral-mineralwolle.de]
GGM-Mitgliedsfirmen mit dem Recht der Führung des RAL-Gütezeichens (einschließlich Werke und Fasertypen) (Stand: Januar 2010)

[www.mineralwolle.com]
Internetauftrit des Aktionsportals:“Der Dämmstoff“ (**www.der-daemmstoff.de**) und der GKM Gütegemeinschaft Mineralwolle e.V. (www.ral-mineralwolle.de) u.a. Informationen zum RAL-Gütezeichen, Güte- und Prüfbestimmungen

[www.wecobis.de]
Ökologisches Baustoffinformationssystem des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und der Bayrischen Architektenkammer, Informationen zu Mineralwolle-Dämmstoffen in der Rubrik Bauproduktgruppen

[www.patent-de.com]
Deutsches Patentdokument zu künstlicher Mineralwolle

[www.umweltbundesamt.de]
PROBAS - Details: Mineralwolle (Februar 2010)

[www.ivpu.de]
Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V.: Der „Marathon-Mann“: Ein neu entwickeltes Prüfverfahren simuliert wiederholte Druckbelastungen im Flachdach“; 2006

Normen

[DIN EN 826:1996-05]
Wärmedämmstoffe für das Bauwesen – Bestimmung des Verhaltens bei Druckbeanspruchung, Ausgabe Mai 1996

[DIN EN 1604:2007-06]
Wärmedämmstoffe für das Bauwesen — Bestimmung der Dimensionsstabilität bei definierten Temperatur- und Feuchtebedingungen, Ausgabe Juni 2007

[DIN EN 1607:1997-01]
Wärmedämmstoffe für das Bauwesen – Bestimmung der Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene, Ausgabe Januar 1997

[DIN EN 1608:1997-01]
Wärmedämmstoffe für das Bauwesen – Bestimmung der Zugfestigkeit in Plattenebene, Ausgabe Januar 1997

[DIN EN 1609:2007-06]
Wärmedämmstoffe für das Bauwesen — Bestimmung der Wasseraufnahme bei kurzzeitigem teilweisem Eintauchen, Ausgabe Juni 2007

[DIN EN 13162:2001-10]
Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) Spezifikation, Ausgabe Oktober 2001

[DIN EN 13162:2009-02]
Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) Spezifikation, Ausgabe Februar 2009

[DIN EN 12087:2007-06]
Wärmedämmstoffe für das Bauwesen — Bestimmung der Wasseraufnahme bei langzeitigem Eintauchen, Ausgabe Juni 2007

[DIN EN 12667:2001-05]
Wärmetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten; Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommessplatten-Gerät; Produkte mit hohem und mittlerem Wärmedurchlasswiderstand; Ausgabe Mai 2001

[DIN 4108-10: 2008-06]
Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe – Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe

[DIN 18165-1:1991-07]
Faserdämmstoffe für das Bauwesen, Teil 1: Dämmstoffe für die Wärmedämmung, Ausgabe Juli 1991

[DIN 18531:2010-05]
Dachabdichtungen – Abdichtungen für nicht genutzte Dächer, Ausgabe Mai 2010

Andere Regelwerke

[Flachdachrichtlinien]
Fachregel für Abdichtungen; Regel für Abdichtungen nicht genutzter Dächer; Regel für Abdichtungen genutzter Dächer und Flächen; herausgegeben vom Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks und dem Hauptverband der Deutschen Bauindustrie, Ausgabe Oktober 2008 sowie Vorgängerversionen von 1973, 1982, 1991, 2001 und 2003

[ZVDH Merkblatt Solartechnik 2011]
Merkblatt Solartechnik für Dach und Wand, aufgestellt und herausgegeben vom Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerk – Fachverband Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik – e.V.; Ausgabe April 2011

Software

[WUFI]
WUFI pro, Version 4.2. IBP, Berechnung des hygrothermischen Verhaltens von Baukonstruktionen unter realen Bedingungen, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Stuttgart und Holzkirchen

Anlage 1: Erhebungsbogen an Sachverständige, Teil 1

Zustandsänderungen von Mineralwolle bei Durchfeuchtung
– Erhebungsbogen 1

Rückantwort

AIBAU
Aachener Institut für Bauschadensforschung
und angewandte Bauphysik gGmbH
Theresienstraße 19
52072 AACHEN
Per Fax: 0241 / 91 05 07 20

Absender:

Sehr geehrte Damen und Herren,

hiermit sende ich Ihnen den ausgefüllten Erhebungsbogen zum o.g. Forschungsprojekt zurück.

I. Ich bin ö.b.u.v. Sachverständiger für Schäden an Gebäuden ☐
Dachdeckerhandwerk ☐
Sonstiges: ..... ☐

II. Ich habe mit entsprechenden Schadensfällen zu tun gehabt
☐ Ja ☐ Nein

III. Ich stehe Ihnen auf Wunsch gerne für Rückfragen u. weitere Informationen zur Verfügung
☐ Ja ☐ Nein

Mit freundlichem Gruß

.....

(Bitte Kontaktdaten für evtl. Rückfragen angeben, soweit sie nicht im Absenderfeld enthalten sind)

Anlagen:

- ausgefüllter Erhebungsbogen 2
- weitere Anlagen: .....

Anlage 2: Erhebungsbogen an Sachverständige, Teil 2

Zustandsänderungen von Mineralwolle bei Durchfeuchtung
– Erhebungsbogen 2

1. Wie viele Schadensfälle mit durchfeuchteter Mineralwolledämmung hatten Sie in den letzten 10 Jahren schätzungsweise zu beurteilen? ..... **Fälle**

2. Welche Maßnahmen wurden überwiegend empfohlen ?

a) Beibehalten der Dämmung aufgrund geringer Schädigung ..... %
b) Beibehalten der Dämmung nach Trocknung der Dämmung ..... %
c) Austausch der Dämmung in Teilbereichen ..... %
d) Austausch der Dämmung vollständig ..... %

Summe **100 %**

3. Wie wurden die Feuchtegehalte der Dämmstoffe ermittelt?

a) Haptisch – Sensorisch (Fühlen mit der Hand) ☐
b) Gravimetrische Messung durch Rohdichte – Vergleich ☐
(wiegen und Volumen bestimmen, Rohdichte vergleichen mit Rohdichte im Lieferzustand)
c) Gravimetrische Messung durch Darren ☐
(wiegen, trocknen, wiegen bis zur Gewichtskonstanz)
d) Messgeräte: ..... (bitte eintragen) ☐

4. Welcher Durchfeuchtungsgrad wurde als Richtwert für die Beurteilung der Schädigung angesetzt ?

a) Ausgleichsfeuchte nach DIN 4108-4:1998-03 ☐
b) Sonstige Quelle: ..... (bitte eintragen) ☐

5. Hatten Sie Schadensfälle zu beurteilen, bei denen die Sanierung eines Daches mit durchfeuchteter Mineralfaserdämmung nicht zum Erfolg geführt hat?

a) ☐ Ja ☐ Nein
b) Wenn ja, können Sie uns darüber weitere Informationen mitteilen, ggf. auf einem gesonderten Blatt?
☐ Ja ☐ Nein
c) Und/oder dürfen wir Sie zu diesen Fällen telefonisch ansprechen?
☐ Ja ☐ Nein

6. Kennen Sie Fälle, in denen eine durchfeuchtete Mineralwolledämmung im Flachdach technisch getrocknet wurde?

a) ☐ Ja ☐ Nein
b) Wenn ja: War die Trocknung erfolgreich?
☐ Ja ☐ Nein ☐ nicht geprüft

(Detailliertere Angaben mit Fotos o. Skizzen sind erwünscht)

Anlage 3: Umfrage unter Trocknungsfirmen, Erhebungsbogen 1

Zustandsänderungen von Mineralwolle bei Durchfeuchtung – Erhebungsbogen 1

Rückantwort

AlBau
Aachener Institut für Bauschadensforschung
und angewandte Bauphysik gGmbH
Theresienstraße 19

52072 AACHEN

per Fax: 0241 / 91 05 07 20

Absender:

Sehr geehrte Damen und Herren,

hiermit sende ich den ausgefüllten Erhebungsbogen zum o.g. Forschungsprojekt zurück.

I. Wir haben mit entsprechenden Schadensfällen zu tun gehabt.
☐ Ja ☐ Nein

II. Wir stehen Ihnen auf Wunsch gerne für Rückfragen und weitere Informationen zur Verfügung.
☐ Ja ☐ Nein

Mit freundlichem Gruß

.....

(Bitte Kontaktdaten für evtl. Rückfragen angeben, soweit nicht im Absenderfeld enthalten)

Anlage:
- ausgefüllter Erhebungsbogen 2
- ggf. weitere Anlagen: .....

Anlage 4: Umfrage unter Trocknungsfirmen, Erhebungsbogen 2

Zustandsänderungen von Mineralwolle bei Durchfeuchtung – Erhebungsbogen 2

1. **Wie viele Schadensfälle mit durchfeuchteter Mineralwolledämmung hatten Sie in den letzten 10 Jahren schätzungsweise zu bearbeiten?**

   Anzahl Flachdachdämmung: .....Fälle

   Anzahl Estrichdämmung: .....Fälle

2. **Welche Erfahrungen haben Sie bei der Estrichdämmung gemacht:**

a. In wie vielen Fällen (ca. %) hat die Trocknung zu einer vollständigen Wiederherstellung der Gebrauchstauglichkeit geführt? .....%

b. Gab es Fälle, bei denen es nach der Trocknung nicht zu dem gewünschten Erfolg gekommen ist, wenn ja, in wie viel Fällen (ca. %) .....%

Falls es Fälle entsprechend b gab, worin lagen die Ursachen für den Misserfolg? .....%

.....

.....

3. **Welche Erfahrungen haben Sie bei der Flachdachdämmung gemacht:**

a. In wie vielen Fällen (ca. %) hat die Trocknung zu einer vollständigen Wiederherstellung der Gebrauchstauglichkeit geführt? .....%

b. Gab es Fälle, bei denen es nach der Trocknung nicht zu dem gewünschten Erfolg gekommen ist, wenn ja, in wie viel Fällen (ca. %) .....%

Falls es Fälle entsprechend b gab, worin lagen die Ursachen für den Misserfolg? .....%

.....

.....

3. **Wie wurden die Feuchtegehalte der Dämmstoffe ermittelt?**

a. Haptisch – Sensorisch (Fühlen mit der Hand) ☐

b. Gravimetrische Messung durch Rohdichte – Vergleich (wiegen und Volumen bestimmen, Rohdichte vergleichen mit Rohdichte im Lieferzustand) ☐

c. Gravimetrische Messung durch Darren (wiegen, trocknen, wiegen bis zur Gewichtskonstanz) ☐

d. Messgeräte: .....(Bitte eintragen) ☐

4. **Welcher Durchfeuchtungsgrad wurde als Richtwert für die Beurteilung des Trocknungserfolgs angesetzt ?**

a. Ausgleichsfeuchte nach DIN 4108-4:1998-03 ☐

b. Sonstige Quelle: .....(Bitte eintragen) ☐

Anlage 5: Umfrage unter Herstellern von Mineralwolledämmstoffen

Schreiben an Dämmstoffhersteller vom 18.04.2011 2

Unsere Fragen lauten:

1. Welche Empfehlungen geben Sie als Hersteller
   a) zur Feuchtebelastung der Dämmstoffe während des Einbaus:
      Welchen (Ausgleichs-) Feuchtegehalt dürfen die Dämmstoffe maximal aufweisen?
   b) Bei Schadeneintritt durch Undichtigkeit:
      Bei welchem Feuchtegehalt oder bei welcher mechanischen Schädigung oder sonstigen Randbedingungen sollten die Dämmplatten ausgewechselt werden?
   c) Worin begründen sich die Empfehlungen zu a) und b)?
   d) Bei Schädigung durch hohe mechanische Belastung - bei welchem Schädigungsgrad sollten die Dämmplatten ausgetauscht werden?
   e) Worin begründen sich die Empfehlungen zu d)?
2. a) Welche Eigenschaftsveränderungen Ihrer Dämmstoffe treten nach Ihren Erkenntnissen bei kurzfristiger und welche bei langfristiger Durchfeuchtung eines Flachdachaufbaus auf? Wirkt sich die Feuchtigkeit auf die Verbindung zwischen Faser und Klebstoff aus? Ist eine Veränderung der Haftung abhängig von der Menge der Feuchtigkeit, der Einwirkdauer, oder von den Temperaturbedingungen?
   Waren ggf. früher verwendete Klebstoffe weniger beständig gegen Feuchtigkeit als zurzeit verwendete?
2. b) Inwieweit unterscheiden sich die Eigenschaftsveränderungen in Abhängigkeit von der Art des Dämmstoffs? Gibt es Unterschiede, die sich aus dem Fasermaterial, dem Bindemittel oder aus der Rohdichte ableiten lassen?

Wir bitten Sie darum, die Fragen möglichst innerhalb von 14 Tagen zu beantworten.

Für Rückfragen steht Ihnen der Unterzeichner gerne zur Verfügung.

Mit freundlichem Gruß
Dipl.-Ing. Ralf Spilker

i.A. Dipl.-Ing. Klaus Wilmes

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V.
München
Notified Body (Anerkannte Prüfstelle) 0751 nach BauPG

Abschlussbericht

Zustandsänderungen von Mineralwolledämmstoffen in Warmdachaufbauten bei Flachdächern unter Feuchteeinwirkung

Forschungsvorhaben:	Projektnummer Z 6 – 10.08.18.7-08.31
Kurztitel:	Durchfeuchtung von Mineralwolle in Flachdächern
Fördermittelgeber:	Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR) Deutsche Rockwool GmbH & Co. OHG, Gladbeck
Antragsteller:	AIBau (Aachener Institut für Bauschadensforschung und Angewandte Bauphysik gGmbH) Theresienstr. 19, 52072 Aachen
Projektleitung:	Dipl.-Ing. Ralf Spilker

Beteiligte

Forschungsstelle:	Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München Lochhamer Schlag 4, 82166 Gräfelfing
Projektleitung:	Dipl.-Phys. Johannes Cammerer
Bearbeitung:	Gerhard Treiber Michael Zimmermann

Datum:	14.02.2012
Seiten:	35 (incl. Anlagen)
Anlagen:	21

1 Aufgabenstellung

In dem Forschungsvorhaben sollen die Auswirkungen von Durchfeuchtungen auf die Eigenschaften von Mineralwolledämmschichten in Flachdächern untersucht werden. Die Ergebnisse sollen im Hinblick auf den Instandhaltungs- und Modernisierungsbedarf bestehender Gebäude dazu beitragen, Entscheidungskriterien für die Frage zu finden, ob durchfeuchtete Dämmstoffe aus Mineralwolle in Flachdächern ausgetauscht werden müssen oder ob sie weiter im Dach verbleiben können. Die Aufgabe des FIW München ist es dabei in Laboruntersuchungen die Langzeiteinwirkung von Feuchtigkeit in Mineralwolle zu simulieren und ihren Einfluss auf die Druckspannung bei 10% Stauchung festzustellen. In den Laboruntersuchungen werden befeuchtete Prüfkörper sommerlichen und winterlichen Temperaturbedingungen bei Sonneneinstrahlung, wie sie auf einem Flachdach vorgefunden werden, ausgesetzt. Das bedeutet, dass die Unterseite der Proben auf der Innenraumtemperatur von 20 ℃ gehalten wird und der Oberseite ein typischer Temperaturtagesgang auf der Dachoberfläche im Zeitmaßstab 1:1 aufgeprägt wird, der 10 mal wiederholt wird (1 Zyklus). Dadurch soll sich ein realistischer Wasserdampf-Diffusionsstrom von unten nach oben und von oben nach unten einstellen, der zur vollständigen Aufnahme des Wassers in den Dämmstoff führt. Im Anschluss an die Temperaturwechselbelastung wird die Druckspannung bei 10 % Stauchung ermittelt.
Des Weiteren sind zum Vergleich mit der Praxis die Druckspannung bei 10 % Stauchung von aus 4 Flachdächern entnommenen Proben zu ermitteln. In einem Fall wird auch die Wärmeleitfähigkeit der feuchten Proben gemessen.

2 Prüfung der Druckspannung bei 10 % Stauchung und Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit

Die Druckspannung bei 10 % Stauchung, σ_{10}, wird gemäß DIN EN 13162 „Wärme-dämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) – Spezifikation“ und DIN EN 826 „Wärmedämmstoffe für das Bauwesen – Bestimmung des Verhaltens bei Druckbeanspruchung“ ermittelt.
Die Wärmeleitfähigkeit wird nach DIN EN 12667 „Wärmetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommessplatten-Gerät – Produkte mit hohem und mittlerem Wärmedurchlasswiderstand“ gemessen.

3 Laborprüfung auf Zustandsänderung infolge Durchfeuchtung

3.1 Probenmaterial

Für die Untersuchungen stehen Mineralwolle-Dämmplatten mit verdichteter Oberlage mit der Bezeichnung „Durock“ der Dt. Rockwool zur Verfügung. Diese Materialien kommen üblicherweise in Flachdächern zum Einsatz. Die Nenndicke beträgt 100 mm, die Rohdichte 150 kg/m³. Das Probenmaterial wurde von einem Mitarbeiter des FIW München im Oktober 2009 in Werk Neuburg/Donau entnommen. Die Prüfkörper werden aus den entnommenen Platten geschnitten und haben nach Norm eine Grundfläche von 200 mm x 200 mm. Die Proben werden bis zum Beginn der Temperaturwechselprüfung unter Laborklima-bedingungen gelagert.

3.2 Randbedingungen während der Temperaturwechselprüfung

Die Temperaturtagesgänge auf der Dachoberfläche für Sommer und Winter werden aus [1] übernommen. Dabei handelt es sich um Messungen des Fraunhofer Instituts für Bauphysik in Holzkirchen, die jeweils eine Woche lang im August und im Dezember 2006 aufgezeichnet wurden. Die Bilder 1 und 2 zeigen die in [1] angegebenen typischen Tagesgänge sowohl für den Sommer- und für den Winterfall, wie sie als Sollwertkurven in das

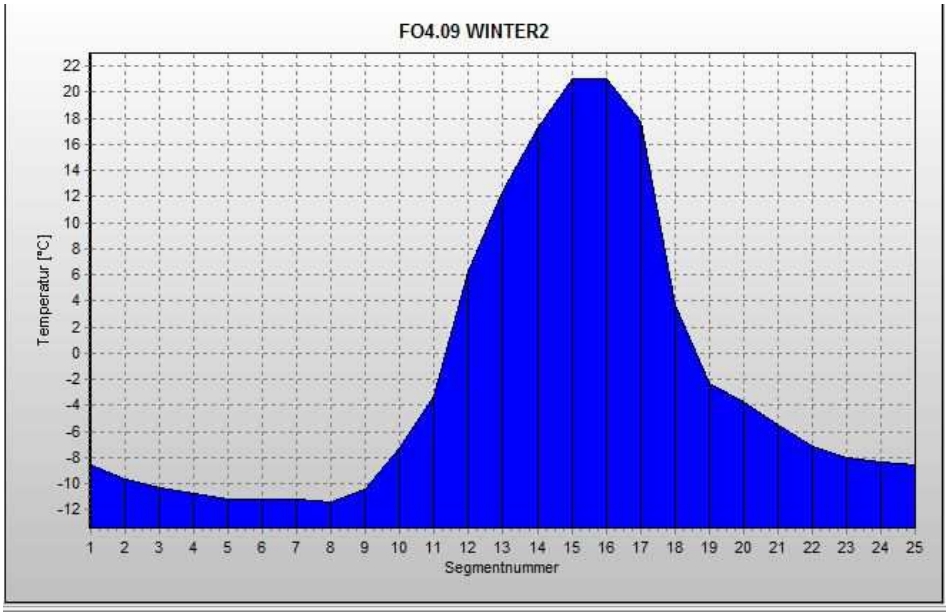


Abbildung 1: Temperaturgang auf der Oberseite der Dämmstoffproben für den Winterfall. Die Dauer von 24 Stunden ist in der Grafik in 25 Segmente unterteilt.

Steuerprogramm eingegeben werden. Die Laufzeit beider Temperaturkurven beträgt 24 Stunden, womit im Versuchsablauf jeweils 1:1 der Tagesgang der Dachoberflächen-temperatur nachgebildet und 10 Mal wiederholt wird (=1 Zyklus). Es war ursprünglich eine Steigerung zu längeren Zyklen vorgesehen. Aufgrund der Messergebnisse bei 10 Tagesgängen wurde auf die Verlängerung verzichtet.

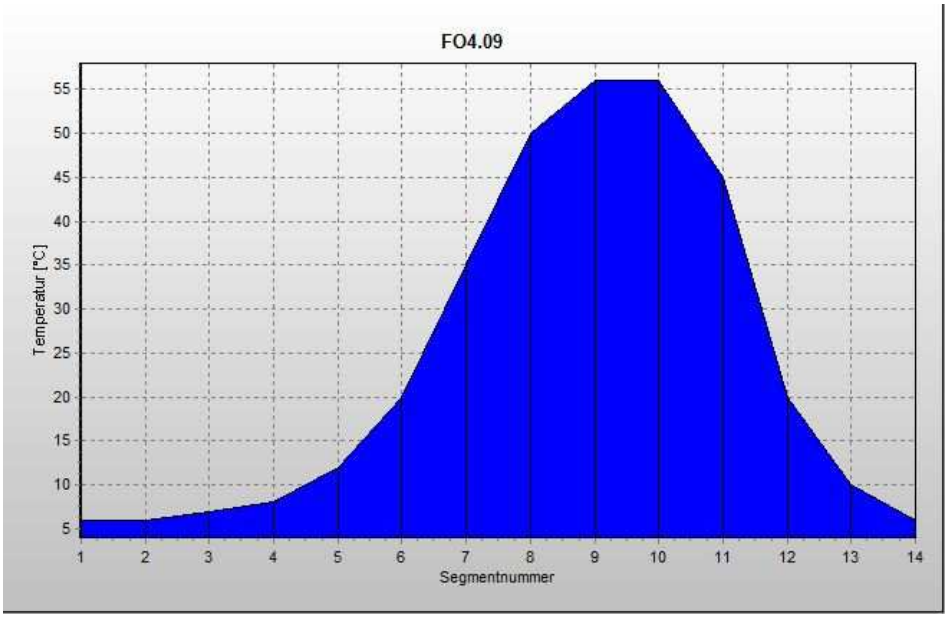


Abbildung 2: Temperaturgang auf der Oberseite der Dämmstoffproben für den Sommerfall. Die Dauer von 24 Stunden ist in der Grafik in 14 Segmente unterteilt.

Den Versuchsaufbau zur Durchführung der Temperaturwechselbelastung zeigt Bild 3.
Zwei waagerecht angeordnete Temperierplatten für die oben- und die untenseitigen Temperaturen an den Probekörpern sind an Flüssigkeitsthermostaten angeschlossen. Die untere Temperierplatte wird konstant auf 20 °C eingestellt, die obere Platte ändert ihre Temperatur entsprechend der vorgegebenen Temperaturkurve. Je drei Temperaturfühler

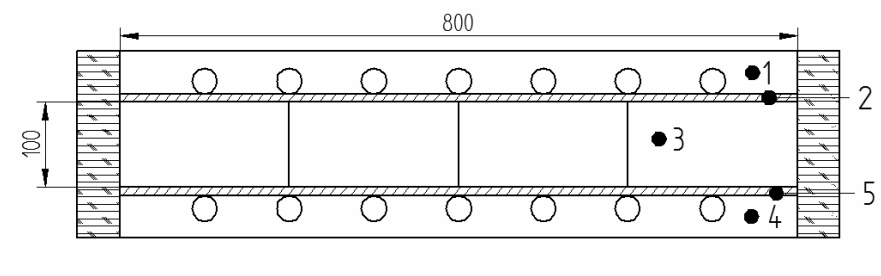


Abbildung 3: Versuchsaufbau zur Temperaturwechsellagerung der Prüfkörper
1 Rohrleitungen für die Temperierflüssigkeit oben
2 Temperierplatte aus Kupfer oben
3 Prüfkörper
4 Rohrleitungen für die Temperierflüssigkeit unten
5 Temperierplatte aus Kupfer unten

sind zur Kontrolle der Temperaturen auf den Oberflächen der Temperierplatten angebracht. Der gesamte Versuchsaufbau wird mit Wärmedämmstoff gegen Temperatureinflüsse von außen geschützt und befindet sich in einem geschlossenen Gehäuse. Dadurch wird eine gleichmäßige Temperaturverteilung für alle Prüfkörper gewährleistet.
Nach Beendigung der Temperaturwechselbelastung werden die Prüfkörper einschließlich der dampfdichten Verpackung aus dem Prüfgerät entnommen. Es wird die Masse der Prüfkörper ermittelt und unmittelbar anschließend die Druckfestigkeit geprüft.

3.3 Einbau der Prüfkörper in die Versuchsapparatur

Jeder Mineralwolleprüfkörper mit der Grundfläche 200 mm x 200 mm und der Höhe 100 mm wird in einen dampf- und wasserdichten PE-Beutel verpackt. Als massebezogene Feuchtegehalte werden 50 %, 5 % und 1,5 % in Absprache mit dem Antragsteller eingestellt. In den PE-Beutel wird die zur Erreichung des erforderlichen Feuchtegehaltes notwendige Wassermenge eingefüllt (Abbildung 4). Ein Teil des Wassers wird innerhalb einer Stunde von der Mineralwolle aufgenommen. Während der Temperaturwechselprüfung wird das Wasser dann vollständig absorbiert. Die PE-Beutel mit der Mineralwolle werden verschlossen, nebeneinander auf die untere Temperierplatte gelegt und durch seitlich angebrachte Stützen zusammengedrückt, um Luftspalten zwischen den Prüfkörpern zu vermeiden.

Abbildung 4: Mineralwollequader mit definiertem Wassergehalt in Kunststofffolie verpackt

Zwischen den beiden 800 mm x 800 mm großen Temperierplatten werden 16 Prüfkörper angeordnet. Dabei verteilt sich das noch nicht absorbierte Wasser in einer, abhängig von der eingefüllten Wassermenge, bis 1 mm dicken Schicht über die Oberflächen der Mineralwolleprüfkörper.

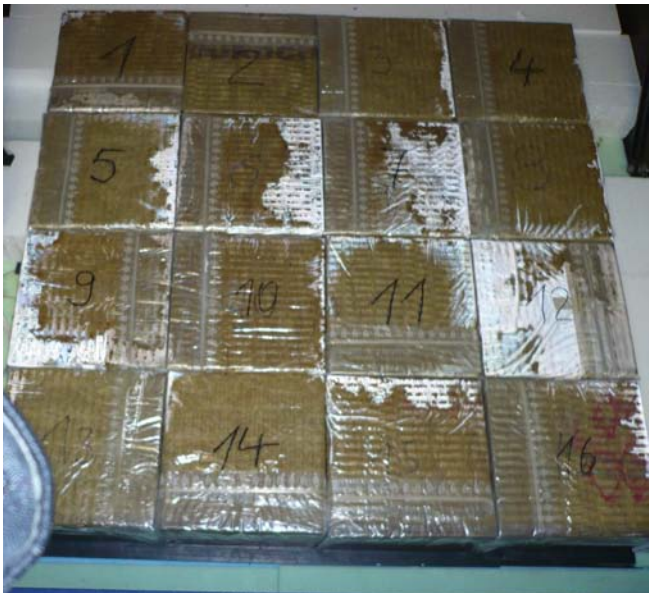


Abbildung 5: Anordnung der Mineralwollequader auf der unteren Temperierplatte

Die Prüfkörper einschließlich Verpackung und Wasser werden vor und nach der Prüfung gewogen.

3.4 Messergebnisse

Tabelle 1: Ergebnisse der Druckspannungsprüfungen unmittelbar nach der genannten Vorbehandlung

Zeile	Feuchtegehalt; Vorbehandlung	Druckspannung bei 10 % Stauchung, σ10						
1	Referenzprüfkörper, „Praktischer Feuchtegehalt“; ohne	Prüfkörper Nr.	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	Mittel-wert
		Dicke [mm]	101,3	101,6	101,8	100,9	101,2	-
		σ10[kPa]	89,3	83,8	78,5	86,4	87,6	**85**
2	50 M-%; Sommerzyklus	Nr.	*5*	*6*	*7*	*10*	*11*	-
		Dicke [mm]	102,2	101,8	101,9	102,0	102,0	-
		σ10[kPa]	54,7	51,6	49,1	49,8	53	**52**
3	50 M-%; Winterzyklus	Nr.	*17*	*18*	*19*	*20*	*21*	-
		Dicke [mm]	101,4	101,1	101,3	101,4	101,4	-
		σ10[kPa]	50,4	49	49,5	51	50,8	**50**
4	50 M-%; Sommer- und Winterzyklus	Nr.	*1*	*2*	*3*	*4*	*8*	-
		Dicke [mm]	101,7	102,0	102,2	101,7	101,6	-
		σ10[kPa]	51,7	47,3	50,3	50,7	48,4	**50**
5	5 M-%; Winterzyklus	Nr.	*22*	*23*	*24*	*25*	*26*	-
		Dicke [mm]	101,5	101,6	101,7	101,9	101,5	-
		σ10[kPa]	53,5	55,7	53,9	52,8	50,8	**53**
6	1,5 M-%; Sommerzyklus	Nr.	*41*	*42*	*43*	*44*	*45*	-
		Dicke [mm]	102,2	101,6	101,4	101,3	100,8	-
		σ10[kPa]	53,6	52,5	56,6	57,4	56,6	**55**
7	1,5 M-%; Winterzyklus	Nr.	*62*	*63*	*64*	*65*	*66*	-
		Dicke [mm]	102,2	101,5	102,0	102,1	102,0	-
		σ10[kPa]	56,0	59,3	59,8	58,5	49,6	**57**
8	1,5 M-%; Sommer- und Winterzyklus	Nr.	*46*	*47*	*48*	*49*	*50*	-
		Dicke [mm]	101,1	101,7	101,4	102,2	102,1	-
		σ10[kPa]	55,4	52,7	57	53,6	57,3	**55**
9	50 M-%; Sommer- und Winterzyklus und Trocknung	Nr.	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	-
		Dicke [mm]	101,9	101,7	101,2	102,1	102,3	-
		σ10[kPa]	66,7	66,2	65,1	60,6	61,1	**64**
10	0 M-%; Winterzyklus	Nr.	*57*	*58*	*59*	*60*	*61*	-
		Dicke [mm]	101,6	102,0	101,9	102,1	102,0	-
		σ10[kPa]	77	76,9	74,3	76,8	81,4	**77**
11	0 M-%; Lagerung ein Jahr bei Raumklima	Nr.	*67*	*68*	*69*	*70*	*71*	-
		Dicke [mm]	102,1	101,7	101,2	102,1	102,3	-
		σ10[kPa]	82,3	75,9	73,2	75,0	76,8	**77**

Die Tabelle 1 enthält die Ergebnisse der Druckspannungsprüfungen nach den Temperaturwechsellagerungen. Die Ergebnisse in den Zeilen 1 und 11 stammen von Prüfkörpern im Anlieferungszustand und nach einem Jahr Lagerung bei Raumklima. Die

während der Temperaturwechselbeanspruchung feuchten Prüfkörper werden mit Ausnahme des Versuchs Zeile 10 (trockene Prüfkörper) im feuchten Zustand der Druckspannungsprüfung unterzogen. Die Prüfkörper in den Zeilen 1, 10 und 11 werden nicht befeuchtet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Prüfkörper bei einem Feuchtegehalt von 50 Masse-% die gleiche Verminderung der Druckspannung bei 10 % Stauchung auf ca. 50 kPa aufweisen unabhängig davon, ob sie dem Sommerzyklus, dem Winterzyklus oder dem Sommer- und anschließend dem Winterzyklus ausgesetzt waren. Bei einem Feuchtegehalt von 1,5 Masse-% wird eine etwas höhere Druckspannung von ca. 56 kPa gefunden. Prüfkörper, die mit 50 Masse-% Feuchtegehalt dem Sommer-, anschließend dem Winterzyklus ausgesetzt und anschließend getrocknet werden, zeigen eine Druckfestigkeit von 64 kPa, die über der liegt, die gleich vorbehandelte Prüfkörper im feuchten Zustand aufweisen. Abschließend wird die Druckfestigkeit an zwei Sätzen trockener Prüfkörper gemessen. Der erste wurde trocken dem Winterzyklus ausgesetzt und der zweite ist einer Probe entnommen, die seit Anlieferung bei normalem Raumklima gelagert wurde. Beide Sätze aus je 5 Prüfkörpern weisen eine Druckfestigkeit von im Mittel 77 kPa auf.

In den Anlagen 1-12 sind die Kraft-Stauchungsdiagramme für die Ermittlung der Druckspannungen bei 10 % Stauchung dargestellt. Hinweis: Zur besseren Lesbarkeit der Diagramme ist der Beginn der Kurven bei dem zweiten Prüfkörper und den folgenden jeweils um 2,5 % nach rechts versetzt.

3.5 Zweite Druckspannungsprüfung nach Trocknung bereits einmal druckgeprüfter Proben

Die Prüfkörper deren Ergebnisse aus der ersten Druckspannungsprüfung in Tabelle 1, Zeilen 2, 3, 4 und 5 angegeben sind, werden getrocknet und anschließend einer zweiten Druckspannungsprüfung unterzogen. Die Ergebnisse enthält Tabelle 2. Hierbei zeigt sich deutlich eine weitere Abnahme der Druckfestigkeit als Folge der ersten Druckbelastung, die durch die nochmalige Druckspannungsprüfung ermittelt wird. Die erste Druckbelastung ist bereits als „zerstörende Prüfung“ zu werten. Die Mittelwerte von 33, 32, 31 und 31 kPa liegen um etwa 38% unter den Werten der im feuchten Zustand bereits druckbelasteten Proben. Der Ursprungswert von 85 kPa ist um ca. 64 % reduziert.

Tabelle 2: Ergebnisse der zweiten Druckspannungsprüfungen im Anschluss an die genannte Vorbehandlung

Zeile	Feuchtegehalt; Vorbehandlung	Druckspannung bei 10 % Stauchung, σ10						
1	50 M-%; Sommerzyklus; Druckspannungsprüfung; Trocknung;	Nr.	*5*	*6*	*7*	*10*	*11*	-
		Dicke [mm]	101,9	101,4	102,0	101,1	101,8	-
		σ10[kPa]	32,3	30,9	28,6	34,0	33,7	**32**
2	50 M-%; Winterzyklus; Druckspannungsprüfung; Trocknung;	Nr.	*17*	*18*	*19*	*20*	*21*	-
		Dicke [mm]	100,6	101,0	101,1	101,4	101,3	-
		σ10[kPa]	32,4	29,5	32,0	30,7	31,3	**31**
3	50 M-%; Sommer- und Winterzyklus; Druckspannungsprüfung; Trocknung;	Nr.	*1*	*2*	*3*	*4*	*8*	-
		Dicke [mm]	101,4	101,8	101,8	101,6	101,9	-
		σ10[kPa]	32,2	29,8	30,8	30,9	30,1	**31**
4	5 M-%; Winterzyklus; Druckspannungsprüfung; Trocknung;	Nr.	*22*	*23*	*24*	*25*	*26*	-
		Dicke [mm]	101,2	101,2	101,1	101,5	101,1	-
		σ10[kPa]	33,2	33,5	33,2	32,8	31,3	**33**

In den Anlagen 13-16 sind die Kraft-Stauchungsdiagramme für die Bestimmung der Druckspannungen bei 10 % Stauchung dargestellt.

4 Proben aus Dachentnahmen

4.1 Allgemeines

Proben aus 4 Dachentnahmen, die vom Antragsteller durchgeführt wurden, wurden dem FIW für die Messung der Druckfestigkeit und in einem Fall der Wärmeleitfähigkeit zugesandt.

4.2 Dachentnahme Nr. 1

4.2.1 Aufgabenstellung

Die Proben Bestimmung der Masse, der Dicke, der Wärmeleitfähigkeit, der Druckspannung bei 10% Stauchung und des Feuchtegehalts.

4.2.2 Angelieferte Proben

Probeneingang: 21.07.2010, Wareneingang 3056

4.2.3 Versuchsdurchführung

Es wurden Prüfkörper mit geraden Kanten herausgeschnitten und es wurde die Wärmeleitfähigkeit bei 10 ℃ Mitteltemperatur ohne vorangegangene Trocknung gemessen. Anschließend wurden Prüfkörper mit 200 mm Kantenlänge zugeschnitten, an denen die Druckfestigkeit, σ_{10}, ermittelt wurde. Nach der Trocknung der Prüfkörper wurde der massebezogene Feuchtegehalt und die Trockenrohdichte bestimmt.

4.2.4 Messergebnisse

Die Messergebnisse enthält Tabelle 3.

In der Anlage 17 sind die Kraft-Stauchungsdiagramme für die Bestimmung der Druckspannungen bei 10 % Stauchung dargestellt.

Tabelle 3: Messergebnisse der Dachentnahme Nr. 1

Proben	Wärmeleit-fähigkeit, feucht	Druckspannung bei 10 % Stauchung, σ_{10}	Feuchte-gehalt	Dicke	Trocken-rohdichte
Nr.	W/(mK)	kPa	M-%	mm	kg/m³
1	0,0378	43,5	0,13	89,0	145
2	0,0379	25,3	0,20	90,8	140
3	0,0383	28,4	0,07	91,0	127

4.3 Dachentnahme Nr.2

4.3.1 Aufgabenstellung

Bestimmung der Masse, der Dicke, der Druckspannung bei 10 % Stauchung und des Feuchtegehalts.

4.3.2 Angelieferte Proben

Probeneingang: 24.01.2011, Wareneingang 3836

4.3.3 Versuchsdurchführung

Zur Bestimmung der Druckspannung bei 10 % Stauchung, σ_{10}, wurden Prüfkörper mit 200 mm Kantenlänge zugeschnitten. Nach der Druckspannungsprüfung wurden die Prüfkörper getrocknet und der massebezogenen Feuchtegehalt sowie die Trockenrohdichte bestimmt.

4.3.4 Messergebnisse

Die Messergebnisse enthält Tabelle 4.

In der Anlage 18 sind die Kraft-Stauchungsdiagramme für die Bestimmung der Druckspannungen bei 10 % Stauchung dargestellt.

Tabelle 4 Messergebnisse der Dachentnahme Nr. 2

Proben	Druckspannung bei 10 % Stauchung, σ_{10}	Feuchtegehalt	Dicke	Trocken-rohdichte
Nr.	kPa	M-%	mm	kg/m³
1	53,3	0,4	120,4	147
2	28,5	1,8	120,5	148
3	9,0	0,7	121,3	146
4	16,1	0,5	117,0	158
5	2,3	2,7	113,8	139

4.4 Dachentnahme Nr.3

4.4.1 Aufgabenstellung

Bestimmung der Druckspannung bei 10 % Stauchung im Anlieferungszustand, des Feuchtegehalts und der Trockenrohdichte.

4.4.2 Angelieferte Proben

Probeneingang: 31.03.2011, Wareneingang 4117

4.4.3 Versuchsdurchführung

Zur Bestimmung der Druckspannung bei 10 % Stauchung, σ_{10}, wurden Prüfkörper zugeschnitten. Wegen der ausreichenden Größe der Prüfkörper wurden 5 Prüfkörper mit 300 mm Kantenlänge zugeschnitten, die beiden restlichen mit 200 mm. Nach der

Druckspannungsprüfung wurden die Prüfkörper getrocknet und der massebezogenen Feuchtegehalt sowie die Trockenrohdichte bestimmt.

4.4.4 Messergebnisse

Die Messergebnisse enthält Tabelle 5.

In den Anlagen 19 und 20 sind die Kraft-Stauchungsdiagramme für die Bestimmung der Druckspannungen bei 10 % Stauchung dargestellt.

Tabelle 5 Messergebnisse der Dachentnahme Nr. 3

Proben	Druckspannung bei 10 % Stauchung, σ_{10}	Feuchtegehalt	Dicke	Trockenroh-dichte
Nr.	kPa	M-%	mm	kg/m³
1	20,2	0,6	121,2	140
2	5,1	0,6	118,0	138
3	21,4	0,7	121,0	146
4	3,7	3,1	118,9	140
5	29,7	0,5	118,0	141
6	68,3	0,5	119,7	147
7	2,6	0,9	111,4	145

4.5 Dachentnahme Nr.4

4.5.1 Aufgabenstellung

Bestimmung der Druckspannung bei 10 % Stauchung im Anlieferungszustand, des Feuchtegehalts und der Trockenrohdichte.

4.5.2 Angelieferte Proben

Probeneingang: 18.04.2011, Wareneingang 4205

4.5.3 Versuchsdurchführung

Zur Bestimmung der Druckspannung bei 10 % Stauchung, σ_{10}, wurden Prüfkörper zugeschnitten. Wegen der ausreichenden Größe der Prüfkörper wurden beide Prüfkörper mit 300 mm Kantenlänge zugeschnitten. Nach der Druckspannungsprüfung wurden die Prüfkörper getrocknet und der massebezogenen Feuchtegehalt sowie die Trockenrohdichte bestimmt.

4.5.4 Messergebnisse

Die Messergebnisse enthält Tabelle 6.

In der Anlage 21 sind die Kraft-Stauchungsdiagramme für die Bestimmung der Druckspannungen bei 10 % Stauchung dargestellt.

Tabelle 6 Messergebnisse der Dachentnahme Nr. 4

Proben	Druckspannung bei 10 % Stauchung σ_{10}	Feuchtegehalt	Dicke	Trockenroh-dichte
Nr.	kPa	M-%	mm	kg/m³
1	67,5	2,7	119,7	160
2	59,4	84,0	118,2	176

5. Zusammenfassung

Es ist zu untersuchen, welchen Einfluss eine Durchfeuchtung von Mineralwolledämmstoffen in Warmdachaufbauten auf die Druckspannung bei 10% Stauchung des Dämmstoffs hat. Dazu werden Prüfkörper mit unterschiedlichen Feuchtegehalten hergestellt, die in einem Laborversuch den Temperaturrandbedingungen auf einem Flachdach unterworfen werden. Auf der Unterseite des Wärmedämmstoffs werden konstant 20 ° C eingestellt. Auf der Oberseite, auf der die Dachhaut aufliegt, werden im Zeitmassstab 1:1 jeweils 10 Temperaturtagesgänge (= 1 Zyklus) eingestellt. Dabei werden Sommer- und Wintertemperaturgänge simuliert. Die Feuchtegehalte des Mineralwolledämmstoffs betragen dabei 50 M-%, 5 M-%, 1,5 M-% und 0 M-%. Unmittelbar anschließend an die Temperaturwechsellagerung wird an den Prüfkörpern die Druckspannung bei 10% Stauchung, σ_{10}, mit folgenden Ergebnissen ermittelt: Die Druckspannung bei 10 % Stauchung eines feuchten Dämmstoffs nimmt gegenüber der eines fabrikneuen Produktes ab. Dabei ist zwischen Winter- und Sommertemperaturen (je 10 Tage) und auch Sommer- gefolgt von Wintertemperaturen (insgesamt 20 Tage) kein signifikanter Unterschied feststellbar. Bei dem Feuchtegehalt 50 M-% liegt die Druckspannung bei 10 % Stauchung in jedem Fall zwischen 50 und 52 kPa, beim Feuchtegehalt 1,5 M-% im Mittel bei 56 kPa. Ohne Feuchtigkeit wird sowohl für die Lagerung bei Raumklima über ein Jahr als auch für den simulierten Wintertemperaturzyklus im Prüfgerät der Wert 77 kPa ermittelt. Eine nochmalige Druckspannungsprüfung an

Prüfkörpern, die nach der ersten Druckprüfung bei 70 ℃ getrocknet wurden, ergibt weiter abnehmende Werte für die Druckspannung bei 10 % Stauchung.

Die Ergebnisse der Dachentnahmen zeigen sehr unterschiedliche Werte für die Druckspannung bei 10 % Stauchung. Sie variieren zwischen ca. 2 und 68 kPa. Eine weitergehende Beurteilung kann hier nur bei einer genaueren Kenntnis der jeweiligen Vorgeschichte des Dämmstoffs erfolgen.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens konnten Feuchtehalte der Mineralwolle nur stichprobenartig der Temperaturwechselbelastung ausgesetzt werden. Weitere Erkenntnisse könnte eine systematische Untersuchung kleinerer Feuchtegehalte auch bei längeren Zyklen beitragen.

Interessant wäre auch die mittlere Wärmeleitfähigkeit feuchter Mineralwolle in einem Laborversuch unter instationären Temperaturbedingungen im Sommer und Winter zu messen.

6. Literatur

[1] Zirkelbach, D.; Künzel, H.M.; Bludau, C.: Design of mineral fibre durability test based on hygrothermal loads in flat roofs. 11DBMC international Conference on Durability of Building Materials and Components ISTANBUL – TURKEY, May 11-14th, 2008

Anlagen 1-21

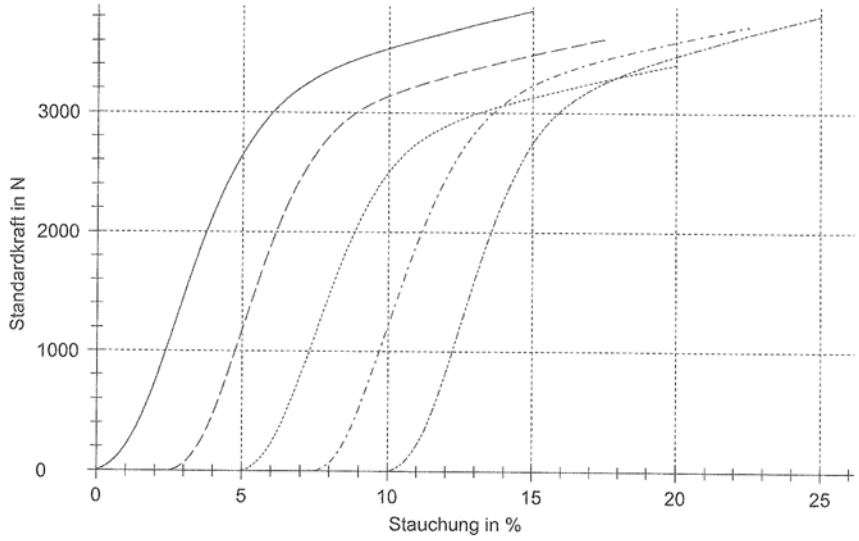
Bitte beachten: Der Beginn der Kurven bei dem zweiten Prüfkörper und bei den folgenden ist jeweils um 2,5 % nach rechts versetzt.

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m³	E_{low} N	E_{high} N	E* kPa	F_{max} N	Xm %	σm kPa	σ2 kPa	σ10 kPa	σx kPa	Bemerkung
1	13.11.2009	201,0	201,1	101,3	156,1	808	1337	1826	3853	-	-	36,6	89,3	-	
2		201,1	201,1	101,6	150,2	809	1448	1858	3616	-	-	37,1	83,8	-	
3		201,1	201,4	101,8	150,9	810	1507	1715	3404	-	-	34,3	78,5	-	
4		201,2	201,1	100,9	148,5	809	1590	1742	3725	-	-	34,8	86,4	-	
5		201,0	201,2	101,2	156,8	809	1590	1914	3814	-	-	38,3	87,6	-	

Probengrafik:



Auswertung:

Serie n = 5	A_0 cm²	Dichte kg/m³	F_{max} N	E* kPa	Xm %	σm kPa	σ2 kPa	σ10 kPa	σx kPa
min	404	148,5	3404	1715	-	-	**34,3**	78,5	-
max	405	156,8	3853	1914	-	-	**38,3**	89,3	-
x	405	152,5	3682	1811	-	-	**36,2**	85,1	-

Serie n = 5	σm kPa	Xm %	σ10 kPa
x	-	-	85

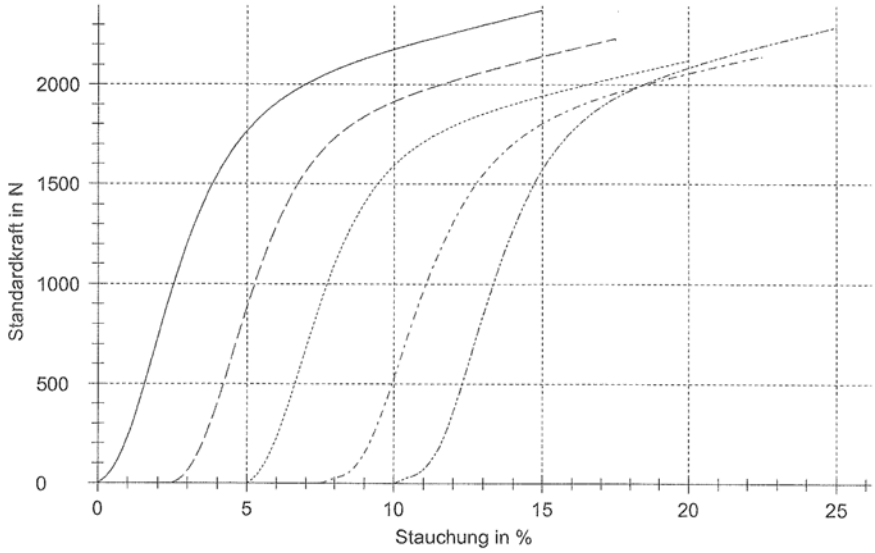
Anlage 1: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper im Anlieferungszustand. Messung 13.11.2009

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l	b	d0	Dichte	E_{low}	E_{high}	E*	F_{max}	Xm	σm	σ2	σ10	σx	Bemerkung
		mm	mm	mm	kg/m³	N	N	kPa	N	%	kPa	kPa	kPa	kPa	
1	14.04.2010	200,4	200,9	102,2	148,8	396	1118	1273	2372	-	-	25,4	54,7	-	Probe 5
2		200,0	200,3	101,8	147,6	394	1112	1185	2229	-	-	23,8	51,6	-	Probe 6
3		199,8	200,1	101,9	145,7	393	903	1172	2121	-	-	23,3	49,1	-	Probe 7
4		202,5	199,5	102,0	141,5	397	912	1114	2141	-	-	22,2	49,8	-	Probe 10
5		200,1	201,8	102,0	144,2	397	912	1206	2286	-	-	24,0	53,0	-	Probe 11

Probengrafik:



Auswertung:

Serie	A_0	Dichte	F_{max}	E*	Xm	σm	σ2	σ10	σx
n = 5	cm²	kg/m³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	400	141,5	2121	1114	-	-	**22,2**	**49,1**	-
max	404	148,8	2372	1273	-	-	**25,4**	**54,7**	-
x̄	402	145,6	2230	1190	-	-	**23,7**	**51,6**	-

Serie	σm	Xm	σ10
n = 5	kPa	%	kPa
x̄	-	-	52

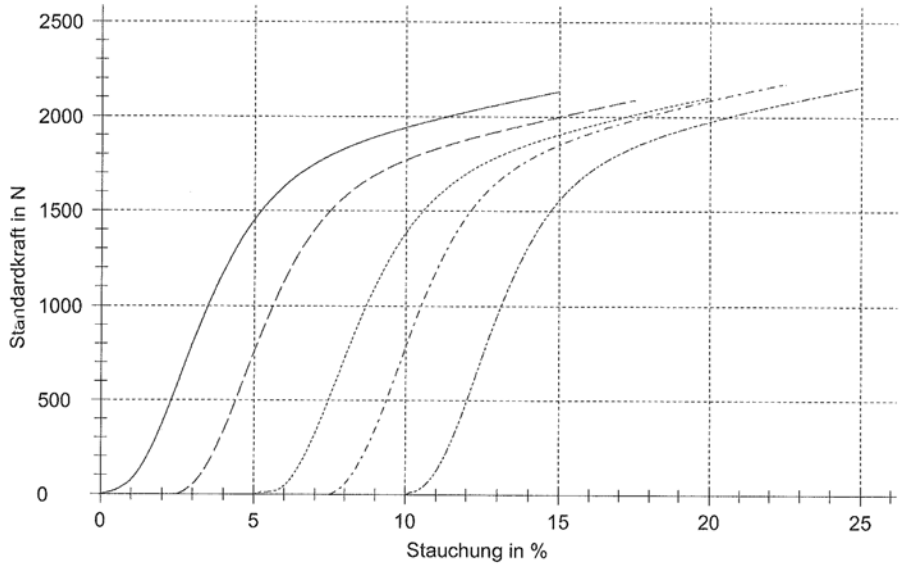
Anlage 2: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper nach dem Sommerzyklus. Feuchtegehalt 50 M-%

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m³	E_{low} N	E_{high} N	E* kPa	F_{max} N	Xm %	σm kPa	σ2 kPa	σ10 kPa	σx kPa	Bemerkung:
1	04.05.2010	198,8	198,5	101,4	144,0	346	770	1087	2133	-	-	21,7	50,4	-	Probe 17
2		198,1	198,9	101,1	144,6	358	769	1078	2088	-	-	21,5	49,0	-	Probe 18
3		198,5	199,5	101,3	143,8	360	773	1044	2101	-	-	20,9	49,5	-	Probe 19
4		199,5	198,2	101,4	148,1	449	945	1131	2175	-	-	22,6	51,0	-	Probe 20
5		198,4	199,4	101,4	145,3	449	945	1160	2156	-	-	23,2	50,8	-	Probe 21

Probengrafik:



Auswertung:

Serie n = 5	A_0 cm²	Dichte kg/m³	F_{max} N	E* kPa	***Xm*** **%**	***σm*** ***kPa***	***σ2*** ***kPa***	**σ10 kPa**	***σx*** ***kPa***
min	394	143,8	2088	1044	-	-	***20,9***	**49,0**	-
max	396	148,1	2175	1160	-	-	***23,2***	**51,0**	-
$\bar{x}$	395	145,2	2131	1100	-	-	***22,0***	**50,1**	-

Serie n = 5	σm kPa	Xm %	σ10 kPa
$\bar{x}$	-	-	50

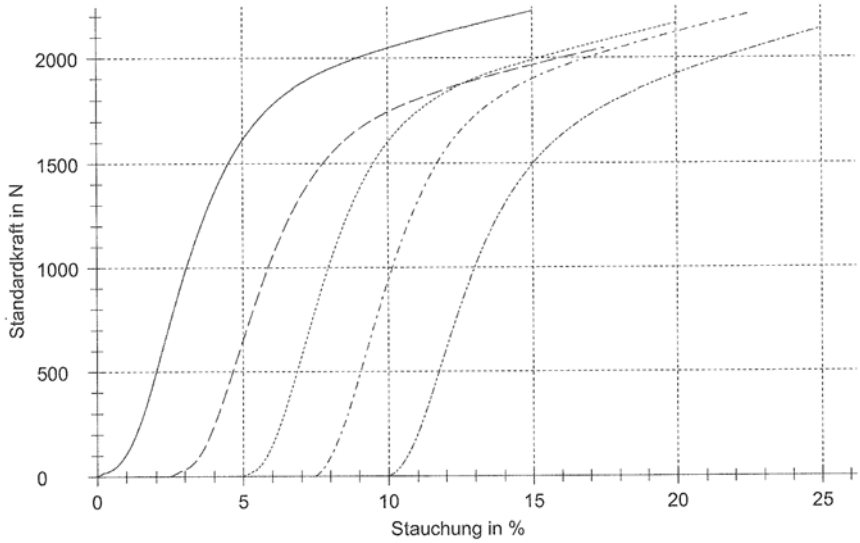
Anlage 3: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper nach dem Winterzyklus. Feuchtegehalt 50 M-%.

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m³	E_{low} N	E_{high} N	E* kPa	F_{max} N	Xm %	σm kPa	σ2 kPa	σ10 kPa	σx kPa	Bemerkung
1	04.05.2010	200,6	201,2	101,7	147,1	332	817	1221	2224	-	-	24,2	51,7	-	Probe 1
2		202,5	199,5	102,0	141,7	333	769	1051	2045	-	-	21,0	47,3	-	Probe 2
3		199,8	201,1	102,2	145,7	371	865	1181	2163	-	-	23,4	50,3	-	Probe 3
4		200,3	201,2	101,7	146,8	372	868	1173	2208	-	-	23,3	50,7	-	Probe 4
		200,6	200,4	101,6	147,4	371	866	1046	2135	-	-	20,8	48,4	-	Probe 8

Probengrafik:



Auswertung:

Serie n = 5	A_0 cm²	Dichte kg/m³	F_{max} N	E* kPa	*Xm* *%*	*σm* *kPa*	*σ2* *kPa*	σ10 kPa	*σx* *kPa*
min	402	141,7	2045	1046	-	-	***20,8***	**47,3**	-
max	404	147,4	2224	1221	-	-	***24,2***	**51,7**	-
$\bar{x}$	403	145,7	2155	1134	-	-	***22,5***	**49,7**	-

Serie n = 5	σm kPa	Xm %	σ10 kPa
$\bar{x}$	-	-	50

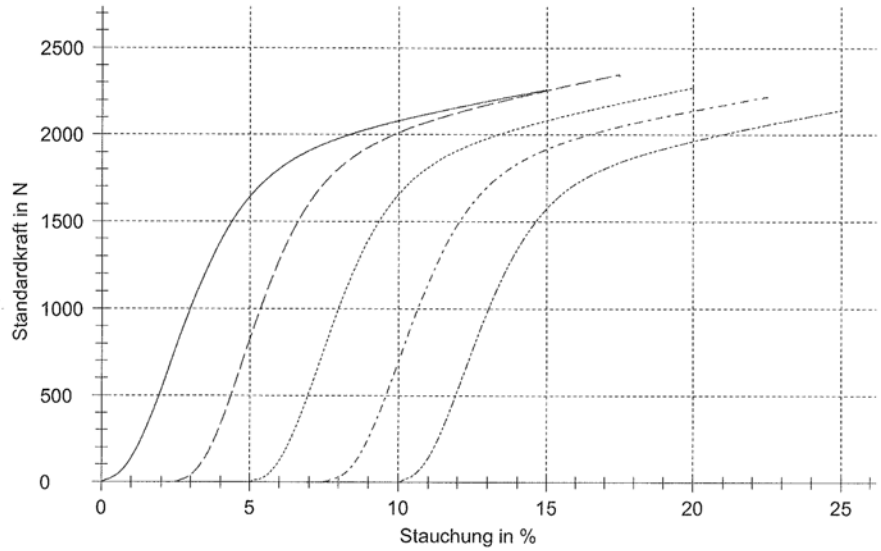
Anlage 4: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper nach Sommer- und Winterzyklus. Feuchtegehalt 50 M-%

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m³	E_{low} N	E_{high} N	E* kPa	F_{max} N	Xm %	σm kPa	σ2 kPa	σ10 kPa	σx kPa	Bemerkung:
1	04.05.2010	198,3	199,3	101,5	143,9	362	984	1200	2259	-	-	24,0	53,5	-	Probe 22
2		198,2	198,5	101,6	148,9	444	979	1286	2347	-	-	25,6	55,7	-	Probe 23
3		198,0	198,5	101,7	147,1	443	854	1248	2271	-	-	24,9	53,9	-	Probe 24
4		199,2	198,6	101,9	144,8	402	928	1197	2218	-	-	23,9	52,8	-	Probe 25
		198,2	198,4	101,5	143,0	452	922	1176	2142	-	-	23,4	50,8	-	Probe 26

Probengrafik:



Auswertung:

Serie n = 5	A_0 cm²	Dichte kg/m³	F_{max} N	E* kPa	*Xm* *%*	*σm* *kPa*	*σ2* *kPa*	σ10 kPa	*σx* *kPa*
min	393	143,0	2142	1176	-	-	***23,4***	**50,8**	-
max	396	148,9	2347	1286	-	-	***25,6***	**55,7**	-
$\bar{x}$	394	145,5	2247	1221	-	-	***24,4***	**53,3**	-

Serie n = 5	σm kPa	Xm %	σ10 kPa
$\bar{x}$	-	-	53

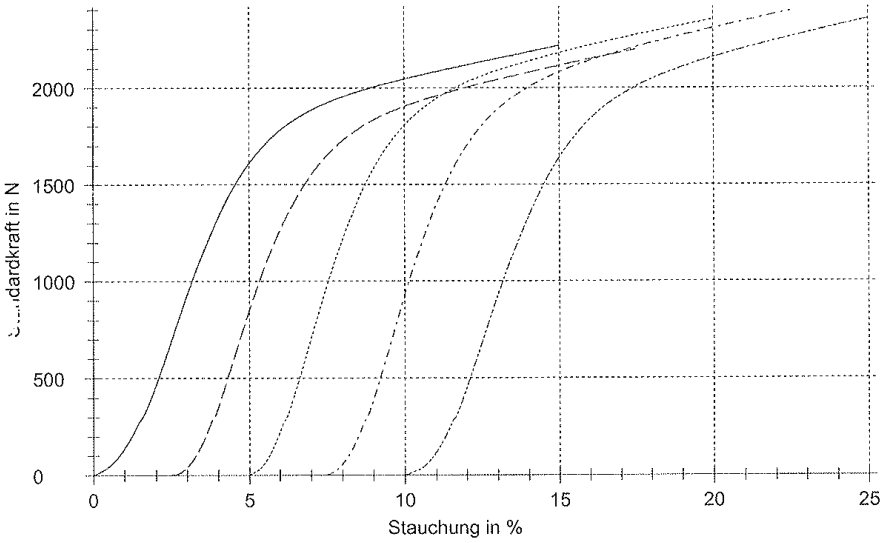
Anlage 5: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper nach dem Winterzyklus. Feuchtegehalt 5 M-%

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m³	E_{low} N	E_{high} N	E* kPa	F_{max} N	Xm %	σm kPa	σ2 kPa	σ10 kPa	σx kPa	Bemerkung:
1	13.09.2010	197,5	196,5	102,2	153,4	375	952	1182	2215	-	-	23,7	53,6	-	41
2		197,7	197,4	101,6	152,9	377	957	1274	2194	-	-	25,2	52,5	-	42
3		197,5	197,4	101,4	155,8	376	956	1380	2351	-	-	27,3	56,6	-	43
4		197,9	197,4	101,3	155,3	377	958	1392	2395	-	-	27,6	57,4	-	44
		197,5	197,0	100,8	155,9	376	954	1218	2354	-	-	24,3	56,6	-	45

Probengrafik:



Auswertung:

Serie n = 5	A_0 cm²	Dichte kg/m³	F_{max} N	E* kPa	*Xm %*	*σm kPa*	*σ2 kPa*	σ10 kPa	*σx kPa*
min	388	152,9	2194	1182	-	-	*23,7*	52,5	-
max	391	155,9	2395	1392	-	-	*27,6*	57,4	-
$\bar{x}$	390	154,7	2302	1289	-	-	*25,6*	55,3	-

Serie n = 5	σm kPa	Xm %	σ10 kPa
$\bar{x}$	-	-	55

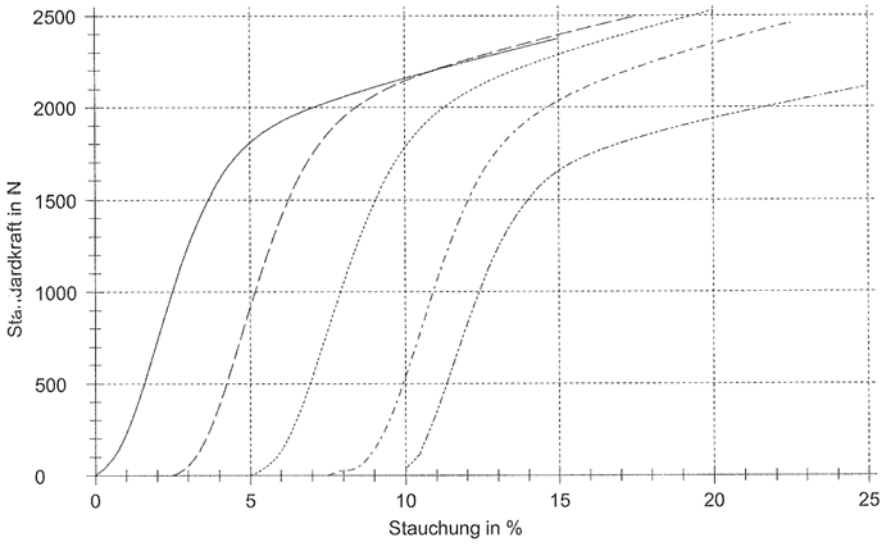
Anlage 6: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper nach dem Sommerzyklus. Feuchtegehalt 1,5 M-%

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m³	E_{low} N	E_{high} N	E* kPa	F_{max} N	Xm %	σm kPa	σ2 kPa	σ10 kPa	σx kPa	Bemerkung:
1	17.11.2010	197,8	197,6	102,2	151,1	335	1052	1384	2374	-	-	27,6	56,0	-	62
2		198,0	197,4	101,5	153,0	387	1052	1378	2494	-	-	27,5	59,3	-	63
3		197,9	197,6	102,0	153,3	424	1107	1309	2527	-	-	26,2	59,8	-	64
4		198,1	197,8	102,1	154,8	425	1109	1315	2459	-	-	26,3	58,5	-	65
		198,7	197,5	102,0	144,2	308	1003	1221	2112	-	-	24,3	49,6	-	66

Probengrafik:



Auswertung:

Serie n = 5	A_0 cm²	Dichte kg/m³	F_{max} N	E* kPa	*Xm %*	*σm kPa*	*σ2 kPa*	σ10 kPa	*σx kPa*
min	391	144,2	2112	1221	-	-	***24,3***	**49,6**	-
max	392	154,8	2527	1384	-	-	***27,6***	**59,8**	-
$\bar{x}$	391	151,3	2393	1321	-	-	***26,4***	**56,7**	-

Serie n = 5	σm kPa	Xm %	σ10 kPa
$\bar{x}$	-	-	57

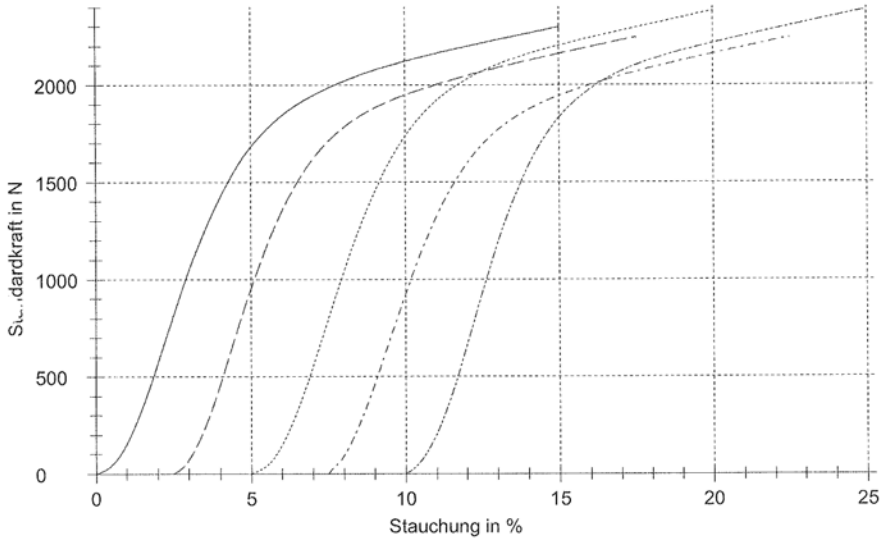
Anlage 7: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper nach dem Winterzyklus. Feuchtegehalt 1,5 M-%

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l	b	d0	Dichte	E_{low}	E_{high}	E*	F_{max}	Xm	σm	σ2	σ10	σx	Bemerkung
		mm	mm	mm	kg/m³	N	N	kPa	N	%	kPa	kPa	kPa	kPa	
1	17.11.2010	197,4	197,0	101,1	150,8	375	1005	1232	2297	-	-	24,6	55,4	-	46
2		197,5	200,5	101,7	144,4	344	998	1243	2244	-	-	24,8	52,7	-	47
3		198,6	197,5	101,4	150,1	379	1044	1233	2380	-	-	24,7	57,0	-	48
4		197,5	197,0	102,2	145,4	390	1004	1178	2244	-	-	23,5	53,6	-	49
		197,9	197,4	102,1	149,4	351	1151	1341	2386	-	-	26,9	57,3	-	50

Probengrafik:



Auswertung:

Serie	A_0	Dichte	F_{max}	E*	*Xm*	*σm*	*σ2*	σ10	*σx*
n = 5	cm²	kg/m³	N	kPa	*%*	*kPa*	*kPa*	kPa	*kPa*
min	389	144,4	2244	1178	-	-	***23,5***	**52,7**	-
max	396	150,8	2386	1341	-	-	***26,9***	**57,3**	-
$\bar{x}$	391	148,0	2310	1246	-	-	***24,9***	**55,2**	-

Serie	σm	Xm	σ10
n = 5	kPa	%	kPa
$\bar{x}$	-	-	55

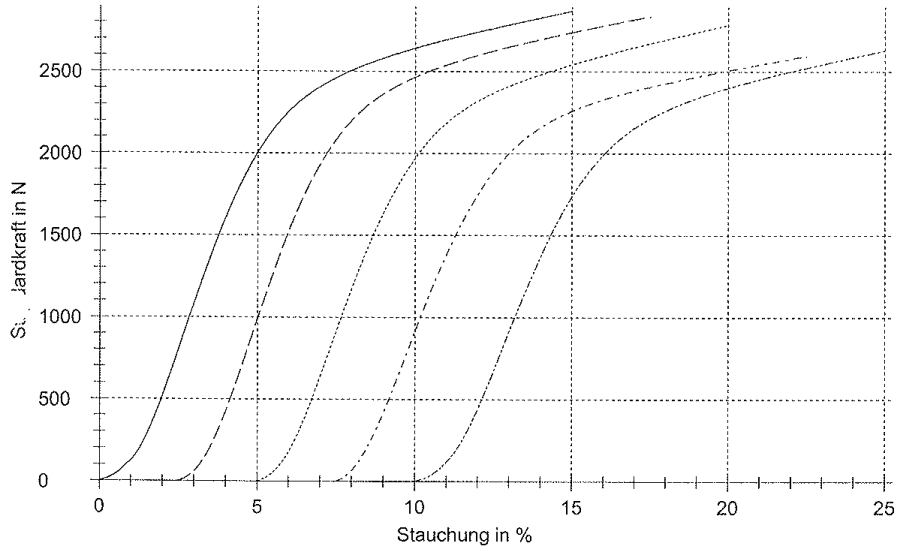
Anlage 8: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper nach Sommer- und Winterzyklus. Feuchtegehalt 1,5 M-%

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l	b	d0	Dichte	Elow	Ehigh	E*	Fmax	Xm	σm	σ2	σ10	σx	Bemerkung
		mm	mm	mm	kg/m³	N	N	kPa	N	%	kPa	kPa	kPa	kPa	
1	31.08.2010	200,0	202,0	101,9	146,6	808	1616	1339	2867	-	-	26,9	66,7	-	Nr 12
2		200,6	200,1	101,7	149,4	803	1606	1358	2834	-	-	27,2	66,2	-	Nr 13
3		200,0	198,0	101,2	146,8	792	1584	1260	2781	-	-	25,2	65,1	-	Nr 14
4		200,1	200,2	102,1	141,8	801	1602	1129	2595	-	-	22,4	60,6	-	Nr 15
		200,0	200,5	102,3	143,2	802	1604	1102	2628	-	-	21,8	61,1	-	Nr 16

Probengrafik:



Auswertung:

Serie	A0	Dichte	Fmax	E*	Xm	σm	σ2	σ10	σx
n = 5	cm²	kg/m³	N	kPa	%	kPa	kPa	kPa	kPa
min	396	141,8	2595	1102	-	-	21,8	60,6	-
max	404	149,4	2867	1358	-	-	27,2	66,7	-
x̄	401	145,6	2741	1238	-	-	24,7	63,9	-

Serie	σm	Xm	σ10
n = 5	kPa	%	kPa
x̄	-	-	64

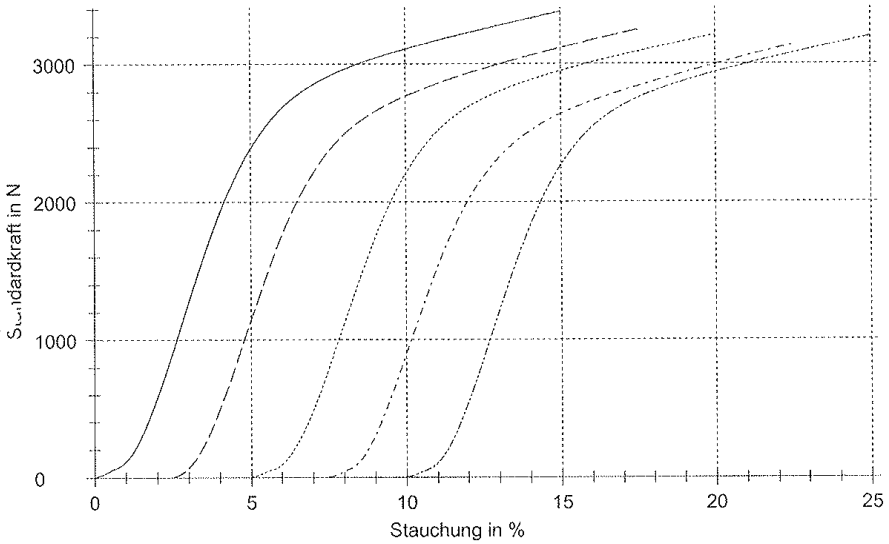
Anlage 9: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper nach Sommer- und Winterzyklus. Feuchtegehalt 50 M-%. Anschließend getrocknet und dann Prüfung der Druckspannung.

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l	b	d0	Dichte	E_{low}	E_{high}	E*	F_{max}	Xm	σm	σ2	σ10	σx	Bemerkung
		mm	mm	mm	kg/m³	N	N	kPa	N	%	kPa	kPa	kPa	kPa	
1	17.11.2010	198,0	197,5	102,0	151,5	782	1564	1804	3382	-	-	36,1	81,4	-	G1
2		198,0	197,9	101,6	150,9	784	1567	1669	3250	-	-	33,5	77,0	-	57
3		198,3	198,4	102,0	151,7	787	1574	1649	3211	-	-	33,1	76,9	-	58
4		198,2	197,5	101,9	152,1	783	1566	1607	3137	-	-	32,3	74,3	-	59
		198,1	197,7	102,1	148,2	783	1567	1714	3198	-	-	34,3	76,8	-	60

Probengrafik:



Auswertung:

Serie	A_0	Dichte	F_{max}	E*	***Xm***	***σm***	***σ2***	**σ10**	***σx***
n = 5	cm²	kg/m³	N	kPa	*%*	***kPa***	***kPa***	**kPa**	***kPa***
min	391	148,2	3137	1607	-	-	***32,3***	**74,3**	-
max	393	152,1	3382	1804	-	-	***36,1***	**81,4**	-
$\bar{x}$	392	150,9	3236	1688	-	-	***33,8***	**77,3**	-

Serie	σm	Xm	σ10
n = 5	kPa	%	kPa
$\bar{x}$	-	-	77

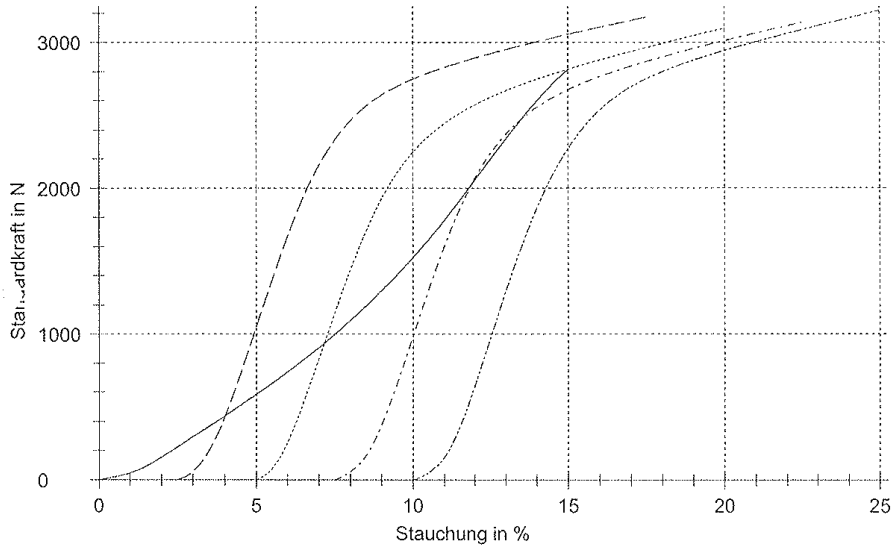
Anlage 10: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper nach dem Winterzyklus. Feuchtegehalt 0 M-%.

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l	b	d0	Dichte	E_{low}	E_{high}	E*	F_{max}	Xm	σm	σ2	σ10	σx	Bemerkung
		mm	mm	mm	kg/m³	N	N	kPa	N	%	kPa	kPa	kPa	kPa	
1	17.11.2010	198,1	197,9	101,5	150,6	784	1568	509	2813	-	-	12,8	55,8	-	67
2		198,2	197,6	101,7	147,3	783	1567	1649	3173	-	-	33,0	75,9	-	68 2.druckfalsc
3		197,6	197,4	101,8	148,5	744	1447	1564	3099	-	-	31,4	73,2	-	69
4		197,7	197,4	102,1	147,1	556	1448	1636	3137	-	-	32,8	75,0	-	70
5		197,8	197,6	102,0	151,6	557	1450	1655	3218	-	-	33,1	76,8	-	71

Probengrafik:



Auswertung:

Serie	A_0	Dichte	F_{max}	E*	*Xm*	*σm*	*σ2*	σ10	*σx*
n = 5	cm²	kg/m³	N	kPa	*%*	*kPa*	*kPa*	kPa	*kPa*
min	390	147,1	2813	509	-	-	*12,8*	55,8	-
max	392	151,6	3218	1655	-	-	*33,1*	76,8	-
$\bar{x}$	391	149,0	3088	1403	-	-	*28,6*	71,4	-

Serie	σm	Xm	σ10
n = 5	kPa	%	kPa
$\bar{x}$	-	-	71

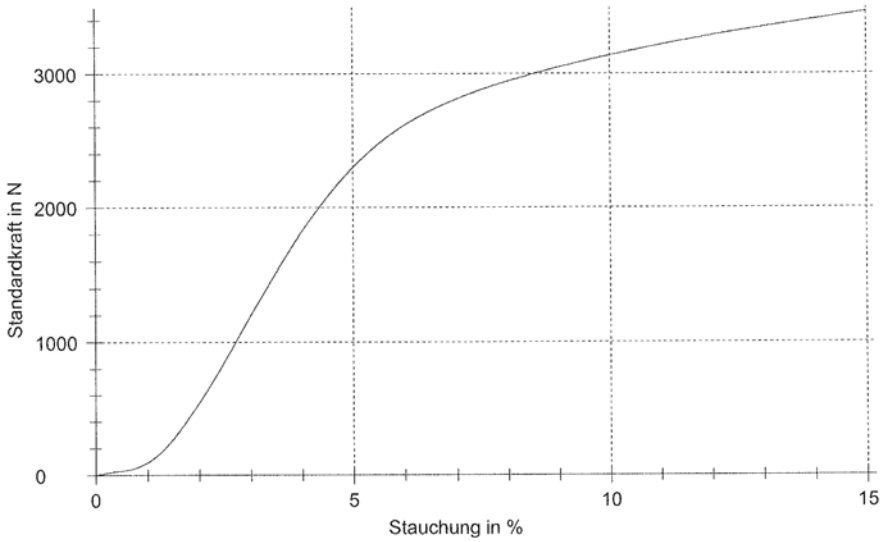
Anlage 11: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper nach Lagerung 1 Jahr bei Raumklima. Prüfung am 17.11.2010 (4 Prüfkörper 68-71 ausgewertet; 5. Prüfkörper siehe Anlage 12)

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l	b	d0	Dichte	E_{low}	E_{high}	E*	F_{max}	Xm	σm	σ2	σ10	σx	Bemerkung
		mm	mm	mm	kg/m³	N	N	kPa	N	%	kPa	kPa	kPa	kPa	
1	17.11.2010	198,1	197,9	102,1	149,8	784	1568	1687	3462	-	-	33,8	82,3	-	

Probengrafik:



Auswertung:

Serie	A_0	Dichte	F_{max}	E*	*Xm*	*σm*	*σ2*	σ10	*σx*
n = 1	cm²	kg/m³	N	kPa	*%*	*kPa*	*kPa*	kPa	*kPa*
min	392	149,8	3462	1687	-	-	***33,8***	**82,3**	-
max	392	149,8	3462	1687	-	-	***33,8***	**82,3**	-
$\bar{x}$	392	149,8	3462	1687	-	-	***33,8***	**82,3**	-

Serie	σm	Xm	σ10
n = 1	kPa	%	kPa
$\bar{x}$	-	-	82

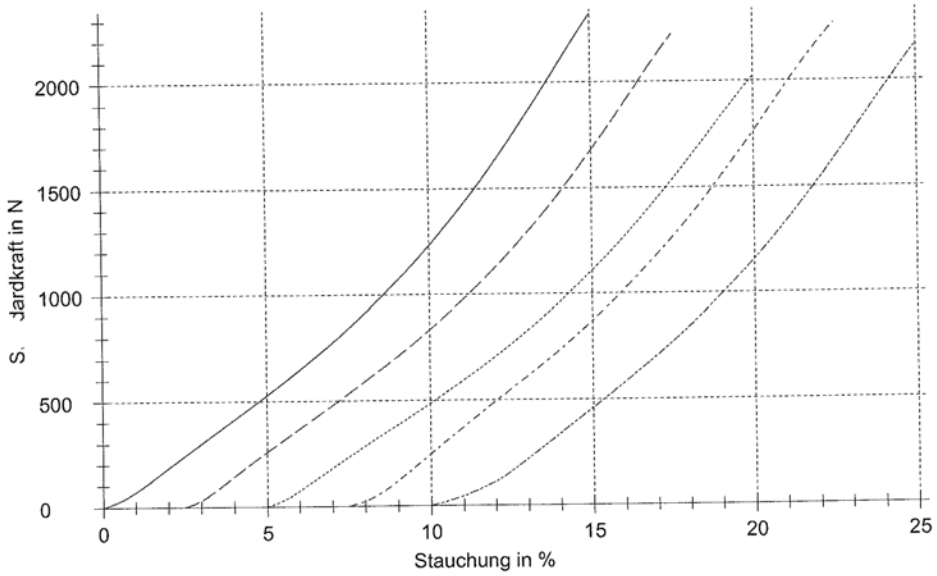
Anlage 12: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper (5.Prüfkörper) nach Lagerung ein Jahr bei Raumklima. Messung 17.11.2010 (siehe auch Anlage 11)

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m³	E_{low} N	E_{high} N	E* kPa	F_{max} N	Xm %	σm kPa	σ2 kPa	σ10 kPa	σx kPa	Bemerkung:
1	31.08.2010	200,4	200,9	101,9	148,9	153	385	285	2324	-	-	5,7	32,3	-	Nr 5
2		200,0	200,3	101,4	148,0	152	383	281	2225	-	-	5,6	30,9	-	Nr 6
3		199,8	200,1	102,0	145,4	152	382	255	2024	-	-	5,1	28,6	-	Nr 7
4		202,5	199,5	101,1	142,8	153	386	315	2274	-	-	6,3	34,0	-	Nr 10
		200,1	201,8	101,8	144,3	153	386	296	2172	-	-	5,9	33,7	-	Nr 11

Probengrafik:



Auswertung:

Serie n = 5	A_0 cm²	Dichte kg/m³	F_{max} N	E* kPa	*Xm %*	*σm kPa*	*σ2 kPa*	σ10 kPa	*σx kPa*
min	400	142,8	2024	255	-	-	*5,1*	28,6	-
max	404	148,9	2324	315	-	-	*6,3*	34,0	-
$\bar{x}$	402	145,9	2204	286	-	-	*5,7*	31,9	-

Serie n = 5	σm kPa	Xm %	σ10 kPa
$\bar{x}$	-	-	32

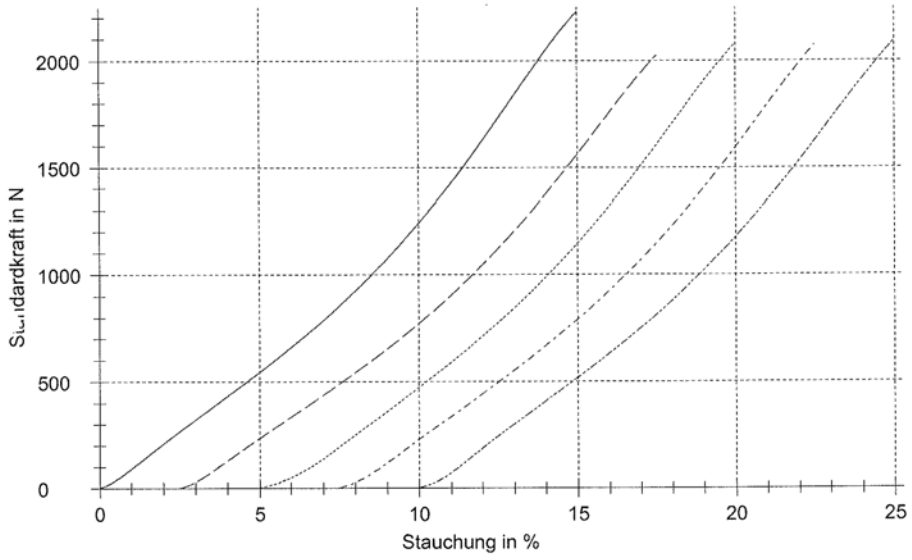
Anlage 13: Zweite Druckspannungsprüfung der Mineralwolleprüfkörper nach folgender Vorbehandlung: Sommerzyklus mit Feuchtegehalt 50 M-%, erste Druckspannungsprüfung und Trocknung.

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l	b	d0	Dichte	E_{low}	E_{high}	E*	F_{max}	Xm	σm	σ2	σ10	σx	Bemerkung:
		mm	mm	mm	kg/m³	N	N	kPa	N	%	kPa	kPa	kPa	kPa	
1	01.09.2010	198,8	198,5	100,6	145,2	90	279	296	2228	-	-	5,9	32,4	-	Nr 17
2		198,1	198,9	101,0	144,4	90	278	265	2022	-	-	5,3	29,5	-	Nr 18
3		198,5	199,2	101,1	143,9	90	279	274	2079	-	-	5,5	32,0	-	Nr 19
4		199,5	198,2	101,4	147,7	90	279	276	2072	-	-	5,5	30,7	-	Nr 20
		198,4	199,4	101,3	145,0	90	280	295	2089	-	-	5,9	31,3	-	Nr 21

Probengrafik:



Auswertung:

Serie	A_0	Dichte	F_{max}	E*	***Xm***	***σm***	***σ2***	**σ10**	***σx***
n = 5	cm²	kg/m³	N	kPa	*%*	*kPa*	*kPa*	**kPa**	*kPa*
min	394	143,9	2022	265	-	-	*5,3*	**29,5**	-
max	396	147,7	2228	296	-	-	*5,9*	**32,4**	-
$\bar{x}$	395	145,2	2098	281	-	-	*5,6*	**31,2**	-

Serie	σm	Xm	σ10
n = 5	kPa	%	kPa
$\bar{x}$	-	-	31

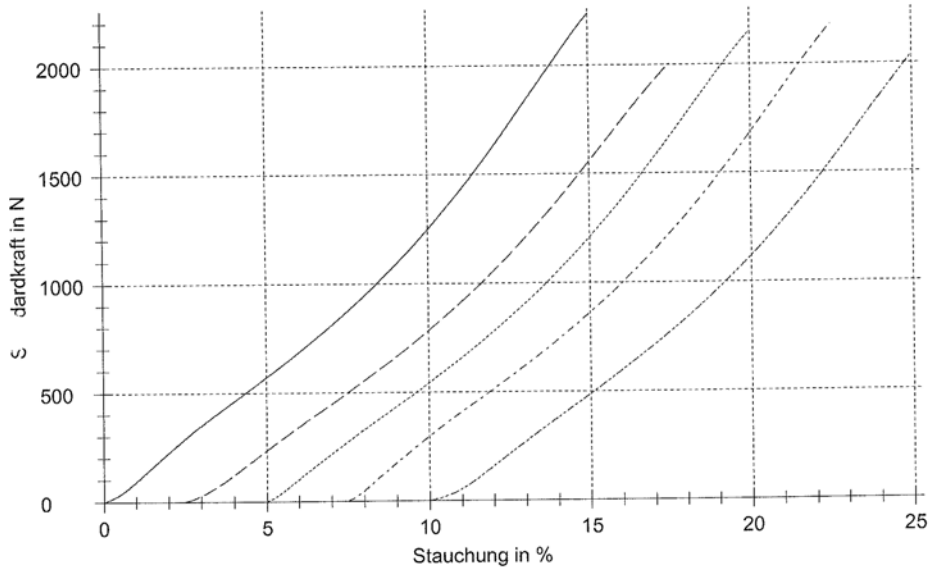
Anlage 14: Zweite Druckspannungsprüfung der Mineralwolleprüfkörper nach folgender Vorbehandlung: Winterzyklus mit Feuchtegehalt 50 M-%, erste Druckspannungsprüfung und Trocknung.

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m³	E_{low} N	E_{high} N	E* kPa	F_{max} N	Xm %	σm kPa	σ2 kPa	σ10 kPa	σx kPa	Bemerkung
1	31.08.2010	200,6	201,2	101,4	147,5	94	219	330	2237	-	-	6,6	32,2	-	Nr 1
2		200,5	199,5	101,8	143,4	93	217	280	2002	-	-	5,6	29,8	-	Nr 2
3		199,8	200,1	101,8	146,9	93	217	290	2152	-	-	5,8	30,8	-	Nr 3
4		200,3	201,3	101,6	146,7	94	219	312	2181	-	-	6,2	30,9	-	Nr. 4
		200,6	201,3	101,9	146,0	97	207	283	2039	-	-	5,7	30,1	-	Nr 8

Probengrafik:



Auswertung:

Serie n = 5	A_0 cm²	Dichte kg/m³	F_{max} N	E* kPa	*Xm %*	*σm kPa*	*σ2 kPa*	σ10 kPa	*σx kPa*
min	400	143,4	2002	280	-	-	*5,6*	29,8	-
max	404	147,5	2237	330	-	-	*6,6*	32,2	-
$\bar{x}$	402	146,1	2122	299	-	-	*6,0*	30,8	-

Serie n = 5	σm kPa	Xm %	σ10 kPa
$\bar{x}$	-	-	31

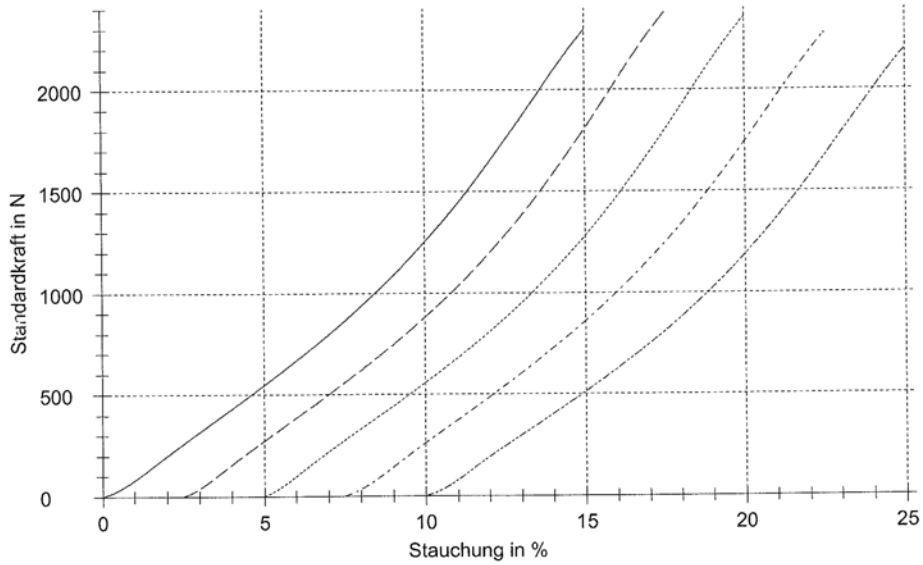
Anlage 15: Zweite Druckspannungsprüfung der Mineralwolleprüfkörper nach folgender Vorbehandlung: Sommer- und Winterzyklus mit Feuchtegehalt 50 M-%, erste Druckspannungsprüfung und Trocknung.

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m³	E_{low} N	E_{high} N	E* kPa	F_{max} N	Xm %	σm kPa	σ2 kPa	σ10 kPa	σx kPa	Bemerkung:
1	01.09.2010	198,3	199,3	101,2	143,8	121	304	302	2294	-	-	6,0	33,2	-	Nr 22
2		198,2	198,5	101,2	148,9	120	302	299	2378	-	-	6,0	33,5	-	Nr 23
3		198,0	198,5	101,1	147,3	120	302	296	2358	-	-	5,9	33,2	-	Nr 24
4		199,2	198,6	101,5	144,9	121	304	297	2274	-	-	6,0	32,8	-	Nr 25
		198,2	198,4	101,1	143,2	120	302	279	2196	-	-	5,6	31,3	-	

Probengrafik:



Auswertung:

Serie n = 5	A_0 cm²	Dichte kg/m³	F_{max} N	E* kPa	*Xm %*	*σm kPa*	*σ2 kPa*	σ10 kPa	*σx kPa*
min	393	143,2	2196	279	-	-	*5,6*	31,3	-
max	396	148,9	2378	302	-	-	*6,0*	33,5	-
$\bar{x}$	394	145,6	2300	295	-	-	*5,9*	32,8	-

Serie n = 5	σm kPa	Xm %	σ10 kPa
$\bar{x}$	-	-	33

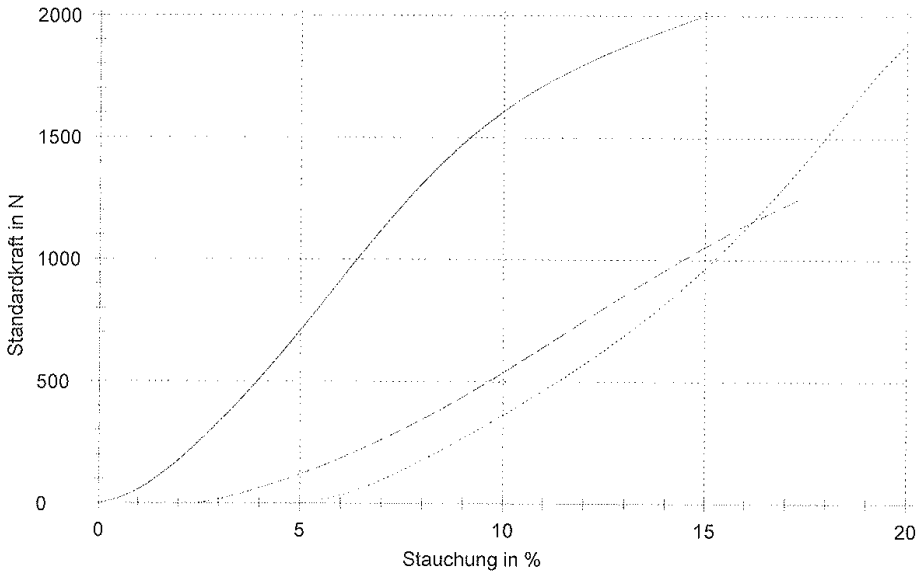
Anlage 16: Zweite Druckspannungsprüfung der Mineralwolleprüfkörper nach folgender Vorbehandlung: Winterzyklus mit Feuchtegehalt 5 M-%, 1. Druckspannungsprüfung und Trocknung.

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m³	E_{low} N	E_{high} N	E* kPa	F_{max} N	Xm %	σm kPa	σ2 kPa	σ10 kPa	σx kPa	Bemerkung:
1	01.09.2010	200,0	200,0	88,9	141,8	350	693	473	2001	-	-	9,5	43,5	-	
2		199,0	200,0	90,0	141,2	348	596	247	1261	-	-	5,6	25,3	-	
3		199,0	200,0	88,7	136,1	100	387	226	1884	-	-	4,5	28,4	-	

Probengrafik:



Auswertung:

Serie n = 3	A_0 cm²	Dichte kg/m³	F_{max} N	E* kPa	*Xm* %	*σm* *kPa*	*σ2* *kPa*	σ10 kPa	*σx* *kPa*
min	398	136,1	1261	226	-	-	*4,5*	**25,3**	-
max	400	141,8	2001	473	-	-	*9,5*	**43,5**	-
$\bar{x}$	399	139,7	1715	315	-	-	*6,5*	**32,4**	-

Serie n = 3	σm kPa	Xm %	σ10 kPa
$\bar{x}$	-	-	32

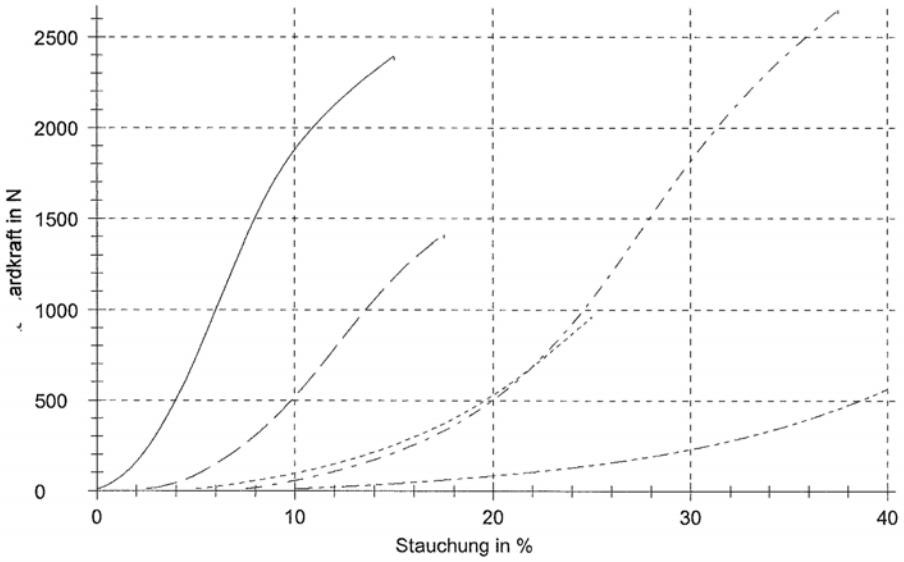
Anlage 17: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper aus der Dachentnahme Nr. 1.

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l	b	d0	Dichte	E_{low}	E_{high}	E*	F_{max}	Xm	σm	σ2	σ10	σx	Bemerkung:
		mm	mm	mm	kg/m³	N	N	kPa	N	%	kPa	kPa	kPa	kPa	
1	26.01.2011	200,0	201,0	120,4	147,57	804	1406	655	2395	-	-	13,70	53,34	-	
2		199,0	200,0	120,5	150,57	243	374	230	1411	-	-	4,88	28,48	-	
3		200,0	202,0	121,3	146,70	136	208	79	960	-	-	2,02	9,01	-	
4		201,0	198,0	117,0	158,64	268	387	141	2647	-	-	3,92	16,08	-	
		200,0	200,0	113,8	142,48	57	92	23	563	-	-	0,66	2,34	-	

Probengrafik:



Auswertung:

Serie	A_0	Dichte	F_{max}	E*	*Xm*	*σm*	*σ2*	σ10	*σx*
n = 5	cm²	kg/m³	N	kPa	*%*	*kPa*	*kPa*	kPa	*kPa*
min	398	142,48	563	23	-	-	***0,66***	**2,34**	-
max	404	158,64	2647	655	-	-	***13,70***	**53,34**	-
$\bar{x}$	400	149,19	1595	226	-	-	***5,04***	**21,85**	-

Serie	σm	Xm	σ10
n = 5	kPa	%	kPa
$\bar{x}$	-	-	22

Bemerkung nach Prüfung : Subjektiver Eindruck: Teilbereiche der Proben erscheinen sehr weich, andere Bereiche eher hart.
Rohdichte bezieht sich auf das Gewicht feucht.

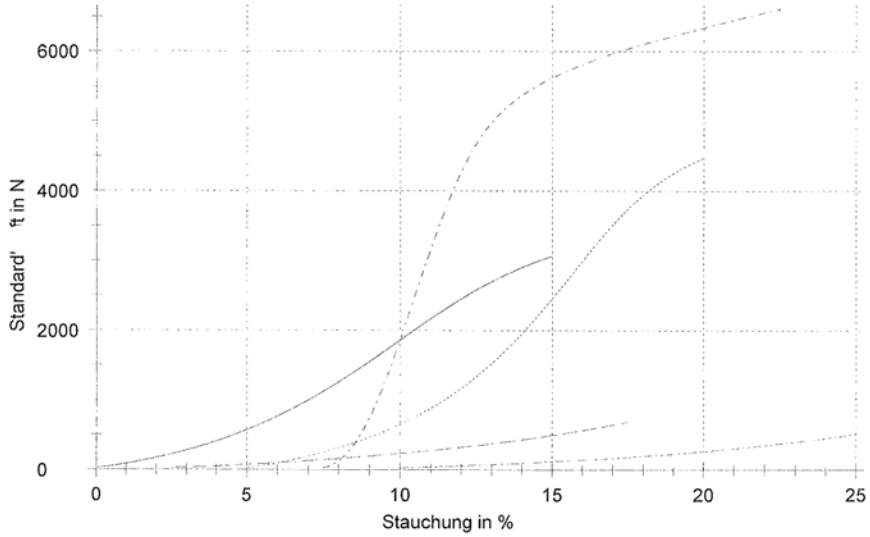
Anlage 18: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper aus der Dachentnahme Nr. 2.

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l	b	d0	Dichte	E_{low}	E*	F_{max}	Xm	σm	σ2	σ10	σx	Bemerkung:
		mm	mm	mm	kg/m³	N	kPa	N	%	kPa	kPa	kPa	kPa	
1	05.04.2011	300,0	300,0	121,0	141,19	107	103	3067	-	-	2,07	21,39	-	
2		300,0	300,0	118,9	144,01	62	29	685	-	-	0,59	3,67	-	
3		300,0	300,0	118,0	141,49	188	133	4475	-	-	2,65	29,70	-	
4		301,0	300,0	119,7	147,38	1439	1415	6612	-	-	28,47	68,32	-	Probe trockener und fester als die anderen.
5		300,0	300,0	111,4	145,97	56	21	510	-	-	0,45	2,58	-	

Probengrafik:



Auswertung:

Serie	A_0	Dichte	F_{max}	E*	*Xm*	*σm*	*σ2*	σ10	*σx*
n = 5	cm²	kg/m³	N	kPa	*%*	*kPa*	*kPa*	kPa	*kPa*
min	900	141,19	510	21	-	-	***0,45***	**2,58**	-
max	903	147,38	6612	1415	-	-	***28,47***	**68,32**	-
$\bar{x}$	901	144,01	3070	340	-	-	***6,85***	**25,13**	-

Serie	σm	Xm	σ10
n = 5	kPa	%	kPa
$\bar{x}$	-	-	25

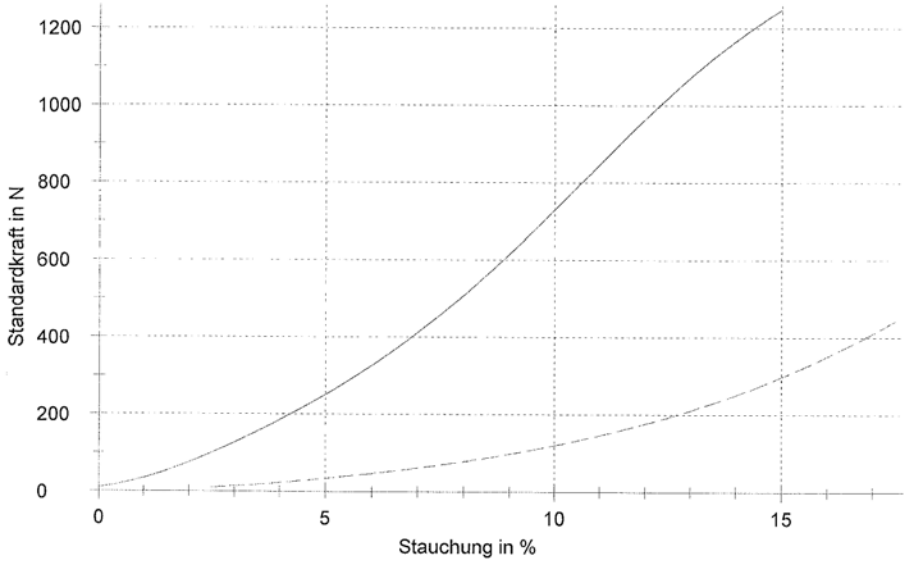
Anlage 19: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper aus der Dachentnahme Nr. 3. Prüfkörper 1 bis 5

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l	b	d0	Dichte	E_{low}	E_{high}	E*	F_{max}	Xm	σm	σ2	σ10	σx	Bemerkung:
		mm	mm	mm	kg/m³	N	N	kPa	N	%	kPa	kPa	kPa	kPa	
1	05.04.2011	200,0	200,0	121,2	141,35	82	158	135	1247	-	-	2,70	20,17	-	
2		200,0	201,0	118,0	138,70	45	64	37	444	-	-	0,79	5,13	-	

Probengrafik:



Auswertung:

Serie	A_0	Dichte	F_{max}	E*	*Xm*	*σm*	*σ2*	σ10	*σx*
n = 2	cm²	kg/m³	N	kPa	*%*	*kPa*	*kPa*	kPa	*kPa*
min	400	138,70	444	37	-	-	***0,79***	**5,13**	-
max	402	141,35	1247	135	-	-	***2,70***	**20,17**	-
$\bar{x}$	401	140,02	845	86	-	-	***1,74***	**12,65**	-

Serie	σm	Xm	σ10
n = 2	kPa	%	kPa
$\bar{x}$	-	-	13

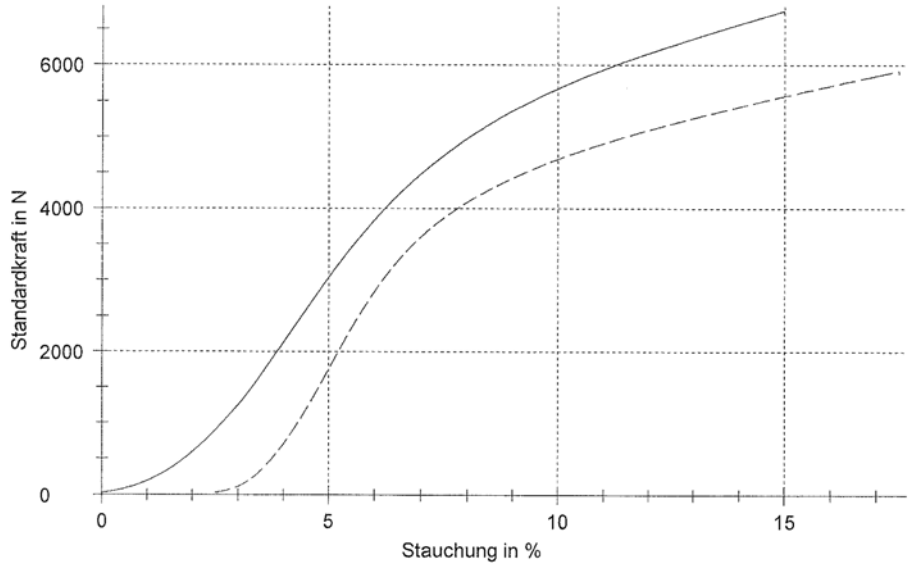
Anlage 20: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper aus der Dachentnahme Nr. 3. Prüfkörper 6 und 7.

Ergebnisse:

Vorgabewert Stauchung σx: 30 %

Nr	Datum	l mm	b mm	d0 mm	Dichte kg/m³	E_{low} N	E* kPa	F_{max} N	Xm %	σm kPa	σ2 kPa	σ10 kPa	σx kPa	Bemerkung:
1	18.04.2011	300,0	300,0	119,7	164,37	1800	993	6751	-	-	19,73	67,54	-	Hochkant
2		300,0	300,0	118,2	324,11	1800	1291	5920	-	-	25,74	59,37	-	Parallel

Probengrafik:



Auswertung:

Serie n = 2	A_0 cm²	Dichte kg/m³	F_{max} N	E* kPa	*Xm* *%*	*σm* *kPa*	*σ2* *kPa*	σ10 kPa	*σx* *kPa*
min	900	164,37	5920	993	-	-	*19,73*	**59,37**	-
max	900	324,11	6751	1291	-	-	*25,74*	**67,54**	-
$\bar{x}$	900	244,24	6336	1142	-	-	*22,74*	**63,46**	-

Serie n = 2	σm kPa	Xm %	σ10 kPa
$\bar{x}$	-	-	63

Anlage 21: Druckspannungsverlauf der Mineralwolleprüfkörper aus der Dachentnahme Nr. 4.