FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

F 2899

Volker Schmid, Özkan Yildiz, Frank U. Vogdt,
Falk Schaudienst, Hendrik Kesslau

Hybride Holzkonstruktionen mit Polyurethan

Entwicklung extrem dauerhafter, robuster und witterungsbeständiger Hybridbauteile aus Holz und PUR-Spritzelastomer zur Erweiterung des Anwendungsbereichs für Bauteile und Bauwerke aus Holz und für Holzkonstruktionen

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

Fraunhofer IRB Verlag

F 2899

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

2015

ISBN 978-3-8167-9441-7

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

Technische Universität Berlin

Abschlussbericht

zum Forschungsprojekt Nr. 10033032 :

Hybride Holzkonstruktionen mit Polyurethan

Entwicklung extrem dauerhafter, robuster und witterungsbeständiger Hybridbauteile aus Holz und PUR-Spritzelastomer zur Erweiterung des Anwendungsbereichs für Bauteile und Bauwerke aus Holz und für Holzkonstruktionen

Autoren:

Prof. Dr.-Ing Volker Schmid
Dipl.-Ing Özkan Yildiz
Entwerfen und Konstruieren – Verbundstrukturen

Prof. Dr.-Ing. Frank U. Vogdt
Dipl.-Ing. (FH) Falk Schaudienst M.A.,
Dipl.-Ing. Hendrik Kesslau
Bauphysik und Baukonstruktionen

eingereicht am 31. 10. 2013

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau
des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.
(Aktenzeichen: SF – 10.08.18.7- 10.3/ II 3 – F20-09-1-246)
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

Verantwortlich:

Prof. Dr.-Ing. Volker Schmid

TU Berlin
Fachgebiet Entwerfen und Konstruieren – Verbundstrukturen
Institut für Bauingenieurwesen
Sekr. TIB1-B11
Gustav-Meyer-Allee 25
13355 Berlin

Tel. Sekr.: +49 30 314 72162
Fax Sekr.: +49 30 314 72160
sekretariat@ek-verbundstrukturen.tu-berlin.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank U. Vogdt

TU Berlin
Fachgebiet Bauphysik und Baukonstruktionen
Institut für Bauingenieurwesen
Sekr. TIB1-B3
Gustav-Meyer-Allee 25
13355 Berlin

Tel.: (030) 314 - 72 141
Fax: (030) 314 - 72 150
bauphysik@tu-berlin.de

Danksagung

Das Forschungsprojekt wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau,- Stadt,- und Raumforschung gefördert (Aktenzeichen: SF–10.08.18.7-10.3/II3–F20-09-1-245). Für die Spende und Lieferung von Holz und Holzwerkstoffen als Untergründe für die Beschichtung bedanken wir uns bei den Firmen Merk Timber, Hess Timber und IsoBouw Dämmtechnik. Die Polyurethan Beschichtung wurde kostenfrei von den Firmen AB-Polymerchemie, Bayer und BASF zur Verfügung gestellt. Dafür herzlichen Dank. Ebenso bedanken wir uns bei dem Beschichtungsunternehmen Reaku, das die Beschichtung der Hölzer inklusive der Grundierung kostenfrei durchgeführt hat. Desweitern gilt unser Dank den Mitgliedern der beratenden Arbeitsgruppe Ulf Cordes, Karl Moser, Borimir Radovic und Reiner Schäpel. Ohne das Engagement und ohne die großzügige Unterstützung der genannten Personen und Unternehmen wäre die Durchführung des Projekts nicht möglich gewesen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis ..... **IV**

Formelzeichen und Abkürzungen **2**

1 Einleitung **4**

2 Stand der Technik und der Forschung **5**
2.1 Holz als Baustoff im Baugewerbe 5
2.2 Probleme des Holzbaus 6
2.2.1 Holzschutz 7
2.3 Vielfalt von Polyurethan 9
2.4 Holzschutz mit PUR 10
2.5 Anwendungsmöglichkeiten für Hybridkonstruktionen aus Holz mit PUR 12
2.5.1 Abdichtung von Holzdächern 13
2.5.2 Fassade mit PUR 14
2.5.3 Neue architektonische Formen wirtschaftlich umsetzen 14
2.5.4 Holz mit PUR ersetzt Beton 16
2.6 Forschungsbedarf 17
2.7 Zusammenfassung 17

3 Untersuchungsprogramm **19**

4 Wirtschaftlichkeit **20**
4.1 Erstellung 21
4.2 Unterhalt 26
4.3 Zusammenfassung 28

5 Ökologie **29**
5.1 Herstellungs- und Nutzungsphase 29
5.1.1 Vergleich der Fassadensysteme 29
5.1.2 Variante MDF-Platte mit PUR-Beschichtung 30
5.1.3 Variante Wärmedämmverbundsystem (WDVS) 30
5.1.4 Variante Holzstülpschalung 31
5.1.5 Variante Faserzementplatte 32
5.2 Auswertung der Umweltwirkungen 33
5.2.1 Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEI_{ne}) 34
5.2.2 Primärenergiebedarf erneuerbar (PEI_{e}) 36
5.2.3 Treibhauspotential (GWP_{100}) 38
5.2.4 Versauerungspotential (AP) 40
5.3 Recycling 42
5.3.1 Holz und Holzwerkstoffe 42
5.3.2 Polyurethan 47
5.3.3 Verbundbauteile aus Holz und Polyurethan 49
5.4 Zusammenfassung 51

6 Untersuchung von PUR-Spritzelastomeren ... 52
6.1 Versuchsaufbau und –durchführung ... 52
6.1.1 Probenvorbereitung ... 52
6.1.2 Probenkonditionierung ... 54
6.2 Durchführung ... 55
6.3 Auswertung ... 56
6.4 Zusammenfassung ... 60

7 Untersuchung zur Dauerhaftigkeit des PUR-Holz-Verbundes ... 61
7.1 Wärmealterung ... 61
7.2 Wasseralterung ... 63
7.3 Haftzugfestigkeit ... 64
7.3.1 Probekörper ... 64
7.3.2 Versuchsaufbau und –durchführung ... 65
7.3.3 Auswertung ... 67
7.4 Rissüberbrückungsfähigkeit ... 70
7.4.1 Probekörper ... 70
7.4.2 Versuchsaufbau und -durchführung ... 71
7.4.3 Auswertung ... 73
7.5 Ermüdungsverhalten ... 74
7.5.1 Probekörper ... 75
7.5.2 Versuchsaufbau und -durchführung ... 76
7.5.3 Auswertung ... 78
7.6 Zusammenfassung ... 79

8 Untersuchung zur Dauerhaftigkeit von Hybridkonstruktionen ... 80
8.1 Hygrothermische Beanspruchung von Fassaden ... 80
8.1.1 Prüfwände ... 80
8.1.2 Versuchsaufbau ... 84
8.1.3 Versuchsdurchführung ... 85
8.1.4 Auswertung Feuchtigkeit ... 88
8.1.5 Auswertung Haftzugfestigkeit ... 91
8.1.6 Auswertung Widerstand gegen Anprall ... 96
8.2 Demonstrator: Wand-Traufe-Dach Anschluss im Schlagregenversuchsstand ... 100
8.3 Zusammenfassung ... 102

9 Feldversuche ... 103
9.1 Untersuchungsprogramm ... 103
9.1.1 Probekörper ... 104
9.2 Auswertung ... 105
9.3 Zusammenfassung ... 108

10 Zusammenfassung und Ausblick der Forschung ... 109

Literaturverzeichnis ... 114

Abbildungsverzeichnis ... 118

Tabellenverzeichnis.....121

Formelzeichen und Abkürzungen

Formelzeichen

t	Zeit
K_0	Kapitalwert zum Zeitpunkt t=0
I_0	Investitionskosten zum Zeitpunkt t_0
E_t	Einnahmen zum Zeitpunkt t
A_t	Ausgaben zum Zeitpunkt t
q	Abzinsfaktor
p	Zinssatz
d	Dicke
η	Wirkungsgrad

Abkürzungen

ABP	AB-Polymerchemie
AP	Versauerungspotential
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BSH	Brettschichtholz
BSP	Brettsperrholz
CTMR	chemo-thermisches Aufschlussverfahren von Holzwerkstoffen
DIN	Deutsche Industrie-Norm
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetzes
EN	Europäische Norm
EnEV	Energieeinsparverordnung
EOTA	European Organisation for Technical Approvals (Europäische Organisation für Technische Zulassungen)
ETAG	European Technical Approval Guidelines (Leitlinie für die Europäische technische Zulassung)

FSH	Furnierschichtholz
GL	Glued Laminated Timber (Brettschichtholz)
GWP_{100}	Treibhauspotential
HDF	high density fiberboard (hochdichte Faserplatte)
ISO	Norm der International Organization for Standardization
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
LCA	Life Cycle Assessment (Ökobilanz)
LCC	Life cycle cost (Lebenszykluskostenrechnung)
LVL	Laminated Veneer Lumber (Furnierschichtholz)
MDF	mitteldichte Faserplatten
NKL	Nutzungsklasse
OSB	Oriented Strand Board
PCB	Polychlorierten Biphenylen
PEI_e	Primärenergiebedarf erneuerbarer Energie
PEI_{ne}	Primärenergiebedarf nicht erneuerbarer Energie
PUR	Polyurethan
SAV	Sachverständigenausschuss
s_d-Wert	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke
SIP	structural insulated panels (Sandwichelemente aus mittragendem isolierendem Kernmaterial zwischen zwei Deckschichten)
TR	technical report (technischer Bericht der EOTA)
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
UF	Harnstoff-Formaldehyd-Leimharze
VSH	Verband Schweizerischer Hobelwerke
WDVS	Wärmedämmverbundsystem

1 Einleitung

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um den Endbericht zu dem Forschungsprojekt „Hybride Holzkonstruktionen mit Polyurethan - Entwicklung extrem dauerhafter, robuster und witterungsbeständiger Hybridbauteile aus Holz und PUR-Spritzelastomer zur Erweiterung des Anwendungsbereichs für Bauteile und Bauwerke aus Holz und für Holzkonstruktionen“. Das Forschungsprojekt wurde 2010 mit den theoretischen Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit und Ökologie begonnen. Diese Bewertungen waren die Grundlage, um die praktischen Untersuchungen an Polyurethan und verschiedenen Holzwerkstoffen in der Folge durchzuführen. Die vorliegende Arbeit ist nun das systematische Ergebnis dieses Untersuchungsprogramms. Die Autoren hoffen damit die wissenschaftliche Grundlage für Hybridbauteile aus Holz und PUR-Spritzelastomer gelegt zu haben, damit dieser Holz-PUR-Verbund in der Praxis seine verdiente Aufmerksamkeit als alternativer konstruktiver Witterungsschutz erhält.

In der Forschungsarbeit wurde untersucht, inwieweit Polyurethan-Spritzelastomer geeignet ist, als Witterungsschutz für Holzbauteile zu dienen. Zu diesem Ziel wurden folgende Fragestellungen zum Thema „Hybride Holzkonstruktionen mit Polyurethan“ untersucht und beantwortet:

- Bedarf für hybride Holzkonstruktionen mit Polyurethan
- Wirtschaftlichkeit einer Holz-PUR-Hybridbauweise
- Lebenszyklusanalyse
- Ökologische Bewertung und Recyclefähigkeit
- Eignungsuntersuchungen am Material und
- Eignungsuntersuchungen an Hybrid-Bauteilen

2 Stand der Technik und der Forschung

2.1 Holz als Baustoff im Baugewerbe

Holz ist ein natürlicher und nachwachsender Werkstoff, der sich durch gute Eigenschaften wie leichte Bearbeitbarkeit, hohe Festigkeit bezogen auf das geringe Eigengewicht, angenehmes Aussehen und Haptik sowie gute raumklimatische Eigenschaften auszeichnet. Holz findet im Bauwesen unter anderem als Vollholz, Konstruktionsvollholz, Brettschichtholz oder in Form von Holzwerkstoffen Verwendung. In Europa kommen meist die Nadelhölzer Fichte und Kiefer sowie die Laubhölzer Eiche und Buche als Bauholz zum Einsatz.

Laut einer Marktstudie des Holzabsatzfonds [1], die den Industrie- und Gewerbebau auf die Verwendung von Holz als Baustoff untersuchte, haben 14% der Bauherren eine Vorliebe für Holz als Konstruktionsmaterial, circa die Hälfte der Bauherren habe keine Präferenz bezüglich des Konstruktionsmaterials und ca. 34% favorisieren Nicht-Holz-Baustoffe (wie Beton, Stahl,…). Das heißt, dass etwa ⅔ der Bauherren dem Baustoff Holz positiv oder neutral gegenüberstehen.

Eine weitere Studie des Holzabsatzfonds [1] untersuchte, welche Rolle der Holzbau bei Bauherren von Schul- und Kitabau einnimmt. Hier haben etwa 31% der Bauherren eine Präferenz für Holz als Konstruktionsmaterial, 53% haben keine Vorliebe, was das Konstruktionsmaterial angeht und nur 16% bevorzugen Bauweisen in Stein oder Beton. Hier stehen also ca. 84% der Bauherren dem Konstruktionsmaterial Holz positiv oder neutral gegenüber. Ferner sehen ein Viertel der Bauherren den Holzbau bei den Baukosten im Vorteil. Fast ⅔ schätzen den Holzbau als kostenseitig neutral an und nur circa 10% betrachten Holz als teuren Werkstoff.

Beide Studien zeigen, dass der Baustoff Holz im Vergleich mit anderen Baustoffen keine Kostennachteile besitzt. Ebenso zeigt es ein hohes Potential für eine Zunahme des Holzbedarfs. Mit der zunehmenden Anwendung von Holz steigt auch der Bedarf und die Anforderungen an den Holzschutz.

Holz in den unterschiedlichen Sektoren

Die nachfolgende Tabelle zeigt das Entwicklungspotential des Bedarfs von Holz als Baustoff.

Entwicklungspotential von Holz als Baustoff		
	heute	zukünftig
Kindergärten, Schulen	+	++
Wohnungsbau	+	++
Industriebau, Fertigteile, Mischkonstruktionen	-	++
Fassadenfertigteile	O	++

Tabelle 2-1: Entwicklungspotential von Holz als Baustoff

2.2 Probleme des Holzbaus

Frei bewittertes Holz unterliegt einem natürlichen Verfall, der unter anderem durch folgende Faktoren beeinflusst wird:

Holzart, Witterungseinfluss, Holzschutz (konstruktiv oder chemisch).

Die natürliche Dauerhaftigkeit der Holzarten ist sehr unterschiedlich und wird daher in der DIN EN 350-2 in 5 Klassen unterteilt, wobei 1 sehr dauerhaft und 5 nicht dauerhaft bedeutet. Dabei bezieht sich diese Unterteilung nur auf das Kernholz einer Holzart, da in diesem Inhaltsstoffe eingelagert sind, die dem natürlichen Verfall entgegenwirken. Zu beachten ist, dass das Splintholz bei allen Hölzern nicht dauerhaft (Klasse 5) ist. Die in Deutschland häufig verwendeten Hölzer wie beispielsweise Fichte und Kiefer sind wenig dauerhaft und haben bei stehender Nässe, wie sie bei konstruktiv nicht sachgemäßer Anwendung auftreten kann, eine reduzierte Standdauer von 3 bis 5 Jahren. Buche mit weniger als 3 Jahren mittlerer Standzeit liegt in der Klasse 5 und wird somit als nicht dauerhaft bezeichnet. Nur Eichenholz hat unter den einheimischen Hölzern eine recht hohe mittlere Standdauer von 8 bis 13 Jahren und wird als dauerhaft bezeichnet.

Wegen der physikalischen Eigenschaften der Holzbaustoffe müssen den eingesetzten Hölzern des Holzbauwerks verschiedene Nutzungsklassen [2] zugewiesen werden. Diese kennzeichnen die klimatischen Verhältnisse der Umgebung des Bauwerkes während seiner Nutzungsdauer. Die Einteilung in die Nutzungsklassen ist hauptsächlich für die Zuordnung von Festigkeitswerten und zur Berechnung von Verformung unter festgelegten Umweltbedingungen notwendig. In Tabelle 2-2 ist diese Unterteilung dargestellt.

NKL	Mittlere Holzfeuchte im Nadelholz	Einsatzbereich (Beispiele)
1	≤ 12%	beheizte Innenräume, relative Luftfeuchte meist < 65 %
2	≤ 20 %	überdachte, offene Tragwerke, relative Luftfeuchte meist < 85 %
3	> 20 %	der Witterung ausgesetzte Bauteile, relative Luftfeuchte meist > 85 %

Tabelle 2-2: Nutzungsklassen (NKL) nach DIN EN 1995-1-1

Je nach Einbausituation ist verbautes Holz in unterschiedlichem Maße dem Angriff durch Schadorganismen, wie holzzerstörende Pilze oder Insekten, ausgesetzt. Die Gebrauchsklassen stellen eine Einteilung dar, mit deren Hilfe Art und Umfang eventuell notwendiger Holzschutzmaßnahmen beurteilt werden kann. Diese Einteilung ist in der DIN 68800 [3] definiert.

Hohe Feuchtigkeit, Temperaturschwankungen und UV-Strahlung sind die zentralen Faktoren, die die Dauerhaftigkeit des Holzes herabsetzen. Um die Dauerhaftigkeit einer Holzkonstruktion zu erhöhen, gilt es das Holz gegen eben diese genannten Faktoren zu schützen.

2.2.1 Holzschutz

Bei modernen Holzkonstruktionen ist ein konstruktiver Holzschutz zwingend notwendig. Nach DIN 68800 [3] ist in besonderen Fällen sogar ein chemischer Holzschutz erforderlich. Gerade in Bereichen der Anschlüsse bei Holzkonstruktionen ist vermehrt auf den Holzschutz zu achten. Um eine Belastung der Umwelt durch Holzschutzmittel so gering wie möglich zu halten, gilt die Devise: konstruktiver Holzschutz vor chemischem Holzschutz.

Beispiele für den heute noch notwendigen aufwendigen konstruktiven Holzschutz:

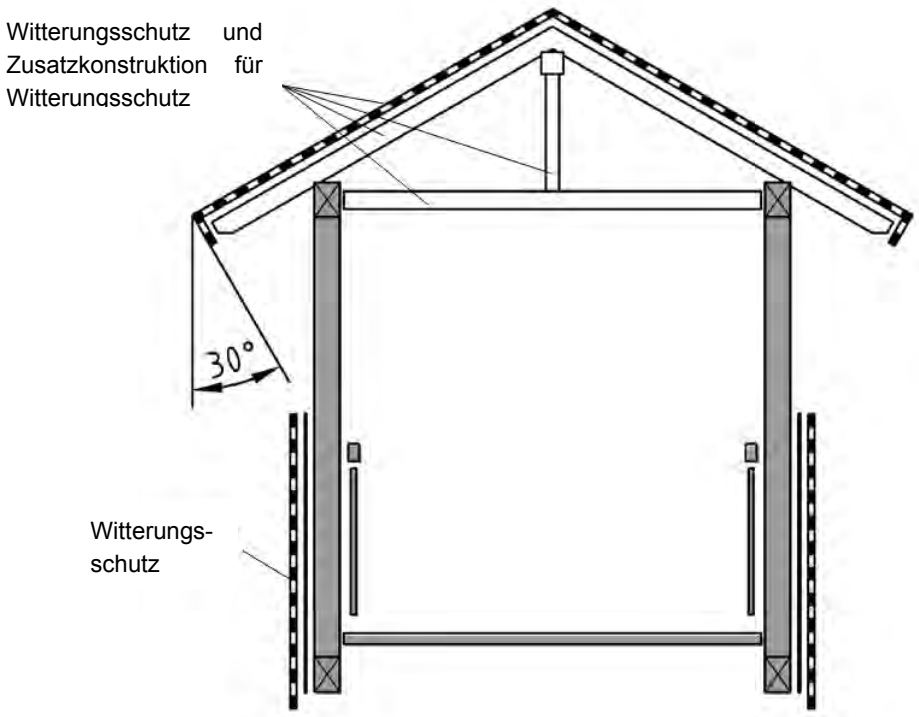
Der konstruktive Holzschutz soll in erster Linie das Holz vor Feuchtigkeit schützen. So müssen zum Beispiel Holzstützen für Carports, Wintergärten oder Balkone auf Stützenfüße in einem Abstand von circa 30 cm vom Boden befestigt werden. Somit sind die Stützen vor Spritzwasser infolge Regen und von aufsteigender Feuchtigkeit aus dem Boden geschützt.

Abbildung 2-1: Variation von höhenverstellbaren Stützenfüssen
Quelle: www.handwerker-verband.de

Des Weiteren müssen horizontale Flächen von tragenden Bauteilen aufwändig vor Regenwasser geschützt werden.

Bei Fassaden mit unzureichendem Holzschutz dringt Wasser durch Schlagregen, Spritzwasser oder aufsteigender Feuchtigkeit ins Holz ein und reduziert die Lebensdauer der Konstruktion.

Bei schlechter Planung und ungenauer Ausführung kommt es bei bewitterten Holzkonstruktionen zu einer erhöhten Feuchtigkeitsbelastung in Eck- und Anschlussbereichen. Im Bereich von Anschlüssen mit außenliegenden Stahlblechen besteht die Gefahr, dass Tauwasser kondensiert. Bei innenliegen Stahlblechen bildet sich in den engen Schlitzen der Verbindung Kapillarwasser. Beides reduziert die Lebensdauer der Anschlussbereiche und damit die der gesamten Konstruktion. Die Ausführung notwendiger konstruktiver Maßnahmen zum Holzschutz sind zeitaufwendig und kostspielig (Abbildung 2-1). Anhand einer überdachten Holzbrücke verdeutlicht Abbildung 2-2 den großen Aufwand für den konstruktiven Holzschutz. Nur die grau markierten Bauteile bilden das tatsächliche Tragwerk und die hellen Bauteile sind allein für den konstruktiven Holzschutz notwendig.



Legende:
grau Tragwerk
hell Bauteile für den konstruktiven Holzschutz und ohne Tragfunktion

Abbildung 2-2: Beispiel für den konstruktiven Aufwand für den Witterungsschutz nach DIN 1074: 2006-9: Holzbrücken

2.3 Vielfalt von Polyurethan

Polyurethan ist äußerst vielfältig einsetzbar. Nicht ohne Grund gehört der Stoff zu den sogenannten „big six“ der Kunststoffe.

Aber anders als bei Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP), deren Hauptabnehmer die Verpackungsindustrie ist, wird PUR hauptsächlich im Fahrzeugbau und in der Bauindustrie verwendet. So finden Polyurethan-Schaumstoffe als Wärmedämmung genauso ihre Anwendung wie als Polster in Matratzen und Sitzen. Polyurethan-Elastomere dienen der Industrie in Bereichen mit erhöhtem Verschleiß wie Schuhsohlen, Dichtungen, Getriebe und Walzen. Als Klebemittel und Beschichtungssystem wird es u.a. in der Möbelindustrie eingesetzt. Je nach Zusammensetzung der Ausgangsstoffe von Polyurethan können harte thermoplastische oder weiche kautschukelastische Werkstoffe bzw. harte und weiche Schaumstoffe hergestellt werden [4].

Grundsätzlich wird PUR (Grundstruktur: –NH–CO–O–) aus Polyisocyanaten (-N=C=O) und Polyolen (-OH) hergestellt, hinzutreten verschiedene Hilfsstoffe zur Veränderung der Eigenschaften. Um Schaumstoffe herzustellen, werden Treibmittel verwendet, für die Veränderung der Brennbarkeit Flammschutzmittel, für die UV-Stabilisation Alterungsschutzmittel, zur Erhöhung von Festigkeitseigenschaften Glasfaser und für die ästhetische Wirkung verschiedene Farbzusätze [5].

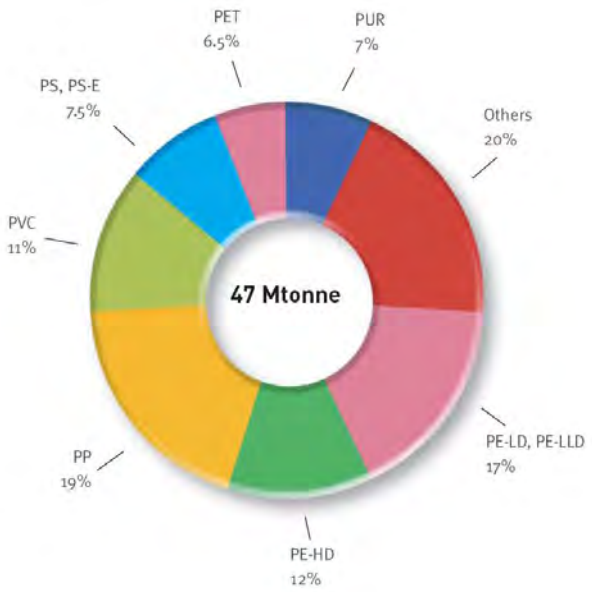


Abbildung 2-3: Europäischer Kunststoffbedarf 2011 (aus [6])

2.4 Holzschutz mit PUR

In den beschriebenen Fällen kann eine PUR-Beschichtung als konstruktiver Holzschutz zum einen die Kosten reduzieren, da Anschlussdetails preiswerter ausgeführt werden können, und zum anderen das Risiko von stehendem Wasser auf horizontalen Flächen mindern, da PUR-Beschichtungen wasserundurchlässig sind und eine fugenlose Abdichtung gewährleisten.

Das lösemittelfreie 2-Komponeten Polyurethan-Spritzelastomer wird mit einer speziellen 2-Kompementen-Heißspritzanlage auf die zu behandele Oberfläche aufgesprüht. Diese Beschichtung kann in situ oder im Werk erfolgen. PUR ist hochreaktiv und schnell härtend. Des Weiteren zeichnet sich PUR durch eine schnelle Applikation aus. Diese Eigenschaft macht das Aufbringen auf vertikalen Untergründen ohne Ablaufen möglich und gestattet auch eine einfache Applikation an komplizierten Bauteilgeometrien, Ecken, Aufkantungen und Aussparungen. Die Wasserundurchlässigkeit schützt auch auf horizontalen Flächen vor dem Eindringen von stehendem Wasser. Trotz der Wasserundurchlässigkeit ist die Beschichtung wasserdampf-durchlässig, mit einem s_d-Wert von ca. 1,8 m bei einer 2-3 mm dicken PUR-Beschichtung, was überschüssige Holzfeuchte durch die PUR-Beschichtung aus dem Holzquerschnitt diffundieren lässt. Die monolithische Beschichtung besitzt keine Überlappungen, Fugen oder Stöße, welche sonst das Eindringen von Wasser begünstigen. Die ausgeprägte vollflächige Haftung am Untergrund verhindert eine Unterläufigkeit. PUR-Sprühbeschichtungen werden auf Beton seit ca. 25 Jahren erfolgreich eingesetzt. Mit einer Deckbeschichtung auf PUR-Basis versehen, die als UV-Schutz dient und die ca. alle 8 Jahre erneuert wird, kann eine technische Lebensdauer von mehr als 50 Jahren erwartet werden.

Die obengenannten Eigenschaften ermöglichen es auf aufwändige Detaillösungen des üblichen konstruktiven Holzschutzes, wie Bekleidungen aus Holz und Blechabdeckungen, zu verzichten. Beispielsweise könnten gering belastete Stützen, wie bei Carports und Wintergärten, ohne die oben beschriebenen kostspieligen Stahlfüße ausgeführt werden da die PUR-Beschichtung wasserundurchlässig ist.

Bei Fassaden sollte sich die monolithische Abdichtung gerade bei Ecken und Aussparungen auszahlen. Hier können die Abdeckbleche, die sonst vor Regenwasser schützen, weggelassen werden. Auch Abdichtungsübergänge zwischen Neu- und Altbau sind aufgrund der hohen Elastizität und der guten Haftung auf unterschiedlichen Untergründen kein Problem.

Ziel ist es die komplizierte Verbindungen mit innen- und außenliegenden Stahlblechen durch eine PUR-Beschichtung abzudichten. So können die Möglichkeiten der schnellen und unkomplizierten Applikation und die sehr gute Haftfestigkeit ausgenützt werden, um das Holzbauteil dauerhaft vor Feuchtigkeit zu schützen.

Steigerung der Materialeffizienz mit PUR

Frei bewittertes Holz muss laut DIN EN 1995-1-1 [2] der Nutzungsklasse 3 zugewiesen werden. Mit Hilfe einer wirksamen PUR-Beschichtung könnte eine Zuweisung in die Nutzungsklasse 2 erfolgen, was eine Steigerung der Tragfähigkeit des Materials von 29% und eine Reduktion der Kriechverformungen um 60% zur Folge hätte.

	1	2		
1	Baustoff und Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Nutzungsklasse		
2		1	2	3
3	Vollholz Brettschichtholz Balkenschichtholz Furnierschichtholz Brettsperrholz Sperrholz			
4	ständig	0,60	0,60	0,50
5	lang	0,70	0,70	0,55
6	mittel	0,80	0,80	0,65
7	kurz	0,90	0,90	0,70
8	sehr kurz	1,10	1,10	0,90
9	OSB-Platten (Typen OSB/2[a], OSB/3 und OSB/4 DIN EN 300:1997-06)			
10	ständig	0,40	0,30	–
11	lang	0,50	0,40	–
12	mittel	0,70	0,55	–
13	kurz	0,90	0,70	–
14	sehr kurz	1,10	0,90	–
[a] Nur Nutzungsklasse 1				

Tabelle 2-3: Rechenwerte für die Modifikationsbeiwerte k_{mod} aus DIN EN 1995-1-1 [2]

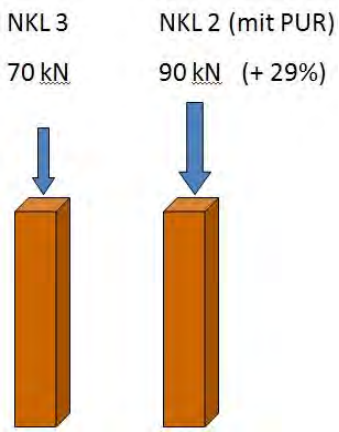


Abbildung 2-4: Beispiel der Tragfähigkeit für NKL 3 und NKL 2

	1	2			3	4		
1	Baustoff	Nutzungsklasse			Baustoff	Nutzungsklasse		
		1	2	3		1	2	3
2	Vollholz[a] Brettschichtholz Furnierschichtholz[b] Balkenschichtholz Brettsperrholz	0,60	0,80	2,00	kunstharzgebundene Spanplatten[d] zementgebundene Spanplatten Faserplatten[d] (Typ HB.HLA2 DIN EN 622-2:1997-08)	2,25	3,00	4,00
3	Sperrholz Furnierschichtholz[c]	0,80	1,00	2,50	Faserplatten (Typ MBH.LA2 DIN EN 622-3:1997-08)	3,00	4,00	–
4	OSB-Platten	1,50	2,25	–	Gipskartonplatten			

[a] Die Werte für k_{def} für Vollholz, dessen Feuchte beim Einbau im Fasersättigungsbereich oder darüber liegt und im eingebauten Zustand austrocknen kann, sind um 1,0 zu erhöhen.
[b] Mit allen Furnieren faserparallel.
[c] Mit Querfurnieren.
[d] Nicht in der Nutzungsklasse 3 zugelassen.

Tabelle 2-4: Rechenwerte für die Verformungsbeiwerte k_{def} aus DIN EN 1995-1-1 [2]

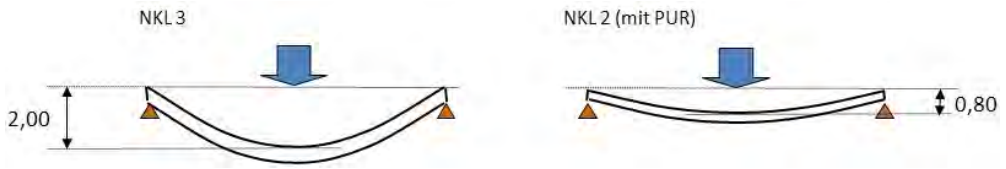


Abbildung 2-5: Beispielkriechverformung für NKL 3 und NKL 2 (mit PUR)

2.5 Anwendungsmöglichkeiten für Hybridkonstruktionen aus Holz mit PUR

Zusammen mit einer PUR-Beschichtung kann Holz als Konstruktionswerkstoff mit anderen Werkstoffen konkurrieren und eröffnet somit neue Anwendungsmöglichkeiten.

Mögliche Anwendungen sind:

Fassadenbereich:
- Anschlüsse von Alt- und Neubau lassen sich fugenlos verbinden
- vollflächiger fugenloser und dampfdurchlässiger Witterungsschutz

Brückenbau:
- Die einfache und lückenlose Beschichtung der tragenden Bauteile kann die Herstell- und Unterhaltskosten reduzieren und macht Holzbrücken konkurrenzfähig gegenüber anderen Brückenwerkstoffen.

neue architektonische Möglichkeiten:
- Die Kombination von Holz und PUR ermöglicht neue Formen im Holzbau die Variation der Farbe der PUR-Beschichtungen
- ermöglicht durch den Verzicht auf viele der bisher notwendigen konstruktiven Holzschutzmaßnahmen, wie Abdeckbleche, Stützenfüße, etc.

Konstruktiver Ingenieurbau:
- z.B. langandauernden Schutz von Holzkonstruktionen für Solaranlagen, Tribünen überdachungen, Aussichtstürme

Windkraftanlagen

Sonderbauten: Spielplätze

2.5.1 Abdichtung von Holzdächern

Die PUR-Beschichtung im Holzbau ist neu. Daher gibt es nur einige wenige Projekte und diese vorwiegend im Hochbau, in denen PUR-Beschichtungen als konstruktiver Holzschutz eingesetzt wurden.

Zu einem dieser Projekte zählt der Seminar- und Tagungsdom des Wohnprojektes „Wilde Rose“ in Wulfsdorf. Dort wollte man einen ganz besonderen Raum schaffen, mit Platz für Seminare, Vorträge, Tanz- und Musikveranstaltungen. Diese Anforderungen wurden durch einen kuppelförmigen Dom erfüllt. Die komplexe Geometrie des Daches sowie das Problem der Dichtigkeit zwischen den Kuppelelementen stellt an die Dacheindeckung eine große Herausforderung dar. Die günstigen Eigenschaften, wie hohe Reaktivität und hohe Elastizität, machen die PUR-Beschichtung zur ersten Wahl für die komplexe Dachgeometrie.

Abbildung 2-6: Kuppelförmiger Dom mit PUR-Beschichtung © Cordes

2.5.2 Fassade mit PUR

Die Kita Geesthacht wollte mit einem Neubau die alten Räumlichkeiten erweitern. Ein Neubau mit direktem Anschluss an den Altbau birgt gerade an Übergangsstellen ein hohes Wasserundichtigkeitsrisiko. Aus diesem Grund und wegen der komplexen architektonischen Form des Neubaus wurde eine PUR-Beschichtung als Abdichtung gewählt. Diese fugenlose Abdichtung kann gerade an den markanten Stellen wie Übergang zwischen Wand und Dach oder zwischen Alt- und Neubau unkompliziert und schnell ohne Schwachstellen ausgeführt werden.

Abbildung 2-7: Ausschnitt aus der Fassade des Anbaus der Kita Geesthacht © BLB Architekten

2.5.3 Neue architektonische Formen wirtschaftlich umsetzen

Mit dem Projekt „Metropol Parasol“ entstand in der spanischen Stadt Sevilla ein neues Wahrzeichen. Eine 28m hohe pilzförmige, offene Dachstruktur spendet im heißen Spanien tagsüber Schatten und bildet nachts einen Raum für Veranstaltungen. Im Untergeschoß gibt es ein Museum, auf Platzebene Einkaufsmöglichkeiten, in den erhöhten Bereichen Bars und Restaurants sowie in den sogenannten Parasols Aussichtsrundgänge. Für die gesamte Konstruktion kommen Furnierschichtholzplatten zum Einsatz, die mit Hilfe der PUR-Beschichtung vor der Witterung geschützt sind. Die große Herausforderung für die Ingenieure ist die Verbindung der Einzelelemente zur Gesamtkonstruktion. Die kritischen Anschlussbereiche, dort wo Stahlformteile die Furnierschichtholzplatten verbinden, werden auf unkomplizierte Weise mit Hilfe der PUR-Beschichtung vor der Witterung geschützt.

Abbildung 2-8: Metropol Parasol in Sevilla – Furnierschichtholz mit PUR-Dickfilmbeschichtung © V. Schmid

2.5.4 Holz mit PUR ersetzt Beton

Um der anwachsenden Studentenzahl gerecht zu werden war ein Neubau der Mensa der Fachhochschulen in Karlsruhe notwendig. Das Bauobjekt besteht im wesentlichem aus einem innenliegenden Kern, einem Dach und aus einer tragenden Fassade. Das architektonische Konzept sah für die Fassade eine stammartige Struktur vor, mit einer assoziativen Verwandtschaft zu dem nahegelegenen Baumbestand. Ursprünglich sollte das gesamte Objekt in Sichtbeton ausgeführt werden. Aufgrund des engen Budgets entschied man sich dafür nur den Kern aus Beton, das Dach und die Fassaden jedoch aus Hohlkastenelementen aus Furnierschichtholz zu fertigen. Die Fassaden und Dachelemente aus Holz wurden innen und außen mit PUR beschichtet. Damit konnte die ungewöhnliche Form der Mensa dauerhaft und ohne die sonst im Holzbau üblichen Abdeckbleche ausgeführt werden.

Abbildung 2-9: Mensa Karlsruhe - wirtschaftlich umgesetzt mit Holz und PUR-Beschichtung © JMH

2.6 Forschungsbedarf

PUR-Beschichtungen auf dem Werkstoff Beton werden seit circa 20 Jahren erfolgreich angewendet. Mit dem Werkstoff Holz betritt man hier Neuland. Für die Anwendung von PUR-Dickfilmbeschichtungen auf Holz sprechen die Dampfdurchlässigkeit der PUR-Beschichtung, der sehr gute Haftverbund zwischen PUR und Holz und die ausgeprägte Dehnfähigkeit von PUR, die für die Überbrückung von etwaigen Rissen oder Fugen wichtig ist. Die Applizierung des 2-Komponenten-Werkstoffes PUR erfolgt schnell und einfach mit Hilfe von Niederdruck- oder Hochdrucksprühgeräten. Vereinzelte Prototypen, vornehmlich im Ausland, sind vielversprechend, geben aber wenig Aufschluss über die Interaktion zwischen Holz und PUR: Das Schwinden und Quellen des Holzes führt zur Rissbildung im Holz. Bis zu welcher Rissbreite kann die Beschichtung die Risse überbrücken? Kommt es zu Ablöseerscheinungen? Auch fehlt es hier an Langzeiterfahrungen. Aufgrund des Mangels an Erfahrung mit PUR-Beschichtungen auf Holz und fehlenden wissenschaftlichen Studien zu den vorher genannten Punkten besteht hier ein Forschungsbedarf, mit dem Ziel, dem Werkstoff Holz in Zukunft einen erweiterten Anwendungsbereich zu ermöglichen.

2.7 Zusammenfassung

Holz ist ein nachwachsender und ökologisch wertvoller Werkstoff mit dem ausgeprägten Problem der geringen Witterungsbeständigkeit. Mit den richtigen konstruktiven Maßnahmen und der Möglichkeit es vor der Witterung zu schützen konkurriert Holz durchaus mit anderen Werkstoffen. Im Forschungsansatz wird davon ausgegangen, dass die PUR-Beschichtung in vielen Fällen diese Aufgaben zuverlässig erfüllen kann. Zusammenfassend kann man sagen, dass PUR-Beschichtungen dem Werkstoff Holz eine Vielzahl von zusätzlichen Anwendungsgebieten ermöglicht.

Der vorgeschlagene Witterungsschutz mit einer PUR-Spritzbeschichtung hat das Potenzial ein zentrales Problem der Holzbauweise auf technisch einfache, dauerhafte und dabei wirtschaftliche Weise zu lösen. Damit kann die Konkurrenzfähigkeit von Holz als Baustoff gegenüber anderen Baumaterialen stark gefördert werden. Die im scharfen Preiswettbewerb bisher ausgeführten Beispiele zeigen die technische Wirksamkeit, die Wirtschaftlichkeit und die Möglichkeit für den Einsatz der Hybridstrukturen aus Holz und PUR auf.

Bereits heute werden Konstruktionen aus Holz mit PUR-Beschichtung von Bauherrn, Architekten, Holzbauunternehmen und Ingenieuren nachgefragt, obwohl diese Bauweise immer noch als prototypisch bezeichnet werden muss. Eine Erforschung dieser Bauweise begünstigt eine Ausweitung der Anwendungsbereiche von Holzkonstruktionen.

Bezugnehmend auf Tabelle 2-5 kann mit Hilfe der PUR-Beschichtung als konstruktiven Holzschutz das Entwicklungspotential von Holz als Baustoff noch weiter gesteigert werden.

Entwicklungspotential von Holz			Holz mit PUR-Beschichtung
	heute	zukünftig	
Kindergärten, Schulen	+	++	+++
Wohnungsbau	+	++	+++
Industriebau, Fertigteile, Mischkonstruktionen	-	++	+++
Fassadenfertigteile	O	++	+++

Tabelle 2-5: Entwicklungspotential vom Hybridbaustoff Holz und PUR

Die Kombination von Holz und PUR verspricht technische, konstruktive und wirtschaftliche Vorteile. Die Vereinfachung der Konstruktion durch die anwendungsfreundliche PUR-Beschichtung soll Holzkonstruktionen in Zukunft wirtschaftlich attraktiver machen und einen zuverlässigen und dauerhaften Witterungsschutz bieten. Sie erlaubt neue Konstruktionsformen im Holzbau und erlaubt den Architekten größere gestalterische Freiheit beim Entwurf von Holzbauwerken. Der Trend der aktuellen Architektur nach neuen freien Formen könnte in Zukunft mit Hybridkonstruktionen aus Holz und PUR wirtschaftlich umgesetzt werden. Viele Bauherren und Nutzer wünschen sich aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen eine Holzkonstruktion. Wenn die Funktionsfähigkeit der PUR-Beschichtung auf Holz nachgewiesen werden kann, wäre der Bedarf der Holzbauer nach einem wirtschaftlichen und dauerhaften konstruktiven Holzschutz einfach zu realisieren.

Die steigende Anforderung der Energieeinsparverordnung (EnEV) macht Holzfassaden generell attraktiver. Dank der Beschichtung von Holzfassaden mit PUR würden diese Fassadentypen wirtschaftlicher und erlaubten zusätzliche gestalterische Freiheiten.

3 Untersuchungsprogramm

Im Forschungsvorhaben wurden vier zu untersuchende Aspekte identifiziert und bearbeitet:

1. Ist eine Anwendung gegenüber herkömmlichen Systemen wirtschaftlich?
2. Wie sieht die Ökobilanz eines Verbundwerkstoffes aus Holz und Kunststoff aus?
3. Ist das Material Polyurethan als dauerhafter Witterungsschutz geeignet?
4. Erfüllt der Verbund die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit und Nutzungsdauer?
5. Erfüllen Hybrid-Bauteile aus Polyurethan und Holz die notwendigen Anforderungen an die Dauerhaftigkeit?

Die *erste Frage* wurde am Beispiel von Fassadenkonstruktionen untersucht. Dazu wurden verschiedene Fassadenvarianten vergleichend im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbewertung (LCC) betrachtet. Als Betrachtungszeitraum wurde ein Lebenszyklus von 80 Jahren angenommen (Kapitel 4: Wirtschaftlichkeit).

Die *zweite Frage* wurde mittels Ökobilanz (LCA) beispielhaft an den Fassadenelementen für die Errichtung und Nutzung untersucht, deren Wirtschaftlichkeit betrachtet wurde. Die Recyclefähigkeit wurde aufgrund fehlender quantitativer Daten allein für den Holz-Hybrid-Werkstoff untersucht, wobei auch die gesetzlichen Grundlagen Eingang finden (Kapitel 5: Ökologie).

In Anlehnung an die europäische Leitlinie für die Europäische Technische Zulassung für flüssig aufzubringende Dachabdichtungen (ETAG 005 [63]) wurde die *dritte Frage* nach der Dauerhaftigkeit des Spritzelastomers Polyurethan bearbeitet. Insbesondere stand bei diesem Aspekt die Bewertung der Notwendigkeit eines UV-Schutzes in Form eines Polyurethan-coatings im Mittelpunkt (Kapitel 6: Untersuchung von PUR-Spritzelastomeren).

Die *vierte Frage* wurde ebenfalls nach ETAG 005 [63] und durch Freilandversuche an Kleinproben untersucht. Um den Einfluss der Alterung auf die Nutzungsdauer bewerten zu können, wurden sowohl die Haftzugfestigkeit des Verbundes als auch das Ermüdungsverhalten und die Rissüberbrückung geprüft. Um einen aussagekräftigen Querschnitt über das Verbundverhalten zu erlangen, wurde für die Untersuchung des Verbundes eine Vielzahl von Holzwerkstoffen berücksichtigt (Kapitel 7: Untersuchung zur Dauerhaftigkeit des PUR-Holz-Verbundes und Kapitel 9: Feldversuche).

Als Bauteile wurden ein Wandelement aus zwei structural insulated panels (SIP) und ein Dach-Traufe-Element zur Klärung der *fünften Frage* geprüft. Am Wandelement wurde in Anlehnung an die Leitlinie für Europäische Technische Zulassungen für Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme mit Putzschicht (ETAG 004) das hygrothermische Verhalten zum Zweck Gebrauchstauglichkeit untersucht. Die Wand wurde Klimazyklen ausgesetzt, die vom unabhängigen Sachverständigenausschuss (SVA) für Wärmedämmverbundsysteme im Holzbau empfohlen sind. Am Dach-Traufe-Element wurde die Schlagregendichtheit geprüft (Kapitel 8: Untersuchung zur Dauerhaftigkeit von Hybridkonstruktionen).

4 Wirtschaftlichkeit

Um eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit einer hybriden Holzkonstruktion mit PUR-Beschichtung geben zu können, werden exemplarisch verschiedene Konstruktionen mit Hilfe der Kapitalwertmethode verglichen. Der Kapitalwert einer Investition ist die Summe aller Ein- und Auszahlungen, die durch die Investition verursacht wurden. Dabei werden die Ein- und Auszahlungen auf einen bestimmten Zeitpunkt t abgezinst. Die Zinssätze wurden dem Kriterium Nr. 2.1.1. „Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus“ des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) des BMVBS entnommen.

Kapitalwertmethode:

Der Kapitalwert ist ein betriebswirtschaftlicher Wert der dynamischen Investitionsrechnung. Durch Abzinsung auf den Investitionsbeginn werden Zahlungen, die zu beliebigen Zeitpunkten anfallen, vergleichbar gemacht.

Formel zur Kapitalwertmethode:

$$K_0 = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} (E_t - A_t) * \frac{1}{q^t} \qquad 4.1$$

mit $q = 1 + p$

K_0 = Barwert

I_0 = Investitionskosten zum Zeitpunkt t_0

E_t = Einnahmen zum Zeitpunkt t

A_t = Ausgaben zum Zeitpunkt t

q = Abzinsfaktor

p = Zinssatz mit $p = \frac{1{,}055}{1{,}02} - 1 \cong 0{,}034 \ = 3{,}4\%$ [7]

Zu den Gesamtkosten einer Konstruktion zählen neben den Erstellungskosten auch die mit den Jahren anfallenden Unterhaltskosten. In den folgenden Kapiteln werden beide Kostenarten erst getrennt berechnet und anschließend in der Zusammenfassung als Gesamtinvestition aufgeführt. Auf die ökonomische Betrachtung der Entsorgung und des Recyclings wurde verzichtet, da die Kennwerte insbesondere für PUR nicht im ausreichenden Umfang zur Verfügung standen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der mineralische Bauschutt deponiert werden muss, während die verwendeten Werkstoffe, die auf Kohlenstoffverbindungen basieren, energetisch verwertet werden können.

4.1 Erstellung

An den folgenden Beispielen werden die Herstellkosten für verschiedene Fassadentypen dargestellt. Diese Beispiele zeigen, dass PUR-Beschichtungen durchaus konkurrenzfähig gegenüber etablierten Fassadentypen sind:

Das Wohnprojekt „Wilde Rose“ wählte als Seminar- und Tagungsraum einen Dom mit kugelförmiger Kuppel. Die komplexe Geometrie des Daches sowie die Dichtigkeit zwischen den Kuppelelementen stellen für die Dacheindeckung eine große Herausforderung dar. Für die Bedachung der Kuppel wurden dem Auftraggeber vom Holzbauunternehmen drei verschiedene Varianten vorgeschlagen.

Variante 1: ein Foliendach mit einem Preis von 87,40 €/m²,

Variante 2: ein PUR beschichtetes Dach für 117 €/m²,

Variante 3: eine Dacheindeckung mit Resoplan für 161 €/m²

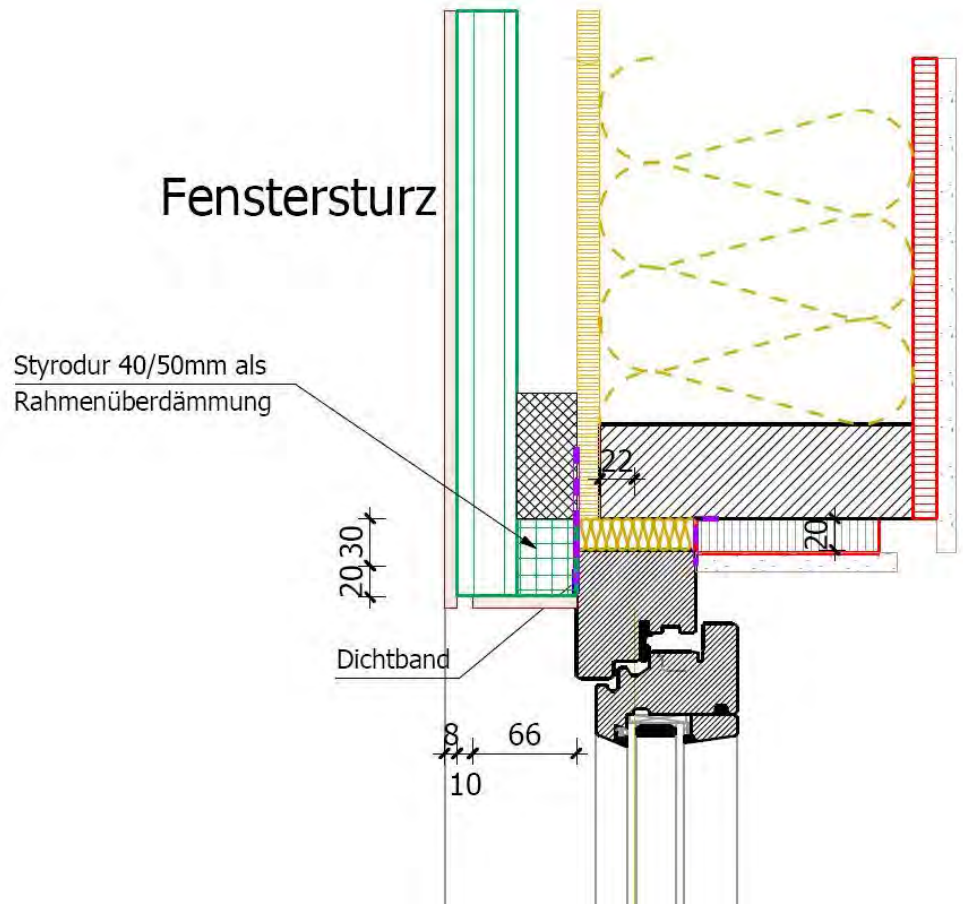
Durch die monolithische PUR-Beschichtung kann gerade bei dieser komplizierten Dachform die Dichtigkeit des Daches gewährleistet werden. Dank der ausgeprägten Dehnfähigkeit überbrückt die PUR-Beschichtung etwaige Risse oder Anschlussfugen im Holz. Diese Eigenschaften sowie die einfache und schnelle Applizierbarkeit machte PUR zur ersten Wahl für die Abdichtung dieser Kuppel.

Aus diesen Gründen entschied sich der Auftraggeber für die Variante mit der PUR-Beschichtung, obwohl es nicht die kostengünstigste Lösung war.

Der Neubau der Kita Kleine Horst in Hamburg sah in der ursprünglichen Planung eine vorgehängte hinterlüftete Fassade mit Faserzementplatten für 188 €/m² vor. Neben dieser Fassade wurden dem Bauherrn durch den Holzbauer zwei Sondervorschläge unterbreitet. Zum einen eine Holzstülpschalung für 75 €/m² und zum anderen eine MDF-Fassade mit PUR-Beschichtung für 100 €/m². Der Bauherr hielt an der ursprünglichen Planung fest und entschied sich somit für die teurere Variante.

Abbildung 4-1: Kita Kleine Horst in Hamburg

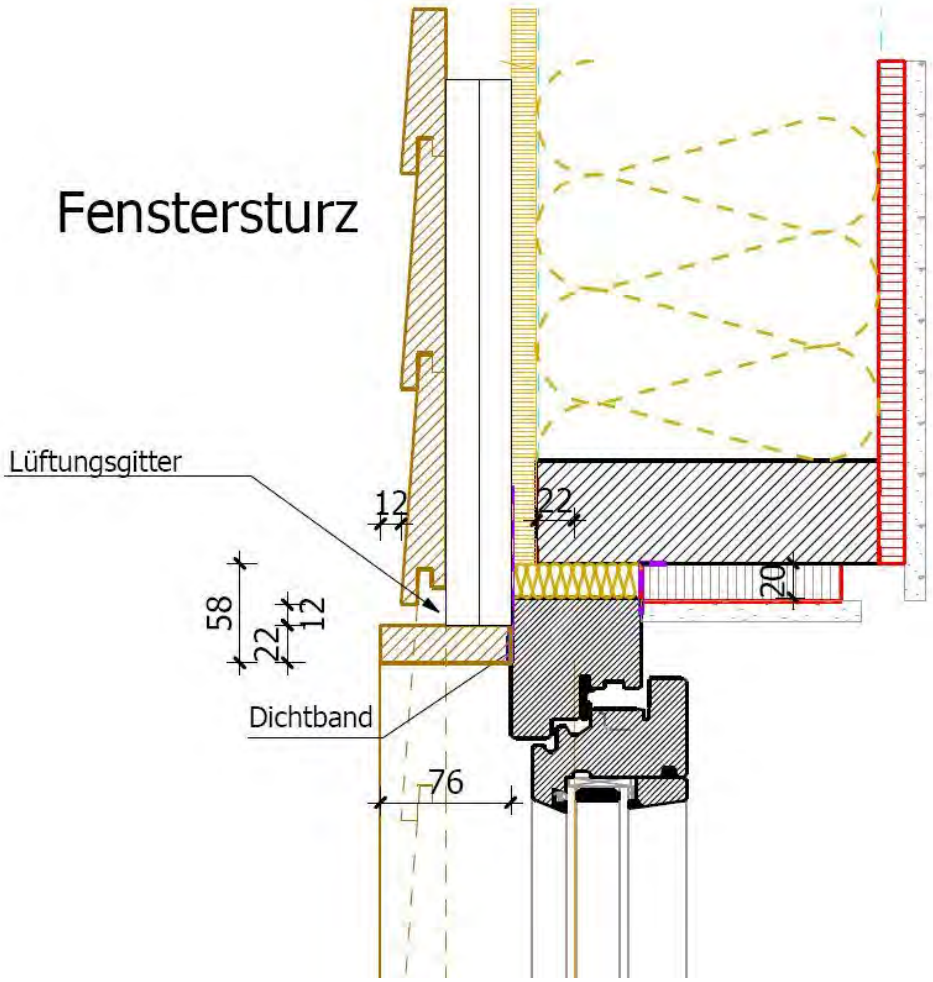
Die im Folgenden dargestellten Fassadentypen auf Grundlage der Vorschläge für die Kita Kleine Horst sind die Basis für die weitere exemplarische Wirtschaftlichkeitsberechnung und später für die ökologische Betrachtung im Abschnitt 5.



Aufbau von innen nach außen:

- 12,5mm Gipskartonbauplatte GKB nach DIN 18 180
- 15mm OSB/4-Platte "Egger Eurostrand OSB 4 Top" nach Z-9.1-566, r=620 kg/m^3
- Holzständerwerk 6/20 KVH-S10 Regelabstand 62,5cm
- dazwischen 200mm Mineralwolle "ISOVER ULTIMATE WLG 035" r >= 20 kg/m^3
  Baustoffklasse A1 nach DIN 4102-1
  gemäß gutachterlicher Stellungnahme Nr. (3695/9915) - AP vom 21.07.2006
  der MPA BRAUNSCHWEIG ist anstatt der in DIN4102-4 Tabelle 52 Zeile 1
  geforderten 80mm Mineralwolle Rohdichte >= 30 kg/m^3 die Verwendung von
  80mm ULTIMATE mit einer Rohdichte >= 20 kg/m^3 zulässig.
- 15mm MDF-Platte "Egger Formline DHF" r >= 600 kg/m^3
- 20mm Konterlattung
- 38mm Traglattung
- 8mm Eternit Textura Fassadenplatte

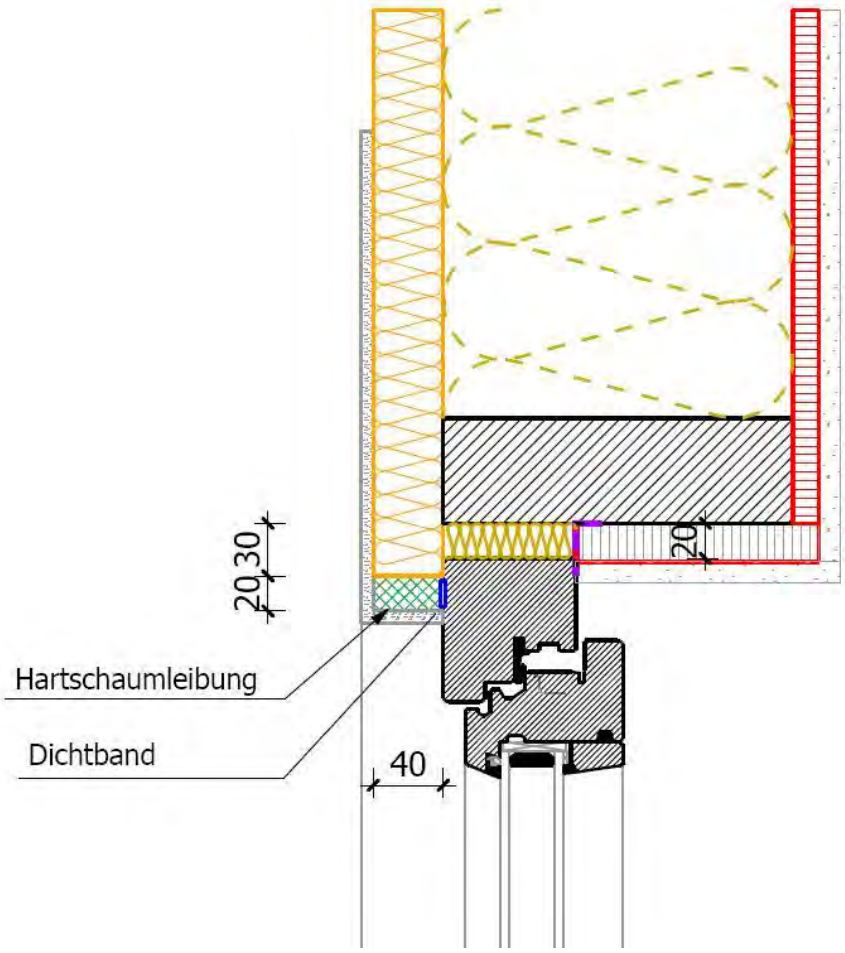
Abbildung 4-2: Aufbau der vorgehängten hinterlüfteten Fassade mit Faserzementplatten



Aufbau von innen nach außen:

- 12,5mm Gipskartonbauplatte GKB nach DIN 18 180
- 15mm OSB/4-Platte "Egger Eurostrand OSB 4 Top" nach Z-9.1-566, r=620 kg/m^3
- Holzständerwerk 6/20 KVH-S10 Regelabstand 62,5cm
- dazwischen 200mm Mineralwolle "ISOVER ULTIMATE WLG 035" r >= 20 kg/m^3
  Baustoffklasse A1 nach DIN 4102-1
  gemäß gutachterlicher Stellungnahme Nr. (3695/9915) - AP vom 21.07.2006
  der MPA BRAUNSCHWEIG ist anstatt der in DIN4102-4 Tabelle 52 Zeile 1
  geforderten 80mm Mineralwolle Rohdichte >= 30 kg/m^3 die Verwendung von
  80mm ULTIMATE mit einer Rohdichte >= 20 kg/m^3 zulässig.
- 15mm MDF-Platte "Egger Formline DHF" r >= 600 kg/m^3
- 38mm Konterlattung
- 26mm Stülpschalung

Abbildung 4-3: Aufbau der Holzstülpschalung

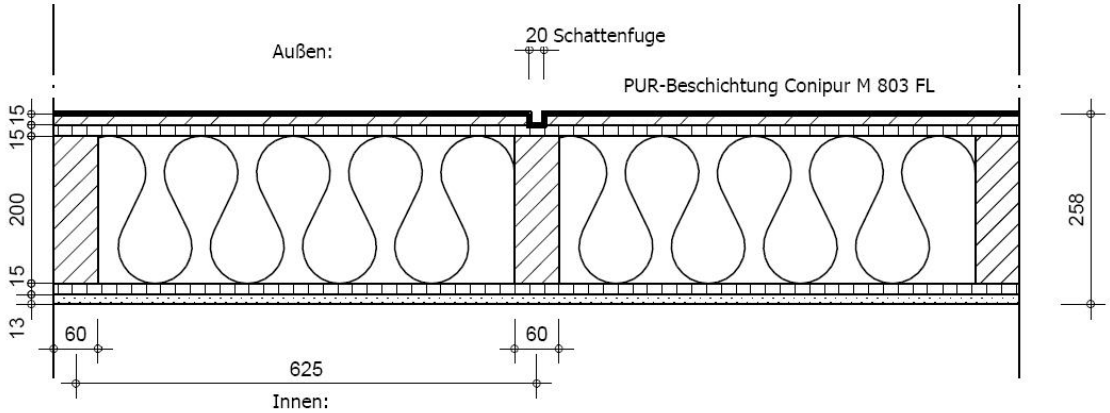


Wandaufbau von innen nach außen:

- 12,5mm Gipskartonbauplatte GKB nach DIN 18 180
- 15mm OSB/4-Platte "Egger Eurostrand OSB 4 Top" nach Z-9.1-566, r=620 kg/m^3
- Holzständerwerk 6/20 KVH-S10 Regelabstand 62,5cm
- dazwischen 200mm Glaswolle "ISOVER Integra ZKF 1-035" r >= 18 kg/m^3 Baustoffklasse A2 nach DIN 4102-1
- 40mm "Sto Weichfaserplatte M185" nach Z-33.47-659
- 6mm mineralischer Grundputz

Abbildung 4-4: Aufbau des Wärmedämmverbundsystems

Außenwände mit PUR-Beschichtung: Conipur M 803 FL



Baustoff	s[mm]	Lambda
1. Gipskartonplatte	12,5	0,21
2. OSB	15	0,13
3. Ständer	200	0,13
4. Dämmung	200	0,035
5. MDF	15	0,14
6. MDF	15	0,14
7. Conipur M 803 FL	2-3	

Abbildung 4-5: Aufbau der PUR-Fassade

4.2 Unterhalt

In diesem Kapitel wird ein Kostenvergleich zwischen verschiedenen Fassadensystemen durchgeführt. Da die unterschiedlichen Systeme unterschiedliche Instandsetzungsintervalle aufweisen, kommt hier, um die Kosten vergleichbar zu machen, die Kapitalwertmethode zum Einsatz. Hierbei werden die Instandsetzungskosten, die im Laufe der Nutzungsdauer der Konstruktion anfallen auf den Investitionsbeginn abgezinst.

Da es sich bei dieser Berechnung des Kapitalwertes ausschließlich um eine Investition handelt, bei der neben den Herstellkosten nur weitere Ausgaben in Form von Unterhaltskosten dazukommen, vereinfacht sich die Formel 4.1 zu:

$$K_0 = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} (-A_t) * \frac{1}{q^t} \qquad 4.2$$

Die primäre Aufgabe einer Fassade ist die Schutzfunktion des Bauobjekts. Des Weiteren kann sie durch entsprechende Form- und Farbgebung dem Bau ein ansprechendes Aussehen verleihen. Diese Funktionstauglichkeit einer Fassade ist unter anderem von folgenden Faktoren abhängig:

Witterungseinfluss, Konstruktion, Architektur, bei Holzfassaden die Holzart und Holzqualität, Oberflächenbehandlung, Montage und Befestigung.

Der wesentliche Einflussfaktor für Holzfassaden ist die Witterung. Sonne, Schlagregen und Temperaturwechsel führen zur starken Beanspruchung der Fassade.

Der Verband Schweizerischer Hobelwerke VSH [8] gibt in Abhängigkeit von der klimatischen Beanspruchung die Instandsetzungsintervalle von Beschichtungen bei Holzfassaden an. Die folgende Tabelle zeigt einen Auszug für eine mittlere Klimabeanspruchung.

Quelle	**Dünnschichtlasur [Jahre]**	**Dickschichtlasur [Jahre]**
Informationsdienst Holz, Deutschland	2 bis 3	4 bis 5
Lignatec 13/2001 LIGNUM - Schweizerische Holzwirtschaftskonferenz	2 bis 4	3 bis 6
Holzbau, Schweiz	2 bis 4	3 bis 6

Tabelle 4-1: Instandsetzungsintervalle von Beschichtungen bei Holzfassaden

Für PUR-Anstriche auf PUR-Beschichtungen wird laut der Reaku Hobein GmbH [9] ein Instandsetzungsintervall von 8-15 Jahren angesetzt. Diese Werte sind, wie auch bei anderen Anstricharten, von der Stärke der Bewitterung abhängig. Wobei 8 Jahre eher bei horizontalen und 10 – 15 Jahre bei senkrechten Flächen anzusetzen sind.

Für den Kostenvergleich wird bei mittlerer Bewitterung ein Instandsetzungsintervall für Fassaden mit einer Dünnschichtlasur von 3 Jahren, für Fassaden mit einer Dickschichtlasur von 4 Jahren und für PUR-Beschichtungen mit einem PUR-Anstrich von 10 Jahren angesetzt. Der Ansatz beruht auf der Annahme, dass die Fassaden direkt der Bewitterung ausgesetzt sind und trotzdem die Farbigkeit der Außenwand möglichst unverändert erhalten bleiben soll.

Die Kosten für die Erneuerung einer Dünnschichtlasur belaufen sich etwa auf 12 bis 17€/m². Dieser Wert beinhaltet eine vor dem Anstrich durchzuführende Oberflächenreinigung der Fassade. Für den Kostenvergleich wird hier der Mittelwert von 14,50€/m² angesetzt.

Die Vorbehandlung für die Erneuerung einer Dickschichtlasur ist etwas kostenintensiver. Müssen, abhängig von dem Zustand der Fassade, nur lose Teile entfernt und die Oberfläche angeraut werden, liegen die Kosten für die Erneuerung der Dickschichtlasur bei 17 bis 23€/m². Wenn darüber hinaus alte Farbschichten entfernt werden müssen, liegen die Kosten bei 19 bis 28€/m². Auch hier wird für den Kostenvergleich der Mittelwert als Berechnungsgrundlage verwendet. Dieser beläuft sich unter der Annahme, dass nur eine leichte Vorbehandlung der Oberfläche nötig ist, auf 20€/m².

Für die Erneuerung des PUR-Anstriches wird nach der Oberflächenreinigung die Grundierung und abschließend die Versieglung aufgebracht. Die Kosten für diesen Vorgang belaufen sich auf 11 bis 17€/m². Der Mittelwert von 14€/m² wird als Berechnungsgrundlage für den Kostenvergleich herangezogen.

Der folgenden Tabelle liegt ein Betrachtungszeitraum von 80 Jahren zugrunde. Es wurde eine Zinssatz p von circa 3,4% [7] angenommen.

Beschichtungsart	Instandssetzungs-intervall	Kosten pro Instandsetzung	Kosten pro m²
Dünnschicht	3	14,5	126,34
Dickschicht	4	20	127,77
PU	10	14	31,60

Tabelle 4-2: Vergleich der Instandsetzungskosten für Anstriche bei einem Betrachtungszeitraum von 80 Jahren

Der Tabelle kann man entnehmen, dass die Unterhaltungskosten für eine PUR-Fassade, für einen Betrachtungszeitraum von 80 Jahren, fast 80% günstiger sind als die für eine Holzfassade mit Dünnschichtlasur. Da die Unterhaltskosten für Stülpschalungen mit Dünn- und Dickschichtlasuren nahezu gleich sind, wird in der weiteren Berechnungen immer von dem Wert für Dünnschichtlasuren ausgegangen.

4.3 Zusammenfassung

Um den Kapitalwert der verschiedenen Fassadenvarianten zu bestimmen, werden in diesem Kapitel die Erstellungskosten gemäß Kapitel 4.1 und die Unterhaltskosten gemäß Kapitel 4.2 addiert und aufgelistet. Dieser Kapitalwert gibt darüber Auskunft, welcher Fassadentyp die geringeren Gesamtkosten aufweist und damit wirtschaftlicher ist. Die für die Berechnung des Kapitalwertes zugrunde gelegten Kosten sind aus der Datenbank sirAdos entnommen beziehungsweise wurden bei Baufirmen abgefragt.

Die hier angesetzte Nutzungsdauer für die aufgeführten Fassaden beträgt 40 Jahre beziehungsweise 30 Jahre für das Wärmedämmverbundsystem (WDVS) [10]. Für den Betrachtungszeitraum von 80 Jahren besteht die Gesamtinvestition der Fassaden aus den zweimaligen Herstellkosten und aus den Unterhaltskosten über 80 Jahre. Für die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Fassadentypen müssen die erneuten Herstellkosten, die nach der angesetzten Nutzungsdauer von 40 Jahren entstehen, sowie auch die Unterhaltskosten auf den Investitionsbeginn abgezinst werden. Die erneuten Herstellkosten für das WDVS wurden zur besseren Vergleichbarkeit von 30 auf 40 Jahre extrapoliert.

Fassadentyp	**Kapitalwert der Herstellkosten zum Zeitpunkt t=0**	**Kapitalwert der Herstellkosten zum Zeitpunkt t=40**	**Unterhaltskosten Zeitraum 80 Jahren**	**Kapital-wert**
Stülpschalung mit Dünnschicht	75 €/m²	19 €/m²	126 €/m²	221 €/m²
Fassade mit PUR-Beschichtung	100 €/m²	26 €/m²	28 €/m²	154 €/m²
Fassade mit Faserzementplatten	188 €/m²	49 €/m²	0 €/m²	237 €/m²
Wärmedämmver-bundsystem	109 €/m²	46 €/m²	17 €/m²	172 €/m²

Tabelle 4-3: Vergleich des errechneten Kapitalwertes der Fassadentypen für unterschiedliche Herstellzeitpunkte

Wie anfangs beschrieben kann über den Kapitalwert der Investition auf deren Wirtschaftlichkeit zurück geschlossen werden. Je kleiner der Kapitalwert der Fassade, desto wirtschaftlicher ist diese. Wie in Tabelle 4-3 zu sehen, liegt der Kapitalwert einer Fassade mit PUR-Beschichtung circa 11% unter dem einer Fassade mit Wärmedämmverbundsystem. Der Kapitalwert der anderen Fassaden liegt mit circa 31% bei der Stülpschalung und circa 35% bei der Faserzementplattenfassade deutlich über dem der PUR-Beschichtung. Mit den hier getroffenen Annahmen ist somit die Fassade mit PUR-Beschichtung die wirtschaftlichste Variante.

5 Ökologie

Im Rahmen der ökologischen Bewertung wurden die bereits bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verglichenen Fassadensysteme

- Variante MDF-Platte mit PUR-Beschichtung,
- Variante Wärmedämmverbundsystem (WDVS),
- Variante Holzstülpschalung und
- Variante Faserzementplatte

gegenübergestellt und deren Umweltwirkungen in der Herstellungs- und Nutzungsphase bilanziert (Abschnitt 5.1 und 5.2). Die Recyclingphase wird in Abschnitt 5.3 separat behandelt und qualitativ bewertet.

5.1 Herstellungs- und Nutzungsphase

Bei der ökologischen Lebenszyklusanalyse wurden die Wirkindikatoren

- Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEI_{ne}),
- Primärenergiebedarf erneuerbar (PEI_{e}),
- Treibhauspotential (GWP_{100}) sowie
- Versauerungspotential (AP)

gewählt, wobei der angesetzte Betrachtungszeitraum 80 Jahre beträgt. Dieser Betrachtungszeitraum orientiert sich an den Vorgaben des Bewertungssystems Nachhaltigesr Wohnungsbau (BNW). Vergleichsrechnungen haben ergeben, dass ein kürzerer Betrachtungszeitraum auf das Verhältnis zwischen den Varianten PUR-Beschichtung, WDVS und Faserzementplatte bezüglich der Wirkindikatoren einen geringen Einfluss hat. Bezüglich der Holzstülpschalung besteht allerdings ein erheblicher Einfluss der Nutzungsdauer auf die Wirkindikatoren im Verhältnis zu den anderen Varianten.

Als Datenquelle für die ökologischen Baustoffkennwerte wurde die Ökobau.dat und für die Nutzungsdauer die Nutzungsdauertabellen [10] des BMVBS herangezogen. Grundsätzlich wurden die mittleren Nutzungsdauern zur Bewertung herangezogen (vgl. Anlagen). Auf die Anwendung der Faktorenmethode nach ISO 15686 wurde verzichtet, da keine Angaben zu den einzelnen Einflussfaktoren vorlagen.

5.1.1 Vergleich der Fassadensysteme

Alle untersuchten Fassadensysteme weisen (von innen nach außen) folgenden identischen Schichtaufbau auf:

- 1,25 cm Gipskartonplatte,
- 1,5 cm OSB-Platte,

- Holzständer 6/20 cm, Achsabstand a = 62,5 cm,
- im Gefachbereich jeweils 20 cm Mineralwolldämmung.

Lediglich die äußeren Schichten unterscheiden sich je nach Variante.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit der einzelnen Fassadensysteme untereinander wurde ein „funktioneller Ansatz“ gewählt, d.h. dass für alle Varianten ein einheitlicher Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) angesetzt wurde. Der U-Wert beträgt 0,21 W/(m^{2}K). Für die Variante Wärmedämmverbundsystem musste der Wärmedurchgangswiderstand durch die Reduzierung der Dicke der Wärmedämmung des Wärmedämmverbundsystems dahingehend modifiziert werden. Damit ergibt sich für den Betrieb jeweils ein identischer Energiebedarf für alle Varianten.

5.1.2 Variante MDF-Platte mit PUR-Beschichtung

Für die Fassadenvariante MDF-Platte mit PUR-Beschichtung wird auf die Holzständer eine MDF-Platte (d = 1,5 cm) aufgebracht, die mit einer PUR-Grundierung und PUR-Beschichtung (Conipur M 803 FL, d = 2,5 mm) versehen wird. Auf die Beschichtung wird als UV-Schutz zusätzlich eine Versiegelung (Conipur TC 459) aufgebracht.

Da keine Ökobilanzdaten für das PUR-Abdichtungssystem Coniroof 2103 (BASF AG) vorlagen, wurden hilfsweise die Angaben für PUR-Dichtmassen aus der Ökobau.dat herangezogen. Laut BASF Datenblatt [11] beträgt der Verbrauch für die 2-Komponenten Beschichtung Conipur M 803 FL mind. 2,3 kg/m^2. Für die Versiegelung Conipur TC 459 beträgt der Verbrauch 0,10 – 0,15 kg/m^2. Hier wurde für die Berechnungen ein Verbrauch von 0,15 kg/m^2 angesetzt.

Bezüglich der anzusetzenden Erneuerungsintervalle für diese Fassadenvariante ist die Versiegelung Conipur TC 459 maßgebend. Es wird davon ausgegangen, dass die Versiegelung alle 10 Jahre erneuert werden muss. Die PUR-Beschichtung selbst wird auf eine MDF-Platte aufgebracht. Somit ergibt sich für die Beschichtung eine Nutzungsdauer, die dem der MDF-Platte (mittlere Lebensdauer = 40 Jahre) entspricht. Anhand der Nutzungsdauern der übrigen Konstruktionsteile (siehe Anhang) ergibt sich ein Erneuerungsintervall von 40 Jahren für die gesamte Konstruktion. Dies betrifft auch Bauteile die ggf. längere Nutzungsdauern haben (hier: Holzständer), da es keinen Sinn macht, die äußere Konstruktion nach 40 Jahren zu erneuern und dann 10 Jahre später die darunter liegende tragende Konstruktion zu erneuern, wobei die darüber liegende Bauteilschichten ebenfalls erneuert werden müssten.

5.1.3 Variante Wärmedämmverbundsystem (WDVS)

Bei der Fassadenvariante mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS) wird außenseitig auf die Holzständerkonstruktion eine Holzweichfaserplatte aufgebracht. Diese wird mit einem mineralischen Putz versehen (siehe Abbildung *5-1*), der wiederum mit einer Dispersionsfarbe gestrichen wird.

Um die Vergleichbarkeit anhand eines „funktionellen Ansatzes“ gewährleisten zu können, wurde die ursprünglich geplante Dicke der Holzweichfaserplatte von 4 cm auf 1 cm reduziert, so dass sich auch für diese Variante ein U-Wert von 0,21 W/(m^{2}K) ergibt.

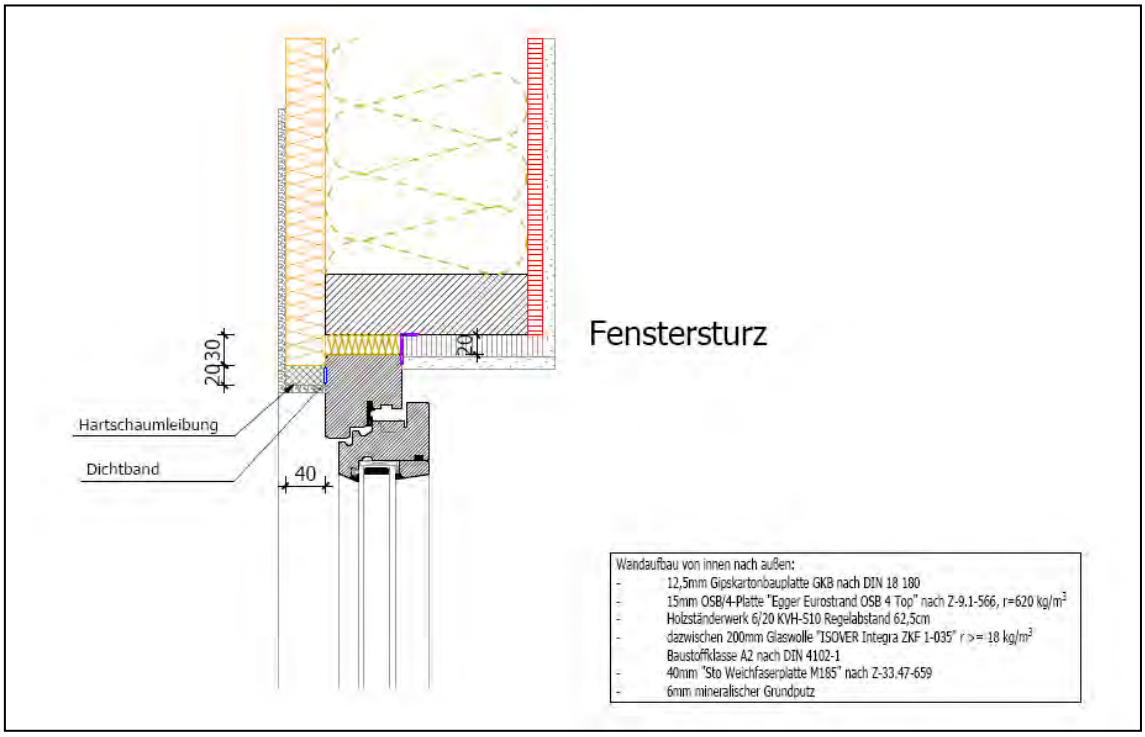


Abbildung 5-1: Bauteilaufbau Variante 2 (Wärmedämmverbundsystem WDVS)

In Bezug auf die Erneuerungsintervalle muss die Dispersionsfarbe alle 20 Jahre und der mineralische Putz alle 30 Jahre erneuert werden (siehe Anhang). Alle anderen Konstruktionsteile weisen eine längere Nutzungsdauer (40 bis 50 Jahre) auf. Man kann jedoch davon ausgehen, dass eine Erneuerung des Putzes auch eine Erneuerung der darunterliegenden Holzweichfaserplatte zur Folge hat, da der Putz nicht sauber vom Untergrund getrennt werden kann. Daher wird für diese beiden Schichten ein Erneuerungsintervall von 30 Jahren angesetzt, während die gesamte Konstruktion nach 40 Jahren erneuert werden muss. Wie bereits in Abschnitt 5.1.2 beschrieben, betrifft dies auch Bauteile die ggf. längere Nutzungsdauern haben (hier: Holzständer).

5.1.4 Variante Holzstülpschalung

Gemäß Abbildung 5-2 wird die Holzstülpschalung an einer Konterlattung befestigt, die mit einer MDF-Platte verbunden ist. Für die Holzstülpschalung ist ein Holzschutz vorzusehen, der diese vor Vergrauung schützt. Hierfür wurde eine Imprägnierlasur (Arbezol Hydrosotic) gewählt, bei deren Anwendung 1 kg für 5 – 10 m^2 benötigt wird sowie 2 – 3 Anstriche [13]. Für die Berechnung wurde von einem Bedarf von 1 kg für 7,5 m^2 sowie 3 Anstrichen ausgegangen, so dass sich pro m^2 eine Menge von 0,4 kg ergibt.

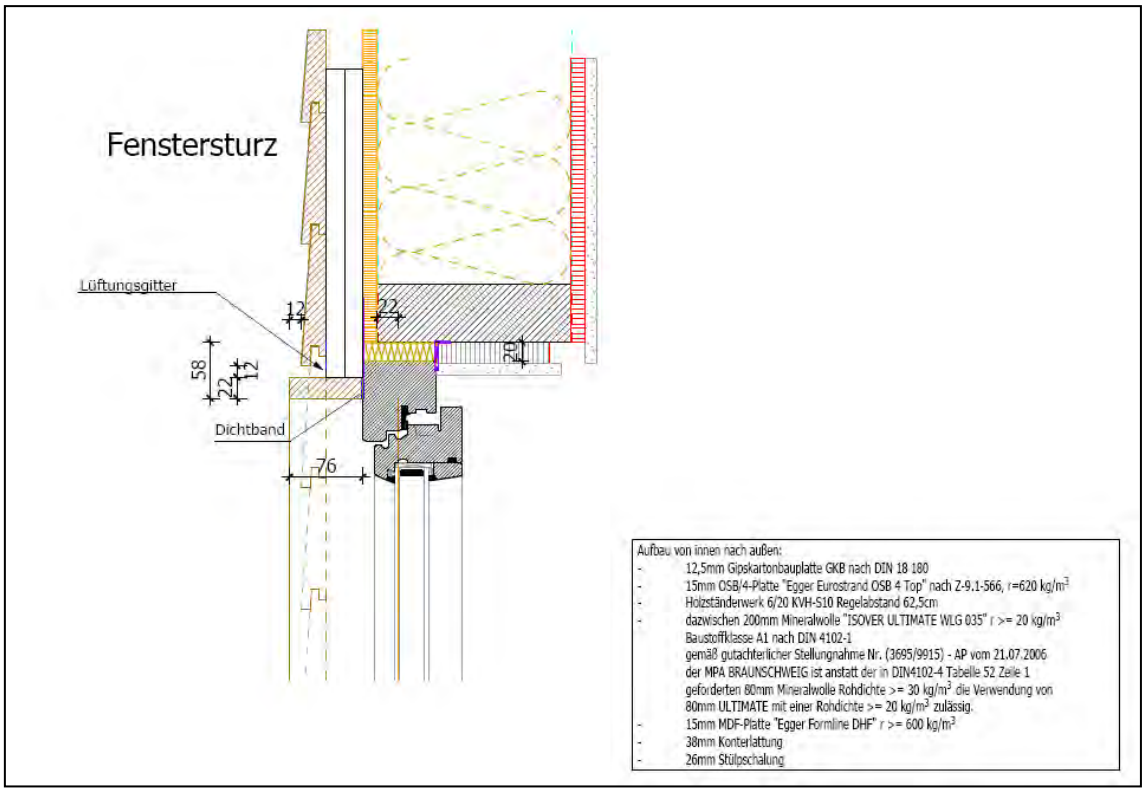


Abbildung 5-2: Variante 3 (Holzstülpschalung)

Die Nutzungsdauer der Lasur bei direkter Wetterbeanspruchung (Expositionsrichtung Süd/West) beträgt 3 Jahre [8], d.h. alle drei Jahre wird ein erneuter Anstrich notwendig. Alle übrigen Bauteile müssen nach 40 Jahren erneuert werden (vgl. Variante 1 und 2 sowie Anhang).

5.1.5 Variante Faserzementplatte

Die Faserzementplatte wird auf einer Holzunterkonstruktion bestehend aus Lattung und Konterlattung auf einer MDF-Platte befestigt, die mit der Holzständerkonstruktion verbunden ist (siehe Abbildung 5-3).

Anhand der Nutzungsdauern aller Konstruktionsteile (siehe Anhang) ergibt sich, dass die gesamte Konstruktion nach 40 Jahren erneuert werden muss. Wie bereits in Abschnitt 5.1.2 beschrieben, betrifft dies auch Bauteile die ggf. längere Nutzungsdauern haben (hier: Holzständer).

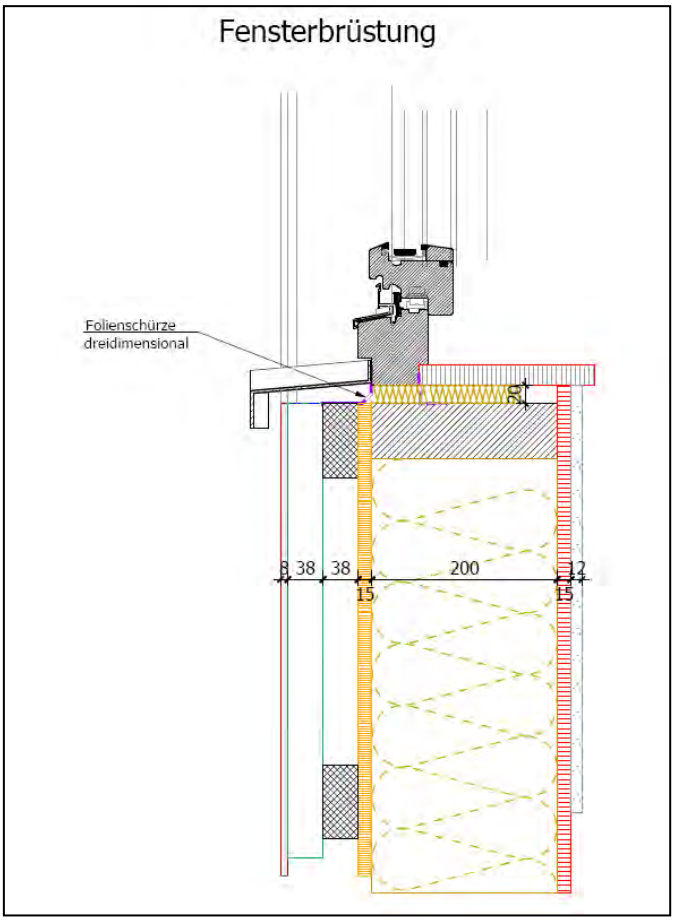


Abbildung 5-3: Variante 4 (Faserzementplatte)

5.2 Auswertung der Umweltwirkungen

Um zu einer Aussage bezüglich der ökologischen Wirkungen der einzelnen Fassadensysteme zu kommen, wurden die Herstellungs- und die Nutzungsphase hinsichtlich Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEI_{ne}) und erneuerbar (PEI_{e}), Treibhauspotential (GWP_{100}) sowie Versauerungspotential (AP) analysiert.

Für die Nutzungsphase sind die Umweltwirkungen in Bezug auf den Betrieb identisch (siehe Anhang), da alle Varianten den gleichen U-Wert und daraus resultierend den gleichen Endenergiebedarf für Heizung (Annahme: Gas-Brennwertkessel, Wirkungsgrad η = 80%) haben. Daher werden die aus dem Betrieb resultierenden Umweltwirkungen bei der unten stehenden Auswertung nicht dargestellt. Für die Nutzungsphase wurden nur die Aufwendungen und Wirkungen für eine Instandsetzung bzw. Erneuerung der Bauteile berücksichtigt. (In den Tabellen im Anhang sind Werte jeweils mit und ohne Betrieb zu finden.)

5.2.1 Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEI_{ne})

Herstellungsphase

Für die Herstellungsphase ergibt sich gemäß Abbildung 5-4 folgende Verteilung des Anteils nicht erneuerbarer Primärenergie: Das WDVS weist mit 541,93 MJ/m^2 den geringsten Primärenergiebedarf (nicht erneuerbar) auf. Die Faserzementplatte liegt mit 682,61 MJ/m^2 höher, gefolgt von der Holzstülpschalung mit Holzschutzlasur mit 692,62 MJ/m^2. Die PUR-beschichtete Holzkonstruktion weist mit 779,12 MJ/m^2 den höchsten nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf auf.

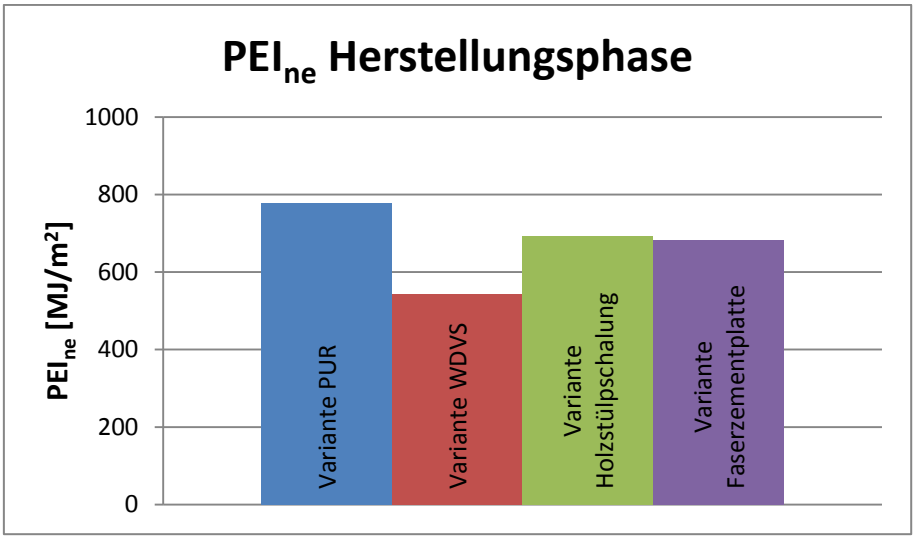


Abbildung 5-4: PEI_{ne} Herstellungsphase

Nutzungsphase 80 Jahre

Für die Nutzungsphase (siehe Abbildung 5-5) weist die Faserzementplatte den geringsten nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf (682,61 MJ/m^2) auf. Als Grund hierfür kann der – gegenüber den anderen Varianten – geringe Erneuerungsbedarf genannt werden. Die Faserzementplatte muss innerhalb des 80-jährigen Betrachtungszeitraumes bedingt durch ihre vergleichsweise lange Lebensdauer (40 Jahre) nur einmal erneuert werden.

Die Versiegelung des PUR-Spritzelastomers muss demgegenüber alle 10 Jahre erneuert werden, wodurch auch der Primärenergiebedarf in der Nutzungsphase erhöht ist (877,22 MJ/m^2). Das Wärmedämmverbundsystem muss alle 20 Jahre neu gestrichen werden und wird alle 30 Jahre erneuert, so dass sich für das WDVS mit 906,14 MJ/m^2 ein höherer nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf ergibt. Die Holzstülpschalung weist den größten nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf in der Nutzungsphase auf. Dieser beträgt 1.393,52 MJ/m^2 und resultiert maßgeblich aus dem großen Instandhaltungsbedarf der herkömmlichen Holzfassade durch Erneuerung des Holzschutzes alle drei Jahre. Bei dem hier gewählten Ansatz wird bei einer Lebensdauer von 80 Jahren der Holzschutz 27 mal erneuert.

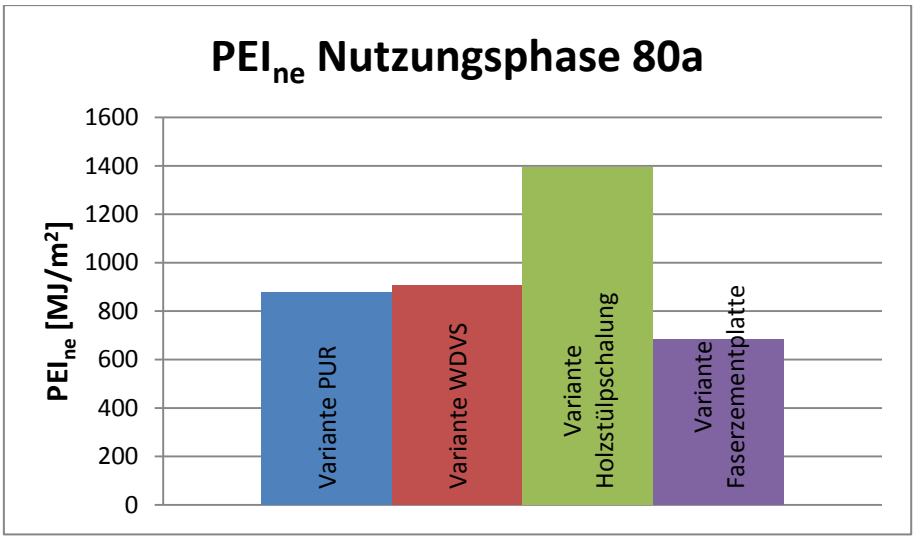


Abbildung 5-5: PEI_{ne} Nutzungsphase 80a (ohne Betrieb)

Gesamt 80 Jahre (Herstellungsphase + Nutzungsphase)

Die zusammenfassende Betrachtung beider Lebenszyklusphasen (Herstellung und Nutzung) (siehe Abbildung 5-6), ergibt für die Faserzementplatte den geringsten nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf (1365,22 MJ/m^2) gefolgt vom WDVS mit 1448,31 MJ/m^2. Die PUR-beschichteten MDF-Platte liegt mit 1656,35 MJ/m^2 hinter dem WDVS und für die Holzstülpschalung ergibt sich ein Primärenergiebedarf von 2.086,14 MJ/m^2.

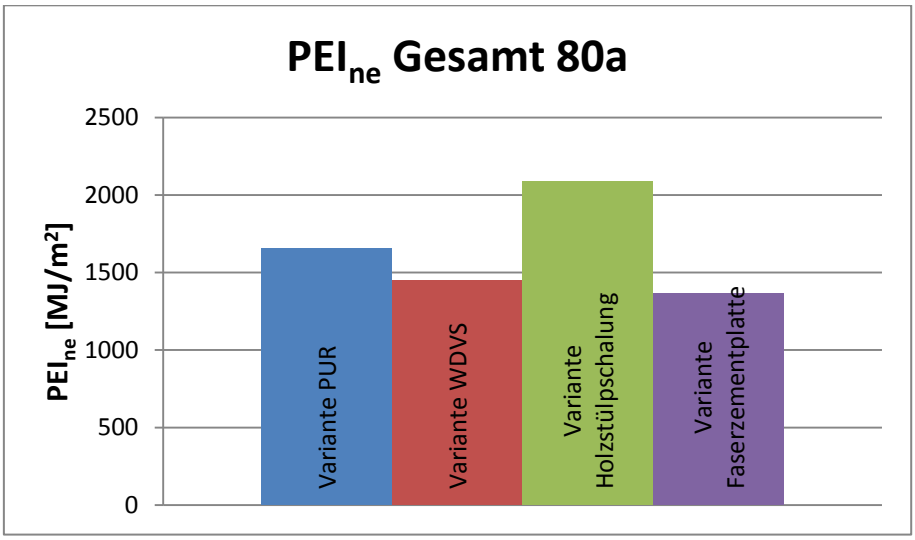


Abbildung 5-6: PEI_{ne} gesamt 80a (ohne Betrieb)

5.2.2 Primärenergiebedarf erneuerbar (PEI_e)

Herstellungsphase

Für die Herstellungsphase ergibt sich gemäß Abbildung 5-7 folgende Verteilung des Anteils an erneuerbarer Primärenergie: Das WDVS weist mit 467,91 MJ/m^2 den geringsten Primärenergiebedarf erneuerbar auf. Die PUR-beschichtete Holzkonstruktion liegt mit 622,54 MJ/m^2 höher, gefolgt von der Faserzementplatte mit 726,56 MJ/m^2. Die Holzstülpschalung mit Holzschutzlasur weist mit 915,38 MJ/m^2 den höchsten Anteil erneuerbarer Primärenergie auf.

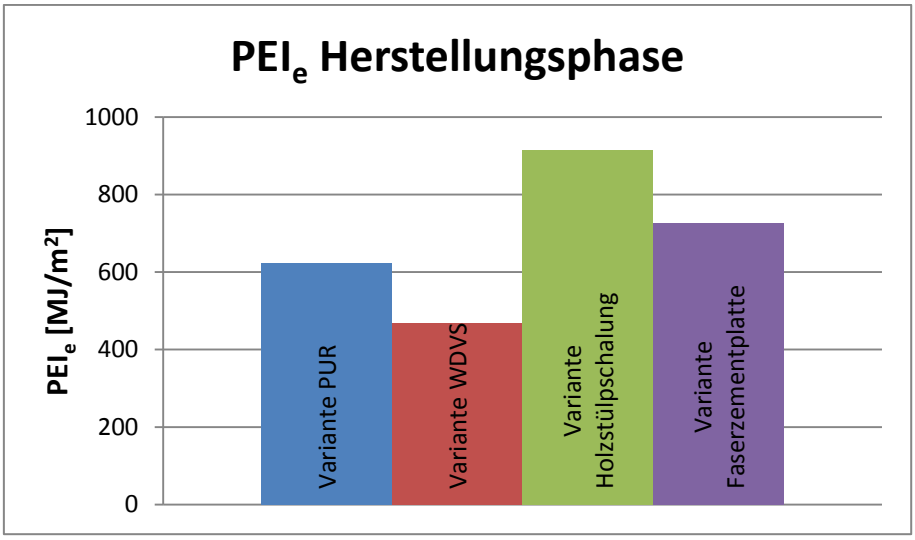


Abbildung 5-7: PEI_e Herstellungsphase

Nutzungsphase 80 Jahre

Für die Nutzungsphase (siehe Abbildung 5-8) weist ebenfalls das WDVS den geringsten Primärenergiebedarf erneuerbar (564,31 MJ/m^2) auf. Die PUR-beschichtete MDF-Platte hat in der Nutzungsphase einen Primärenergiebedarf erneuerbar von 632,71 MJ/m^2. Die Holzstülpschalung weist mit 923,45 MJ/m^2 den höchsten Anteil erneuerbarer Primärenergiebedarf auf. Die Faserzementplatte liegt mit 726,56 MJ/m^2 zwischen der PUR-Beschichtung und der Holzstülpschalung.

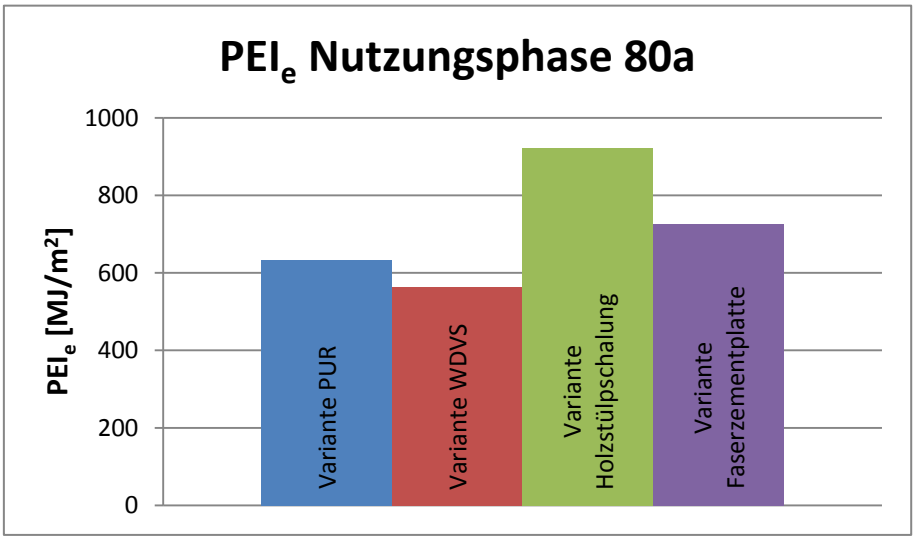


Abbildung 5-8: PEI_e Nutzungsphase 80a (ohne Betrieb)

Gesamt 80 Jahre (Herstellungsphase + Nutzungsphase)

Die Betrachtung beider Lebenszyklusphasen (Herstellung und Nutzung) (siehe Abbildung 5-8), ergibt für das WDVS den geringsten Primärenergiebedarf erneuerbar (1.032,22 MJ/m^2) gefolgt von der PUR-beschichteten MDF-Platte mit 1.255,25 MJ/m^2. Die Faserzementplatte liegt mit 1.453,11 MJ/m^2 hinter der PUR-Beschichtung und für die Holzstülpschalung ergibt sich ein Primärenergiebedarf erneuerbar von 1.838,82 MJ/m^2.

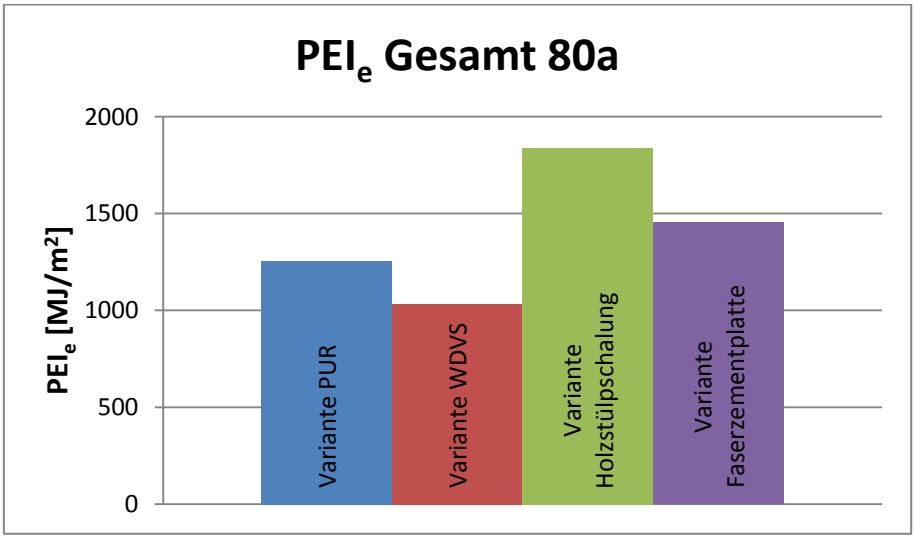


Abbildung 5-9: PEI_e gesamt 80a (ohne Betrieb)

5.2.3 Treibhauspotential (GWP_{100})

Das Treibhauspotential (**G**lobal **W**arming **P**otential = GWP) kennzeichnet den Beitrag klimarelevanter Gase (z.B. Kohlendioxid, Methan, FCKW) zum Treibhauseffekt, also zur Erwärmung der bodennahen Luftschichten. Die Angabe erfolgt als Kohlendioxid-Äquivalent (CO_2-Äq.).

Herstellungsphase

In der Herstellungsphase ergibt sich gemäß Abbildung 5-10 für die Bauteilkomponenten der Fassadenvariante mit PUR-Beschichtung mit 27,34 kg_{CO2}/m^2 das größte Treibhauspotential. Die Holzstülpschalung schneidet hier auf Grund des hohen Holzanteils der Konstruktion sehr gut ab (16,1530 kg_{CO2}/m^2). Die Faserzementplatte liegt mit 24,7946 kg_{CO2}/m^2 an zweiter Stelle, gefolgt vom WDVS mit einem Treibhauspotential von 27,261 kg_{CO2}/m^2 in der Herstellungsphase.

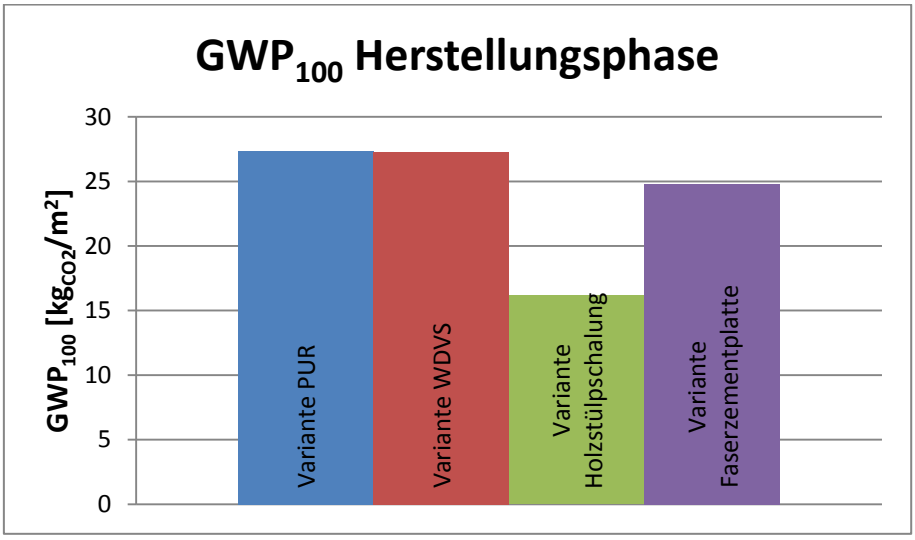


Abbildung 5-10: GWP_{100} Herstellungsphase

Nutzungsphase 80 Jahre

Obwohl das Treibhauspotential der Variante mit Faserzementplatte in der Herstellungsphase im Vergleich zu den anderen Varianten relativ hoch war, ergibt sich für die Nutzungsphase (siehe Abbildung 5-11) das geringste Treibhauspotential (24,7946 kg_{CO2}/m^2). Als Grund hierfür kann der – gegenüber den anderen Varianten – geringe Erneuerungsbedarf genannt werden. Die Faserzementplatte muss innerhalb des 80-jährigen Betrachtungszeitraumes bedingt durch ihre vergleichsweise lange Lebensdauer (40 Jahre) nur einmal erneuert werden, wodurch sich die Umweltwirkungen in der Nutzungsphase infolge Instandhaltung reduzieren lassen.

Die PUR-Beschichtung weist mit 32,002 kg_{CO2}/m^2 ein höheres Treibhauspotential als die Variante mit Faserzementplatte auf. Die Holzstülpschalung und das WDVS liegen mit 53,7530 kg_{CO2}/m^2 sowie 54,5090 kg_{CO2}/m^2 erheblich über den Werten der PUR-Beschichtung und der Faserzementplatte. Dies ist einerseits bedingt durch den großen

Instandhaltungsbedarf der herkömmlichen Holzfassade durch Erneuerung des Holzschutzes alle drei Jahre sowie andererseits durch die CO_2-intensive Herstellung des Wärmedämmverbundsystems.

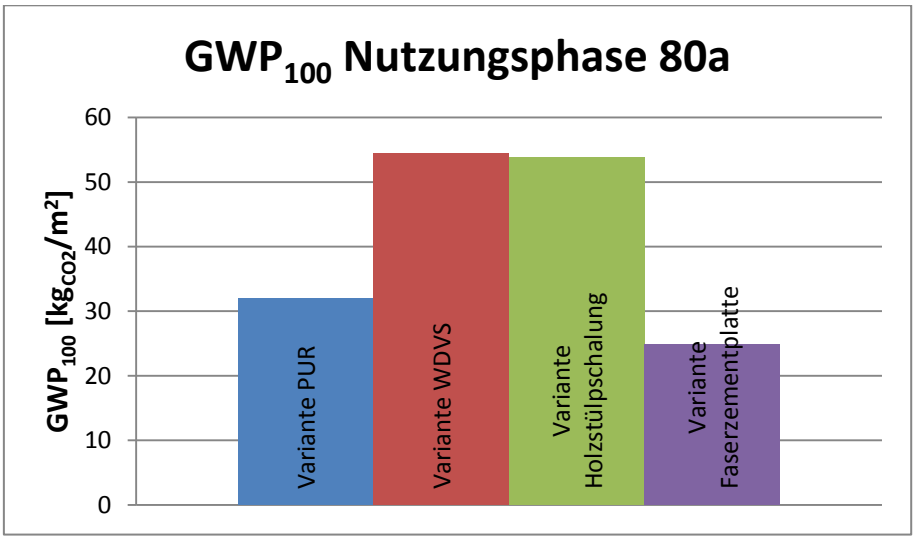


Abbildung 5-11: GWP_{100} Nutzungsphase 80a (ohne Betrieb)

Gesamt 80 Jahre (Herstellungsphase + Nutzungsphase)

Über den gesamten Lebenszyklus (Herstellungs- und Nutzungsphase) (siehe Abbildung *5-12*), ergibt sich für die Faserzementplatte das geringste Treibhauspotential (49,5893 kg_{CO2}/m2) gefolgt von der PUR-Beschichtung mit 59,3421 kg_{CO2}/m2. Das WDVS weist mit 81,7701 kg_{CO2}/m2 das höchste Treibhauspotential auf. Die Holzstülpschalung liegt mit 69,9061 kgCO2/m2 darunter.

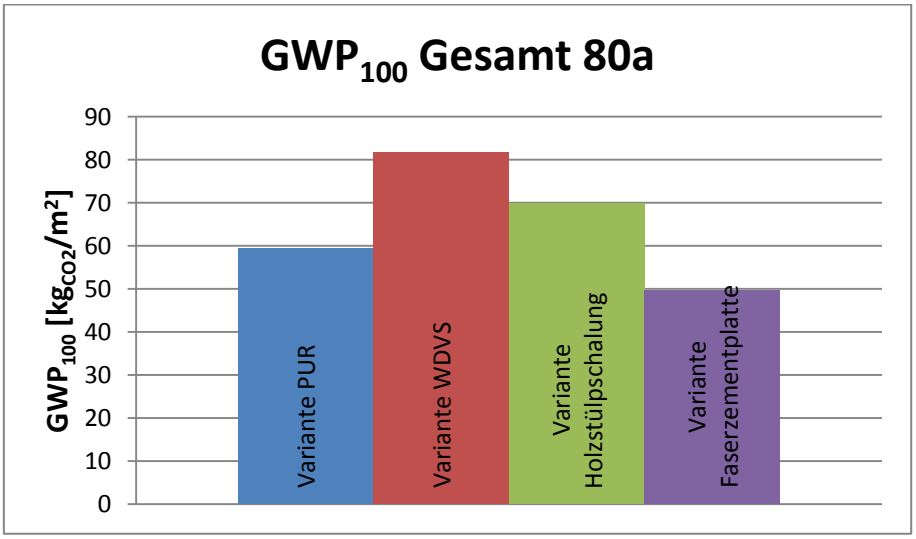


Abbildung 5-12: GWP_{100} gesamt 80a (ohne Betrieb)

5.2.4 Versauerungspotential (AP)

Schwefel- und Stickstoffemissionen führen durch eine Reduktion des pH-Wertes von Regenwasser zu einer Versauerung von Böden und Gewässern. Durch die Versauerung werden bspw. Nährstoffe rasch aus dem Boden ausgewaschen und Metalle verstärkt gelöst, woraus Schäden am Ökosystem (z.B. Waldsterben) resultieren. An Bauwerken kann die Versauerung des Regenwassers zu verstärkter Korrosion und Zersetzung von Baustoffen führen. Das Versauerungspotential, ausgedrückt in Schwefeldioxid-Äquivalent (SO_2-Äq) kennzeichnet diese Umweltwirkungen.

Herstellungsphase

In der Herstellungsphase ergibt sich gemäß Abbildung 5-13 für die Bauteilkomponenten der Variante Wärmedämmverbundsystem mit 0,1296 kg_{SO2}/m^2 das geringste Versauerungspotential. Die Holzstülpschalung liegt mit 0,129797 kg_{SO2}/m^2 etwas höher, gefolgt von der Faserzementplatte mit 0,151512 kg_{SO2}/m^2. Die PUR-beschichtete Holzkonstruktion weist mit 0,1896 kg_{SO2}/m^2 in der Herstellungsphase das größte Versauerungspotential auf.

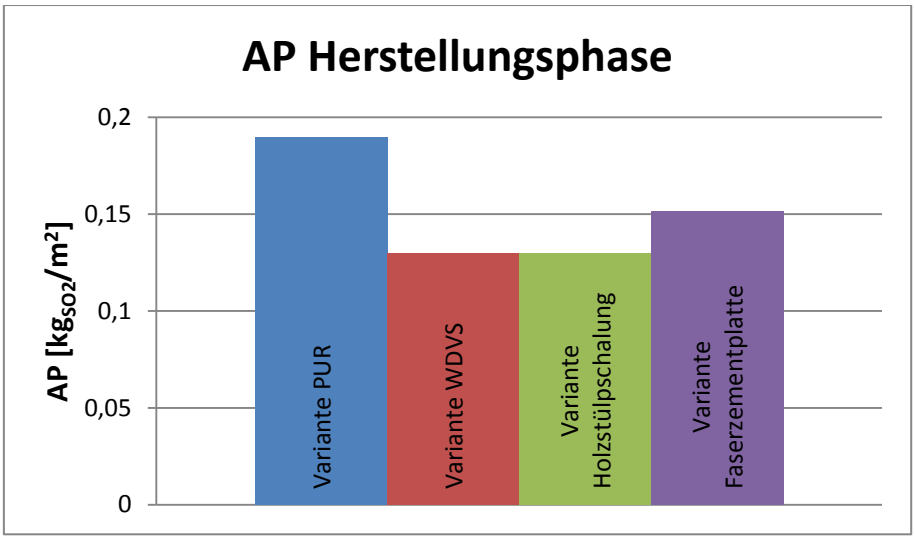


Abbildung 5-13: AP Herstellungsphase

Nutzungsphase 80 Jahre

Für die Nutzungsphase (Abbildung 5-14) ergibt sich für die Faserzementplatte das geringste Versauerungspotential (0,151512 kg_{SO2}/m^2). Die Holzstülpschalung liegt mit 0,2025 kg_{SO2}/m^2 über den Betrachtungszeitraum von 80 Jahren etwas höher. Die PUR-Beschichtung sowie das WDVS weisen mit 0,2176 kg_{SO2}/m^2 und 0,2493 kg_{SO2}/m^2 jeweils ein höheres Versauerungspotential auf.

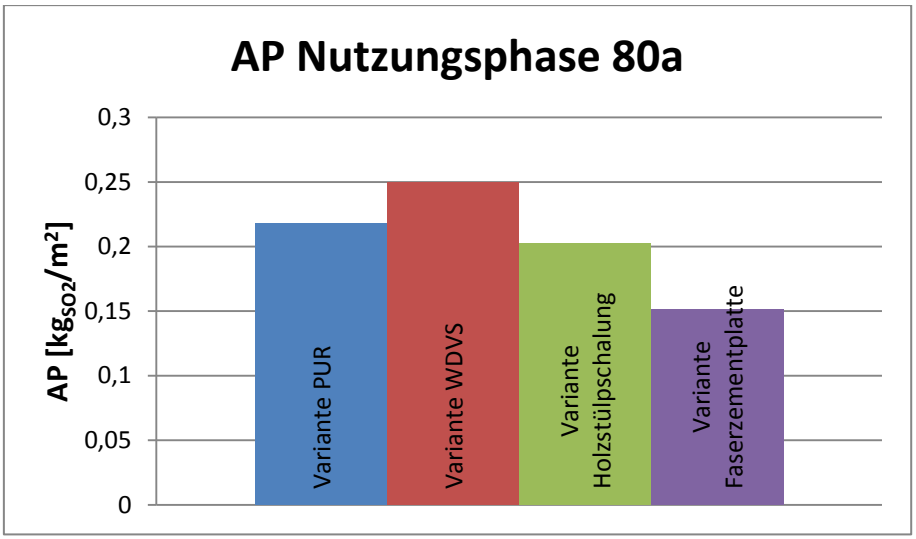


Abbildung 5-14: AP Nutzungsphase 80a (ohne Betrieb)

Gesamt 80 Jahre (Herstellungsphase + Nutzungsphase)

Über den gesamten Lebenszyklus (Herstellungs- und Nutzungsphase) (siehe Abbildung 5-15), ergibt sich für die PUR-Beschichtung das höchste Versauerungspotential (0,4071 kg_{SO2}/m^2) gefolgt vom WDVS mit 0,3789 kg_{SO2}/m^2. Die Faserzementplatte weist mit 0,3030 kg_{SO2}/m^2 das geringste Versauerungspotential auf und die Holzstülpschalung liegt mit 0,3323 kg_{SO2}/m^2 darüber.

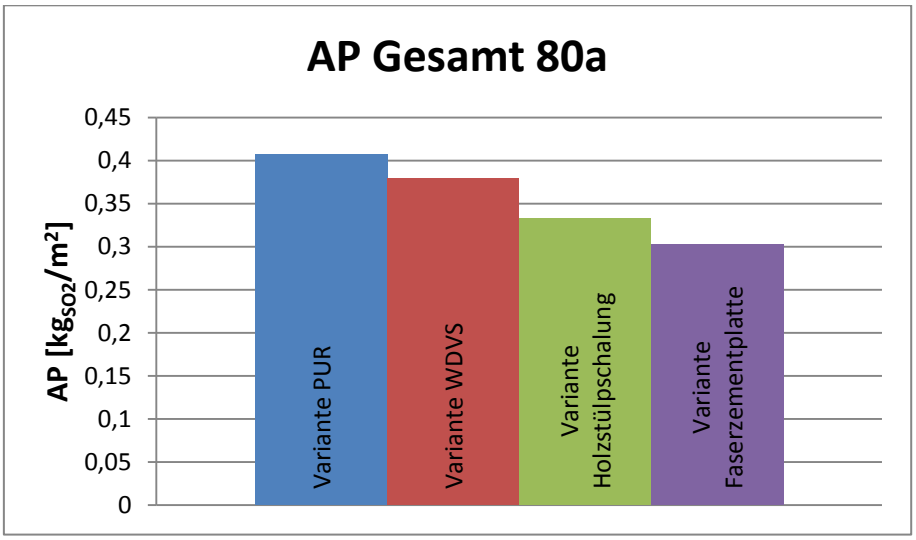


Abbildung 5-15: AP gesamt 80a (ohne Betrieb)

5.3 Recycling

Bereits seit dem Inkrafttreten der Technischen Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (TA Siedlungsabfall) 1993 konnte abgesehen von Ausnahmeregelungen, die bis Juni 2005 durch die entsprechenden Behörden zugelassen werden konnten, weder Polyurethan noch Altholz deponiert werden, da beide Baustoffe einen Glühverlust über dem Maximalwert für Deponierbarkeit aufweisen [15]. Diese Regelung wurde auch nach dem Außerkrafttreten der TA Siedlungsabfall mittels der Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts vom 27. April 2009 beibehalten [16]. Eine Ausnahme stellt mit Polychlorierten Biphenylen (PCB) kontaminiertes Altholz dar. Für PCB-Abfälle gilt die Verordnung über die Entsorgung polychlorierter Biphenyle, polychlorierter Terphenyle und halogenierter Monomethyldiphenylmethane (PCB-AbfallV) nach der entsprechend KrW-/AbfG [14] - Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) in der Fassung vom 11.08.09, das die EG – Abfallrahmenrichtlinie 2006/12/EG berücksichtigt - eine Zwischenlagerung (nach Anhang II A: D15) und Dauerlagerung (nach Anhang II A: D12) vorgesehen ist.

Über die oben genannten Gesetze und Verordnungen hinaus finden sich weitere Regelungen zum Holz als Abfall in der Altholzverordnung (AltholzV) [17].

Das KrW-/AbfG statuiert eine Hierarchie in der Abfallverwertung, demnach steht die Abfallvermeidung vor der stofflichen Verwertung und vor der energetischen Verwertung. Diese Ordnung ist in der vorliegenden Studie in Form der Unterscheidung nach werkstofflicher – hier: als Wiederverwendung von Bauteilen verstanden -, stofflicher und energetischer Verwertung übernommen worden. Zuerst wird separat auf die Recyclingfähigkeit von Holz und Polyurethan eingegangen und danach auf den Verbund beider Baumaterialien.

5.3.1 Holz und Holzwerkstoffe

Im folgenden Abschnitt wird die Recyclingfähigkeit von Holz und Holzwerkstoffen behandelt. Als Holz wird hierbei Vollholz verstanden, welches aufgrund seiner natürlich entstandenen Struktur im Baubereich Verwendung findet. Dabei ist es unerheblich, ob das Holz durch Druck, thermische oder hydrothermische Einwirkungen vergütet wird. Holzwerkstoffe sind dagegen Bauelemente, bei denen zuvor das verwendete Holz in unterschiedlich große Strukturelemente aufgetrennt wurde. Exemplarisch stehen hierfür mitteldichte Faserplatten (MDF) für Faserwerkstoffe und das Oriented Strand Board (OSB) für Spanwerkstoffe.

Der Umgang mit Altholz und die Verwertungswege sind bestimmt durch gesetzliche Regelungen wie KrW-/AbfG, AltholzV, Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) [18] sowie die Biomasse-Verordnung (BiomasseV) [19] und dem Grad der Verunreinigung durch z.B. Schutzmittel, Klebstoffe, Beschichtungen, Lacke und Beschläge [20]. Beispielhaft sei hier der Leimanteil von verschiedenen Holzwerkstoffen aus [21] angeführt:

Material	Holzanteil in %	Leimanteil in %
Konstruktionsvollholz	100	0
Brettschichtholz	95 – 97	3 – 5
Massivholzplatte	95 – 97	3 – 5
Spanplatte	86 – 93	7 – 14
Faserplatte	86 – 100	0 – 16 (bei HDF bis 16%, bei leichten MDF je nach Klebstoffart z.T. deutlich höher)
Furnierwerkstoffe	20 – 95	5 – (80) (hohe Anteile bei kunstharzimprägniertem Holz)

Tabelle 5-1: Leimanteil in verschiedenen Holzmaterialien nach [21]

Für die Verunreinigungen auch von Störstoffen existieren in den einschlägigen Gesetzen und Verordnungen Grenzen und Grenzwerte. Die AltholzV kategorisiert gebrauchte Hölzer entsprechend der Verunreinigungen in vier Altholzklassen:

Altholz-kategorie	Bezeichnung	Beispiele nach Anhang III
A I	naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holzfremden Stoffen verunreinigt wurde	Naturbelassene Vollholzmöbel, Paletten aus Vollholz
A II	verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel	Holzwerkstoffe, Dielen, Bau-spanplatten
A III	Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel	Altholz aus dem Sperrmüll, Möbel mit halogenorga-nischen Verbin-dungen
A IV	mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schad-stoffbelastung nicht den Altholzkategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz	Tragende Kon-struktionshölzer, Bahnschwellen, Holzfachwerk, Fenster

Tabelle 5-2: Altholzkategorien nach [17]

Die Möglichkeit des biologischen Abbaus von Holz und Holzwerkstoffen zur Beseitigung wird in dieser Studie nicht berücksichtigt, da in jenem Moment, indem Holz im Sinne des §3 KrW-/AbfG Abfall ist, ein biologischer Abbau nach der AltholzV nicht vorgesehen ist.

5.3.1.1 Werkstoffliche Verwertung

Die werkstoffliche Verwertung von Holz über das nominelle Lebensende hinaus, ist dem Zustand zum Lebensende geschuldet und damit von vielen Faktoren, die während der Herstellung und Nutzung des Bauteils einwirkten, abhängig. Als Faktoren sind u.a. Bauteilform, Struktur (Hart- und Weichholz), Holzschutz, Bewitterung, Belastungen sowie Feuchteeintrag zu nennen. Gerade in der Denkmalpflege und privaten Wohnungsbau trifft man häufig auf die Wiederverwendung von Holzbauteilen so z.B. bei der Wiederverwendung von Dachstühlen oder bei Fachwerken. Prozentual am häufigsten werden bei grundlegenden Sanierungen an Gebäuden, deren technische Lebensdauer überschritten ist, Holzbalkenkonstruktionen wiederverwendet. Bauteile aus Holzwerkstoffe dagegen werden in seltensten Fällen, praktisch überhaupt nicht, wiederverwendet. Gründe mögen in der für den Einsatzzweck optimierten Dimensionierung, im schwierig zu gestaltenden schadensfreien Rückbau und in den Verunreinigungen liegen. Für die Entscheidung einer Verwertung von Bauteilen sind die sogenannten baustoffimmanenten

Schadstoffe maßgebend [22]. Solche Stoffe sind z.B. durch den Holzschutz eingetragen worden und entsprechen in ihrer Konzentration nicht mehr den heutigen Grenzwerten. Bei einer Wiederverwendung von Holzwerkstoffen sind vor allem die Schadstoffbelastungen durch die verwendeten Klebstoffe und die sich daraus ableitenden Formaldehyd-Emissionen zu berücksichtigen [23]. Die Entscheidung für eine den heutigen Wissensstand angemessenen Wiedereinbau kann demnach nur nach einschlägigen Untersuchungen der Schadstoffbelastung getroffen werden. Einem Wiedereinbau muss oft aufgrund des Zustandes eine mechanische Bearbeitung des Altholzes vorausgehen.

5.3.1.2 Stoffliche Verwertung

Entsprechend der AltholzV haben sich verschiedene stoffliche Verwertungen etabliert. Folgende Verfahren sind im Anhang I der AltholzV genannt:

	Spalte 1	**Spalte 2**	**Spalte 3**
Nr.	**Verwertungs-verfahren**	**Zugelassene Altholzkategorien**	**Besondere Anforderungen**
1	Aufbereitung von Altholz zu Holz-hackschnitzeln und Holzspänen für die Herstellung von Holzwerkstoffen	AI AII (AIII)	Die Aufbereitung von Altholz der Altholzkategorie A III ist nur zulässig, wenn Lackierungen und Beschich-tungen durch eine Vorbehandlung weitgehend entfernt wurden oder im Rahmen des Aufbereitungsprozesses entfernt werden.
2	Gewinnung von Synthesegas zur weiteren che-mischen Nutzung	AI AII AIII AIV	Eine Verwertung ist nur in hierfür nach § 4 des Bundesimmissionsschutz-gesetzes genehmigten Anlagen zulässig.
3	Herstellung von Aktivkohle/ Industrieholzkohle	AI AII AIII AIV	Eine Verwertung ist nur in hierfür nach § 4 des Bundesimmissionsschutz-gesetzes genehmigten Anlagen zulässig.

Tabelle 5-3: stoffliche Verwertungsverfahren nach [17]

Je nach Verunreinigung bzw. Schadstoffbelastung des Altholzes unterscheidet die Verordnung verschiedene Altholzkategorien, die auf entsprechende Verwertungsverfahren verweisen. Im §6 und im Anhang IV AltholzV wird dazu die Eigen- und Fremdüberwachung geregelt. Für Holz und bindemittelfreie, im Nassverfahren hergestellte Faserplatten ist das Recycling zu Holzhackschnitzeln und Holzspänen für die Herstellung von Holzwerkstoffen auf dem Markt verankert. Schwieriger stellt sich die

Situation bei Holzwerkstoffen dar, die mit Bindemitteln hergestellt sind. Der Klebstoff hat dabei den größten Einfluss auf die Frage nach der wirtschaftlichen Verwertung [24]. Nach Franke [25] und Kharazipour [26] gibt es sechs durch Patente abgesicherte Verfahren zur Verwertung von Holzwerkstoffen (Zum Teil weicht die Benennung der Verfahren bei beiden AutorInnen voneinander ab):

Verfahren nach	Verfahrensart
1. Möller (1994)	mechanische Zerkleinerung
2. Roffael et al. (1994)	mechanische Zerkleinerung + Tannin
3. Sandberg (1965)	thermo-hydrolytischer Aufschluß
4. Pfleiderer (1994)	thermo-hydrolytischer Aufschluß
5. Michanickl und Boehme (1995)	thermo-hydrolytischer Aufschluß
6. Roffael und Dix (1995)	chemo-thermischer Aufschluß

Tabelle 5-4: Verfahren zur Verwertung von Holzwerkstoffen nach [25]

Bei der mechanischen Zerkleinerung wird anders als bei dem thermo-hydrolytischen Aufschluss auf das Aufheben der Holz-Leim-Bindung verzichtet. Sowohl die Verfahren der mechanischen Zerkleinerung als auch des thermo-hydrolytischen Aufschlusses setzen als Klebemittel Harnstoff-Formaldehyd-Leimharze (UF) voraus und wieder zum Binden ein. Es sei hier angemerkt, dass der Großteil auf dem Markt vorhandener Holzspan- und Holzfaserplatten mit UF-Leimharzen hergestellt wurde. Einzig das Verfahren von Roffael und Dix (1995) – auch CTMR genannt – kann UF-, MUF, PMDI- und PF-gebundene Holzwerkstoffe chemisch aufschließen. Damit können Holzwerkstoffplatten aus 100% Recycling-Holz hergestellt werden. Allerdings hat Hasch bei seiner Ökobilanzierung von OSB und MDF Platten festgestellt, dass bei dem jetzigen Stand der Technik die energetische Verwertung ökologisch sinnvoller ist als die stoffliche Verwertung mit dem mechanischen Verfahren und dem CTMR-Verfahren. Der Hauptnachteil des CTMR-Verfahrens ist dabei die Trocknung der Späne von mehr als 80% Feuchte auf eine Endfeuchte von 1% – 2% [27].

5.3.1.3 Energetische Verwertung

Bei der energetischen Verwertung wird der Abfall als Brennstoff genutzt. Alle vier Altholzkategorien sind für die energetische Verwertung geeignet. Diese Verwertungsmöglichkeit überwiegt in Deutschland u.a. auch aufgrund der momentanen Gesetzgebung gegenüber den oben beschriebenen. So gibt es u.a. durch den §27 des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) in Verbindung mit dem §2 Abs. 3 der BiomasseV vom August 2005 feste Vergütungssätze für die Verstromung von Altholz. Die Entwicklung geht in Rezessionszeiten inzwischen so weit, dass durch die Verbrennungspreise eine stoffliche Verwertung von Altholz unwirtschaftlich wird [28].

Bei der thermischen Nutzung von Holz wird entweder auf die Pyrolyse also Vergasung bzw. auch Verflüssigung oder auf Verbrennung zurückgegriffen. Dabei dient das Verfahren der Strom- und/oder der Wärmeerzeugung. Auch die Herstellung von Holzpellets aus der Altholzkategorie A I ist letztlich eine Verbrennung bzw. Vergasung. Je nach der angewendeten Verfahrenskette, Technik (z.B. Wirbelschicht- oder Rostfeuerung)

und Anlagengröße ist der energetische Nutzen, der Wirkungsgrad und die Emissionen unterschiedlich hoch [29]. Die entstehenden Rauchgase werden nochmals gereinigt, da durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und den dazugehörigen Verordnungen Grenzwerte für die Emission vorgegeben ist. Neben den unvermeidlichen Kohlendioxid und Stickstoff entstehen auch Stickoxide und je nach Verunreinigung (z.B. bei Altholz der Kategorie AIII) Dioxine und Furane. Durch eine Optimierung des Verbrennungsprozesses kann die Konzentration verringert werden [23]. Als weitere Emission entstehen Aschen bzw. Schlacken, diese werden deponiert.

5.3.2 Polyurethan

Polyurethane haben sich seit der Erfindung 1937 zu einer der wichtigsten technischen Kunststoffe entwickelt. Ihr Anteil am Weltkunststoffverbrauch wird auf 5 Prozent geschätzt. Seit der Erfindung des Reaktionsspritzguss in den 70/80iger Jahren hat sich auch ihr Verbrauch in der Bauwirtschaft stetig erhöht. [30] Es kann davon ausgegangen werden, dass ca. ¼ aller Polyurethan-enthaltenden Produkte im Baubereich eingesetzt werden. [31]
Entsprechend des KrW-/AbfG sind Polyurethane einer möglichst hochwertigen Verwertung zu zuführen, wenn es technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist.

5.3.2.1 Werkstoffliche Verwertung

Polyurethane werden in der Industrie hauptsächlich zu Formteilen verarbeitet. Auch Beschichtungen im Baubereich können zu dieser Kategorie gezählt werden. Es entstehen Bauteile, die für einen sehr spezifischen Einsatz in die jeweilig notwendige Form gebracht werden. Solche Bauteile sind praktisch überhaupt nicht an einem anderen Ort mit ähnlichen funktionellen Aufgaben wiederverwendbar. Dagegen können standardisierte Produkte aus Polyurethan sehr gut wiederverwendet werden. Die Lebensdauer solcher Produkte kann deutlich über der Lebensdauer des Gesamtsystems liegen. So können Dämmplatten, die nicht mit dem Untergrund verklebt sind, direkt als Dämmung wiederverwendet werden. [35]

5.3.2.2 Stoffliche Verwertung

Die Industrie ist sich darüber einig, dass für Polyurethan eine Verwertungsquote zwischen 40% und 50% anzustreben ist, um durch das Recycling eine Energieeinsparung gegenüber Neuprodukten zu erzielen [31] [33]. Davon können 30% bis 50% mechanisch oder chemisch recycelt werden [34]. Der Rest muss rohstofflich verarbeitet werden. Für die stoffliche Verwertungen sind folgende angegebene Verfahren möglich:

Recycling		
mechanisch	**chemisch**	**rohstofflich**
Flocken- & Partikelverbund	Glykolyse	Pyrolyse
Klebpressen & Spritzguß	Hydrolyse	Hydrierung
Pulvereinarbeitung	Aminolyse	Gaserzeugung
Fließpressen		Reduktion

Tabelle 5-5: Stoffliche Verwertung von Polyurethan nach [32]

Bei dem mechanischen Recycling werden die Polyurethane zu Flocken, Partikel oder Pulver zerkleinert. Je nach Ausgangsmaterial (z.B. Weich- oder Hartschaum), Verunreinigung und Herstellungsziel kann das Rezyklat weiterverarbeitet werden. So ist das mengenmäßig bedeutendste Recyclingverfahren das Klebpressen, bei dem mittels Druck und Hitze sowie unter Zugabe eines Bindemittels Pressplatten hergestellt werden. Bei der Pulvereinarbeitung wird Pulver aus Weichschaum als Füllstoff für die Herstellung von Weichschaumstoffen verwendet. Zum Teil kann das Granulat für den Spritzguss oder mittels des Fließpressens zu neuen Formteilen verarbeitet werden. Von den mechanischen Verfahren sind diese beiden die Einzigen die ohne Bindemittelzusatz bei der Herstellung von Recyclingprodukten auskommen [31].

Anders als beim mechanischen Recycling zerstört man beim chemischen und rohstofflichen das Polymer, wobei Energie zugeführt werden muss. So wird z.B. bei der Glykolyse Rezyklatpolyol hergestellt und als Polyolersatz für die Herstellung von PUR-Hartschaum verwendet [35]. Als weitere Möglichkeit kann aus gemischten Kunststoffabfällen Synthesegas gewonnen werden [36].

Die meisten Verfahren beziehen sich nur auf Industrieabfälle, da bei diesen der notwendige Grad der Reinheit gegeben ist. So werden z.B. Lacke bei der industriellen Fertigung durch Ultrafiltration oder Verarbeitung in Nass-in-Nass-Kabinen wiederaufbereitet [37]. Dagegen werden in der Bauindustrie verwendete Lacke ausschließlich energetisch verwertet [38]. Bauabfälle aus Polyurethan stofflich zu verwerten, stellt sich bis dato als problematisch dar, da die meisten Flammschutzmittel enthalten [39].

5.3.2.3 Energetische Verwertung

Polyurethane muss man als Energieträger verstehen. Der Heizwert liegt mit 28 MJ/kg zwar unter dem von Steinkohle aber über dem Heizwert von Braunkohlebriketts. Der feste Verbrennungsrückstand von Polyurethan ist äußerst gering. Für eine umweltverträgliche Verbrennung ist die Reinigung der Verbrennungsgase unumgänglich, was dem heutigen Stand der Technik bei Verbrennungsanlagen entspricht [40]. Allerdings sei das Rauchgas-gefährdungspotential gegenüber Naturprodukten nicht wesentlich erhöht. Uhlig schreibt dazu: „Wie bei der Verbrennung jeder stickstoffhaltigen organischen Substanz (z.B. Wolle) entstehen auch bei Polyurethanen neben Ruß Wasserdampf, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Stickoxide und in Spuren Cyanwasserstoff, unter Umständen auch Isocyanatdämpfe.“ [31]. Wie bei der Holzwerkstoffverbrennung ist der Grad der Emission abhängig von der Prozesstechnik. Als schwierig hat sich die Monoverbrennung von Polyurethanen herausgestellt. Es wird deshalb empfohlen, Polyurethan als Beimischung zu verwenden oder den Stoff im Vorfeld unter Energiezufuhr zu kompaktieren [40].

5.3.3 Verbundbauteile aus Holz und Polyurethan

Die zu erforschenden Verbundbauteile unterliegen der AltholzV. Nach §2 der AltholzV werden Verbundstoffe, welche über 50% Holzmassenanteil haben, als Altholz betrachtet. Bei den zu erforschenden Verbundbauteilen wird der Holzanteil deutlich über 50% liegen, da die Polyurethanschicht nur 2 bis 3 mm betragen wird. Selbst bei Faserplatten von 15mm Dicke, die mit Polyurethan verklebt sind, werden auf einen Quadratmeter gerechnet 4,5 kg Polyurethan 6,3 kg Holz gegenüber stehen. Damit gelten die Verwertungsverfahren der Altholzverordnung wie sie im Abschnitt Holz und Holzwerkstoffe beschrieben sind.

5.3.3.1 Werkstoffliche Verwertung

Eine werkstoffliche Verwertung bzw. ein Wiederverwendung des Verbundbauteils ist möglich aber nach mehreren Instandhaltungs- bzw. Instandsetzungsperioden nach dem Ende der Nutzungsdauer nicht zu erwarten. Die Ursache wird dabei weniger in der Lebensdauer der Stoffe und im Rückbau zu suchen sein, als vielmehr in nicht eingehaltenen Wartungsintervallen und dem daraus folgenden schleichenden Verlust der Gebrauchstauglichkeit bzw. Funktionstauglichkeit.

Dem Aufbau nach (von Innen nach Außen) übernimmt das verwendete Holz statische Funktionen, die Spritzelastomerschicht aus PUR schützt das Holz vor Feuchte und der obere Polyurethan-Schutzanstrich (top coating) dient dem UV-Schutz. Somit wird die äußerste Schicht die für den Lebenszyklus maßgebende Schicht und deren Wartungen elementar. Die Nutzungsdauer der äußeren Schicht wird entsprechend anderer Beschichtungssysteme mit 10 Jahren angenommen. Die Erneuerung dieser Schicht wird periodisch bis zum Lebensende der Gesamtkonstruktion erfolgen müssen. Im Rahmen der Nutzungsdauer von 40 Jahren (entsprechend der Nutzungsdauertabellen des BBSR) werden erfahrungsgemäß Instandhaltungsintervalle in der Praxis eingehalten. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen ist es sinnvoll bei einer üblichen Bauwerksnutzungsdauer von 80 Jahren anzunehmen, dass die Gesamtkonstruktion ihr Lebensende erreichen wird, da die notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen i.d.R. über solche langen Zeiträume nicht kontinuierlich durchgehalten wird.

Zusätzlich müsste für die Wiederverwendung des Verbundbauteils eine Technologie entwickelt werden, die einen zerstörungsfreien Rückbau und den Einbau ermöglicht. Denkbar wäre aber auch die Wiederverwendung der Holzbauteile nach der Trennung des Polyurethans (vgl. dazu Werkstoffliche Verwertung von Holz und Holzwerkstoffen).

5.3.3.2 Stoffliche Verwertung

Die zu erforschenden Verbundbauteile leiden bezüglich der stofflichen Verwertung unter derzeit noch fehlenden Forschungserkenntnissen. Obwohl Polyurethan-gebundene Holzfaser- und Holzspanplatten schon seit längerem auf dem Markt sind, fehlt für diese Materialkombination eine geeignete stoffliche Verwertungsmethode. Die Hersteller verweisen nur auf eine energetische Verwertung [41]. Dennoch ermöglicht die AltholzV in bestimmten Grenzen eine stoffliche Verwertung. So wie Polyurethan-verklebte Holzfaser- und Holzspanplatten können auch die zu erforschenden Verbundbauteile der Altholzkategorie A II zugeordnet werden, wenn bei der Herstellung auf Brandschutzmittel

und halogeniertes Polyol verzichtet wird [35]. Demnach wäre eine Rezyklat für Holzwerkstoffe denkbar, wobei es entsprechender Forschungsanstrengung bedarf, um zu klären, inwieweit mechanische, thermische und/oder chemische Verfahren zur stofflichen Verwertung aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht geeignet sind. Da es sich bei Polyurethan um Duroplaste handelt, ist ein Um- und Einschmelzen nicht möglich. Erste Untersuchungen, inwieweit Altpolyurethan und Altholz zu neuen Holzwerkstoffen verarbeitet werden können, wurden bereits abgeschlossen [42].

Die Geringe Schichtdicke des Polyurethans von 2 bis 3 mm und der hohe Verbindungsgrad zwischen den Materialien macht eine sortenreine stoffliche Verwertung für Polyurethan schwierig. Dies gilt nicht nur für diesen Verbund sondern für heute übliche Anwendungen wie z.B. für Estriche [43], in denen Polyurethan verwendet wird, oder bei der Verwendung von Polyurethan-Spritzschaum. In der Praxis werden Bau- und Abbruchabfälle aus PUR-Spritzschaum stofflich nicht verwertet [44].

Dennoch wäre eine Trennung unter Inkaufnahme einer Verunreinigung des Polyurethans oder des Altholzes möglich. Trennt man die Stoffe so, dass das Polyurethan holzfrei ist, wird die Menge des erhaltenen Polyurethans so gering sein, dass die stoffliche Verwertung unrentabel sein wird. Zusätzlich erschweren Verunreinigungen durch die Umwelt das Recycling der Beschichtung, da das industrielle Polyurethan-Recycling einen hohen Reinheitsgrad erfordert [35]. Dagegen kann die Trennung in ein Polyurethan-Holz-Gemisch und Holz unter Akzeptanz eines Massenverlustes bzw. der Verjüngung der Konstruktion erstrebenswert sein, wenn dadurch Gebrauchtholz der Kategorie A I entsteht, welches z.B. zur Herstellung von Holzwerkstoffen genutzt werden kann.

5.3.3.3 Energetische Verwertung

Der Verbundstoff kann unter Einhaltung der gesetzlichen Regelung in entsprechenden Feuerungsanlagen energetisch verwertet werden. Während der Heizwert von Holz und Holzwerkstoffen bei einem Holzfeuchtegehalt von etwa 15% ca. 16,5 MJ/kg beträgt [23], liegt der Heizwert von Polyurethan zwischen 25 MJ/kg [44] und 28 MJ/kg [40].

Es ist aber nicht nur die thermische Nutzung möglich, sondern das Erneuerbare-Energien-Gesetz in Verbindung mit der BiomasseV regelt die Verstromung des Verbundstoffes. Nach §2 Abs. 3 BiomasseV gilt der Verbundstoff mit überwiegendem Holzanteil als Altholz und damit als Biomasse.

Die Verbrennung orientiert sich an den Verfahren der Altholzkategorien AII und AIII. Sind Brandschutz- bzw. Flammschutzmittel enthalten, entstehen bei der Verbrennung halogenhaltige Rückstände [45]. Entsprechend bedarf es einer Abgasbehandlungsanlage, die Stand der Technik ist (siehe Energetische Verwertung von Holz und Holzwerkstoffen) und keine Polyurethan-spezifische Besonderheit darstellt. Die Emission von Stickoxiden kann durch einen optimierten Verbrennungsprozess in dem Maße reduziert werden, dass er unter der Stickoxidemission von Kohle liegt [40]. Die ökologische und wirtschaftliche Problematik der Monoverbrennung von Polyurethan tritt bei der Verbrennung des Verbundstoffes nicht auf. Wie bei den Holzwerkstoffen ist mit Schlacke als Verbrennungsprodukt zu rechnen, die deponiert werden kann [45].

5.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich auf Grund der ausgewerteten ökologischen Wirkungen in der Herstellungs- und Nutzungsphase feststellen, dass im direkten Vergleich der PUR-beschichteten Holzkonstruktion mit anderen Konstruktionsalternativen – wie Wärmedämmverbundsystem, Holzstülpschalung mit herkömmlichem Holzschutz oder Faserzementplatte – keine Konstruktion in allen Belangen durchweg positiv oder negativ abschneidet.

Basierend auf den vorliegenden Werten und unter Berücksichtigung der Genauigkeit des Bilanzierungsverfahrens sowie dem hilfsweisen Ansatz verschiedener Materialkennwerte lässt sich feststellen, dass die PUR-beschichtete Holzkonstruktion als ökologisch verträgliche Alternative im Anwendungsbereich der Außenwandkonstruktionen zu bewerten ist. Dies wird insbesondere durch den geringeren Instandhaltungsaufwand bspw. im Vergleich zum konventionellen Holzschutz oder zum Anstrich und Austausch eines Wärmedämmverbundsystems bedingt.

Der Verbundstoff ist bezüglich des End of Life den Bestimmungen der AltholzV unterworfen. Er hebt sich damit von Holz sowie Holzwerkstoffen bezüglich des Recyclings nicht ab (unmittelbar vergleichbar z.B. mit PUR-gebundenen Holzwerkstoffen aus der Möbelindustrie). Die energetische Verwertung des Verbundstoffes ist etabliert und ausgereift, wogegen es bei der stofflichen Verwertung, wie übrigens auch für Holzwerkstoffe sowie Polyurethanprodukte im Bausektor, noch einen Forschungsbedarf gibt. Aufgrund des Heizwertes und dem Stand der Technik ist derzeit eine energetische Verwertung zu empfehlen.

6 Untersuchung von PUR-Spritzelastomeren

Die Untersuchung an dem PUR-Spritzelastomer (PUR) diente der Bewertung des Einflusses des Beschichtungsmaterials auf die Dauerhaftigkeit für die Hybridbauteile. Untersucht wurden zum einen 2K-Polyurethanspritzelastomere und zum anderen das gleiche 2K-Polyurethanspritzelastomer mit einer 1K-Polyurethandeckbeschichtung als UV-Schutz. In diesem Zusammenhang wurde gezielt, die Bedeutung der Alterung des Polyurethans untersucht. Einzelne Proben wurden dabei

- einer Wasseralterung,
- einer Wärmealterung und
- einer UV-Alterung

unterzogen. Nachdem die Proben entsprechend konditioniert bzw. gealtert waren, sind Zugversuche durchgeführt worden. Durch die Zugversuche konnten quantitative Aussagen über den Einfluss der entsprechenden Alterung und über den Einfluss des UV-Schutzes gewonnen werden.

6.1 Versuchsaufbau und –durchführung

6.1.1 Probenvorbereitung

Für die Proben wurde zum einen 2K-Polyurethanspritzelastomer der Firma AB-Polymerchemie (ABP) und 2K-Polyurethanspritzelastomer der Firma Bayer MaterialScience (Bayer) verwendet. Bei ca. 50 °C wurde das Spritzelastomer im Spritzguss-Verfahren auf eine Teflonplatte aufgetragen, wodurch eine PUR-Folie in der Größe von 50 cm x 50 cm entstanden ist (Abbildung 6-1).

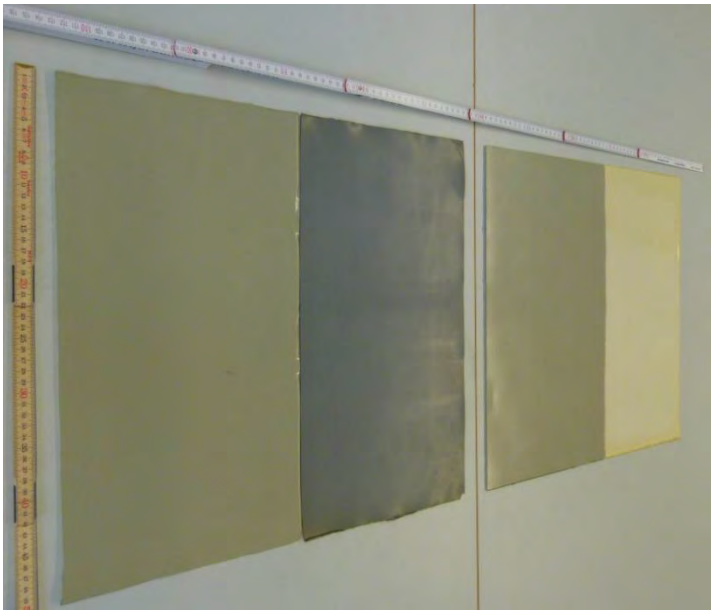


Abbildung 6-1: aus PUR-Spritzelastomer hergestellte Folien (halbseitig mit Versiegelung)

Kennwerte	AB-Polymer-chemie AB-PUR 550	Bayer PU 0310/0309	BASF Conipur M 803 FL	BASF Conipur TC-459
Komponenten-anzahl	2	2	2	1
Einsatz	Sprühabdichtung	Sprühabdichtung	Sprühabdichtung	Versiegelung
Dichte (23°C)	ca. 1,06 g/cm³	ca. 0,9 g/cm³	ca. 1,1 g/cm³	1,2 g/cm³
Reißzugfestigkeit	> 10 N/mm²	10 N/mm²	(7 N/mm²) (Zugfestigkeit)	
Reißdehnung	> 300 %	350 %	500 %	
Wasserdampf-diffusion	< 4 m (s_d)	486 (μ)	480 (μ)	480 (μ)
Verarbeitung				
Temperatur	5-40°C	8-50°C	5-40°C	5-30°C
Luftfeuchte	max. 85%		max. 85%	max 90%
Begehbarkeit (23°C)	5 min	20 min	sofort	12 min
Aushärtung (23°C)	1 d	3 d		5 d

Verwendung fanden zwei verschiedene Verfahren: zum einen wurde AB-PUR 550 der Firma ABP vor Ort mit Hand geführter Düse auf das Teflon aufgetragen, zum anderen wurden die Folien des Materials Baytec Spray VP.PU 0310/0309 der Firma Bayer industriell hergestellt. Durch das Spritzguß-Verfahren, dessen Schichten kreuzweise aufgetragen werden, entstehen Unebenheiten und unterschiedliche Rauhigkeitsgrade (Abbildung 6-2).

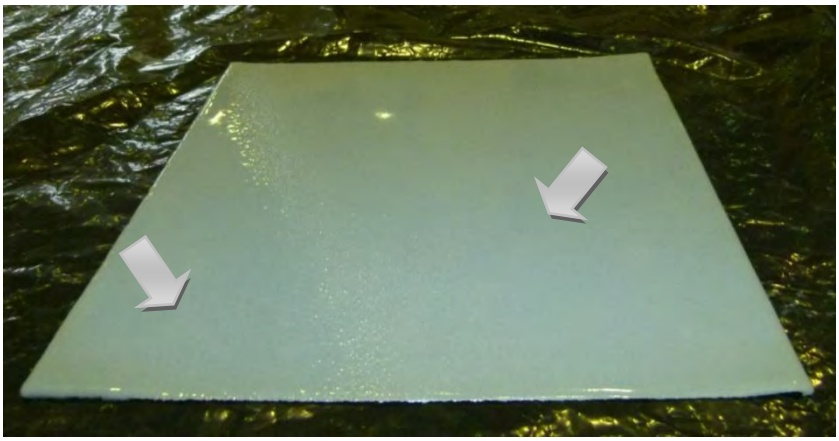


Abbildung 6-2: Rauhigkeitsunterschiede

Ein Teil der Folie bzw. der Folien wurde mit einem UV-Schutz (Conipur TC-459 der Firma BASF) versehen. Die 1K-PUR-Versiegelung wurde als UV-coating entsprechend der vom Hersteller vorgegebenen Verarbeitungstemperatur und –luftfeuchte mit einer Malerwalze auf die Folien aufgetragen. Die Dicke der Versiegelung beträgt <2/10 Millimeter.

Die Prüfkörper wurden entsprechend der DIN ISO 23529:2007-01 [53] durch Stanzen aus den Folien hergestellt. Es wurde der Schulterstabtyp S 1 gewählt, der sowohl den Anforderungen der DIN EN ISO 527-3:2003-07 als auch der DIN 53504:2009-10 entspricht. Auf die Forderung der Dicke der Schulterstäbe von a=(2±0,2)mm nach DIN 53504:2009-10 wurde verzichtet, da dieses Kriterium dem Ziel - der Prüfung des praxisrelevant eingesetzten Materials – widerspricht. Die Schulterstäbe wurden ausgestanzt. Für jede Untersuchung wurden insgesamt 20 bis 30 Schulterstäbe aus 2 Chargen, d.h. von zwei Folien, entnommen (Abbildung 6-3).

Abbildung 6-3: Schulterstäbe (ABP links, Bayer rechts)

6.1.2 Probenkonditionierung

Die Lagerung der Folien und Probekörper erfolgte in einem lichtgeschützten Raum bei Temperaturen von (23±2)°C und (50±10)% relativer Luftfeuchte. Probekörper, die gealtert wurden, sind vor ihrer Prüfung 24 h lang entsprechend der o. a. Daten gelagert bzw. konditioniert worden.

Sowohl die Wasseralterung als auch die Wärmealterung orientierten sich an den verwendeten Alterungsverfahren bei den Hybridbauteilen (vgl. Kapitel 7.1 und 7.2). Dagegen war die UV-Alterung der Schulterstäbe solitär.

Die *Wärmealterung* wurde entsprechend der Leitlinie für die Europäische Technische Zulassung für flüssig aufzubringende Dachabdichtungen (ETAG 005 [63]), die die

Prüfbedingungen formuliert und dem EOTA Technical Report 011 Exposure procedure for accelerated ageing by heat [59], der die Durchführung der Alterung definiert, durchgeführt. Die Proben wurden in einem Trockenofen - auf einem Gitterrost gelagert –bei einer Temperatur von 80 ± 2°C 50 Tage gealtert.

Die *Wasseralterung* orientierte sich ebenfalls an der ETAG 005 [63] bezüglich der Kriterien und an dem Technical Report 012 Exposure procedure for accelerated ageing by hot water [60] bezüglich der Durchführung. In einem Umluftofen wurden die Proben bei einer Temperatur von 60 ± 2 °C in Wasser mit einer Wasserstandsäule von 100 mm 30 Tage gelagert.

Für die *UV-Alterung* ist die Bestrahlung als Maß der Beanspruchung durch Strahlungsenergie in der ETAG 005 [63] angegeben. Da die Untersuchung der Abschätzung des tendenziellen Einflusses dient, wurde weder die Kategorie W3, die einer erwarteten Nutzungsdauer von 25 Jahren und dem Zertifizierungsnachweis des Produktdatenblattes der UV-Versiegelung entspricht, noch die Kategorie W2 (10 Jahre) gewählt. Mit der Kategorie W1 wurde ein Ansatz gewählt, der für die UV-Versiegelung auf der sicheren Seite liegt und für die nicht UV geschützten Proben den kleinsten normierten Prüfzyklus darstellt. Die Kategorie W1 entspricht für diese Proben einer erwarteten Nutzungsdauer ohne UV-Schutz von 5 Jahren und ist in der Praxis nach dem Versagen der Versiegelung denkbar. Für die Durchführung der Bestrahlung wurde auf den Technical Report 010 Exposure procedure for artificial weathering [58] und die DIN EN ISO 4892 Teil 1 [48] und 3 [49] zurückgegriffen. Die Prüfung simuliert eine Globalstrahlung mit der Gesamtstrahlung von 200 MJ/m². Die künstliche Bewitterung, die sowohl eine UV-Alterung als auch Wärme- und Feuchtealterung ist, erfolgte in 2 Zyklen:

5 h Trockenperiode:

- UV-Bestrahlung mit 74,6 W/m² Bestrahlungsstärke
- Schwarzstandtemperatur (50 ± 3)°C
- Abtrocknung auf (10 ± 5)% relative Luftfeuchte

1 h Feuchtperiode:

- Besprühen der Proben mit demineralisiertem Wasser
- Temperatur (37± 3)°C

6.2 Durchführung

Die Zugversuche wurden entsprechend der DIN EN ISO 527 Teil 1:1996 [50] und Teil 3:2003-07 [51] sowie maßgebend nach DIN 53504:2009-10 durchgeführt. Für die Versuche wurde die Zugprüfmaschine Z 020 der Firma Zwick mit einer 20 KN Kraftmessdose und einem optischen Messsystem verwendet (Abbildung 6-4). Der optische Längenänderungsaufnehmer ist der Genauigkeitsklasse 1 gemäß EN ISO 9513 [52] zu zuzuordnen und arbeitet mit einer Auflösung von 5 µm. Die Aufnahme und Auswertung erfolgte über die Software testXpert basic V 11.0 der Firma Zwick Roell.

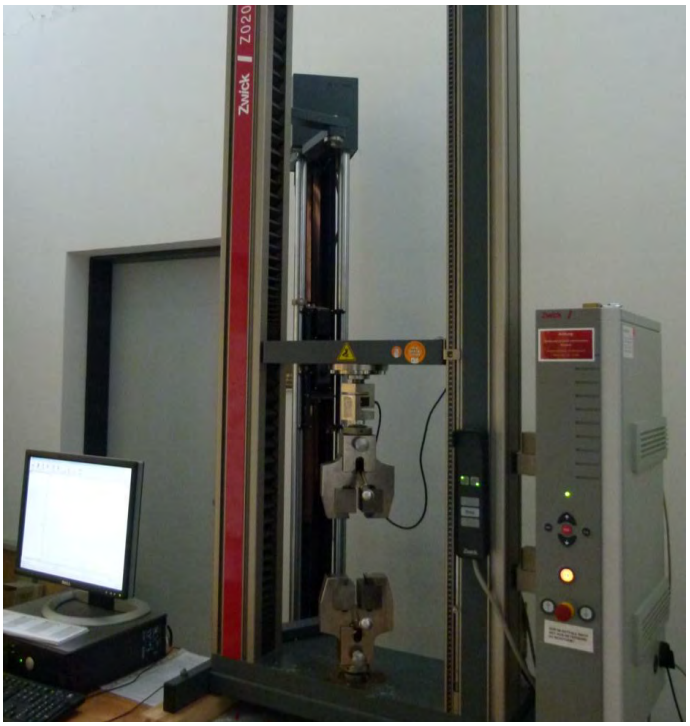


Abbildung 6-4: Zugprüfmaschine der Firma Zwick

Die Schulterstäbe wurden für das optische Messsystem mit Markierungen für die Anfangsmesslänge L_0 = 25 mm versehen. Die Dicke wurde an 3 Stellen bzw. 5 Stellen aufgenommen und der Median-Wert als maßgebende Dicke ermittelt. Nach dem Einspannen des Schulterstabes wurde eine Vorspannung von 0,05 MPa mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 50 mm/min aufgebracht. Der Versuch selbst ist mit einer Geschwindigkeit von 500 mm/min durchgeführt worden. Schulterstäbe die außerhalb der Messstrecke gerissen sind, wurden nicht gewertet. Es wurden sowohl der Versuchsablauf als auch der Versagenszustand messtechnisch erfasst.

6.3 Auswertung

Die Auswertung erfolgte nach DIN 53504:2009-10 [46], wobei neben dem Median[1] und der Spannweite (statistisch signifikant bei Stichproben) zur Verifizierung auch das arithmetische Mittel, die Standardabweichung und der Vertrauensbereich bei 95% in Anlehnung an die DIN EN ISO 527 Teil 1:1996 für die Reißfestigkeit, die Zugfestigkeit sowie für die Reißdehnung ermittelt wurden. Alle Chargen erreichten für die Prüfung die notwendige Mindestzahl an Stichproben.

Die ermittelte Probendicke der im Werk hergestellten Folien der Firma Bayer lagen zwischen 2,1 und 3,3 mm (statistische Spannweite 1,2 mm), während die in situ gefertigten Folien der Firma ABP zwischen 1,4 und 4,2 mm (statistische Spannweite 2,8 mm) lagen. Bei den vor Ort hergestellten Proben konnten damit nicht die definierte Dicke

[1] Der Median ist ein Mittelwert, der sich insbesondere bei kleinen Stichproben anbietet, da er als mittlerer Wert einer Zahlenreihe gegenüber extremen Stichprobenwerten robuster ist als das arithmetische Mittel.

von 2 bis 3 mm zuverlässig erreicht werden. Dies ist insbesondere den kleinflächigen Probenfolien geschuldet und damit nicht auf großflächige Applikationen übertragbar.

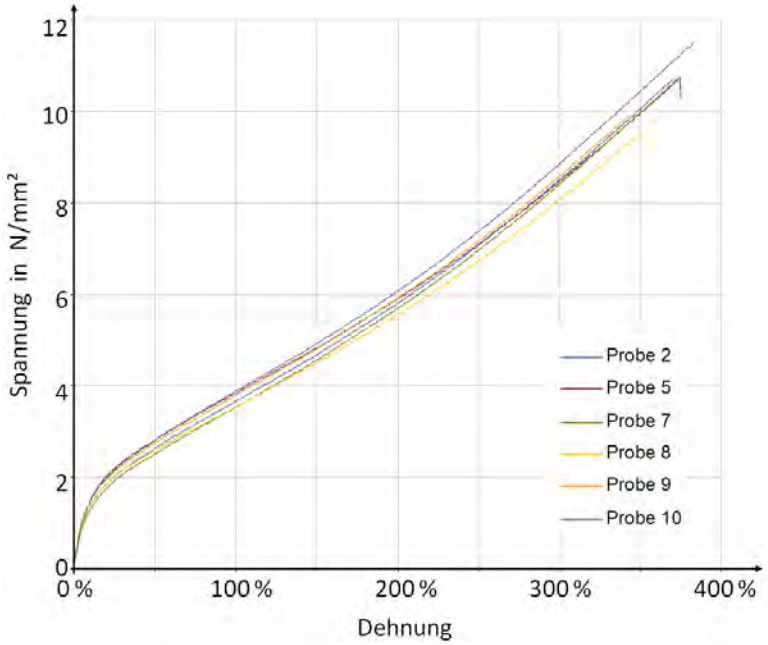


Abbildung 6-5: Spannungs-Dehnungsdiagramm beispielhaft für die Referenzserie der Firma Bayer ohne Deckbeschichtung (ohne coating)

Die Spannungs-Dehnungsdiagramme von PUR bei Zugversuchen haben einen charakteristischen Verlauf, der gekennzeichnet ist durch einen elastischen Bereich bis zum Scheitelpunkt bei einer Dehnung zwischen 15 und 20% und einen plastischen Bereich. Im plastischen Bereich weist die Steigung einen nicht -aber annähernden- linearen Verlauf auf. Die Abnahme der Dehnung bei gleichzeitiger Zunahme der Spannung legt ein sogenanntes Einschnüren der Probe nahe.

Die in den Produktdatenblättern angegebenen Reißfestigkeiten und –dehnungen konnten in ihrer Größenordnung bestätigt werden. Bei beiden PUR-Spritzelastomeren handelt es sich um Kunststoffe mit einem ausgeprägten Dehnungsverhalten von mehr als 300% bei den Referenzproben.

Reißfestigkeit der Proben ohne coating						
Charge[2]	**Median [N/mm²]**	**Spann-weite [N/mm²]**	**a. Mittelwert [N/mm²]**	**Standard-ab-weichung [N/mm²]**	**Vertr-auens-bereich [N/mm²]**	**prozentuale Abweichung [%][3]**
Bayer Referenz	10,5	3,5	10,4	1,0	0,6	100
Bayer Wärmealterung	10,8	2,4	10,6	0,8	0,4	103
Bayer Wasseralterung	10,6	3,0	10,5	0,8	0,4	101
Bayer UV-Alterung	8,8	2,8	8,8	0,8	0,4	84
ABP Referenz	9,5	5,1	9,6	1,6	1,4	100
ABP Wärmealterung	8,8	2,0	8,8	0,6	0,3	92
ABP Wasseralterung	9,4	0,9	9,3	0,4	0,3	99
ABP UV-Alterung	7,5	1,58	7,5	0,5	0,3	78

Reißdehnung der Proben ohne coating						
Charge	**Median [%]**	**Spann-weite [%]**	**a. Mittelwert [%]**	**Standard-ab-weichung [%]**	**Vertr-auens-bereich [%]**	**prozentuale Abweichung [%]**
Bayer Referenz	374	90	371	23	14	100
Bayer Wärmealterung	409	80	401	25	11	109
Bayer Wasseralterung	386	90	380	25	13	103
Bayer UV-Alterung	368	82	366	23	12	99
ABP Referenz	336	45	338	24	37	100
ABP Wärmealterung	307	106	309	28	14	91
ABP Wasseralterung	290	29	288	9	8	86
ABP UV-Alterung	348	105	338	34	18	100

Tabelle 6-1: Reißfestigkeit und -dehnung ohne coating

[2] Die Referenzserie wurde mit Normklima konditioniert. Bayer bezeichnet Proben aus Polyurethan PU 0310/0309 der Firma Bayer MaterialScience. ABP bezeichnet Versuchskörper aus Polyurethan AB-PUR 550 der Firma AB-Polymerchemie.

[3] Die prozentuale Abweichung bezeichnet das prozentuale Verhältnis zwischen arithmetischen Mittel der jeweiligen Charge zum arithmetischen Mittel der Referenz-Charge.

Mit einer Versiegelung (coating) versehene Proben weisen eine geringere Reißfestigkeit und –dehnung auf. Vereinzelt war bei den Produkten der Firma Bayer zu beobachten, dass sich das coating bei Dehnungen über 200% von dem Polyurethan schollenartig löste.

Reißfestigkeit der Proben mit coating						
Charge	**Median [N/mm²]**	**Spann-weite [N/mm²]**	**a. Mittelwert [N/mm²]**	**Standard-ab-weichung [N/mm²]**	**Vertr-auens-bereich [N/mm²]**	**prozentuale Abweichung [%]**
Bayer Referenz	8,4	2,5	8,5	0,7	0,3	100
Bayer Wärmealterung	8,1	2,1	8,2	0,6	0,3	96
Bayer Wasseralterung	8,3	2,6	8,4	0,8	0,4	100
Bayer UV-Alterung	8,4	1,7	8,5	0,5	0,3	100
ABP Referenz	8,4	1,8	8,5	0,6	0,4	100
ABP Wärmealterung	7,9	1,7	7,9	0,5	0,2	93
ABP Wasseralterung	8,7	1,1	8,6	0,4	0,3	104
ABP UV-Alterung	7,2	1,7	7,3	0,5	0,3	86

Reißdehnung der Proben mit coating						
Charge	**Median [%]**	**Spann-weite [%]**	**a. Mittelwert [%]**	**Standard-ab-weichung [%]**	**Vertr-auens-bereich [%]**	**prozentuale Abweichung [%]**
Bayer Referenz	321	89	315	23	12	100
Bayer Wärmealterung	317	116	319	32	15	101
Bayer Wasseralterung	315	123	324	35	17	103
Bayer UV-Alterung	318	79	317	19	11	101
ABP Referenz	283	50	280	16	10	100
ABP Wärmealterung	271	87	264	25	12	94
ABP Wasseralterung	272	42	270	14	10	96
ABP UV-Alterung	271	46	282	18	10	100

Tabelle 6-2: Reißfestigkeit und -dehnung mit coating

Das Produkt der Firma ABP hat prinzipiell eine etwas geringere Reißfestigkeit und Dehnung als das Produkt der Firma Bayer. Ein Einfluss des Herstellungsprozesses (in situ / im Werk) konnte in der Streuung nicht abgelesen werden. Eine Tendenz der Reißfestigkeit und der Reißdehnung in Folge der Wasser- und Wärmealterung wurde für das Produkt der Firma Bayer nicht festgestellt. Bei dem Produkt der Firma ABP scheint tendenziell die Wärmealterung Einfluss auf die Reißfestigkeit zu haben. Die UV-Bewitterung hat auf die Reißdehnung keinen feststellbaren Einfluss. Die Reißfestigkeit nimmt in Folge von UV-Bewitterung ab, wobei der Festigkeitsverlust bei ABP etwas stärker ausgeprägt ist, als bei Bayer. Mit UV-Schutz versehene Proben haben, soweit ermittelbar, einen deutlich geringeren Festigkeitsverlust während der UV-Bewitterung. Bezüglich der Ergebnisse sei angemerkt, dass es sich nur um Stichproben mit maximal 20 Proben pro Charge handelt.

6.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend seien folgende Ergebnisse der Prüfung zur Zugfestigkeit von Polyurethanspritzelastomer erwähnt:

1. Beim Polyurethanspritzelastomer handelt es sich um ein äußerst elastisches Material (Dehnung > 300%), das von Produkt zu Produkt leicht variieren kann.

2. Das Aufbringen von PUR in situ auf Holz in einer Dicke von 2 bis 3 mm hat keine negativen Auswirkungen auf das Spannungs-Dehnungs-Verhalten im Vergleich zu im Werk hergestellten Verbünden.

3. Die Festigkeitseigenschaften verschlechtern sich bei der Alterung des Materials in Folge einer UV-Bewitterung. Es wird davon abgeraten, Polyurethanspritzelastomer über einen Zeitraum von 5 Jahren ohne UV-Versiegelung der Witterung auszusetzen. Gleichwohl ist der Festigkeitsverlust bei den hier untersuchten Polyurethanen nicht gebrauchstauglichkeitsmindernd.

4. Die normierten Versuche zur Wärme- und Wasseralterung hatten auf die geprüften Polyurethanprodukte keine signifikante Auswirkung.

7 Untersuchung zur Dauerhaftigkeit des PUR-Holz-Verbundes

Aufgrund derzeit fehlender Leitlinien zur Prüfung von Hybridbauteilen aus Holz und Spritzelastomer wurde für das Forschungsprojekt die europäische technische Leitlinie zur Zulassung von Bauprodukten ETAG 005 [63] als Orientierung definiert. Die Leitlinie bezieht sich in ihrer Ausführung auf die EOTA-Prüfvorschriften und wurde für flüssig aufzubringende Dachabdichtungen konzipiert. Der Teil 6 enthält besondere Bestimmungen für Dachabdichtungen auf Polyurethan-Basis. Um die Forschungsfragen bezüglich der Dauerhaftigkeit und Nutzungsdauer beantworten zu können, wurden folgende Untersuchungen in Anlehnung an die ETAG 005 [63] als maßgebend festgestellt:

- Rissüberbrückungsfähigkeit,
- Haftzugfestigkeit und
- Ermüdungswiderstand.

Mit diesen Untersuchungen verbinden sich Alterungsuntersuchungen und Untersuchungen zur Wasserdichtheit:

Nr.	Vorbehandlung	Untersuchung	Bewertungsverfahren
1)	Wärmealterung Extrem tiefe Temperaturen	Rissüberbrückung	Wasserdichtheit
2)	Wasseralterung	Haftzugfestigkeit	
3)	Wärmealterung	Ermüdungswiderstand	Wasserdichtheit

Tabelle 7-1 Kleinteiluntersuchungsprogramm

Alle Kleinteilversuche für die Beurteilung der Dauerhaftigkeit wurden einem Alterungsverfahren unterworfen, und zwar der beschleunigten Alterung mit heißen Wasser und der beschleunigten Wärmealterung. Eine beschleunigte Alterung durch künstliche Bewitterung erfolgte nicht. In Kapitel 6 werden vergleichende Untersuchungen mit verschiedenen Alterungsprozessen durchgeführt.

7.1 Wärmealterung

Um eine Wärmealterung nach den EOTA-Prüfvorschriften durchzuführen, wird für das zu prüfende System die Lebensdauer geschätzt und der Nutzungsstandort in Abhängigkeit des klimatischen Verhältnisses bestimmt.

Die technische Leitlinie, die das Vorgehen bei der künstlichen Alterung regelt, macht Vorgaben für zu erwartende Lebensdauern von 5, 10 und 25 Jahren. Eine Lebensdauer von 5 Jahre wird in der Regel für flüssig aufzubringende Dachabdichtungen, die für Reparatur- und Instandsetzungsarbeiten verwendet werden, angesetzt. Eine Lebensdauer von 25 Jahren kann dann angesetzt werden, wenn Beispiele für den erfolgreichen Einsatz des Systems von mehr als 5 Jahren nachgewiesen werden können.

Polyurethan Sprühbeschichtungen werden seit ca. 25 Jahren zur Abdichtung von Dächern u. ä. eingesetzt, sind nach wie vor dicht und zeigen keine Schäden. PUR-Abdichtungen werden ohne Weichmacher hergestellt und eine Versprödung des Produktes ist somit nicht zu erwarten. Es kann vermutet werden, dass die Funktionsfähigkeit dieser Abdichtungen bei regelmäßiger und sachgemäßer Erneuerung des UV-Schutzes weiterhin gewährleistet sein wird. Die Annahme einer Lebensdauer von 50 Jahren für dieses Abdichtungssystem scheint vor diesem Hintergrund sinnvoll.

Im Forschungsprojekt war es allerdings aus Zeitgründen nicht möglich solch lange Zeiträume durch eine künstliche Alterung zu simulieren. Für das Forschungsprojekt wurde deshalb eine künstliche Alterung gewählt, die einen Betrachtungszeitraum von 10 Jahren simuliert.

Der Nutzungsstandort wird in Abhängigkeit der klimatischen Verhältnisse in zwei Klimazonen unterteilt. Klimazone M beschreibt ein moderates Klima mit einer jährlichen Sonneneinstrahlung kleiner 5 GJ/m² und einer Durchschnittstemperatur des wärmsten Monats kleiner 22°C. Klimazone S hingegen eine jährliche Sonneneinstrahlung über 5 GJ/m² und einer Durchschnittstemperatur über 22°C. Für das Einsatzgebiet Deutschland wurde daher die Klimazone M gewählt.

	Kategorie M Gemäßigtes Klima	Kategorie S Extremes Klima
Jährliche Einstrahlung auf eine waagerechte Fläche	< 5 GJ/m² und	≥ 5 GJ/m² und/oder
Durchschnittliche Lufttemperatur des wärmsten Monats	< 22 °C	≥ 22 °C

Tabelle 7-2: Einstufung nach Klimazonen aus ETAG 005 Tabelle 3

Die Wärmealterung zur Simulation des Betrachtungszeitraums von 10 Jahre dauert trotz des reduzierten Betrachtungszeitraums immer noch sehr lange. Aus der gewählten Lebensdauer und Klimazone ergibt sich für alle Probekörper eine Wärmealterung mit 80°C über einen Zeitraum von 50 Tagen.

Die Wärmealterung wurde bei den Probekörpern für die Versuchsreihen Rissüberbrückung und Ermüdungsverhalten angewendet und wird nach dem Beanspruchungsverfahren für beschleunigte Wärmealterung (EOTA TR-011 [59]) durchgeführt.

7.2 Wasseralterung

Die Wasseralterung mittels heißen Wassers wurde nach dem in der EOTA TR-012 [60] beschriebenen Verfahren durchgeführt. Dazu wurde die Oberfläche des Verbundsystems in einem Heißluftofen bei 60 ± 2 °C einer Wasserbeanspruchung ausgesetzt.

Der Beanspruchungszeitraum ergibt sich aus der Einstufung des Bausatzes nach der Nutzungsdauer und nach der Dachneigung entsprechend der ETAG 005-1 [64]. Die Tabelle 7-3 enthält die Beziehung zwischen Einstufung nach Nutzungsdauer und Beanspruchungszeitraum. Da das Beschichtungssystem mit einer Neigung von 5° im Dachbereich und 90° im Wandbereich eingesetzt werden soll, gelten die Anwendungskategorien S1 bis S4. Mit dem im Forschungsprojekt aus Zeitgründen gewählten Ansatz eines realen Betrachtungszeitraums von nur 10 Jahren, ergibt sich die Beanspruchungskategorie W2. Die künstliche Alterung dauert damit immer noch sehr lange, denn die angesetzten Kategorien entsprechen einem Äquivalent der simulierten Alterung von 30 Tagen.

Anwendung	Beanspruchungszeitraum (Tage)		
Kategorie	W1	W2	W3
S1 oder S2	15	30	60
P4	nicht zutreffend*	90	180
Anmerkung: Die Einstufung nach erwarteter Nutzungsdauer von Bausätzen, die zur Anwendung auf Dachgärten, Umkehrdächern und Gründächern (P4) kommen, beträgt mindestens 10 Jahre (W2).			

Tabelle 7-3: Abhängigkeit Nutzungsdauer zu Beanspruchungszeit nach ETAG 005 (Tabelle 13)

Auf das Verbundsystem wurde durch Anpressdruck von Klemmen und mittels eines Dichtungsmittels auf Silikonbasis – zum Zweck der Abdichtung gegen innen drückendes Wasser - ein Wasserreservoir aufgebracht. Das Wasserreservoir wurde abgedeckt, wobei eine kleine Öffnung zur Prüfung des Wasserstands offen gehalten wurde. Die Höhe des Wasserspegels betrug 100±15 mm. Aufgrund der vorhandenen Öffnung und des Umluftofens bewirkte die Verdunstung eine Schwankung des Wasserstandes, der durch Auffüllen von Wasser ausgeglichen wurde (Versuchsaufbau: Abbildung 7-1 und Abbildung 7-2).

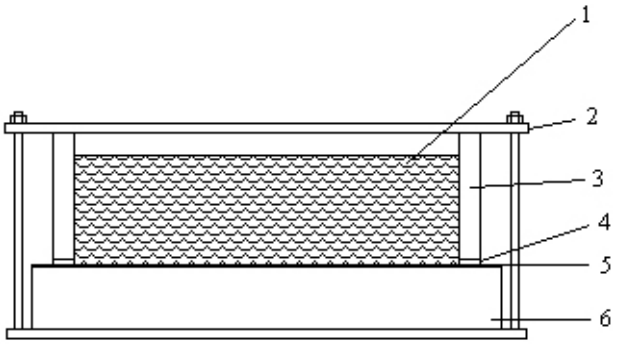


Abbildung 7-1: - Schematische Darstellung der Apparatur: 1 - Wasser, 2 - Klemme; 3-Reservoir;4 - Dichtungsmittel; 5 - flüssige Abdichtung; 6 – Substrat (EOTA-TR-012)

Abbildung 7-2 Probe bei Wasseralterung

Nach der Wasseralterung wurde das Wasserreservoir entfernt und die Proben unter Normklima 28 Tage rückgetrocknet. Die Inaugenscheinnahme der Proben ergab keinen visuell wahrnehmbaren Einfluss der Wasseralterung auf die Probekörper.

7.3 Haftzugfestigkeit

In den Untersuchungen wurde die grundsätzliche Eignung und Dauerhaftigkeit der Beschichtung aus Polyurethan im Zusammenwirken mit Holzkonstruktionen unter Wasseralterung und Normlagerung in Anlehnung an die Vorgaben der ETAG Nr. 005 – Teil 6 [65]: Besondere Bestimmungen für flüssig aufzubringende Dachabdichtungen auf Polyurethan-Basis (Leitlinie für die Europäische Technische Zulassung für flüssig aufzubringende Dachabdichtungen vom 18. Februar 2005) und der EOTA TR-004 [56], technisches Vorgehen und Durchführung der Haftzugversuche, durchgeführt.

7.3.1 Probekörper

Ziel war es nachzuweisen, dass der Verbund zwischen Polyurethanbeschichtung und unterschiedlichen Holzwerkstoffen den Anforderungen der Dauerhaftigkeit nach ETAG 005 - 6 erfüllen. Hierfür wurden 16 Probeträger mit den Maßen 50 cm x 50 cm aus unterschiedlichen Holzwerkstoffen hergestellt. Diese wurden mit Polyurethan-beschichtungen von verschiedenen Herstellern auf einer Seite beschichtet, Die Proben der Firma ABP und BASF wurden in situ besprüht, nachdem das Holz vorher mit Conipur 73, einer Grundierung auf Polyurethanbasis, behandelt worden war. Die Proben der Firma Bayer wurden im Werk hergestellt. Ein Teil der Proben wurde als Referenzprüfkörper unter Normklima (23°C und 50% rel. Feuchte) gelagert und der andere Teil wurde einer Wasseralterung nach ETAG 005 [63] ausgesetzt.

Folgende Holzswerkstoffe wurden als Unterkonstruktion in Verbindung mit einer Polyurethanbeschichtung – variiert nach Hersteller – verwendet:

	Konditionierung	Holzwerkstoff	Hersteller der Beschichtung	Probenanzahl
Haftzugfestigkeitstests an 50 cm x 50 cm großen Probekörpern	**Null Versuch** (≙ Normallagerung)	OSB	ABP Chemie	10
			Bayer	10
			BASF	10
		BSP	ABP Chemie	10
			Bayer	10
			BASF	11
		FSH	ABP Chemie	10
		MDF	ABP Chemie	10
	Wasseralterung	OSB	ABP Chemie	10
			Bayer	10
			BASF	10
		BS	ABP Chemie	10
			Bayer	10
			BASF	10
		FSH	ABP Chemie	11
		MDF	ABP Chemie	10

Tabelle 7-4 Probekörperübersicht

7.3.2 Versuchsaufbau und –durchführung

Die Wasseralterung wurde nach dem im EOTA TR-012 angegebenen Verfahren durchgeführt (vgl. Kapitel 7.2).

Anschließend wurde eine Haftzugprüfung jeder Probe nach EOTA TR 004 mit Haftzugstempel und einem Kreisdurchmesser von 50 mm durchgeführt. In der EOTA TR 004 wird einen Prüflingsdurchmesser von 100 mm empfohlen. Aus statistischen Gründen wurde ein Durchmesser vom 50 mm gewählt. Dadurch wurde zwar der Prüfquerschnitt verkleinert, aber gleichzeitig konnten aus den 50 cm x 50 cm großen Probenplatten mehr Stichproben entnommen werden. So wurden insgesamt an den wassergealterten- und den Referenz-Probenplatten mehr als 160 Haftzugversuche durchgeführt.

Die Prüfung erfolgte mit einer geeichten Haftzugprüfmaschine der Firma BPS Wennigsen Model F10D EASY M2004.

Abbildung 7-3: Model F10D EASY M2004

Mit einem Kreisbohrer wurde die Haftzugprüffläche ausgeschnitten, wobei die Ausschnitte 3 mm unter die Beschichtung in Holztragkonstruktion ausgeführt wurden.

Abbildung 7-4: Ausschnitt

Auf diese Ausschnitte wurden dann mit Hilfe des Polyurethanhaftzugklebers Quicksolid der Firma MC-Bauchemie die Prüfstempel mit einem Durchmesser von 50 mm aufgeklebt.

Abbildung 7-5: Prüfstempel 50 mm (links) / Polyurethanhaftzugklebers Quicksolid (rechts)

Nach der Trocknungszeit von 20 Minuten wurde mit der Haftzugprüfung begonnen.

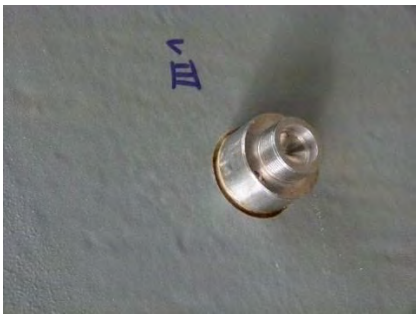


Abbildung 7-6: Prüfstempel 50 mm auf Probe

Es wurden von jeder Probe mindestens 5 gültige Haftzugprüfungen auf horizontaler Ebene gezogen, protokolliert und dokumentiert.

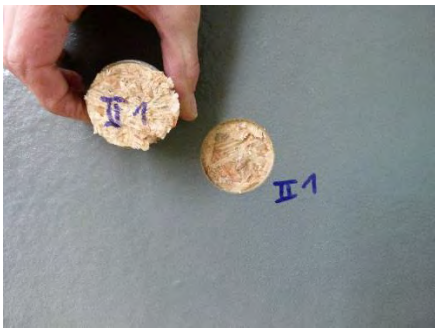


Abbildung 7-7: Gezogene Probe mit Bruchbild

Die Vortriebsgeschwindigkeit der Haftzugprüfmaschine betrug 10 mm/min. Anschließend wurden die Bruchstellen visuell begutachtet und dokumentiert. Entsprechend der Vorgehensweise der EOTA TR 004 wurde die Haftzugfestigkeit zwischen der Beschichtung und dem Beschichtungsuntergrund ermittelt. Nach ETAG 005 muss entweder (bei Adhäsionsbruch) die Haftzugfestigkeit in der Prüfung nach Normallagerung und Wasseralterung mindestens 0,05 N/mm² betragen oder das Versagen muss (durch Kohäsionsbruch) in den beschichteten Holzwerkstoff erfolgen.

7.3.3 Auswertung

Die Ergebnisse mit dem arithmetischen Mittel, der Standardabweichung und dem gemessenen Kleinstwert der Haftzugfestigkeit sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Beschichtung und Holzwerkstoff	Konditionierung	Mittelwerte	Standard-abweichung	Variations-koeffizient	gemessener Kleinstwert
		[N/mm²]	[N/mm²]	[%]	[N/mm²]
BSP - ABP	Normlagerung	0,88	0,23	25,86	0,48
BSP - BASF		2	0,32	15,88	1,54
BSP - Bayer		1,38	0,42	30,09	0,91
FSH - ABP		1,39	0,402	29	0,62
MDF - ABP		0,78	0,066	8,54	0,71
OSB - ABP		0,63	0,09	14,54	0,51
OSB -BASF		1,04	0,18	17,22	0,81
OSB - Bayer		0,59	0,07	12,04	0,53
BSP - ABP WA	Wasseralterung	1,84	0,51	27,64	1,11
BSP - Bayer WA		1,4	0,32	22,53	0,9
BSP - BASF WA		1,98	0,18	8,98	1,75
FSH - ABP WA		1,12	0,25	22,19	0,88
MDF - ABP WA		0,65	0,14	21	0,52
OSB - ABP WA		0,65	0,15	23,18	0,51
OSB - BASF WA		0,52	0,019	3,63	0,52
OSB - Bayer WA		0,58	0,089	15,55	0,45

Tabelle 7-5 Haftzugfestigkeit zwischen Polyurethanbeschichtung und Holzträgerwerkstoff

Die in Tabelle 7-5 ausgewerteten Werte zeigen, dass der Verbund zwischen der Polyurethanbeschichtung und den Holzwerkstoffen größer ist als die Querzugfestigkeiten der Holzwerkstoffe. Diese liegen für OSB bei 0,26 N/mm² und für die anderen Holzwerkstoffe bei 0,50 N/mm². Des Weiteren konnte, aufgrund der geringen Stückzahl an Proben, kein Unterschied zwischen den verschiedenen Beschichtungen festgestellt werden. Ferner ist auch keine signifikante Veränderung des Verbundes zwischen Polyurethanbeschichtung und Holzwerkstoff nach einer Wasseralterung zu erkennen. Aussagen über die Querzugfestigkeitsveränderung in Folge einer Wasseralterung können nicht getroffen werden. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Kleinstwerte der Haftzugfestigkeit auf unterschiedlichen Holzuntergründen sind größer als 0,05 N/mm².

- Sowohl nach Normallagerung als auch nach einer Wasseralterung tritt das Versagen immer durch einen Kohäsionsbruch im Holzwerkstoff ein.

- Die Querzugfestigkeit des Holzuntergrunds bestimmt immer die Haftzugfestigkeit des Gesamtverbundes.

Nach den Regelungen in ETAG 005 ist für die verschiedenen Polyurethanbeschichtungen eine ausreichende Haftzugfestigkeit zwischen der Beschichtung und dem Holzwerkstoffen erkennbar. Durch die stichprobenartige Anzahl der Versuche ist über den Einfluss der einzelnen Holzwerkstoffarten keine Aussage möglich.

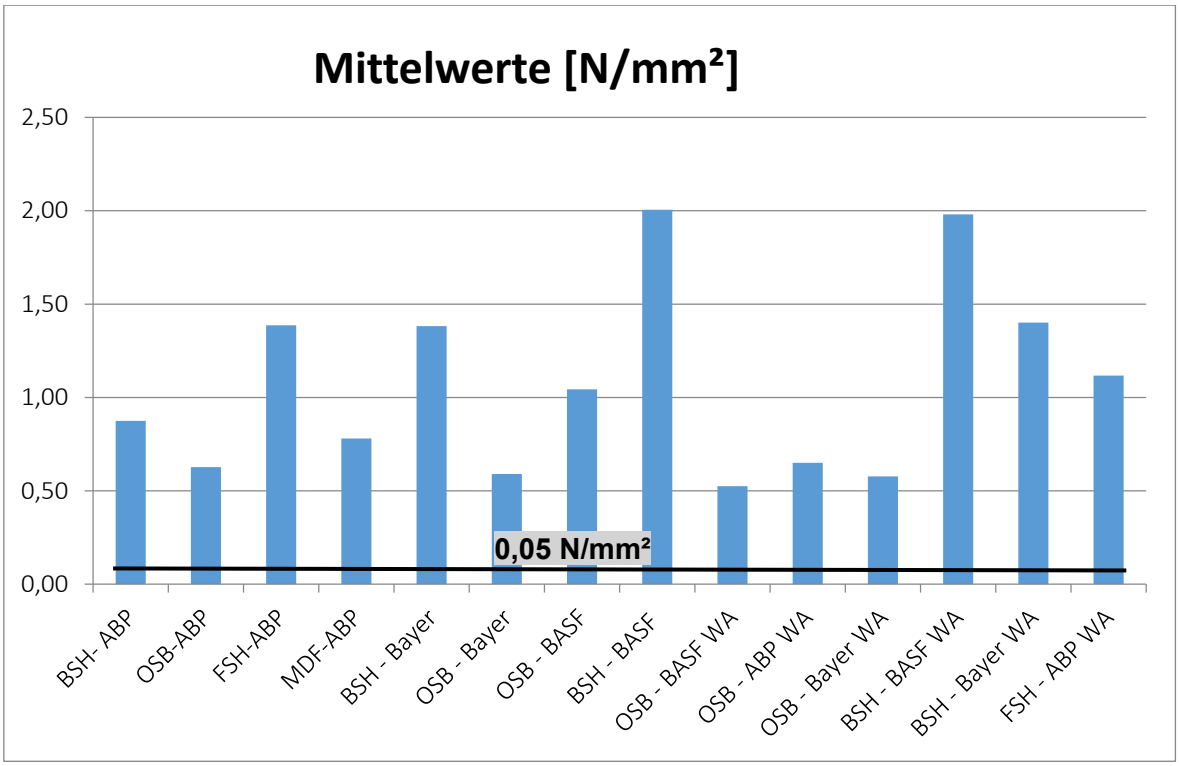


Abbildung 7-8: Grafische Übersicht der Mittelwerte

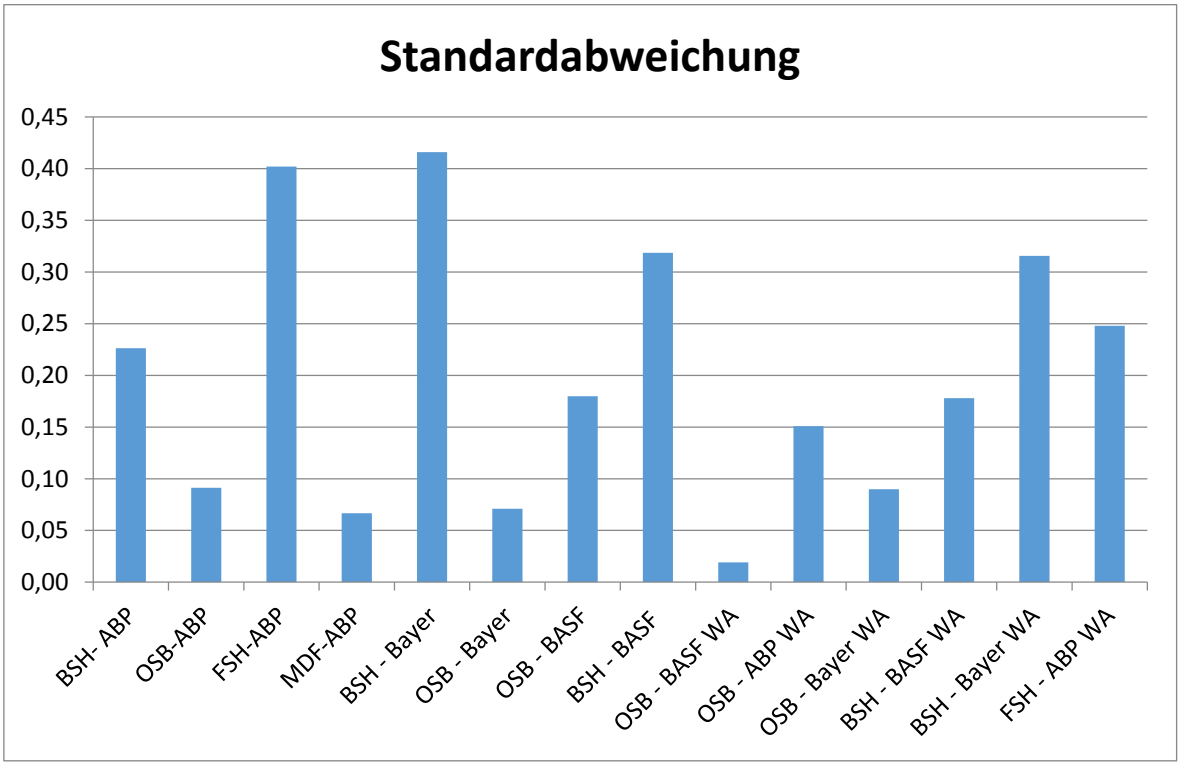


Abbildung 7-9: Grafische Übersicht der Standardabweichung

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass die Polyurethanbeschichtungen aller Hersteller die Haftzugprüfungen nach Wasseralterung und Normlagerung positiv abgeschlossen haben.

7.4 Rissüberbrückungsfähigkeit

Die Polyurethanbeschichtung schützt das Holz oder den Holzwerkstoff vor einer direkten Durchnässung durch äußere Einflüsse, wie Schlagregen oder Schnee. Da die Polyurethanbeschichtung wasserdampfdiffusionsoffen ist, stellt sich im Holz eine Ausgleichsfeuchte ein, die von der relativen Luftfeuchtigkeit und Temperatur des umgebenden Klimas abhängt. Diese Holzfeuchteänderung bewirkt eine Volumenänderung des Holzes, das sogenannten Schwinden und Quellen.

Holz weist ein richtungsabhängiges Quell- und Schwindverhalten auf. Da sich bei einem Trocknungsvorgang die Holzzellen in tangentialer Richtung stärker zusammen ziehen als in radialer Richtung, können Risse entstehen. Beim Einbau von zu feuchtem Holz können deshalb infolge der Trocknung Schwindrissen im Holz entstehen.

Die Polyurethanbeschichtung muss solche Trocknungsrisse überbrücken und gleichzeitig die Dichtigkeit gewährleisten. Das besondere Problem von Rissen ist ihre Aufweitung von ursprünglich 0 mm Rissbreite zu einer Endrissbreite von evtl. mehreren Millimetern. Für die Beschichtung über dem Riss entsteht dadurch theoretisch eine unendlich große Dehnung, da die Bezugslänge der Verformung (das entspricht der freien Länge des PUR) im Ausgangszustand 0 mm entspricht. Tatsächlich löst sich aber während der Rissaufweitung im Bereich des Risses das PUR-Elastomer etwas vom Untergrund, bzw. kleine Teile des Untergrunds lösen sich zusammen mit dem PUR ab und das PUR spannt über einen kleinen Bereich frei über den Riss. Diese freie Länge ist nun die Bezugslänge und hat eine endliche Größe. Damit hat auch die Dehnungen im PUR, die sich aus dem Quotient aus Rissöffnung und freier Dehnlänge errechnet, einen endlichen Wert.

Die Fähigkeit der Polyurethan-Dickfilmbeschichtung Risse zu überbrücken, die sich, ausgehend von einer Ausgangsbreite von 0 mm, bis auf mehrere Millimeter öffnen, wird in der folgenden Versuchsreihe untersucht.

7.4.1 Probekörper

Um das Dehnverhalten der Polyurethanbeschichtung über einem im Holzwerkstoff entstehenden Riss zu untersuchen, wurden Probekörper aus verschiedenen Holzwerkstoffen mit einen künstlichem Riss versehen. Dieser künstliche Riss wurde in Versuchen geöffnet und simuliert so einen möglichen Trocknungsriss.

Zur Versuchsvorbereitung wurde jeder Probekörper halbiert und die frisch entstandenen Schnittflächen wurden wieder zusammen gefügt und fixiert. Die anschließende Beschichtung erfolgt über den geschlossenen Riss. Mit dieser Vorgehensweise wird eine nahtlose Beschichtung auf der gesamten Holzoberfläche, über den geschlossenen Riss hinweg, gewährleistet.

Insgesamt werden 150 Probekörper aus vier verschiedenen Holzwerkstoffen, wie Brettsperrholz (BSP), Furnierschichtholz (FSH), OSB und MDF, und drei Beschichtungssystemen von den Firmen AB Polymerchemie, BASF und Bayer untersucht.

In Anlehnung an die technische Zulassung TR 013 der EOTA [61] wurde bei der Hälfte der Probekörper eine Wärmealterung bei 80°C - wie in Kapitel 7.1 beschrieben - durchgeführt.

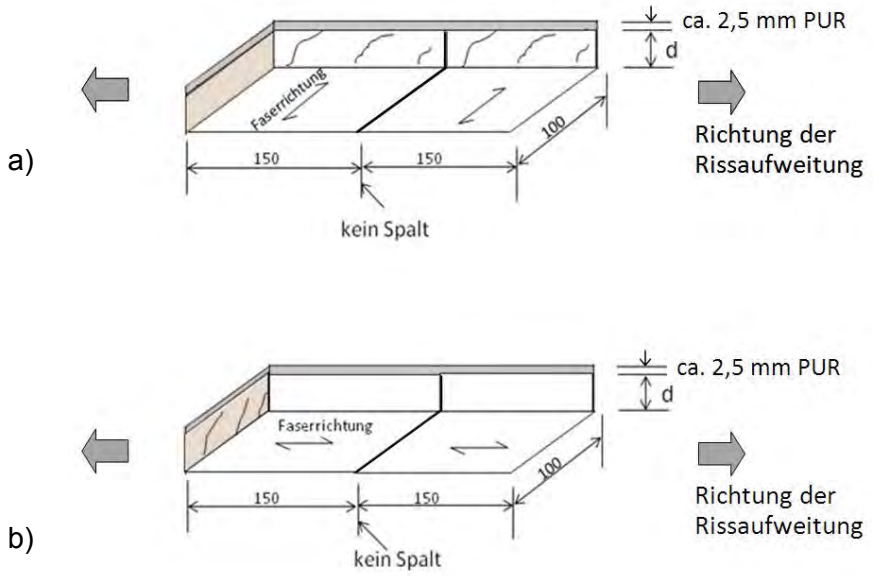


Abbildung 7-10: Schematische Darstellung der Probekörper und der Rissrichtung im Vergleich zur Faserrichtung

a) Riss parallel zur Faserrichtung b) Riss quer zur Faserrichtung

Um die Anisotropie des Holzes zu berücksichtigen, wurden die Risse entweder parallel oder senkrecht zur Faserrichtung des Holzes angeordnet. Abbildung 7-10 –zeigt die Prinzipskizze der Probekörper.

7.4.2 Versuchsaufbau und -durchführung

Für diese Versuchsreihen zur Risseüberbrückungsfähigkeit kam die Zugprüfmaschine Z 020 der Firma Zwick mit einer 20 KN Kraftmessdose zum Einsatz. Die Aufzeichnung und Auswertung der Messdaten erfolgte über die Software testXpert basic V 11.0 der Firma Zwick Roell. Diese hydraulische Zugprüfmaschine kann sowohl weggesteuert also auch kraftgesteuert geregelt werden. Die EOTA schreibt eine Wegsteuerung mit einer Geschwindigkeit von 0,5 mm pro Minute vor.

In der ersten Versuchsreihe wurden die 75 wärmegealterten und 75 ungealterten Probekörper zunächst von 0 mm auf eine Rissweite von 1,5mm geöffnet.

Da in der Praxis größere Rissaufweitungen oder Klaffungen von Stößen nicht vollständig auszuschließen sind, wurde in der zweiten Versuchsreihe mit wärmegealterten und ungealterten Proben aus Brettsperrholz auf der sicheren Seite liegend eine Rissaufweitung von 0 auf 5 mm getestet.

Vor dem eigentlichen Risseüberbrückungsversuch werden alle Probekörper für 12 Stunden bei einer Temperatur von -30°C gelagert.

Damit bei der Versuchsdurchführung keine unerwünschte Biegung in der Polyurethanschicht auftreten kann, wurde eigens dafür eine Einspannvorrichtung entwickelt. Diese stellt sicher, dass sich die beiden Rissufer parallel zueinander bewegen und somit nur Zugkräfte in der Beschichtung wirken. Des Weiteren wurde der Raum um die Prüfmaschine mit Wärmedämmplatten abgedämmt, um die Probekörper möglichst lange kühl zu halten. Um die Wärmeaufnahme noch weiter zu reduzieren wurden zudem Drahtkörbe mit Trockeneis im Prüfraum installiert.

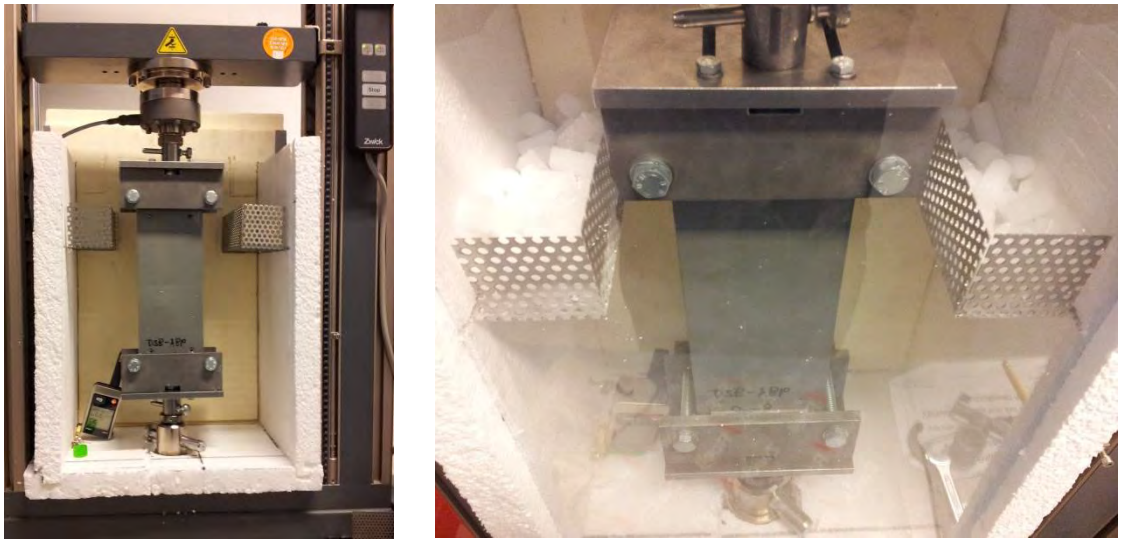


Abbildung 7-11: Versuchsaufbau

Versuchsablauf:

Der auf -30°C abgekühlte Probekörper wurde in die dafür vorgesehene Einspannvorrichtung eingebaut. Die Probe wird nun mit einer Geschwindigkeit von 0,5 mm pro Minute auseinander gezogen. Beim Erreichen der gewünschten Rissaufweitung wird diese Position für 5 Minuten gehalten. Anschließend wird die Aufweitung wieder auf 0 mm zurückgefahren (vgl. Abbildung 7-12).

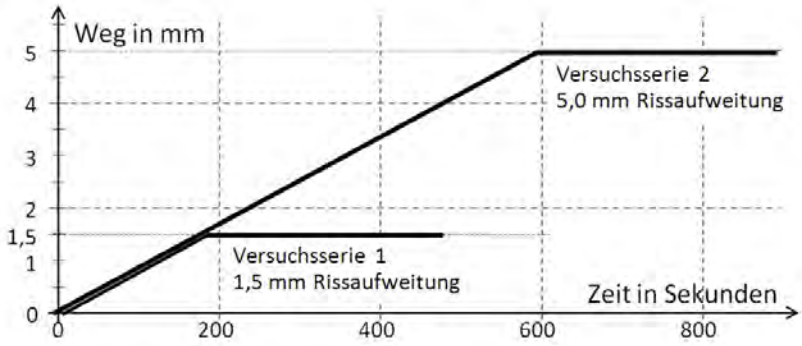


Abbildung 7-12: Rissöffnung-Zeit Steuerung für Versuchsreihe 1 und 2

Nachdem der Probekörper das Versuchsprozedere durchlaufen hatte, wurde er visuell auf eventuelle Risse in der Beschichtung untersucht. Wenn keine optischen Mängel feststellbar waren, folgte die Wasserdichtigkeitsprüfung.

Zur Vorbereitung der Wasserdichtigkeitsprüfung wurden alle Probekörper mit einem Indikatorpulver behandelt, um einen möglichen Feuchtigkeitsdurchtritt zu lokalisieren. Als Indikatorpulver kam hier Methylenblau zum Einsatz. Dieses nahezu schwarze Pulver wurde unterhalb der Beschichtung in den Riss des Probekörpers gegeben. Wäre bei dem Rissüberbrückungsversuch eine Undichtigkeitsstelle in der Polyurethanbeschichtung entstanden, hätte eine intensive Blaufärbung das durchtretende Wasser sichtbar gemacht.

Oberhalb des mit Methylenblau präparierten Risses wurde die Beschichtung mit einer 10 cm hohen Wassersäule für 24 Stunden beansprucht. Danach wurde der Probekörper optisch auf Spuren eines Wasserdurchtritts untersucht.

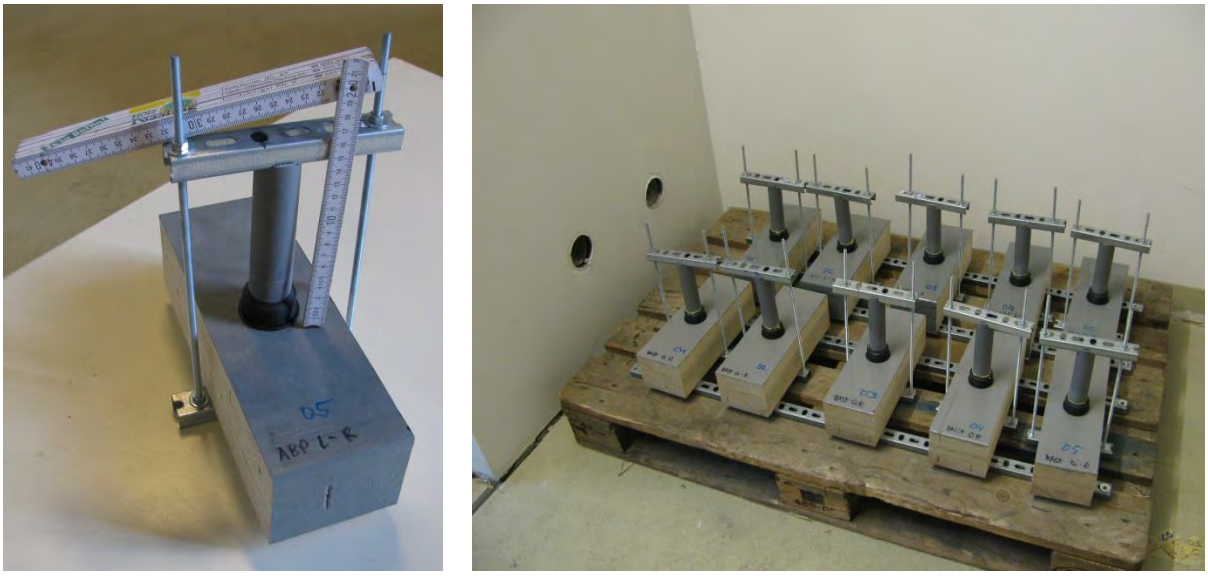
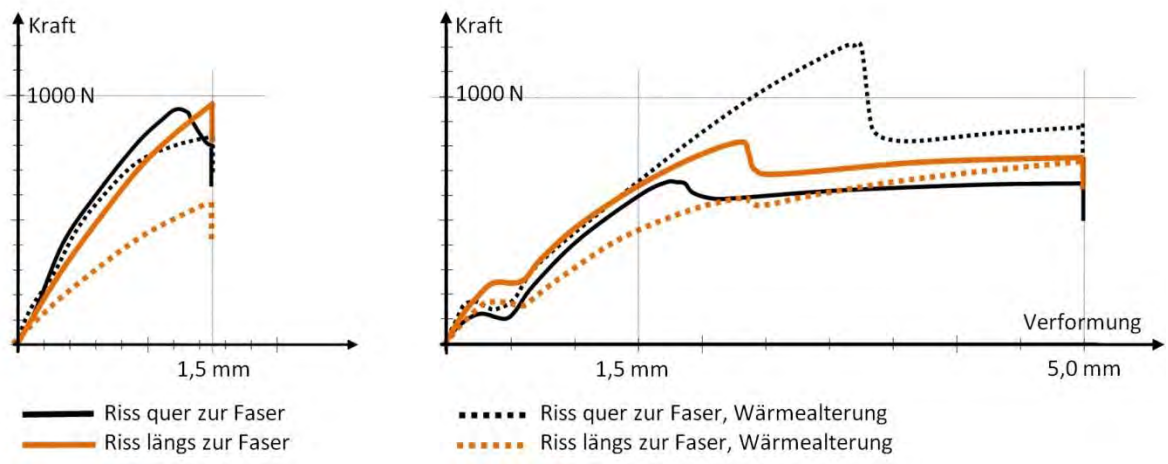


Abbildung 7-13: Wasserdichtigkeitstest

7.4.3 Auswertung

Die Rissaufweitungen ging bei allen Proben nach dem Versuch selbständig auf 0 mm zurück. Die Beschichtung alle Probekörper wies keine optischen Mängel auf. Auch die Wasserdichtigkeitsprüfung haben alle Proben erfolgreich bestanden. Selbst bei den verschärften Versuchsbedingungen der zweiten Versuchsreihe wurden keine Undichtigkeiten beobachtet. Teilweise war aber im Bereich der Rissufer, unmittelbar unter der Beschichtung, ein lokal begrenztes Ausbrechen des Holzes festzustellen. Dadurch vergrößerte sich die freie Dehnlänge der Beschichtung über dem Riss und damit die Dehnfähigkeit der PUR-Sprühbeschichtung.



a) b)

Abbildung 7-14: Arbeitslinien a) Versuchsreihe 1: Rissaufweitung bis 1,5 mm
b) Versuchsreihe 2: Rissaufweitung bis 5,0 mm

Auf den Bildern (Abbildung 7-12) und (Abbildung 7-14) sind exemplarisch die Wegsteuerung und die Arbeitslinien am Beispiel der Beschichtung von ABP auf Brettsperrholz dargestellt. Die Arbeitslinien sind Mittelwerte aus den jeweils 3 bis 5 Versuchen pro Beschichtungsmaterial, Holzuntergrund, Rissorientierung und Alterungsbedingung. Insbesondere wegen der Streuung der Holzeigenschaften und der Beschichtungsdicken sind die Kräfte nur indikativ zu verstehen, sie sind aber prinzipiell anhand der oben beschriebenen mechanischen Vorgänge bei der Rissaufweitung nachvollziehbar. So lassen sich die Stufen im Kräfteverlauf vermutlich auf das Ablösen des Holz zu diesem Zeitpunkt zurückführen. Entscheidend für die praktische Anwendung war hier aber der erfolgreiche Nachweis der Dichtigkeit.

7.5 Ermüdungsverhalten

Wie bereits in vorherigen Kapiteln angesprochen, rufen Holzfeuchteänderungen Volumenänderungen und damit auch Längenänderungen hervor. Holzkonstruktionen, die auch indirekt der Witterung ausgesetzt sind, nehmen bei hoher Luftfeuchtigkeit, wie es in den Wintermonaten der Fall ist, Feuchtigkeit auf und geben diese wieder ab, wenn in den Sommermonaten die relative Luftfeuchte niedriger ist. Da die Polyurethanbeschichtung die Holzkonstruktion über Jahrzehnte dauerhaft vor der direkten Witterung schützen soll, muss die Beschichtung diese Längenänderungen aufgrund der wechselnden Holzfeuchte aufnehmen können. Vor Allem in Bereichen von Verbindungsfugen und Stößen ändern sich dadurch die Fugengrößen und die Rissbreiten, was zu einer sehr starken Beanspruchung der Beschichtung führt. Die Polyurethanbeschichtung muss diese vielen Lastwechsel über die gesamte Nutzungsdauer der Holzkonstruktionen unbeschadet überstehen, um einen dauerhaften Holzschutz zu gewährleisten.

In der folgenden Versuchsreihe wurde das Ermüdungsverhalten der Polyurethan-beschichtung genauer untersucht.

7.5.1 Probekörper

In Anlehnung an die ETAG 005 und die EOTA TR 008 [57] wurden Probekörper aus verschiedenen Holzwerkstoffen mit einer 1 Millimeter breiten Fuge hergestellt. Diese Fuge wurde im Versuch auf 3 mm geöffnet und anschließend komplett geschlossen. Dieser Vorgang wurde bei -10°C 500 Mal wiederholt und simulierte so das Öffnen und Schließen von Fugen und Stößen infolge Holzfeuchteänderungen in der Holzkonstruktion entsprechend der Nutzungskategorie W2 für 10 Jahre.

Die Abmessungen des Probekörpers betrugen 401 mm x 200 mm (LxB). Vor dem Beschichten wurde der Probekörper halbiert und zwischen die Schnittflächen wurde ein 1 mm breiter Platzhalter eingebracht und fixiert. Als Platzhalter wurde Plexiglas verwendet, da es nicht an Polyurethan haftet und sich somit später leicht wieder entfernen ließ. Die anschließende Beschichtung erfolgte über die mit dem Platzhalter gefüllte Fuge hinweg. Nach dem Beschichtungsvorgang wurde der Platzhalter entfernt und es verblieb einn Probekörper mit einer nahtlosen, über eine 1 mm breite Fuge hinweglaufenden Beschichtung.

Insgesamt wurden in dieser Versuchsreihe 150 Probekörper aus den vier verschiedenen Holzwerkstoffen Brettsperrholz (BSP), Furnierschichtholz (FSH), OSB und MDF mit den drei Beschichtungssystemen der Firmen AB Polymerchemie, BASF und Bayer untersucht.

Auch hier wurde bei der Hälfte der Probekörper eine Wärmealterung bei 80°C, wie in Kapitel 7.1 beschrieben, durchgeführt.

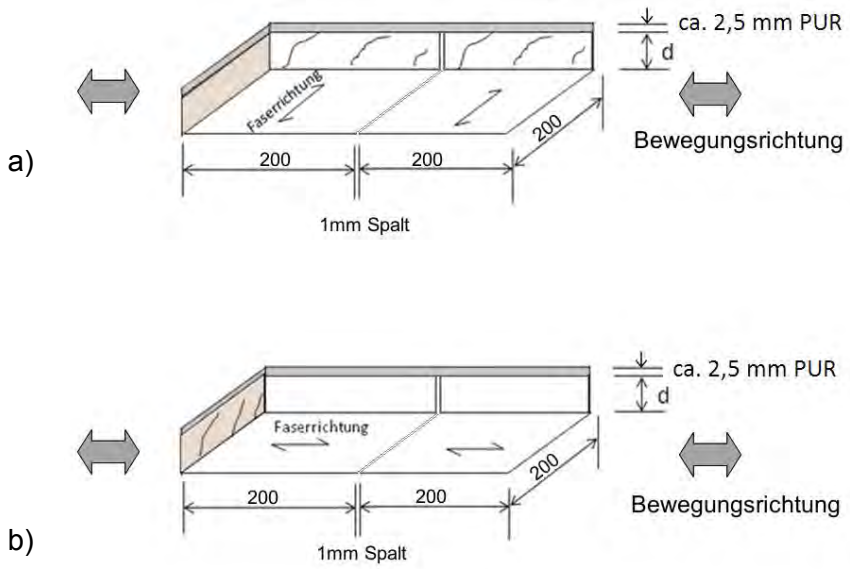


Abbildung 7-15: Schematische Darstellung der Probekörper und der Rissrichtung im Vergleich zur Faserrichtung

a) Riss parallel zur Faserrichtung b) Riss quer zur Faserrichtung

Wie in den Skizzen dargestellt wurde auch eine Unterscheidung der Rissrichtung in Bezug auf die Faserrichtung des Holzes untersucht. Der Riss verläuft entweder parallel oder quer zur Faserrichtung des Holzes.

Ermüdung 401 mm x 200 mm Probekörper	Konditionierung	Holzwerkstoff	Hersteller der Beschichtung	Probekörperanzahl nach Faserrichtung	
				parallel	quer
	Null Versuch	OSB	ABP Chemie	5	5
			Bayer	5	5
			BASF	5	5
		BRH	ABP Chemie	5	5
			Bayer	5	5
			BASF	5	5
		FSH	ABP Chemie	5	5
		MDF	ABP Chemie	5	
	Wärmealterung	OSB	ABP Chemie	5	5
			Bayer	5	5
			BASF	5	5
		BRH	ABP Chemie	5	5
			Bayer	5	5
			BASF	5	5
		FSH	ABP Chemie	5	5
		MDF	ABP Chemie	5	

Tabelle 7-6: Probekörperübersicht Ermüdung.

7.5.2 Versuchsaufbau und -durchführung

Die ETAG 005 gibt für die Ermüdungsversuche 500 Zyklen vor, wobei unter einem Zyklus das Öffnen auf 3 mm mit anschließendem Schließen auf 0 mm zu verstehen ist.

Einstufung nach erwarteter Nutzungsdauer	Anzahl der Zyklen
W1	250
W2	500
W3	1000

Tabelle 7-7:Anzahl der Ermüdungsbewegungszyklen - ETAG 005 Tabelle 9

Der Ermüdungsversuch nach den Vorgaben der EOTA TR 008 [57] gibt an, dass die Prüfung bei -10 °C und mit einer Prüfgeschwindigkeit von 16 mm pro Stunde durchgeführt werden soll.

Aufgrund der Vorgaben der ETAG und EOTA TR sowie wegen der großen Anzahl an Prüfkörpern, wurde eine Prüfmaschine konzipiert und hergestellt, die es erlaubt mehrere Prüfkörper gleichzeitig zu prüfen.

Damit es beim Ermüdungsversuch nicht zu einer ungewollten Verdrehung der Probekörper und damit zu einer Biegebeanspruchung in der Beschichtung kommt, wurden die Probekörper paarweise zu einem symmetrischen Paket verschraubt.

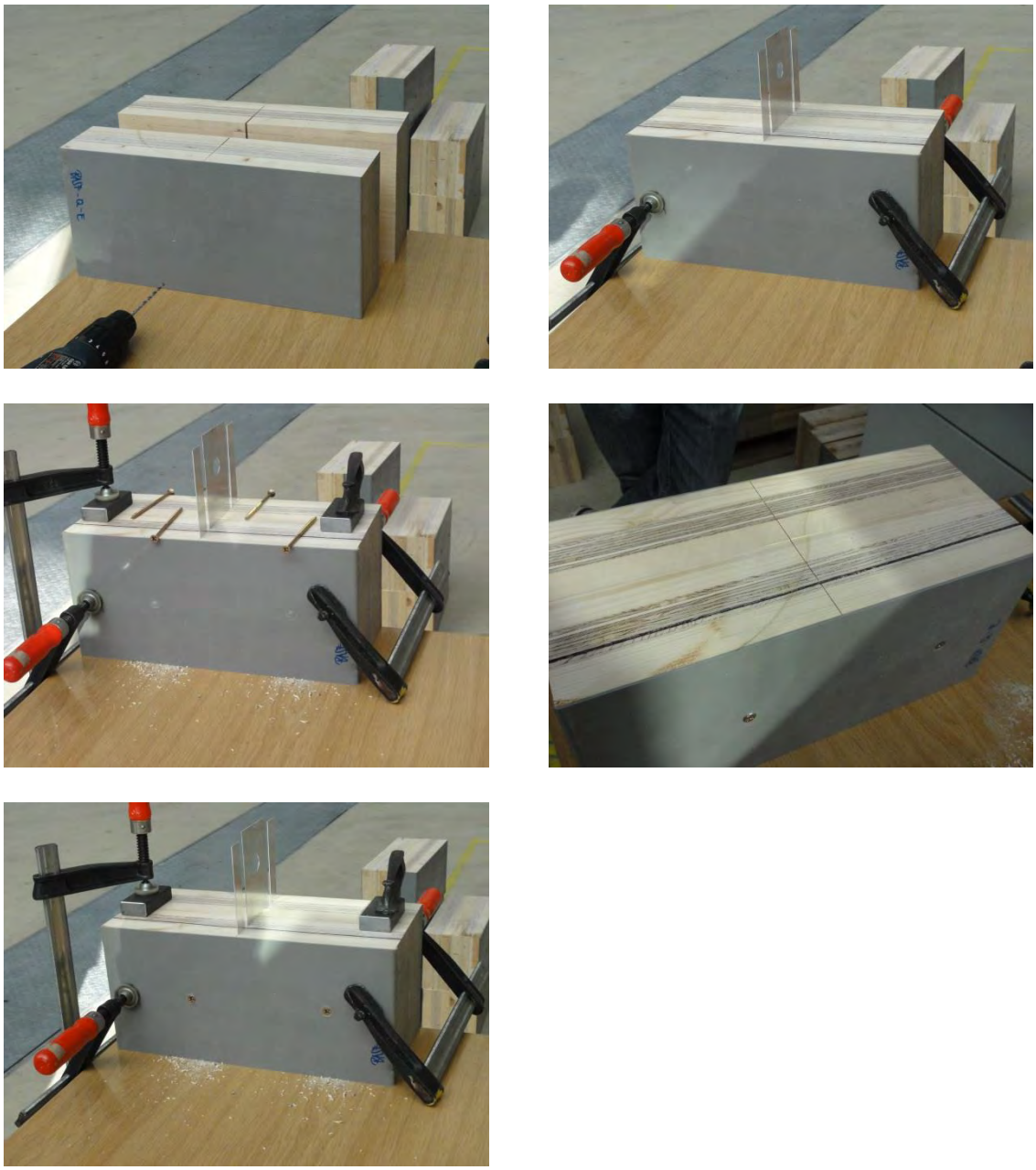


Abbildung 7-16: Herstellung von einem Probekörperpaket

In Abhängigkeit der Holzdicke können bis zu 15 Pakete in die Prüfmaschine eingespannt werden. Die Prüfmaschine ist ortsungebunden und für tiefe Temperaturen ausgelegt, so dass sie den Anforderungen an die Prüfung mit einer Temperatur von -10 °C gerecht wird.

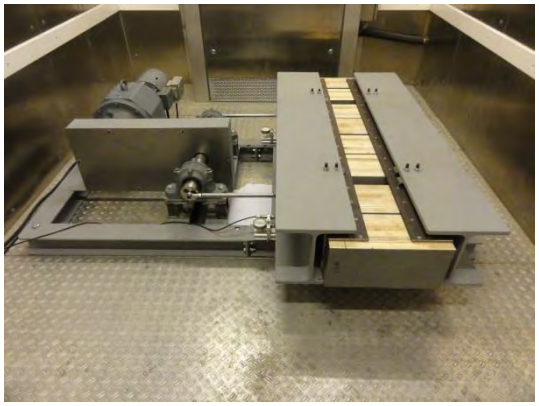


Abbildung 7-17: Aufbau des Ermüdungsversuchs in der Klimakammer

7.5.3 Auswertung

Alle Probekörper bestanden die Wasserdichtigkeitsprüfung erfolgreich und wiesen bei der visuellen Prüfung keine Mängel auf.

Exkurs: Brandverhalten

Üblicherweise sind Holzwerkstoffe normalentflammbar, ohne dass es während des Brandes zu einem brennenden Abfallen oder Abtropfen kommt. Je nach Zusätzen in Form z.B. von Klebstoffen kommt es zu keiner oder einer begrenzten Rauchentwicklung. Recherchen haben ergeben, dass je nach verwendeter Polyurethanbeschichtung das Brandverhalten zwischen der Klasse B (schwerentflammbar) und D (normalentflammbar) nach DIN EN 13501 liegen kann. Die Zusatzanforderung an das Abtropfen entspricht deren von Holzwerkstoffen, allerdings ist mit der Einstufung in die Rauchentwicklungsklasse s2 zu rechnen.

7.6 Zusammenfassung

Bezüglich der Dauerhaftigkeit des Verbundes zwischen Polyurethan und Holzwerkstoffen sowie zur Dichtigkeit bei großen Dehnungen über Rissen können folgende Aussagen getroffen werden:

1. Klimatisch bedingte Beanspruchungen weisen keinen signifikanten Einfluss auf die Rissüberbrückungsfähigkeit, das Ermüdungsverhalten und die Haftzugfestigkeit auf.

2. Auffällig ist die in den Prüfserien der Haftzugfestigkeit vergleichsweise hohe Streuung der Ergebnisse. Diese Streuung ist in erster Linie auf Abweichungen zwischen den Holzwerkstoffen zurückzuführen. Insofern kann mit hoher Wahrscheinlichkeit eine entsprechende Streuung in der Eigenart und Herstellung der Holzwerkstoffe als ursächlich angenommen werden.

3. Rissöffnungsweiten von 5 mm werden vom Polyurethan überbrückt.

4. Die Anforderungen nach ETAG 005 werden eingehalten.

8 Untersuchung zur Dauerhaftigkeit von Hybridkonstruktionen

8.1 Hygrothermische Beanspruchung von Fassaden

In Anlehnung an die Vorgaben der ETOA 005-6 und der ETAG 004 wurde das Verhalten nach hygrothermischer Beanspruchung sowie die Haftzugfestigkeit zwischen der Unterkonstruktion aus dem Holzwerkstoff OSB und der Beschichtung aus Polyurethan untersucht. Für die hygrothermischen Beanspruchung wurden, abweichend von der ETAG 004, die vom unabhängigen Sachverständigenausschuss (SVA) für Wärmedämmverbundsysteme im Holzbau empfohlenen Zyklen des Fraunhofer Instituts für Holzforschung - Wilhelm-Klauditz-Institut – (WKI-Zyklen) verwendet. Diese Zyklen sind für Außenwandkonstruktionen aus Holz bzw. Holzwerkstoffen entwickelt worden, um einen ausreichenden Witterungsschutz nachweisen zu können. Das Kriterium ist eine Begrenzung des Feuchtegehaltes in den Bauteilen auf 15 M-% nach Abschluss der Bewitterung.

8.1.1 Prüfwände

Es wurden vier structural insulated panels (SIP) der Firma IsoBouw Dämmtechnik GmbH in zwei Trägerrahmen eingebaut, so dass 2 Prüfwände mit unterschiedlichen Dicken zur Verfügung standen. Der Wandaufbau ist eine Holzrahmenkonstruktion mit OSB-Platten als Außenbeplankung, die eine Dicke von 1,2 cm aufweisen und als Kernmaterial ein Dämmstoff aus EPS 035 mit Dicken von 24 cm und 16 cm. Somit ergibt sich eine Wanddicke von 26 sowie 18 cm.

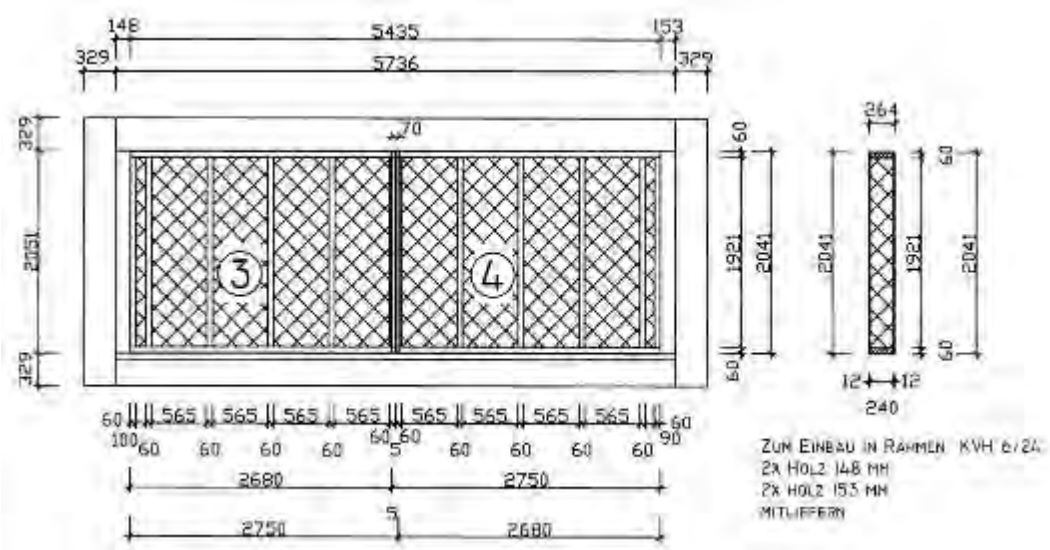


Abbildung 8-1:Wandelemente aus OSB und EPS Dicke = 26,4 cm

Die Wände wurden jeweils in zwei Elementen geliefert, wodurch eine Vertikalfuge in der Wandmitte realisiert werden konnte. Die Wandelemente wurden dann in die

Trägerrahmen aus Stahl eingebaut und mit isolierten Messelektroden, in unterschiedlichen Tiefen, für die Messung der Holzfeuchte mit einer Gann Hydromette RTU 600 und Temperatursensoren PU 100 der Firma Driesen und Kern auf beiden Seiten bestückt. Die Sensoranordnung ist der Abbildung 8-5 und Abbildung 8-6 zu entnehmen. Nach der Montage wurden die Wände in den Trägerrahmen unter Normklima gelagert. Dann erfolgte die Beschichtung der Wände mit Polyurethan stehend in den Trägerrahmen. Die Polyurethanbeschichtung wurde sowohl auf der Innen als auch der Außenwandfläche aufgesprüht. Eine Deckbeschichtung zum UV-Schutz wurde nicht aufgebracht.

Abbildung 8-2: Trägerrahmen mit Wand und Sensoren vor der Beschichtung

Abbildung 8-3: Vertikalfuge im Detail oben an der Wand

a) b)

Abbildung 8-4: a) Beschichtungsarbeiten der Versuchswände durch die Fa. Reaku

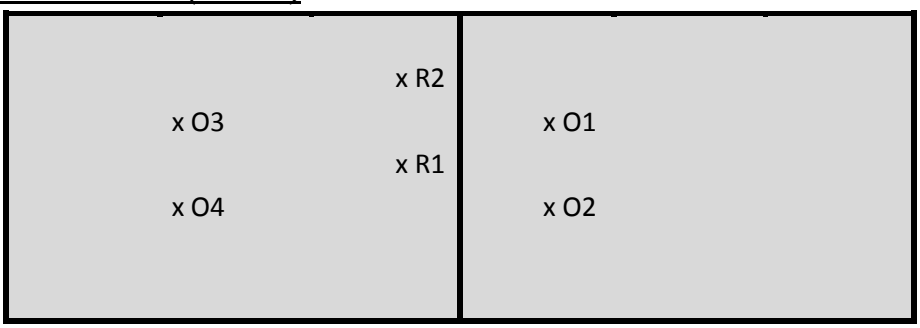
b) Fertig beschichtete Wand ohne coating

Exkurs: Arbeitsschutz bei der Herstellung

Polyurethan wird aus 2 Komponenten hergestellt. Je nach System werden die Polyisocyanate mit dem Polyolen getrennt als 2-Komponeten-System oder als 1-Komponenten-System geliefert. Der Härter (Polyisocyanat) ist hochreaktiv und reagiert bei 2-K-Systemen mit den Polyolen (Harz) und bei 1-K-Systemen durch die Luftfeuchtigkeit. Das ausgehärtete Polyurethan ist physiologisch unbedenklich. Da aber der Härter als Gefahrenstoff (Xn – gesundheitsschädlich) eingestuft ist, sind bei der Herstellung bzw. beim Spritzgießen Arbeitsschutzmaßnahmen zu berücksichtigen. Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) hat für Isocyanate zur Gefährdungsbeurteilung und zu Schutzmaßnahmen Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 430) herausgegeben. Bei der Herstellung am Bau können unterschiedliche Konzentrationen von Isocyanaten und weitere unterschiedliche persönliche Schutzausrüstung erfordernde Stoffe verwendet werden. Das Gefahrstoff-Informationssystem der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft unterscheidet in lösemittelfreie (GIS-Code: PU10, lösemittelhaltige (PU 20), gesundheitsschädliche (PU 30), sensibilisierende (PU 40 & PU 50) und Komponenten auf Aminbasis (PU 60) enthaltende Herstellungsstoffe für PUR-Systeme. Unabhängig von der Bewertung der Ausgangskomponenten sollte aufgrund des Aerosol erzeugenden Beschichtungssystems Augen-, Hand-, Atem- und Körperschutz verwendet werden. Die Einzelkomponenten sollten weder in die Kanalisation noch in den Boden gelangen. Zudem sollten Restmengen ausgehärtet werden.

Nach den Beschichtungsarbeiten wurden die Wände in der Versuchshalle gelagert und mit Planen abgedeckt, um sie vor UV-Strahlung zu schützen.

ABP-SIP-18 außen (bewittert)



ABP-SIP-18 innen (unbewittert)

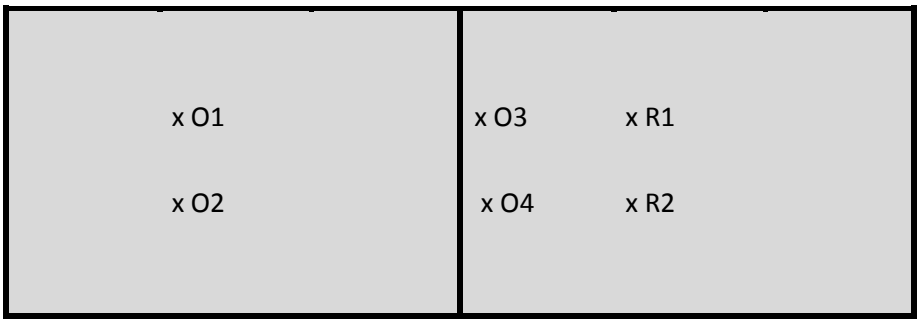
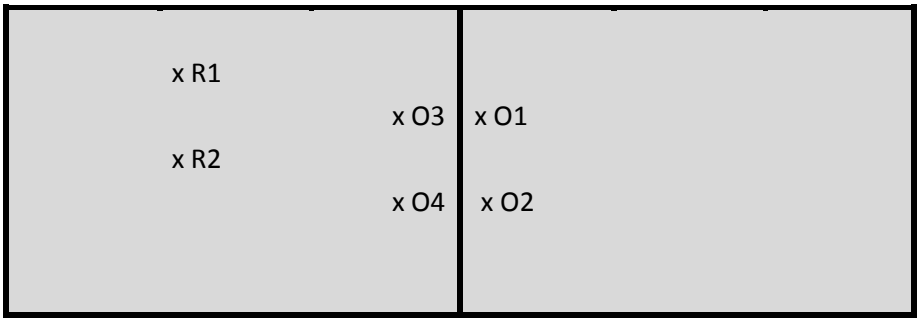


Abbildung 8-5: Sensoranordnung bei der Wand mit 18 cm Dicke

ABP-SIP-26 außen (bewittert)



ABP-SIP-26 innen (unbewittert)

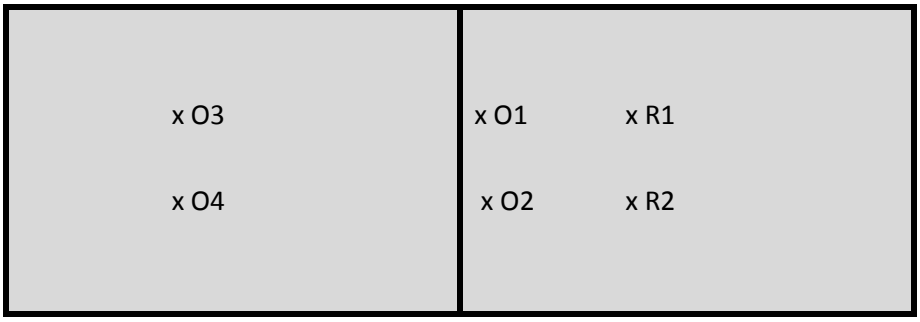


Abbildung 8-6: Sensoranordnung bei der Wand mit 26 cm Dicke

Die Sensoren mit der Bezeichnung R sind Sensoren, die die Holzfeuchte des Vollholzrahmens aus Fichte messen und die Sensoren mit der Bezeichnung O messen die Feuchte der OSB/3-Platten.

Diese Anordnung ermöglichte zum einen die Erfassung der relevanten Feuchtedaten des Holzrahmens und zum anderen der OSB-Beplankung. Des Weiteren konnte damit der Feuchteverlauf über die Zeit der hygrothermischen Beanspruchung erfasst werden. An jede bewitterte Wandseite wurden drei Temperatursensoren für die Oberflächentemperatur angebracht und an jede Wandseite wurden zusätzlich zwei Temperatursensoren zwischen der OSB-Platte und der Wärmedämmung appliziert.

8.1.2 Versuchsaufbau

Um die Prüfwände einer hygrothermischen Beanspruchung auszusetzen, wurden diese in den Fassadenprüfstand der TU-Berlin (vgl. Abbildung 8-7) eingebaut. Die Bewitterung erfolgte im Fassadenprüfstand durch „zeitraffende“ Wechselzyklen, mit denen das Außen- und Innenklima simuliert wurde. Für das Außenklima können mit dem Prüfstand einerseits Hitze-Regen-Zyklen simuliert werden, mit Sonneneinstrahlung mit einer Wandoberflächentemperatur von +15°C bis 80°C und mit Niederschlag. Andererseits können Wärme-Kälte-Zyklen gefahren werden, mit Sonneneinstrahlung und Frost und mit Oberflächentemperaturen von -20° C bis +50° C. Das Innenklima wird mit Hilfe eines separaten Klimagerätes auf 20°C und 50% rel. Feuchte konstant über die gesamte Bewitterungszeit gehalten. Die Temperatur und die Luftfeuchte für das Außenklima werden durch Heizstrahler und ein Klimaaggregat erzeugt, die direkte Beregnung erfolgt über eine Sprinkleranlage mit einer definierten Wassermenge und definierter Temperatur. Die Steuerung der Anlage wird mit Hilfe einer DDC der Firma Kieback und Peter programmiert und vollautomatisch ausgeführt. Diese Anlage ist in der Lage, die Oberflächentemperatur von 50°C auf -20°C innerhalb von einer Stunde abzukühlen und wieder innerhalb einer Stunde auf 50°C aufzuheizen.

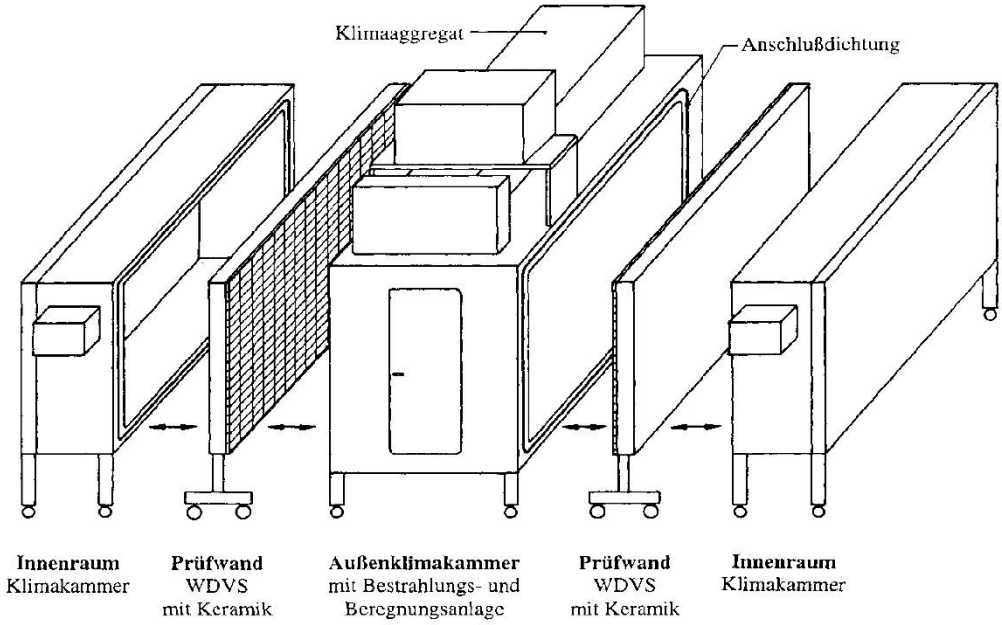


Abbildung 8-7: Fassadenprüfstand

Abbildung 8-8: Außenklimakammer des Fassadenprüfstandes / DDC des Fassadenprüfstandes

8.1.3 Versuchsdurchführung

Die für die hygrothermische Beanspruchung verwendeten WKI-Zyklen sind in drei Hauptphasen unterteilt. Die erste und dritte Phase bestehen aus je 40 gleichen Wärme-Regen-Zyklen, die ein definiertes Lastschema von Temperatur, relativer Feuchte und Beregnung haben (vgl. Abbildung 8-9). Die Dauer eines Wärme-Regen-Zyklus beträgt 16 Stunden. Die zweite Phase besteht aus nur 5 Wärme-Kälte-Zyklen, die ebenfalls eine Dauer von 16 Stunden haben. Zwischen den Wärme-Regen-Zyklen und den Wärme-Kälte-Zyklen gibt es im Gegensatz zum ETAG-Zyklus keine 48 Stunden Pause, was eine höhere Beanspruchung für das System bedeutet.

1. Phase: **40 Zyklen Wärme-Regen**			
Dauer	**Aktion**	**Temperatur**	**rel.Feuchte**
10,5 h	Halten von Temperatur und Luftfeuchte	10°C	60% r.F.
1 h	Erwärmen auf	(60 ± 5)°C	40% r.F.
3,5 h	Halten von	(60 ± 5)°C	40% r.F.
10 min	Beregnung mit Wasser (Wassermenge 1l/(m²min))	ϑ_{Wasser} (15 ± 5)°C	
50 min	Abkühlen und Trocknen	10 °C	60% r.F.

2. Phase: **5 Zyklen Wärme-Kälte**			
Dauer	**Aktion**	**Temperatur**	**rel.Feuchte**
2 h	Abkühlen auf	(-20 ± 5)°C	80% r.F.
10 h	Halten von	(-20 ± 5)°C	80% r.F.
2 h	Erwärmen und Befeuchten auf	30°C	70% r.F.
2 h	Halten von	30°C	70% r.F.

3. Phase: **40 Zyklen Wärme-Regen**			
Dauer	**Aktion**	**Temperatur**	**rel.Feuchte**
10,5 h	Halten von	10°C	60% r.F.
1 h	Erwärmen auf	(60 ± 5)°C	40% r.F.
3,5 h	Halten von	(60 ± 5)°C	40% r.F.
10 min	Beregnung mit Wasser (Wassermenge 1l/(m²min))	ϑ_{Wasser} (15 ± 5)°C	
50 min	Abkühlen und Trocknen	10 °C	60% r.F.

Abbildung 8-9: Übersicht der WKI-Zyklen

Die hygrothermische Beanspruchung simuliert mit der Dauer 56 Tagen eine tatsächliche Beanspruchung des Systems von ca. 20 Jahre. Der Versuch startete am 25.05.2012 und war am 20.07.2012 beendet. Während und nach der Bewitterung wurden visuell keinerlei Schäden in Folge der hygrothermischen Beanspruchung an der Oberfläche beobachtet. Im Folgenden sind exemplarisch die Temperaturlastgänge vom Wärme-Regen-Zyklus und vom Wärme-Feuchte-Zyklus dargestellt.

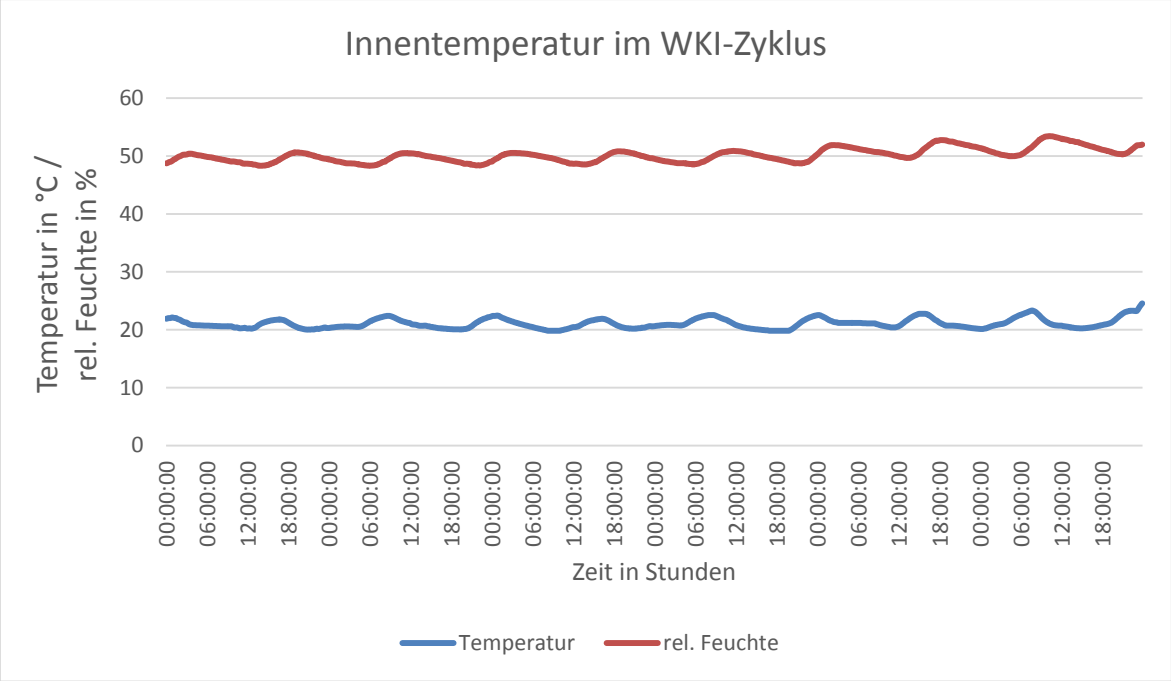


Abbildung 8-10: Ausschnitt des Temperaturverlaufes und der relativen Feuchte für das Innerklima

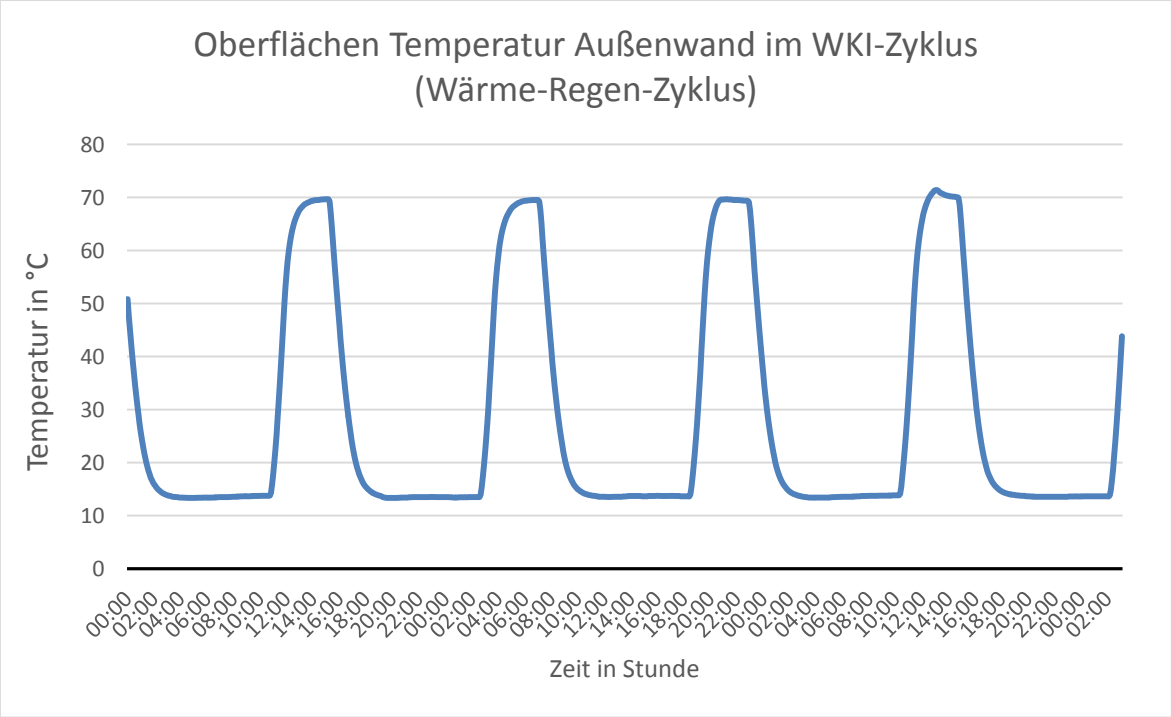


Abbildung 8-11: Ausschnitt des Temperaturlastganges des Wärme-Regen-Zyklus

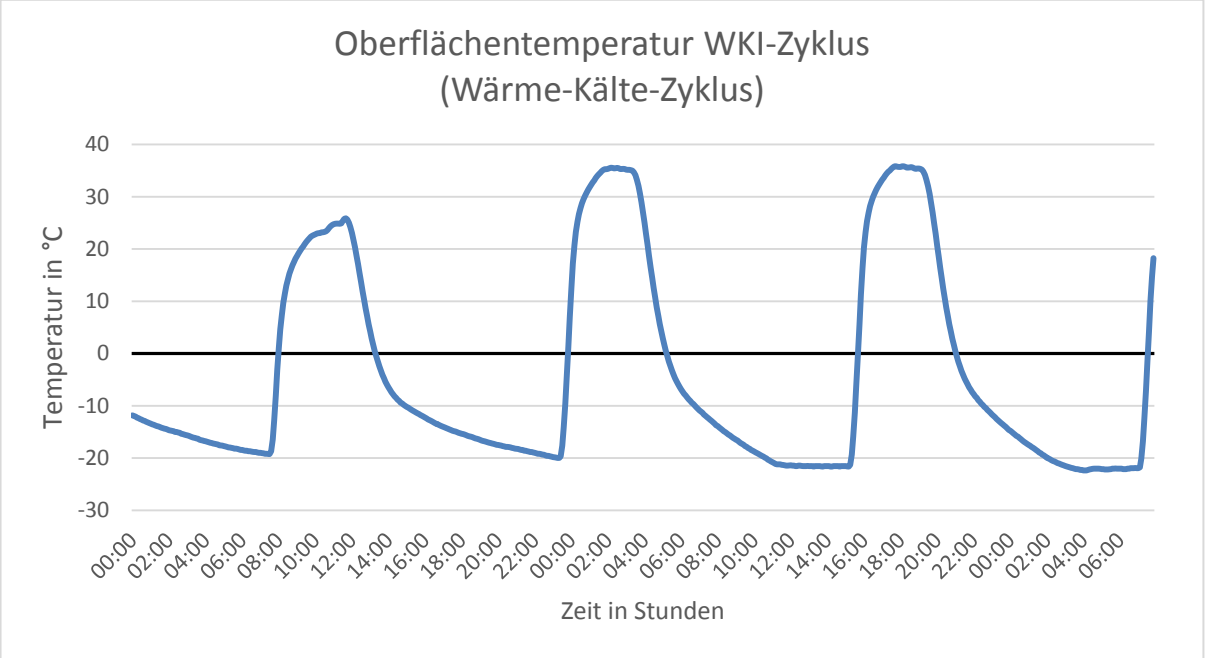


Abbildung 8-12: Ausschnitt des Temperaturlastganges des Wärme-Kälte-Zyklus

8.1.4 Auswertung Feuchtigkeit

Die Feuchtemessung erfolgte durch Widerstandsmessung mit der Hydromette RTU 600 der Firma Gann, dies entspricht einer Messung nach DIN EN 13183-2:2002 Schätzung durch elektronisches Widerstands-Messverfahren. Die Messungen wurden bei gleichen klimatischen Bedingungen durchgeführt, um einen klimabedingten Einfluss für die Vergleichbarkeit der einzelnen Messungen zu minimieren. Die Messergebnisse der Bauteilfeuchten sind in der Abbildung 8-13 bis Abbildung 8-16 nach Wand und Klimatisierung - d.h. konstantes Innenklima mit innen bezeichnet, instationäres Außenklima mit außen bezeichnet - dargestellt.[4] In den Darstellungen ist zu erkennen, dass sich der Feuchtegehalt im Holzträgerrahmen (Sensor R1 und R2) über die Konditionierungszeit im simulierten Außenklimabereich nicht signifikant veränderte. Dies wurde bei beiden untersuchen Wanddicken beobachtet. Im Holzrahmen auf der Seite mit der Innenklimakonditionierung wurde ein anfänglicher Anstieg des Feuchtegehaltes gemessen, der aber über die Konditionierungszeit hinweg auf das Anfangsniveau der Bewitterung absank. Als Grund dafür lässt sich ein Einstellungsfehler am Feuchtemessgerät vermuten, da der Feuchtegehalt beim nächsten Messen wieder deutlich absank, und im Weiteren die Messungen annähernd konstant blieben.

Die Ergebnisse aus den Messungen an den Sensoren O 1 bis O4 in den OSB-Platten zeigten, dass der Feuchtegehalt bei Innenklima über die Konditionierungszeit nur um ca. 1 bis 2 % schwankt, also nahezu konstant blieb. Der Feuchtegehalt in den OSB-Platten, die einer zyklischen Bewitterung ausgesetzt wurden, zeigte ein Anstieg des

[4] Die Bezeichnung ergibt sich aus dem Hersteller der Beschichtung (ABP), der Wandkonstruktion (SIP), der Wandstärke in cm (18 bzw. 26) und die Seite (außen/innen).

Feuchtehaushaltes von 2 bis 3 %. Laut der Arbeitsgruppe „Wärmedämmverbundsysteme auf Holzkonstruktionen“ sollte nach dem WKI-Zyklen der Feuchtegehalt im Holz 15 M.-% nicht überschreiten. Nach den Messergebnissen mit der Gann Hydromette 600 waren zu keiner Zeit des Versuches Überschreitungen des Grenzwertes von 15 M.-% festzustellen. Somit ist aus witterungsschutztechnischer Sicht diese Konstruktion als geeignet zu betrachten.

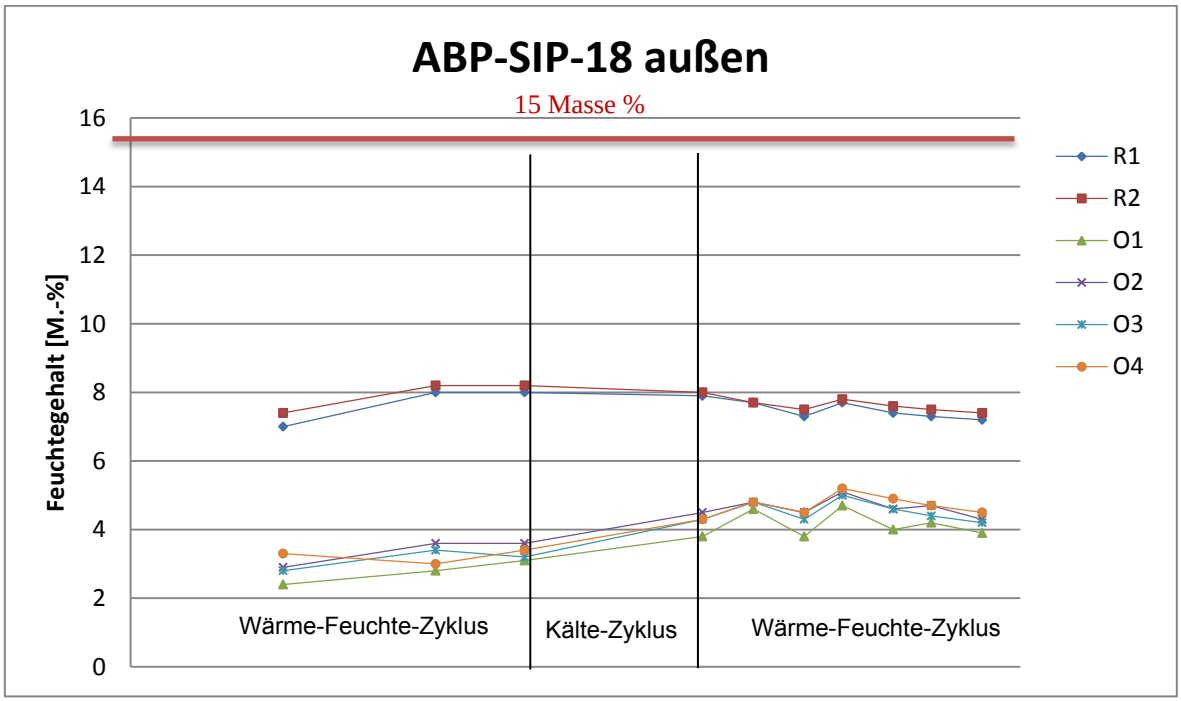


Abbildung 8-13: ABP-SIP-18 außen (bewittert)

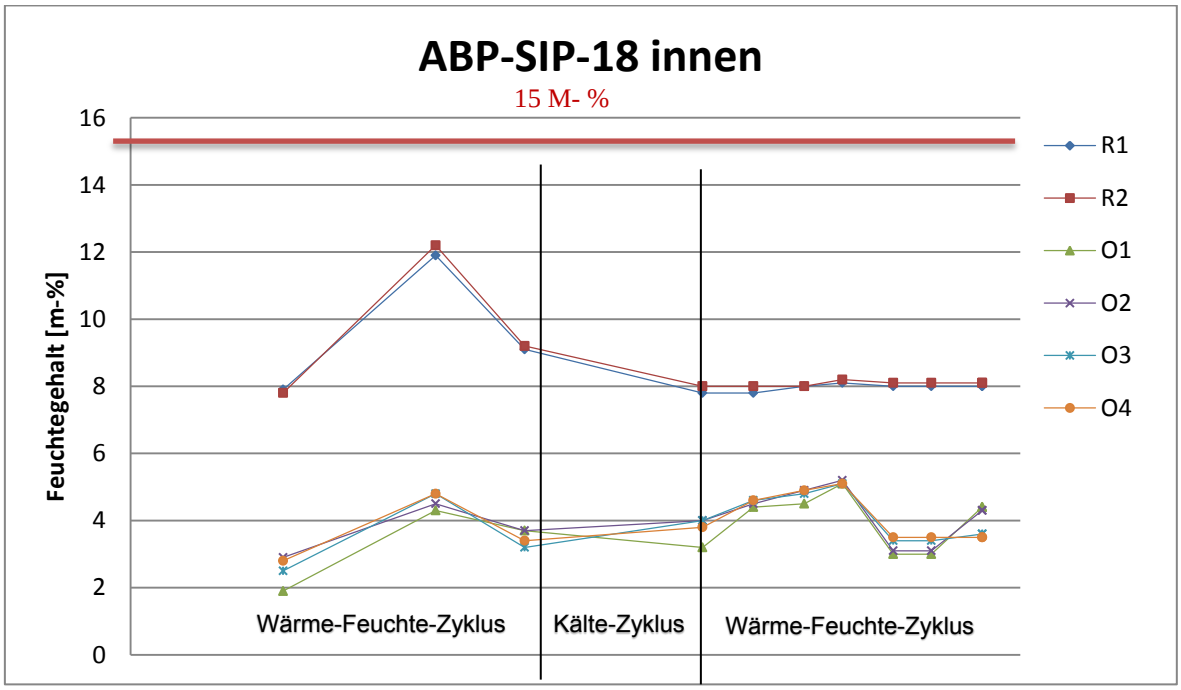


Abbildung 8-14: ABP-SIP-18 innen (unbewittert)

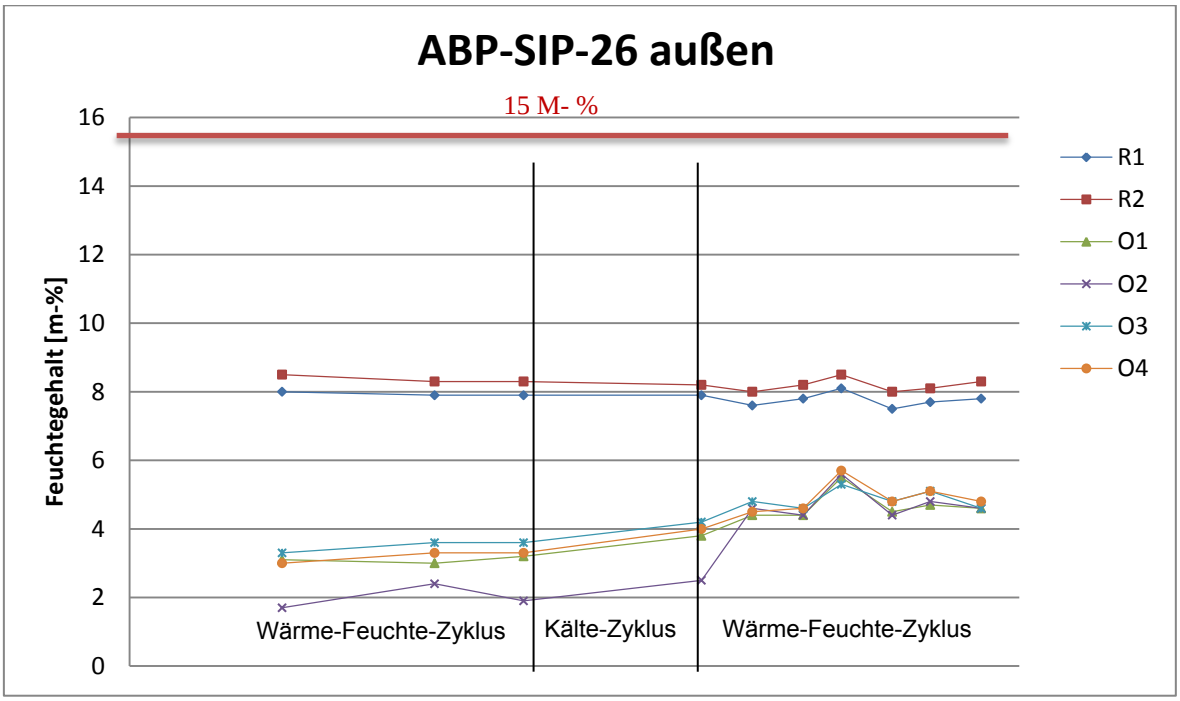


Abbildung 8-15: ABP-SIP-26 außen (bewittert)

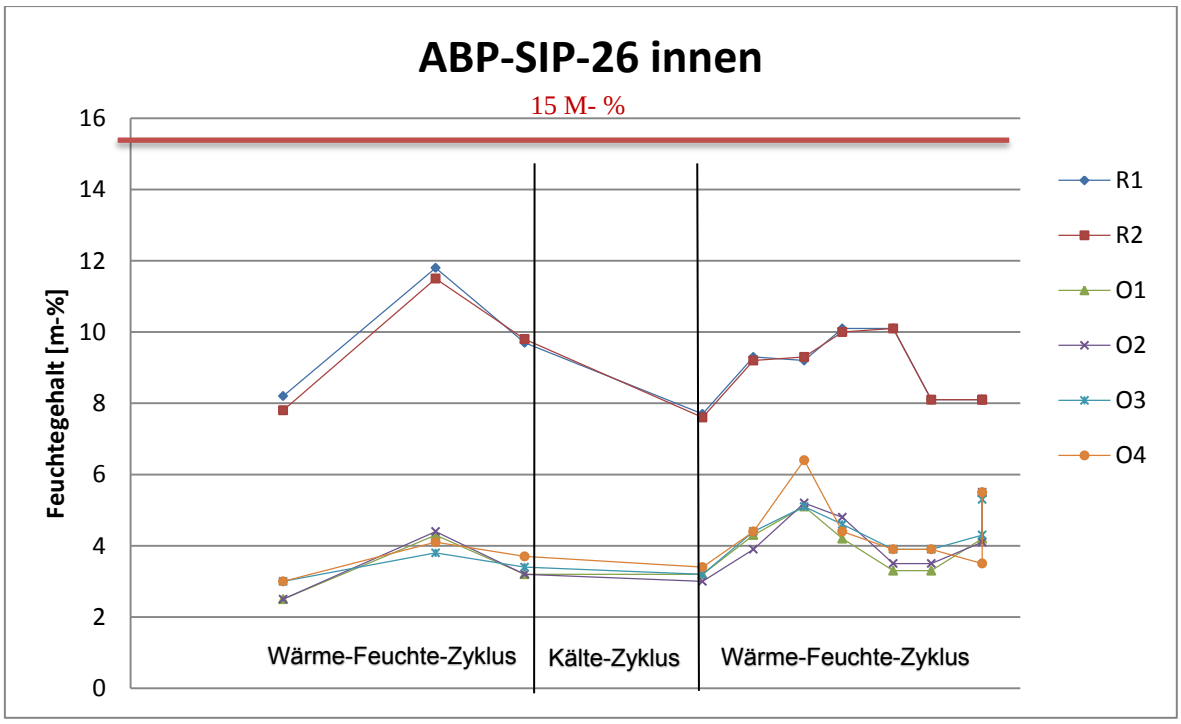


Abbildung 8-16: ABP-SIP-26 innen (unbewittert)

8.1.5 Auswertung Haftzugfestigkeit

Die Prüfung erfolgte auch hier mit einer geeichten Haftzugprüfmaschine der Firma BPS Wennigsen Model F10D EASY M2004. Zuerst wurden die Haftzugprüfflächen mit einem Kreisbohrer an der vertikal stehenden Wand ausgeschnitten. Der Ausschnitt wurde 3 mm tief unter die Beschichtung in die Holzbeplankung hinein ausgeführt.

Abbildung 8-17: Model F10D EASY M2004 (links) und Kreisbohrer (rechts)

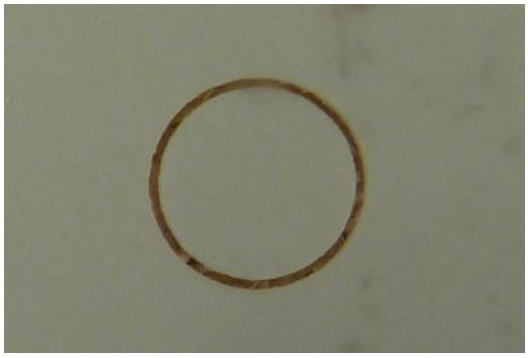


Abbildung 8-18: Ausschnitt vor der Haftzugprüfung (links) und geklebte Prüfstempel an der Probenwand (rechts)

Auf diese Ausschnitte wurden dann mit Hilfe des Polyurethanhaftzugklebers Quicksolid der Firma MC-Bauchemie die kreisrunden Prüfstempel mit einem Durchmesser von 50mm aufgeklebt. Nach der Trocknungszeit von 20 Minuten wurde mit der Haftzugprüfung begonnen. Es wurden von jeder Wand 20 Haftzugprüfungen der bewitterten Seite und 10 Haftzugprüfungen der unbewitterten Seite senkrecht zur Wandoberfläche gezogen, protokolliert und dokumentiert.

Die Vortriebsgeschwindigkeit der Haftzugprüfmaschine betrug 10 mm/min. Anschließend wurden die Bruchebenen begutachtet und dokumentiert. In Anlehnung an die Vorgehensweise der EOTA TR 004 wurde die Haftzugfestigkeit zwischen der Beschichtung und dem Beschichtungsuntergrund ermittelt. Nach ETAG 005 [63] muss entweder (bei Adhäsionsbruch) die Haftzugfestigkeit in der Prüfung mindestens 0,05 N/mm² betragen oder das Versagen muss (durch Kohäsionsbruch) in den beschichteten Holzwerkstoff erfolgen. Die Anordnung der einzelnen Zugprüfungen mit ihren Bezeichnung sind aus Abbildung 8-19 bis Abbildung 8-22 zu entnehmen.

o I.5 o I.2 o I.7 o I.10 o o I.4 o I.8 o I.1 o I.6 o I.9 o o I.3	o I.18 o I.12 o I.15 o I.20 o I.13 o I.17 o I.11 o I.14 o I.19 o I.16

Abbildung 8-19: ABP-SIP-26 (Vorderseite)- bewittert – Serie I

II.3 o o II.5 II.2 o o II.4 II.1o	o II.10 II.7 o o II.9 II.6 o o II.8

Abbildung 8-20: ABP-SIP-26 (Rückseite)- unbewittert – Serie II

o IV.5 o IV.2 o IV.7 o IV.10 o o IV.4 o IV.8 o IV.1 o IV.6 o IV.9 o o IV.3	o IV.18 o IV.12 o IV.15 o IV.20 o IV.13 o IV.17 o IV.11 o I.14 o IV.19 o IV.16

Abbildung 8-21: ABP-SIP-18 (Vorderseite)- bewittert – Serie IV

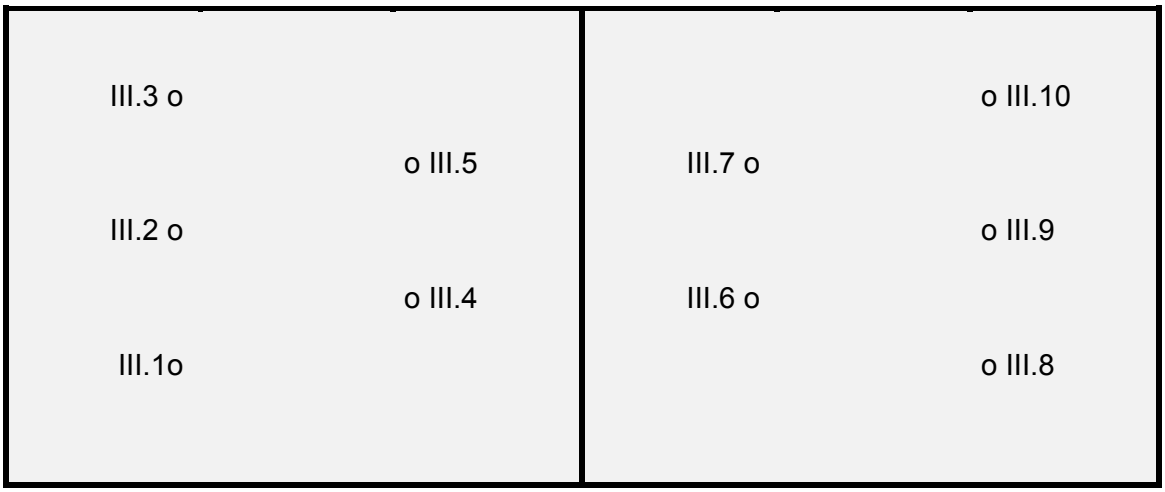


Abbildung 8-22: ABP-SIP-18 (Rückseite)- unbewittert – Serie III

In der Tabelle 8-1, in der Abbildung 8-24 sowie in der Abbildung 8-25 sind die Ergebnisse der Haftzugprüfung zusammengefasst:

- Alle Werte überschreiten den geforderten Wert von 0,05 N/mm² nach der ETAG 005 [63] weit.
- Die Bruchbilder wiesen einen Kohäsionsbruch auf.

Prüfung	Bruchspannung in N/mm²			
	ABP-SIP-26		ABP-SIP-18	
	bewittert	unbewittert	bewittert	unbewittert
Nr.	I	II	IV	III
1	0,88	0,91	0,76	0,82
2	0,72	0,92	0,60	0,47
3	0,84	0,89	0,88	0,55
4	0,92	1,06	1,01	0,84
5	0,83	0,65	0,90	0,57
6	1,06	0,81	0,90	1,06
7	0,50	0,84	0,71	0,61
8	0,86	0,90	1,00	0,69
9	1,16	0,72	1,07	0,93
10	1,32	1,10	0,97	0,56
11	1,03		0,83	
12	0,91		0,69	
13	0,79		0,53	
14	0,82		0,81	
15	0,96		1,02	
16	0,43		0,71	
17	0,55		0,71	
18	0,55		0,81	
19	1,09		0,88	
20	0,90		0,92	
Mittelwert	0,86	0,88	0,84	0,71
Standardabweichung	0,226	0,136	0,147	0,192
Variationskoeffizient in %	26,40	15,46	17,55	27,10

Tabelle 8-1: Messwerte der Haftzugprüfungen

Abbildung 8-23 zeigt exemplarisch für alle Haftzugprüfungen eine entsprechendes Bruchbild. Da es bei jeder Haftzugprüfung zu einem Kohäsionsbruch kam, stellen die gemessenen Werte die Querzugfestigkeit der OSB-Trägerplatten dar.

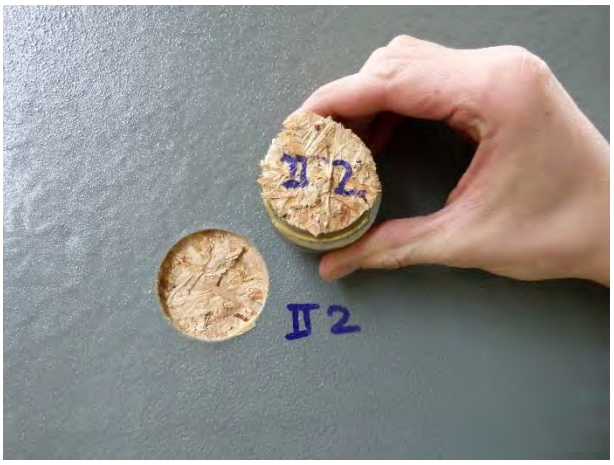


Abbildung 8-23: Kohäsionsbruch Serie II zweite Einzelprüfung

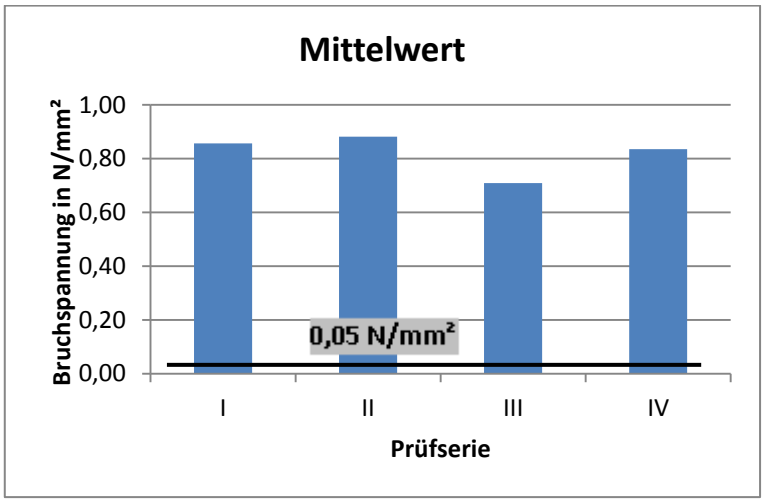


Abbildung 8-24: arithmetisches Mittel der Bruchspannung

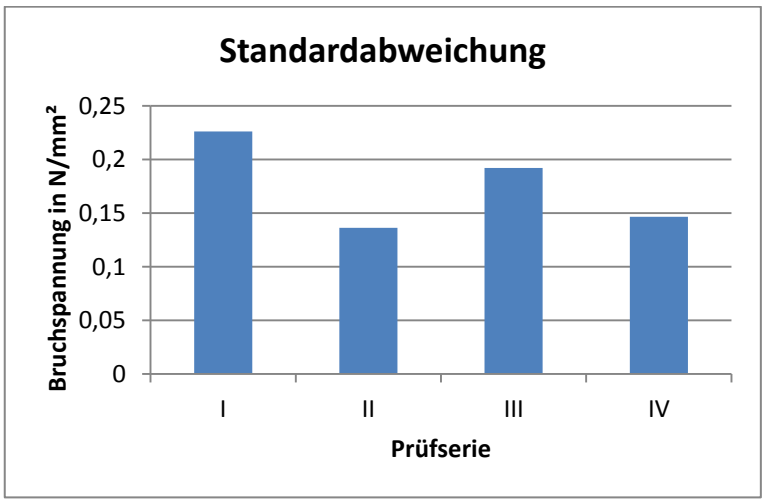


Abbildung 8-25: Standardabweichung der der Bruchspannung

8.1.6 Auswertung Widerstand gegen Anprall

Nach der ETAG 004, Abschnitt 5.1.3.3.1 „Festigkeit gegen Stoß mit hartem Körper“, sind Stoßversuche mit hartem Körper nach den Regeln der ISO 7892:1988 "Vertikale Bauwerksteile - Prüfung der Stoßfestigkeit - Stoßkörper und allgemeine Prüfverfahren" durchzuführen. Die Stoßstellen werden unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Verhaltensarten von Wänden und ihrer Bekleidung ausgewählt, je nachdem ob die Stoßstelle in einem Bereich größerer Steifigkeit (Unterstützungen) liegt oder nicht. Hier wurden Stoßstellen in der Plattenmitte und an den Rändern gewählt. Da kein freier Fall an vertikal stehenden Wänden durchgeführt werden konnte, wurde ein Versuchsaufbau mit einem Pendel benutzt. Der Versuchsaufbau erfolgte nach der EOTA TR 001 [55] (Abbildung 8-26). Die Aufprallenergie entsprach den Anforderungen der ETAG 004 Abschnitt 5.1.3.3.1. Zum einen wurden Stöße mit harten Körpern (10 Joules) mit einer Stahlkugel von 1 kg Gewicht und mit einer Fallhöhe von 1,02 m ausgeführt und zum anderen wurden Stöße mit harten Körpern (3 Joules) mit einer Stahlkugel von 0,500 kg Gewicht und mit einer Fallhöhe von 0,61 m ausgeführt. Für jede Wandseite wurden je fünf Stöße mit 1 kg und je fünf Stöße mit 0,5 kg durchgeführt.

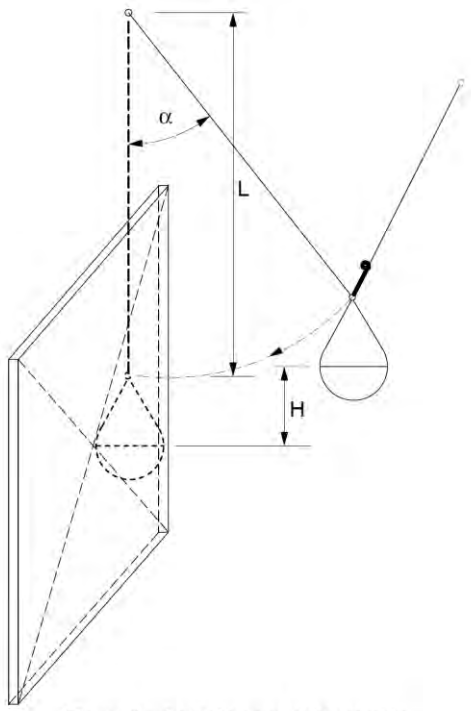


Figure 2 – Impact on vertical assembly
h = drop height; L = lenght rope; a = 65°

Abbildung 8-26: Schema Pendelstoß EOTA TR 001

Als Ergebnis wurde:

- der Durchmesser des Aufschlags gemessen und angegeben,
- und es wurde das Auftreten von Mikrorissen oder Rissen an der Stoßstelle und in ihrer Umgebung notiert.

Nach der ETAG 004 Abschnitt 6.1.3.3 repräsentiert der Stoß des harten Körpers mit Stahlkugel die Einwirkung von schweren, nicht verformbaren oder spitzen Gegenständen, die unfallbedingt auf das System treffen. Auf der Grundlage der erhaltenen Versuchsergebnisse wird das System nach Kategorie I, II oder III, wie folgt, eingestuft:

- Nutzungskategorie I

  Ein der Öffentlichkeit leicht zugänglicher und gegen Stöße mit harten Körpern ungeschützter Bereich in Erdbodennähe, der jedoch keiner abnorm starken Nutzung ausgesetzt ist.

- Nutzungskategorie II

  Ein Bereich, der Stößen durch geworfene oder mit dem Fuß gestoßene Gegenstände ausgesetzt ist, sich jedoch an öffentlich zugänglichen Stellen befindet, wo die Höhe des Systems die Größe des Stoßes begrenzt; oder in niedrigeren Bereichen, wo ein Zugang zum Gebäude in erster Linie durch Personen erfolgt, die einen Grund haben, Sorgfalt walten zu lassen.

- Nutzungskategorie III

  Ein Bereich, in dem Beschädigungen durch Personen oder geworfene oder mit dem Fuß gestoßene Gegenstände unwahrscheinlich sind.

Für die Durchführung der Stoßprüfungen wurde ein Pendel, das in der Höhe und in der Auskragung verstellbar ist, verwendet. Das Pendel wurde an der Tragkonstruktion der Wände befestigt und hatte somit einen festen Halt an dem Trägerrahmen der Prüfwände (Abbildung 8-27 und Abbildung 8-28).

Abbildung 8-27: Pendelbefestigung

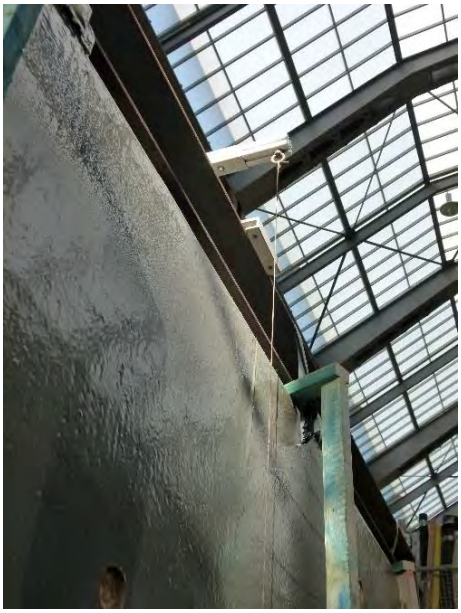


Abbildung 8-28: Pendel an Prüfwand

Das Seil hat eine Läge von 2 m. Der Winkel α von maximal 65° wurde nicht überschritten. Da auf den Stahlkugeln Ösen für die Befestigung am Seil angebracht wurden, reduziert sich die Fallhöhe h von 1,02 m bei 1 kg und 0,62 m bei 0,5 kg auf 0,93 m bzw. 0,54 m. Somit ist die Anprallenergie von 10 Joule bei 1 kg und 3 Joule bei 0,5 kg eingehalten.

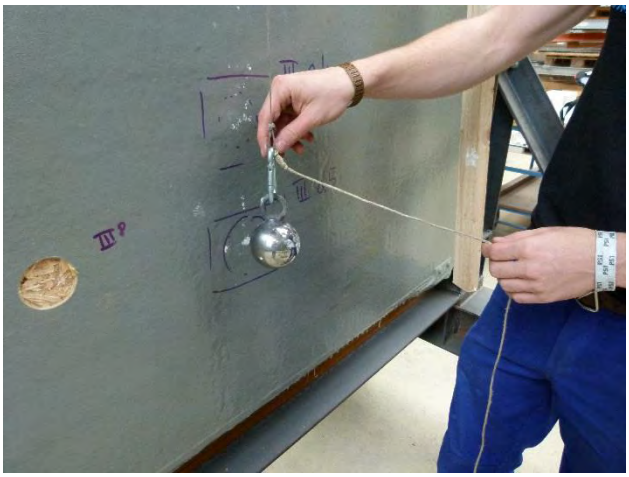


Abbildung 8-29 Pendel mit 1kg Edelstahlkugel

Es wurden je Wandseite 5 Prüfungen mit der 1 kg Kugel und 5 Prüfungen mit der 0,5 kg Kugel durchgeführt. Der Prüfpunkt wurde immer im Gefachbereich angesetzt. Die Stahlkugeln wurden mit Kreide benetzt, um den Aufschlagspunkt auf dem Versuchskörper nachverfolgen zu können.

Nach der Versuchsdurchführung wurden bei der visuellen Begutachtung keine Beschädigungen der Oberfläche festgestellt. Desweiteren sind keine Rissbildungen, Beschädigungen oder Deformationen aufgetreten (Abbildung 8-30).
Das Verbundsystem konnte demzufolge der Nutzungskategorie I zugeordnet werden (vgl. Tabelle 8-2). Zur Bestimmung des Zustandes wurden nach dem Versuch stichprobenartig Proben aus der Prüfwand geschnitten (Abbildung 8-31). Auch in der Ebene hinter dem Polyurethan wurde kein Versagen in Form von Rissen und/oder Deformationen festgestellt.

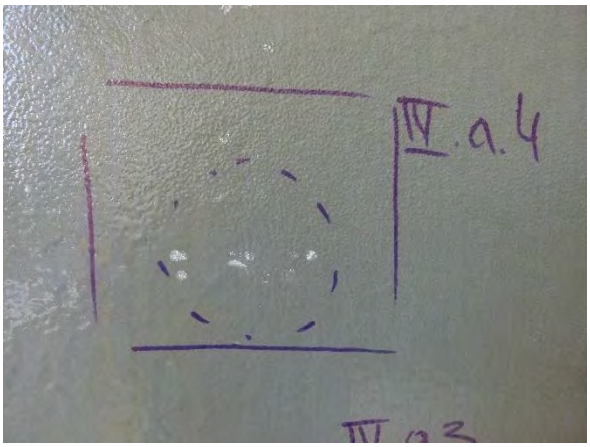


Abbildung 8-30 Aufschlagpunkt auf PU-Wand

Abbildung 8-31 Ausschnitt harter Stoß mit 1kg

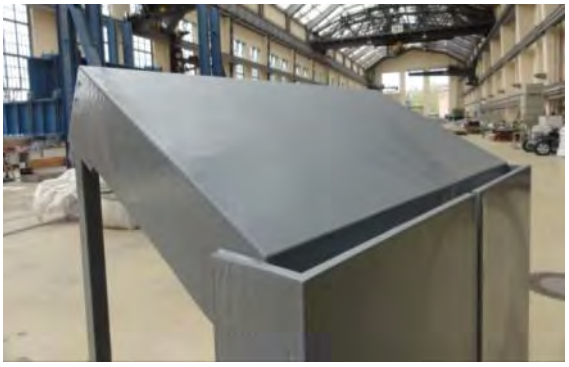
	Kategorie III	Kategorie II	Kategorie I
Versuch 5.1.3.3.1 Stoß 10 Joules	----	Putz nicht durchdrungen[2)]	Keine Beschädigung[1)]
Versuch 5.1.3.3.1 Stoß 3 Joules	Putz nichtdurchdrungen[2)]	Putz nicht gerissen	Keine Beschädigung
Versuch 5.1.3.3.2 Perfotest	Kein Durchstoß [3)] bei Verwendung eines Stempels von 20 mm	Kein Durchstoß [3)] bei Verwendung eines Stempels von 12 mm	Kein Durchstoß [3)] bei Verwendung eines Stempels von 6 mm

1) Oberflächliche Beschädigung, vorausgesetzt, dass keine Risse aufgetreten sind, wird als „keine Beschädigung“ angesehen.
2) Das Versuchsergebnis wird als „durchdrungen“ eingestuft, wenn eine runde Rissbildung zu beobachten ist, die bis zur Wärmedämmung hindurchgeht.
3) Das Versuchsergebnis wird als „durchstoßen“ eingestuft, wenn bei mindestens 3 von 5 Stößen eine Zerstörung des Putzes bis unterhalb der Bewehrung aufgetreten ist.

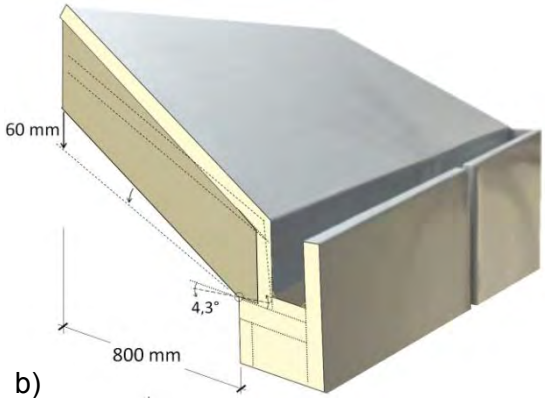
Tabelle 8-2: Einteilung in Kategorien aus der ETAG 004 Abschnitt 6

8.2 Demonstrator: Wand-Traufe-Dach Anschluss im Schlagregenversuchsstand

Der konstruktive Holzschutz mit Hilfe einer 2-3 mm dicken Sprühbeschichtung aus Polyurethan (nach ETAG „Flüssigabdichtung“) erlaubt im Holzbau neuartige Detaillösungen. Im Zuge des Forschungsprojektes wurde als Demonstrator ein Wand-Traufe-Dachdetail (Abbildung 8-32a) mit integrierter Dachrinne und Fallrohr in Holzbauweise mit PUR-Sprühbeschichtung realisiert. Zur Überprüfung der Robustheit wurde der Bereich der Dachrinne (für die Praxis ungünstig) so konstruiert, dass beim Absenken des Dachrandes, eine große Rissöffnung in der Dachrinne erzwungen wurde. Das Detail wurde in zwei verschiedenen Zuständen im Schlagregenversuchstand nach prEN 15601:2006 auf Dichtigkeit geprüft.



a)



b)

Abbildung 8-32: Wand-Traufe-Dachdetail. a) Ansicht b) Schnitt mit Verformungen im Zust. 2

Im ursprünglichen Zustand betrug die Dachneigung 30°. Im Zustand 2 wurde das Dachende um 6 cm (in der Praxis ein unrealistischer Wert) abgesenkt, wobei durch das Absenken eine komplexe Rissöffnungsgeometrie und andere Versagensformen der Abdichtung provoziert werden sollten.

Mit der gewählten Klimazone „Nordeuropa, Küstengebiete“ wurden bei beiden Zuständen je die Prüfung A und C nach prEN 15601:2006 durchgeführt, wobei die Prüfung A niedrige Windgeschwindigkeiten mit sehr hoher Niederschlagsmenge und Prüfung C sehr hohe Windgeschwindigkeiten mit niedriger Niederschlagsmenge simulieren.

Das Detail im Zustand 1 hat beide Prüfungen ohne Wasserdurchtritt bestanden. Die im Zustand 2 erzwungene Absenkung des Dachendes um 6 cm ruft eine Winkeländerung zwischen Wand- und Dachebene von 4,3° hervor (Abbildung 8-32b). Das führte zu einer Fugenöffnung von fast 7 mm und in der Folge letztlich auch zum Riss im Sprühelastomer.

Abbildung 8-33 zeigt, dass durch die Versuchsanordnung nicht nur eine Längsdehnung, sondern auch eine Scherbeanspruchung in der Abdichtung provoziert wurde. Damit in der Praxis der beschriebene Versagensfall vermieden werden kann, müssen solche Details so konstruiert werden, dass übermäßige Dehnungen in der Beschichtung vermieden werden und insbesondere nicht in sensiblen Bereichen wie einer Dachrinne auftreten können.

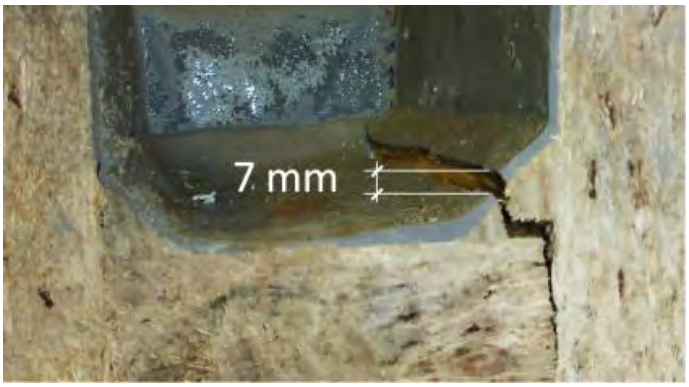


Abbildung 8-33: Riss in der PUR-Beschichtung nach eingeprägter Verformung

Abbildung 8-34: Ecke an der Dachschräge

Wie bei allen Beschichtungen muss auch bei den Detaillösungen mit PUR-Sprühbeschichtung, wie z.B. beim Dach-Wandanschluss, konstruktiv darauf geachtet werden, dass die Eckbereiche ausgerundet (Abbildung 8-35), und die Kanten ohne Spalten ausgeführt werden (vgl. Abbildung 8-34). Ansonsten besteht die Gefahr, dass sich die Schichtdicke der Polyurethanbeschichtung übermäßig verjüngt und schon infolge der Eigenspannungen oder geringer Einwirkungen aufreißt.

a) ausgerundete Ecke mit gleichmäßiger Schichtdicke

b) zu geringe Beschichtungsdicke an Kanten

Abbildung 8-35: konstruktive Detailausbildung

8.3 Zusammenfassung

In Anlehnung an die ETAG 005 [63] und EOTA TR 004 [62] sind die Ergebnisse der Prüfung zum hygrothermischen Verhalten von Wandelementen in Verbindung mit der Auswertung der Haftzugfestigkeit, des Feuchteverhaltens und des Anpralls wie folgt zu bewerten:

1. Witterungsschutztechnisch erfüllt das beidseitig beschichtete Außenwandsystem die Anforderungen nach der Beanspruchung durch die WKI-Zyklen.

2. Klimatisch bedingte Beanspruchungen weisen keinen signifikanten Einfluss auf die Haftzugfestigkeit aus.

3. Die Anforderungen nach ETAG 005 [63] werden durchweg eingehalten und sogar weit überschritten.

4. Das Versagen der Haftzugfestigkeit erfolgt im Zuge eines Kohäsionsbruches im Holzwerkstoff.

5. Entsprechend der Regelungen in der ETAG 005 [63] wurde für die verschiedenen Polyurethanbeschichtungen eine ausreichende Haftzugfestigkeit zwischen Beschichtung und dem Holzwerkstoffen nach einer hygrothermischen Beanspruchung festgestellt und nachgewiesen.

6. Es wurde eine ausreichende Wasserdampfdiffusionsfähigkeit der mit Polyurethan beschichteten SIP festgestellt.

7. Die Wandkonstruktion genügt den Anforderungen der ETAG 004 für Stoßfestigkeit. Des Weiteren könnte in Anlehnung an die ETAG 004 eine Eingruppierung dieser Konstruktion in Nutzungskategorie I als zutreffend angesehen werden.

Bezüglich des Widerstandes gegen Schlagregen ist festzustellen:

1. Die Schlagregensicherheit konnte für nordeuropäisches Klima nachgewiesen werden.

2. Bei Hybridkonstruktionen, deren Beschichtung in situ erfolgt, sind die Details sorgfältig zu konstruieren, damit bei den handwerklichen Beschichtungsarbeiten eine gleichmäßige Beschichtungsdicke eingehalten werden kann.

3. Auf eine Begrenzung der möglichen Verformungen ist zu achten, insbesondere in den für die Dichtigkeit besonders sensiblen Bereichen, wie z.B. Dachrinnen.

9 Feldversuche

Bei modernen Holzkonstruktionen ist ein konstruktiver oder chemischer Holzschutz zwingend notwendig. Die bereits im Kapitel 2.2.1 aufgeführten Beispiele, wie beispielsweise metallische Stützenfüße zum Schutz der Holzstützen vor Spritzwasser und vor aufsteigender Feuchtigkeit, zeigen wie wichtig der konstruktive Holzschutz für die Dauerhaftigkeit einer Holzkonstruktion ist.

Holz wird unter statischen Gesichtspunkten in Nutzungsklassen [54] eingeordnet. Diese sind zunächst abhängig vom Holzfeuchtegehalt, werden aber in der DIN EN 1995 [2] in Abhängigkeit von klimatischen Umgebungsbedingungen definiert. Die Unterteilung in die drei Nutzungsklassen (NKL) dient im Wesentlichen der Zuordnung der Festigkeitskennwerte und der Berechnung der Verformungen unter den definierten Umgebungsbedingungen.

Wie bereits in vorherigen Kapiteln angesprochen stellt sich im Holz die sogenannte Ausgleichsfeuchte ein, die der relativen Luftfeuchtigkeit und Temperatur des umliegenden Klimas entspricht. Die PUR-Beschichtung weist zwar eine hohe Wasserdichtigkeit auf, ist aber mit einem s_d-Wert von ca. 1,8 m wasserdampfdurchlässig genug, damit sich im Holz die Ausgleichsfeuchte entsprechend den Umgebungsbedingungen einstellen kann.

In einem Feldversuch wurde die feuchteregulierende Wirkung der PUR-Dickfilmbeschichtung untersucht. Ziel dieses Feldversuches war es zu prüfen, ob Holzkonstruktionen, die mit Polyurethan beschichtet sind, auch bei freier Bewitterung der Nutzungsklasse 2 zugeordnet werden können.

9.1 Untersuchungsprogramm

In einem Langzeitversuch mit drei Prüfserien wurde geprüft, ob in direkt bewittertem Holz, das durch eine Polyurethanbeschichtung geschützt ist, der mittlere Feuchtegehalt von 20% nicht überschritten wird. Damit könnte das so geschützte Holz in die Nutzungsklasse 2 eingeordnet werden. Folgende Prüfserien wurden untersucht:

- Prüfserie 1 - direkt bewittertes, unbeschichtetes Holz (NKL 3)
- Prüfserie 2 - direkt bewittertes, mit PUR beschichtetes Holz
- Prüfserie 3 - unbeschichtetes Holz unter einer Überdachung (NKL 2), als Referenzserie

9.1.1 Probekörper

Die Abmessungen der Probekörper dieser Versuchsreihe betrugen 700 x 300 x 100 mm. Insgesamt kamen 24 Probekörper aus Brettschichtholz (BSH) und 19 aus Furnierschichtholz (FSH) zum Einsatz.

Prüfserie1:
direkt bewitterte, unbeschichtete Probe

Prüfserie2:
direkt bewitterte, beschichtete Probe

Prüfserie3:
überdacht gelagerte, unbeschichtete Probe

Abbildung 9-1: Probekörper der 3 Prüfserien

Die wöchentliche Feuchtigkeitsmessung erfolgte mittels elektrischem Widerstandsverfahren [47] mit Hilfe der Gann Hydromette RTU 600. Normalerweise werden bei dieser Messmethode Einstechelektroden verwendet. Diese Art der Messung würde die Polyurethanbeschichtung penetrieren, und somit wäre kein dauerhafter Witterungsschutz mehr gewährleistet. Aus diesem Grund wurden als Ersatzelektroden Schrauben verwendet, deren Schaft mit Hilfe eines Schrumpfschlaues nach außen abisoliert wurde. Die Messungen erfolgten somit nur über die nicht isolierte Schraubenspitze. Die Ersatzelektroden wurden mit dem gleichen Abstand zueinander in die Probekörper eingebracht wie die Einstechelektroden der Aktiv-Elektrode MH 34. Jeder

Probekörper hatte zur Feuchtemessung in Feldmitte 3 Elektrodenpaare mit verschiedenen Messtiefen:

Messtiefe 1: 25 mm,
Messtiefe 2: 50 mm
Messtiefe 3: 35 mm

So war es möglich die Holzfeuchte in unterschiedlichen Tiefen zu detektieren.

Nach der Elektrodenbestückung aller Probekörper erhielten je 8 Brettschichtholz- und 8 Furnierschichtholzprobekörper die 2-3 mm dicke Polyurethanbeschichtung.

Alle Probekörper wurden im Freien auf dem Dach des Institutes für Bauingenieurwesen der TU Berlin ausgelagert. Neben den 16 beschichteten Probekörpern wurden 11 unbeschichtete Probekörper (davon 8 BSH und 3 FSH) der direkten Witterung ausgesetzt. Diese Probekörper wurden auf einem Gitterrost mit einer leichten Neigung gelagert, damit sich auf den Probekörpern kein stehendes Wasser ansammeln konnte.

Als Referenzserie wurden ebenfalls auf dem Dach des Institutes weitere 16 Probekörper (8 BSH und 8 FSH) unter einer separaten, belüfteten Überdachung ausgelagert, die vor der direkten Witterung schützte.

Die Holzfeuchtemessungen wurden einmal wöchentlich durchgeführt und dokumentiert. Die Wetterdaten des gesamten Messzeitraumes wurden ebenfalls aufgezeichnet.

9.2 Auswertung

Abbildung 9-2 zeigt beispielhaft den Holzfeuchteverlauf einer Probe der Prüfserie 1 für frei bewittertes, nicht beschichtetes Brettschichtholz im Zeitraum November 2011 bis Juli 2013. Wie erwartet stieg die Holzfeuchte in dieser unbeschichteten Probe stark an. Die anfängliche Holzfeuchte der Proben lag bei circa 8% und erreicht im Winter 2012/2013 ihr Maximum von über 25%.

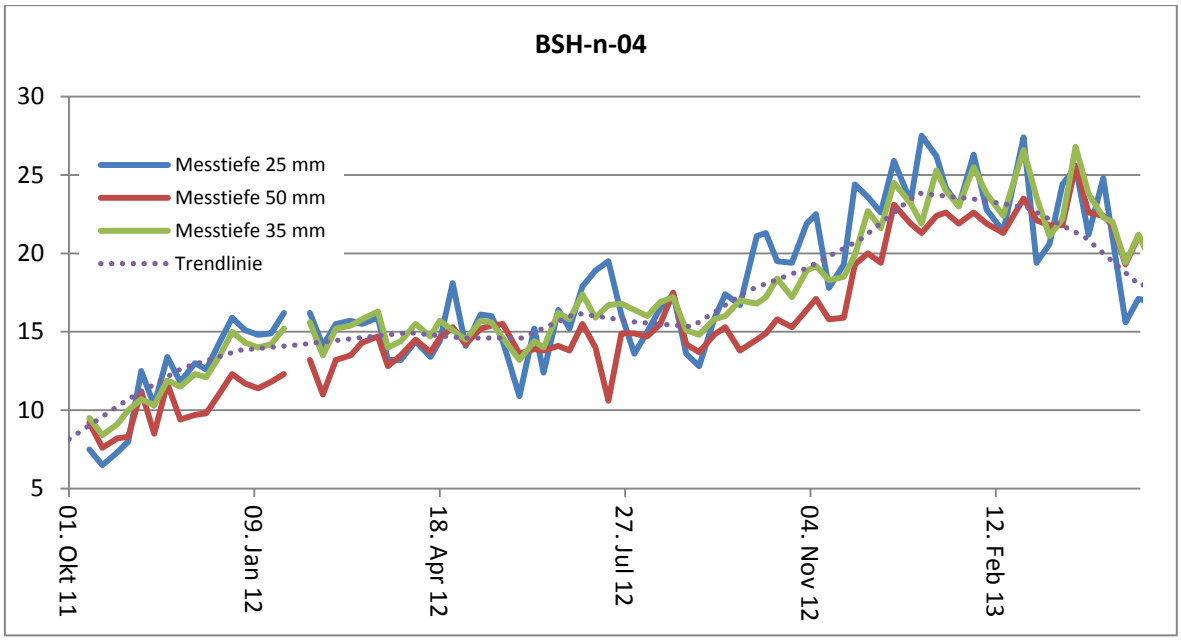


Abbildung 9-2: Holzfeuchte in einer frei bewitterten, unbeschichteten BSH-Probe der Serie 1 (NKL 3)

Abbildung 9-3 zeigt eine Probe der Prüfserie 3. Bei der überdacht gelagerten, unbeschichteten Probe lag die anfängliche Holzfeuchte ebenfalls bei circa 8%. Man sieht im Diagramm eine deutliche Holzfeuchtezunahme in den Wintermonaten bis auf circa 16% und einer Holzfeuchteabnahme auf etwa 11% in den Sommermonaten.

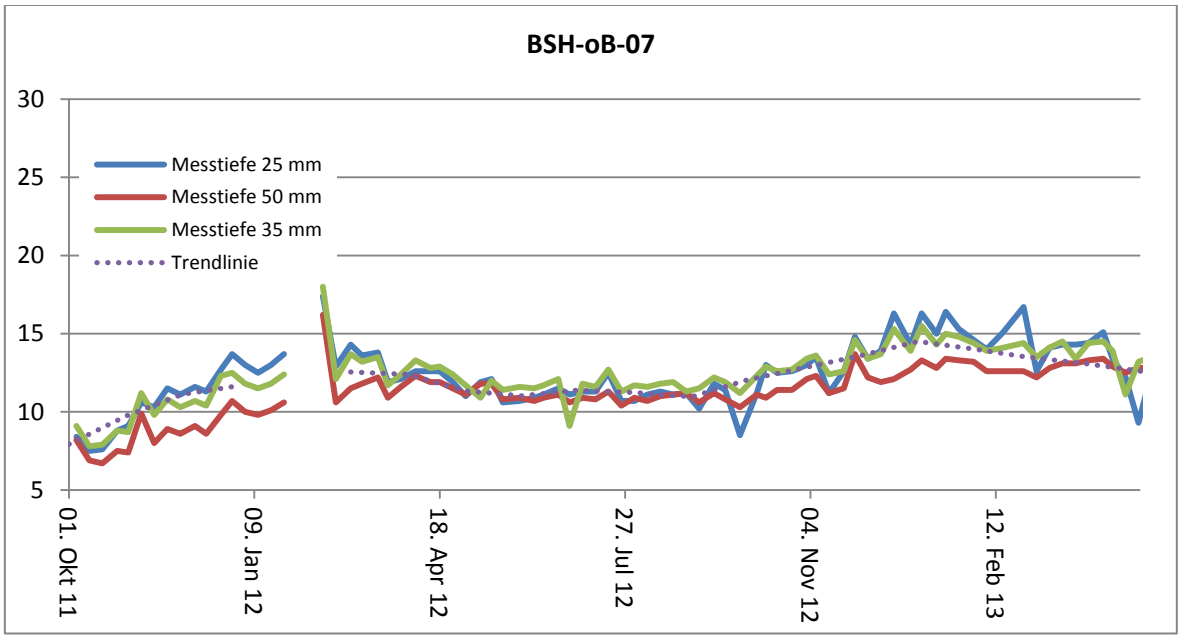


Abbildung 9-3: Holzfeuchte in einer unbeschichteten, überdacht gelagerten BSH-Probe der Serie 3 (NKL 2)

Abbildung 9-4 zeigt eine mit Polyurethan beschichtete BSH-Probe, die wie die Probe der Prüfserie 1 über den gesamten Zeitraum der direkten Witterung ausgesetzt war. Auch hier

lag die anfängliche Holzfeuchte bei 8%. Die Holzfeuchte stieg durch den Einfluss der Witterung leicht an, erreichte bei etwa 11% ein Maximum und fiel dann wieder auf unter 10%. Ebenfalls zu erkennen ist, dass das Maximum der Holzfeuchte nicht in den Wintermonaten lag, sondern zeitversetzt Ende April/ Anfang Mai. Offensichtlich reduziert die Polyurethanbeschichtung die Geschwindigkeit der Feuchteänderung. Dies liegt an dem s_d-Wert der Beschichtung, der bei 1,8 m liegt und damit etwa gleich groß ist, wie der s_d-Wert einer 3,6 cm dicken Schicht aus Konstruktionsvollholz. Neben der Reduzierung der Geschwindigkeit der Feuchteänderung fällt auf, dass die Feuchtigkeitsschwankungen ebenfalls geringer waren, als bei den zwei Vergleichsversuchen.

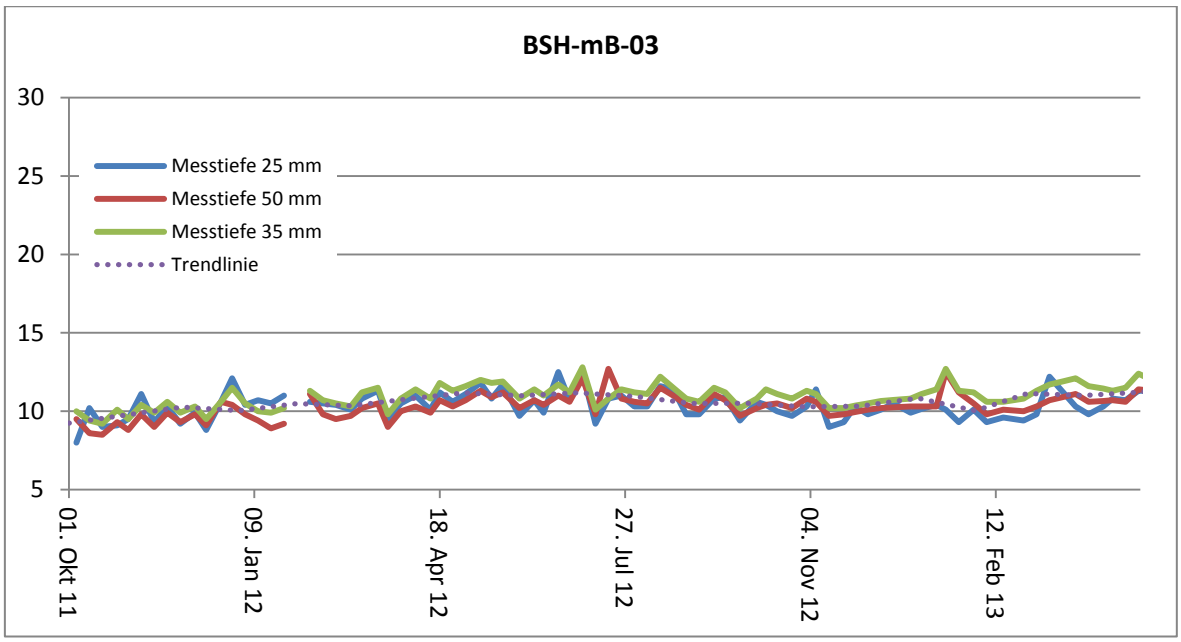


Abbildung 9-4: Holzfeuchte einer PUR-beschichteten, frei bewitterten BSH-Probe der Serie 2

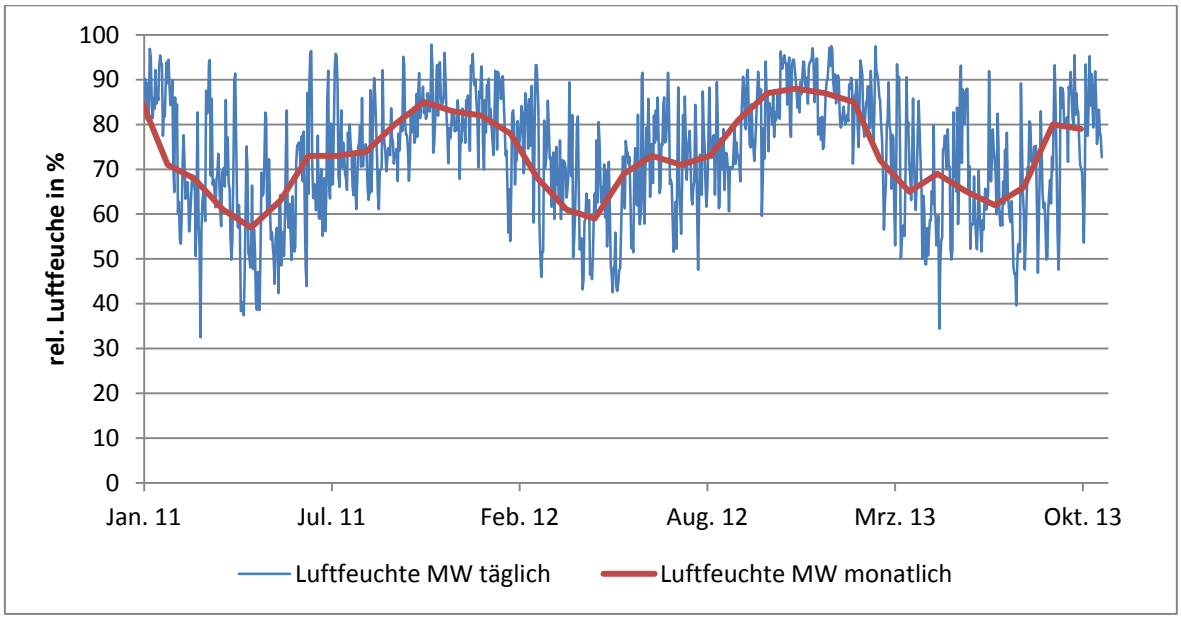


Abbildung 9-5: Verlauf der rel. Luftfeuchte

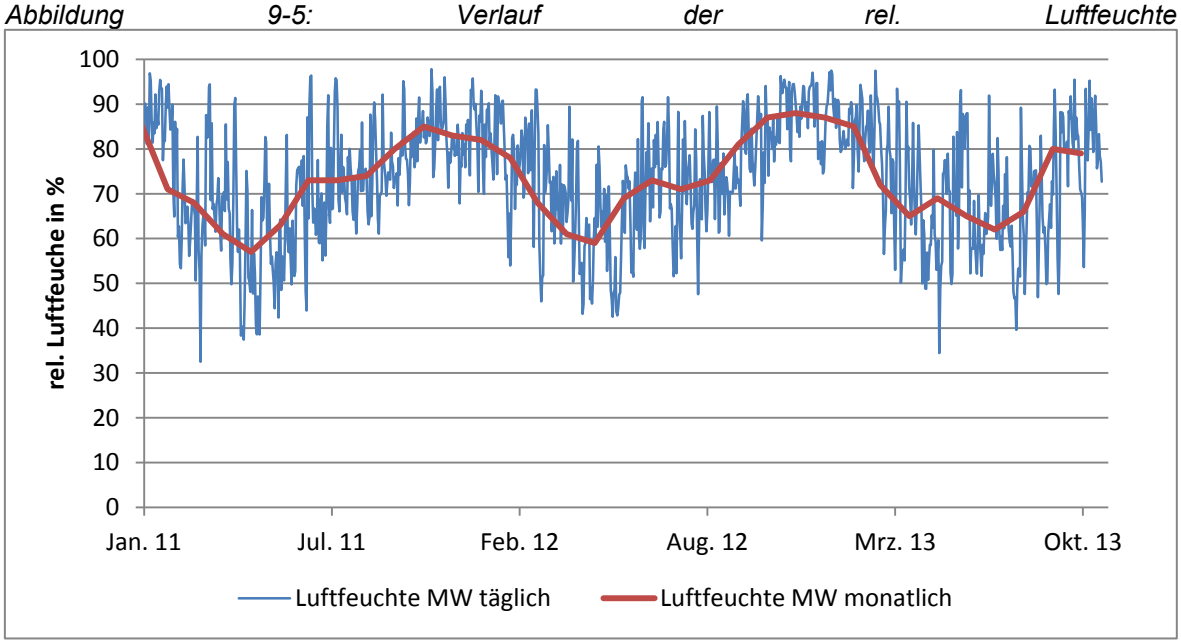


Abbildung *9-5* zeigt die relative Luftfeuchte über den gesamten Zeitraum, wobei die blaue Kurve den täglichen Mittelwert und die rote Kurve den monatliche Mittelwert der relativen Luftfeuchte wiedergibt.

9.3 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in den direkt bewitterten Proben mit der 2-3 mm dicken Polyurethan-Sprühbeschichtung die geringsten maximalen Holzfeuchten gemessen wurden. Diese lagen ständig deutlich unter 15% und würden eine Einstufung in die Nutzungsklasse 2 rechtfertigen. Zusätzlich wurde ersichtlich, dass die Beschichtung die Geschwindigkeit der Feuchteänderung und damit die Holzfeuchteschwankungen reduzierte. Beide Effekte führten zu einer deutlichen Reduktion der maximalen Schwind- und Quelldehnungen des Holzes, was sich insbesondere bei großen Holzkonstruktionen und Fassadenflächen vorteilhaft auswirkt.

10 Zusammenfassung und Ausblick der Forschung

Ziel der Forschungsaufgabe

Ziel des Projektes war die Erforschung und Entwicklung eines neuartigen Konzeptes zum Langzeitschutz von Holz im Freien. Dazu wurden Bauteile aus Holz mit einer wasserdichten aber diffusionsoffenen 2-3mm dicken 2-komponentigen Polyurethan-Dickfilmbeschichtung besprüht. Dieses Verfahren kann bei der Präfabrikation im Werk, aber auch auf der Baustelle selbst eingesetzt werden. Mit der Erforschung dieser neuartigen Bauweise sollte ein Lösungsvorschlag für ein zentrales Problem des Holzbaus entwickelt werden - die Forderung nach einem dauerhaften, zuverlässigen Holzschutz. Der erfolgreiche Einsatz von Polyurethan zusammen mit Holzbauteilen könnte der Einsatzbereich von Holzkonstruktionen vergrößern und eine weitere Verbreitung der ressourcen- und klimaschonenden Holzbauweise im Hoch- und Gewerbebau unterstützen.
Wenn die PUR-Beschichtung die Funktion eines dauerhaften konstruktiver Holzschutz übernehmen könnte, wäre ein zusätzlicher, teurer chemischer Holzschutz überflüssig, wodurch nicht nur nenneswerte Kosten eingespart werden könnten, sondern auch eine weiterer Beitrag zum Umweltschutz erzielt werden könnte.

Im Forschungsprojekt wurde die Funktion einer PUR-Beschichtung zum dauerhaften Witterungsschutz von unterschiedlichen Holzwerkstoffen untersucht. Dazu wurden u.a. Haftzugversuche, Rissüberbrückungsversuche und Ermüdungstests an neuen und künstlich gealterten Proben durchgeführt. Versuche zum Feuchteausgleich an PUR-beschichteten Fassaden im Maßstab 1:1 und ein Bauteilversuch an einem Dach-Traufe-Wand-Detail sollen die Wirksamkeit und Grenzen dieses Hybridsystems aufzeigen. Darüber hinaus sollten Auslagerungsversuch nachweisen, dass frei bewitterte, tragende Holz-PUR-Konstruktionen bei der Bemessung in Nutzungsklasse 2 statt in Nutzungsklasse 3 eingestuft werden können. Dadurch würden sich die Kriechverformungen um mehr als die Hälfte reduzieren und die Tragfähigkeit frei bewitterter Holzbauteile könnte um bis zu 29% gesteigert werden.

Allgemeines zu Polyurethan Sprühbeschichtungen

Polyurethan-Sprühbeschichtungen werden seit etwa 25 Jahren erfolgreich zur Abdichtung von Betonfahrbahnplatten und -dächern eingesetzt und haben insbesondere bei komplexen geometrischen Randbedingungen mit Kanten und Ecken den Vorteil, dass sie bei der Applikation weniger fehleranfällig als Bitumen- oder Kunststoffbahnen sind. Nach nun 25 jähriger erfolgreicher Anwendung scheint die Prognose einer sehr langen Lebensdauer von vielleicht 50 Jahren nicht unrealistisch.
Die Schutzwirkung der untersuchten Sprühelastomere ist vor allem auf ihre große Elastizität mit ca. 300 % Bruchdehnung zurückzuführen. Zusammen mit einer hohen Haftfestigkeit können sich öffnende Risse oder Fugen überbrückt werden, ohne dass die Dichtigkeit beeinträchtigt wird. Die Anwendung solcher Abdichtungssysteme auf PUR-

Basis wird auf europäischer Ebene durch die „Leitlinie für die Europäische Technische Zulassung für flüssig aufzubringende Dachabdichtungen“ (ETAG 005) geregelt. Die Regelungen der ETAG sind zwar unabhängig vom Beschichtungsuntergrund, die angegebenen Regelungen lassen aber den Schluss zu, dass implizit von einer Beschichtung auf Beton als Hauptanwendung ausgegangen wird, was bis heute auch so der Fall ist. Der Schutz von Holzkonstruktionen wurde mit diesem Abdichtungsprinzip bisher nur in vereinzelten Pilotanwendungen durchgeführt.

Wichtig für die Anwendung auf Holz ist die Dampfdurchlässigkeit des Polyurethans mit einem s_d-Wert von ca. 1,8 m für eine 2-3 mm dicke PUR-Beschichtung (ohne Deckbeschichtung). Damit ist eine allmähliche Feuchteregulation im Holz möglich.

Kosten

In einer Voruntersuchung zum Forschungsprojekt wurden der Kapitalwert aus Errichtung, Wartung und Instandhaltung von Fassaden in Holzrahmenbauweise mit unterschiedlichen marktüblichen Außenwandkonstruktionen ermittelt. Die Fassade mit einer 2-3 mm dicken PUR-Außenbeschichtung wurde dazu mit einem Wärmedämm-verbundsystem, einer Fassade mit Faserzementplatten und einer Fassade mit einer farbbeschichteten, freibewitterten Stülpschalung verglichen. Gegenüber der bewitterten, farbig lasierten Holzfassade, die alle 3 Jahre neu lasiert werden sollte um ihrer Farbigkeit zu erhalten, reduzieren sich die Instandhaltungsmaßnahmen des PUR-Fassadensystems auf die weniger aufwändige Erneuerung der Deckbeschichtung alle 8-10 Jahre, wobei bei Fassaden eher 10 Jahre und bei Dachabdichtungen eher 8 Jahre anzusetzen sind. Gerechnet über einen, für das Live Cycle Assessment üblichen, Nutzungszeitraum von 80 Jahren sind damit die Fassaden in Holzrahmenbauweise mit PUR-Beschichtung um 10 % günstiger als Wärmedämmverbundsysteme und ca. 30 % günstiger als die farbig lasierte Stülpschalung oder als Faserzementplatten.

Applikation

Im Forschungsprojekt wurde das Holz sämtlicher Probekörper zunächst grundiert und dann beschichtet. Beim Aufsprühen der eigentlichen PUR-Dichtungsfolie werden die zwei Komponenten des Polyurethans im Sprühkopf gemischt und binden auf dem Untergrund in weniger als 5 Minuten zu einer begehbaren Fläche ab. Im Forschungsprojekt wurden zweikomponentige Beschichtungen von drei unterschiedlichen Herstellern getestet. Da keine Weichmacher eingesetzt werden, bleiben die Eigenschaften der Beschichtung weitestgehend konstant, solange die, den Alterungsprozess beschleunigende, UV-Strahlung durch eine UV-beständige Deckbeschichtung abgehalten wird. Im Forschungsprojekt wurden Proben mit und ohne UV-Schutz getestet

Als Untergründe wurden Brettschichtholz (GL, BSH), Brettsperrholz (BSP), OSB- und MDF-Platten und Furnierschichtholz (LVL, FSH) eingesetzt.

Versuche

Zugversuche an Schulterstäben aus 2-3mm PUR-Folie

In der ersten Versuchsreihe wurden Versuche mit der 2-3 mm dicken Beschichtungsfolie selbst durchgeführt. Dazu wurden Schulterstäbe aus der, vorher auf eine glatte Unterlage gesprühten, PUR-Folie ausgeschnitten und im Zugversuch bis zum Bruch gedehnt.

Pro Beschichtungsfabrikat wurden Testserien, jeweils mit ungealterten, wärmegealterten, wassergealterten und UV-gealterten Proben, durchgeführt, die mit und ohne Deckbeschichtung getestet wurden.

Die Schulterstäbe wurden entsprechend den Angaben aus der ETAG 005 wärmegealtert, wassergealtert und UV-gealtert.

Das Aufbringen der für den UV-Schutz notwendigen Deckbeschichtung erhöht, wie zu erwarten, die Steifigkeit der Proben und reduziert gleichzeitig ihre Bruchspannung um ca. 10%. Die im Versuch angewandten Alterungsmethoden gemäß der ETAG 005 führten maximal zu einer zusätzlichen Reduktion der Bruchspannung um weitere ca. 10 %, wobei die UV-Bewitterung den größten Einfluss auf die Zugfestigkeit hat. Die gemessenen Bruchdehnungen lagen im Bereich von 270 % bis 330 %.

Haftzugfestigkeit der Polyurethanbeschichtung auf unterschiedlichen Holzuntergründen

Die Haftzugfestigkeit der Polyurethanbeschichtung wurde auf den Holzuntergründen BSP, OSB, MDF und LVL getestet. Es wurden ungealterte und wassergealterte Probekörper, entsprechend der ETAG 005, untersucht. Alle untersuchten Probeköper versagten im Holzuntergrund und nicht in der Beschichtung. Die Haftzugfestigkeit wird allein von der Querzugfestigkeit des Holzes bestimmt.

Versuche zur Risseüberbrückungsfähigkeit - statische Versuche

Die Versuche zur Risseüberbrückungsfähigkeit der PUR-Beschichtung wurden auf den Holzuntergründen OSB, MDF, Brettsperrholz und Furnierschichtholz durchgeführt. In einer ersten Testreihe wurde eine Rissaufweitung von 0 mm auf 1,5 mm untersucht. Dazu wurden 75 wärmegealterte und 75 ungealterte Probekörper bei -30°C getestet. Die Rissrichtung wurde jeweils parallel und senkrecht zur Faserrichtung angeordnet um die Anisotropie des Holzes zu berücksichtigen. Im Anschluss an die Zugversuche wurden Dichtigkeitstests im Rissbereich durchgeführt. Alle untersuchten Testkörper blieben frei von Leckagen. Deshalb wurde in einer zweiten Testserie mit 68 Probekörpern die Rissöffnung bis auf 5 mm gesteigert, ebenfalls bei -30°C. Die Rissaufweitung ging auch nach diesem Versuch wieder auf 0 mm zurück und es konnten keine Undichtigkeit festgestellt werden.

Versuche zur Risseüberbrückungsfähigkeit - Ermüdungsversuche

Die zyklischen Ermüdungstests wurden bei -10° C in der Klimakammer durchgeführt und anschließender die Dichtigkeit im Fugenbereich überprüft. Es wurden 75 wärmegealterte und 75 nicht gealterte Probeköper getestet, wiederum mit Beschichtungsuntergründen aus BSH, OSB, BSP und LVL. Dabei wurde ein überschichteter Riss von bereits 1 mm Breite 500-mal abwechselnd ganz geschlossen und auf 3 mm Rissbreite gedehnt. Alle Probeköper bestanden den anschließenden Dichtigkeitstest.

Fassadenprüfung

An einem Wandausschnitt von 7,34 m x 2,11 m wurde im Maßstab 1:1 der Feuchtetransport durch einen Sandwich-Wandquerschnitt mit dem Aufbau 12 mm OSB – 160 mm EPS-Dämmung – 12 mm OSB und mit einer beidseitigen PUR Beschichtung untersucht. Der Test wurde im Fassadenprüfstand der TU-Berlin in Anlehnung an die ETAG 004 durchgeführt.

Der Test mit den zeitraffenden WKI-Zyklen im Fassadenprüfstand ergab, dass an keiner Stelle in der Wand der vorgeschriebene Grenzwert von 15% Holzfeuchtigkeit überschritten wurde.

Zweijähriger Auslagerungsversuch mit freier Bewitterung

Die Feuchtigkeitsaufnahme von direkt bewittertem, nur mit einer PUR-Dickfilmbeschichtung geschütztem Holz, wurde in einem zwei Jahre dauernden Auslagerungsversuch überprüft. Zum Vergleich wurden drei unterschiedliche Formen des Witterungsschutzes getestet:

- direkt bewitterte, unbeschichtete Hölzer, entsprechend Gebrauchsklasse 3 (GK 3)
- direkt bewitterte Hölzer mit 2-3 mm PUR-Beschichtung, ohne Deckbeschichtung für den UV-Schutz
- unbeschichtete Hölzer unter einer Überdachung, entsprechend GK 2, als Referenzmessung.

Einmal wöchentlich wurde in Messtiefen von 25 mm, 35 mm und 50 mm die Holzfeuchte gemessen. Wie erwartet verdoppelte sich die Holzfeuchte im ungeschützten, unbeschichteten Holz von anfangs ca. 8 % auf über 16%, und erreichte im Winter 2012/2013 sogar ca. 25%, mit ausgeprägten Feuchteschwankungen. Das durch ein Dach geschützte, unbeschichtete Holz blieb deutlich trockener, mit gemittelten Holzfeuchtigkeiten von unter ca. 15% im Winter. Noch etwas günstiger waren die Messwerte der mit PUR beschichteten Probekörper. Ausgehend von anfangs ca. 8% stieg die Holzfeuchtigkeit im Sommer auf ca. 11% an und erreicht selbst im Winter nur ca. 13%. Die reduzierten Feuchtigkeitsschwankungen zeigen den dämpfenden Einfluss der Beschichtung auf die Geschwindigkeit der Feuchteänderung, was insbesondere für ausgedehnte Holzkonstruktionen und Fassadenelemente von Vorteil ist.

Bauteilversuch

Die neuen konstruktiven Möglichkeiten, die eine 2-3mm dicke Polyurethanbeschichtung von Holzkonstruktionen erlaubt, wurden an einem Wand-Traufe-Dachdetail im Maßstab 1:1 untersucht. Um damit auch komplexere Rissöffnungsgeometrien und andere Versagensformen der Abdichtung provozieren zu können, wurde das Detail so (für die Praxis ungünstig) konstruiert, dass beim Absenken des Dachrandes eine große Rissöffnung im Bereich der Dachrinne erzwungen werden konnte. Durch das Absenken des Dachendes um 6 cm entstand eine Fugenöffnung von fast 7 mm. Die daraus folgende Längs- und Scherbeanspruchung führte letztlich zum Riss im Elastomer. Bei einer praxisgerechten und robusten Ausführung dieses Details könnte allerdings ein Versagen im sensiblen Bereich der Dachrinne vermieden werden.

Ausführungsqualität

Für einen wirksamen Witterungsschutz ist eine hohe Ausführungsqualität von großer Bedeutung. Ähnlich wie bei Anstricharbeiten, ist dafür zu sorgen, dass die zu beschichtenden Untergründe sauber und trocken sind, damit eine gute Haftung erreicht wird und die Bildung kleiner Bläschen oder Poren infolge zu hoher Feuchtigkeit vermieden wird. Eine Beschichtung im Werk ist i. d. R. problemlos, Vor-Ort-Beschichtungen sind witterungsabhängig zu planen. Ähnlich wie bei den Vorbereitungsarbeiten für Anstriche, sollten Ecken und Kanten ausgerundet werden, damit die Beschichtungsdicke dort nicht zu klein wird und in der Folge die Beschichtung aufreißt. Zudem müssen die Grundierung, die PUR-Flüssigfolie und die Deckbeschichtung sorgfältig aufeinander abgestimmt sein.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die ausgeführten Pilotprojekte und die Ergebnisse der Versuche an der TU-Berlin zeigten das Potenzial des PUR-Sprühelastomers zum konstruktiven Witterungsschutz von Holzkonstruktionen. Mit Hilfe dieser Technologie könnten dem Holzbau neue gestalterische und konstruktive Möglichkeiten erschlossen werden. Der Witterungsschutz beruht in erster Linie auf der sehr großen Elastizität der aufgesprühten 2-3 mm dicken Polyurethan Flüssigabdichtung. Sie ermöglicht es diesem Beschichtungssystem, im Gegensatz zu üblichen Anstrichen, Bewegungen, Riss- und Fugenöffnungen im Millimeterbereich ohne Dichtigkeitsverlust zu folgen. Die längeren Instandhaltungsintervalle für die Erneuerung der farbigen UV-Schutzschicht reduzieren die Gesamtkosten aus Herstellung und Pflege der Holzkonstruktion im Vergleich zu anderen farbig gestalteten Holzoberflächen. Frei bewitterte Holzbauteile die mit PUR-Spühelastomer beschichtet sind, weisen ein verlangsamtes Schwind- und Quellverhalten auf, was vor allem für ausgedehnte Bauwerke oder Brückenkonstruktionen von Vorteil sein kann. Das Schutzsystem lässt sich am einfachsten im Zuge der Vorfertigung im Werk aufbringen, wo die Vorgaben zur Qualitätssicherung einfacher einzuhalten sind.

Eine Weiterführung der Langzeitversuche ist geplant. Weitere Forschungsarbeiten zu Fragen der Applikation bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen und zur Qualitätskontrolle wären wünschenswert.

Literaturverzeichnis

[1] Studie des Holzabsatzfonds – Repräsentative schriftlich Befragung: 200 gewerbliche Bauherren und externe Architekten

[2] DIN EN 1995 -1-1, Dez. 2010: : Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessuungsregeln für den Hochbau

[3] DIN 68800: 2009.11: Holzschutz

[4] P. Kluckow, F. Zeplichal: Chemie und Technologie der Elastomere (Stuttgart 1970) 496-524.

[5] W. Friedrichs: Polyurethane. In: W. Keim [Hrg.]: Kunststoffe. Synthese, Herstellungsverfahren und Apparaturen (Weinheim 2006) 242-248.

[6] PlasticsEurope- Association of Plastics Manufacturers: Plastics – the Facts 2012. An analysis of European plastics production, demand and waste data for 2011 (Brüssel 2012).

[7] Quellenangabe für die Zinssätze:
Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) des BMVBS Version 4/2009, Kriterium 2.1.1: Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus (Anlage 5)
Zinssatz (nominal): 5,5%
allgemeine jährliche Preissteigerung: 2%

[8] Verband Schweizerischer Hobelwerke VSH – Merkblatt Nr. 3-6-07/D: Qualität von Holzfassaden – Einflussfaktoren, allgemeine Angaben. Stand Oktober 2007.

[9] Reaku Hobein GmbH – langjährige Erfahrung mit Spritzelastomer http://www.reaku.de/

[10] Nutzungsdauertabellen Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009.

[11] BASF Systemmerkblatt CONIROOF 2103, Dezember 2009.

[12] BASF Technisches Merkblatt CONIPUR TC 459, Dezember 2009.

[13] Arbezol – Holzschutz, Katalog 2007-2008: Lasuren und Farben, S.2 (Arbezol Hydrosotic)

[14] Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz in der Fassung vom August 2009.

[15] TA Siedlungsabfall Anhang B

[16] Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts Anhang 3

[17] Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz in der Fassung von Oktober 2006.

[18] Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien in der Fassung von Juli 2010.

[19] Biomasse-Verordnung in der geltenden Fassung von August 2005.

[20] Gerd Wegener, Bernhard Zimmer: Bauen mit Holz ist zukunftsfähiges Bauen. In: Thomas Herzog u.a. [Hgg.]: Holzbau Atlas (Basel ^{4}2003) 47-49.

[21] Manfred Dunky, Peter Niemz: Holzwerkstoffe und Leime. Technologie und Einflussfaktoren (Berlin, Heidelberg 2002).

[22] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und Bundesministerium der Verteidigung [Hgg.]: Arbeitshilfen Recycling. Arbeitshilfen zum Umgang mit Bau- und Abbruchabfällen sowie zum Einsatz von Recycling – Baustoffen auf Liegenschaften des Bundes (Berlin, Bonn 2008).

[23] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bayerische Architektenkammer [Hgg.]: WECOBIS. Ökologisches Baustoffinformationssystem > Bauproduktgruppen > Holz + Holzwerkstoffe. http://wecobis.iai.fzk.de/cms/content/site/wecobis/cache/offonce/Home/Bauproduktgruppen/Holz-Holzwerkstoffe;jsessionid=AB0175CE070BE3625E17295E5A4A22B7 Zugriff: 18.08.2010.

[24] Claus Richter: Ökologische Beurteilung von Holzwerkstoffen. In: tec21 Fachzeitschrift für Architektur, Ingenieurwesen und Umwelt (13/2002) 7-11.

[25] Reiner Franke: Zum Recycling von Holzspanplatten und mitteldichten Faserplatten (Göttingen 1999).

[26] Alireza Kharaipour, Ursula Kües: Recycling of Wood Composites and Solid Wood Products. In: Ursula Kues [Hg.] Wood Production, Wood Technology, and Biotechnological Impacts (Göttingen 2007).

[27] Joachim Hasch: Ökologische Betrachtungen von Holzspan- und Holzfaserplatten (Hamburg 2002).

[28] Altholzaufkommen stark zurückgegangen. In Baustoff Recycling + Deponietechnik (05/2009) 8.

[29] Roland Keller: Primärmaßnahmen zur Stickoxidminderung bei der Verbrennung von Holz und Spanplatten (Düsseldorf 1994).

[30] Werner Raßhofer, W. Reichmann: Polyurethan – ein Werkstoff mit neuen Perspektiven. In: Werner Raßhofer [Hg.]: Recycling von Polyurethan-Kunststoffen (Heidelberg 1994) 5-12.

[31] Konrad Uhlig: Polyurethan Taschenbuch (Wien ^{3}2006).

[32] ISOPA European Diisocyanate & Polyol Producers Association [Hg.]: Options in Practise - Recycling and Recovering Polyurethanes. 2005.

[33] Reinhard Rieß: Kunststoffrecycling ja – aber nicht um jeden Preis. In: Werner Raßhofer [Hg.]: Recycling von Polyurethan-Kunststoffen (Heidelberg 1994) IX.

[34] Eckehard Weigand: Ganzheitliche Betrachtung von Polyurethanen. In: Werner Raßhofer [Hg.]: Recycling von Polyurethan-Kunststoffen (Heidelberg 1994) 13-21.

[35] Hildegund Mötzl u.a.[Hgg.]: Ökologie der Dämmstoffe : Grundlagen der Wärmedämmung, Lebenszyklusanalyse von Wärmedämmstoffen, optimale Dämmstandards (Wien, New York 2000).

[36] Verband der chemischen Industrie e.V., Arno Rothert [Hgg.] Positionen zur Chemie mit Chlor (Frankfurt am Main 2005).

[37] Christoph Irle: Polyurethanlacke - Domäne in der Holzbeschichtung (Leverkusen 2007).

[38] Ulrich Meier-Westhues: Polyurethane. Lacke, Kleb- und Dichtstoffe (Hannover 2007).

[39] Jürgen Gremmels: Partieller hygrothermischer Abbau von Polyester-Polyurethan und dessen Anwendung – ein Beitrag zur Entwicklung eines neuen Recyclingverfahrens (Hannover 2000).

[40] Karl Wilhelm Kroesen: Verbrennung von Polyurethanen. In: Werner Raßhofer [Hg.]: Recycling von Polyurethan-Kunststoffen (Heidelberg 1994) 279-286.

[41] Thermopal, Fachgruppe Dekorative Schichtstoffplatten: Produktdatenblatt für HPL-Elemente (Leutkirch 2005).

[42] Heinz Pecina, Gerhard Kühne: Holzwerkstoffe unter Verwendung von Polyamid- und Polyurethan-Textilresten. In Holzzentralblatt 121/1995 Heft 43 713-719.

[43] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bayerische Architektenkammer [Hgg.]: WECOBIS. Ökologisches Baustoffinformationssystem > Bauproduktgruppen > Mörtel + Estriche > Estriche > Kunstharzestrich. http://wecobis.iai.fzk.de/cms/content/site/wecobis/Home/Bauproduktgruppen/Moertel_Estriche/Estriche/Kunstharzestrich Zugriff: 18.08.2010.

[44] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bayerische Architektenkammer [Hgg.]: WECOBIS. Ökologisches Baustoffinformationssystem > Bauproduktgruppen > Dämmstoffe > Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen > Polyurethan(PUR/PIR)-Spritzschaum. http://wecobis.iai.fzk.de/cms/content/site/wecobis/Home/Bauproduktgruppen/Daemmstoffe/aus_synthetischen_Rohstoffen/Polyurethan-Ortschaum Zugriff: 18.08.2010.

[45] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bayerische Architektenkammer [Hgg.]: WECOBIS. Ökologisches Baustoffinformationssystem > Grundstoffe > Kunststoffe > Polyurethan. http://wecobis.iai.fzk.de/cms/content/site/wecobis/Home/Grundstoffe/Kunststoffe_GS/Polyurethan_GS Zugriff: 18.08.2010.

[46] DIN 53504:2009-10: Prüfung von Kautschuk und Elastomeren - Bestimmung von Reißfestigkeit, Zugfestigkeit, Reißdehnung und Spannungswerten im Zugversuch

[47] DIN EN 13183-2:2002-07: Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz - Teil 2: Schätzung durch elektrisches Widerstands-Messverfahren

[48] DIN EN ISO 4892-1:2001-09: Kunststoffe - Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten - Teil 1: Allgemeine Anleitung

[49] DIN EN ISO 4892-3:2006-05: Kunststoffe - Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten - Teil 3: UV-Leuchtstofflampen

[50] DIN EN ISO 527-1:1996-04: Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 1: Allgemeine Grundsätze

[51] DIN EN ISO 527-3:2003-07: Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 3: Prüfbedingungen für Folien und Tafeln

[52] DIN EN ISO 9513:2003-05: Metallische Werkstoffe - Kalibrierung von Längenänderungs-Messeinrichtungen für die Prüfung mit einachsiger Beanspruchung

[53] DIN ISO 23529:2007-01: Elastomere - Allgemeine Bedingungen für die Vorbereitung und Konditionierung von Prüfkörpern für physikalische Prüfverfahren
[54] DIN EN 1991-1-1: 2010-12 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke; Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
[55] EOTA TR001: Determination of impact resistance of panels and panels assemblies, Februar 2003
[56] EOTA TR004: Determination of the resistance to delamination, Mai 2004
[57] EOTA TR008: Determination of the resistance to fatigue movement, Mai 2004
[58] EOTA TR010: Exposure procedure for artificial weathering, Mai 2004
[59] EOTA TR011: Exposure procedure for accelerated ageing by heat, Mai 2004
[60] EOTA TR012: Exposure procedure for accelerated ageing by hot water, Mai 2004
[61] EOTA TR013: Determination of crack-bridging capability, Mai 2004
[62] ETAG 004: External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering, 27.06.2013
[63] ETAG 005: Liquid Applied Roof Waterproofing Kits, 11.08.2000
[64] ETAG 005-1: Liquid Applied Roof Waterproofing Kits, Part 1: General, 11.08.2000
[65] ETAG 005-6: Liquid Applied Roof Waterproofing Kits, Part 6: Specific stipulations for Kits based on Polyethurane, 11.08.2000

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Variation von höhenverstellbaren Stützenfüssen 8
Abbildung 2-2: Beispiel für den konstruktiven Aufwand für den Witterungsschutz nach DIN 1074: 2006-9: Holzbrücken 9
Abbildung 2-3: Europäischer Kunststoffbedarf 2011 (aus [6]) 10
Abbildung 2-4: Beispiel der Tragfähigkeit für NKL 3 und NKL 2 11
Abbildung 2-5: Beispielkriechverformung für NKL 3 und NKL 2 (mit PUR) 12
Abbildung 2-6: Kuppelförmiger Dom mit PUR-Beschichtung © Cordes 13
Abbildung 2-7: Ausschnitt aus der Fassade des Anbaus der Kita Geesthacht © BLB Architekten 14
Abbildung 2-8: Metropol Parasol in Sevilla – Furnierschichtholz mit PUR-Dickfilmbeschichtung © V. Schmid 15
Abbildung 2-9: Mensa Karlsruhe - wirtschaftlich umgesetzt mit Holz und PUR-Beschichtung © JMH 16
Abbildung 4-1: Kita Kleine Horst in Hamburg 21
Abbildung 4-2: Aufbau der vorgehängten hinterlüfteten Fassade mit Faserzementplatten 22
Abbildung 4-3: Aufbau der Holzstülpschalung 23
Abbildung 4-4: Aufbau des Wärmedämmverbundsystems 24
Abbildung 4-5: Aufbau der PUR-Fassade 25
Abbildung 5-1: Bauteilaufbau Variante 2 (Wärmedämmverbundsystem WDVS) 31
Abbildung 5-2: Variante 3 (Holzstülpschalung) 32
Abbildung 5-3: Variante 4 (Faserzementplatte) 33
Abbildung 5-4: PEI_{ne} Herstellungsphase 34
Abbildung 5-5: PEI_{ne} Nutzungsphase 80a (ohne Betrieb) 35
Abbildung 5-6: PEI_{ne} gesamt 80a (ohne Betrieb) 35
Abbildung 5-7: PEI_{e} Herstellungsphase 36
Abbildung 5-8: PEI_{e} Nutzungsphase 80a (ohne Betrieb) 37
Abbildung 5-9: PEI_{e} gesamt 80a (ohne Betrieb) 37
Abbildung 5-10: GWP_{100} Herstellungsphase 38
Abbildung 5-11: GWP_{100} Nutzungsphase 80a (ohne Betrieb) 39
Abbildung 5-12: GWP_{100} gesamt 80a (ohne Betrieb) 39
Abbildung 5-13: AP Herstellungsphase 40
Abbildung 5-14: AP Nutzungsphase 80a (ohne Betrieb) 41
Abbildung 5-15: AP gesamt 80a (ohne Betrieb) 41
Abbildung 6-1: aus PUR-Spritzelastomer hergestellte Folien (halbseitig mit Versiegelung) 52
Abbildung 6-2: Rauhigkeitsunterschiede 53
Abbildung 6-3: Schulterstäbe (ABP links, Bayer rechts) 54
Abbildung 6-4: Zugprüfmaschine der Firma Zwick 56
Abbildung 6-5: Spannungs-Dehnungsdiagramm beispielhaft für die Referenzserie der Firma Bayer ohne Deckbeschichtung (ohne coating) 57
Abbildung 7-1: - Schematische Darstellung der Apparatur: 1 - Wasser, 2 - Klemme; 3-Reservoir;4 - Dichtungsmittel; 5 - flüssige Abdichtung; 6 – Substrat (EOTA-TR-012) 63

Abbildung 7-2 Probe bei Wasseralterung 64
Abbildung 7-3: Model F10D EASY M2004 66
Abbildung 7-4: Ausschnitt 66
Abbildung 7-5: Prüfstempel 50 mm (links) / Polyurethanhaftzugklebers Quicksolid (rechts) 66
Abbildung 7-6: Prüfstempel 50 mm auf Probe 67
Abbildung 7-7: Gezogene Probe mit Bruchbild 67
Abbildung 7-8: Grafische Übersicht der Mittelwerte 69
Abbildung 7-9: Grafische Übersicht der Standardabweichung 69
Abbildung 7-10: Schematische Darstellung der Probekörper und der Rissrichtung im Vergleich zur Faserrichtung 71
Abbildung 7-11: Versuchsaufbau 72
Abbildung 7-12: Rissöffnung-Zeit Steuerung für Versuchsreihe 1 und 2 72
Abbildung 7-13: Wasserdichtigkeitstest 73
Abbildung 7-14: Arbeitslinien a) Versuchsreihe 1: Rissaufweitung bis 1,5 mm b) Versuchsreihe 2: Rissaufweitung bis 5,0 mm 74
Abbildung 7-15: Schematische Darstellung der Probekörper und der Rissrichtung im Vergleich zur Faserrichtung 75
Abbildung 7-16: Herstellung von einem Probekörperpaket 77
Abbildung 7-17: Aufbau des Ermüdungsversuchs in der Klimakammer 78
Abbildung 8-1:Wandelemente aus OSB und EPS Dicke = 26,4 cm 80
Abbildung 8-2: Trägerrahmen mit Wand und Sensoren vor der Beschichtung 81
Abbildung 8-3: Vertikalfuge im Detail oben an der Wand 81
Abbildung 8-4: a) Beschichtungsarbeiten der Versuchswände durch die Fa. Reaku 82
Abbildung 8-5: Sensoranordnung bei der Wand mit 18 cm Dicke 83
Abbildung 8-6: Sensoranordnung bei der Wand mit 26 cm Dicke 83
Abbildung 8-7: Fassadenprüfstand 85
Abbildung 8-8: Außenklimakammer des Fassadenprüfstandes / DDC des Fassadenprüfstandes 85
Abbildung 8-9: Übersicht der WKI-Zyklen 86
Abbildung 8-10: Ausschnitt des Temperaturverlaufes und der relativen Feuchte für das Innerklima 87
Abbildung 8-11: Ausschnitt des Temperaturlastganges des Wärme-Regen-Zyklus 87
Abbildung 8-12: Ausschnitt des Temperaturlastganges des Wärme-Kälte-Zyklus 88
Abbildung 8-13: ABP-SIP-18 außen (bewittert) 89
Abbildung 8-14: ABP-SIP-18 innen (unbewittert) 89
Abbildung 8-15: ABP-SIP-26 außen (bewittert) 90
Abbildung 8-16: ABP-SIP-26 innen (unbewittert) 90
Abbildung 8-17: Model F10D EASY M2004 (links) und Kreisbohrer (rechts) 91
Abbildung 8-18: Ausschnitt vor der Haftzugprüfung (links) und geklebte Prüfstempel an der Probenwand (rechts) 91
Abbildung 8-19: ABP-SIP-26 (Vorderseite)- bewittert – Serie I 92
Abbildung 8-20: ABP-SIP-26 (Rückseite)- unbewittert – Serie II 92
Abbildung 8-21: ABP-SIP-18 (Vorderseite)- bewittert – Serie IV 92
Abbildung 8-22: ABP-SIP-18 (Rückseite)- unbewittert – Serie III 93
Abbildung 8-23: Kohäsionsbruch Serie II zweite Einzelprüfung 95
Abbildung 8-24: arithmetisches Mittel der Bruchspannung 95

Abbildung 8-25: Standardabweichung der der Bruchspannung 95
Abbildung 8-26: Schema Pendelstoß EOTA TR 001 96
Abbildung 8-27: Pendelbefestigung 97
Abbildung 8-28: Pendel an Prüfwand 97
Abbildung 8-29 Pendel mit 1kg Edelstahlkugel 98
Abbildung 8-30 Aufschlagpunkt auf PU-Wand 99
Abbildung 8-31 Ausschnitt harter Stoß mit 1kg 99
Abbildung 8-32: Wand-Traufe-Dachdetail. a) Ansicht b) Schnitt mit Verformungen im Zust. 2 100
Abbildung 8-33: Riss in der PUR-Beschichtung nach eingeprägter Verformung 101
Abbildung 8-34: Ecke an der Dachschräge 101
Abbildung 8-35: konstruktive Detailausbildung 101
Abbildung 9-1: Probekörper der 3 Prüfserien 104
Abbildung 9-2: Holzfeuchte in einer frei bewitterten, unbeschichteten BSH-Probe der Serie 1 (NKL 3) 106
Abbildung 9-3: Holzfeuchte in einer unbeschichteten, überdacht gelagerten BSH-Probe der Serie 3 (NKL 2) 106
Abbildung 9-4: Holzfeuchte einer PUR-beschichteten, frei bewitterten BSH-Probe der Serie 2 107
Abbildung 9-5: Verlauf der rel. Luftfeuchte 108

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Entwicklungspotential von Holz als Baustoff 6
Tabelle 2-2: Nutzungsklassen (NKL) nach DIN EN 1995-1-1 7
Tabelle 2-3: Rechenwerte für die Modifikations-beiwerte k_{mod} 11
Tabelle 2-4: Rechenwerte für die Verformungsbeiwerte k_{def} aus DIN EN 1995-1-1 [2] 12
Tabelle 2-5: Entwicklungspotential vom Hybridbaustoff Holz und PUR 18
Tabelle 4-1: Instandsetzungsintervalle von Beschichtungen bei Holzfassaden 26
Tabelle 4-2: Vergleich der Instandsetzungskosten für Anstriche bei 80 Jahren 27
Tabelle 4-3: Vergleich des errechneten Kapitalwertes der Fassadentypen 28
Tabelle 5-1: Leimanteil in verschiedenen Holzmaterialien nach [17] 43
Tabelle 5-2: Altholzkategorien nach [13] 44
Tabelle 5-3: stoffliche Verwertungsverfahren nach [13] 45
Tabelle 5-4: Verfahren zur Verwertung von Holzwerkstoffen nach [21] 46
Tabelle 5-5: Stoffliche Verwertung von Polyurethan nach [28] 47
Tabelle 6-1: Reißfestigkeit und -dehnung ohne coating 58
Tabelle 6-2: Reißfestigkeit und -dehnung mit coating 59
Tabelle 7-1: Einstufung nach Klimazonen aus ETAG 005 Tabelle 3 62
Tabelle 7-2: Abhängigkeit Nutzungsdauer zu Beanspruchungszeit nach ETAG 005 63
Tabelle 7-3 Haftzugfestigkeit zwischen Polyurethan und Holzträgerwerkstoff 68
Tabelle 7-4: Probekörperübersicht Ermüdung. 76
Tabelle 7-5:Anzahl der Ermüdungsbewegungszyklen - ETAG 005 Tabelle 9 76
Tabelle 8-1: Messwerte der Haftzugprüfungen 94
Tabelle 8-2: Einteilung in Kategorien aus der ETAG 004 Abschnitt 6 99

Technische Universität Berlin

Anlagen zum Abschlussbericht

des Forschungsprojektes Nr. 10033032 :

Hybride Holzkonstruktionen mit Polyurethan

Entwicklung extrem dauerhafter, robuster und witterungsbeständiger Hybridbauteile aus Holz und PUR-Spritzelastomer zur Erweiterung des Anwendungsbereichs für Bauteile und Bauwerke aus Holz und für Holzkonstruktionen

Autoren:

Prof. Dr.-Ing Volker Schmid
Dipl.-Ing Özkan Yildiz
Entwerfen und Konstruieren – Verbundstrukturen

Prof. Dr.-Ing. Frank U. Vogdt
Dipl.-Ing. (FH) Falk Schaudienst M.A.,
Dipl.-Ing. Hendrik Kesslau
Bauphysik und Baukonstruktionen

eingereicht am 31. 10. 2013

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau
des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.
(Aktenzeichen: SF – 10.08.18.7- 10.3/ II 3 – F20-09-1-246)
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

Verantwortlich:

Prof. Dr.-Ing. Volker Schmid

TU Berlin
Fachgebiet Entwerfen und Konstruieren –
Verbundstrukturen
Institut für Bauingenieurwesen
Sekr. TIB1-B11
Gustav-Meyer-Allee 25
13355 Berlin

Tel. Sekr.: +49 30 314 72162
Fax Sekr.: +49 30 314 72160
sekretariat@ek-verbundstrukturen.tu-berlin.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank U. Vogdt

TU Berlin
Fachgebiet Bauphysik und
Baukonstruktionen
Institut für Bauingenieurwesen
Sekr. TIB1-B3
Gustav-Meyer-Allee 25
13355 Berlin

Tel.: (030) 314 - 72 141
Fax: (030) 314 - 72 150
bauphysik@tu-berlin.de

Inhalt

A. Ökologie 5
Variante MDF-Platte mit PUR-Beschichtung 5
Variante Wärmedämmverbundsystem (WDVS) 6
Variante Holzstülpschalung 7
Variante Faserzementplatte 8
Betriebsphase 9
B. Untersuchung von PUR-Spritzelastomeren 10
Produktinformation AB-PUR 550 10
Produktinformation Baytec 12
Produktinformation CONIPUR M 803 FL 15
Produktinformation CONIPUR TC 459 19
Genauigkeit der Meßgeräte 21
UV-Bewitterung 22
Spannungs-Dehnungs-Diagramme der Zugversuche 23
C. Untersuchung zur Dauerhaftigkeit des PUR-Holz-Verbundes 38
C1. Rissüberbrückung – Rissaufweitung 1,5 cm 38
Brettsperrholz 38
Furnierschichtholz 43
MDF 45
OSB 46
C2. Rissüberbrückung – Rissaufweitung 5,0 cm 52
Brettsperrholz 52
MDF 58
D. Untersuchung zur Dauerhaftigkeit von Hybridkonstruktionen 59
Exkurs: Arbeitsschutz 59
Betriebsanweisung PU 10 nach GISBAU 59
Betriebsanweisung PU 20 nach GISBAU 61
Betriebsanweisung PU 40 nach GISBAU 63
Betriebsanweisung PU 60 nach GISBAU 65
Hygrothermische Beanspruchung von Fassaden 67
Klimazyklus des Prüfstandes nach dem Wilhelm-Klauditz-Institut 67
Ergebnis Haftzugfestigkeit EOTA-Wand 68
E. Feldversuche 69
E1. Proben der Prüfserie 1: Brettschichtholz, unbeschichtet, direkt bewittert 69

E2. Proben der Prüfserie 2: Brettschichtholz, PUR beschichtet, direkt bewittert 72

E3. Proben der Prüfserie 3: Brettschichtholz, unbeschichtet, überdacht gelagert 75

E4. Proben der Prüfserie 1: Furnierschichtholz, unbeschichtet, direkt bewittert 78

E5 Proben der Prüfserie 2: Furnierschichtholz, PUR beschichtet, direkt bewittert 80

E6 Proben der Prüfserie 3: Furnierschichtholz, unbeschichtet, überdacht gelagert 83

A.Ökologie

Variante MDF-Platte mit PUR-Beschichtung

Variante PUR Beschichtung

Holzständerkonstruktion d/b = 20/6 cm, Achsabstand a = 62,5 cm

Da keine Ökobilanzdaten für das PUR-Abdichtungssystem vorliegen werden hilfsweise die Angaben für PUR-Dichtmasse aus der Ökobau-dat herangezogen!
Laut BASF Datenblatt beträgt der Verbrauch für die 2-Komponenten **Beschichtung mind. 2,3 kg/m²** und für die **Versiegelung 0,10 - 0,15 kg/m²**

Berechnung der Umnweltwirkungen für 1m²

		Gipskartonplatte		OSB-Platte		Ständer (Konstruktions-vollholz)		Dämmung (Mineralwolle)		MDF		PUR Beschichtung (Conipur M 803 FL)		PUR Versiegelung (Conipur TC 459)		Summe pro m2	
	d [m]	0,0125	m	0,015	m	0,2	m	0,2	m	0,015	m	Menge pro m²		Menge pro m²			
	Flächenanteil	1	--	1	--	0,096	--	0,904	--	1	--	2,3	kg/m²	0,15	kg/m²		
	Rohdichte [kg/m³]	10	kg/m³	619	kg/m³	529	kg/m³	46	kg/m³	720	kg/m³						
Herstellungsphase	Quelle PEI_{ne}	Ökobau.dat Datensatz 1.3.13 Gipskartonplatte		Ökobau.dat Datensatz 3.2.4 OSB (Durchschnitt)		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)		Ökobau.dat Datensatz 3.2.7 MDF - Egger		Ökobau.dat Datensatz 6.7 PUR-Dichtmasse		Ökobau.dat Datensatz 6.7 PUR-Dichtmasse			
	PEI_{ne}	36,2	MJ/m² (be	5210	MJ/m³	5144	MJ/m³	929	MJ/m³	8733	MJ/m³	109	MJ/kg	109	MJ/kg		
	PEI_{ne}	36,2	MJ/m²	78,15	MJ/m²	98,7648	MJ/m²	167,9632	MJ/m²	130,995	MJ/m²	250,7	MJ/m²	16,35	MJ/m²	779,123	MJ/m²
	Quelle PEI_e	Ökobau.dat Datensatz 1.3.13 Gipskartonplatte		Ökobau.dat Datensatz 3.2.4 OSB (Durchschnitt)		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)		Ökobau.dat Datensatz 3.2.7 MDF - Egger		Ökobau.dat Datensatz 6.7 PUR-Dichtmasse		Ökobau.dat Datensatz 6.7 PUR-Dichtmasse			
	PEI_e	1,44	MJ/m² (be	13758	MJ/m³	10800	MJ/m³	27,3	MJ/m³	11650	MJ/m³	11,3	MJ/kg	11,3	MJ/kg		
	PEI_e	1,44	MJ/m²	206,37	MJ/m²	207,36	MJ/m²	4,93584	MJ/m²	174,75	MJ/m²	25,99	MJ/m²	1,695	MJ/m²	622,54084	MJ/m²
	Quelle GWP_{100}	Ökobau.dat Datensatz 1.3.13 Gipskartonplatte		Ökobau.dat Datensatz 3.2.4 OSB (Durchschnitt)		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)		Ökobau.dat Datensatz 3.2.7 MDF - Egger		Ökobau.dat Datensatz 6.7 PUR-Dichtmasse		Ökobau.dat Datensatz 6.7 PUR-Dichtmasse			
	GWP_{100}	2,21	kg_{CO2}/m^2 (	-903	kg_{CO2}/m^3	-818	kg_{CO2}/m^3	68,8	kg_{CO2}/m^3	-504	kg_{CO2}/m^3	5,18	kg_{CO2}/kg	5,18	kg_{CO2}/kg		
	GWP_{100}	2,21	kg_{CO2}/m^2	-13,545	kg_{CO2}/m^2	-15,7056	kg_{CO2}/m^2	12,43904	kg_{CO2}/m^2	-7,56	kg_{CO2}/m^2	11,914	kg_{CO2}/m^2	0,777	kg_{CO2}/m^2	27,34004	kg_{CO2}/m^2
	Quelle AP	Ökobau.dat Datensatz 1.3.13 Gipskartonplatte		Ökobau.dat Datensatz 3.2.4 OSB (Durchschnitt)		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)		Ökobau.dat Datensatz 3.2.7 MDF - Egger		Ökobau.dat Datensatz 6.7 PUR-Dichtmasse		Ökobau.dat Datensatz 6.7 PUR-Dichtmasse			
	AP	0,00328	kg_{SO2}/m^2 (	1,058	kg_{SO2}/m^3	0,456	kg_{SO2}/m^3	0,33	kg_{SO2}/m^3	1,72	kg_{SO2}/m^3	0,0311	kg_{SO2}/kg	0,0311	kg_{SO2}/kg		
	AP	0,00328	kg_{SO2}/m^2	0,01587	kg_{SO2}/m^2	0,0087552	kg_{SO2}/m^2	0,059664	kg_{SO2}/m^2	0,0258	kg_{SO2}/m^2	0,07153	kg_{SO2}/m^2	0,004665	kg_{SO2}/m^2	0,1895642	kg_{SO2}/m^2

Nutzungsdauern	Quelle	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)		
	Bezeichnung	Standard-Bekleidungen (Systeme), Gipskarton-platten (S. 28)	Wandbekleidungen (Systeme) Holzwerkstoff (S. 18)	leichte Holzbauweise mit Bekleidung, Ständerbau-weise (S. 3)	Dämmschicht als Kerndämmung, Glaswolledämm-platten (S. 10)	Wandbekleidungen (Systeme) Holzwerkstoff (S. 18)		
	min	30	25	30	30	25	da mit Untergrund verbunden Lebensdauer wie MDF	
	max	60	40	60	60	40		
	Mittel	50	40	50	40	40	40	10

Nutzungsphase (80 Jahre)	Bemerkungen	Die PU-Beschichtung muss alle **15 Jahre** erneuert werden. MDF-Platte **40 Jahre** = kürzeste Nutzungsdauer (neben der PU-Beschichtung), d.h. gesamte Konstruktion wird nach 40 Jahren erneuert auch die Holzständer, obwohl diese eine Nutzungsdauer von 50 Jahren aufweisen; jedoch würde es keinen Sinn machen, die äußere Konstruktion nach 40 Jahren zu erneuern und dann 10 Jahre später an die tragende Konstruktion zu gehen.															
	Jahre der Erneuerungen in 80 Jahren	40		40		40		40		40		40		10, 20, 30, 40, 50, 60, 70			
	Anzahl der Erneuerungen in 80 Jahren	1		1		1		1		1		1		7			
	Umweltwirkungen aus Instandsetzung/Erneuerung																
	PEI_{ne}	36,2	MJ/m²	78,15	MJ/m²	98,7648	MJ/m²	167,9632	MJ/m²	130,995	MJ/m²	250,7	MJ/m²	114,45	MJ/m²	877,223	MJ/m²
	PEI_e	1,44	MJ/m²	206,37	MJ/m²	207,36	MJ/m²	4,93584	MJ/m²	174,75	MJ/m²	25,99	MJ/m²	11,865	MJ/m²	632,71084	MJ/m²
	GWP_{100}	2,21	kg_{CO2}/m^2	-13,545	kg_{CO2}/m^2	-15,7056	kg_{CO2}/m^2	12,43904	kg_{CO2}/m^2	-7,56	kg_{CO2}/m^2	11,914	kg_{CO2}/m^2	5,439	kg_{CO2}/m^2	32,00204	kg_{CO2}/m^2
	AP	0,00328	kg_{SO2}/m^2	0,01587	kg_{SO2}/m^2	0,0087552	kg_{SO2}/m^2	0,059664	kg_{SO2}/m^2	0,0258	kg_{SO2}/m^2	0,07153	kg_{SO2}/m^2	0,032655	kg_{SO2}/m^2	0,2175542	kg_{SO2}/m^2
	Umweltwirkungen aus Betrieb																
	PEI_{ne}															10425,085	MJ/m²
	PEI_e															17,25502	MJ/m²
	GWP_{100}															328,86916	kg_{CO2}/m^2
	AP															0,1805672	kg_{SO2}/m^2
	Umweltwirkungen Nutzungsphase gesamt (Instandsetzung/Erneuerung + Betrieb)																
	PEI_{ne}															11302,308	MJ/m²
	PEI_e															649,96586	MJ/m²
	GWP_{100}															360,87120	kg_{CO2}/m^2
	AP															0,3981214	kg_{SO2}/m^2

Variante Wärmedämmverbundsystem (WDVS)

Variante Wärmedämmverbundsystem (WDVS)

Holzständerkonstruktion d/b = 20/6 cm, Achsabstand a = 62,5 cm

Annahme für Dispersionsanstrich	
Anstriche:	2

Berechnung der Umnweltwirkungen für 1m²

		Gipskartonplatte		OSB-Platte		Ständer (Konstruktions-vollholz)		Dämmung (Mineralwolle)		Holzweichfaserplatte		mineralischer Grundputz (incl. Kleber, Glasgewebe, Armierung, Kratzputz)		Dispersionsanstrich		Summe pro m2	
	d [m]	0,0125	m	0,015	m	0,2	m	0,2	m	0,01	m	0,006	m	Menge pro m²			
	Flächenanteil	1	--	1	--	0,096	--	0,904	--	1	--	1	--	0,22	kg/m²		
	Rohdichte [kg/m³]	10	kg/m³	619	kg/m³	529	kg/m³	46	kg/m³	200	kg/m³	35,18	kg/m³				
Herstellungsphase	Quelle PEI_{ne}	Ökobau.dat Datensatz 1.3.13 Gipskartonplatte		Ökobau.dat Datensatz 3.2.4 OSB (Durchschnitt)		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)		Ökobau.dat Datensatz 2.10 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)		Ökobau.dat Datensatz 2.21 WDVS Kratzputz mineralisch		Ökobau.dat Datensatz 5.4 Fassadenfarbe Dispersionsfarbe			
	PEI_{ne}	36,2	MJ/m² (b	5210	MJ/m³	5144	MJ/m³	929	MJ/m³	13,3	MJ/kg	113	MJ/m²	48,3	MJ/kg		
	PEI_{ne}	36,2	MJ/m²	78,15	MJ/m²	98,7648	MJ/m²	167,9632	MJ/m²	26,6	MJ/m²	113	MJ/m²	21,252	MJ/m²	541,93	MJ/m²
	Quelle PEI_e	Ökobau.dat Datensatz 1.3.13 Gipskartonplatte		Ökobau.dat Datensatz 3.2.4 OSB (Durchschnitt)		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)		Ökobau.dat Datensatz 2.10 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)		Ökobau.dat Datensatz 2.21 WDVS Kratzputz mineralisch		Ökobau.dat Datensatz 2.21 WDVS Kratzputz mineralisch			
	PEI_e	1,44	MJ/m² (b	13758	MJ/m³	10800	MJ/m³	27,3	MJ/m³	20,5	MJ/kg	6,4	MJ/m²	0,913	MJ/kg		
	PEI_e	1,44	MJ/m²	206,37	MJ/m²	207,36	MJ/m²	4,93584	MJ/m²	41	MJ/m²	6,4	MJ/m²	0,40172	MJ/m²	467,90756	MJ/m²
	Quelle GWP_{100}	Ökobau.dat Datensatz 1.3.13 Gipskartonplatte		Ökobau.dat Datensatz 3.2.4 OSB (Durchschnitt)		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)		Ökobau.dat Datensatz 2.10 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)		Ökobau.dat Datensatz 2.21 WDVS Kratzputz mineralisch		Ökobau.dat Datensatz 2.21 WDVS Kratzputz mineralisch			
	GWP_{100}	2,21	kg_{CO2}/m^2	-903	kg_{CO2}/m^3	-818	kg_{CO2}/m^3	68,8	kg_{CO2}/m^3	-1,37	kg_{CO2}/kg	11,6	kg_{CO2}/m^2	2,3	kg_{CO2}/kg		
	GWP_{100}	2,21	kg_{CO2}/m^2	-13,545	kg_{CO2}/m^2	-15,7056	kg_{CO2}/m^2	12,43904	kg_{CO2}/m^2	-2,74	kg_{CO2}/m^2	11,6	kg_{CO2}/m^2	1,012	kg_{CO2}/m^2	27,26104	kg_{CO2}/m^2
	Quelle AP	Ökobau.dat Datensatz 1.3.13 Gipskartonplatte		Ökobau.dat Datensatz 3.2.4 OSB (Durchschnitt)		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)		Ökobau.dat Datensatz 2.10 Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)		Ökobau.dat Datensatz 2.21 WDVS Kratzputz mineralisch		Ökobau.dat Datensatz 2.21 WDVS Kratzputz mineralisch			
	AP	0,00328	kg_{SO2}/m^2	1,058	kg_{SO2}/m^3	0,456	kg_{SO2}/m^3	0,33	kg_{SO2}/m^3	0,0013	kg_{SO2}/kg	0,0216	kg_{SO2}/m^2	0,0405	kg_{SO2}/kg		
	AP	0,00328	kg_{SO2}/m^2	0,01587	kg_{SO2}/m^2	0,0087552	kg_{SO2}/m^2	0,059664	kg_{SO2}/m^2	0,0026	kg_{SO2}/m^2	0,0216	kg_{SO2}/m^2	0,01782	kg_{SO2}/m^2	0,1295892	kg_{SO2}/m^2

Nutzungsdauern	Quelle	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)
	Bezeichnung	Standard-Bekleidungen (Systeme), Gipskarton-platten (S. 28)	Wandbekleidungen (Systeme) Holzwerkstoff (S. 18)	leichte Holzbauweise mit Bekleidung, Ständerbau-weise (S. 3)	Dämmschicht als Kerndämmung, Glaswolledämm-platten (S. 10)	WDVS Holzfaser-dämmplatten (S. 19)	Putz auf WäDä, mineralische Putzsysteme (S. 16)	Außenanstriche, minerl. Untergrund, Dispersionsfarbe (S. 10)
	min	30	25	30	30	20	25	10
	max	60	40	60	60	60	45	25
	Mittel	50	40	50	40	40	30	20

Nutzungsphase (80 Jahre)	Bemerkungen	Die Dispersionsfarbe muss alle 20 Jahre neu aufgebracht werden. Der mineralische Putz muss alle **30 Jahre** erneuert werden, d.h. wenn der Putz erneuert wird, muss auch die Dispersionsfarbe neu aufgebracht werden. Alle anderen Bauteile weisen eine längere Nutzungsdauer auf (40 bzw. 50 Jahre). Wenn jedoch der Putz erneuert wird, müsste auch der Untergrund (hier die Holzweichfaserplatte) erneuert werden. Alle anderen Bauteile werden nach 40 Jahren erneuert (auch die Holzständer).															
	Jahre der Erneuerungen in 80 Jahren	40		40		40		40		30, 40, 70		30, 40, 70		20, 30, 40, 60, 70			
	Anzahl der Erneuerungen in 80 Jahren	1		1		1		1		3		3		5			
	Umweltwirkungen aus Instandsetzung/Erneuerung																
	PEI_{ne}	36,2	MJ/m^2	78,15	MJ/m^2	98,7648	MJ/m^2	167,9632	MJ/m^2	79,8	MJ/m^2	339	MJ/m^2	106,26	MJ/m^2	906,138	MJ/m^2
	PEI_e	1,44	MJ/m^2	206,37	MJ/m^2	207,36	MJ/m^2	4,93584	MJ/m^2	123	MJ/m^2	19,2	MJ/m^2	2,0086	MJ/m^2	564,31444	MJ/m^2
	GWP_{100}	2,21	kg_{CO2}/m^2	-13,545	kg_{CO2}/m^2	-15,7056	kg_{CO2}/m^2	12,43904	kg_{CO2}/m^2	-8,22	kg_{CO2}/m^2	34,8	kg_{CO2}/m^2	5,06	kg_{CO2}/m^2	54,50904	kg_{CO2}/m^2
	AP	0,00328	kg_{SO2}/m^2	0,01587	kg_{SO2}/m^2	0,0087552	kg_{SO2}/m^2	0,059664	kg_{SO2}/m^2	0,0078	kg_{SO2}/m^2	0,0648	kg_{SO2}/m^2	0,0891	kg_{SO2}/m^2	0,2492692	kg_{SO2}/m^2
	Umweltwirkungen aus Betrieb																
	PEI_{ne}															10425,085	MJ/m^2
	PEI_e															17,25502	MJ/m^2
	GWP_{100}															328,86916	kg_{CO2}/m^2
	AP															0,1805672	kg_{SO2}/m^2
	Umweltwirkungen Nutzungsphase gesamt (Instandsetzung/Erneuerung + Betrieb)																
	PEI_{ne}															11331,223	MJ/m^2
	PEI_e															581,56946	MJ/m^2
	GWP_{100}															383,37820	kg_{CO2}/m^2
	AP															0,4298364	kg_{SO2}/m^2

Variante Holzstülpschalung

Variante Holzstülpschlaung

Holzständerkonstruktion d/b = 20/6 cm, Achsabstand a = 62,5 cm

Holzschutz: Arbezol Hydrosotic => Imprägnierlasur; 1kg für 5-10m², außen 2-3 Anstriche
Annahme für Berechnung: 1 kg für 7,5 m², 3 Anstriche => 0,4 kg/m²

Berechnung der Umnweltwirkungen für 1m²

		Gipskartonplatte		OSB-Platte		Ständer (Konstruktions-vollholz)		Dämmung (Mineralwolle)		MDF		Konterlattung		Stülpschalung		Holzschutz (Dünnschichtlasur)		Summe pro m2	
	d [m]	0,0125	m	0,015	m	0,2	m	0,2	m	0,015	m	0,038	m	0,026	m	Menge pro m²:			
	Flächenanteil	1	--	1	--	0,096	--	0,904	--	1	--	0,096	--	1	--	0,4	kg/m²		
	Rohdichte [kg/m³]	10	kg/m³	619	kg/m³	529	kg/m³	46	kg/m³	720	kg/m³	529	kg/m³	529	kg/m³				
Herstellungsphase	Quelle PEI_{ne}	Ökobau.dat Datensatz 1.3.13 Gipskartonplatte		Ökobau.dat Datensatz 3.2.4 OSB (Durchschnitt)		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)		Ökobau.dat Datensatz 3.2.7 MDF - Egger		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 5.6.2 Lacksysteme Holzfas. (Lasursystem)			
	PEI_{ne}	36,2	MJ/m² (b	5210	MJ/m³	5144	MJ/m³	929	MJ/m³	8733	MJ/m³	5144	MJ/m³	5144	MJ/m³	70,09	MJ/kg		
	PEI_{ne}	36,2	MJ/m²	78,15	MJ/m²	98,7648	MJ/m²	167,9632	MJ/m²	130,995	MJ/m²	18,765312	MJ/m²	133,744	MJ/m²	28,036	MJ/m²	692,618312	MJ/m²
	Quelle PEI_e	Ökobau.dat Datensatz 1.3.13 Gipskartonplatte		Ökobau.dat Datensatz 3.2.4 OSB (Durchschnitt)		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)		Ökobau.dat Datensatz 3.2.7 MDF - Egger		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 5.6.2 Lacksysteme Holzfas. (Lasursystem)			
	PEI_e	1,44	MJ/m² (b	13758	MJ/m³	10800	MJ/m³	27,3	MJ/m³	11650	MJ/m³	10800	MJ/m³	10800	MJ/m³	0,807	MJ/kg		
	PEI_e	1,44	MJ/m²	206,37	MJ/m²	207,36	MJ/m²	4,93584	MJ/m²	174,75	MJ/m²	39,3984	MJ/m²	280,8	MJ/m²	0,3228	MJ/m²	915,37704	MJ/m²
	Quelle GWP_{100}	Ökobau.dat Datensatz 1.3.13 Gipskartonplatte		Ökobau.dat Datensatz 3.2.4 OSB (Durchschnitt)		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)		Ökobau.dat Datensatz 3.2.7 MDF - Egger		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 5.6.2 Lacksysteme Holzfas. (Lasursystem)			
	GWP_{100}	2,21	kg_{CO2}/m^2	-903	kg_{CO2}/m^3	-818	kg_{CO2}/m^3	68,8	kg_{CO2}/m^3	-504	kg_{CO2}/m^3	-818	kg_{CO2}/m^3	-818	kg_{CO2}/m^3	3,76	kg_{CO2}/kg		
	GWP_{100}	2,21	kg_{CO2}/m^2	-13,545	kg_{CO2}/m^2	-15,7056	kg_{CO2}/m^2	12,43904	kg_{CO2}/m^2	-7,56	kg_{CO2}/m^2	-2,984064	kg_{CO2}/m^2	-21,268	kg_{CO2}/m^2	1,504	kg_{CO2}/m^2	16,15304	kg_{CO2}/m^2
	Quelle AP	Ökobau.dat Datensatz 1.3.13 Gipskartonplatte		Ökobau.dat Datensatz 3.2.4 OSB (Durchschnitt)		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)		Ökobau.dat Datensatz 3.2.7 MDF - Egger		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz		Ökobau.dat Datensatz 5.6.2 Lacksysteme Holzfas. (Lasursystem)			
	AP	0,00328	kg_{SO2}/m^2	1,058	kg_{SO2}/m^3	0,456	kg_{SO2}/m^3	0,33	kg_{SO2}/m^3	1,72	kg_{SO2}/m^3	0,456	kg_{SO2}/m^3	0,456	kg_{SO2}/m^3	0,00727	kg_{SO2}/kg		
	AP	0,00328	kg_{SO2}/m^2	0,01587	kg_{SO2}/m^2	0,0087552	kg_{SO2}/m^2	0,059664	kg_{SO2}/m^2	0,0258	kg_{SO2}/m^2	0,001663488	kg_{SO2}/m^2	0,011856	kg_{SO2}/m^2	0,002908	kg_{SO2}/m^2	0,129796688	kg_{SO2}/m^2

Nutzungsdauern	Quelle	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Holzbau Schweiz Dr. Klaus Richter (EMPA)
	Bezeichnung	Standard-Bekleidungen (Systeme), Gipskarton-platten (S. 28)	Wandbekleidungen (Systeme) Holzwerkstoff (S. 18)	leichte Holzbauweise mit Bekleidung, Ständerbau-weise (S. 3)	Dämmschicht als Kerndämmung, Glaswolledämm-platten (S. 10)	Wandbekleidungen (Systeme) Holzwerkstoff (S. 18)	Vorsatzschale, hinterlüftet; Unterkonstruktion Holz (S. 17)	Vorsatzschale hinterlüftet, Hartholz behandelt (S. 16)	Haltbarkeit bei direkter Wetter-beanspruchung (Exposition s/w)
	min	30	25	30	30	25	30	30	2
	max	60	40	60	60	40	50	60	4
	Mittel	50	40	50	40	40	35	40	3

Nutzungsphase (80 Jahre)	Bemerkungen	Die Holzschutzlasur muss alle **3 Jahre** erneuert werden. Alle anderen Bauteile müssen nach **40 Jahren** erneuert werden (bei der Unterkonstruktion wird anstatt mit 35 Jahren auch mit 40 Jahren gerechnet).									
	Jahre der Erneuerungen in 80 Jahren	40	40	40	40	40	40	40	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, (39,) 40, 43, 46, 49, 52, 55, 58, 61, 64, 67, 70, 73, 76, 79		
	Anzahl der Erneuerungen in 80 Jahren	1	1	1	1	1	1	1	26 (27)		
	Umweltwirkungen aus Instandsetzung/Erneuerung										
	PEI_{ne}	36,2	MJ/m²	78,15	MJ/m²	98,7648	MJ/m²	167,9632	MJ/m²	130,995	MJ/m²	18,765312	MJ/m²	133,744	MJ/m²	728,936	MJ/m²	1393,518312	MJ/m²
	PEI_e	1,44	MJ/m²	206,37	MJ/m²	207,36	MJ/m²	4,93584	MJ/m²	174,75	MJ/m²	39,3984	MJ/m²	280,8	MJ/m²	8,3928	MJ/m²	923,44704	MJ/m²
	GWP_{100}	2,21	kg_{CO2}/m^2	-13,545	kg_{CO2}/m^2	-15,7056	kg_{CO2}/m^2	12,43904	kg_{CO2}/m^2	-7,56	kg_{CO2}/m^2	-2,984064	kg_{CO2}/m^2	-21,268	kg_{CO2}/m^2	39,104	kg_{CO2}/m^2	53,75304	kg_{CO2}/m^2
	AP	0,00328	kg_{SO2}/m^2	0,01587	kg_{SO2}/m^2	0,0087552	kg_{SO2}/m^2	0,059664	kg_{SO2}/m^2	0,0258	kg_{SO2}/m^2	0,001663488	kg_{SO2}/m^2	0,011856	kg_{SO2}/m^2	0,075608	kg_{SO2}/m^2	0,202496688	kg_{SO2}/m^2
	Umweltwirkungen aus Betrieb										
	PEI_{ne}										10425,085	MJ/m²
	PEI_e										17,25502	MJ/m²
	GWP_{100}										328,86916	kg_{CO2}/m^2
	AP										0,1805672	kg_{SO2}/m^2
	Umweltwirkungen Nutzungsphase gesamt (Instandsetzung/Erneuerung + Betrieb)										
	PEI_{ne}										11818,603	MJ/m²
	PEI_e										940,70206	MJ/m²
	GWP_{100}										382,62220	kg_{CO2}/m^2
	AP										0,3830638	kg_{SO2}/m^2

Variante Faserzementplatte

Variante Faserzementplatte

Holzständerkonstruktion d/b = 20/6 cm, Achsabstand a = 62,5 cm
Lattung und Konterlattung => Annahme a = 62,5 => Flächenanteil 0,096

Berechnung der Umnweltwirkungen für 1m²

		Gipskartonplatte	OSB-Platte	Ständer (Konstruktions-vollholz)	Dämmung (Mineralwolle)	MDF	Konterlattung	Traglattung	Faserzementplatte	Summe pro m2
	d [m]	0,0125 m	0,015 m	0,2 m	0,2 m	0,015 m	0,038 m	0,038 m	0,008 m	
	Flächenanteil	1 --	1 --	0,096 --	0,904 --	1 --	0,096 --	0,096 --	1 --	
	Rohdichte [kg/m³]	10 kg/m³	619 kg/m³	529 kg/m³	46 kg/m³	720 kg/m³	529 kg/m³	529 kg/m³	1700 kg/m³	
Herstellungsphase	Quelle PEI_{ne}	Ökobau.dat Datensatz 1.3.13 Gipskartonplatte	Ökobau.dat Datensatz 3.2.4 OSB (Durchschnitt)	Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz	Ökobau.dat Datensatz 2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	Ökobau.dat Datensatz 3.2.7 MDF - Egger	Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz	Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz	Ökobau.dat Datensatz 1.3.12 Faserzementplatte Eterplan-Eternit	
	PEI_{ne}	36,2 MJ/m² (b	5210 MJ/m³	5144 MJ/m³	929 MJ/m³	8733 MJ/m³	5144 MJ/m³	5144 MJ/m³	9,78 MJ/kg	
	PEI_{ne}	36,2 MJ/m²	78,15 MJ/m²	98,7648 MJ/m²	167,9632 MJ/m²	130,995 MJ/m²	18,765312 MJ/m²	18,765312 MJ/m²	133,008 MJ/m²	682,611624 MJ/m²
	Quelle PEI_e	Ökobau.dat Datensatz 1.3.13 Gipskartonplatte	Ökobau.dat Datensatz 3.2.4 OSB (Durchschnitt)	Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz	Ökobau.dat Datensatz 2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	Ökobau.dat Datensatz 3.2.7 MDF - Egger	Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz	Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz	Ökobau.dat Datensatz 1.3.12 Faserzementplatte Eterplan-Eternit	
	PEI_e	1,44 MJ/m² (b	13758 MJ/m³	10800 MJ/m³	27,3 MJ/m³	11650 MJ/m³	10800 MJ/m³	10800 MJ/m³	3,89 MJ/kg	
	PEI_e	1,44 MJ/m²	206,37 MJ/m²	207,36 MJ/m²	4,93584 MJ/m²	174,75 MJ/m²	39,3984 MJ/m²	39,3984 MJ/m²	52,904 MJ/m²	726,55664 MJ/m²
	Quelle GWP_{100}	Ökobau.dat Datensatz 1.3.13 Gipskartonplatte	Ökobau.dat Datensatz 3.2.4 OSB (Durchschnitt)	Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz	Ökobau.dat Datensatz 2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	Ökobau.dat Datensatz 3.2.7 MDF - Egger	Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz	Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz	Ökobau.dat Datensatz 1.3.12 Faserzementplatte Eterplan-Eternit	
	GWP_{100}	2,21 kg_{CO2}/m^2	-903 kg_{CO2}/m^3	-818 kg_{CO2}/m^3	68,8 kg_{CO2}/m^3	-504 kg_{CO2}/m^3	-818 kg_{CO2}/m^3	-818 kg_{CO2}/m^3	0,746 kg_{CO2}/kg	
	GWP_{100}	2,21 kg_{CO2}/m^2	-13,545 kg_{CO2}/m^2	-15,7056 kg_{CO2}/m^2	12,43904 kg_{CO2}/m^2	-7,56 kg_{CO2}/m^2	-2,984064 kg_{CO2}/m^2	-2,984064 kg_{CO2}/m^2	10,1456 kg_{CO2}/m^2	24,79464 kg_{CO2}/m^2
	Quelle AP	Ökobau.dat Datensatz 1.3.13 Gipskartonplatte	Ökobau.dat Datensatz 3.2.4 OSB (Durchschnitt)	Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz	Ökobau.dat Datensatz 2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	Ökobau.dat Datensatz 3.2.7 MDF - Egger	Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz	Ökobau.dat Datensatz 3.1.2 Konstruktionsvollholz	Ökobau.dat Datensatz 1.3.12 Faserzementplatte Eterplan-Eternit	
	AP	0,00328 kg_{SO2}/m^2	1,058 kg_{SO2}/m^3	0,456 kg_{SO2}/m^3	0,33 kg_{SO2}/m^3	1,72 kg_{SO2}/m^3	0,456 kg_{SO2}/m^3	0,456 kg_{SO2}/m^3	0,00256 kg_{SO2}/kg	
	AP	0,00328 kg_{SO2}/m^2	0,01587 kg_{SO2}/m^2	0,0087552 kg_{SO2}/m^2	0,059664 kg_{SO2}/m^2	0,0258 kg_{SO2}/m^2	0,001663488 kg_{SO2}/m^2	0,001663488 kg_{SO2}/m^2	0,034816 kg_{SO2}/m^2	0,151512176 kg_{SO2}/m^2

Nutzungsdauern	Quelle	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)	Nutzungsdauer-angaben (Entwurf BBSR Endfassung vom 20.10.2009)
	Bezeichnung	Standard-Bekleidungen (Systeme), Gipskarton-platten (S. 28)	Wandbekleidungen (Systeme) Holzwerkstoff (S. 18)	leichte Holzbauweise mit Bekleidung, Ständerbau-weise (S. 3)	Dämmschicht als Kerndämmung, Glaswolledämm-platten (S. 10)	Wandbekleidungen (Systeme) Holzwerkstoff (S. 18)	Vorsatzschale, hinterlüftet; Unterkonstruktion Holz (S. 17)	Vorsatzschale, hinterlüftet; Unterkonstruktion Holz (S. 17)	Vorsatzschale, hinterlüftet, Faserzement (S. 16)
	min	30	25	30	30	25	30	30	30
	max	60	40	60	60	40	50	50	60
	Mittel	50	40	50	40	40	35	35	40

Nutzungsphase (80 Jahre)	Bemerkungen	Alle Bauteilschichten müssen nach **40 Jahren** erneuert werden (bei der Lattung wird anstatt mit 35 Jahren auch mit 40 Jahren gerechnet!).								
	Jahre der Erneuerungen in 80 Jahren	40	40	40	40	40	40	40	40	
	Anzahl der Erneuerungen in 80 Jahren	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Umweltwirkungen aus Instandsetzung/Erneuerung									
	PEI_{ne}	36,2 MJ/m²	78,15 MJ/m²	98,7648 MJ/m²	167,9632 MJ/m²	130,995 MJ/m²	18,765312 MJ/m²	18,765312 MJ/m²	133,008 MJ/m²	682,611624 MJ/m²
	PEI_e	1,44 MJ/m²	206,37 MJ/m²	207,36 MJ/m²	4,93584 MJ/m²	174,75 MJ/m²	39,3984 MJ/m²	39,3984 MJ/m²	52,904 MJ/m²	726,55664 MJ/m²
	GWP_{100}	2,21 kg_{CO2}/m^2	-13,545 kg_{CO2}/m^2	-15,7056 kg_{CO2}/m^2	12,43904 kg_{CO2}/m^2	-7,56 kg_{CO2}/m^2	-2,984064 kg_{CO2}/m^2	-2,984064 kg_{CO2}/m^2	10,1456 kg_{CO2}/m^2	24,79464 kg_{CO2}/m^2
	AP	0,00328 kg_{SO2}/m^2	0,01587 kg_{SO2}/m^2	0,0087552 kg_{SO2}/m^2	0,059664 kg_{SO2}/m^2	0,0258 kg_{SO2}/m^2	0,001663488 kg_{SO2}/m^2	0,001663488 kg_{SO2}/m^2	0,034816 kg_{SO2}/m^2	0,151512176 kg_{SO2}/m^2
	Umweltwirkungen aus Betrieb									
	PEI_{ne}									10425,085 MJ/m²
	PEI_e									17,25502 MJ/m²
	GWP_{100}									328,86916 kg_{CO2}/m^2
	AP									0,1805672 kg_{SO2}/m^2
	Umweltwirkungen Nutzungsphase gesamt (Instandsetzung/Erneuerung + Betrieb)									
	PEI_{ne}									11107,697 MJ/m²
	PEI_e									743,81166 MJ/m²
	GWP_{100}									353,66380 kg_{CO2}/m^2
	AP									0,3320793 kg_{SO2}/m^2

Betriebsphase

Betriebsphase

Kesselart	Gas-Brennwertkessel
Wirkungsgrad η	80%

Abschätzung des Jahresheizwärmebedarfs		
$Q_h = F_{Gt} * U_{AW} * A_{AW}$		
F_{Gt} =	66	(K*(h/a)/(W/kW)
A_{AW} =	1	m2

	U-Werte		Qh		Endenergiebedarf	
Variante PUR	0,21	W/(m²K)	13,86	kWh/a	17,325	kWh/a
Variante WDVS	0,21	W/(m²K)	13,86	kWh/a	17,325	kWh/a
Variante Holzstülp-schalung	0,21	W/(m²K)	13,86	kWh/a	17,325	kWh/a
Variante Faserzement-platte	0,21	W/(m²K)	13,86	kWh/a	17,325	kWh/a

		Umweltwirkungen Nutzung Gas-Brennwertkessel		Umweltwirkungen Aufbereitung/Bereit-stellung Erdgas		Umrechnung Bemerkung		Summe pro m²	
Nutzungsphase 80 Jahre	Quelle PEI_{ne}	Ökobau.dat Nutzung Gas Brennwert 20-120 kW*1)		Probas Aufbereitung\Gas-DE-2010*2)					
	PEI_{ne}	3,85	MJ/kWh	1,02	TJ/TJ	3,6717	MJ/kWh		
	PEI_{ne}	5336,1	MJ/m²	5088,98	MJ/m²	<= pro m² AW, n = 80 a		10425,08	MJ/m²
	Quelle PEI_e	Ökobau.dat Nutzung Gas Brennwert 20-120 kW*1)		Probas Aufbereitung\Gas-DE-2010*2)					
	PEI_e	0,00633	MJ/kWh	0,0017	TJ/TJ	0,0061	MJ/kWh		
	PEI_e	8,77338	MJ/m²	8,481641	MJ/m²	<= pro m² AW, n = 80 a		17,255021	MJ/m²
	Quelle GWP_{100}	Ökobau.dat Nutzung Gas Brennwert 20-120 kW*1)		Probas Aufbereitung\Gas-DE-2010*2)					
	GWP_{100}	0,229	kg_{CO2}/kWh	2300	kg_{CO2}/TJ	0,0083	kg_{CO2}/kWh		
	GWP_{100}	317,394	kg_{CO2}/m^2	11,4752	kg_{CO2}/m^2	<= pro m² AW, n = 80 a		328,8692	kg_{CO2}/m^2
	Quelle AP	Ökobau.dat Nutzung Gas Brennwert 20-120 kW*1)		Probas Aufbereitung\Gas-DE-2010*2)					
	AP	0,000122	kg_{SO2}/kWh	2,3	kg_{SO2}/TJ	0,000008	kg_{SO2}/kWh		
	AP	0,169092	kg_{SO2}/m^2	0,0114752	kg_{SO2}/m^2	<= pro m² AW, n = 80 a		0,1805672	kg_{SO2}/m^2
		*1) Datensatz beinhaltet Erzeugung von 1 kWh thermischer Energie, incl. Hilfsenergiebedarf (außer für Umwälzpumpe)		*2) Datensatz beinhaltet Aufbereitung von Erdgas, Luftemissionen incl. Vorkette (???)					

B.Untersuchung von PUR-Spritzelastomeren

Produktinformation AB-PUR 550

Technische Information

AB-PUR® 550
2-K-PU-Spritzelastomer

Produkt:
2-Komponenten - Polyurethan - Spritzmasse, modifiziert
VOC < 500 g/l, weichmacherfrei, 2-K-Maschinenverarbeitung

Eigenschaften:
- hochreaktiv
- hohe Zugfestigkeit
- hohe Bruchdehnung
- hohe Einreißfestigkeit
- hohe Abriebfestigkeit
- höchste Alterungsbeständigkeit
- tieftemperaturflexibel
- gussasphaltbeständig
- wurzelfest
- hydrolysebeständig
- diffusionsfähig
- mikrobenbeständig

Anwendung:
AB-PUR 550 Spritzelastomer wird als flüssigkeitsundurchlässige, rissüberbrückende Beschichtung auf Beton, Holz, Wellzement, Bitumen und anderen Oberflächen im konstruktiven Hoch- und Tiefbau eingesetzt. Dächer, Gründächer, Verkehrsdächer, erdberührte Bauwerke, Tagtunnels, Terrassen, Balkone, Galerien, Parkhäuser, Tiefgaragendeckel, Staumauern, Grundmauern, Schächte, Wannen usw. werden gleichmäßig, oberflächenfolgend, fugenlos und rissüberbrückend gegen eine Vielzahl von Chemikalien, Schadstoffen und Wasser zuverlässig und dauerhaft geschützt. Die vollflächige Haftfestigkeit zum Untergrund verhindert eine Unterläufigkeit, und der nahtlose Anschluss an Ein- und Aufbauten sowie die konstruktive Fugeneinbindung ergeben einen sicheren Schutz für komplexe Konstruktionen.

AB-PUR 550 ist gemäß ZTV-BEL-B 3/95 systemgeprüft.

Verbrauch:
ca. 1 kg/m² bei 1 mm Schichtdicke, Minimum 2 mm.

Beständigkeit:
- Salzwasser / Abwasser
- verdünnte Säuren und Laugen
- temperaturflexibel bis -40°C
- Temperatur trocken 80°C
- Grund- und Oberflächenwasser
- Mineralöle, Dieselkraftstoffe
- Wurzeldurchdringung
- kurzzeitig +250°C (Gussasphalteinbau)

Technische Kennwerte:

Mischungsverhältnis A : B	100 : 78 nach Gewicht 100 : 75 nach Volumen
Dichte (23°C) Teil A / Teil B	ca. 1,04 g/cm³ / ca. 1,09 g/cm³
Volumenfestkörper	ca. 100 %
Viskosität (23°C)	ca. 2000 mPa s ± 300 (Teil A) ca. 2300 mPa s ± 250 (Teil B)
Sd - Wert	< 4 m
Reißzugfestigkeit (DIN 53504)	> 10 N/mm²
Reißdehnung (DIN 53504)	> 300 %
Rissüberbrückung nach ZTV-SIB	IV $_{Tev}$ = dynamisch 0,4 mm / bei -20°C
Riss geöffnet bei 70°C über 1 Woche	min. 1 mm ohne Anriss bei 2 mm Dicke

Daten zur Verarbeitung:

Startzeit	ca. 10 - 15 Sekunden
Objekttemperatur	mindestens 5°C bis maximal 40°C
Maximale relative Luftfeuchtigkeit	85 % (Taupunktabstand +3°C)
Härtung begehbar (5°C / 23°C / 30°C)	10 Minuten / 5 Minuten / 3 Minuten
Überarbeitungszeit	10 Minuten - 4 Stunden
Aushärtung (5°C / 23°C / 30°C)	36 Stunden / 24 Stunden / 24 Stunden
Die Angaben sind im Labor ermittelte Richtwerte und keine Spezifikationen	

Lieferformen:
210 kg - Fass (Teil A)
200 kg - Fass (Teil B)

Farbtöne:
grau, opak (andere Farbtöne auf Anfrage)
- aus rohstoff- und fertigungsbedingten Gründen sind geringe Farbton- / Chargenabweichungen möglich -

Lagerzeit:
6 Monate, kühl und trocken im Originalgebinde bei 15 - 30°C. Temperaturen < 15°C können zur Kristallisation führen. Bitte Rücksprache halten.

Seite 1 von 2

1. Oberflächenvorbereitung
Vor der Beschichtung wird der Untergrund mit geeignetem Verfahren, z. B. Blastrac - Kugelstrahlen, vorbereitet.
Mindestanforderungen:
- frei von Schlämme, Staub, Öl, Fett und haftungsstörenden Substanzen
- saugfähig
- Mindestabreißfestigkeit 1,5 N/mm²
- Betonrestfeuchte max. 6 % (Gew.)

Je nach Beschaffenheit der Unterlage ist der Untergrund durch eine Grundierung und / oder Kratzspachtelung mit **AB-POX 086** oder **AB-POX 010** porenfrei vorzubereiten und leicht mit Quarzsand abzustreuen.
Bituminöse, besandete Dachflächen:
Flächen gründlich mechanisch reinigen. In der Regel kein Primer erforderlich.
PVC: Primer **AB-PUR 095**
PU - Schaum: Primer **AB-PUR 350**
Metalle: Entfernen der Oxidschichten; Haftvermittler **AB-MP 099**
Siehe auch „Allgemeine Vorbereitungs- und Verarbeitungsrichtlinien" der ABP.

2. Verarbeitung
AB-PUR 550 wird mit einer 2-Komponenten - Heißspritzanlage verarbeitet. Bewährt hat sich die kontinuierliche Förderung mittels Zahnradpumpen. Wir empfehlen die Fa. UNIPRE. Auch spezielle Kolbenanlagen sind einsetzbar. Bei Luftzerstäubung muss die zugeführte Luft getrocknet sein (Kältetrockner). Bei Bedarf Komponente A mit einem Fass-Flügelmischer (PPW 3720) aufrühren. Beide Komponenten sollten auf 50°C temperiert werden und sind exakt entsprechend dem Mischungsverhältnis mittels dynamischen, statischen oder Injektionsverfahren zu mischen. Die Applikation erfolgt im Kreuzgang 2 bis 4-lagig, nass in nass. Speziell an senkrechten Flächen oder im Überkopfbereich wird so eine gleichmäßige Schichtdicke erreicht. Vor und während der Beschichtungsarbeiten sind Kontrollfolien anzufertigen. Die Schichtdicke ist statistisch zu kontrollieren, indem kleine Proben innerhalb der ersten Minuten herausgeschnitten und gemessen werden. Die Beschädigungen werden dann sofort nach beschichtet. Spätere Prüfungen werden mit einer Einstichnadel vorgenommen. Bei Unterschichtdicken wird innerhalb von 4 Stunden nachbeschichtet. Bei längerer Standzeit wird der **Reaktionskleber AB-PUR 095** dünn aufgetragen und der jeweilige Bereich überarbeitet. Kleinflächige Fehlstellen werden mit **AB-PUR 564** bearbeitet. Überlappungszonen von Tagesabschnitten werden ebenfalls mit **AB-PUR 095** geprimert und nach ca. 15 Min. bis max. 4 Std. Trockenzeit mit **AB-PUR 550** überarbeitet. Die Überlappung sollte mindestens 15 cm betragen. Vor, während und nach dem Beschichten ist auf den Taupunktabstand (+3°C) zu achten.

3. Systemkomponenten
Die folgenden Angaben gelten für Objekt- und Bodentemperaturen von 15 - 23°C.

Grundierung auf Beton:
AB-POX 086 (gemäß ZTV-BEL-B 3/95) oder
AB-POX 010, transparent
Verbrauch: ca. 0,4 - 0,5 kg/m², leicht abstreuen mit Quarzsand 0,4 - 0,8 mm (ca. 0,5 kg/m²).

Kratzspachtelung auf Beton:
AB-POX 086 (gemäß ZTV-BEL-B 3/95) oder
AB-POX 010 + Quarzsand (Sieblinie)
Verbrauch: ca. 600 g/m² Bindemittel zuzüglich Quarzsand; leicht abstreuen mit Quarzsand 0,4 - 0,8 mm (ca. 0,5 kg/m²).

Haftbrücke zur Abdichtung:
AB-PUR 094 (gemäß ZTV-BEL-B 3/95)
Verbrauch: ca. 80 - 100 g/m².

Grundierung für Industrie - GA:
AB-PUR 375, kieselgrau
Verbrauch: ca. 0,5 - 1,2 kg/m², leicht abstreuen mit Quarzsand 0,4 - 0,8 mm (ca. 1 kg/m²).

Metallprimer:
AB-MP 099, gelbgrün - lasierend
Verbrauch: ca. 60 g/m².

Haftvermittler (Folie zu Folie):
AB-PUR 095, violett - lasierend
Verbrauch: ca. 40 - 80 g/m².

Spritzabdichtung:
AB-PUR 550 (gemäß ZTV-BEL-B 3/95)
Verbrauch: ca. 2 - 4 kg/m² (min. 2 mm).

Einstreu- / Verbindungsschicht:
AB-PUR 351 (gem. ZTV-BEL-B 3/95)
Verbrauch: ca. 1,3 - 2,0 kg/m², abstreuen mit Mandurax 2 - 3 mm (ca. 0,8 kg/m²).

Haftvermittler zum Gussasphalt:
AB-PUR 096 (gemäß ZTV-BEL-B 3/95)
Verbrauch: ca. 100 g/m².

Schutzschicht gemäß ZTV-BEL-B 3/95:
Gussasphalt (gemäß Einbauvorschrift)

UV - Schutz für Dächer:
AB-PUR 750, kieselgrau
Verbrauch: ca. 120 - 200 g/m².

Verschleißschutz:
AB-POX 481, kieselgrau
Verbrauch: ca. 0,7 - 1,0 kg/m².

UV - Verschleißschutz:
AB-PUR 211, kieselgrau
Verbrauch: 2 x ca. 0,4 - 0,5 kg/m².

4. Chemikalienbeständigkeit
- verdünnte Säuren und Laugen
- Wasser / Salzwasser / Abwasser ca. 4 % Aufnahme ohne Änderung der Eigenschaften
- Diesel / Petroleum / Motorenöl Quellung ohne Änderung der Eigenschaften
- 250°C heißer Gussasphalt

5. Lieferformen
210 kg - Fass (Komponente A)
200 kg - Fass (Komponente B)

6. Schutzmaßnahmen
Einatmen der Dämpfe / Spritznebel und Hautkontakt vermeiden. Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung, Schutzhandschuhe, Schutzbrille sowie eine Frischluftmaske tragen. Für gute Raumbelüftung sorgen. Bei Berührung mit der Haut sofort mit viel Wasser und Seife abwaschen. Bei Berührung mit den Augen sofort gründlich mit Wasser ausspülen (Spülflasche aus Apotheke) und einen Arzt konsultieren. Während der Verarbeitung nicht essen, nicht rauchen und nicht mit offener Flamme hantieren. Generell sind die Gefahrenhinweise und Sicherheitsratschläge auf den Gebinden und in den Sicherheitsdatenblättern und die einschlägigen Vorschriften der Berufsgenossenschaften zu beachten und einzuhalten.

7. EU-Verordnung 2004/42 (Decopaint - Richtlinie):
Der in der EU-Verordnung 2004/42 erlaubte maximale Gehalt an VOC (Kategorie A/l / j / Typ Lb) beträgt im gebrauchsfertigen Zustand 500 g/l (Limit 2010). Dieses Produkt erfüllt die EU-Verordnung 2010.

AB-PUR 550; Stand: 09/2011. Unsere Informationen und Hinweise in Wort, Schrift und durch Versuche erfolgen nach bestem Wissen, gelten jedoch als unverbindlich, auch in Bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter. Diese Informationen befreien den Käufer nicht von seiner eigenen Prüfung unserer Hinweise und Produkte auf ihre Eignung für die beabsichtigten Verfahren und Zwecke. Anwendung und Verarbeitung unserer Produkte erfolgen außerhalb unseres Einflusses und liegen daher ausschließlich im Verantwortungsbereich des Verwenders. Der Verkauf unserer Produkte erfolgt nach Maßgabe unserer Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen (AGB).

AB-Polymerchemie GmbH
Tjüchkampstraße 21 - 24
D - 26605 Aurich
Tel.: +49 (0)4941 - 604360
Fax.: +49 (0)4941 - 6043643
info@ab-polymerchemie.de
www.ab-polymerchemie.de

Produktinformation Baytec

Patent: EP 2561138 A1: A polyurethane ballast layer, the method for preparing the same and the use thereof

Bayer MaterialScience

Baytec® Reaktiv eignet sich insbesondere für folgende Anwendungen:

- Herstellung verschleißhemmender Schichten auf einfach profilierten, großflächigen Metallteilen, z. B. Silos, Schüttgutcontainern, Förderrinnen oder Rohren;
- Fertigung wasserundurchlässiger Schichten im Bauwesen;
- Ummantelung geschäumter Chemiewerkstoffe niedriger Rohdichte;
- Herstellung elastischer Formen.

Baytec® Reaktiv hat folgende Verarbeitungsvorteile:

- weichmacher- und lösungsmittelfreie Reaktionskomponenten
- kalt verarbeitbar auf einfachen Dosier- und Mischaggregaten
- Aushärtung bei Raumtemperatur
- Schichtdicken von ca. 2 mm bis zu mehreren cm können in einem Arbeitsgang hergestellt werden
- schnelle Verfestigung des Reaktionsgemisches ermöglicht Beschichtungen auf senkrechten Flächen und über Kopf

Die Beschreibung der folgenden Rohstoffe (Produktspezifikation, Kenndaten), deren Verpackungsart und Lagerbedingungen sowie Hinweise zu Schutzmaßnahmen bei der Handhabung der Produkte sind separaten Merkblättern zu entnehmen:

Baytec® Versuchsprodukt PU 0306

Baytec® Versuchsprodukt PU 0310

Baytec® Versuchsprodukt PU 0357

Desmodur® Versuchsprodukt PU 0309

2 Verarbeitung

Baytec® VP.PU 0306 bzw. VP.PU 0310 oder VP.PU 0357 und Desmodur® VP.PU 0309 können wegen der hohen Umsetzungsgeschwindigkeit nur maschinell verarbeitet werden.

Bei der Sprühverarbeitung müssen die Ausführenden eine Schutzmaske (vorzugsweise mit Frischluftzufuhr) tragen. Weitere Hinweise zu Schutzmaßnahmen sind den Produktmerkblättern zu entnehmen.

2.1 Maschinelle Ausrüstung

Zur Verarbeitung der Rohstoffe haben sich nach unseren bisherigen Erfahrungen Niederdruckgießmaschinen am besten bewährt, die mit Zahnradpumpen und dynamischen oder statischen Mischern ausgerüstet sind. Zur Sprühverarbeitung können beide Mischertypen verwendet werden, wobei zusätzlich trockene Druckluft in die Sprühdüse eingeleitet wird. Spezielle Hochdruckmaschinen sind ebenfalls verwendbar. In diesem Fall ist jedoch ein erhöhter technischer Aufwand erforderlich.

Da die Qualität des Baytec® Reaktiv wesentlich von der Vermischung der Ausgangskomponenten abhängt, müssen die Mischer sorgfältig gewartet werden.

2.2 Rezepturen und Verarbeitungsbedingungen

Produkt	Gewichtsteile			Volumenteile bei 20 °C		
Baytec® VP.PU 0306	100	-	-	100	-	-
Baytec® VP.PU 0310	-	100	-	-	100	-
Baytec® VP.PU 0357	-	-	100	-	-	100
Desmodur® VP.PU 0309	77	37	130	74	74	104

Bild 1

Die Systeme lassen sich bei Umgebungstemperaturen von + 8 °C bis 50 °C sicher verarbeiten. Die Verarbeitungstemperaturen der Rohstoffe sind abhängig vom verwendeten Maschinen- bzw. Mischertyp und betragen bei einer

- Niederdruckmaschine mit dynamischem Mischer ca. 20 - 50 °C
- Niederdruckmaschine mit statischem Mischer ca. 45 - 60 °C
- Hochdruckmaschine mit Injektionsgegenstrom-Mischer ca. 60 - 80 °C

10 - 15 Sekunden - bzw. 5 - 10 Sekunden bei Baytec VP.PU 0357 - nach Vermischung der Komponenten tritt eine wachsartige Verfestigung des Reaktionsgemisches ein, die nach ca. 20 Minuten in den elastischen Zustand übergeht. (So ist z. B. eine Beschichtung auf festem Untergrund bei RT nach ca. 20 Minuten vorsichtig begehbar). Seine endgültigen Eigenschaften erreicht das Elastomer bei Raumtemperatur nach ca. 3 Tagen. Ein Nachtempern des Elastomers ist nicht erforderlich.

Seite 3 von 14
Datei-Nr.: PU22602-0705 de
Ausgabe 2007-05-23

Baytec® Spray
Technische Information

b) Stahluntergrund

Zur Vorbehandlung sollte der Untergrund entfettet, gestrahlt und staubfrei sein.

Folgende Formulierungen haben sich als Haftgrund bewährt:

40 Gew.-Tle. Desmodur® E 21
40 Gew.-Tle. Desmodur® E 23
20 Gew.-Tle. Solvesso® 100 oder Shellsol® A

oder

Rudol Haftvermittler P 438 I/Vernetzer V 438 II* als verdünnte Lösung

Die empfohlene Auftragsmenge beträgt 80 – 120 g/m².

Zwischen Stahl und Baytec® Reaktiv können Haftfestigkeiten** von mehr als 80 N/cm erreicht werden, wenn die genannten Haftvermittler verwendet werden und die Stahlfläche sachgerecht vorbehandelt wird. Hinweise hierzu gibt der Lieferant des Haftvermittlers.

c) andere Substrate

Andere Substrate, wie z. B. GF-UP, Schaumstoffe und Aluminium, werden ebenfalls mit Baytec® Reaktiv beschichtet.

Verzinkter Stahl sollte mit Lösungsmittel abgewaschen oder einfach gedampfstrahlt werden. Andere Kunststoffe sollten mit Alkohol abgewaschen werden und and der Oberfläche leicht aufgerauht werden. Bei der Vielzahl möglicher Anwendungen und der damit verbundenen wechselnden Forderungen an die Beschichtung ist es notwendig, daß der Anwender durch Versuche ermittelt, welcher Haftvermittler für seine Zwecke optimal ist.

2.3.2 Überschichtung von Baytec® Reaktiv

Unmittelbar nacheinander aufgebrachte Elastomerschichten gehen eine feste Verbindung ein, die der Eigenfestigkeit des Materials entspricht.

Soll ein bereits weitgehend ausreagierter, mehr als zwei Stunden alter Elastomerbelag überschichtet werden, so muß zusätzlich ein Haftvermittler auf die saubere Oberfläche aufgetragen werden. Nach unseren bisherigen Erfahrungen (Kurzzeittests) ist der Rudol Haftvermittler P 438 I/Vernetzer V 438 II brauchbar.

Um eine gute Verbindung zwischen einer mehr als 3 Tage alten und einer neuen Beschichtung zu erzielen, muß der bestehende Elastomerbelag zunächst aufgerauht, gesäubert und mit einem Lösungsmittel abgewaschen werden. Nach ca. 15 Minuten wird der Haftvermittler dünn (100 - 150 g/m²) aufgetragen. Sobald der Haftvermittler nahezu klebfrei ist, erfolgt die Überschichtung mit Baytec® Reaktiv, die innerhalb von ca. 6 Stunden abgeschlossen sein muß. Die Ablüftzeit des Haftvermittlers beträgt bei 20 °C und 60 % relativer Feuchte ca. 2 Stunden. Weitere Einzelheiten sind dem Merkblatt des Lieferanten zu entnehmen. Die so erzielte Verbindung erreicht in etwa die Festigkeit des Elastomers.

Allgemeiner Hinweis

Es empfiehlt sich, den Versiegelungs- und Haftungseffekt durch einen Vorversuch zu prüfen. Bei allen Beschichtungsarbeiten ist zu beachten, daß die Substrattemperatur mindestens 3 °C (bei Metall 5 °C) über dem Taupunkt liegt. Der Taupunkt kann aus Tabelle 2 ermittelt werden.

3 Elastomer-Eigenschaften

3.1 Mechanische Eigenschaften

Eigenschaften			Reaktivsysteme	
			PU 0306 bzw. PU 310; PU 0309	PU 0357; PU 0309
Dichte	DIN EN ISO 845	g/cm³	ca. 0,9	ca. 0,9
Shore Härte A	DIN 53505	ShA	73	80
> 100 % Dehnung	DIN 53504	MPa	4	5
> 300 % Dehnung	DIN 53504	MPa	7	10
Reißfestigkeit	DIN 53504	MPa	10	15
Reißdehnung	DIN 53504	%	350	200
Weiterreißwiderstand	DIN ISO 34-1	kN/m	13	24
Elastizität	DIN 53512	%	45	35
Abrieb	DIN 53516	mm³	180	120

Bild 3

*Lieferant: Rudol-Fabrik Hermann Hagemeier, Süther-Str. 172, D-50321 Brühl
**Die Trennkraft ist auch von der Beschichtungsdicke abhängig.

3.2 Verhalten bei niedrigen und hohen Temperaturen

Aus dem Verlauf des Schubmoduls (Bild 2 und 3) ist ersichtlich, daß Baytec® Reaktiv von Raumtemperatur ausgehend

- nach tieferen Temperaturen hin steifer wird und erst unterhalb von ca. - 40 °C (Glasübergangstemperatur) allmählich seine Elastomereigenschaften verliert;
- mit steigender Temperatur bis ca. 100 °C einen nahezu konstanten Modul hat.

Obwohl Baytec® Reaktiv kurzzeitigen Belastungen (2 - 3 Minuten) bis zu 200 °C standhält, sollte unter Dauerlast eine Temperatur von 80 °C (in trockener Umgebung) nicht überschritten werden.

Für Anwendungen in wäßriger Umgebung ist die maximal zulässige Gebrauchstemperatur in Vorversuchen zu ermitteln. Der lineare Ausdehnungskoeffizient ist über einen Temperaturbereich von - 40 °C bis + 160 °C konstant und beträgt bei einem gesprühten Baytec® (Dichte 0,9 g/cm³) = 182×10^{-6}/°C.

3.3 Permeationswerte und Wasseraufnahme (Einzelwerte)

3.3.1 Wasserdampfdurchlässigkeit (DIN 53122)

Ca. 19 g/m² pro Tag gemessen an einer ca. 2,7 mm dicken Folie aus Baytec® VP.PU 0308 / VP.PU 0309 bei 20 °C und 85 % relativer Feuchte.

3.3.2 Wasserdampfdurchlässigkeit DIN EN ISO 12572

μ = 486, s_d = 1,0 m gemessen an einer 2,1 mm dicken Folie aus Baytec® VP.PU 0310 / VP.PU 0309

3.3.3 CO_2 - Durchlässigkeit (Engelfried)

μ = 64000, s_d = 135,0 m gemessen an einer 2,1 mm dicken Folie aus Baytec® VP.PU 0310 / VP.PU 0309

3.3.4 Wasseraufnahmekoeffizient (DIN 52617E)

$w = 7{,}6 \times 10^{-3}$ kg/m²h^{0,5} gemessen an einer 2,1 mm dicken Folie aus Baytec® VP.PU 0310 / VP.PU 0309

3.3.5 Wasserundurchlässigkeit (DIN 1048)

Elastomere aus Baytec® VP.PU 0310 / VP.PU 0309 sind wasserundurchlässig, sowohl bei normgemäßer als auch erhöhter (72 h, 7 bar) Beanspruchung.

3.4 Chemische Eigenschaften

Baytec® Reaktiv hat eine gute Hydrolyse- und Alterungsbeständigkeit und ist weitgehend resistent gegen Mikroorganismen. Verdünnte Säuren und Laugen greifen das Material bei Raumtemperatur nur wenig an. Organische Lösungsmittel können in unterschiedlichem Maße quellend wirken. Ein Dauerkontakt mit solchen Medien sollte daher vermieden werden. Aliphatische Kohlenwasserstoffe und viele Schmieröle quellen nur wenig an. Die Verträglichkeit dieser Stoffe und anderer Chemikalien mit der PUR-Beschichtung sollte bei vorgesehenem Dauerkontakt jeweils vorher geprüft werden (Einzelwerte siehe Tabelle 1).

Bild 4 zeigt die Änderung der mechanischen Eigenschaften von Baytec® Reaktiv nach Lagerung in Wasser bei 80 °C.

3.5 Verhalten unter Lichteinwirkung

Langzeitige, intensive Sonneneinstrahlung wirkt erosiv auf Baytec® Reaktiv. Für Anwendungen, bei denen mit starker UV-Einwirkung zu rechnen ist, empfiehlt es sich daher, Baytec® VP.PU 0310 oder PU 0357 anstelle von Baytec® VP.PU 0308 zu verwenden, da diese Produkte eine bessere UV-Beständigkeit aufweisen.

Baytec® Reaktiv ist nicht lichtecht und verändert daher seine Farbe unter Lichteinwirkung. Durch Mitverwendung geeigneter Farbpasten wird eine Verfärbung vermindert. Daneben besteht auch die Möglichkeit, einen lichtechten Decklack aufzubringen.

3.6 Brandverhalten (DIN 4102/Teil 1)

Baytec® Reaktiv erfüllt die Anforderungen der Klasse B 2 (normalentflammbar) und gilt als nicht brennend abfallend.

BASF
The Chemical Company

CONIPUR M 803 FL

2K-PUR-Spritzabdichtung (maschinelle Verarbeitung), lösemittelfrei, flammgeschützt, hochelastisch, hochreaktiv und schnell härtend, für Flachdachabdichtungen nach ETAG 005

Materialbeschreibung

CONIPUR M 803 FL ist ein maschinell zu applizierendes, schwer entflammbares, lösemittelfreies, 2K-Polyurethanabdichtungssystem. CONIPUR M 803 FL ist hochreaktiv und wird ausschließlich mit 2-K-Dosieranlagen im Heißspritzverfahren verarbeitet. CONIPUR 803 FL ist beständig gegen Flugfeuer und strahlende Wärme gemäß DIN 4102 Teil 7, erreicht die Klassifizierung B2 getestet nach DIN 4102, Teil 1 sowie die Klasse B_{roof}T1) nach EN 13501-5.

Anwendungsbereiche

CONIPUR M 803 FL bildet zusammen mit der Versiegelung CONIPUR TC 459 das Dachabdichtungssystem CONIROOF 2103 (ETA 04/0035). CONIPUR M 803 FL wird für Dachapplikationen empfohlen, bei denen Anforderungen an den Brandschutz bestehen. In der Regel sind dies Abdichtungen auf z. B. Warmdächern.

CONIPUR M 803 FL zeigt ein hervorragendes Haftvermögen auf Asphaltuntergründen. Der passende Primer bringt beste Haftung auf Tragschichten im Dachbereich wie Beton, Faserzementplatten, Holz, Aluminium, galvanisiertem Stahl, (PVC auf Anfrage) etc.

Eigenschaften und Vorteile

- hochreaktiv und schnell härtend
- vollflächiger Verbund zum Untergrund
- Applikation auf vertikalen Untergründen im Sprühverfahren
- fugenlos, keine Stöße und Schweißnähte
- vollflächig haftend
- schwer entflammbar
- hohe Wasserdampfdurchlässigkeit - geringes Risiko der Blasenbildung
- ausgezeichnete mechanische Eigenschaften
- hohe Rissüberbrückungsfähigkeit
- durchschlagfest (z. B. Hagelschlag)
- wasserundurchlässig
- Duroplast - keine Erweichung bei erhöhten Temperaturen
- kälteelastisch bei niedrigen Temperaturen T_g bis -45 °C
- lösemittelfrei
- halogenfrei

Verarbeitungshinweise

Der Auftrag von CONIPUR M 803 FL erfolgt ausschließlich im Heißspritzverfahren auf den vorbereiteten, grundierten oder geprimerten Untergrund. Die Maschinenwahl und Maschinentechnik richtet sich nach der Größe und der Art der zu beschichtenden Fläche. Für Beratung bitten wir um Rücksprache mit unserem Technischen Service.

CONIPUR M 803 FL wird nur auf vorbereitete Untergründe appliziert. CONIPUR M 803 FL wird in getrennten Einheiten: Komponente A = Harz (weiß), Komponente B = Härter (schwarz) angeliefert. Dies führt zu einem einheitlich grauen Spritzmaterial und gibt dem Verarbeiter die Möglichkeit der visuellen Kontrolle über den Mischprozess, da Maschinenfehler sofort sichtbar werden. Somit können wertvolle Reinigungszeit und Materialverschwendung reduziert werden. Auf Grund der hohen Reaktivität des Materials ist es möglich, die Schichtdicke von 1,0 bis > 6 mm schnell aufzubauen.

Performance Flooring Deutschland – Österreich – Schweiz
BASF Construction Chemicals Europe AG, CH-8207 Schaffhausen, Industriestrasse 26, Tel: +41 58 958 2551, Fax: +41 58 958 3621
BASF Bautechnik GmbH, D-83308 Trostberg, Dr.-Albert-Frank-Straße 32, Tel: +49 8621 863 700, Fax: +49 8621 863 703

Technische Daten*

Mischungsverhältnis A : B			Gew.-T. Vol.-T.	100 : 70 100 : 73
Dichte	Komponente A Komponente B	bei 23 °C bei 23 °C	g/cm³ g/cm³	1,12 1,08
Viskosität	Komponente A Komponente B	bei 23 °C bei 23 °C	mPas mPas	3000 1200
Gel Zeit	(Handgemischt)	bei 23 °C	s	20
Objekt- und Verarbeitungstemperaturen			°C °C	min. 5 max. 40
Max. zulässige rel. Luftfeuchtigkeit			%	max. 85

Nach Aushärtung*

Shore-A-Härte	(gegossen) (im Spritzverfahren)			83 75
Zugfestigkeit		DIN 53504	N/mm²	7,0
Dehnung		DIN 53504	%	500
Weiterreißfestigkeit		DIN 53515	N/mm	18
Wasserdampfdiffusion (μ-Faktor)		DIN EN 7783-1	μ(H2O)	480

* Diese Angaben sind Richtwerte. Die Werte dienen nicht zur Erstellung von Spezifikationen.

Die Arbeitsumgebung sollte vor Sprühnebel geschützt werden. Hierzu eignet sich das Abdecken mittels einer Polyethylenplane oder Papier. Um zu verhindern, dass der Sprühnebel vom Wind fortgetragen wird, sollten geeignete Barrieren errichtet werden. CONIPUR M 803 FL darf nur im Rahmen der vorgeschriebenen Temperatur- und Feuchtigkeitslimits verarbeitet werden. Die Temperatur des Untergrundes muss während der Verarbeitung mindestens 3 K über der Taupunkttemperatur liegen.

Wichtiger Hinweis
Beim Wechsel der Produkte ist es zwingend notwendig, die Maschine komplett zu entleeren, bevor das neue Material eingefüllt werden kann.

Untergrundvorbehandlung

Die gründliche Untergrundvorbehandlung und die Anwendung des geeigneten Primers sind äußerst wichtig. Die zu beschichtenden Flächen müssen fest, trocken, feingriffig und tragfähig sein, frei von Zementleimschichten, losen und mürben Teilen sowie trennend wirkenden Substanzen wie Öl, Fett, Gummiabrieb, Anstrichresten oder Ähnlichem.

Beton und Zementstriche

Beton und andere zementären Untergründe müssen eine Mindesthaftzugfestigkeit von 1,5 N/mm² aufweisen. Zementschlämmen und andere haftungsmindernde Stoffe und Schichten sind mit einem geeigneten Verfahren zu entfernen.

Asphaltuntergründe

Bei Dachabdichtungen muss die Oberfläche durch Hochdruckreinigung mit Wasser gereinigt und anschließend getrocknet werden. Bei mechanisch beanspruchten Flächen muss die Tragfähigkeit des Untergrundes auf

die Anforderungen abgestimmt sein. Die Untergrundvorbereitung sollte z. B. durch Kugelstrahlen erfolgen, so dass mind. 60 % des Stützkorns freigelegt werden. Blasen sind gesondert zu behandeln, bitte kontaktieren Sie unseren Technischen Service.

Bitumenschweißbahnen
CONIPUR M 803 FL wird in Anwendungsbereichen mit Anforderungen an den Brandschutz appliziert. Bitte kontaktieren Sie unseren Technischen Service.

Eisen und Stahl
Eisen und Stahl müssen durch Sandstrahlen oder ein geeignetes Verfahren nach dem Reinheitsgrad Sa 2 1/2 vorbereitet werden und erfordern einen speziellen Haftprimer.

Haftgrundierungen/Haftprimer
Bitte verwenden Sie die nachfolgende Tabelle zur Auswahl des geeigneten Primers:

Untergrund	*Primer*
Bitumenschweißbahn	MASTERTOP P 698
Beton/Zementestrich	MASTERTOP P 617 oder MASTERTOP P 617 FAST
Gussasphalt (mind. AS-IR10)	MASTERTOP P 660 oder MASTERTOP BC 375N
Holz, Holzverbundplatten (evtl. Vorprüfung erforderlich)	MASTERTOP P 660 oder MASTERTOP P 691
GRP/GFK	MASTERTOP P 691
Eisen u. Stahl	MASTERTOP P 681
Nicht Eisenmetalle, Edelstahl	MASTERTOP P 684
Gealterte CONIPUR Abdichtungen	MASTERTOP P 691

In einigen Fällen sind auch andere Primer besser geeignet. Für weitere Details bitten wir Sie unseren technischen Service zu kontaktieren.

Nächste Schicht	Stunden min.			Stunden max.		
	Temperatur [°C]			Temperatur [°C]		
	10	20	30	10	20	30
CONIPUR M 803 FL	sofort			8*	4*	2*
MASTERTOP P 691	4	2	2	14 Tage **		
Versiegelungen	4	3	2	24*	16*	12*

* *Bei Überschreitung der Überarbeitungszeiten oder bei Beaufschlagung von CONIPUR M 803 FL mit Feuchtigkeit durch Regen oder Tau, die Flächen gründlich trocknen und den Primer MASTERTOP P 691 entsprechend den Herstellervorgaben applizieren bevor die Arbeiten weitergeführt werden.*

** *Bei Überschreitung der Überarbeitungszeiten über die 14 Tage hinaus muss CONIPUR M 803 FL sorgfältig gereinigt werden, Staub und angewitterte Bestandteile müssen ggf. durch Lösemittel entfernt werden. Nach Abtrocknung des Lösemittels erfolgt der Auftrag von MASTERTOP P 691 entsprechend den Herstellervorgaben.*

Versiegelungen/UV Schutz
CONIPUR M 803 FL besitzt keine ausreichende UV- und Witterungsstabilität, um in frei bewitterten Bereichen ohne Schutz angewendet zu werden. Angeboten wird eine Vielzahl von Versiegelungen, unter anderem CONIPUR TC 459 für Normalanwendungen und CONIPUR TC 458, welches zum Erreichen einer festen, rutschsicheren Oberfläche mit feuergetrocknetem Quarzsand abgestreut werden kann. Für spezielle Anwendungen können andere Versiegelungen besser geeignet sein, lassen Sie sich von Ihrem Verkaufsberater detailliert informieren.

Verbrauch
Die Mindestschichtstärke von CONIPUR M 803 FL beträgt 2,3 mm. Dies entspricht einem Verbrauch von min. 2,3 kg/m². Detailanschlüsse erfordern eine stärkere Schichtdicke mit einem Verbrauch von 4 kg/m² und mehr.

Reinigung der Werkzeuge
Reinigen Sie die Werkzeuge und Maschinenteile mit Reiniger 40 oder z. B. Solventnaphta. Für die Reinigung der Maschinen selbst bitte die Hinweise des Geräteherstellers beachten.

Verpackung
Komponente A:
220 kg in 200-Liter-Fässern
Komponente B:
220 kg in 200-Liter-Fässern

Performance Flooring Deutschland – Österreich – Schweiz
BASF Construction Chemicals Europe AG, CH-8207 Schaffhausen, Industriestrasse 26, Tel: +41 58 958 2551, Fax: +41 58 958 3621
BASF Bautechnik GmbH, D-83308 Trostberg, Dr.-Albert-Frank-Straße 32, Tel: +49 8621 863 700, Fax: +49 8621 863 703

Farben
CONIPUR M 803 FL ist in folgenden Farbkombinationen lieferbar:
Komponente A (Grau) + Komponente B (Unpigmentiert)

Lagerungsbedingungen
Gut verschlossene Gebinde sind trocken und im Temperaturbereich von 15 - 25 °C zu lagern. Direkte Sonneneinstrahlung und Temperaturunterschreitung sind zu vermeiden. Beachten Sie dazu den Haltbarkeitshinweis auf dem Gebinde.

GISCODE
Deutschland: Gefahrstoff-Informationssystem Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft: GISCODE PU 60

EU-Verordnung 2004/42 (Deco-Paint-Richtlinie)
Das Produkt entspricht der EU-Richtlinie 2004/42/EG und beinhaltet weniger als der maximal VOC-Grenzwert (Stand 2, 2010). Gem. EU-Richtlinie 2004/42 liegt dieser obere Grenzwert für Produkte der Kategorie IIA/j typ sb bei 500 g/l (Grenze: Stand 2, 2010). Der VOC-Gehalt von CONIPUR M 803 FL ist < 500 g/l (verarbeitbares Material).

Physiologisches Verhalten/Schutzmaßnahmen
Im ausgehärteten Zustand ist CONIPUR M 803 FL physiologisch unbedenklich. Bei der Verarbeitung des Materials sind folgende Schutzmaßnahmen erforderlich: Schutzhandschuhe, Schutzbrille und leichte Schutzkleidung tragen.
Einatmen der Dämpfe, Augen- und Hautkontakt vermeiden. Sollte das Material in die Augen gelangen, ist sofort medizinische Hilfe zu holen. Tragen Sie während der Verarbeitung eine Atemschutzmaske. In gut belüfteten Bereichen sollte eine kombinierte Kohlefilter-Partikelfilter-Maske getragen werden. Beim Arbeiten in schlecht belüfteten Bereichen oder in geschlossenen Räumen müssen sowohl vom Verarbeiter als auch vom Assistenten Vollschutzhelme getragen werden. Während der Verarbeitung nicht essen, nicht rauchen und nicht mit offener Flamme arbeiten. Die Hinweise auf besondere Gefahren und die Sicherheitsratschläge sind den Sicherheitsdatenblättern zu entnehmen, ebenso Hinweise zum Transport und zur Entsorgung. Die Vorschriften der Berufsgenossenschaften für den Umgang mit Polyurethanen und Isocyanaten sind zu beachten.

Performance Flooring Deutschland – Österreich – Schweiz
BASF Construction Chemicals Europe AG, CH-8207 Schaffhausen, Industriestrasse 26, Tel: +41 58 958 2551, Fax: +41 58 958 3621
BASF Bautechnik GmbH, D-83308 Trostberg, Dr.-Albert-Frank-Straße 32, Tel: +49 8621 863 700, Fax: +49 8621 863 703

Produktinformation CONIPUR TC 459

BASF
The Chemical Company

CONIPUR TC 459

1K-PUR-Versiegelung, luftfeuchtigkeitshärtend, UV- und witterungsbeständig auf CONIPUR-Abdichtungen

Materialbeschreibung

CONIPUR TC 459 ist eine pigmentierte 1K-Versiegelung, lösemittelhaltig, luftfeuchtigkeitshärtend, UV-und witterungsbeständig. Die Zusammensetzung basiert auf einem hochwertigen aliphatischen Prepolymer.

Anwendungsbereiche

CONIPUR TC 459 wird als UV- und witterungsbeständige Versiegelung im Außenbereich auf PUR-Abdichtungen eingesetzt, z. B. auf CONIPUR M 800, M 803 FL und M 860.

Eigenschaften und Vorteile

- ausgezeichnete UV- und Witterungsbeständigkeit
- hochelastisch
- ausgezeichnete Haftung auch bei stehendem Wasser
- 1-komponentig – kein Mischvorgang
- leicht verarbeitbar

Verarbeitungshinweise

CONIPUR TC 459 ist 1-komponentig. Die Temperatur des Materials sollte bei der Verarbeitung zwischen 15 und 25 °C liegen. Lagerungsbedingt können sich die Pigmente im Gebinde absetzen. CONIPUR TC 459 sollte daher vor Gebrauch mit einem langsam laufenden Rührwerk bei ca. 300 U/min gründlich aufgerührt werden. Der Auftrag von CONIPUR TC 459 erfolgt durch Rollen, Spritzen oder Streichen auf den vorbereiteten Untergrund. Es ist wichtig, das Material dünnschichtig aufzutragen und Pfützenbildung vermeiden. Zweckmäßigerweise wird das Material mittels Moosgummischieber im Flutverfahren verteilt und anschließend nachträglich verschlichtet, um einen gleichmäßigen Auftrag zu gewährleisten. Neben der Temperatur von Umgebung und Untergrund ist für die Verarbeitung von CONIPUR TC 459 die Luftfeuchtigkeit von entscheidender Bedeutung. Bei niedriger Luftfeuchtigkeit verzögert sich grundsätzlich die chemische Reaktion; damit verlängern sich auch die Überarbeitbarkeits- und Begehbarkeitszeiten. Bei hohen Luftfeuchten werden die chemischen Reaktionen beschleunigt, so dass sich o. a. Zeiten entsprechend verkürzen. Nach der Applikation ist das Material ca. 8 Stunden vor direkter Wasserbeaufschlagung zu schützen. Innerhalb dieser Zeit kann Wassereinwirkung an der Oberfläche zum Aufschäumen der Versiegelung führen. Die Temperatur der zu beschichtenden Fläche muss mindestens 3 K über der herrschenden Taupunkttemperatur liegen.

Untergrundvorbehandlung

Die zu beschichtenden Flächen müssen fest, trocken, feingriffig und tragfähig sein, frei von losen und mürben Teilen sowie trennend wirkenden Substanzen wie Öl, Fett, Gummiabrieb, Anstrichresten oder Ähnlichem. Die Versiegelung CONIPUR TC 459 wird innerhalb der Überarbeit-

Performance Flooring Deutschland – Österreich – Schweiz
BASF Construction Chemicals Europe AG, CH-8207 Schaffhausen, Industriestrasse 26, Tel: +41 58 958 2551, Fax: +41 58 958 3621
BASF Bautechnik GmbH, D-83308 Trostberg, Dr.-Albert-Frank-Straße 32, Tel: +49 8621 863 700, Fax: +49 8621 863 703

Technische Daten*

Dichte		g/cm³	1,2
Festkörpervolumen	in Volumen	%	58
Viskosität	4 mm DIN cup	s	75
Überarbeitbarkeit/Begehbarkeit	bei 23 °C/50 % r.h.	h d	min. 12 max. 3
Durchgehärtet	bei 23 °C/50 % r.h	d	5
Objekt- und Verarbeitungstemperaturen		°C °C	min. 5 max. 30
Max. zulässige relative Luftfeuchtigkeit	%	min. 40 %	 max. 90

* Diese Angaben sind Richtwerte. Die Werte dienen nicht zur Erstellung von Spezifikationen.

barkeits- und Begehbarkeitszeiten der Beschichtung appliziert.

Verbrauch
0,15 - 0,20 kg/m² je nach Untergrundbeschaffenheit, ggf. zweimaliger Auftrag
Die Angaben in dieser Druckschrift basieren auf unseren derzeitigen Kenntnissen und Erfahrungen und variieren je nach Untergrundbeschaffenheit.

Reinigung der Werkzeuge
Wieder verwendbares Werkzeug kann mit Reiniger 40 oder ähnlichen Produkten, z. B. Solventnaphtha, sofort nach Gebrauch gereinigt werden.

Verpackung
CONIPUR TC 459 wird in 12,5 kg- Gebinden geliefert.

Farben
CONIPUR TC 459 ist in folgenden Standardfarbtönen erhältlich: ca. RAL 1001, 1015, 6021, 7001, 7016, 7023, 7030, 7032, 7035, 7040.

Lagerungsbedingungen
Gut verschlossene Gebinde sind trocken und im Temperaturbereich von 15 bis 25 °C zu lagern. Direkte Sonneneinstrahlung und Temperaturunterschreitung (Kristallisationsgefahr) sind zu vermeiden. Beachten Sie dazu den Haltbarkeitshinweis auf dem Gebinde.

GISCODE
Deutschland: Gefahrstoff-Informationssystem Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft: GISCODE PU 50

EU-Verordnung 2004/42 (Deco-Paint-Richtlinie)
Das Produkt entspricht der EU-Richtlinie 2004/42/EG und beinhaltet weniger als der maximal VOC-Grenzwert (Stand 2, 2010). Gem. EU-Richtlinie 2004/42 liegt dieser obere Grenzwert für Produkte der Kategorie IIA/i bei 500 g/l (Grenze: Stand 2, 2010). Der VOC-Gehalt von CONIPUR TC 459 ist < 500 g/l (verarbeitbares Material).

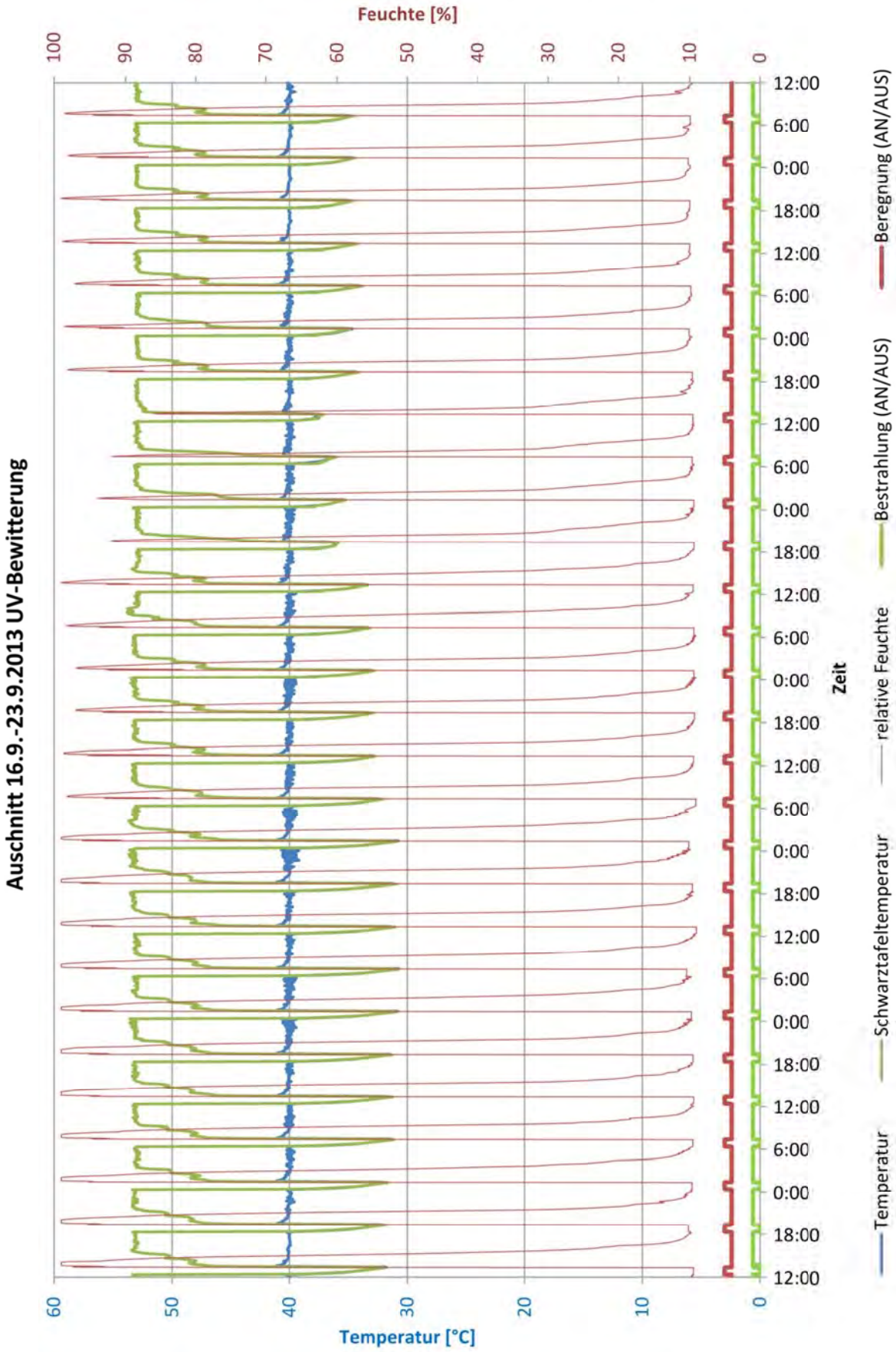
Physiologisches Verhalten/ Schutzmaßnahmen
Im ausgehärteten Zustand ist CONIPUR TC 459 physiologisch unbedenklich. Bei der Verarbeitung des Materials sind folgende Schutzmaßnahmen erforderlich: Schutzhandschuhe, Schutzbrille und Schutzkleidung tragen. Bei direktem Augen- oder Hautkontakt Arzt aufsuchen. Einatmen der Dämpfe vermeiden.

Performance Flooring Deutschland – Österreich – Schweiz
BASF Construction Chemicals Europe AG, CH-8207 Schaffhausen, Industriestrasse 26, Tel: +41 58 958 2551, Fax: +41 58 958 3621
BASF Bautechnik GmbH, D-83308 Trostberg, Dr.-Albert-Frank-Straße 32, Tel: +49 8621 863 700, Fax: +49 8621 863 703

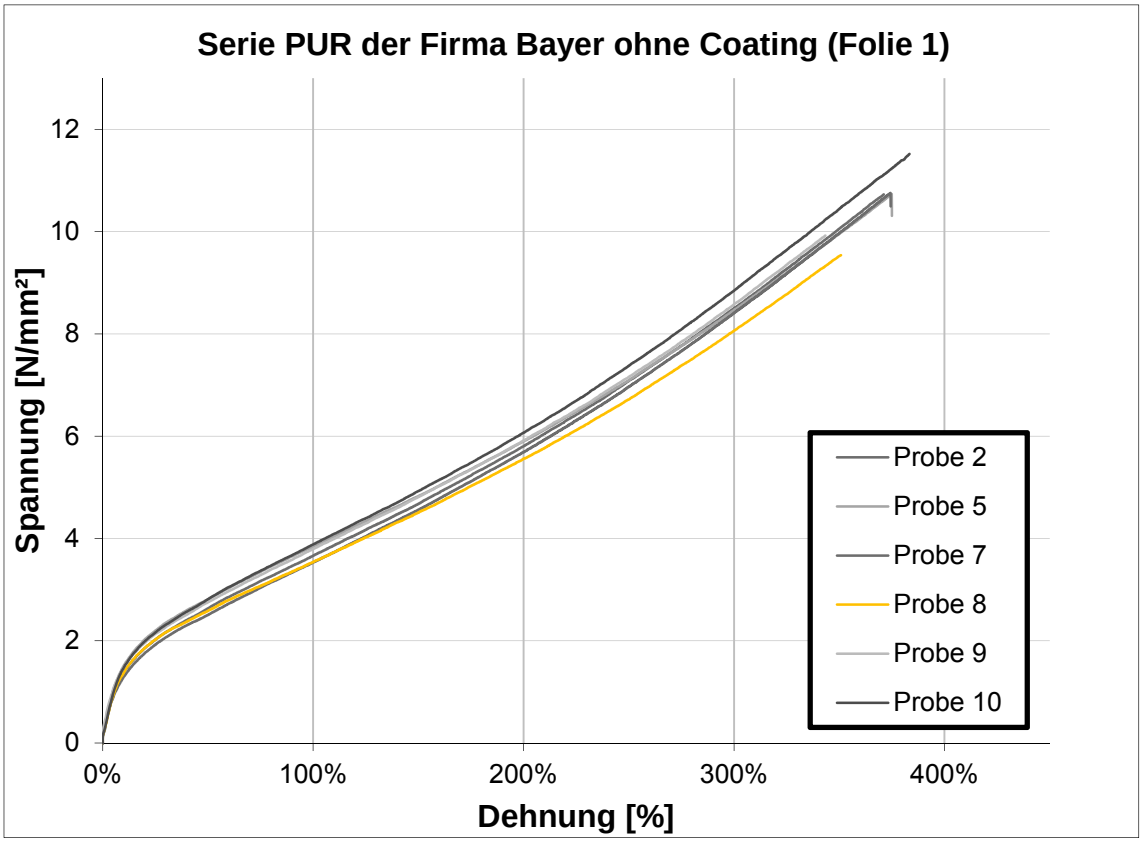
Genauigkeit der Meßgeräte

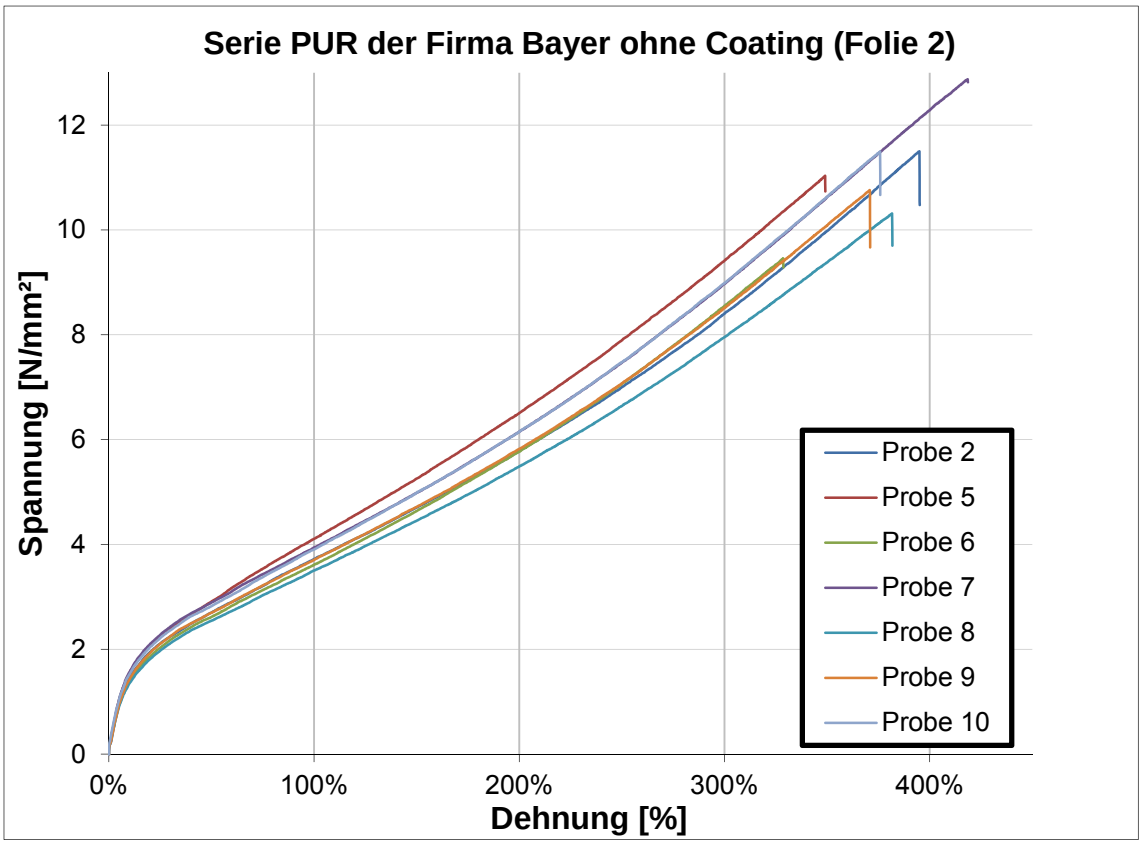
Gerät	Genauigkeit		
Feuchtemessgerät Gann Hydromette RTU 600 einschließlich Rammelektrode M18	bei 8-12% Holzfeuchte eine Genauigkeit von +/- 0,5 %		
Zugprüfmaschine Zwick Z 020	*Anzeigebereich*	*Anwendungsbereich*	*Klasse*
Opt. Wegaufnehmer	20 kN	Von 0,2 bis 20 kN	1
Kraftmessdose 20 kN	20 kN	Von 0,2 bis 20 kN	0,5
Haftzugprüfung F10 D EASY M 2004 Nr. 111139 (Wenningsen GmbH)	Güteklasse 1 ab 1/10 der Höchstlast		
UV-Bewitterung Atlas Sc 1000 Solar Simulator	SolarConstant 4000 MC Leuchte: Gleichmäßigkeit +/- 10%; Lichtstabilität +/- 1%; Lichtstrommodulation +/- 1%		
Wasser- und Wärmealterung Vötsch Ofen dTron 04.1	≤ 0,25% Messgenauigkeit, ≤ 100 ppm/K Umgebungstemperatureinfluss		
Temperatur- und Feuchtesensoren DK 320-Serie Datenlogger HumiLog „rugged“ DK 325-Serie Datenlogger HumiLog „rugged+“ mit Oberflächensensor/-fühler (Driesen und Kern)	Temperatur Sensorgenauigkeit: -40°C bis 0°C: max. 1,7 °C 0°C bis 40°C: +/- 0,5 °C 40°C-70°C: max. 1,2 °C Relative Feuchte: 10-90%rF: +2 %rF Feuchtesensor (intern/extern): 0…100%rF 0,01%rF Temperatur: Temperatursensor (intern): -40…+90°C Auflösung 0,01 K; Temperatursensor (extern): -70…+250°C Auflösung 0,01 K,		
Bewitterungsprüfstand nach ETAG 004	Temperatur: +/- 5°C Rel. Feuchte: +/- 5 %rF		
Schlagregenprüfstand	Wassermenge: +/- 10%. Düsen zur Regenerzeugung: : +/- 3 %		

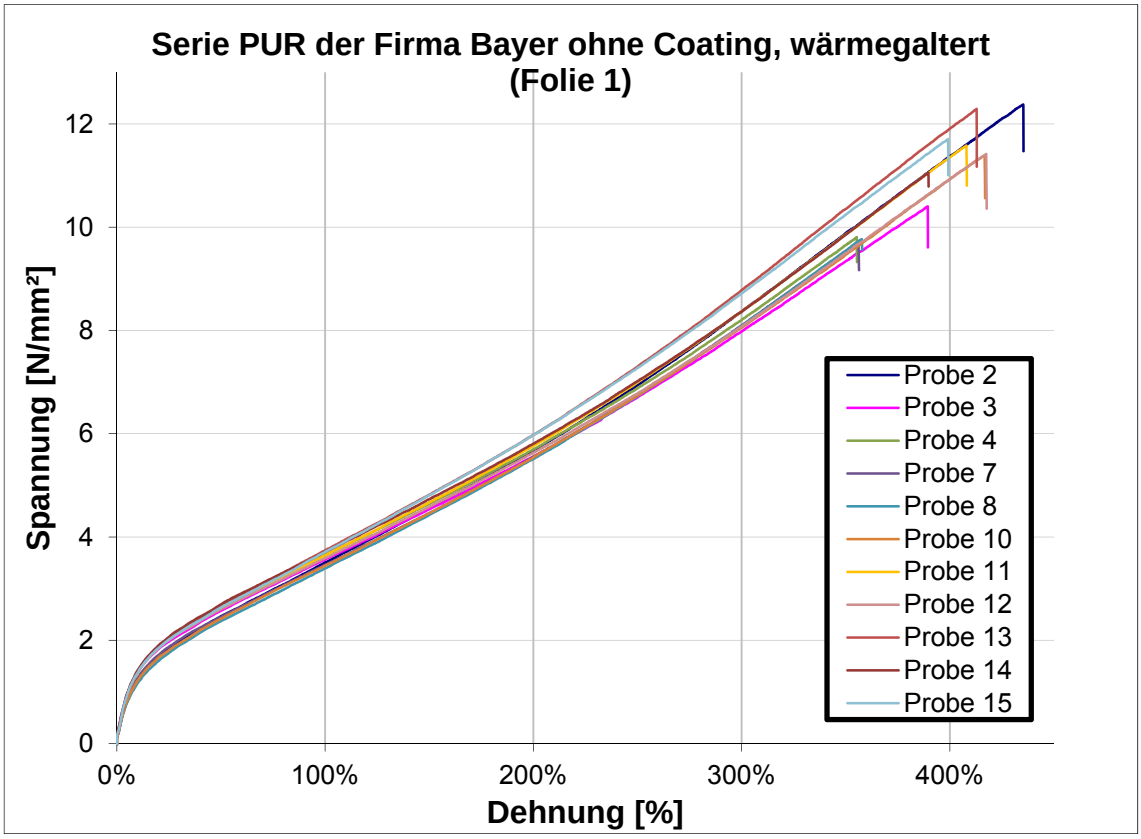
UV-Bewitterung

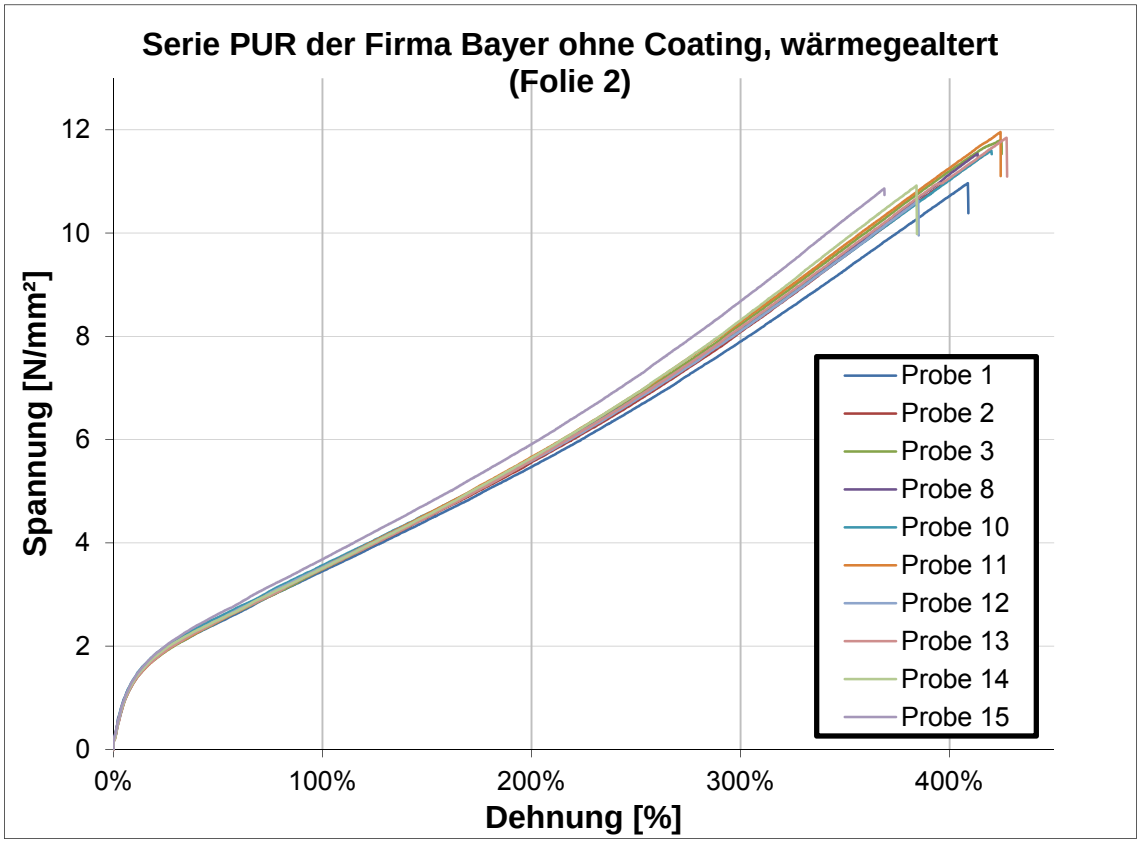


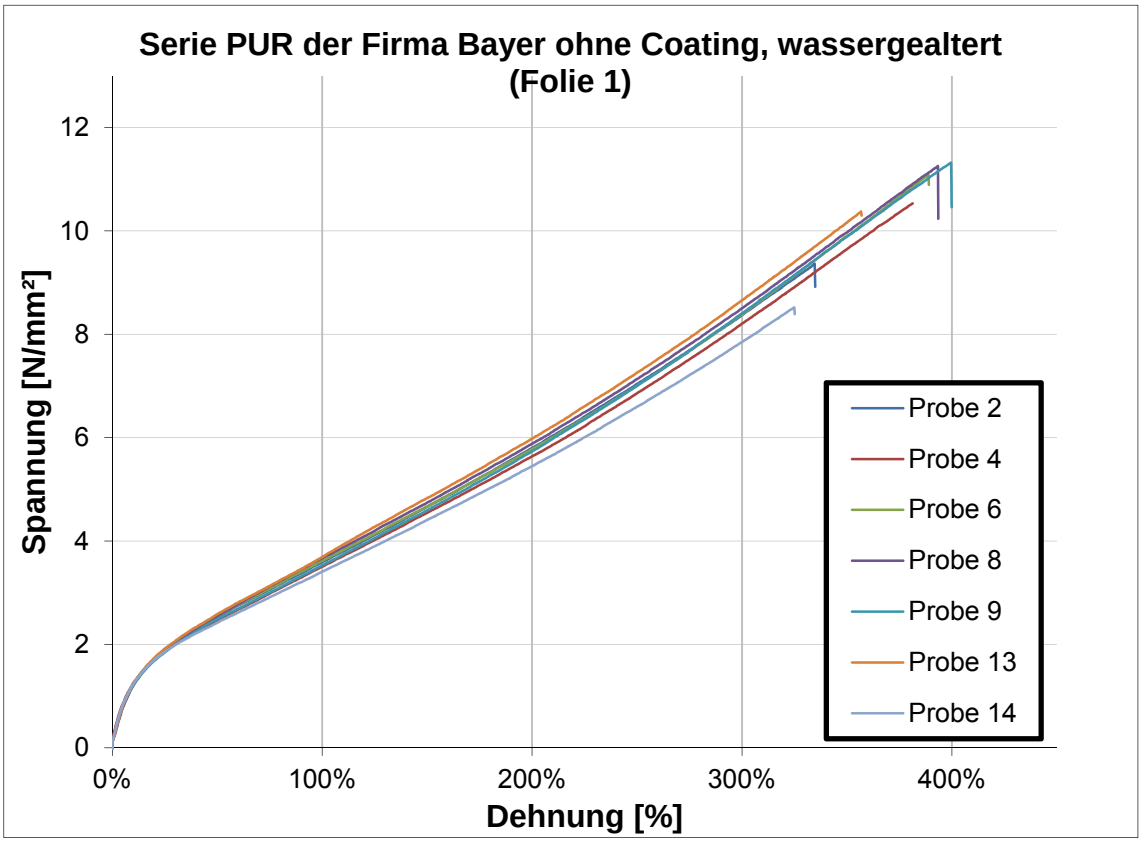
Spannungs-Dehnungs-Diagramme der Zugversuche

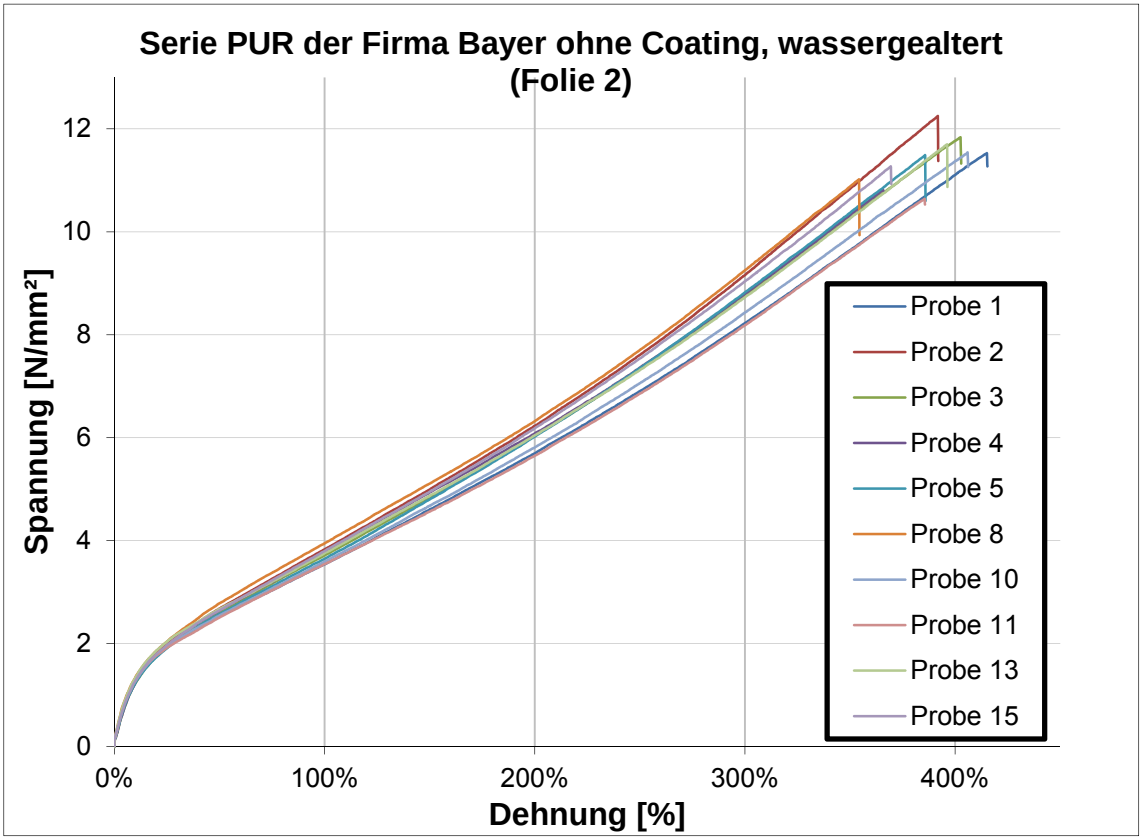


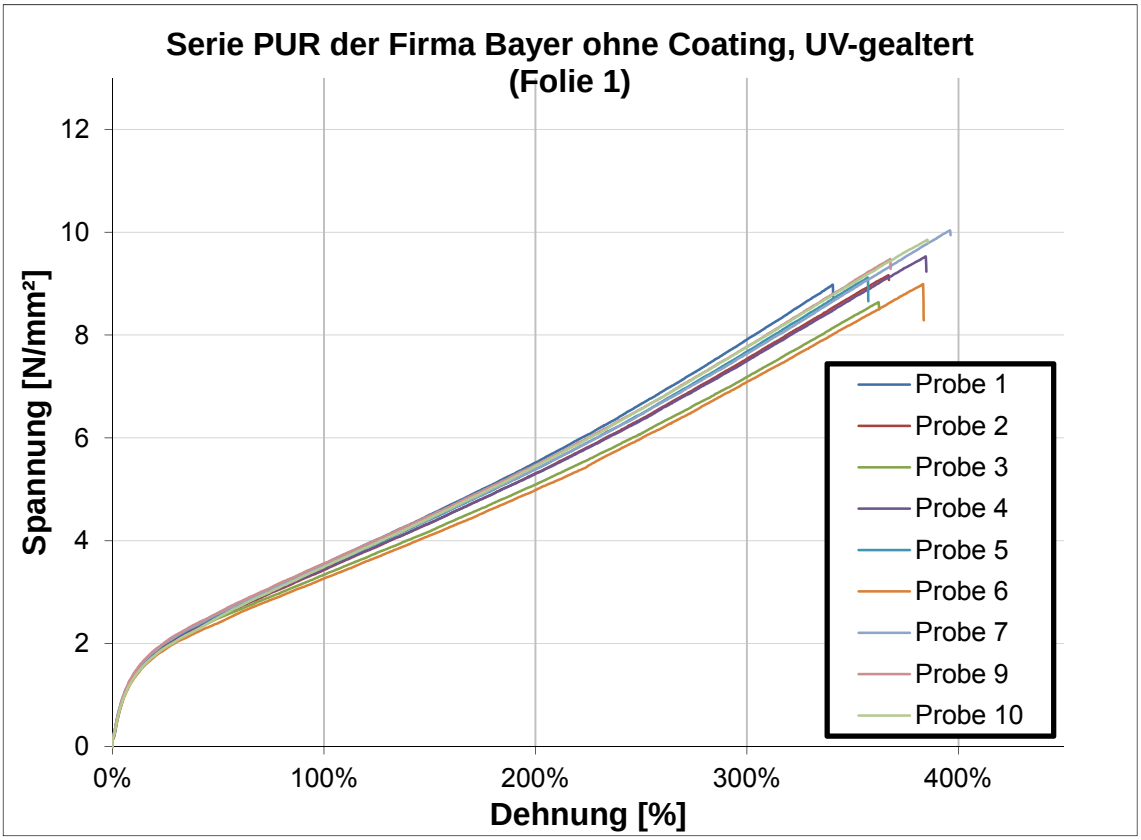


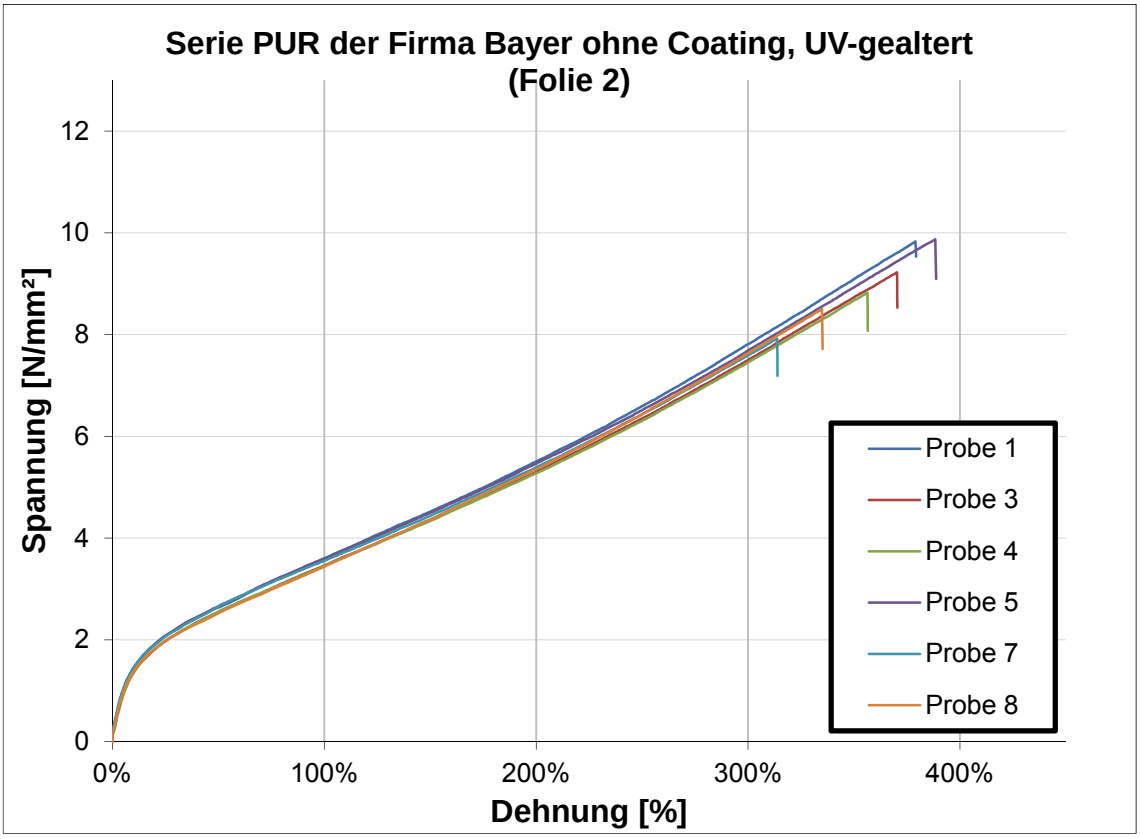

Serie PUR der Firma Bayer ohne Coating, wärmegaltert
(Folie 1)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 2
Probe 3
Probe 4
Probe 7
Probe 8
Probe 10
Probe 11
Probe 12
Probe 13
Probe 14
Probe 15

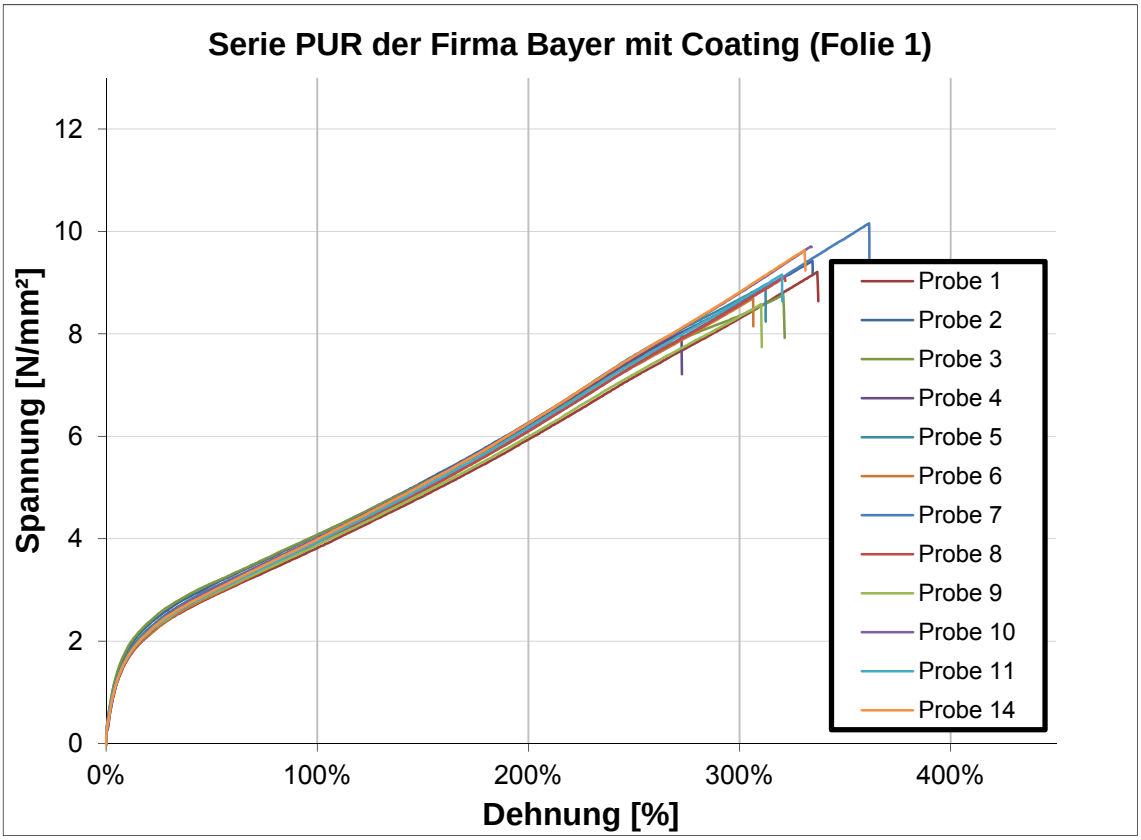

Serie PUR der Firma Bayer ohne Coating, wärmegealtert
(Folie 2)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 1
Probe 2
Probe 3
Probe 8
Probe 10
Probe 11
Probe 12
Probe 13
Probe 14
Probe 15

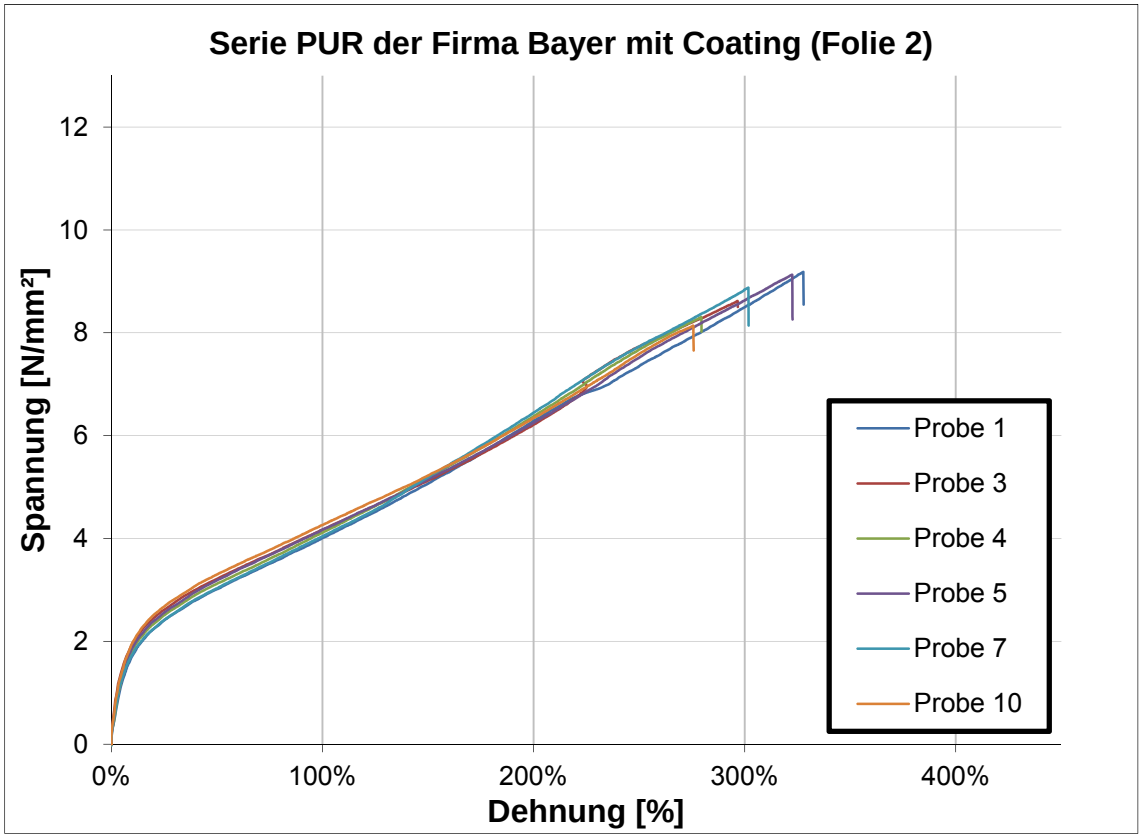

Serie PUR der Firma Bayer ohne Coating, wassergealtert
(Folie 1)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 2
Probe 4
Probe 6
Probe 8
Probe 9
Probe 13
Probe 14

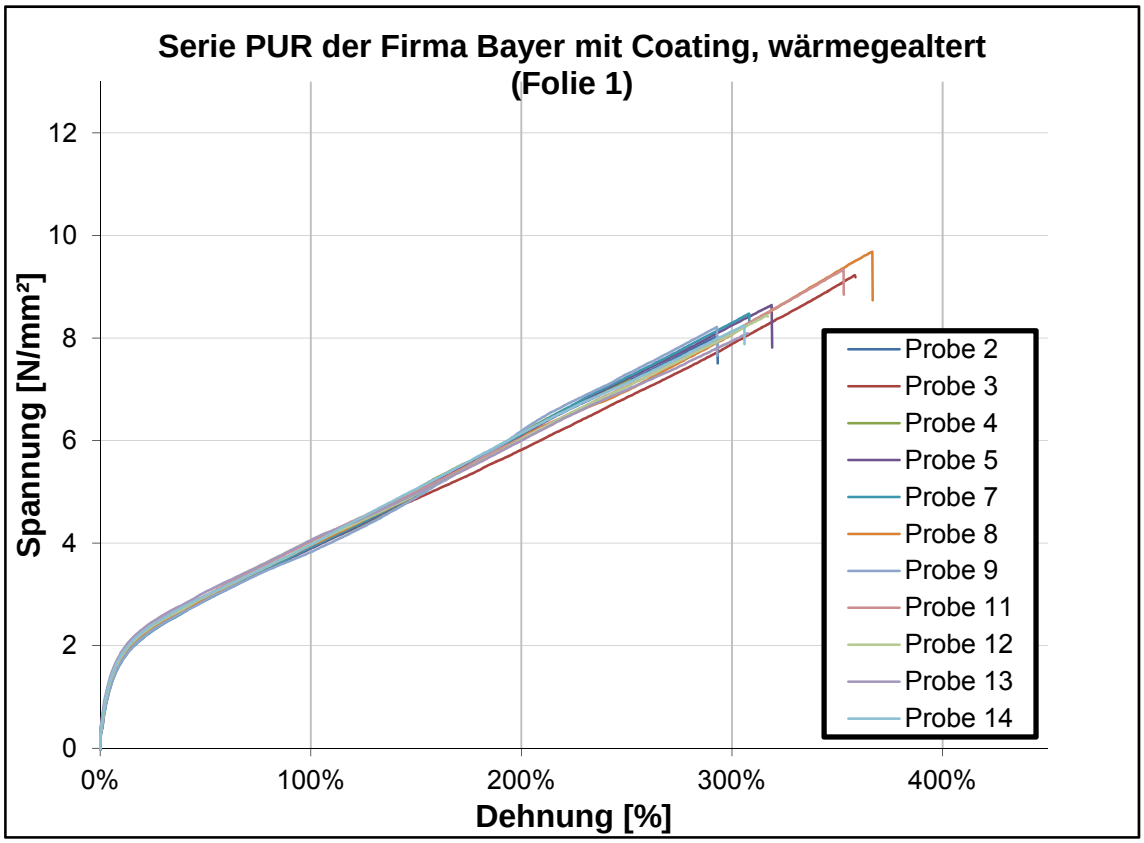

Serie PUR der Firma Bayer ohne Coating, wassergealtert
(Folie 2)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 1
Probe 2
Probe 3
Probe 4
Probe 5
Probe 8
Probe 10
Probe 11
Probe 13
Probe 15

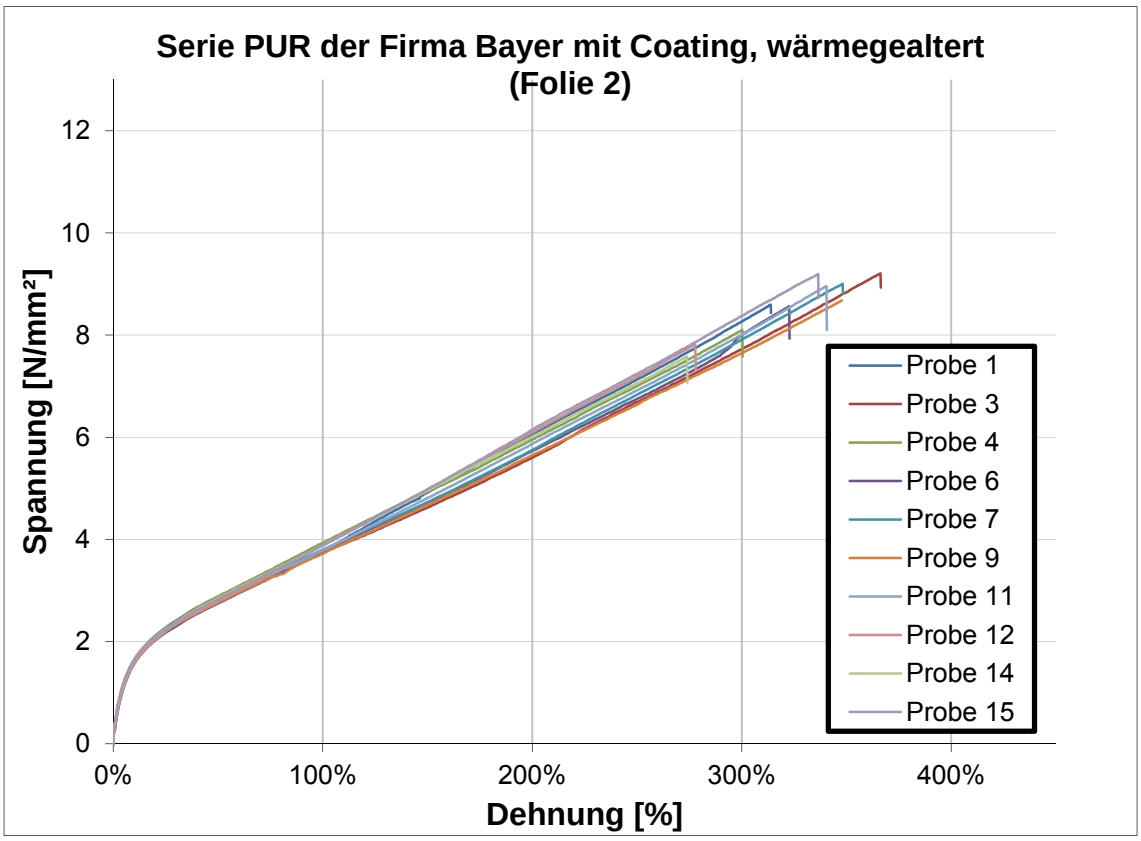

Serie PUR der Firma Bayer ohne Coating, UV-gealtert
(Folie 1)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 1
Probe 2
Probe 3
Probe 4
Probe 5
Probe 6
Probe 7
Probe 9
Probe 10

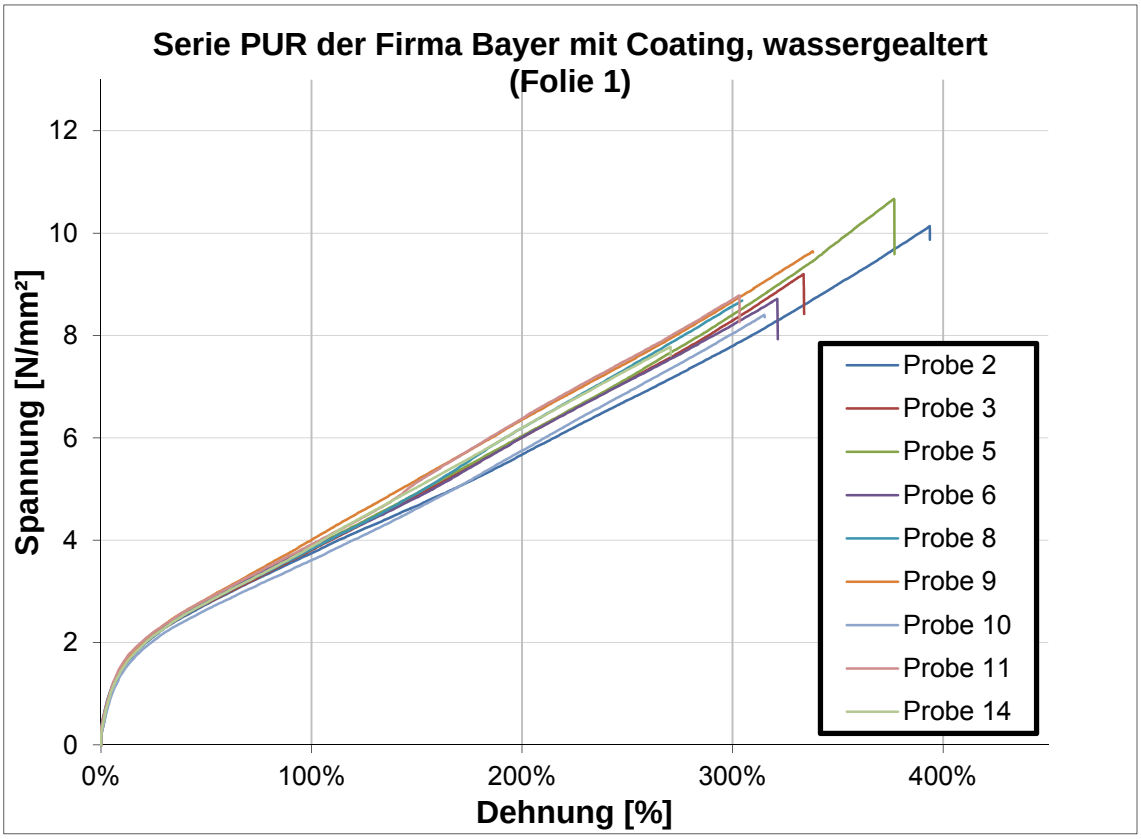

Serie PUR der Firma Bayer ohne Coating, UV-gealtert
(Folie 2)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 1
Probe 3
Probe 4
Probe 5
Probe 7
Probe 8

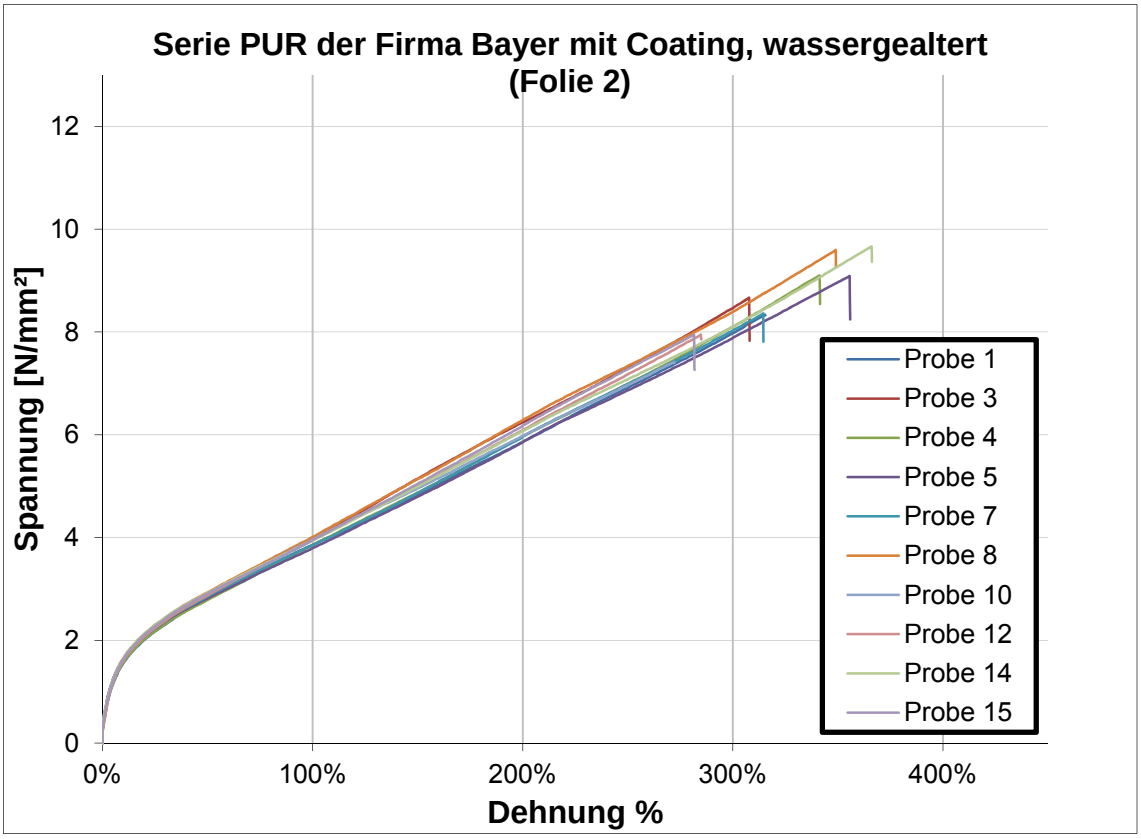

Serie PUR der Firma Bayer mit Coating (Folie 1)
Spannung [N/mm²]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Dehnung [%]
Probe 1
Probe 2
Probe 3
Probe 4
Probe 5
Probe 6
Probe 7
Probe 8
Probe 9
Probe 10
Probe 11
Probe 14

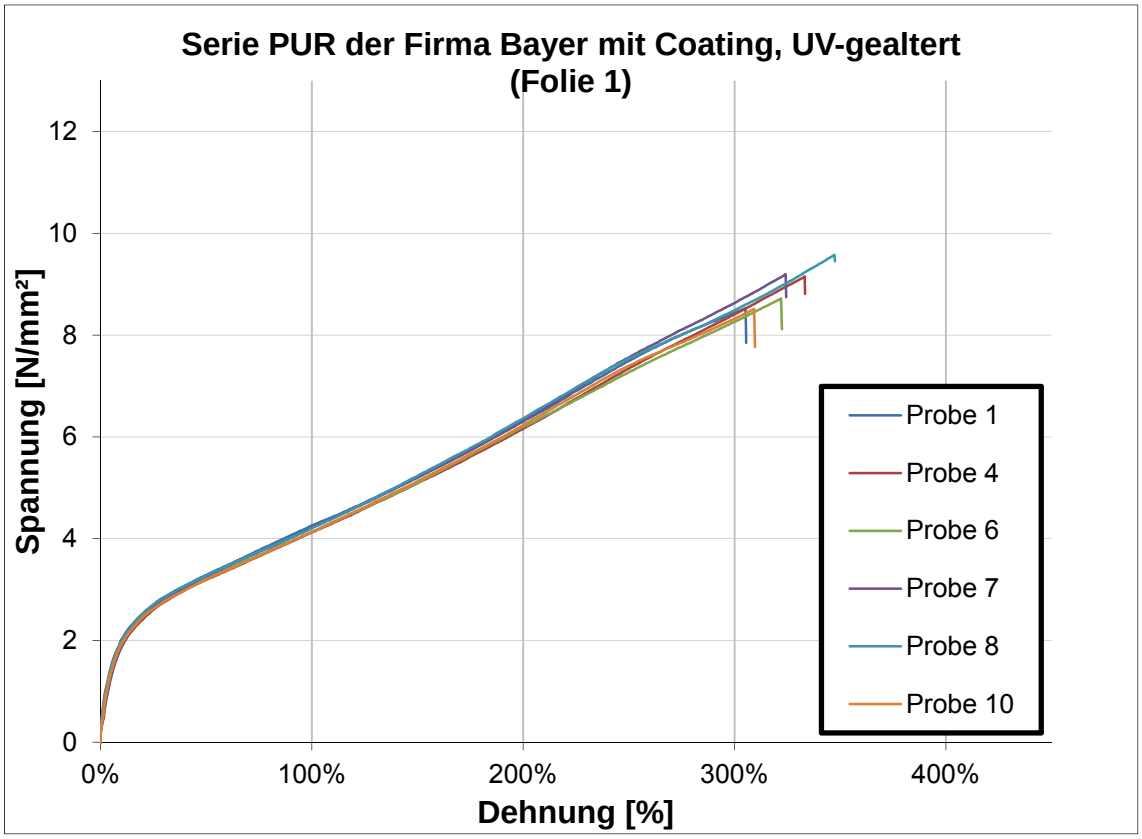

Serie PUR der Firma Bayer mit Coating (Folie 2)
Spannung [N/mm²]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Dehnung [%]
Probe 1
Probe 3
Probe 4
Probe 5
Probe 7
Probe 10

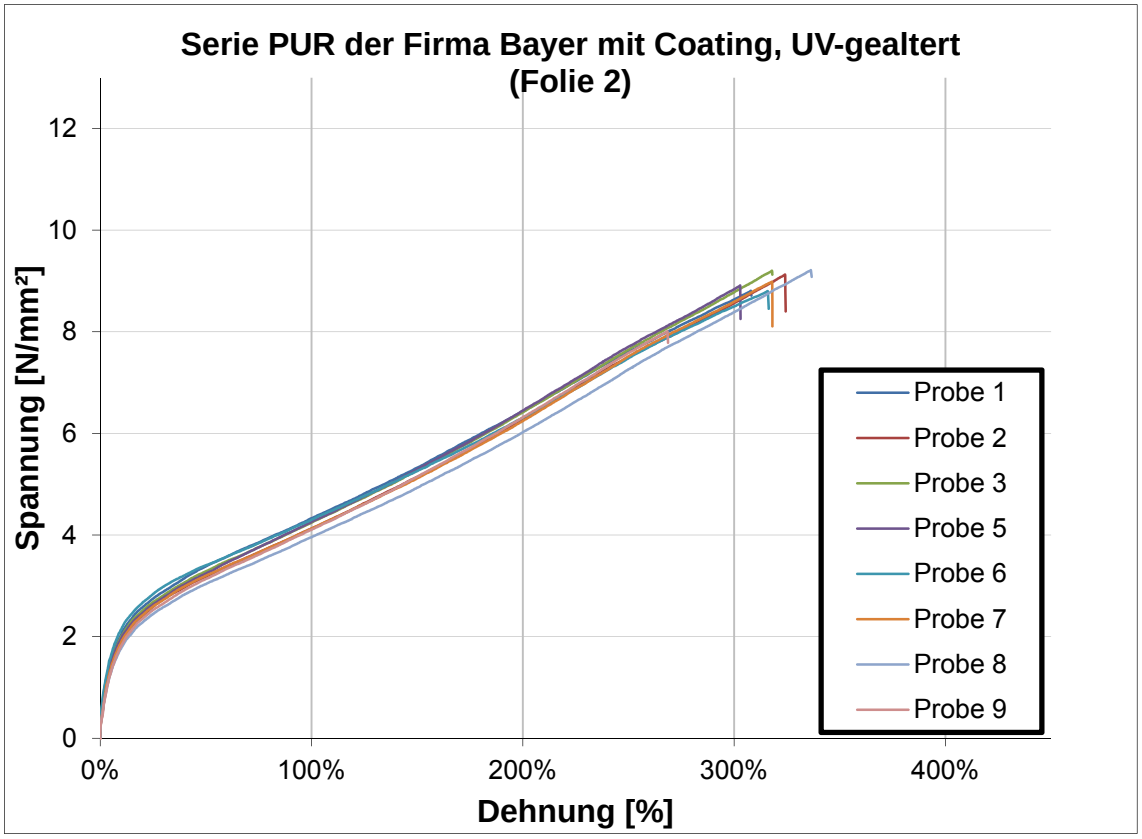

Serie PUR der Firma Bayer mit Coating, wärmegealtert
(Folie 1)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 2
Probe 3
Probe 4
Probe 5
Probe 7
Probe 8
Probe 9
Probe 11
Probe 12
Probe 13
Probe 14

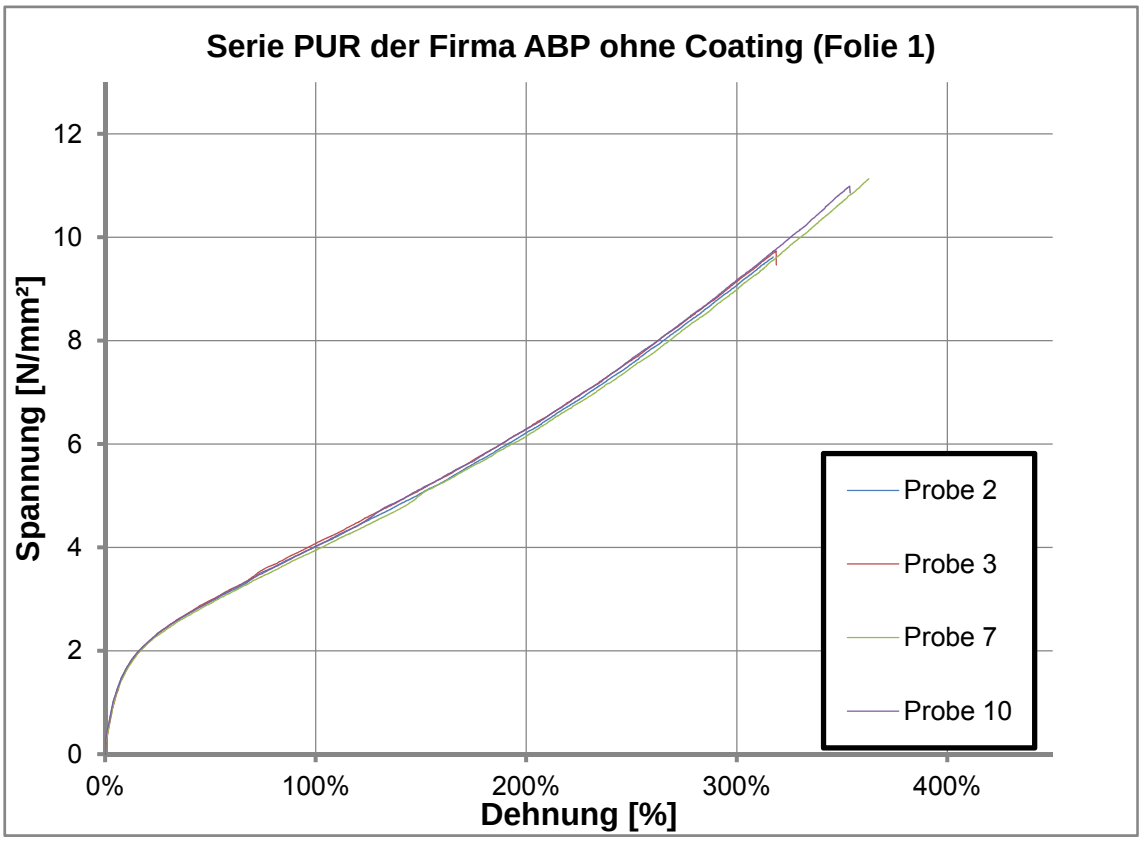

Serie PUR der Firma Bayer mit Coating, wärmegealtert
(Folie 2)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 1
Probe 3
Probe 4
Probe 6
Probe 7
Probe 9
Probe 11
Probe 12
Probe 14
Probe 15

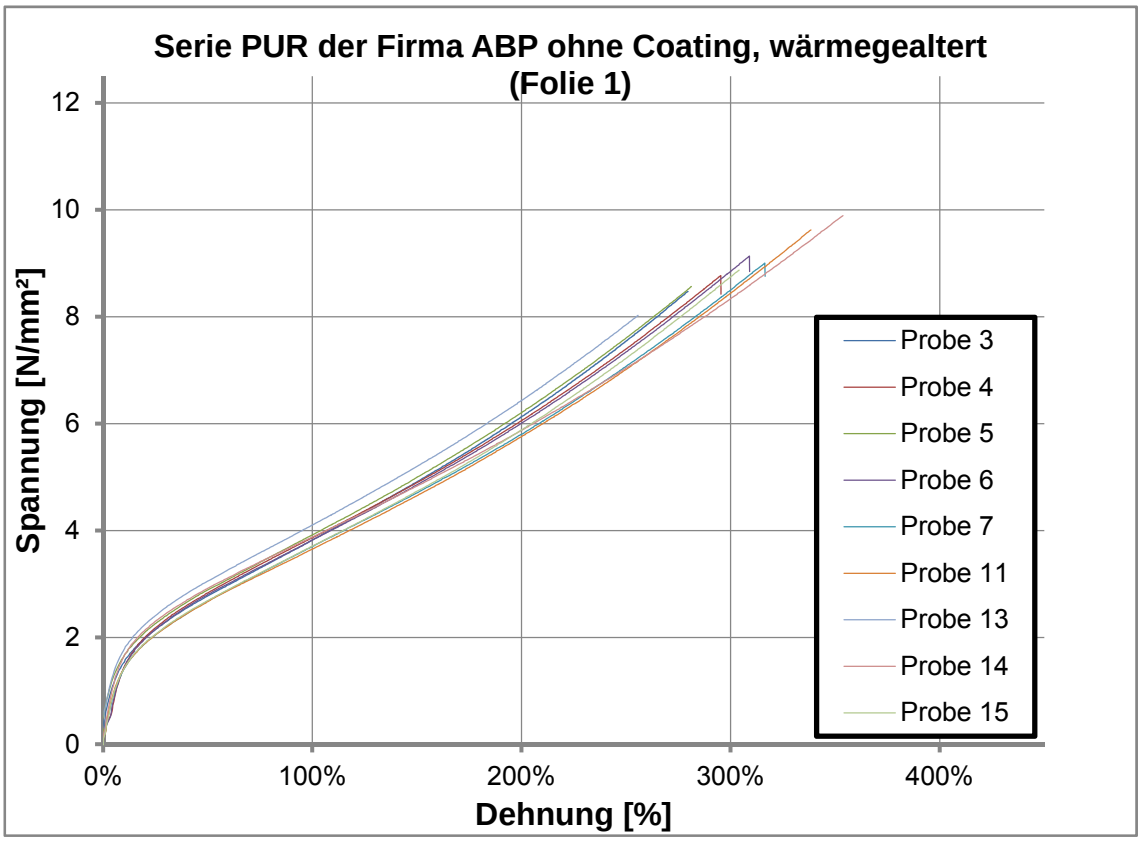

Serie PUR der Firma Bayer mit Coating, wassergealtert
(Folie 1)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 2
Probe 3
Probe 5
Probe 6
Probe 8
Probe 9
Probe 10
Probe 11
Probe 14

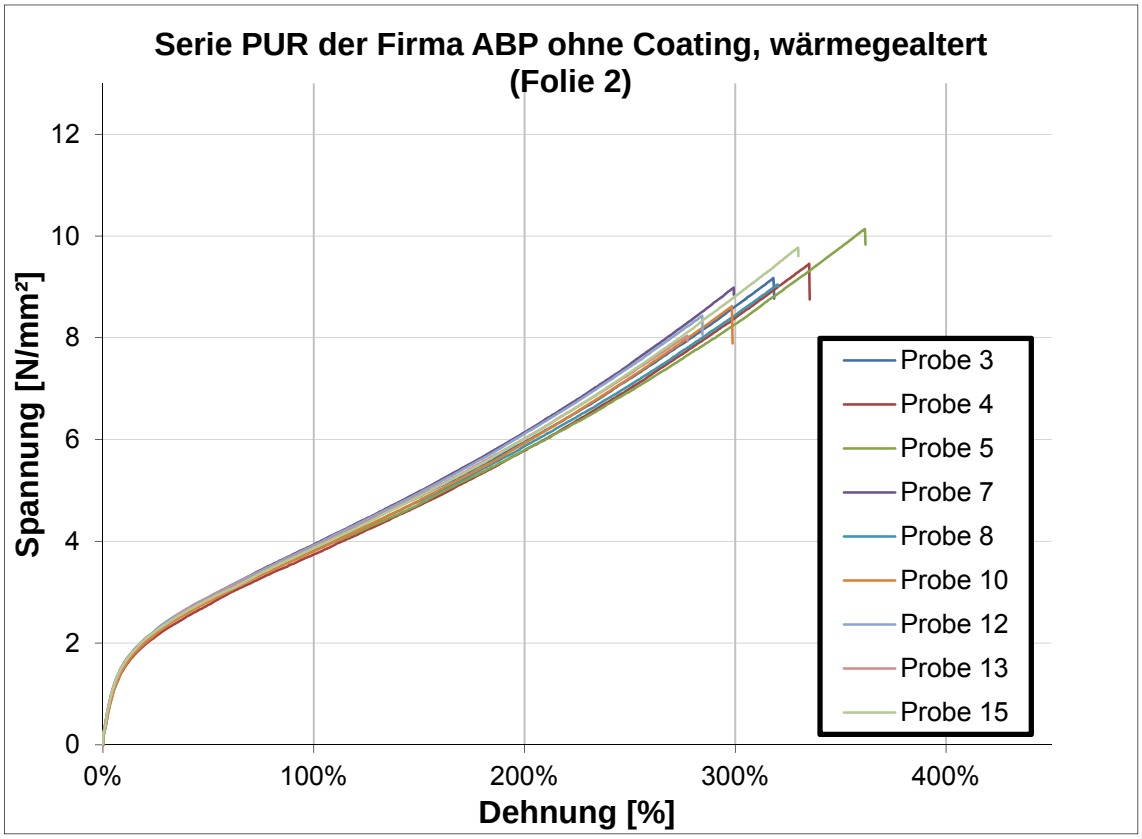

Serie PUR der Firma Bayer mit Coating, wassergealtert
(Folie 2)
Spannung [N/mm²]
Dehnung %
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 1
Probe 3
Probe 4
Probe 5
Probe 7
Probe 8
Probe 10
Probe 12
Probe 14
Probe 15

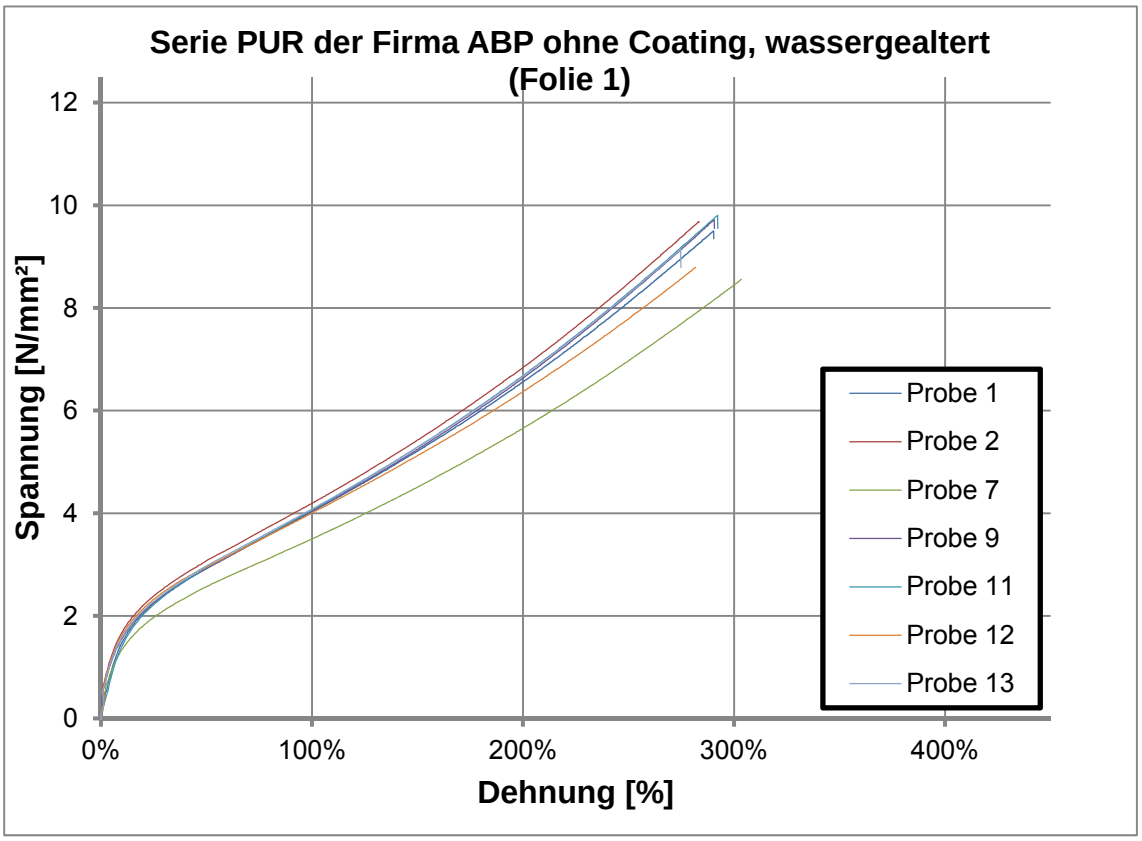

Serie PUR der Firma Bayer mit Coating, UV-gealtert
(Folie 1)
Spannung [N/mm²]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Dehnung [%]
Probe 1
Probe 4
Probe 6
Probe 7
Probe 8
Probe 10

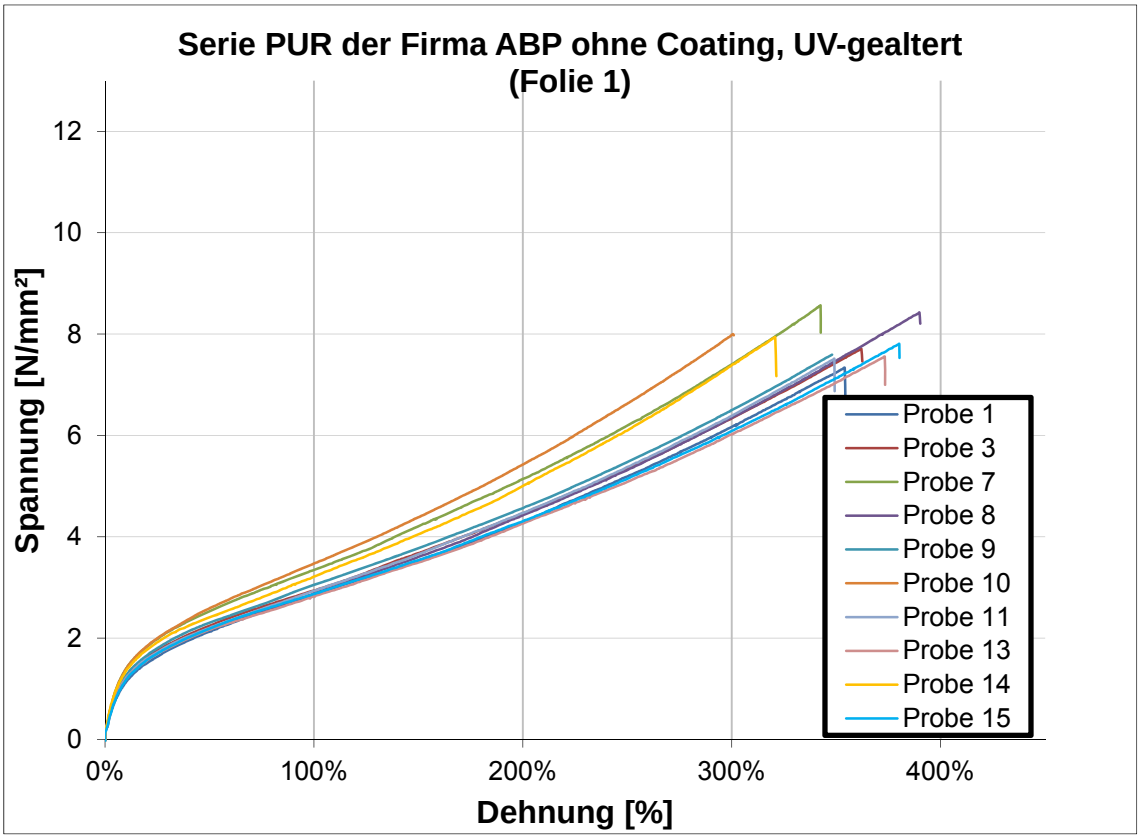

Serie PUR der Firma Bayer mit Coating, UV-gealtert
(Folie 2)
Spannung [N/mm²]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Dehnung [%]
Probe 1
Probe 2
Probe 3
Probe 5
Probe 6
Probe 7
Probe 8
Probe 9

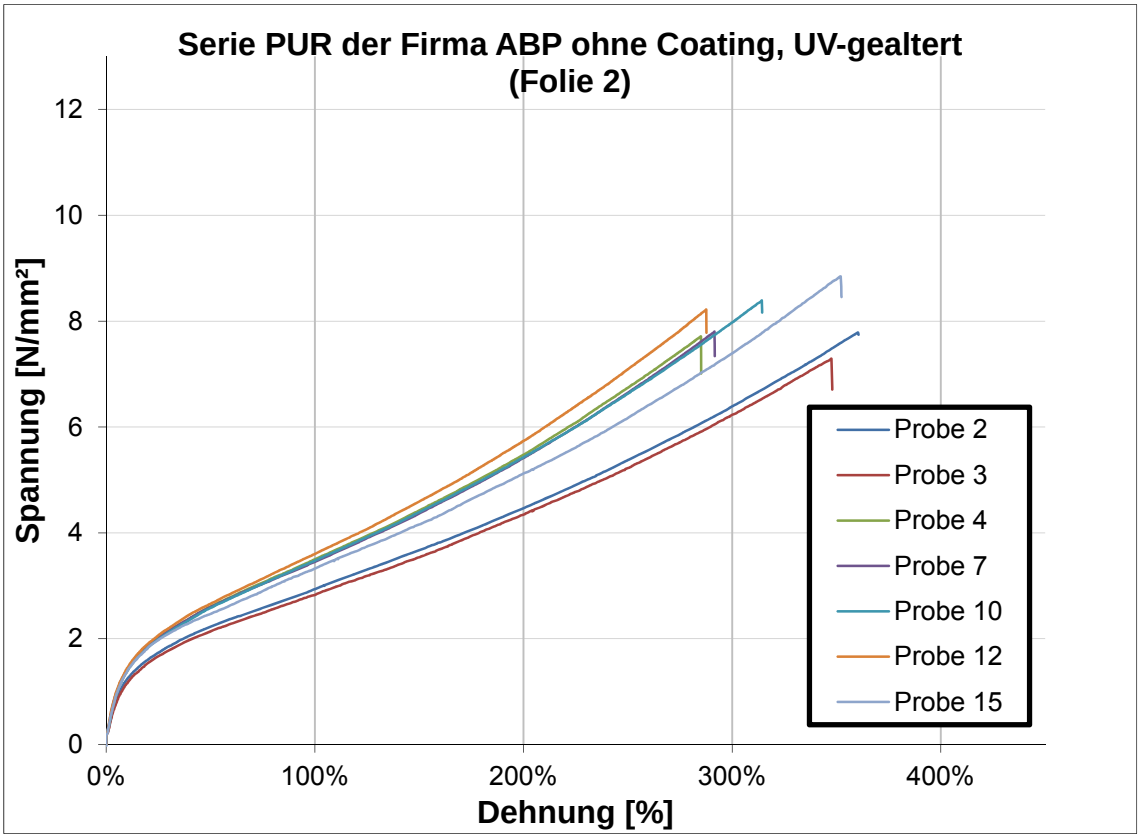

Serie PUR der Firma ABP ohne Coating (Folie 1)
Spannung [N/mm²]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Dehnung [%]
Probe 2
Probe 3
Probe 7
Probe 10

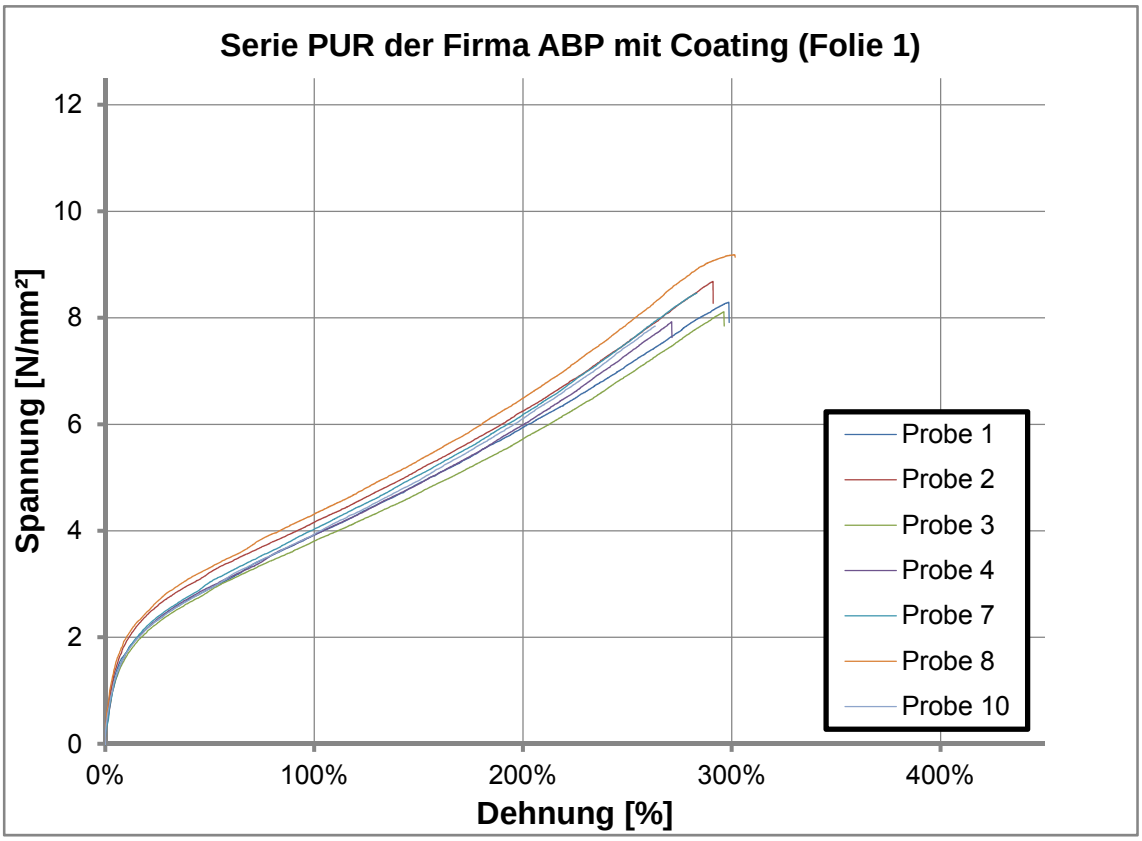

Serie PUR der Firma ABP ohne Coating, wärmegealtert (Folie 1)
Spannung [N/mm²]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Dehnung [%]
Probe 3
Probe 4
Probe 5
Probe 6
Probe 7
Probe 11
Probe 13
Probe 14
Probe 15

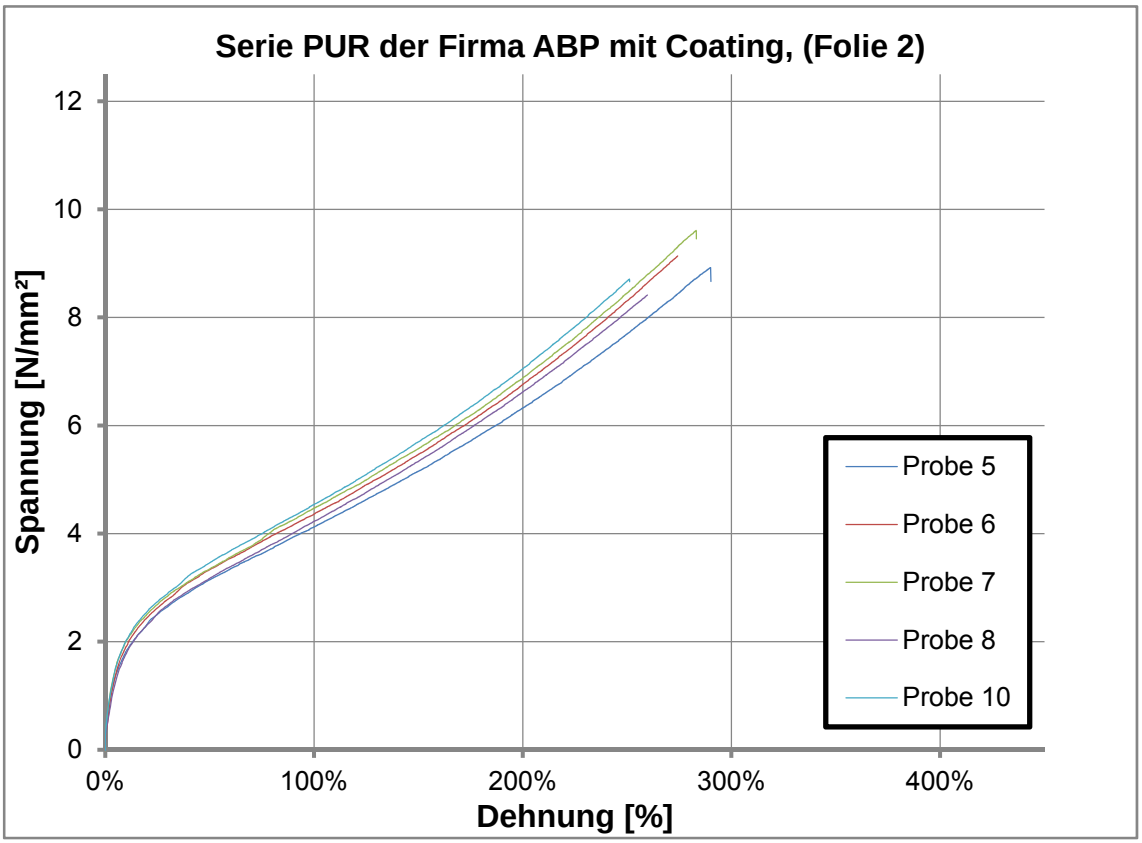

Serie PUR der Firma ABP ohne Coating, wärmegealtert
(Folie 2)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 3
Probe 4
Probe 5
Probe 7
Probe 8
Probe 10
Probe 12
Probe 13
Probe 15

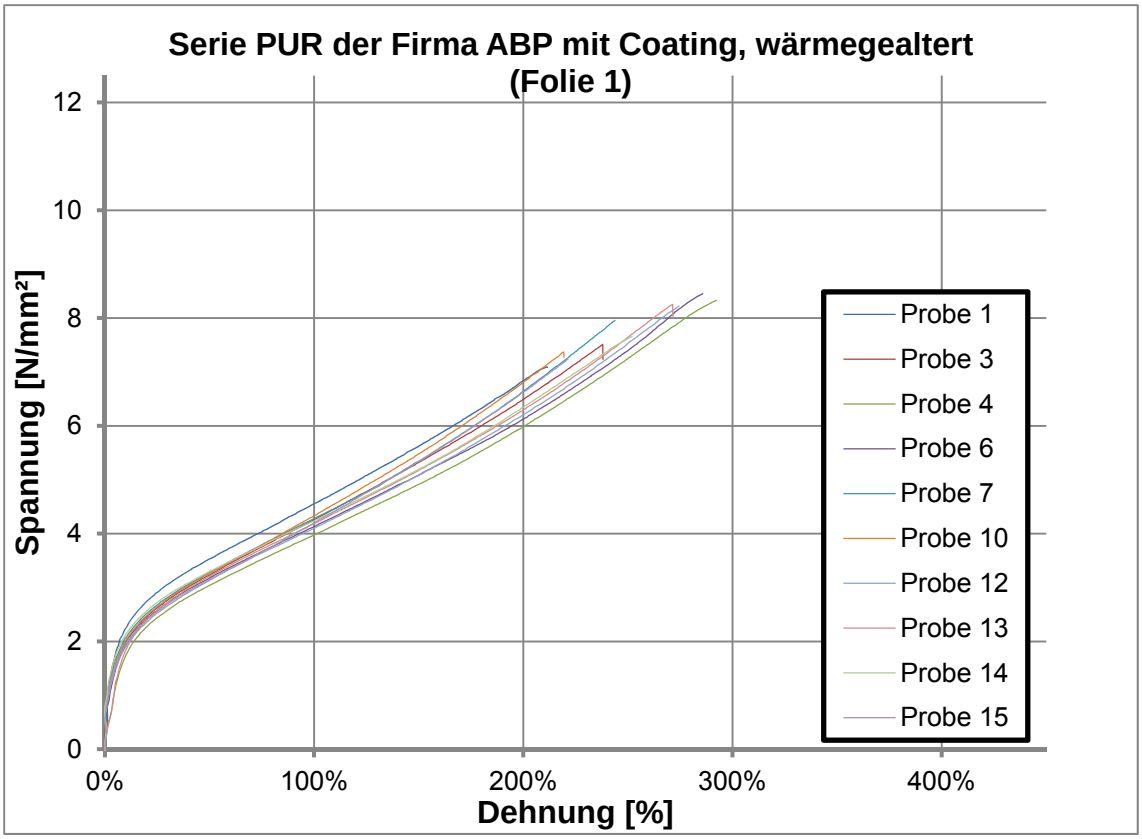

Serie PUR der Firma ABP ohne Coating, wassergealtert
(Folie 1)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 1
Probe 2
Probe 7
Probe 9
Probe 11
Probe 12
Probe 13

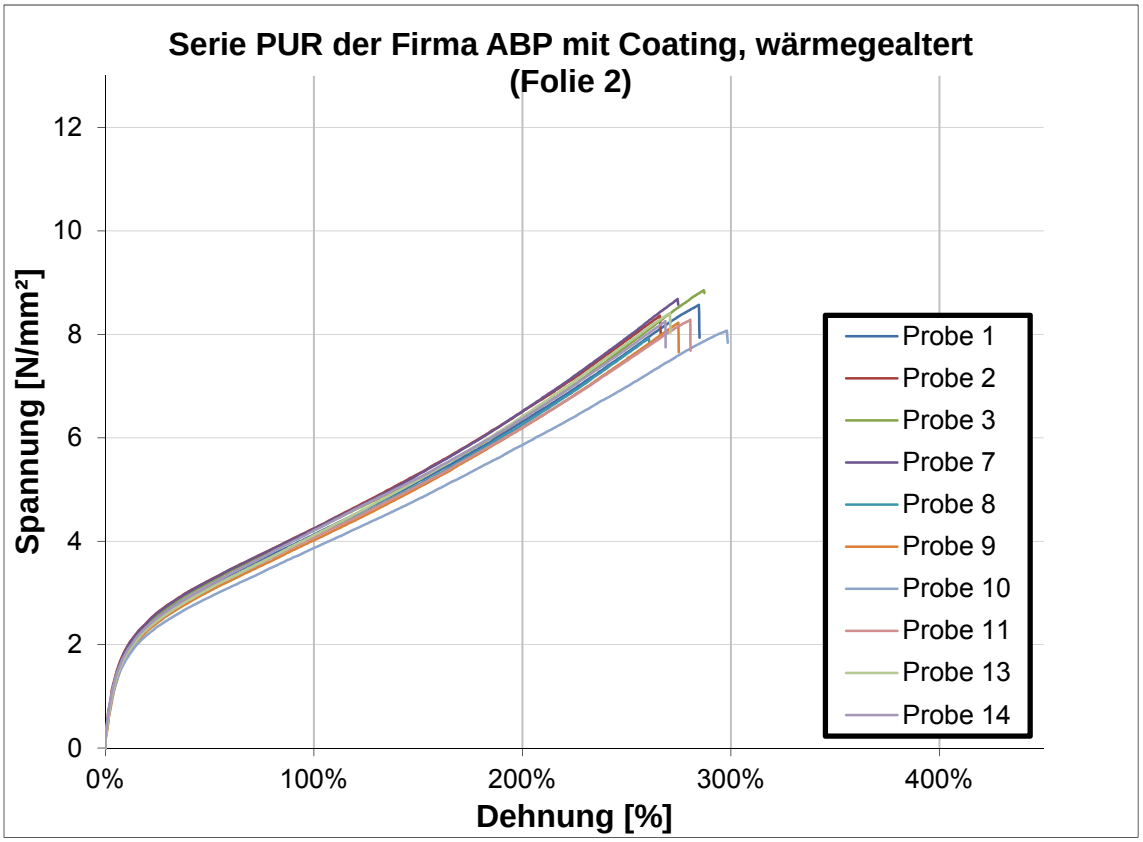

Serie PUR der Firma ABP ohne Coating, UV-gealtert
(Folie 1)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 1
Probe 3
Probe 7
Probe 8
Probe 9
Probe 10
Probe 11
Probe 13
Probe 14
Probe 15

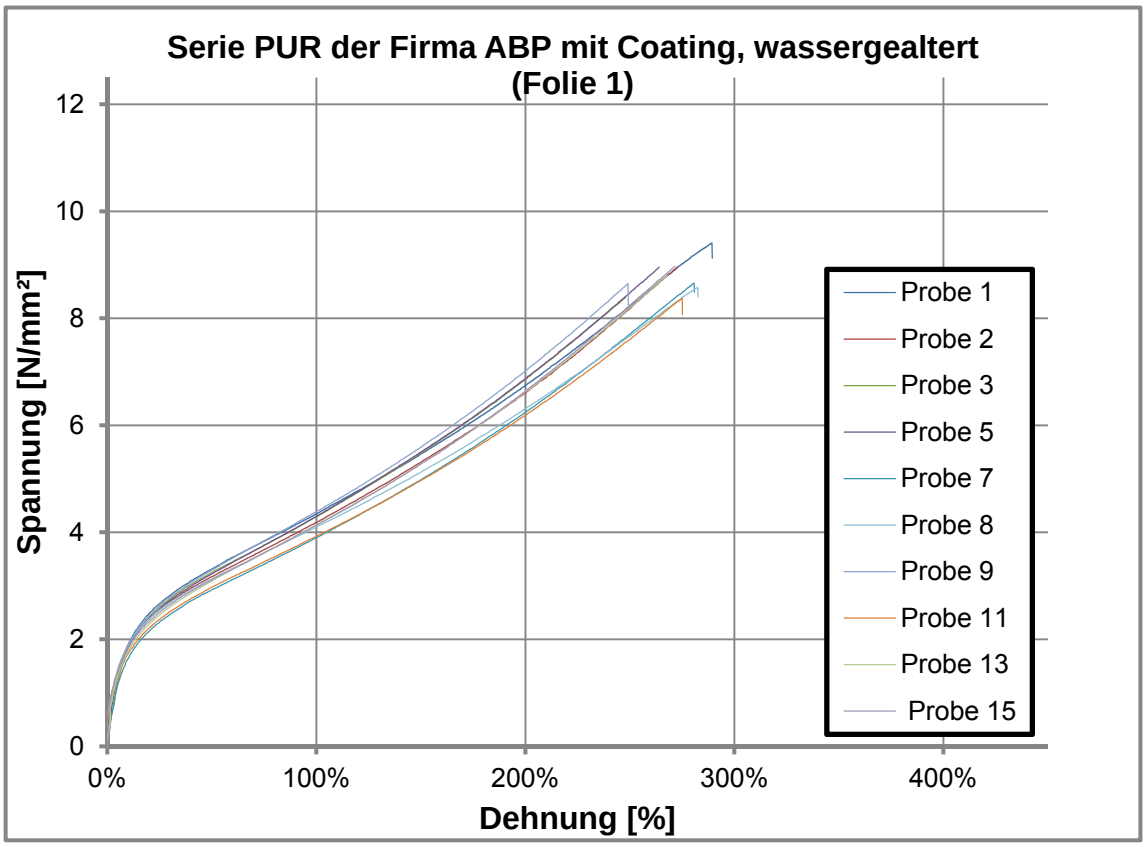

Serie PUR der Firma ABP ohne Coating, UV-gealtert
(Folie 2)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 2
Probe 3
Probe 4
Probe 7
Probe 10
Probe 12
Probe 15

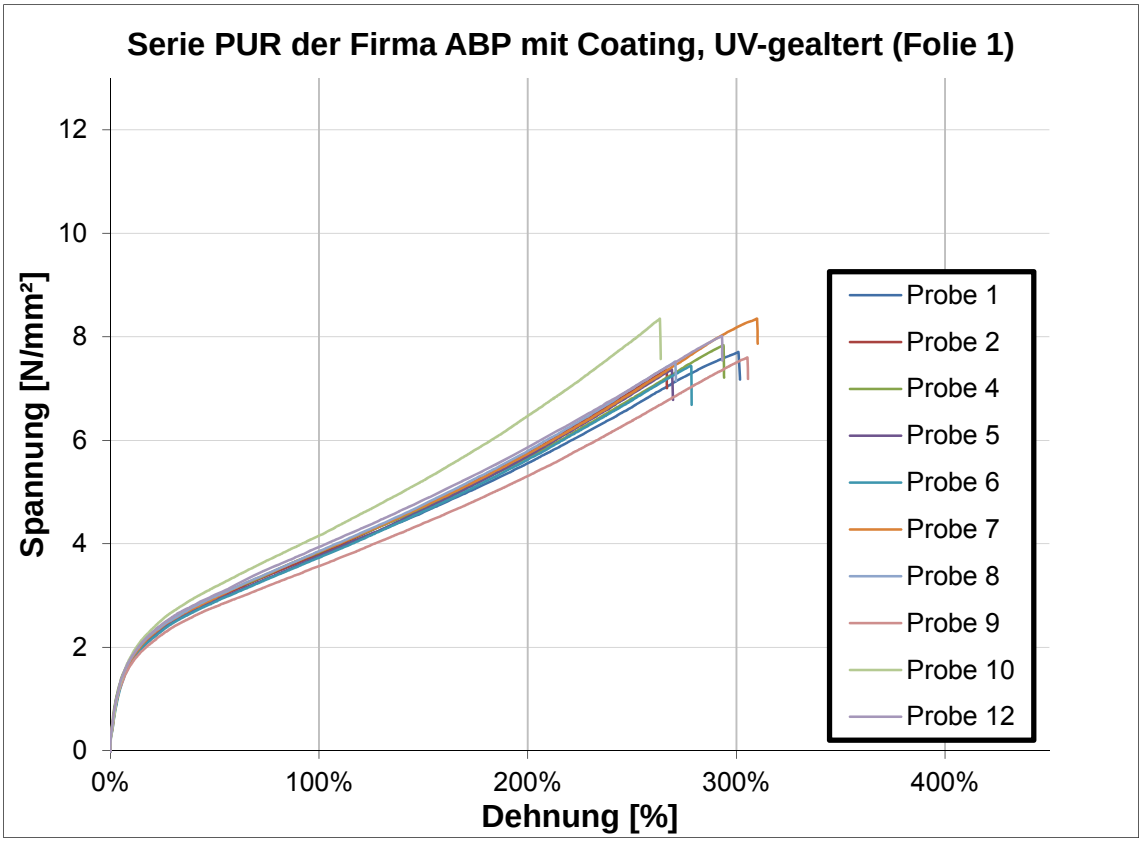

Serie PUR der Firma ABP mit Coating (Folie 1)
Spannung [N/mm²]
12
10
8
6
4
2
0
0%
100%
200%
300%
400%
Dehnung [%]
Probe 1
Probe 2
Probe 3
Probe 4
Probe 7
Probe 8
Probe 10

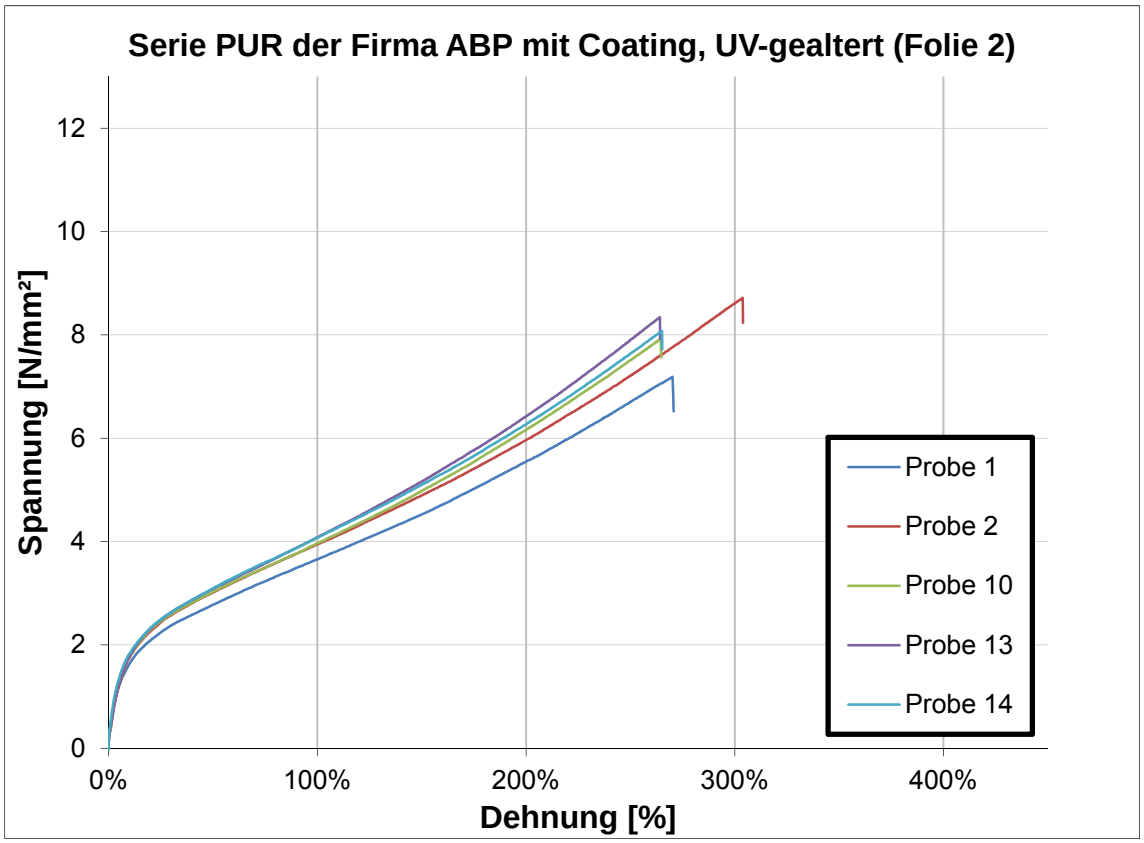

Serie PUR der Firma ABP mit Coating, (Folie 2)
Spannung [N/mm²]
12
10
8
6
4
2
0
0%
100%
200%
300%
400%
Dehnung [%]
Probe 5
Probe 6
Probe 7
Probe 8
Probe 10


Serie PUR der Firma ABP mit Coating, wärmegealtert
(Folie 1)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 1
Probe 3
Probe 4
Probe 6
Probe 7
Probe 10
Probe 12
Probe 13
Probe 14
Probe 15


Serie PUR der Firma ABP mit Coating, wärmegealtert
(Folie 2)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 1
Probe 2
Probe 3
Probe 7
Probe 8
Probe 9
Probe 10
Probe 11
Probe 13
Probe 14


Serie PUR der Firma ABP mit Coating, wassergealtert (Folie 1)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 1
Probe 2
Probe 3
Probe 5
Probe 7
Probe 8
Probe 9
Probe 11
Probe 13
Probe 15


Serie PUR der Firma ABP mit Coating, UV-gealtert (Folie 1)
Spannung [N/mm²]
Dehnung [%]
0
2
4
6
8
10
12
0%
100%
200%
300%
400%
Probe 1
Probe 2
Probe 4
Probe 5
Probe 6
Probe 7
Probe 8
Probe 9
Probe 10
Probe 12

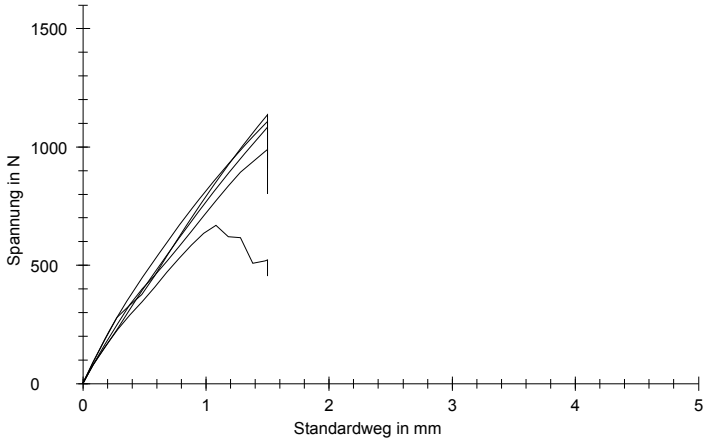

Serie PUR der Firma ABP mit Coating, UV-gealtert (Folie 2)
Spannung [N/mm²]
12
10
8
6
4
2
0
0%
100%
200%
300%
400%
Dehnung [%]
Probe 1
Probe 2
Probe 10
Probe 13
Probe 14

C. Untersuchung zur Dauerhaftigkeit des PUR-Holz-Verbundes

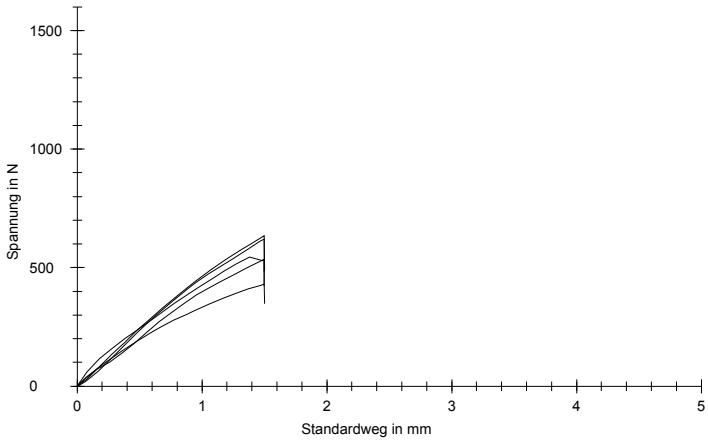
C1. Rissüberbrückung – Rissaufweitung 1,5 cm

Brettsperrholz

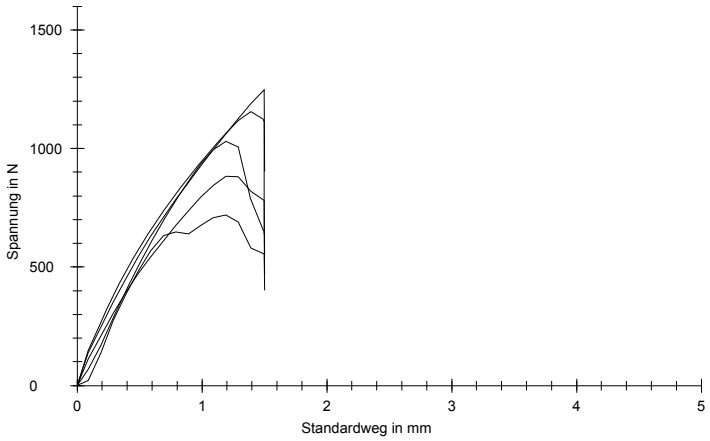
ABP nicht gealtert, parallel zur Faser:



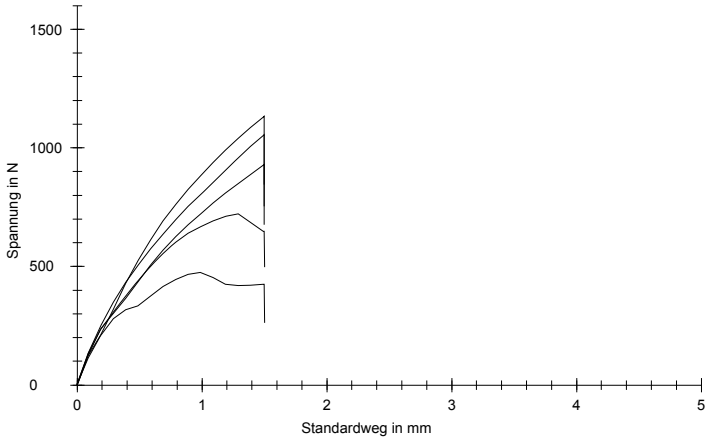
ABP wärmegealtert, parallel zur Faser:



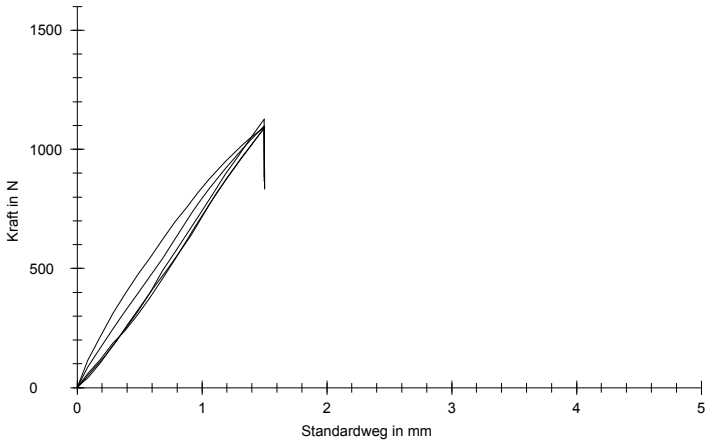
ABP nicht gealtert, quer zur Faser:



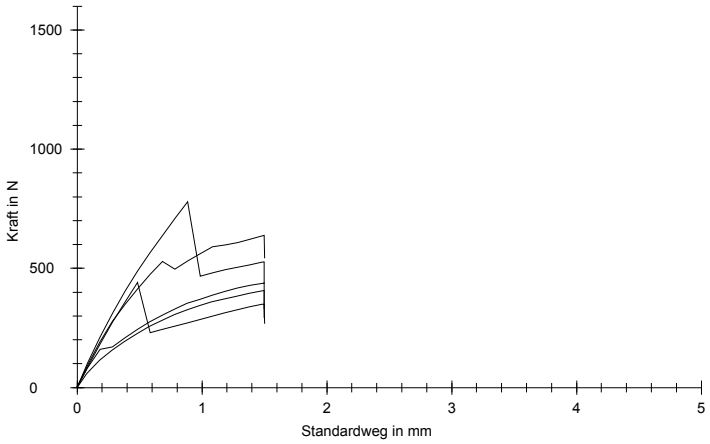
ABP wärmegealtert, quer zur Faser:



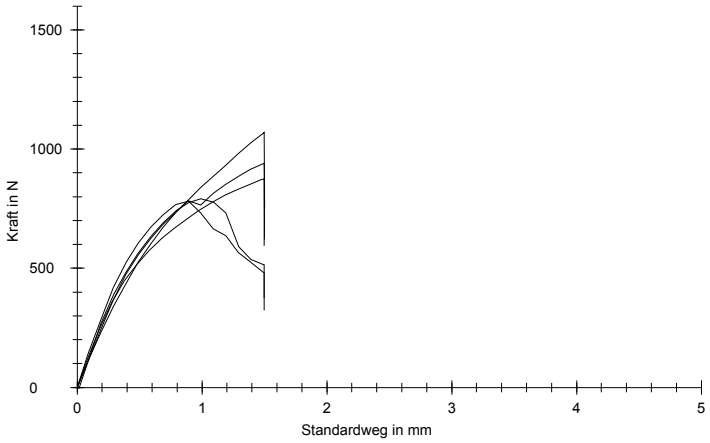
BASF nicht gealtert, parallel zur Faser:



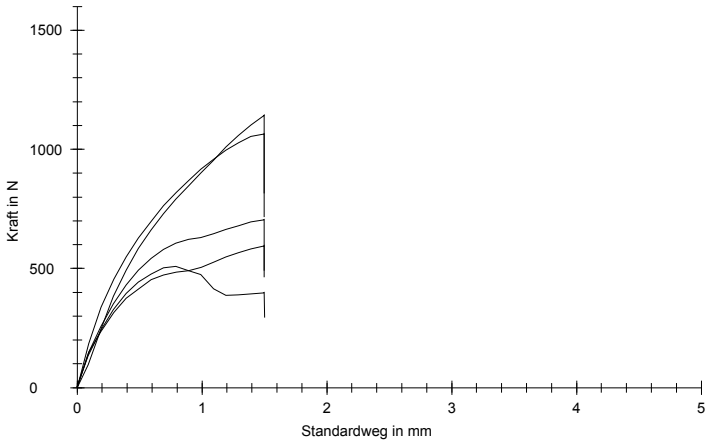
BASF wärmegealtert, parallel zur Faser:



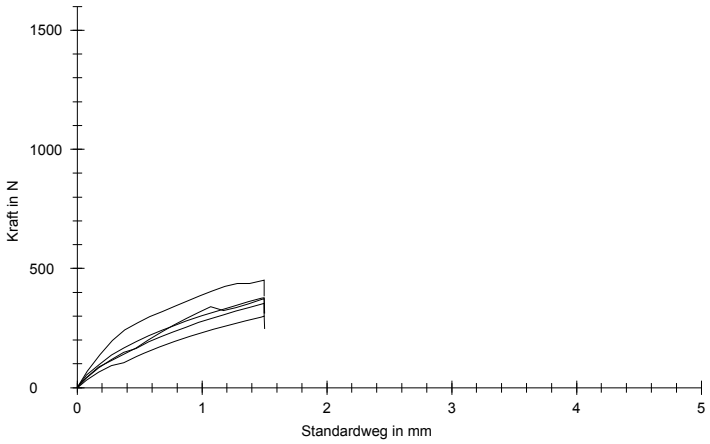
BASF nicht gealtert, quer zur Faser:



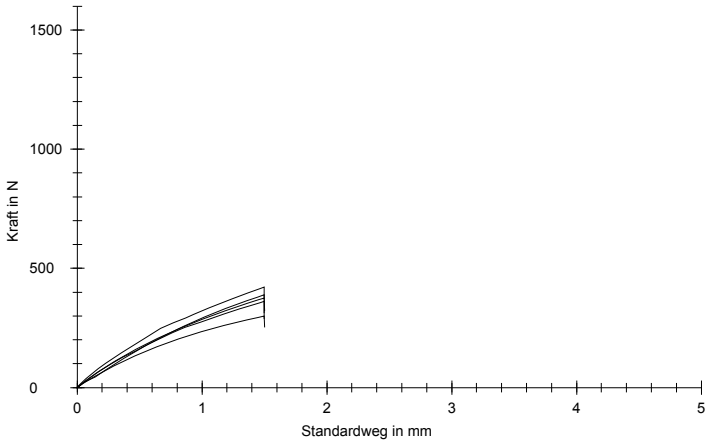
BASF wärmegealtert, quer zur Faser:



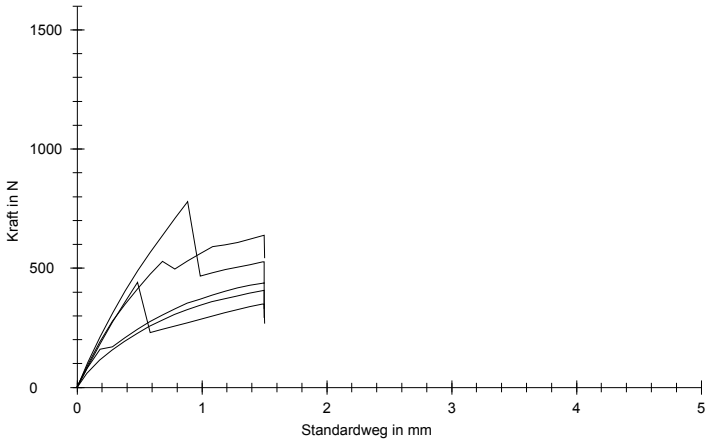
Bayer nicht gealtert, parallel zur Faser:



Bayer wärmegealtert, parallel zur Faser:

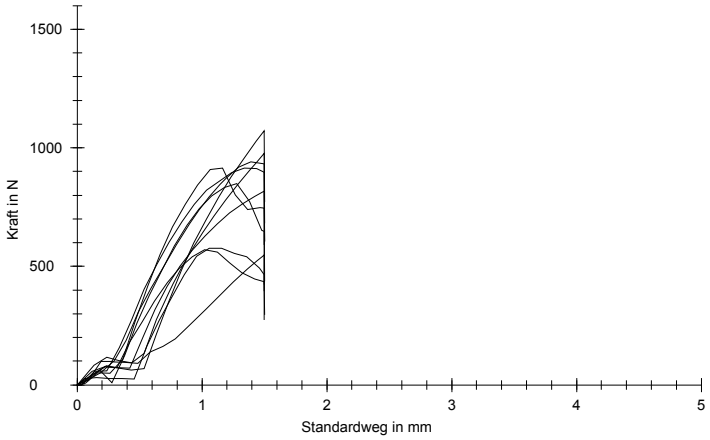


Bayer nicht gealtert, quer zur Faser:

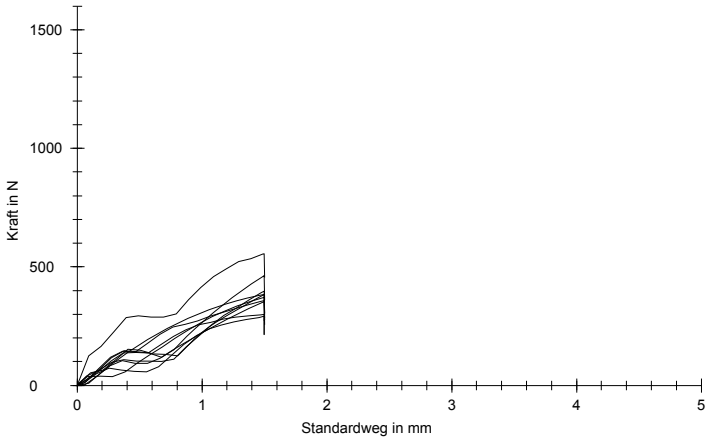


Furnierschichtholz

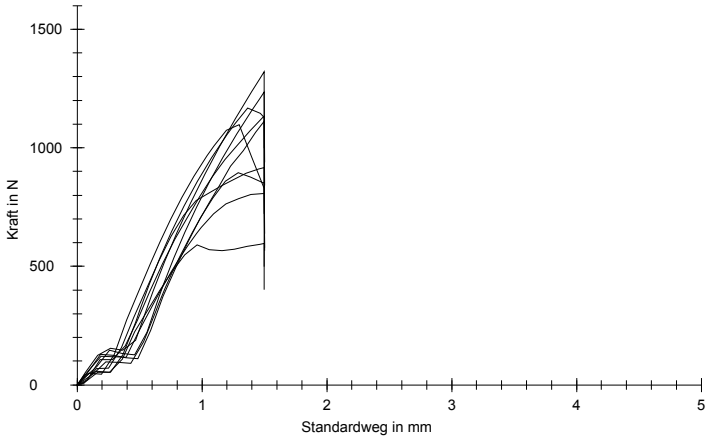
ABP nicht gealtert, parallel zur Faser:



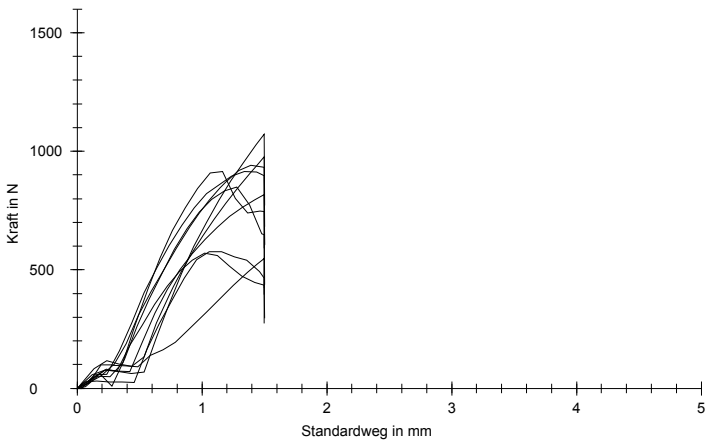
ABP wärmegealtert, parallel zur Faser:



ABP nicht gealtert, quer zur Faser:

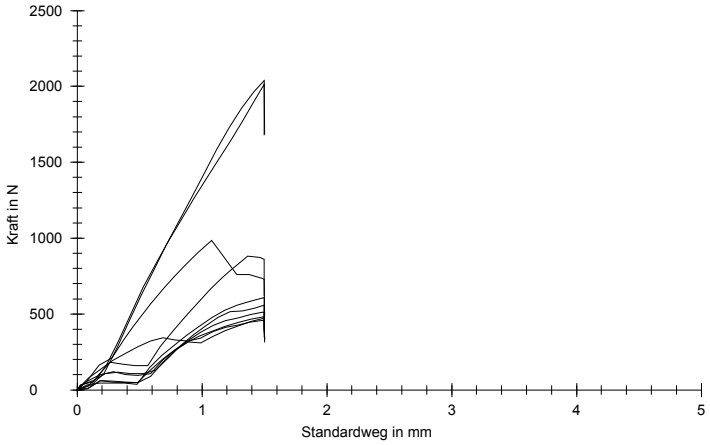


ABP wärmegealtert, quer zur Faser:

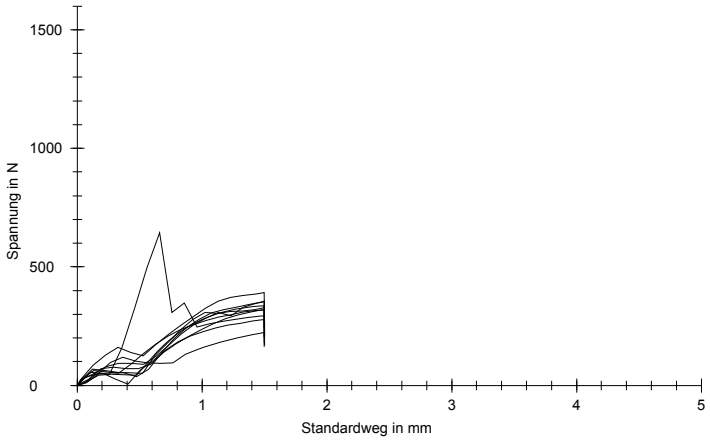

1500
1000
500
0
Kraft in N
0
1
2
3
4
5
Standardweg in mm

MDF

ABP nicht gealtert:

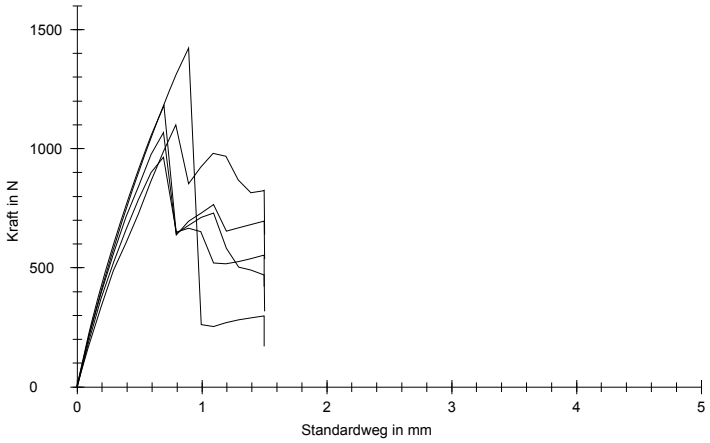


ABP wärmegealtert:

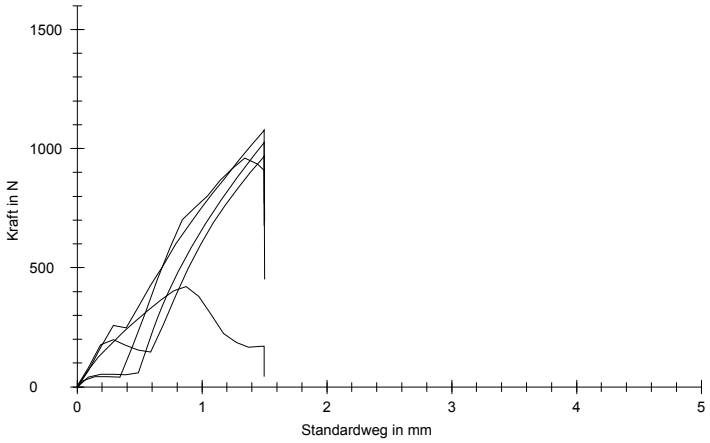


OSB

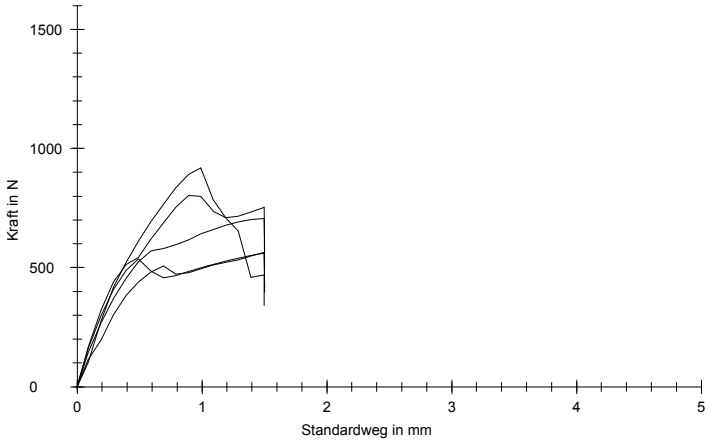
ABP nicht gealtert, parallel zur Faser:



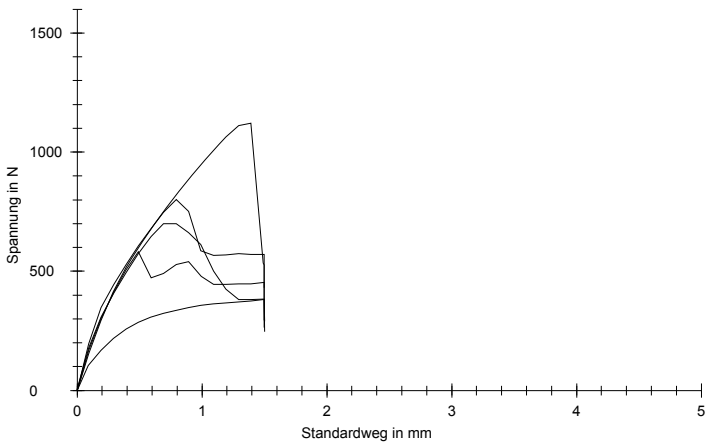
ABP wärmegealtert, parallel zur Faser:



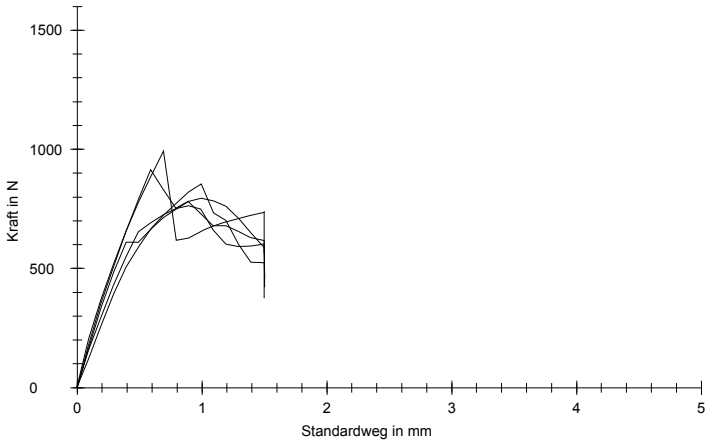
ABP nicht gealtert, quer zur Faser:



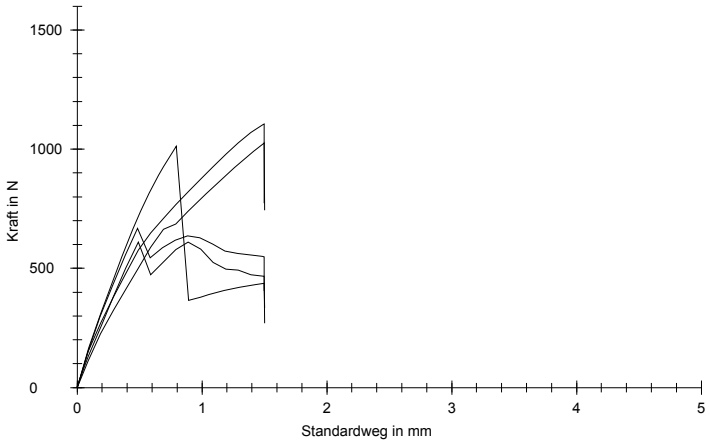
ABP wärmegealtert, quer zur Faser:


1500
1000
500
0
Spannung in N
0
1
2
3
4
5
Standardweg in mm

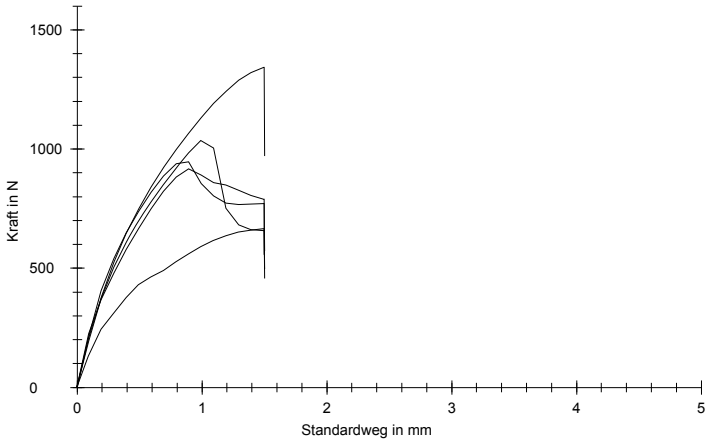
BASF nicht gealtert, parallel zur Faser:



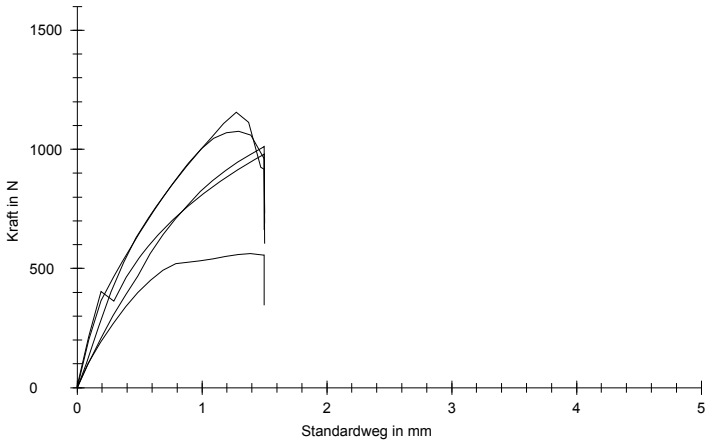
BASF wärmegealtert, parallel zur Faser:



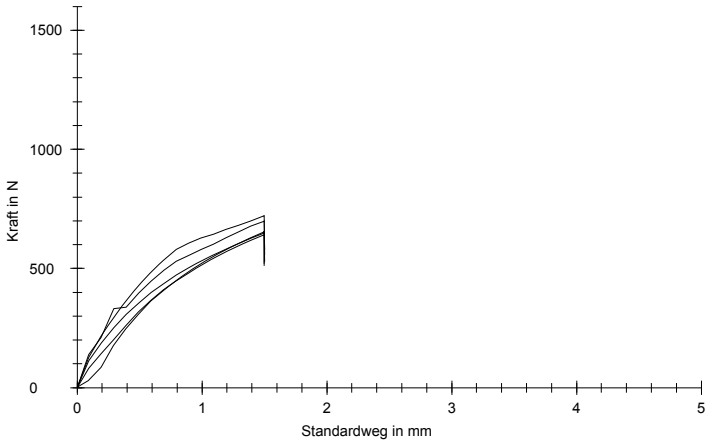
BASF nicht gealtert, quer zur Faser:



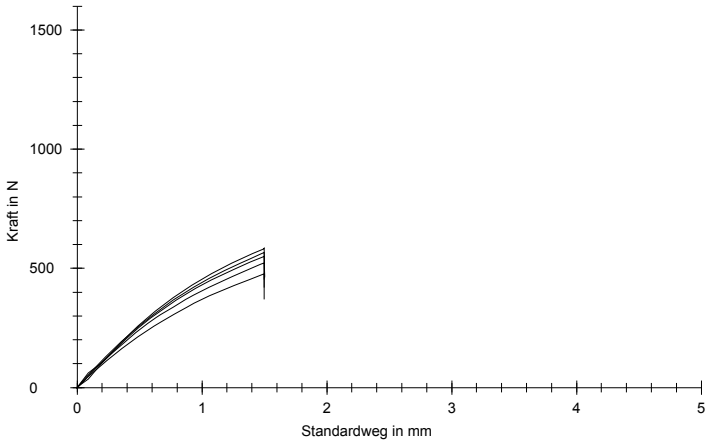
BASF wärmegealtert, quer zur Faser:



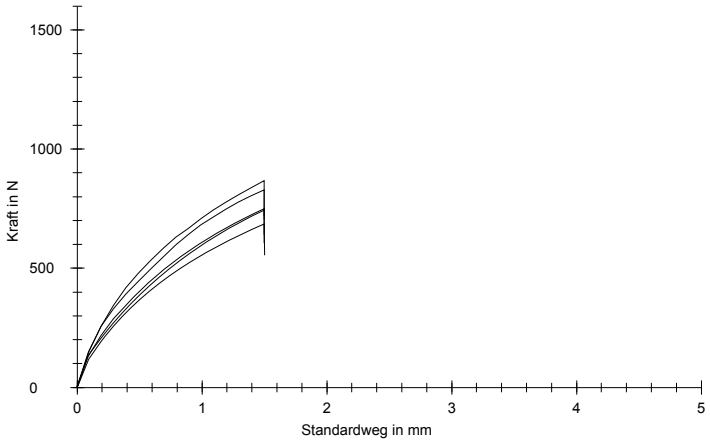
Bayer nicht gealtert, parallel zur Faser:



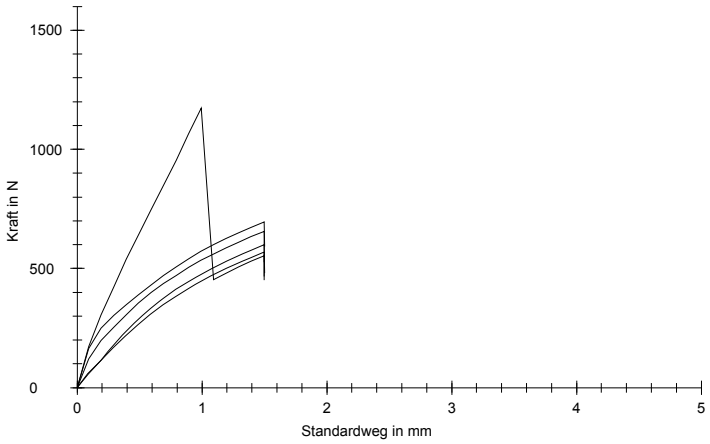
Bayer wärmegealtert, parallel zur Faser:



Bayer nicht gealtert, quer zur Faser:



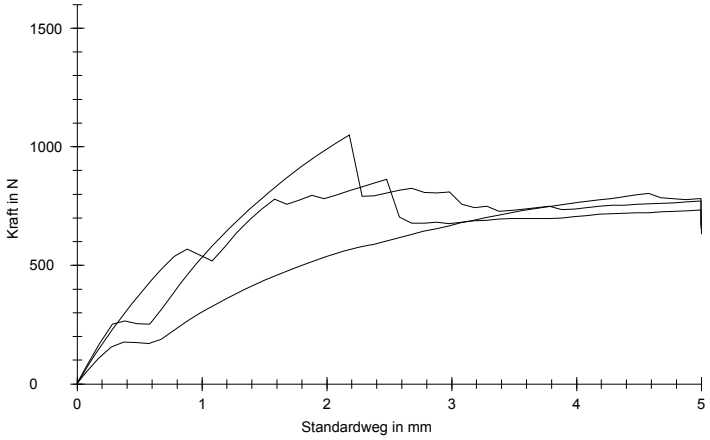
Bayer wärmegealtert, quer zur Faser:



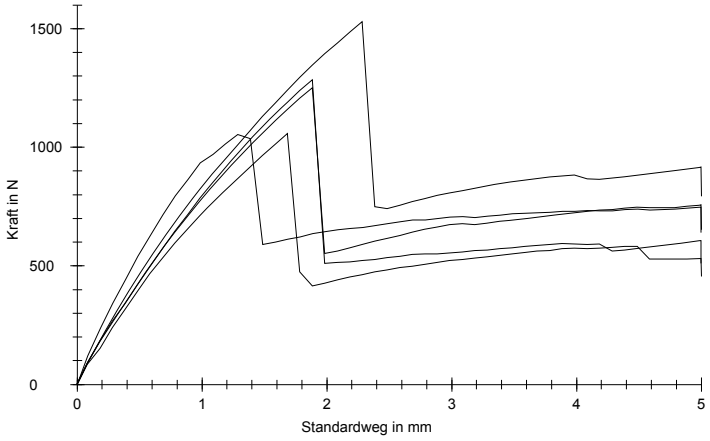
C2. Rissüberbrückung – Rissaufweitung 5,0 cm

Brettsperrholz

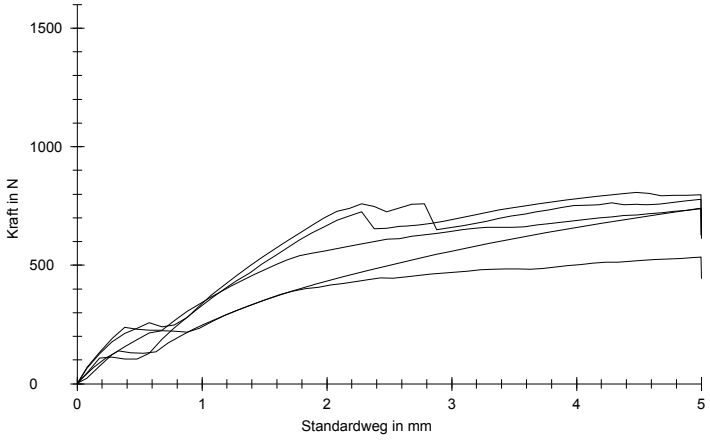
ABP nicht gealtert, vorbelastet, parallel zur Faser:



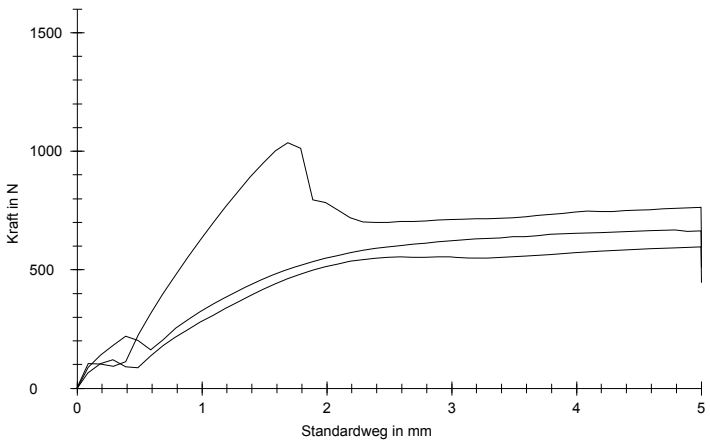
ABP nicht gealtert, parallel zur Faser:



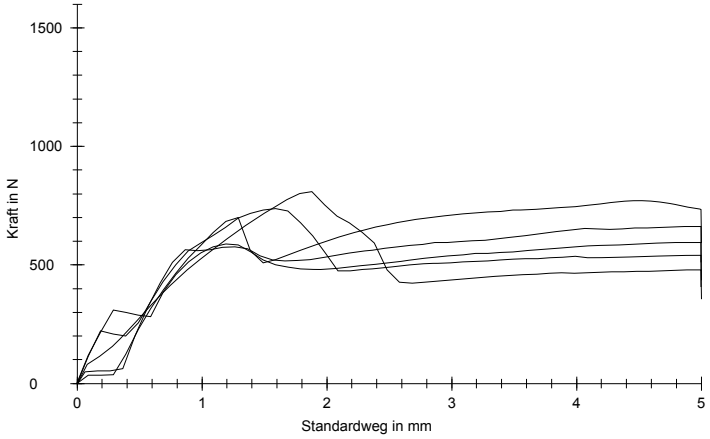
ABP wärmegealtert, parallel zur Faser:



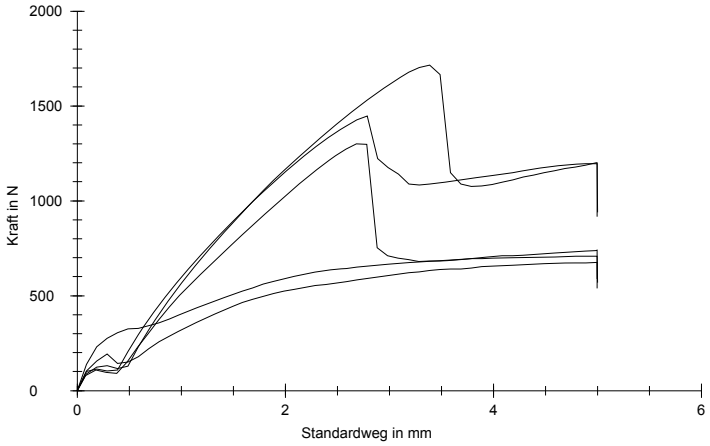
ABP nicht gealtert, vorbelastet, quer zur Faser:



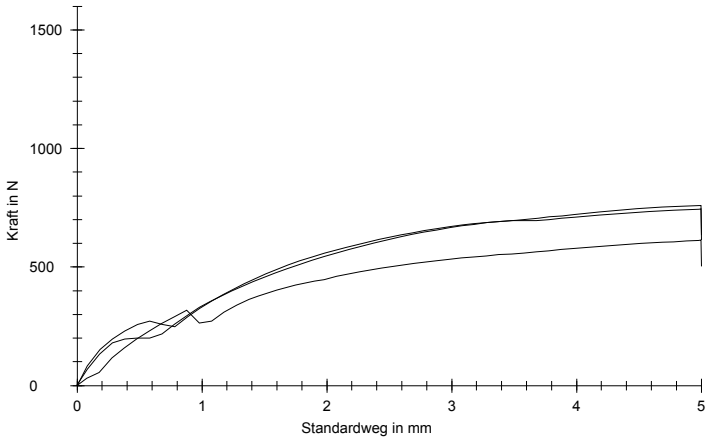
ABP nicht gealtert, quer zur Faser:



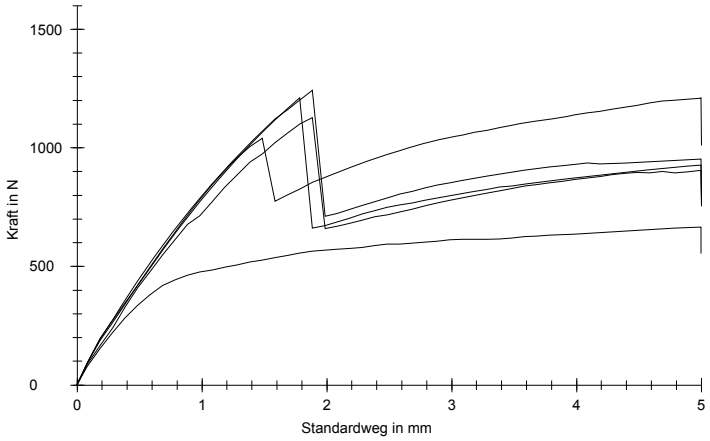
ABP wärmegealtert, quer zur Faser:



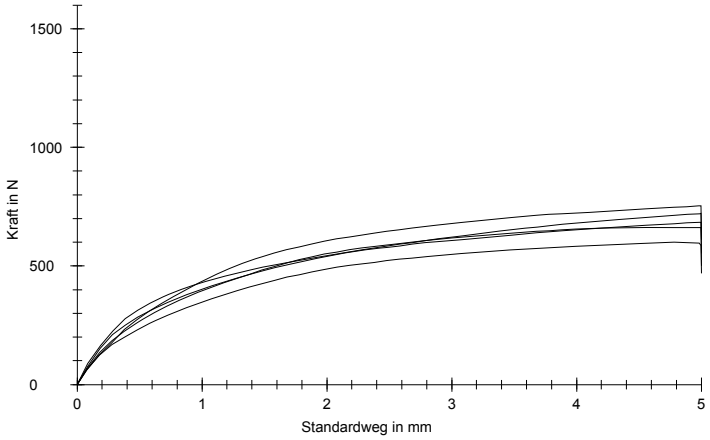
BASF nicht gealtert, vorbelastet, parallel zur Faser:



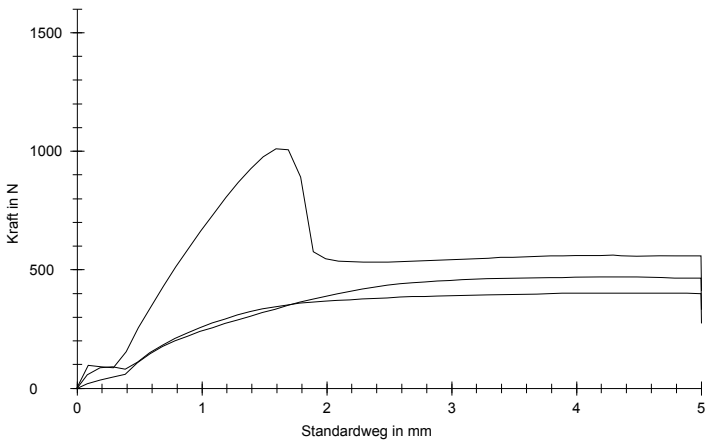
BASF nicht gealtert, parallel zur Faser:



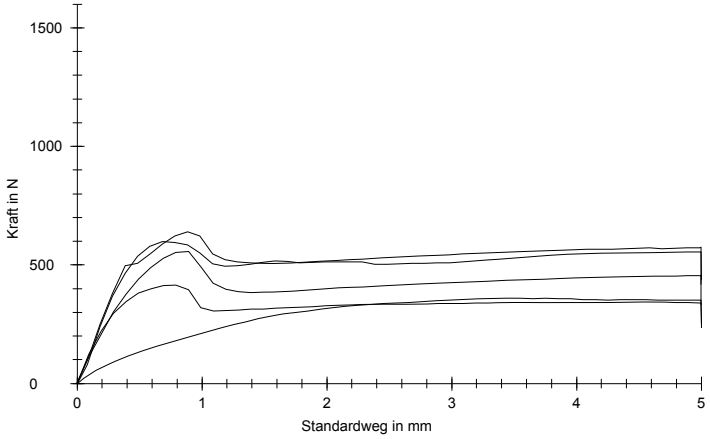
BASF wärmegealtert, parallel zur Faser:



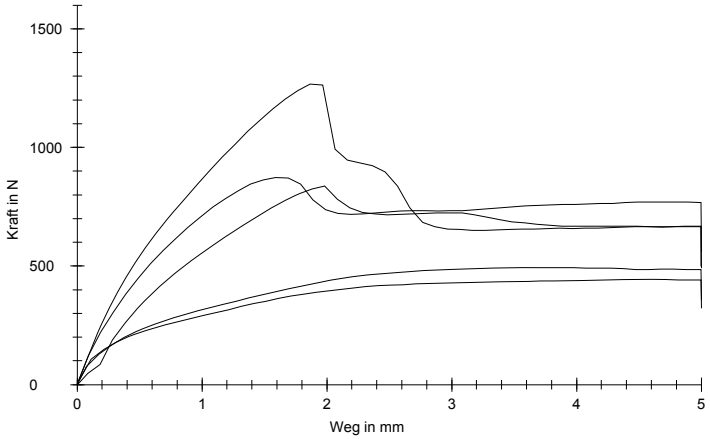
BASF nicht gealtert, vorbelastet, quer zur Faser:



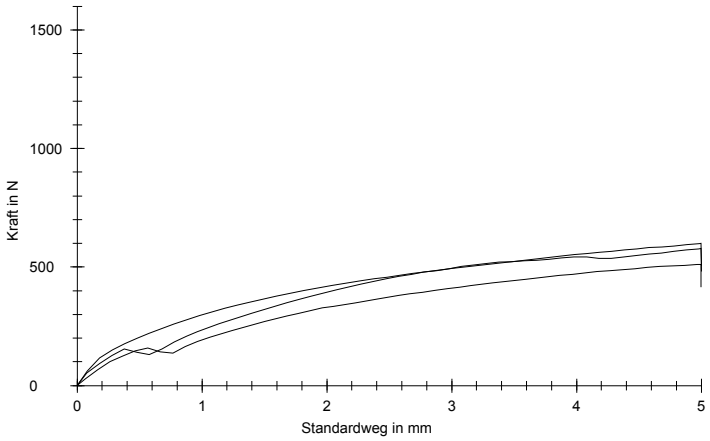
BASF nicht gealtert, quer zur Faser:



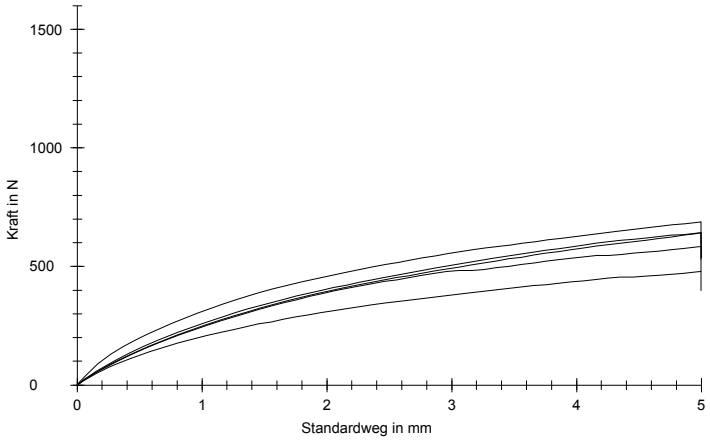
BASF wärmegealtert, quer zur Faser:



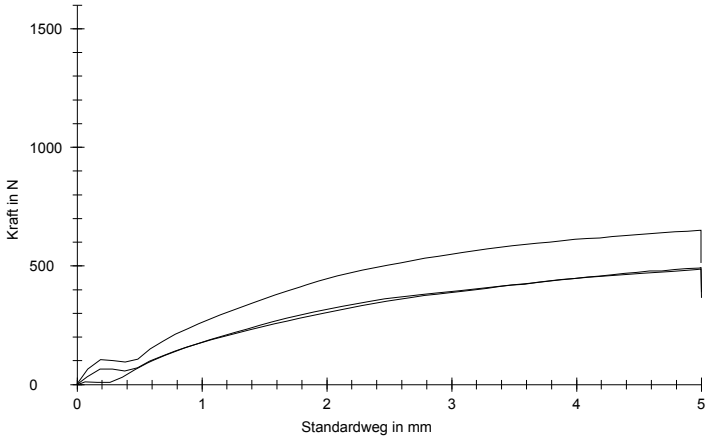
Bayer nicht gealtert, vorbelastet, parallel zur Faser:



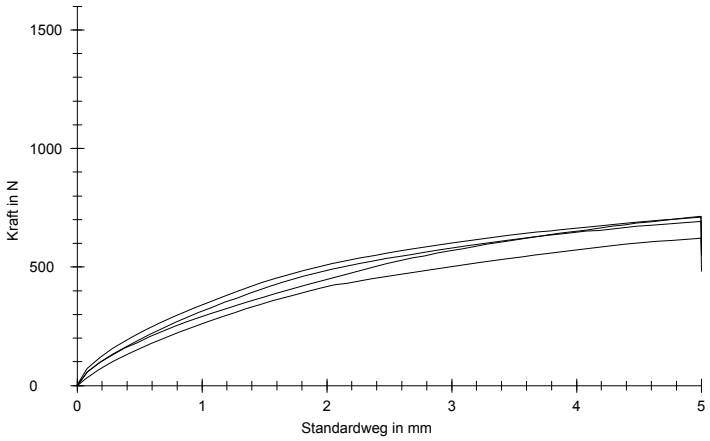
Bayer wärmegealtert, parallel zur Faser:



Bayer nicht gealtert, vorbelastet, quer zur Faser:

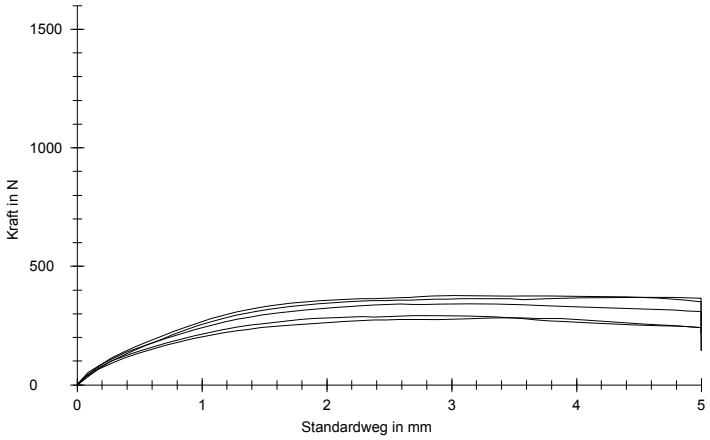


Bayer wärmegealtert, quer zur Faser:



MDF

ABP wärmegealtert:



D.Untersuchung zur Dauerhaftigkeit von Hybridkonstruktionen

Exkurs: Arbeitsschutz

Betriebsanweisung PU 10 nach GISBAU

Betriebsanweisung Nr. 01/2013 | Betrieb:
Gemäß §14 Gefahrstoffverordnung
Baustelle / Tätigkeit: Druckdatum:

PU-Systeme, lösemittelfrei
(Spritzen im Freien)
GISCODE: PU10

Gefahren für Mensch und Umwelt

Einatmen kann zu Gesundheitsschäden führen. Isocyanat-sensibilisierte Personen sollten dieses Produkt nicht verarbeiten. Ein Isocyanat-Asthma kann durch hohe Expositionen beim Einatmen aber auch durch massiven Hautkontakt entstehen. Hautkontakt kann zu Hautallergie führen. Kann die Atemwege, Augen, Haut reizen.
Eindringen in Boden, Gewässer und Kanalisation vermeiden!

Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln

Gefäße nicht offen stehen lassen! Beim Ab-/Umfüllen/Mischen der Komponenten Verspritzen vermeiden. Vorratsmenge auf einen Schichtbedarf beschränken! Berührung mit Augen, Haut und Kleidung vermeiden! Vorbeugend Hautschutzsalbe auftragen, um die Hautreinigung zu erleichtern. Produktreste mit geeignetem Reinigungsmittel von der Haut entfernen - auf keinen Fall Lösemittel verwenden! Nach Arbeitsende und vor jeder Pause Hände gründlich reinigen! Hautpflegemittel verwenden! Verunreinigte Kleidung wechseln! Nach Arbeitsende Kleidung wechseln! Straßenkleidung getrennt von Arbeitskleidung aufbewahren!
Beschäftigungsbeschränkungen beachten!
Augenschutz: Korbbrille oder Helmvisier.
Handschutz: Der Handschutz ist besonders zu beachten, da Inhaltsstoffe auch durch die Haut in den Körper gelangen können!
Handschuhe aus Butylkautschuk.
Beim Tragen von Schutzhandschuhen sind Baumwollunterziehhandschuhe empfehlenswert!
Atemschutz: Immer Atemschutz tragen. Filtergerät mit Kombinationsfilter A1-B1-P2 bzw. gebläseunterstützte Atemschutzhaube/-helm bzw. umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät.
Körperschutz: (Einweg-)Chemikalienschutzanzug und Kunststoffstiefel.

Verhalten im Gefahrenfall

Bei undichten Gebinden bei Eindringen von Wasser Berstgefahr. Mit saugfähigem unbrennbaren Material (z.B. Kieselgur, Sand) aufnehmen und entsorgen! Verunreinigte Flächen und Arbeitsgeräte sofort reinigen! Bei Auslaufen/Verschütten großer Mengen: Gefahrenbereich absperren, unbeteiligte Personen entfernen, persönliche Schutzausrüstung anlegen und weiteres Auslaufen verhindern! Produkt ist brennbar, geeignete Löschmittel: Kohlendioxid, Löschpulver, Schaum, bei größeren Bränden auchWasser im Sprühstrahl! Berst- und Explosionsgefahr bei Erhitzung! Bei Brand in der Umgebung Behälter mit Sprühwasser kühlen! Brandbekämpfung nur mit persönlicher Schutzausrüstung bei größeren Bränden! Bei Brand entstehen gefährliche Dämpfe : Kohlenmonoxid und auch Salzsäure, Blausäure, Stickoxide!
Zuständiger Arzt:
Unfalltelefon:

Erste Hilfe

Bei jeder Erste-Hilfe-Maßnahme: Selbstschutz beachten und umgehend Arzt verständigen.
Nach Augenkontakt: 10 Minuten unter fließendem Wasser bei gespreizten Lidern spülen oder Augenspüllösung nehmen. Immer Augenarzt aufsuchen!
Nach Hautkontakt: Stark verunreinigte Kleidung ausziehen. Mit viel Wasser und Seife reinigen. Keine Verdünnungs-/Lösemittel!
Nach Einatmen: Frischluft!
Nach Verschlucken: Kein Erbrechen herbeiführen. In kleinen Schlucken viel Wasser trinken lassen.
Ersthelfer:

Sachgerechte Entsorgung

Restmengen möglichst verbrauchen. Nicht mehr verwendbare Einzelkomponenten zur Aushärtung vermischen.
Nicht in Ausguss oder Mülltonne schütten!
Zur Entsorgung sammeln in:
Nicht ausgehärtete Produktreste:
Ausgehärtete Produktreste:
Nicht ausgetrocknete Gebinde:
Ausgetrocknete Gebinde:

Betriebsanweisung Nr. 01/2013 | Betrieb:
Gemäß §14 Gefahrstoffverordnung
Baustelle / Tätigkeit: Druckdatum:

PU-Systeme, lösemittelfrei
(Spritzen in Räumen)
GISCODE: PU10

Gefahren für Mensch und Umwelt

Einatmen kann zu Gesundheitsschäden führen. Isocyanat-sensibilisierte Personen sollten dieses Produkt nicht verarbeiten. Ein Isocyanat-Asthma kann durch hohe Expositionen beim Einatmen aber auch durch massiven Hautkontakt entstehen. Hautkontakt kann zu Hautallergie führen. Kann die Atemwege, Augen, Haut reizen.
Eindringen in Boden, Gewässer und Kanalisation vermeiden!

Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln

Arbeiten bei Frischluftzufuhr! Gefäße nicht offen stehen lassen! Beim Ab-/Umfüllen/Mischen der Komponenten Verspritzen vermeiden. Vorratsmenge auf einen Schichtbedarf beschränken! Berührung mit Augen, Haut und Kleidung vermeiden! Vorbeugend Hautschutzsalbe auftragen, um die Hautreinigung zu erleichtern. Produktreste mit geeignetem Reinigungsmittel von der Haut entfernen - auf keinen Fall Lösemittel verwenden! Nach Arbeitsende und vor jeder Pause Hände gründlich reinigen! Hautpflegemittel verwenden! Verunreinigte Kleidung wechseln! Nach Arbeitsende Kleidung wechseln! Straßenkleidung getrennt von Arbeitskleidung aufbewahren! Beschäftigungsbeschränkungen beachten!
Augenschutz: Korbbrille oder Helmvisier.
Handschutz: Der Handschutz ist besonders zu beachten, da Inhaltsstoffe auch durch die Haut in den Körper gelangen können!
Handschuhe aus Butylkautschuk.
Beim Tragen von Schutzhandschuhen sind Baumwollunterziehhandschuhe empfehlenswert!
Atemschutz: Immer Atemschutz tragen. Filtergerät mit Kombinationsfilter A1-B1-P2 bzw. gebläseunterstützte Atemschutzhaube/-helm bzw. umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät.
Körperschutz: (Einweg-)Chemikalienschutzanzug und Kunststoffstiefel.

Verhalten im Gefahrenfall

Bei undichten Gebinden bei Eindringen von Wasser Berstgefahr. Mit saugfähigem unbrennbaren Material (z.B. Kieselgur, Sand) aufnehmen und entsorgen! Verunreinigte Flächen und Arbeitsgeräte sofort reinigen! Bei Auslaufen/Verschütten großer Mengen: Gefahrenbereich absperren, unbeteiligte Personen entfernen, persönliche Schutzausrüstung anlegen und weiteres Auslaufen verhindern! Produkt ist brennbar, geeignete Löschmittel: Kohlendioxid, Löschpulver, Schaum, bei größeren Bränden auchWasser im Sprühstrahl! Berst- und Explosionsgefahr bei Erhitzung! Bei Brand in der Umgebung Behälter mit Sprühwasser kühlen! Brandbekämpfung nur mit persönlicher Schutzausrüstung bei größeren Bränden! Bei Brand entstehen gefährliche Dämpfe : Kohlenmonoxid und auch Salzsäure, Blausäure, Stickoxide!
Zuständiger Arzt:
Unfalltelefon:

Erste Hilfe

Bei jeder Erste-Hilfe-Maßnahme: Selbstschutz beachten und umgehend Arzt verständigen.
Nach Augenkontakt: 10 Minuten unter fließendem Wasser bei gespreizten Lidern spülen oder Augenspüllösung nehmen. Immer Augenarzt aufsuchen!
Nach Hautkontakt: Stark verunreinigte Kleidung ausziehen. Mit viel Wasser und Seife reinigen. Keine Verdünnungs-/Lösemittel!
Nach Einatmen: Frischluft!
Nach Verschlucken: Kein Erbrechen herbeiführen. In kleinen Schlucken viel Wasser trinken lassen.
Ersthelfer:

Sachgerechte Entsorgung

Restmengen möglichst verbrauchen. Nicht mehr verwendbare Einzelkomponenten zur Aushärtung vermischen.
Nicht in Ausguss oder Mülltonne schütten!
Zur Entsorgung sammeln in:
Nicht ausgehärtete Produktreste:
Ausgehärtete Produktreste:
Nicht ausgetrocknete Gebinde:
Ausgetrocknete Gebinde:

Betriebsanweisung PU 20 nach GISBAU

Betriebsanweisung Nr. 01/2013 | Betrieb:
Gemäß §14 Gefahrstoffverordnung
Baustelle / Tätigkeit: Druckdatum:

PU-Systeme, lösemittelhaltig

(Spritzen im Freien)

GISCODE: PU20

Gefahren für Mensch und Umwelt

Einatmen oder Aufnahme durch die Haut kann zu Gesundheitsschäden führen. Isocyanat-sensibilisierte Personen sollten dieses Produkt nicht verarbeiten. Ein Isocyanat-Asthma kann durch hohe Expositionen beim Einatmen aber auch durch massiven Hautkontakt entstehen. Hautkontakt kann zu Hautallergie führen. Kann die Atemwege, Augen, Haut reizen. Vorübergehende Beschwerden (Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit, Konzentrationsstörungen) möglich. Kann Leberschaden, Nierenschaden, Herzrhythmusstörung, Nervenschaden verursachen. Bei höheren Konzentrationen Atem- und Herz-Kreislaufstillstand möglich. Das Produkt ist entzündlich. Erhöhte Entzündungsgefahr bei durchtränktem Material (z.B. Kleidung, Putzlappen).
Eindringen in Boden, Gewässer und Kanalisation vermeiden!

Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln

In schlecht gelüfteten Räumen nur mit Absaugung arbeiten. Von Zündquellen fernhalten! Nicht rauchen! Keine offenen Flammen! Kriechende Dämpfe können in größerer Entfernung zur Entzündung führen! Arbeitsbereich abgrenzen. Schilder (Verbot offener Flammen, Ex-Gefahr) aufstellen! Gefäße nicht offen stehen lassen! Beim Ab-/Umfüllen/Mischen der Komponenten Verspritzen vermeiden. Vorratsmenge auf einen Schichtbedarf beschränken! Berührung mit Augen, Haut und Kleidung vermeiden! Vorbeugend Hautschutzsalbe auftragen, um die Hautreinigung zu erleichtern. Produktreste mit geeignetem Reinigungsmittel von der Haut entfernen - auf keinen Fall Lösemittel verwenden! Nach Arbeitsende und vor jeder Pause Hände gründlich reinigen! Hautpflegemittel verwenden! Verunreinigte Kleidung wechseln! Nach Arbeitsende Kleidung wechseln! Straßenkleidung getrennt von Arbeitskleidung aufbewahren!
Beschäftigungsbeschränkungen beachten!
Augenschutz: Korbbrille oder Helmvisier.
Handschutz: GISBAU ist kein geeignetes Handschuhmaterial bekannt. Handschuhe aus Nitril nur als Spritzschutz verwenden. Beim Tragen von Schutzhandschuhen sind Baumwollunterziehhandschuhe empfehlenswert. Der Handschutz ist besonders zu beachten, da Inhaltsstoffe auch durch die Haut in den Körper gelangen können!
Atemschutz: Immer Atemschutz tragen. Filtergerät mit Kombinationsfilter A1-B1-P2 bzw. gebläseunterstützte Atemschutzhaube/-helm bzw. umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät.
Körperschutz: (Einweg-)Chemikalienschutzanzug und Kunststoffstiefel.

Verhalten im Gefahrenfall

Bei undichten Gebinden bei Eindringen von Wasser Berstgefahr. Mit saugfähigem unbrennbaren Material (z.B. Kieselgur, Sand) aufnehmen und entsorgen! Verunreinigte Flächen und Arbeitsgeräte sofort reinigen! Bei Auslaufen/Verschütten großer Mengen: Gefahrenbereich absperren, unbeteiligte Personen entfernen, persönliche Schutzausrüstung anlegen und weiteres Auslaufen verhindern! Produkt ist brennbar, geeignete Löschmittel: Kohlendioxid, Löschpulver, Schaum, bei größeren Bränden auch Wasser im Sprühstrahl! Berst- und Explosionsgefahr bei Erhitzung! Bei Brand in der Umgebung Behälter mit Sprühwasser kühlen! Brandbekämpfung nur mit persönlicher Schutzausrüstung bei größeren Bränden! Bei Brand entstehen gefährliche Dämpfe : Kohlenmonoxid und auch Salzsäure, Blausäure, Stickoxide!
Zuständiger Arzt:
Unfalltelefon:

Erste Hilfe

Bei jeder Erste-Hilfe-Maßnahme: Selbstschutz beachten und umgehend Arzt verständigen.
Nach Augenkontakt: 10 Minuten unter fließendem Wasser bei gespreizten Lidern spülen oder Augenspüllösung nehmen. Immer Augenarzt aufsuchen!
Nach Hautkontakt: Verunreinigte Kleidung sofort ausziehen. Mit viel Wasser und Seife reinigen. Keine Verdünnungs-/Lösemittel!
Nach Einatmen: Frischluft! Bei Bewusstlosigkeit Atemwege freihalten (Zahnprothesen, Erbrochenes entfernen, stabile Seitenlagerung), Atmung und Puls überwachen. Bei Atem- oder Herzstillstand: künstliche Beatmung und Herzdruckmassage.
Nach Verschlucken: Kein Erbrechen auslösen, nichts zu trinken geben.
Ersthelfer:

Sachgerechte Entsorgung

Restmengen möglichst verbrauchen. Nicht mehr verwendbare Einzelkomponenten zur Aushärtung vermischen.
Nicht in Ausguss oder Mülltonne schütten!
Zur Entsorgung sammeln in:
Nicht ausgehärtete Produktreste:
Ausgehärtete Produktreste:
Nicht ausgetrocknete Gebinde:
Ausgetrocknete Gebinde:

Betriebsanweisung Nr. 01/2013 | Betrieb:
Gemäß §14 Gefahrstoffverordnung
Baustelle / Tätigkeit: Druckdatum:

PU-Systeme, lösemittelhaltig
(Spritzen in Räumen)
GISCODE: PU20

Gefahren für Mensch und Umwelt

Einatmen oder Aufnahme durch die Haut kann zu Gesundheitsschäden führen. Isocyanat-sensibilisierte Personen sollten dieses Produkt nicht verarbeiten. Ein Isocyanat-Asthma kann durch hohe Expositionen beim Einatmen aber auch durch massiven Hautkontakt entstehen. Hautkontakt kann zu Hautallergie führen. Kann die Atemwege, Augen, Haut reizen. Vorübergehende Beschwerden (Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit, Konzentrationsstörungen) möglich. Kann Leberschaden, Nierenschaden, Herzrhythmusstörung, Nervenschaden verursachen. Bei höheren Konzentrationen Atem- und Herz-Kreislaufstillstand möglich. Das Produkt ist entzündlich. Erhöhte Entzündungsgefahr bei durchtränktem Material (z.B. Kleidung, Putzlappen).
Eindringen in Boden, Gewässer und Kanalisation vermeiden!

Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln

Bei Arbeiten in Räumen für Frischluftzufuhr sorgen da Dämpfe schwerer als Luft. In schlecht gelüfteten Räumen nur mit Absaugung arbeiten. Von Zündquellen fernhalten! Nicht rauchen! Keine offenen Flammen! Kriechende Dämpfe können in größerer Entfernung zur Entzündung führen! Nur ex-geschützte Be-/ Entlüftungsgeräte verwenden! Nur ex-geschützte und funkenfreie Werkzeuge verwenden! Schlag und Reibung vermeiden! Arbeitsbereich abgrenzen. Schilder (Verbot offener Flammen, Ex-Gefahr) aufstellen! Gefäße nicht offen stehen lassen! Beim Ab-/Umfüllen/Mischen der Komponenten Verspritzen vermeiden. Vorratsmenge auf einen Schichtbedarf beschränken! Berührung mit Augen, Haut und Kleidung vermeiden! Vorbeugend Hautschutzsalbe auftragen, um die Hautreinigung zu erleichtern. Produktreste mit geeignetem Reinigungsmittel von der Haut entfernen - auf keinen Fall Lösemittel verwenden! Nach Arbeitsende und vor jeder Pause Hände gründlich reinigen! Hautpflegemittel verwenden! Verunreinigte Kleidung wechseln! Nach Arbeitsende Kleidung wechseln! Straßenkleidung getrennt von Arbeitskleidung aufbewahren!
Beschäftigungsbeschränkungen beachten!
Augenschutz: Korbbrille oder Helmvisier.
Handschutz: GISBAU ist kein geeignetes Handschuhmaterial bekannt. Handschuhe aus Nitril nur als Spritzschutz verwenden. Beim Tragen von Schutzhandschuhen sind Baumwollunterziehhandschuhe empfehlenswert. Der Handschutz ist besonders zu beachten, da Inhaltsstoffe auch durch die Haut in den Körper gelangen können!
Atemschutz: Immer Atemschutz tragen. Filtergerät mit Kombinationsfilter A1-B1-P2 bzw. gebläseunterstützte Atemschutzhaube/-helm bzw. umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät.
Körperschutz: (Einweg-)Chemikalienschutzanzug und Kunststoffstiefel.

Verhalten im Gefahrenfall

Bei undichten Gebinden bei Eindringen von Wasser Berstgefahr. Mit saugfähigem unbrennbaren Material (z.B. Kieselgur, Sand) aufnehmen und entsorgen! Verunreinigte Flächen und Arbeitsgeräte sofort reinigen! Bei Auslaufen/Verschütten großer Mengen: Gefahrenbereich absperren, unbeteiligte Personen entfernen, persönliche Schutzausrüstung anlegen und weiteres Auslaufen verhindern! Produkt ist brennbar, geeignete Löschmittel: Kohlendioxid, Löschpulver, Schaum, bei größeren Bränden auch Wasser im Sprühstrahl! Berst- und Explosionsgefahr bei Erhitzung! Bei Brand in der Umgebung Behälter mit Sprühwasser kühlen! Brandbekämpfung nur mit persönlicher Schutzausrüstung bei größeren Bränden! Bei Brand entstehen gefährliche Dämpfe : Kohlenmonoxid und auch Salzsäure, Blausäure, Stickoxide!
Zuständiger Arzt:
Unfalltelefon:

Erste Hilfe

Bei jeder Erste-Hilfe-Maßnahme: Selbstschutz beachten und umgehend Arzt verständigen.
Nach Augenkontakt: 10 Minuten unter fließendem Wasser bei gespreizten Lidern spülen oder Augenspüllösung nehmen. Immer Augenarzt aufsuchen!
Nach Hautkontakt: Verunreinigte Kleidung sofort ausziehen. Mit viel Wasser und Seife reinigen. Keine Verdünnungs-/Lösemittel!
Nach Einatmen: Frischluft! Bei Bewusstlosigkeit Atemwege freihalten (Zahnprothesen, Erbrochenes entfernen, stabile Seitenlagerung), Atmung und Puls überwachen. Bei Atem- oder Herzstillstand: künstliche Beatmung und Herzdruckmassage.
Nach Verschlucken: Kein Erbrechen auslösen, nichts zu trinken geben.
Ersthelfer:

Sachgerechte Entsorgung

Restmengen möglichst verbrauchen. Nicht mehr verwendbare Einzelkomponenten zur Aushärtung vermischen.
Nicht in Ausguss oder Mülltonne schütten!
Zur Entsorgung sammeln in:
Nicht ausgehärtete Produktreste:
Ausgehärtete Produktreste:
Nicht ausgetrocknete Gebinde:
Ausgetrocknete Gebinde:

Betriebsanweisung PU 40 nach GISBAU

Betriebsanweisung Nr. 01/2013 | Betrieb:
Gemäß §14 Gefahrstoffverordnung
Baustelle / Tätigkeit: Druckdatum:

PU-Systeme, lösemittelfrei, gesundheitsschädlich, sensibilisierend
(Spritzen im Freien)
GISCODE: PU40
Beim Spritzen dieser Produkte können feine Sprühnebel entstehen, deren Bestandteile zum Teil im Verdacht stehen, Krebs zu erzeugen!

Gefahren für Mensch und Umwelt

Einatmen oder Hautkontakt kann zu Gesundheitsschäden führen. Kann zu Allergien führen. Ein Isocyanat-Asthma kann durch hohe Expositionen beim Einatmen aber auch durch massiven Hautkontakt entstehen. Hautkontakt kann zu Hautallergie führen. Isocyanat-sensibilisierte Personen sollten dieses Produkt nicht verarbeiten. Reizt die Atemwege, Augen, Haut. Vorübergehende Beschwerden (Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit) möglich. Kann Hautveränderungen, Fieber, Asthma verursachen. Krebserzeugende Wirkung von Diphenylmethandiisocyanat in Form alveolengängiger Aerosole (sehr feiner Sprühnebel) wird vermutet!
Eindringen in Boden, Gewässer und Kanalisation vermeiden!

Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln

Räumliche Trennung sowie Kennzeichnung der Arbeitsplätze - Aufenthalt nur soweit notwendig. Gefäße nicht offen stehen lassen! Beim Ab-/Umfüllen/Mischen der Komponenten Verspritzen vermeiden. Vorratsmenge auf einen Schichtbedarf beschränken! Berührung mit Augen, Haut und Kleidung unbedingt vermeiden! Vorbeugend Hautschutzsalbe auftragen, um die Hautreinigung zu erleichtern. Produktreste mit geeignetem Reinigungsmittel von der Haut entfernen - auf keinen Fall Lösemittel verwenden! Nach Arbeitsende und vor jeder Pause Hände gründlich reinigen! Hautpflegemittel verwenden! Verunreinigte Kleidung wechseln! Nach Arbeitsende Kleidung wechseln! Straßenkleidung getrennt von Arbeitskleidung aufbewahren!
Beschäftigungsbeschränkungen beachten!
Augenschutz: Korbbrille oder Helmvisier.
Handschutz: Der Handschutz ist besonders zu beachten, da Inhaltsstoffe auch durch die Haut in den Körper gelangen können!
Handschuhe aus Butylkautschuk.
Beim Tragen von Schutzhandschuhen sind Baumwollunterziehhandschuhe empfehlenswert!
Atemschutz: Immer Atemschutz tragen. Filtergerät mit Kombinationsfilter A1-B1-P2 bzw. gebläseunterstützte Atemschutzhaube/-helm bzw. umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät.
Körperschutz: (Einweg-)Chemikalienschutzanzug und Kunststoffstiefel.

Verhalten im Gefahrenfall

Bei undichten Gebinden bei Eindringen von Wasser Berstgefahr. Mit saugfähigem unbrennbaren Material (z.B. Kieselgur, Sand) aufnehmen und entsorgen! Verunreinigte Flächen und Arbeitsgeräte sofort reinigen! Bei Auslaufen/Verschütten großer Mengen: Gefahrenbereich absperren, unbeteiligte Personen entfernen, persönliche Schutzausrüstung anlegen und weiteres Auslaufen verhindern! Produkt ist brennbar, geeignete Löschmittel: Kohlendioxid, Löschpulver, Schaum, bei größeren Bränden auch Wasser im Sprühstrahl! Berst- und Explosionsgefahr bei Erhitzung! Bei Brand in der Umgebung Behälter mit Sprühwasser kühlen! Brandbekämpfung nur mit persönlicher Schutzausrüstung bei größeren Bränden! Bei Brand entstehen gefährliche Dämpfe : Kohlenmonoxid und auch Salzsäure, Blausäure, Stickoxide!
Zuständiger Arzt:
Unfalltelefon:

Erste Hilfe

Bei jeder Erste-Hilfe-Maßnahme: Selbstschutz beachten und umgehend Arzt verständigen.
Nach Augenkontakt: 10 Minuten unter fließendem Wasser bei gespreizten Lidern spülen oder Augenspüllösung nehmen. Immer Augenarzt aufsuchen!
Nach Hautkontakt: Stark verunreinigte Kleidung ausziehen. Mit viel Wasser und Seife reinigen. Keine Verdünnungs-/Lösemittel!
Nach Einatmen: Frischluft!
Nach Verschlucken: Kein Erbrechen herbeiführen. In kleinen Schlucken viel Wasser trinken lassen.
Ersthelfer:

Sachgerechte Entsorgung

Restmengen möglichst verbrauchen. Nicht mehr verwendbare Einzelkomponenten zur Aushärtung vermischen.
Nicht in Ausguss oder Mülltonne schütten!
Zur Entsorgung sammeln in:
Nicht ausgehärtete Produktreste:
Ausgehärtete Produktreste:
Nicht ausgetrocknete Gebinde:
Ausgetrocknete Gebinde:

Betriebsanweisung Nr. 01/2013 | Betrieb:
Gemäß §14 Gefahrstoffverordnung
Baustelle / Tätigkeit: Druckdatum:

PU-Systeme, lösemittelfrei, gesundheitsschädlich, sensibilisierend

(Spritzen in Räumen)

GISCODE: PU40

Beim Spritzen dieser Produkte können feine Sprühnebel entstehen, deren Bestandteile zum Teil im Verdacht stehen, Krebs zu erzeugen!

Gefahren für Mensch und Umwelt

Einatmen oder Hautkontakt kann zu Gesundheitsschäden führen. Kann zu Allergien führen. Ein Isocyanat-Asthma kann durch hohe Expositionen beim Einatmen aber auch durch massiven Hautkontakt entstehen. Hautkontakt kann zu Hautallergie führen. Isocyanat-sensibilisierte Personen sollten dieses Produkt nicht verarbeiten. Reizt die Atemwege, Augen, Haut. Vorübergehende Beschwerden (Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit) möglich. Kann Hautveränderungen, Fieber, Asthma verursachen. Krebserzeugende Wirkung von Diphenylmethandiisocyanat in Form alveolengängiger Aerosole (sehr feiner Sprühnebel) wird vermutet!
Eindringen in Boden, Gewässer und Kanalisation vermeiden!

Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln

Arbeiten bei Frischluftzufuhr! Räumliche Trennung sowie Kennzeichnung der Arbeitsplätze - Aufenthalt nur soweit notwendig. Gefäße nicht offen stehen lassen! Beim Ab-/Umfüllen/Mischen der Komponenten Verspritzen vermeiden. Vorratsmenge auf einen Schichtbedarf beschränken! Berührung mit Augen, Haut und Kleidung unbedingt vermeiden! Vorbeugend Hautschutzsalbe auftragen, um die Hautreinigung zu erleichtern.
Produktreste mit geeignetem Reinigungsmittel von der Haut entfernen - auf keinen Fall Lösemittel verwenden!
Nach Arbeitsende und vor jeder Pause Hände gründlich reinigen! Hautpflegemittel verwenden! Verunreinigte Kleidung wechseln! Nach Arbeitsende Kleidung wechseln! Straßenkleidung getrennt von Arbeitskleidung aufbewahren!
Beschäftigungsbeschränkungen beachten!
Augenschutz: Korbbrille oder Helmvisier.
Handschutz: Der Handschutz ist besonders zu beachten, da Inhaltsstoffe auch durch die Haut in den Körper gelangen können!
Handschuhe aus Butylkautschuk.
Beim Tragen von Schutzhandschuhen sind Baumwollunterziehhandschuhe empfehlenswert!
Atemschutz: Immer Atemschutz tragen. Filtergerät mit Kombinationsfilter A1-B1-P2 bzw. gebläseunterstützte Atemschutzhaube/-helm bzw. umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät.
Körperschutz: (Einweg-)Chemikalienschutzanzug und Kunststoffstiefel.

Verhalten im Gefahrenfall

Bei undichten Gebinden bei Eindringen von Wasser Berstgefahr. Mit saugfähigem unbrennbaren Material (z.B. Kieselgur, Sand) aufnehmen und entsorgen! Verunreinigte Flächen und Arbeitsgeräte sofort reinigen! Bei Auslaufen/Verschütten großer Mengen: Gefahrenbereich absperren, unbeteiligte Personen entfernen, persönliche Schutzausrüstung anlegen und weiteres Auslaufen verhindern! Produkt ist brennbar, geeignete Löschmittel: Kohlendioxid, Löschpulver, Schaum, bei größeren Bränden auch Wasser im Sprühstrahl! Berst- und Explosionsgefahr bei Erhitzung! Bei Brand in der Umgebung Behälter mit Sprühwasser kühlen! Brandbekämpfung nur mit persönlicher Schutzausrüstung bei größeren Bränden! Bei Brand entstehen gefährliche Dämpfe : Kohlenmonoxid und auch Salzsäure, Blausäure, Stickoxide!
Zuständiger Arzt:
Unfalltelefon:

Erste Hilfe

Bei jeder Erste-Hilfe-Maßnahme: Selbstschutz beachten und umgehend Arzt verständigen.
Nach Augenkontakt: 10 Minuten unter fließendem Wasser bei gespreizten Lidern spülen oder Augenspüllösung nehmen. Immer Augenarzt aufsuchen!
Nach Hautkontakt: Stark verunreinigte Kleidung ausziehen. Mit viel Wasser und Seife reinigen. Keine Verdünnungs-/Lösemittel!
Nach Einatmen: Frischluft!
Nach Verschlucken: Kein Erbrechen herbeiführen. In kleinen Schlucken viel Wasser trinken lassen.
Ersthelfer:

Sachgerechte Entsorgung

Restmengen möglichst verbrauchen. Nicht mehr verwendbare Einzelkomponenten zur Aushärtung vermischen.
Nicht in Ausguss oder Mülltonne schütten!
Zur Entsorgung sammeln in:
Nicht ausgehärtete Produktreste:
Ausgehärtete Produktreste:
Nicht ausgetrocknete Gebinde:
Ausgetrocknete Gebinde:

Betriebsanweisung PU 60 nach GISBAU

Betriebsanweisung Nr. 01/2013 | Betrieb:
Gemäß §14 Gefahrstoffverordnung
Baustelle / Tätigkeit: Druckdatum:

PU-Systeme, Reaktionskomponente auf Aminbasis, gesundheitsschädlich, sensibilisierend
(Spritzen im Freien)
GISCODE: PU60
Beim Spritzen dieser Produkte können feine Sprühnebel entstehen, deren Bestandteile zum Teil im Verdacht stehen, Krebs zu erzeugen!

Gefahren für Mensch und Umwelt

Einatmen oder Aufnahme durch die Haut kann zu Gesundheitsschäden führen. Reizt die Atemwege, Augen, Haut. Vorübergehende Beschwerden (Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit) möglich. Kann Hautveränderungen, Fieber, Asthma, Blutbildveränderungen (Methämoglobinbildung) verursachen. Kann zu Allergien führen. Ein Isocyanat-Asthma kann durch hohe Expositionen beim Einatmen aber auch durch massiven Hautkontakt entstehen. Hautkontakt kann zu Hautallergie führen. Personen mit Isocyanaten, Amin-Allergie sollten keinen Kontakt mit diesem Stoff haben. Krebserzeugende Wirkung von Diphenylmethandiisocyanat in Form alveolengängiger Aerosole (sehr feiner Sprühnebel) wird vermutet! die Aminkomponente kann Stoffe enthalten, die sehr giftig für Wasserorganismen sind und längerfristig schädliche Wirkungen für Gewässer haben - bei Eindringen in Gewässer zuständige Behörde benachrichtigen!
Eindringen in Boden, Gewässer und Kanalisation vermeiden!

Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln

Räumliche Trennung sowie Kennzeichnung der Arbeitsplätze - Aufenthalt nur soweit notwendig. Gefäße nicht offen stehen lassen! Beim Ab-/Umfüllen/Mischen der Komponenten Verspritzen vermeiden. Vorratsmenge auf einen Schichtbedarf beschränken! Berührung mit Augen, Haut und Kleidung unbedingt vermeiden! Vorbeugend Hautschutzsalbe auftragen, um die Hautreinigung zu erleichtern. Produktreste mit geeignetem Reinigungsmittel von der Haut entfernen - auf keinen Fall Lösemittel verwenden! Nach Arbeitsende und vor jeder Pause Hände gründlich reinigen! Hautpflegemittel verwenden! Verunreinigte Kleidung wechseln! Nach Arbeitsende Kleidung wechseln! Straßenkleidung getrennt von Arbeitskleidung aufbewahren!
Beschäftigungsbeschränkungen beachten!
Augenschutz: Korbbrille oder Helmvisier.
Handschutz: Der Handschutz ist besonders zu beachten, da Inhaltsstoffe auch durch die Haut in den Körper gelangen können!
Atemschutz: Immer Atemschutz tragen. Filtergerät mit Kombinationsfilter A1-B1-P2 bzw. gebläseunterstützte Atemschutzhaube/-helm bzw. umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät.
Körperschutz: (Einweg-)Chemikalienschutzanzug und Kunststoffstiefel.

Verhalten im Gefahrenfall

Bei undichten Gebinden bei Eindringen von Wasser Berstgefahr. Mit saugfähigem unbrennbaren Material (z.B. Kieselgur, Sand) aufnehmen und entsorgen! Verunreinigte Flächen und Arbeitsgeräte sofort reinigen! Bei Auslaufen/Verschütten großer Mengen: Gefahrenbereich absperren, unbeteiligte Personen entfernen, persönliche Schutzausrüstung anlegen und weiteres Auslaufen verhindern! Produkt ist brennbar, geeignete Löschmittel: Kohlendioxid, Löschpulver, Schaum, bei größeren Bränden auch Wasser im Sprühstrahl! Berst- und Explosionsgefahr bei Erhitzung! Bei Brand in der Umgebung Behälter mit Sprühwasser kühlen! Brandbekämpfung nur mit persönlicher Schutzausrüstung bei größeren Bränden! Bei Brand entstehen gefährliche Dämpfe : Kohlenmonoxid und auch Salzsäure, Blausäure, Stickoxide!
Zuständiger Arzt:
Unfalltelefon:

Erste Hilfe

Bei jeder Erste-Hilfe-Maßnahme: Selbstschutz beachten und umgehend Arzt verständigen.
Nach Augenkontakt: 10 Minuten unter fließendem Wasser bei gespreizten Lidern spülen oder Augenspüllösung nehmen. Immer Augenarzt aufsuchen!
Nach Hautkontakt: Stark verunreinigte Kleidung ausziehen. Mit viel Wasser und Seife reinigen. Keine Verdünnungs-/Lösemittel!
Nach Einatmen: Frischluft!
Nach Verschlucken: Kein Erbrechen herbeiführen. In kleinen Schlucken viel Wasser trinken lassen.
Ersthelfer:

Sachgerechte Entsorgung

Restmengen möglichst verbrauchen. Nicht mehr verwendbare Einzelkomponenten zur Aushärtung vermischen.
Nicht in Ausguss oder Mülltonne schütten!
Zur Entsorgung sammeln in:
Nicht ausgehärtete Produktreste:
Ausgehärtete Produktreste:
Nicht ausgetrocknete Gebinde:
Ausgetrocknete Gebinde:

Betriebsanweisung Nr. 01/2013 | Betrieb:
Gemäß §14 Gefahrstoffverordnung
Baustelle / Tätigkeit: Druckdatum:

PU-Systeme, Reaktionskomponente auf Aminbasis, gesundheitsschädlich, sensibilisierend

(Spritzen in Räumen)

GISCODE: PU80

Beim Spritzen dieser Produkte können feine Sprühnebel entstehen, deren Bestandteile zum Teil im Verdacht stehen, Krebs zu erzeugen!

Gefahren für Mensch und Umwelt

Einatmen oder Aufnahme durch die Haut kann zu Gesundheitsschäden führen. Reizt die Atemwege, Augen, Haut. Vorübergehende Beschwerden (Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit) möglich. Kann Hautveränderungen, Fieber, Asthma, Blutbildveränderungen (Methämoglobinbildung) verursachen. Kann zu Allergien führen. Ein Isocyanat-Asthma kann durch hohe Expositionen beim Einatmen aber auch durch massiven Hautkontakt entstehen. Hautkontakt kann zu Hautallergie führen. Personen mit Isocyanaten, Amin-Allergie sollten keinen Kontakt mit diesem Stoff haben. Krebserzeugende Wirkung von Diphenylmethandiisocyanat in Form alveolengängiger Aerosole (sehr feiner Sprühnebel) wird vermutet! die Aminkomponente kann Stoffe enthalten, die sehr giftig für Wasserorganismen sind und längerfristig schädliche Wirkungen für Gewässer haben - bei Eindringen in Gewässer zuständige Behörde benachrichtigen!
Eindringen in Boden, Gewässer und Kanalisation vermeiden!

Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln

Arbeiten bei Frischluftzufuhr! Räumliche Trennung sowie Kennzeichnung der Arbeitsplätze - Aufenthalt nur soweit notwendig. Gefäße nicht offen stehen lassen! Beim Ab-/Umfüllen/Mischen der Komponenten Verspritzen vermeiden. Vorratsmenge auf einen Schichtbedarf beschränken! Berührung mit Augen, Haut und Kleidung unbedingt vermeiden! Vorbeugend Hautschutzsalbe auftragen, um die Hautreinigung zu erleichtern.
Produktreste mit geeignetem Reinigungsmittel von der Haut entfernen - auf keinen Fall Lösemittel verwenden! Nach Arbeitsende und vor jeder Pause Hände gründlich reinigen! Hautpflegemittel verwenden! Verunreinigte Kleidung wechseln! Nach Arbeitsende Kleidung wechseln! Straßenkleidung getrennt von Arbeitskleidung aufbewahren!
Beschäftigungsbeschränkungen beachten!
Augenschutz: Korbbrille oder Helmvisier.
Handschutz: Der Handschutz ist besonders zu beachten, da Inhaltsstoffe auch durch die Haut in den Körper gelangen können!
Atemschutz: Immer Atemschutz tragen. Filtergerät mit Kombinationsfilter A1-B1-P2 bzw. gebläseunterstützte Atemschutzhaube/-helm bzw. umgebungsluftunabhängiges Atemschutzgerät.
Körperschutz: (Einweg-)Chemikalienschutzanzug und Kunststoffstiefel.

Verhalten im Gefahrenfall

Bei undichten Gebinden bei Eindringen von Wasser Berstgefahr. Mit saugfähigem unbrennbaren Material (z.B. Kieselgur, Sand) aufnehmen und entsorgen! Verunreinigte Flächen und Arbeitsgeräte sofort reinigen! Bei Auslaufen/Verschütten großer Mengen: Gefahrenbereich absperren, unbeteiligte Personen entfernen, persönliche Schutzausrüstung anlegen und weiteres Auslaufen verhindern! Produkt ist brennbar, geeignete Löschmittel: Kohlendioxid, Löschpulver, Schaum, bei größeren Bränden auch Wasser im Sprühstrahl! Berst- und Explosionsgefahr bei Erhitzung! Bei Brand in der Umgebung Behälter mit Sprühwasser kühlen! Brandbekämpfung nur mit persönlicher Schutzausrüstung bei größeren Bränden! Bei Brand entstehen gefährliche Dämpfe : Kohlenmonoxid und auch Salzsäure, Blausäure, Stickoxide!
Zuständiger Arzt:
Unfalltelefon:

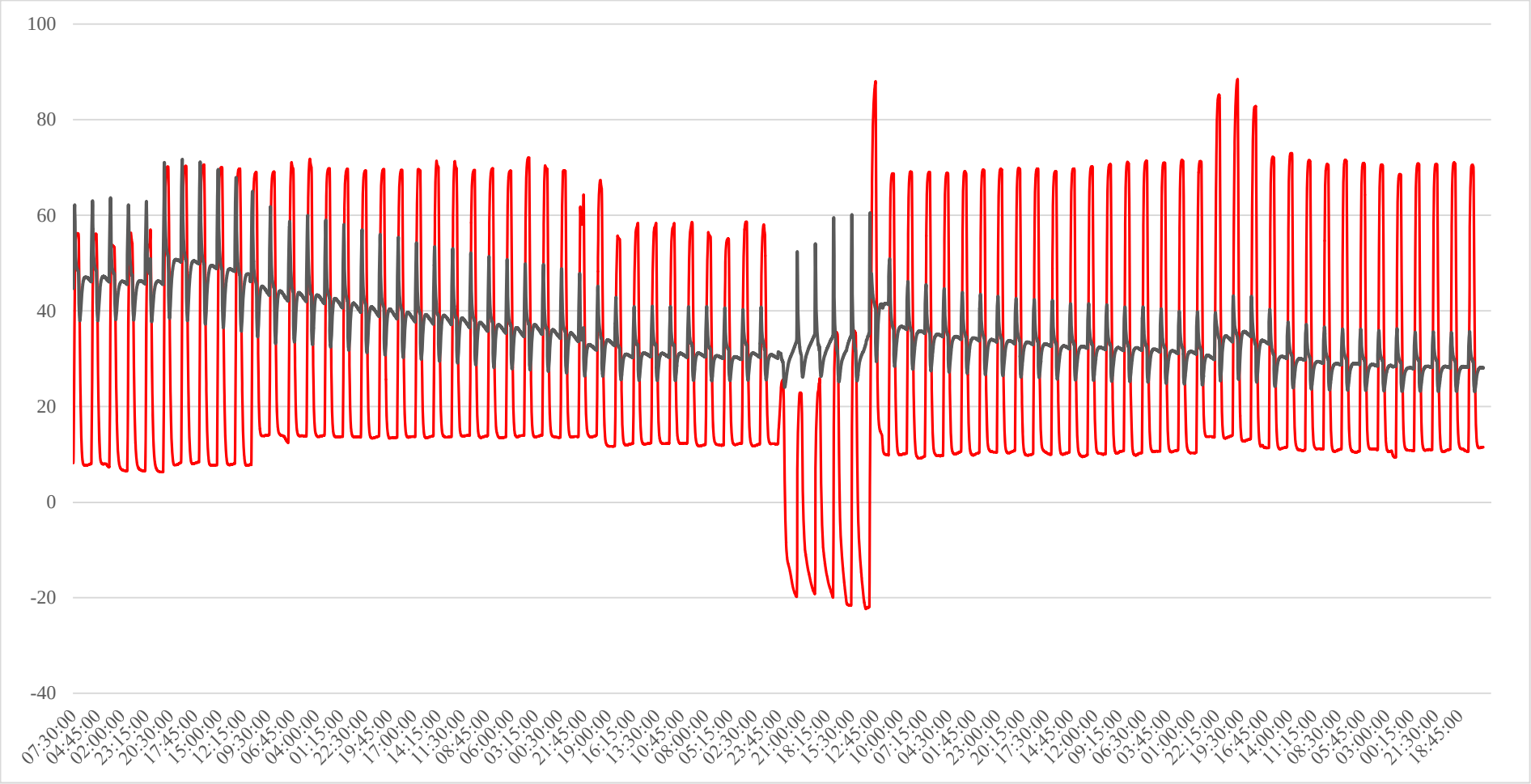
Erste Hilfe

Bei jeder Erste-Hilfe-Maßnahme: Selbstschutz beachten und umgehend Arzt verständigen.
Nach Augenkontakt: 10 Minuten unter fließendem Wasser bei gespreizten Lidern spülen oder Augenspüllösung nehmen. Immer Augenarzt aufsuchen!
Nach Hautkontakt: Stark verunreinigte Kleidung ausziehen. Mit viel Wasser und Seife reinigen. Keine Verdünnungs-/Lösemittel!
Nach Einatmen: Frischluft!
Nach Verschlucken: Kein Erbrechen herbeiführen. In kleinen Schlucken viel Wasser trinken lassen.
Ersthelfer:

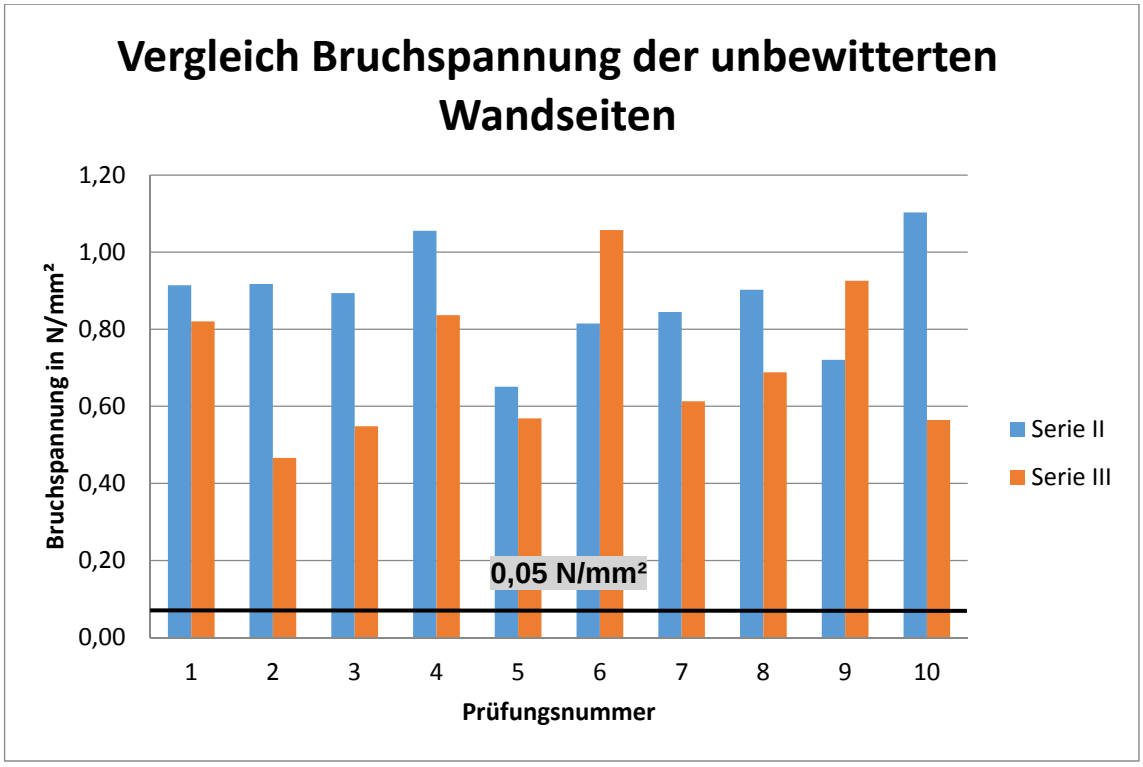
Sachgerechte Entsorgung

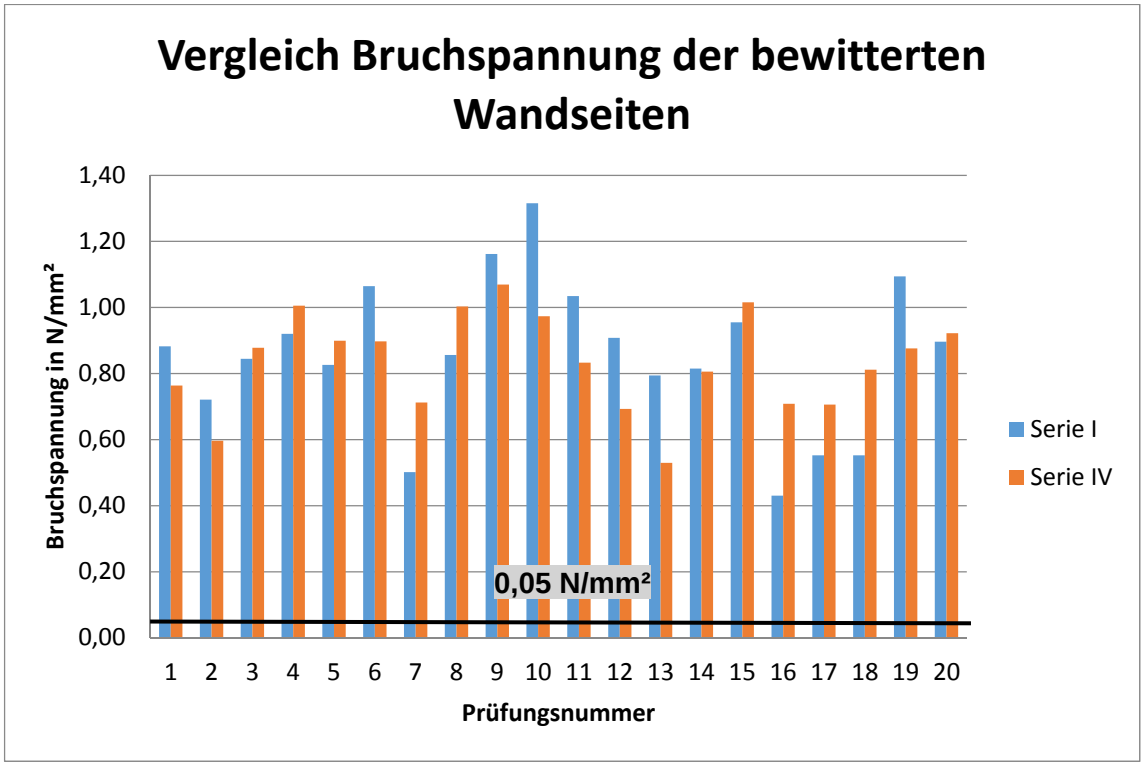
Restmengen möglichst verbrauchen. Nicht mehr verwendbare Einzelkomponenten zur Aushärtung vermischen.
Nicht in Ausguss oder Mülltonne schütten!
Zur Entsorgung sammeln in:
Nicht ausgehärtete Produktreste:
Ausgehärtete Produktreste:
Nicht ausgetrocknete Gebinde:
Ausgetrocknete Gebinde:

Klimazyklus des Prüfstandes nach dem Wilhelm-Klauditz-Institut



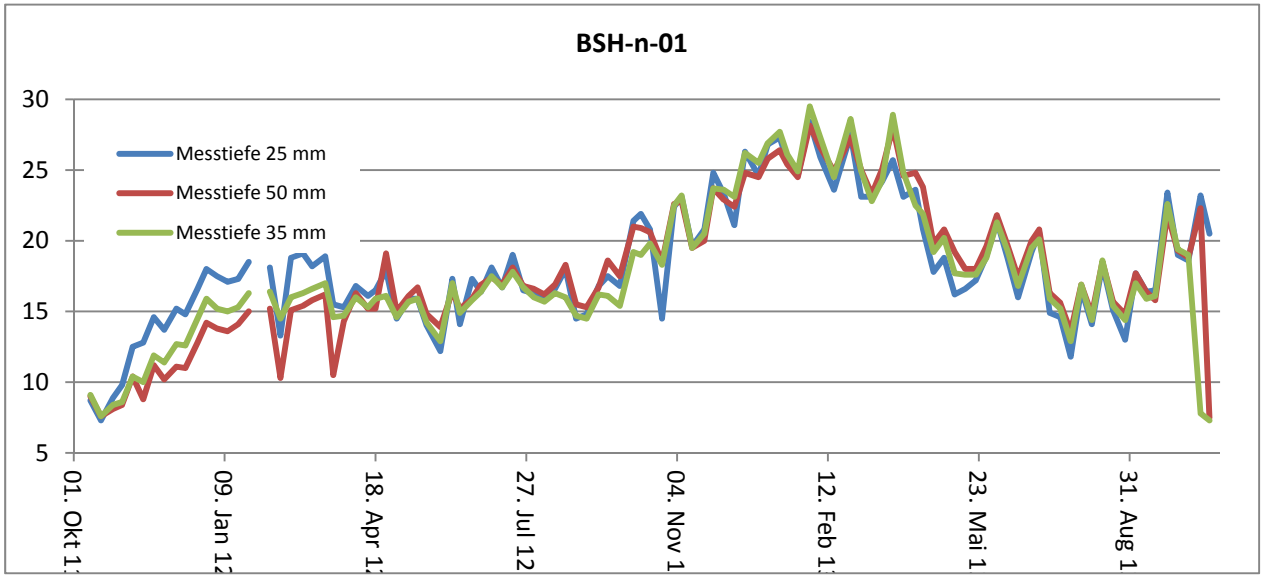
Ergebnis Haftzugfestigkeit EOTA-Wand

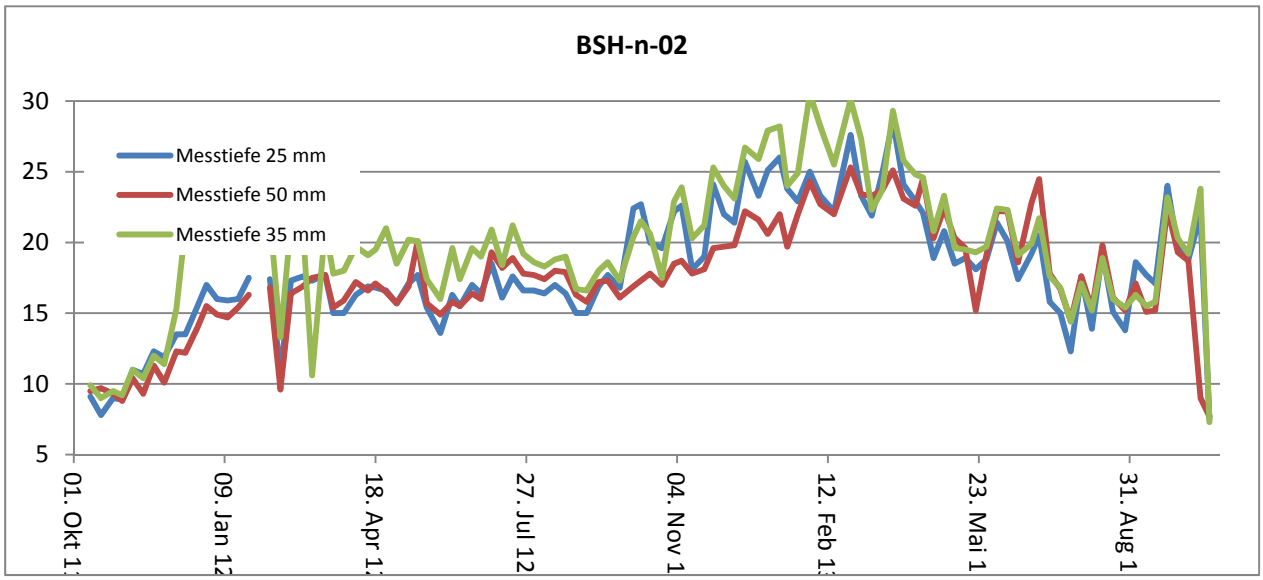


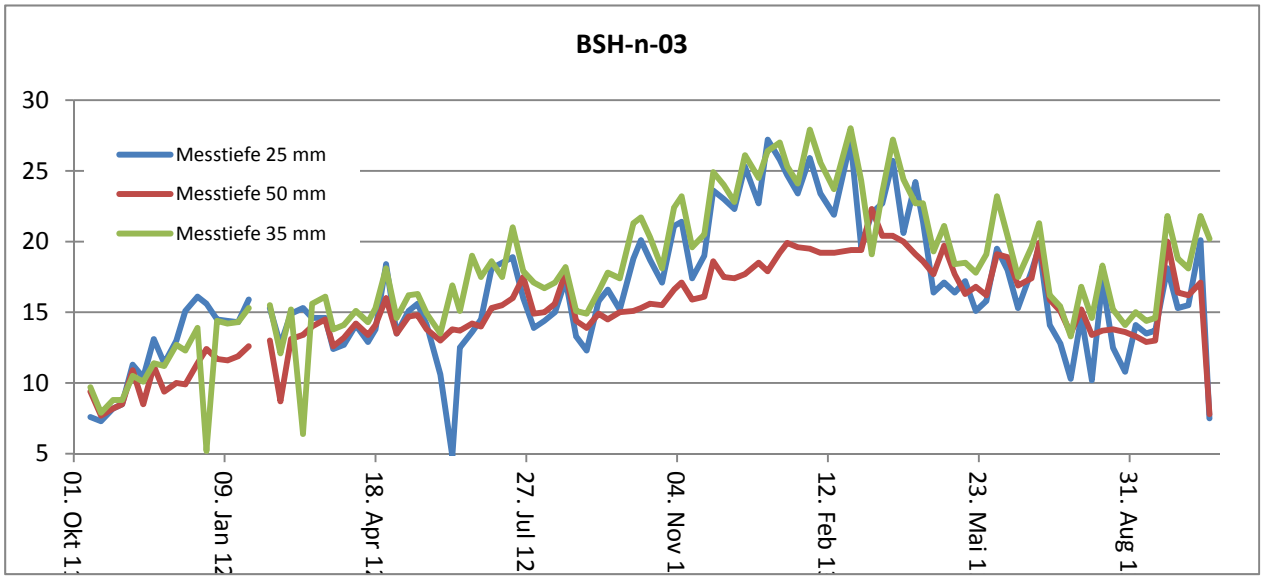


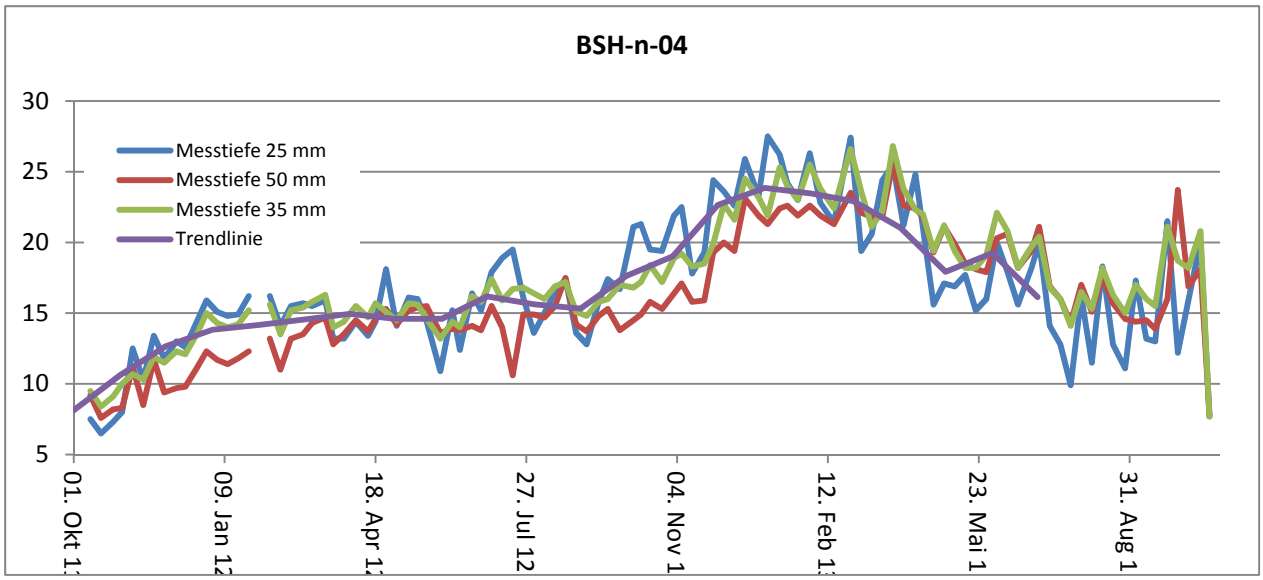
E. Feldversuche

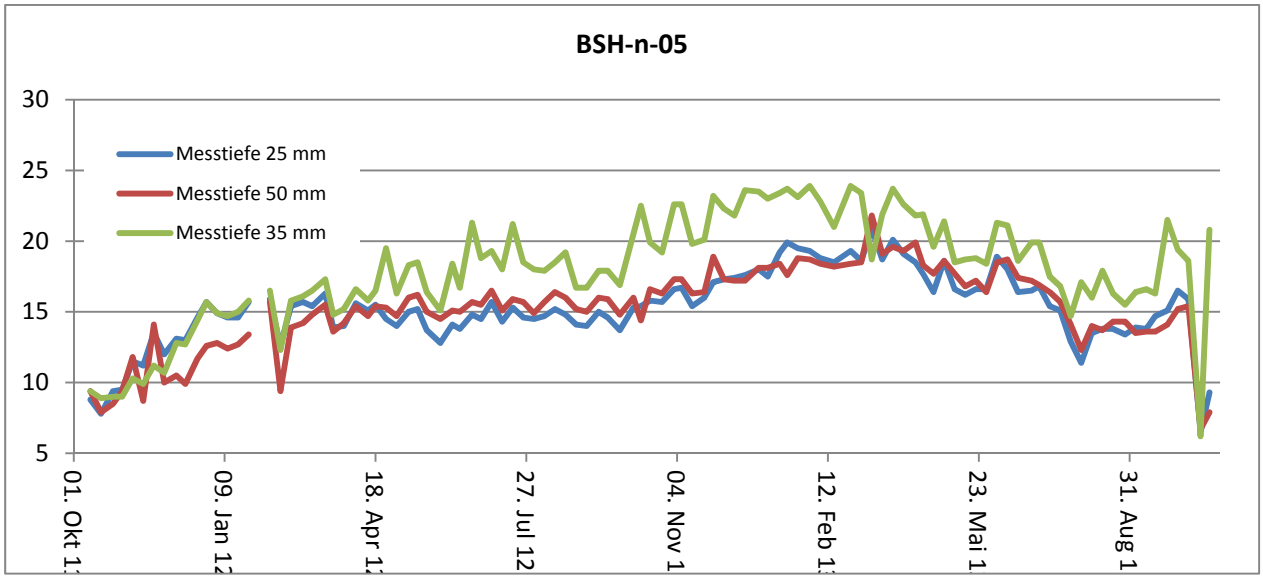
E1. Proben der Prüfserie 1: Brettschichtholz, unbeschichtet, direkt bewittert

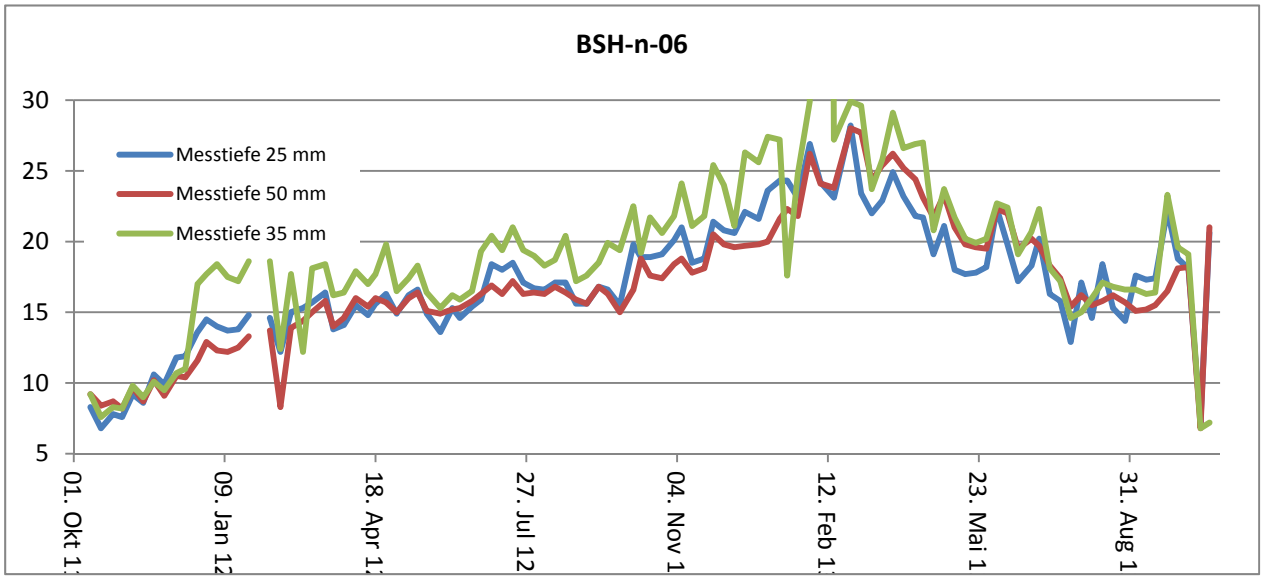


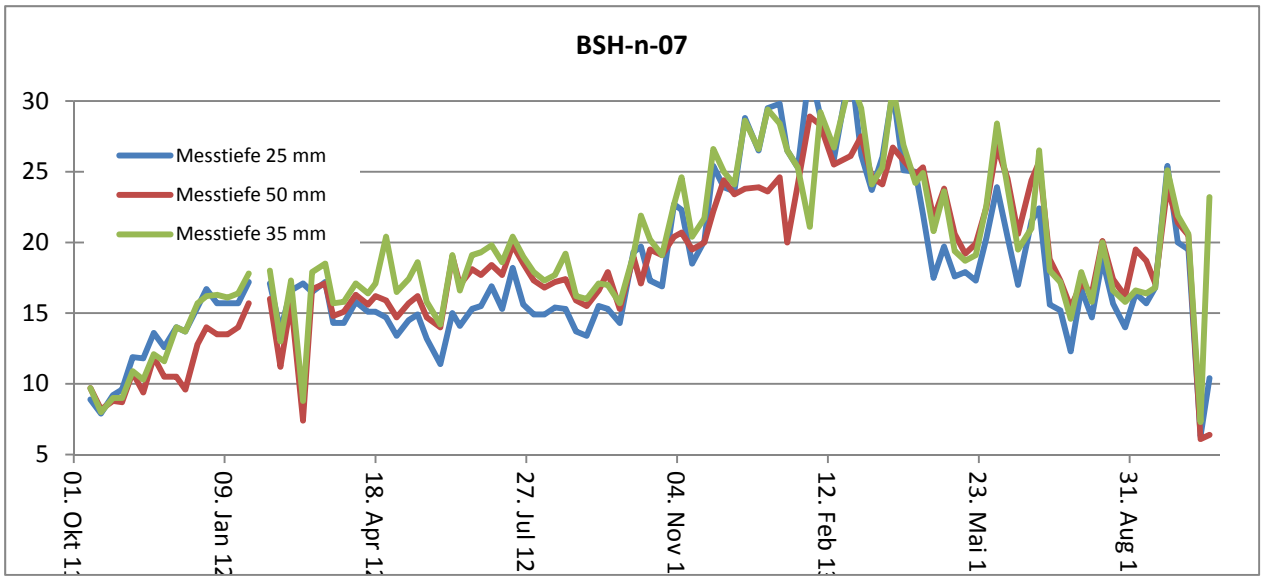


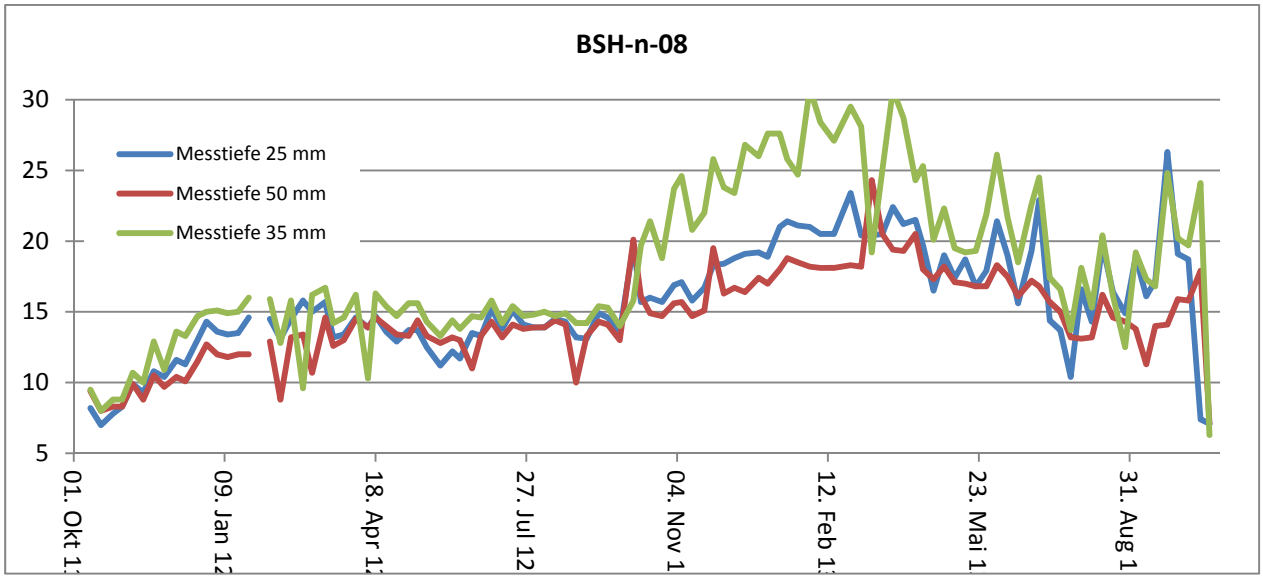

BSH-n-03
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1


BSH-n-04
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
Trendlinie
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

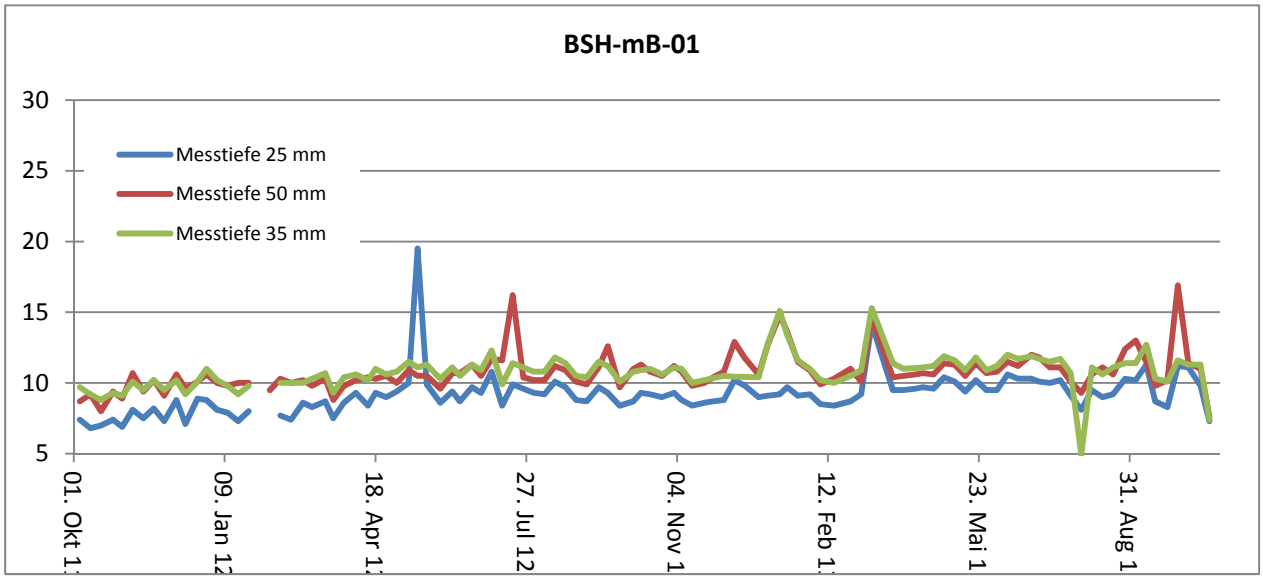

BSH-n-05
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

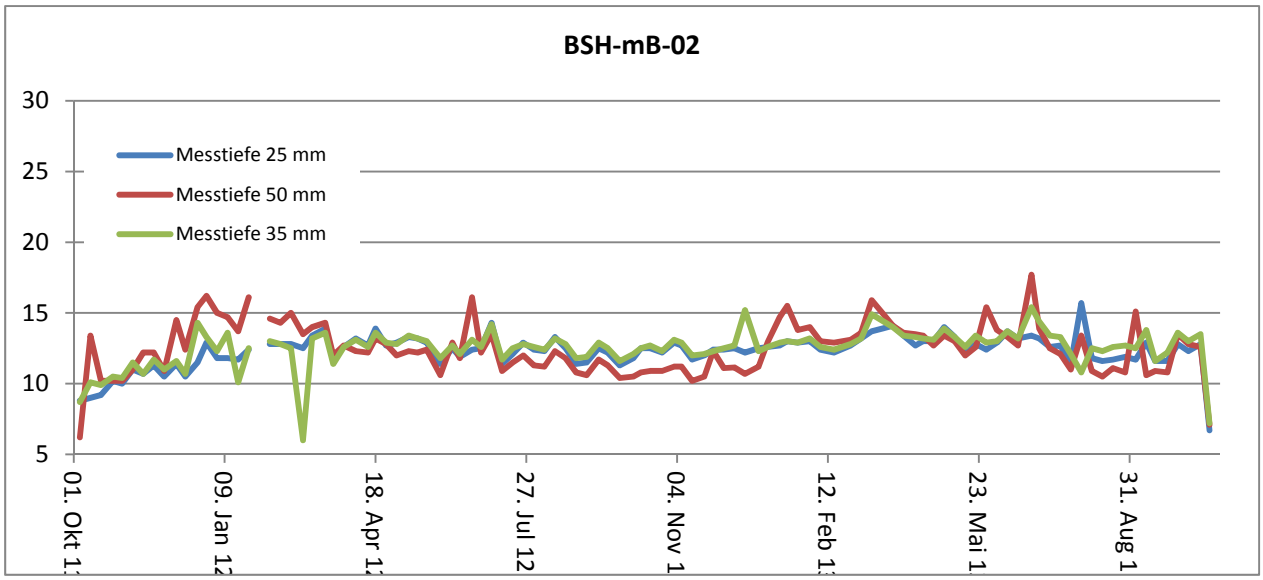

BSH-n-06
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
30
25
20
15
10
5
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

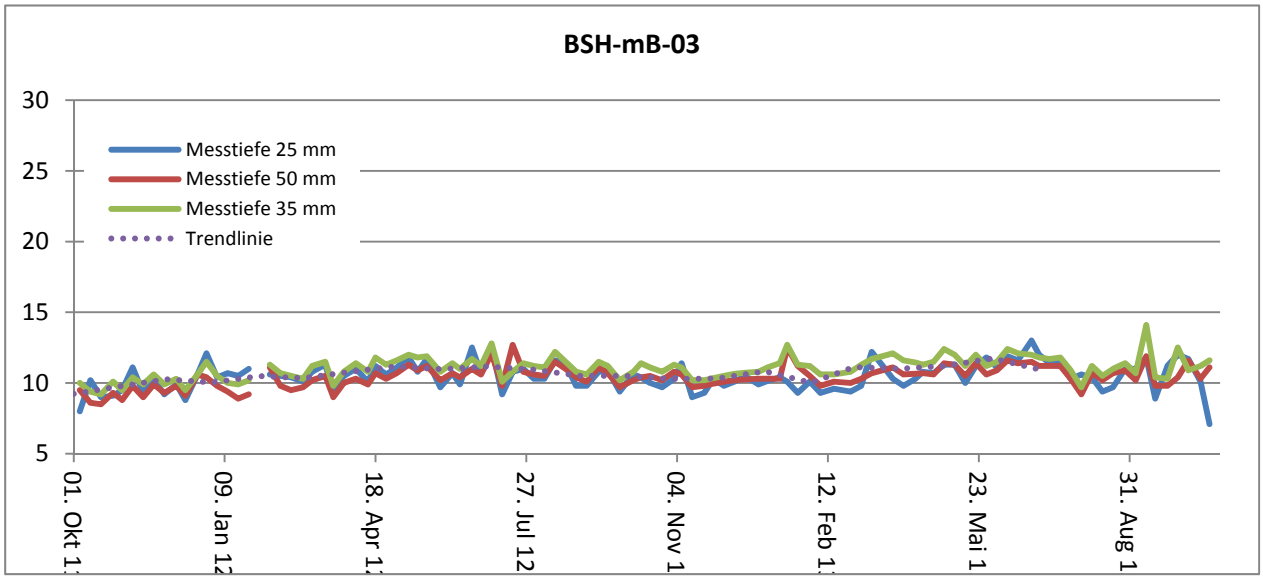

BSH-n-07
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
30
25
20
15
10
5
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

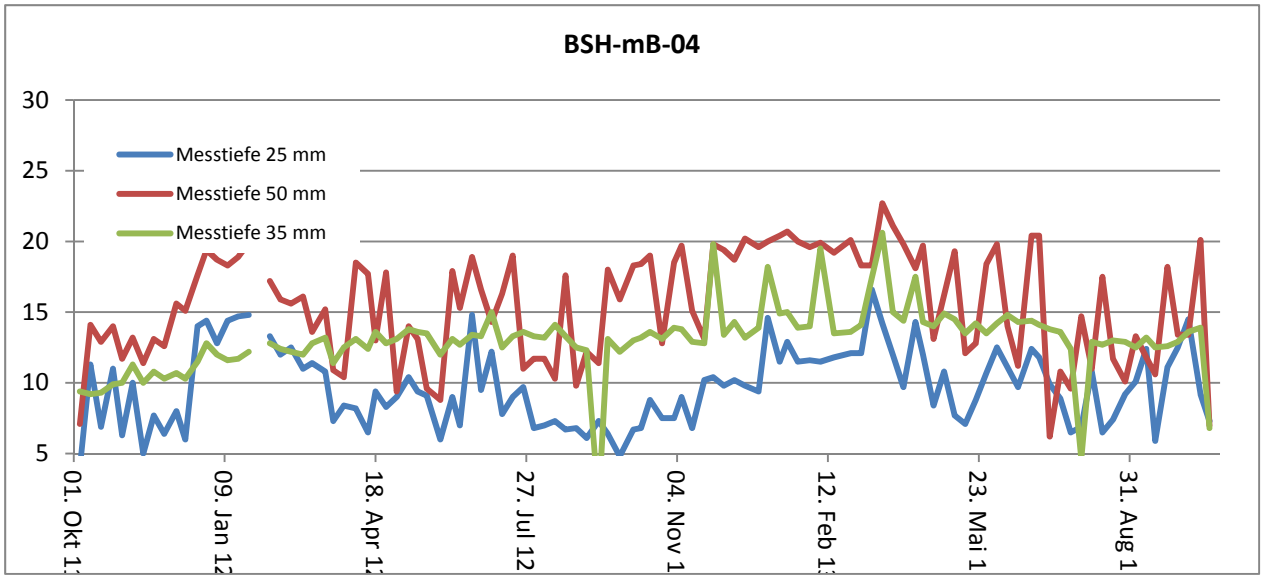

BSH-n-08
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
30
25
20
15
10
5
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

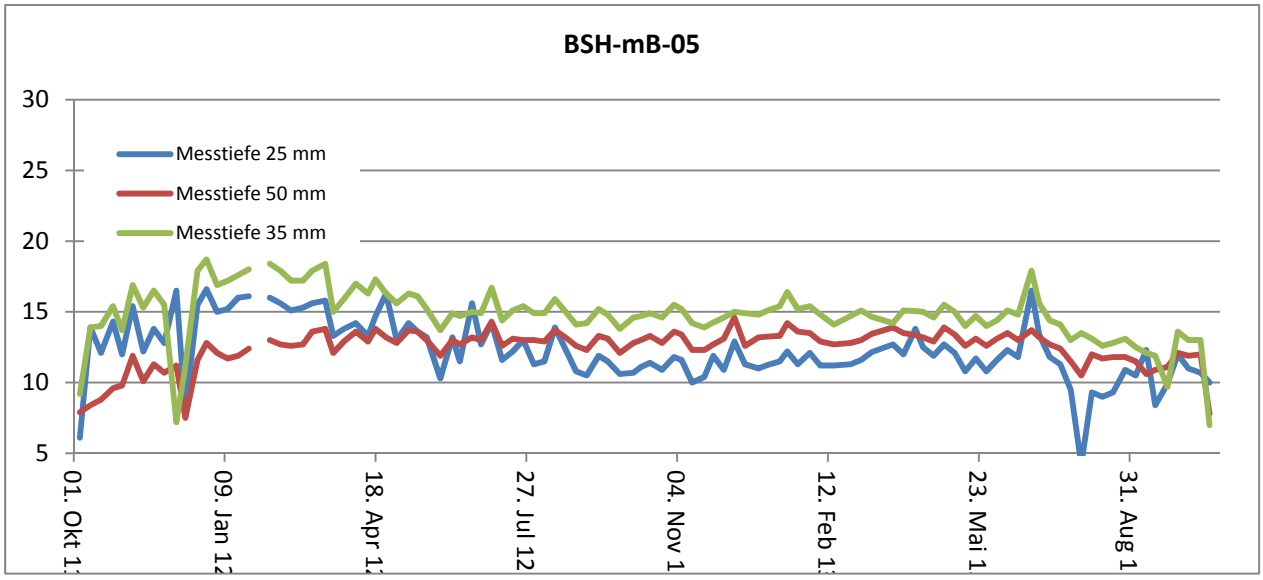
E2. Proben der Prüfserie 2: Brettschichtholz, PUR beschichtet, direkt bewittert

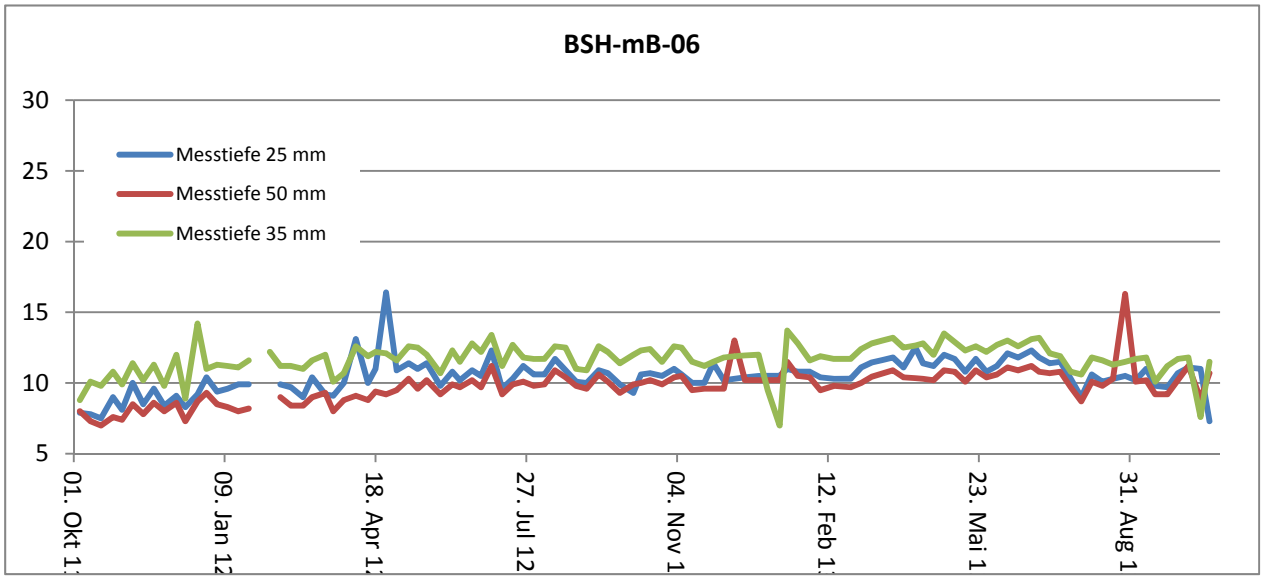


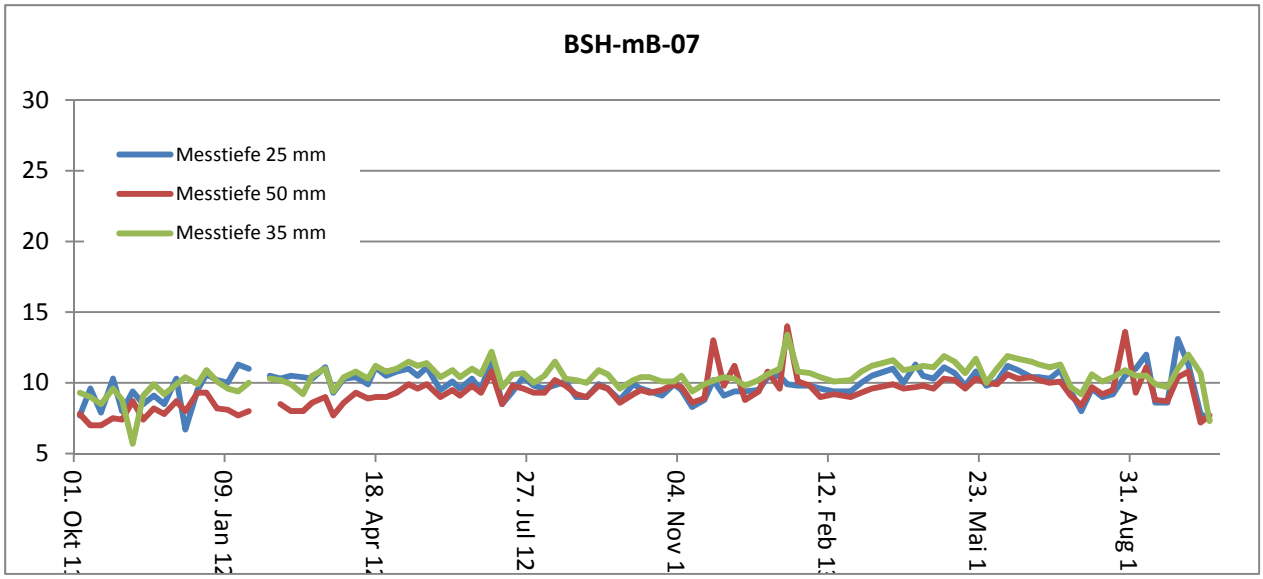


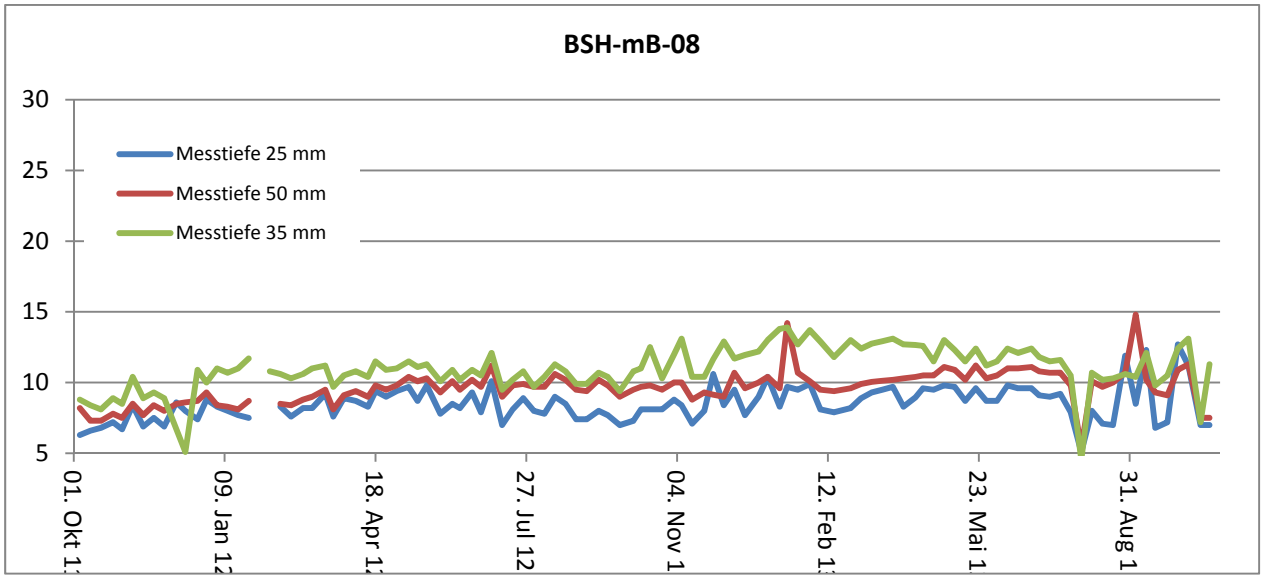

BSH-mB-03
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
Trendlinie
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1


BSH-mB-04
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

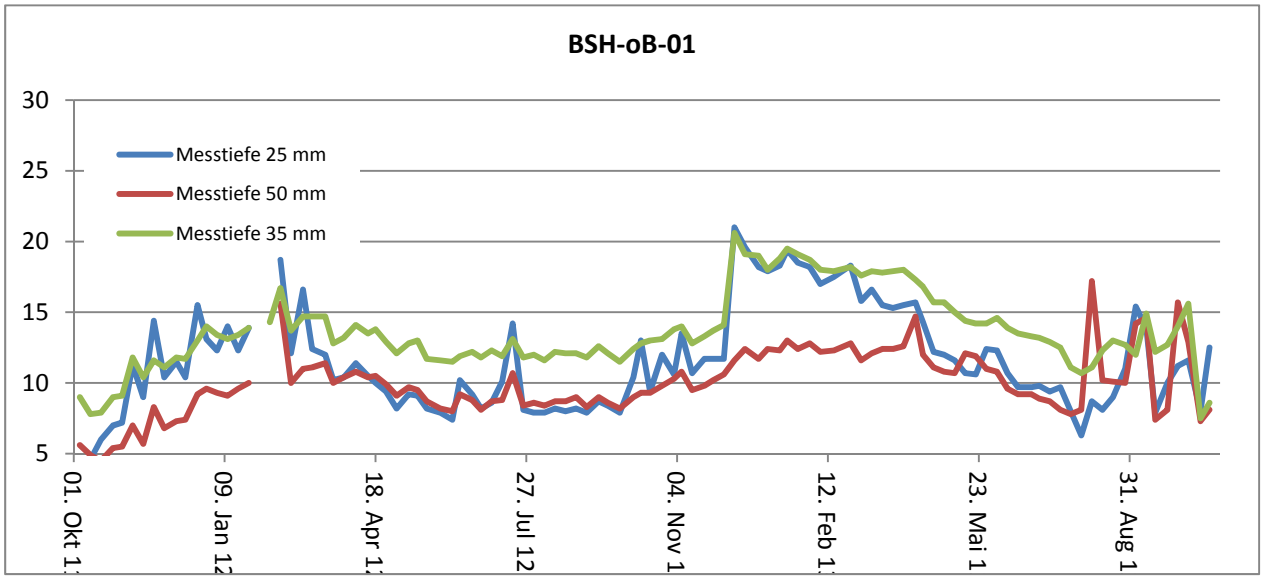

BSH-mB-05
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

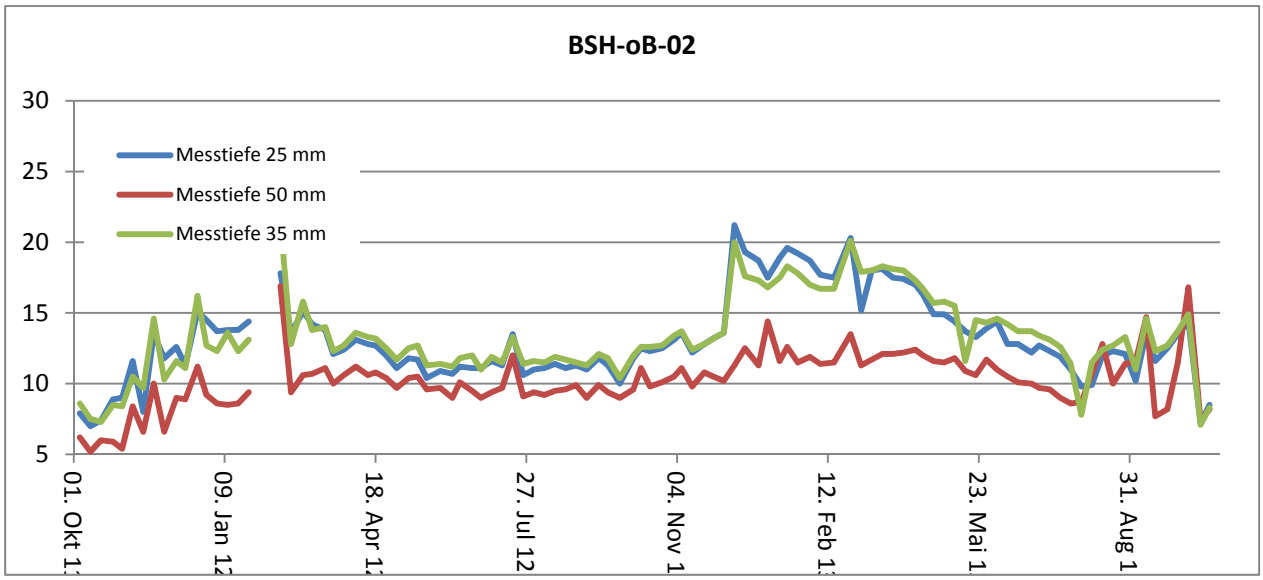

BSH-mB-06
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

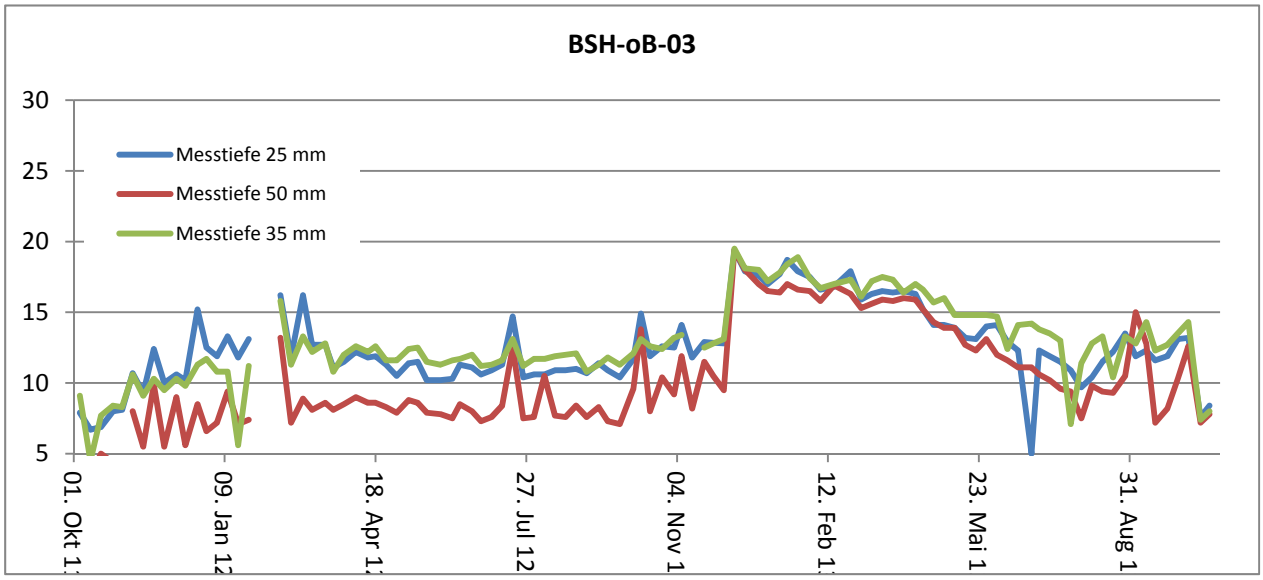

BSH-mB-07
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

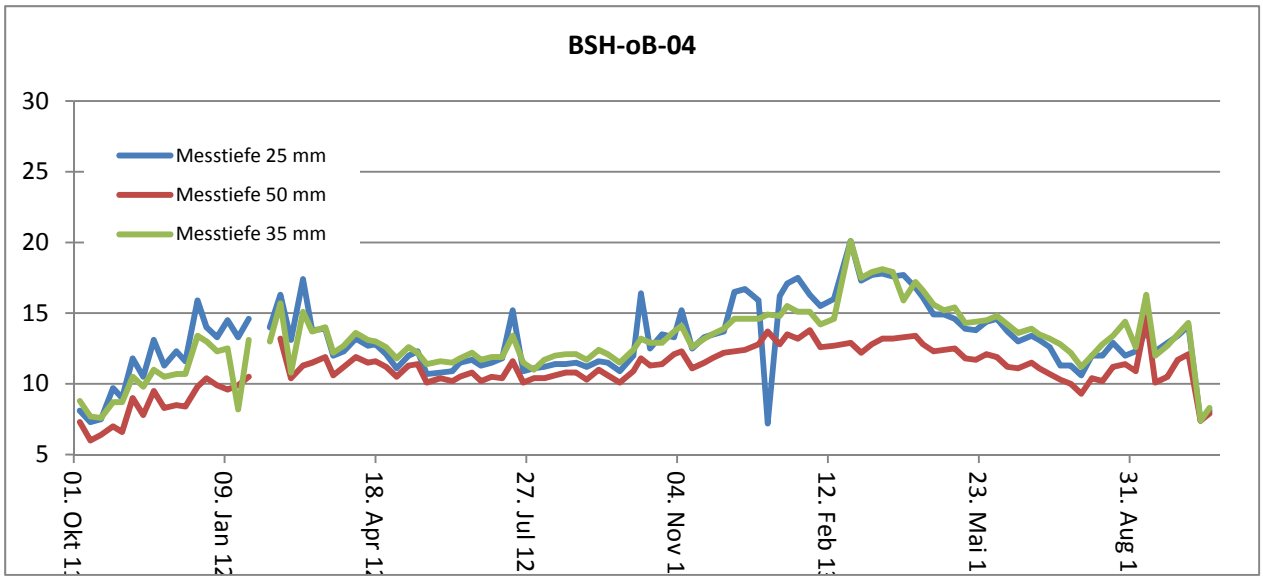

BSH-mB-08
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

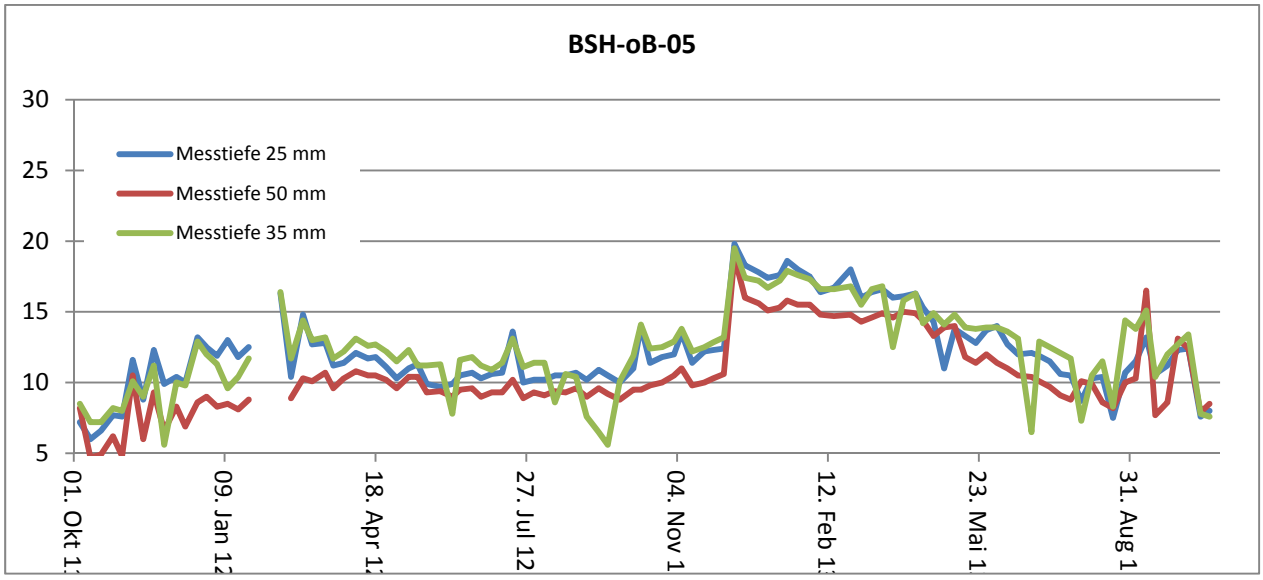
E3. Proben der Prüfserie 3: Brettschichtholz, unbeschichtet, überdacht gelagert

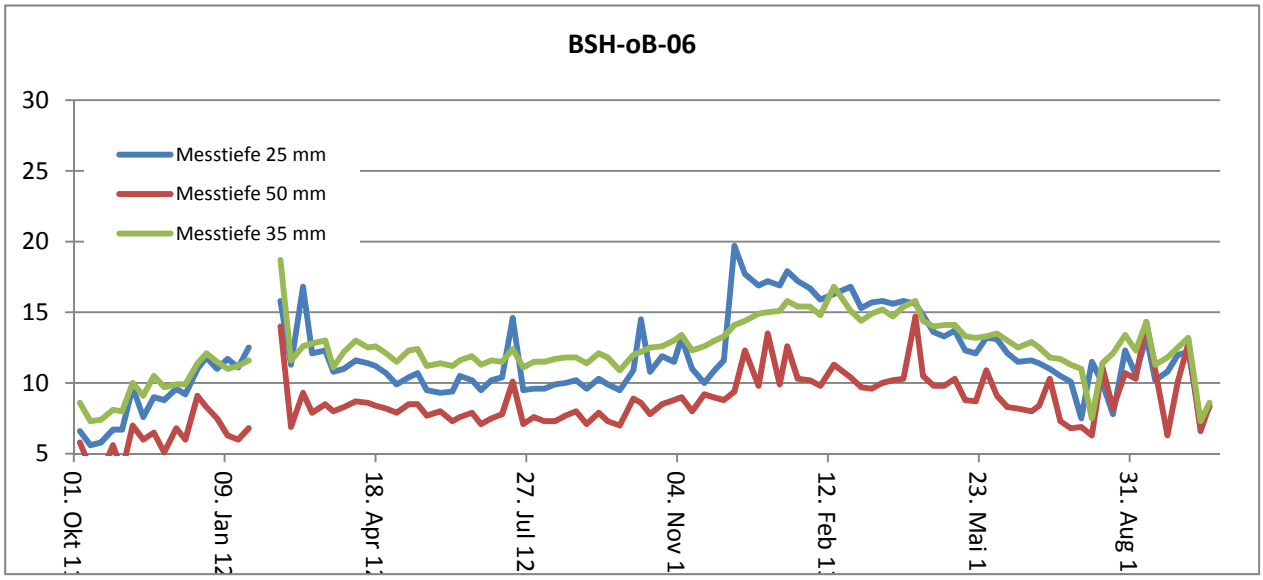


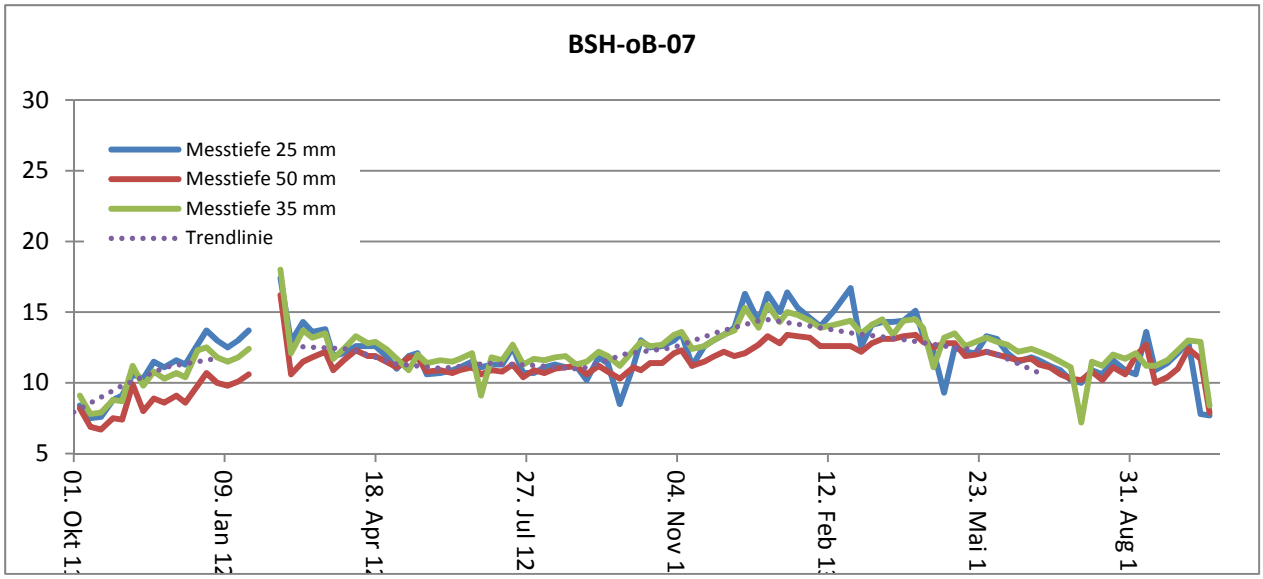


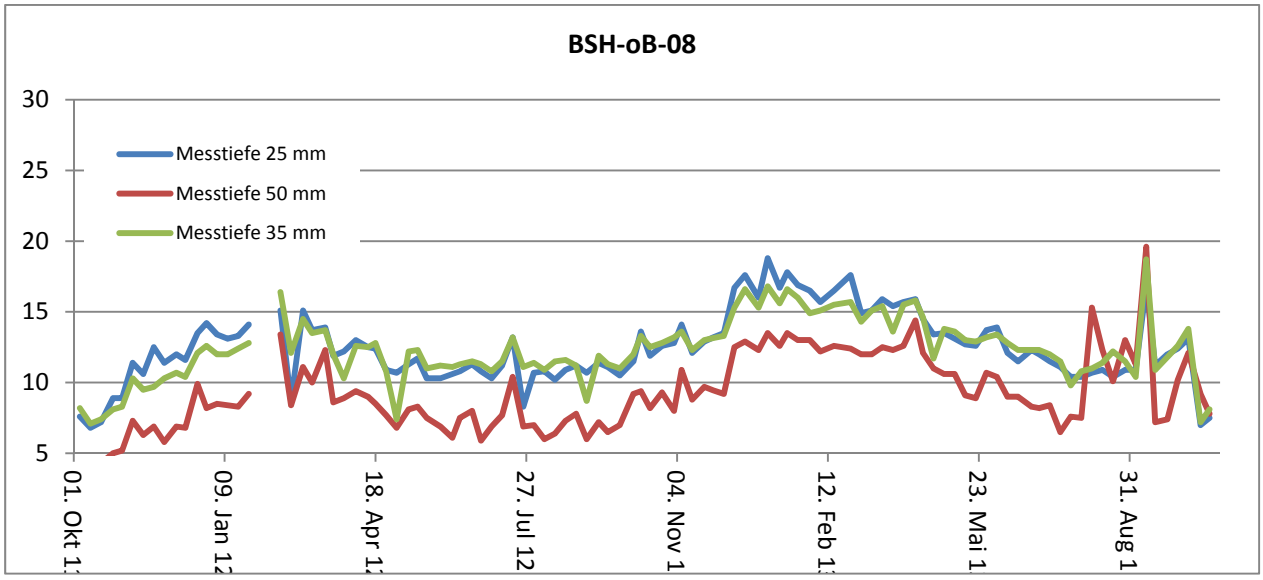

BSH-oB-03
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1


BSH-oB-04
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

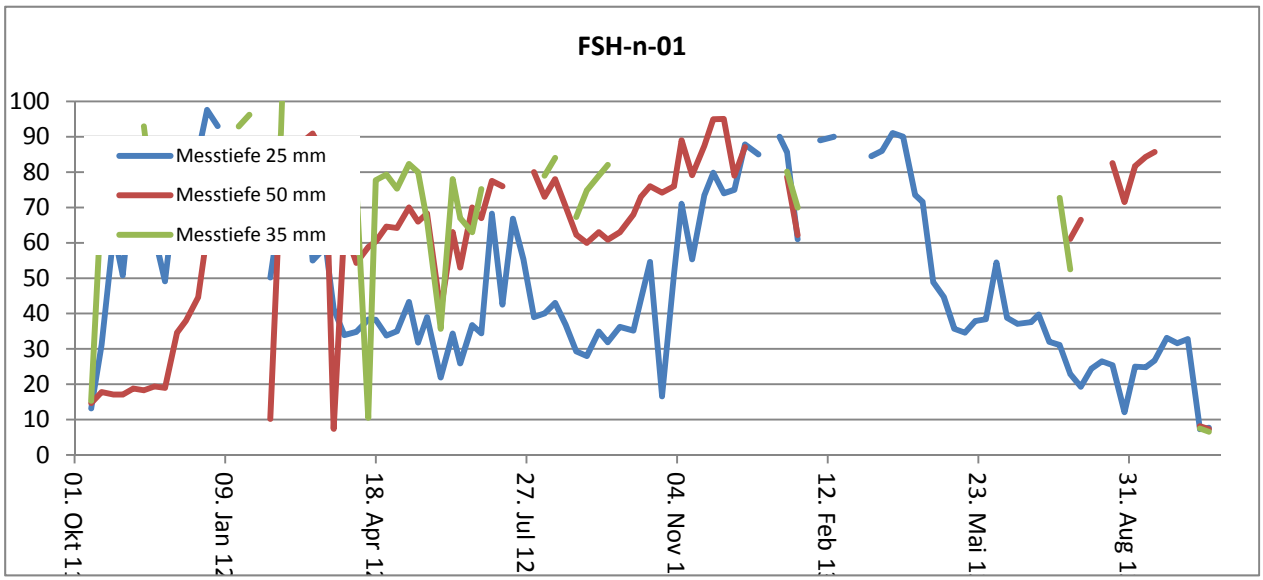

BSH-oB-05
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

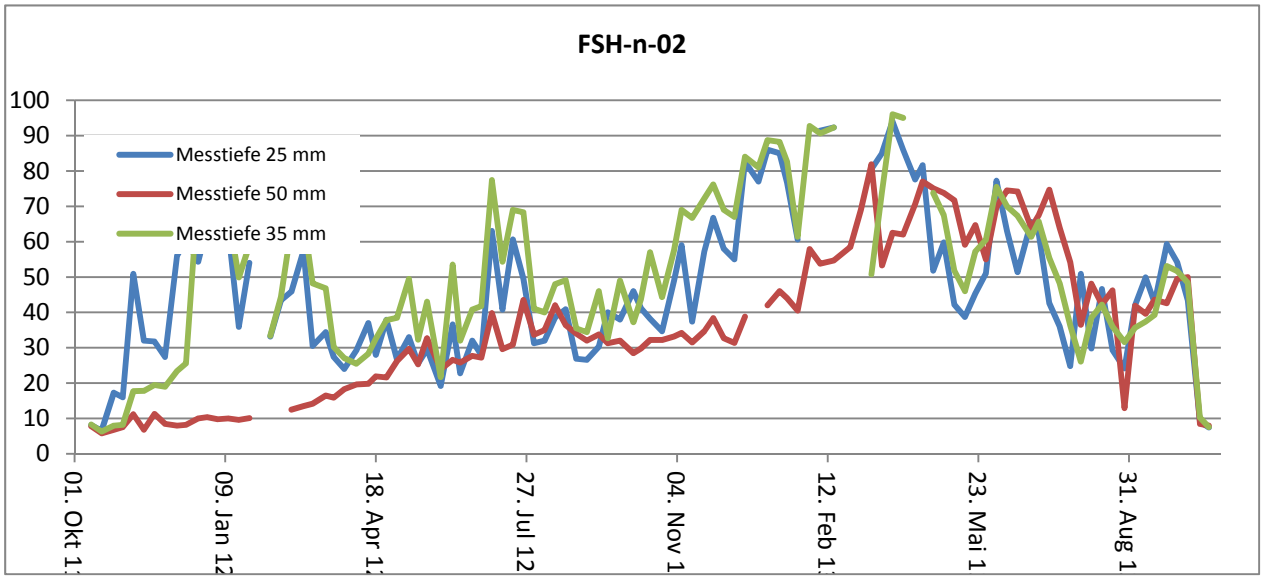

BSH-oB-06
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

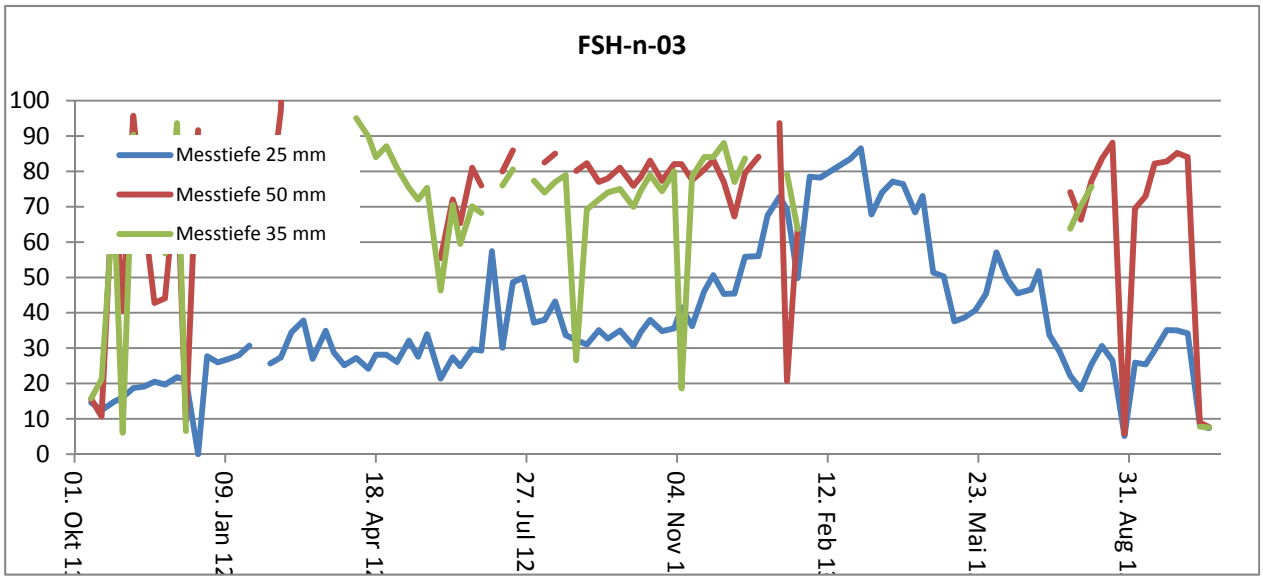

BSH-oB-07
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
Trendlinie
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1


BSH-oB-08
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

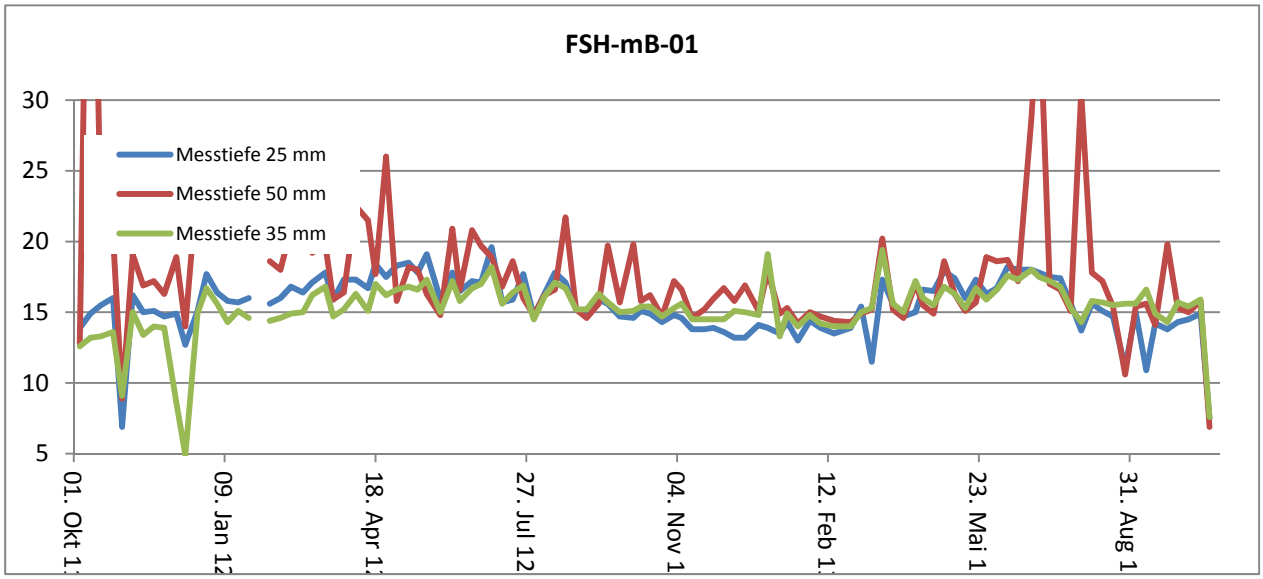
E4. Proben der Prüfserie 1: Furnierschichtholz, unbeschichtet, direkt bewittert

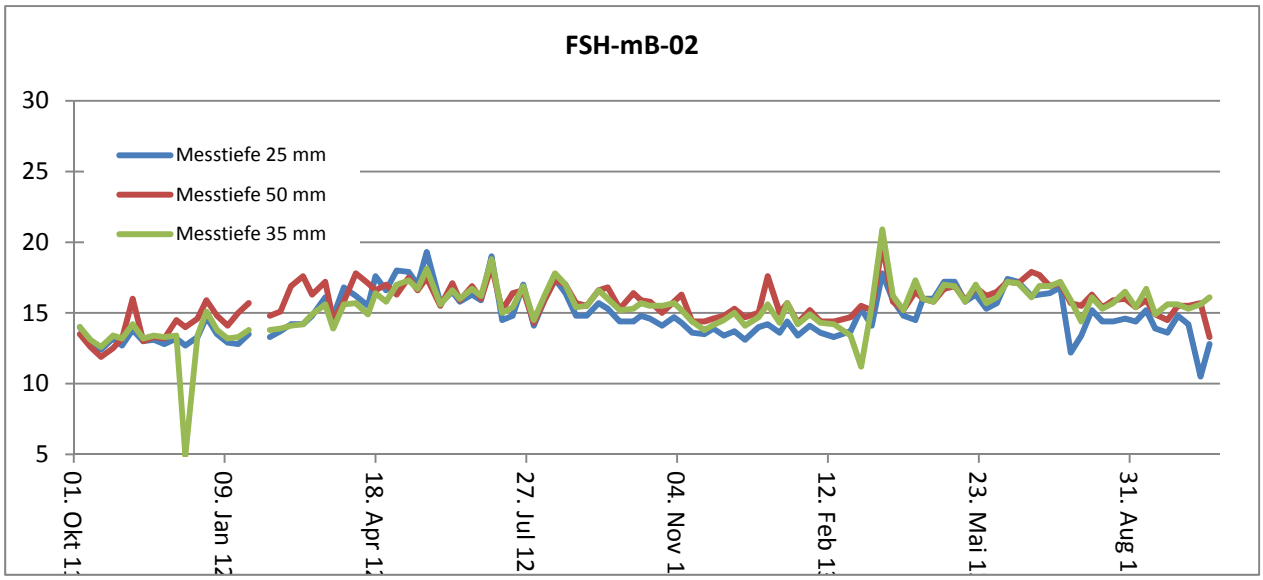


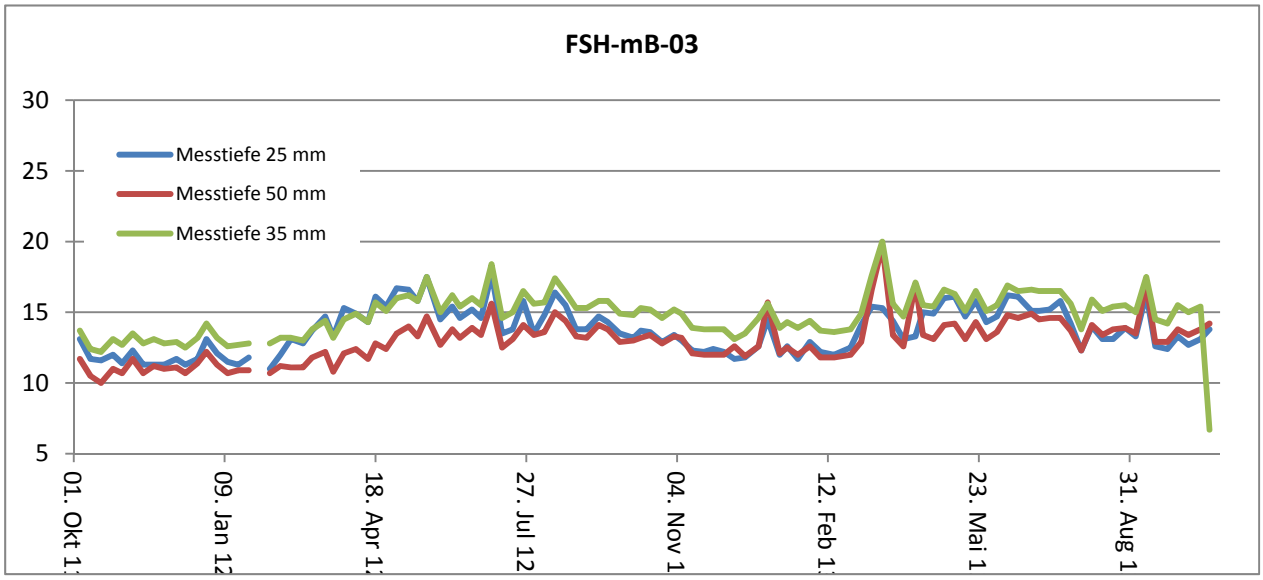


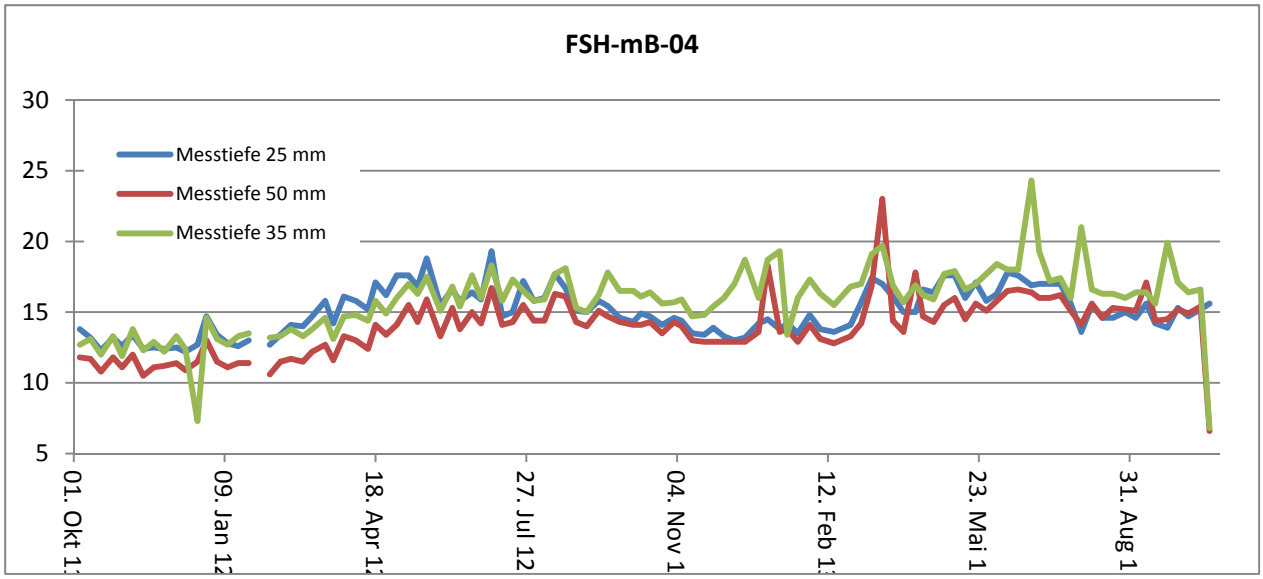

FSH-n-03
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

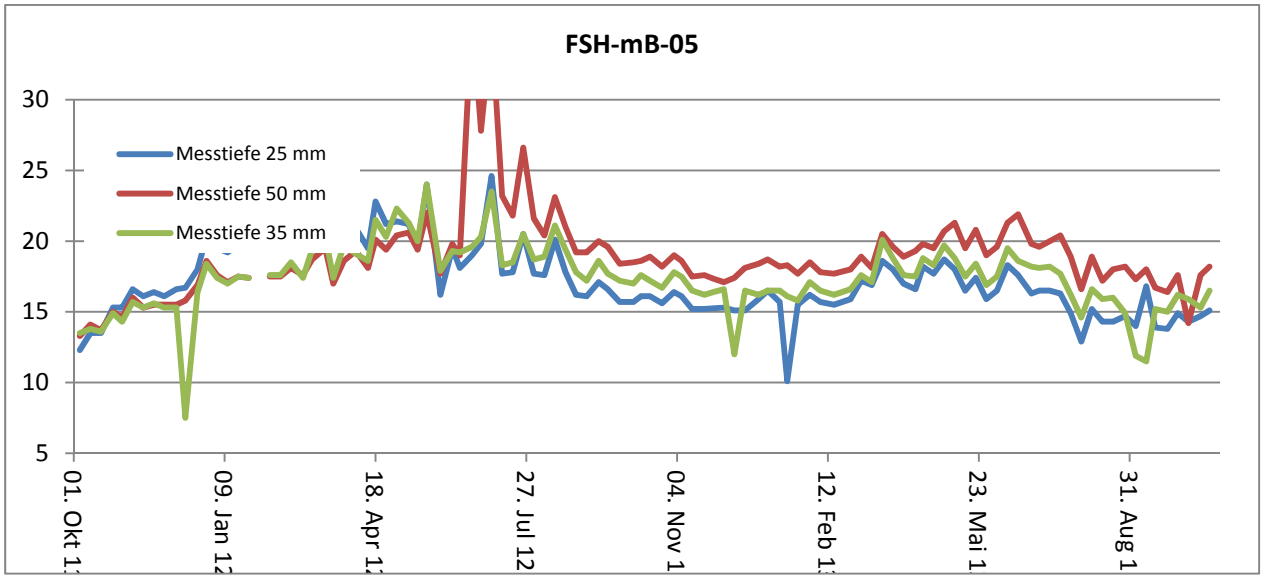
E5 Proben der Prüfserie 2: Furnierschichtholz, PUR beschichtet, direkt bewittert

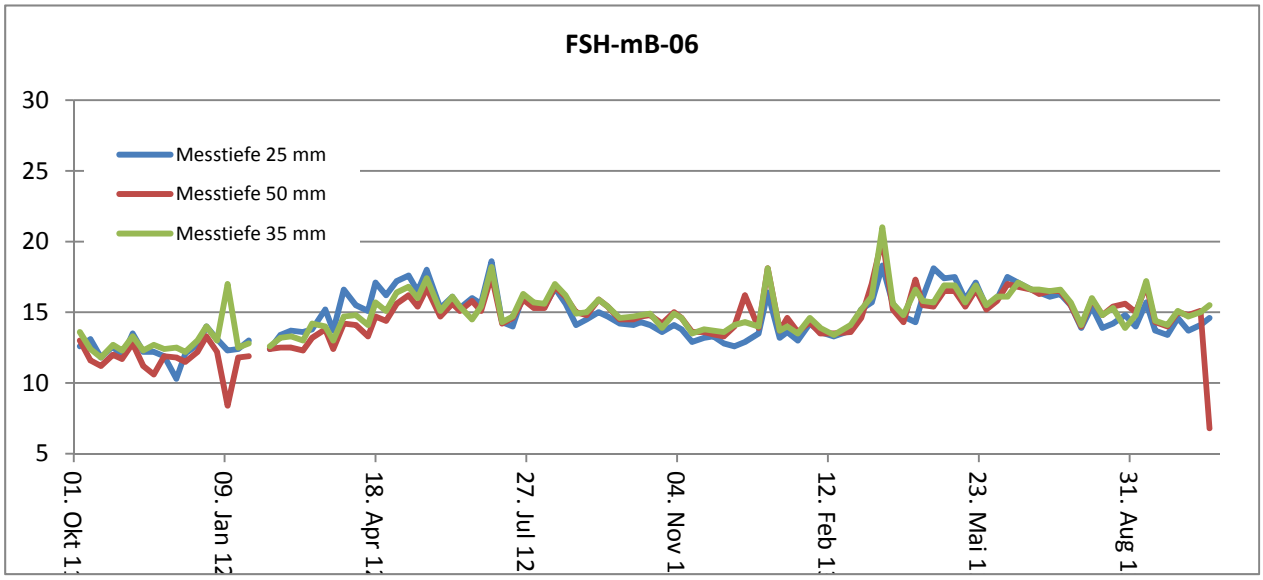


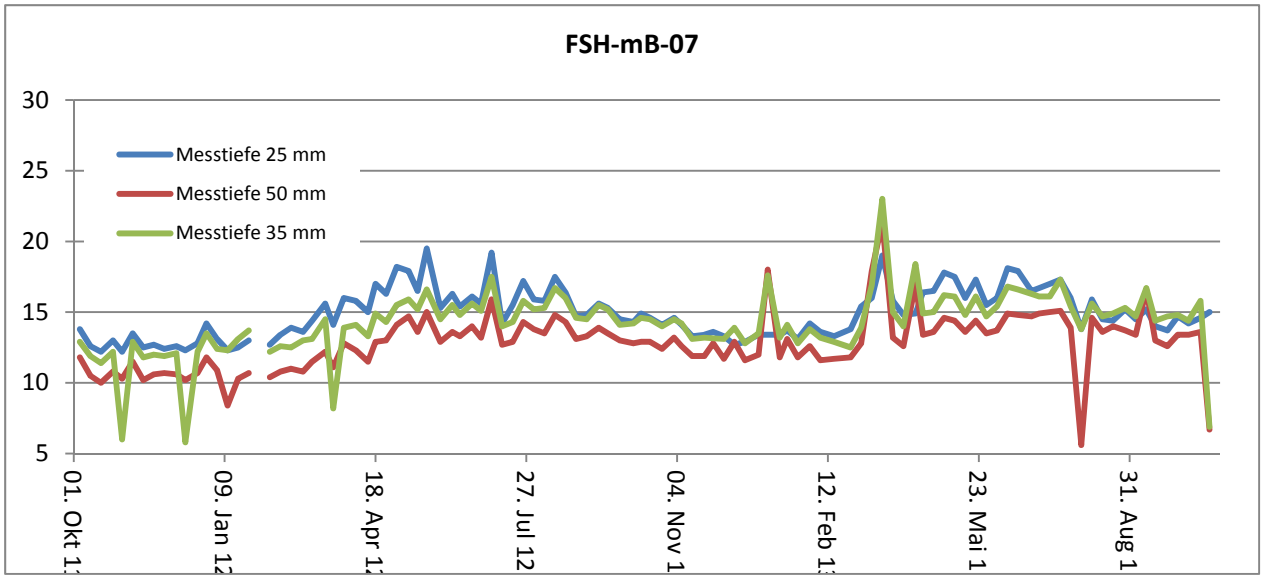


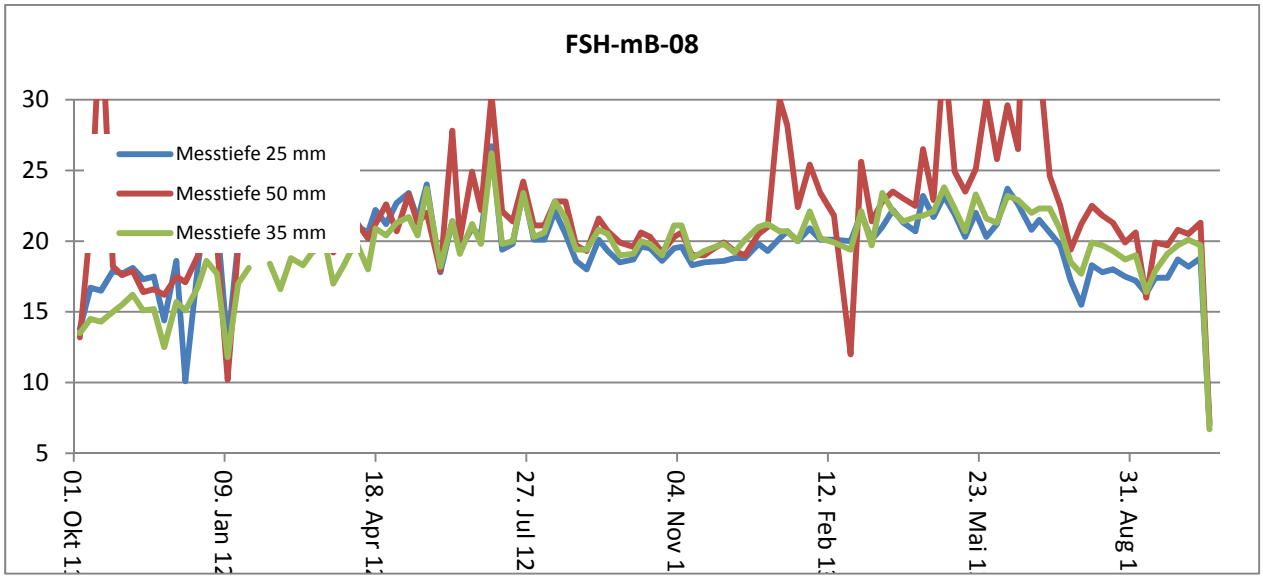

FSH-mB-03
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1


FSH-mB-04
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

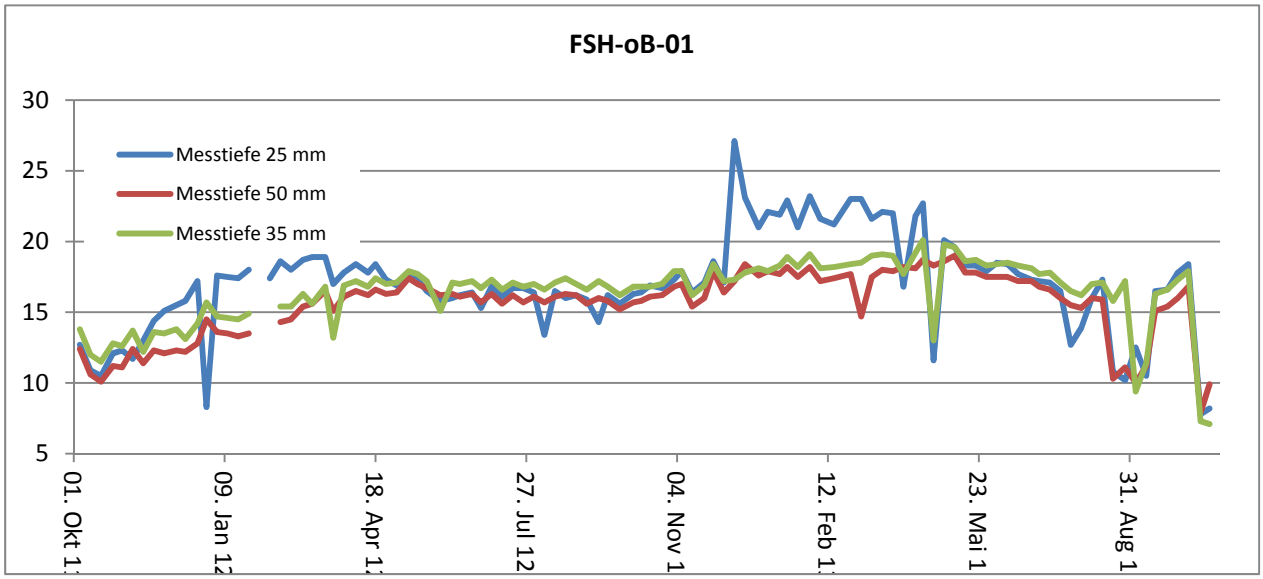

FSH-mB-05
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

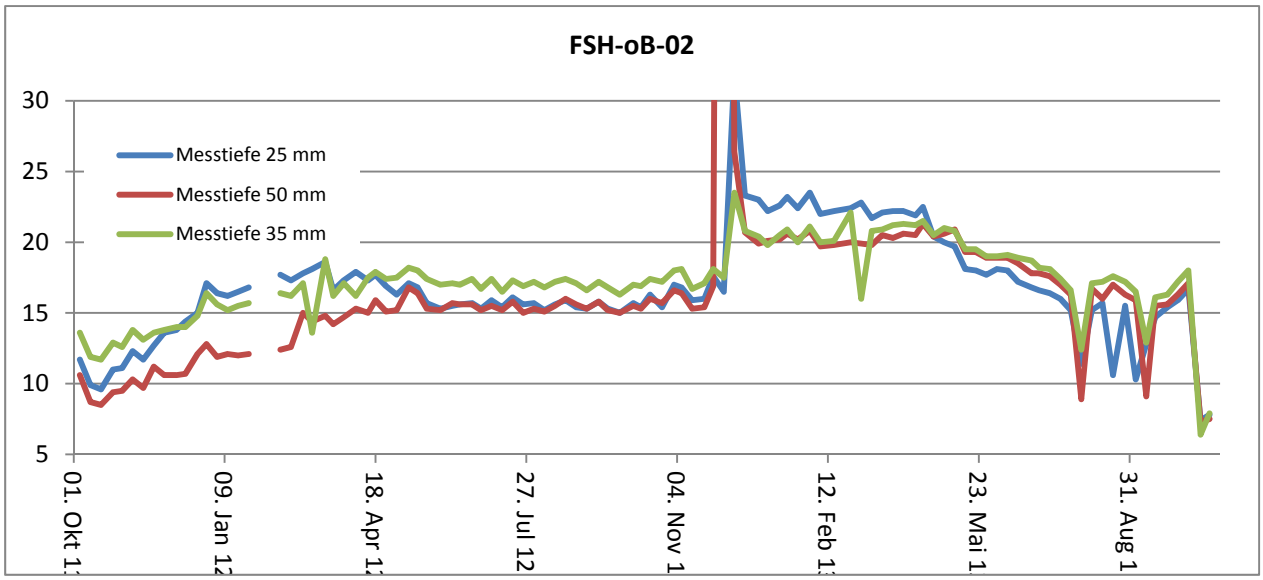

FSH-mB-06
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

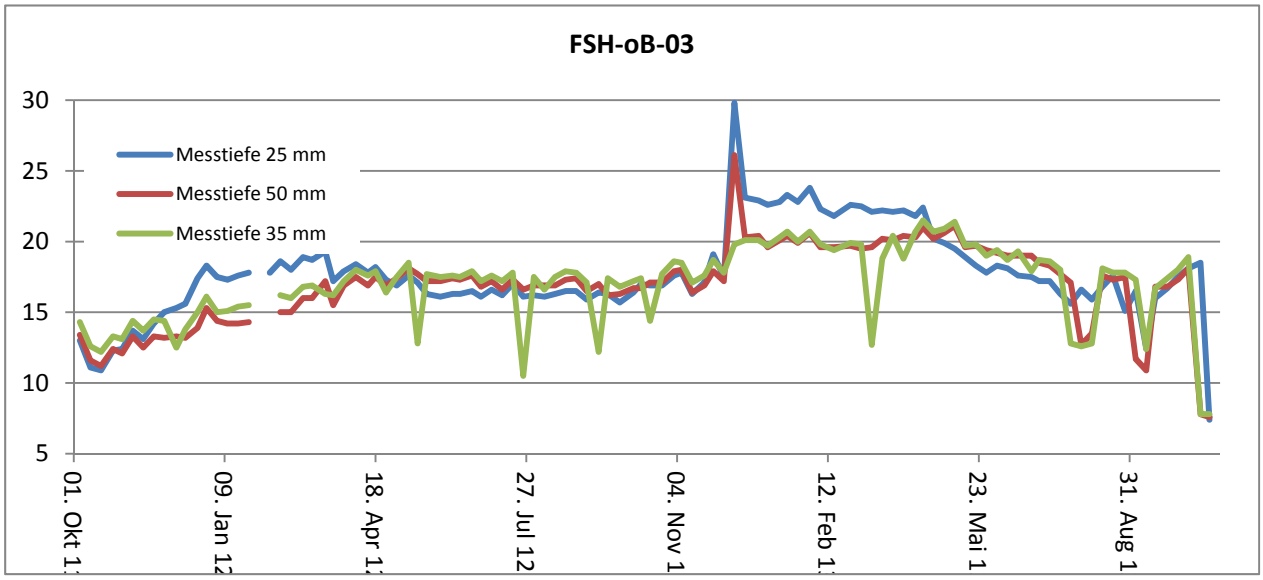

FSH-mB-07
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

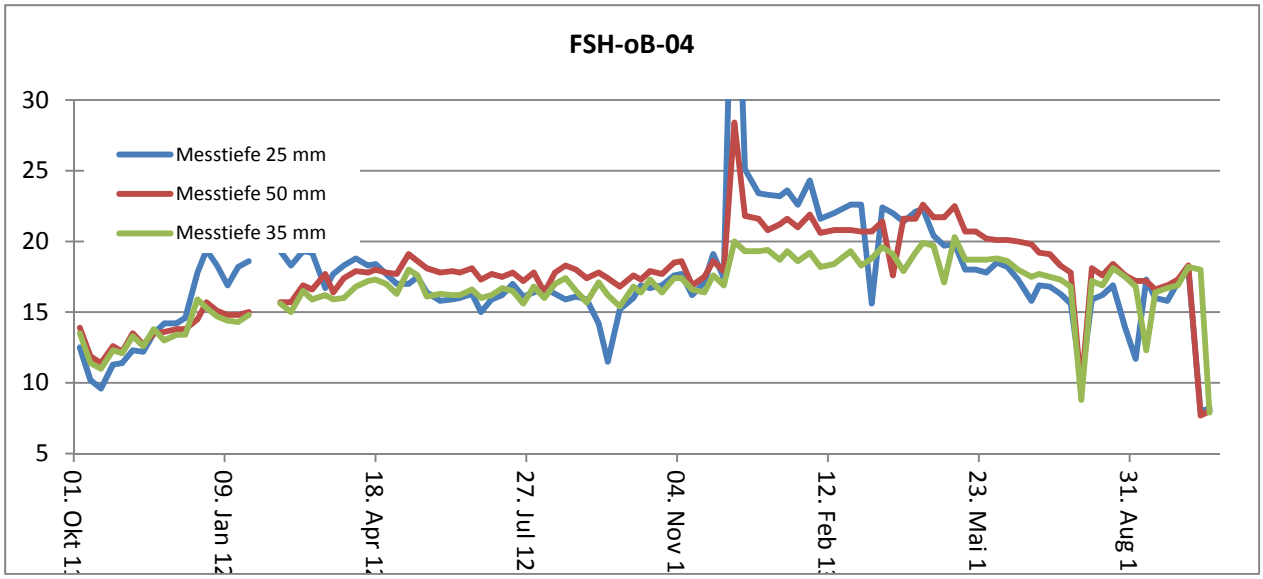

FSH-mB-08
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

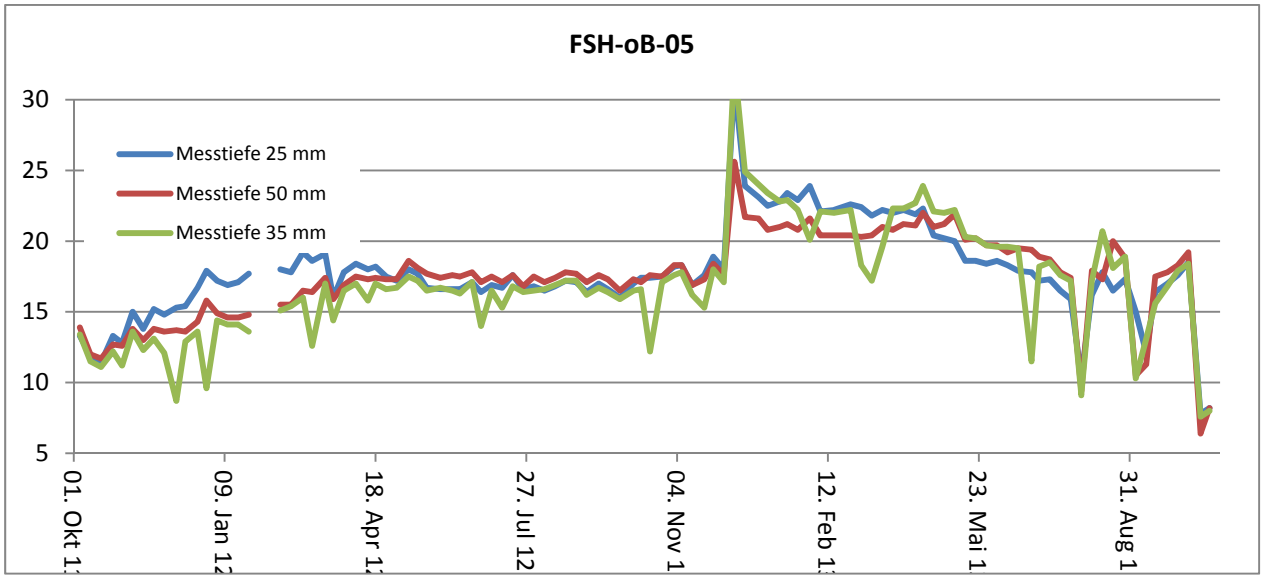
E6 Proben der Prüfserie 3: Furnierschichtholz, unbeschichtet, überdacht gelagert

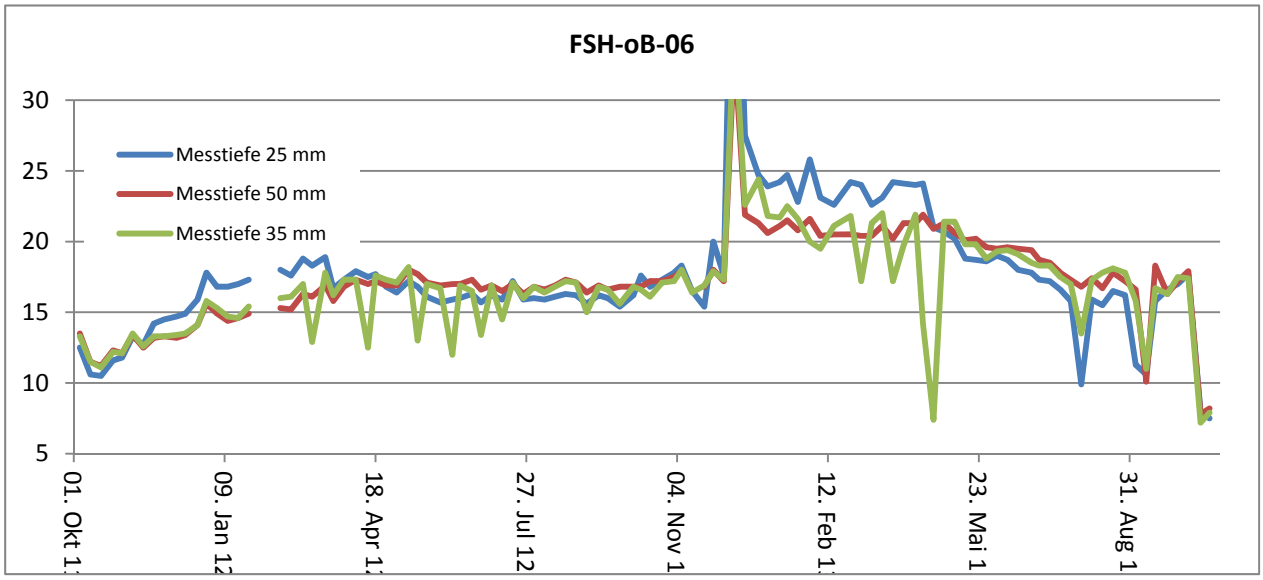


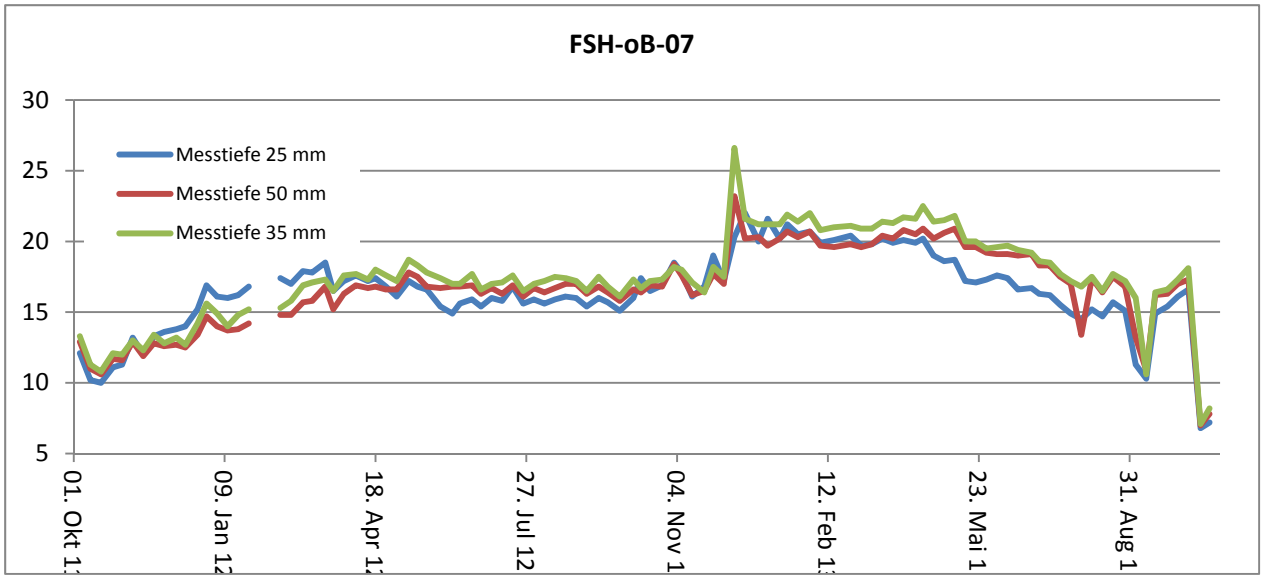


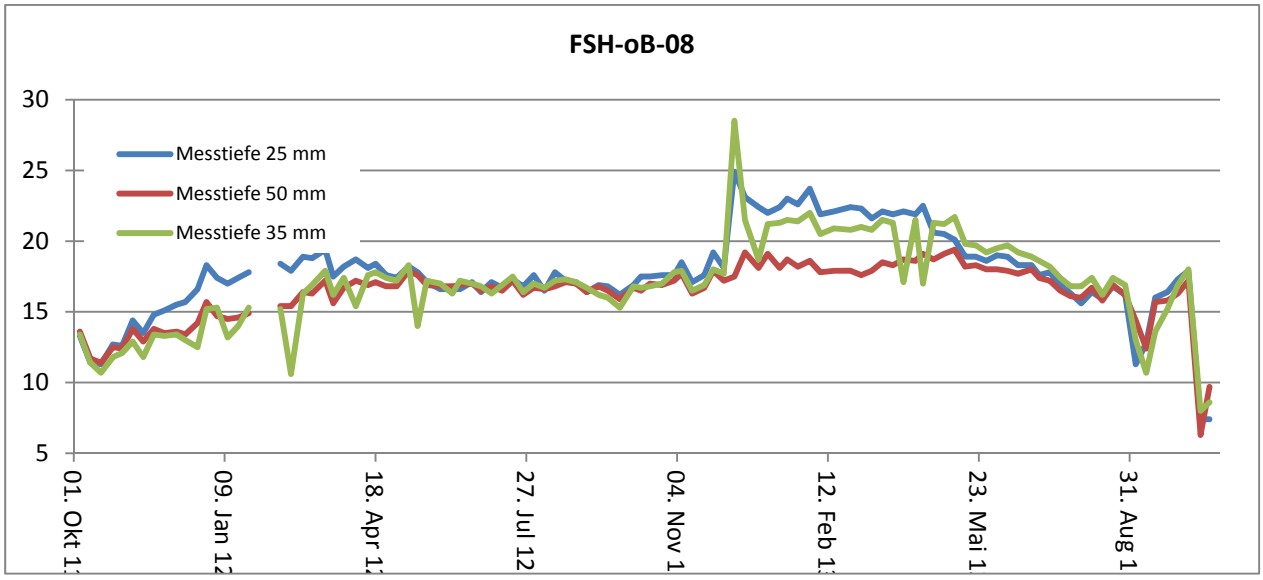

FSH-oB-03
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1


FSH-oB-04
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1


FSH-oB-05
30
25
20
15
10
5
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1


FSH-oB-06
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
30
25
20
15
10
5
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1


FSH-oB-07
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
30
25
20
15
10
5
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

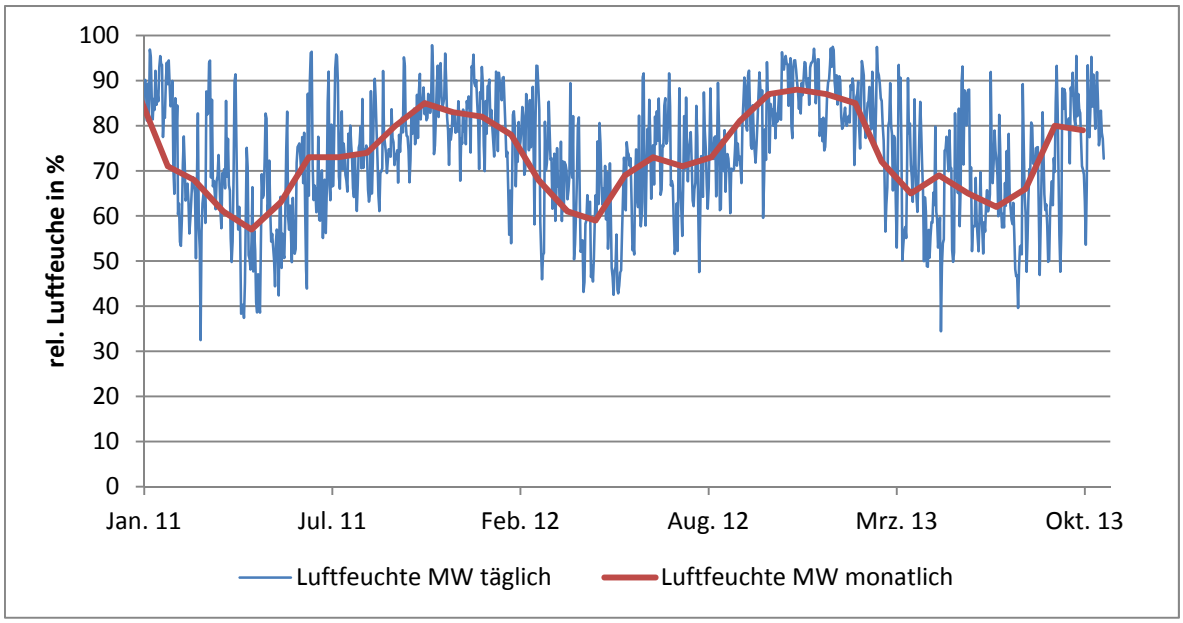

FSH-oB-08
Messtiefe 25 mm
Messtiefe 50 mm
Messtiefe 35 mm
30
25
20
15
10
5
01. Okt 1
09. Jan 12
18. Apr 1
27. Jul 12
04. Nov 1
12. Feb 1
23. Mai 1
31. Aug 1

E7. Wetterdaten

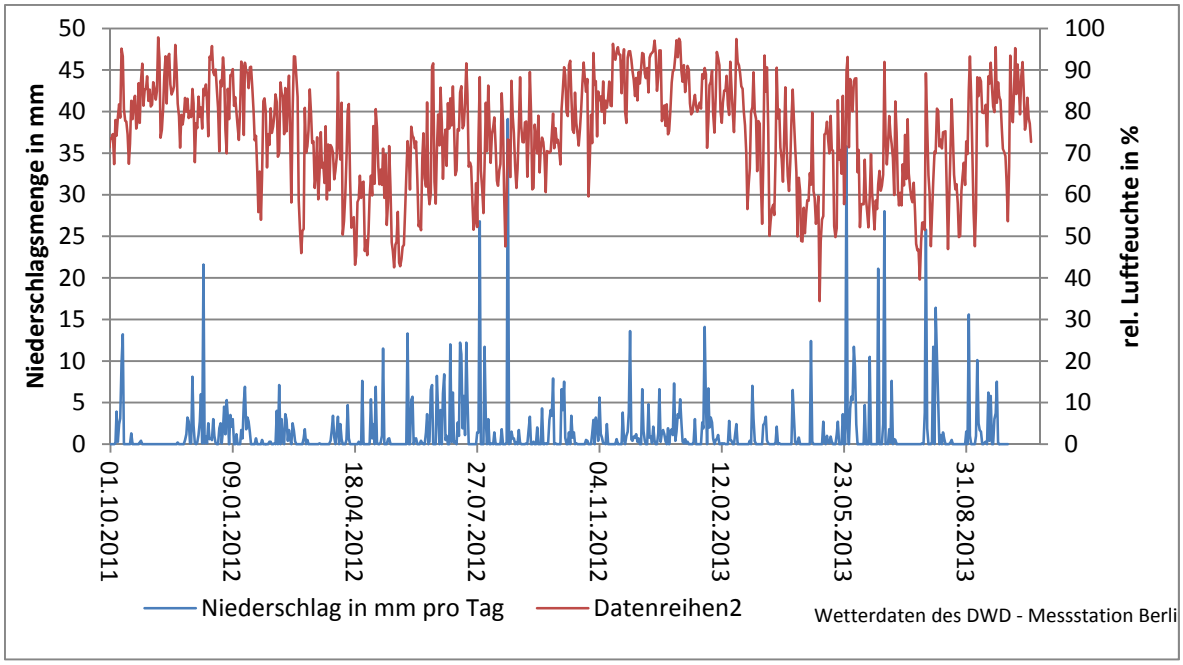
Luftfeuchtemessung

Täglichen und monatlichen Mittelwerte der relativen Luftfeuchte in [%].

Ab 1.5.2013 externe Messwerte



Luftfeuchtemessungen und Niederschlagsmengen

Täglichen Mittelwerte der relativen Luftfeuchte in [%] mit Niederschlagsmenge in [mm]

Ab 1.5.2013 externe Messwerte