



**Entwicklung eines Verfahrens zur  
Beurteilung des Langzeitverhaltens  
gipsgebundener Putzträgerplatten für den  
Außenbereich unter zyklischer Feuchte-  
und Trocknungsbeanspruchung**

Masterarbeit am Lehrstuhl für Gesteinshüttenkunde

vorgelegt von

Martin Stückelschweiger

eingereicht

Leoben, Mai 2015

## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Leoben, Mai 2015

Martin Stückelschweiger

## **Danksagung**

Die vorliegende Arbeit wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Knauf Insulation durchgeführt.

Mein besonderer Dank gilt dem Leiter des Lehrstuhls für Gesteinshüttenkunde Herrn O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Harald Harmuth für die Bereitstellung des Themas und die Ermöglichung dieser Masterarbeit.

Ich möchte mich hiermit herzlich bei Herrn Dipl.-Ing. Robert Obenaus-Emler bedanken, der der wissenschaftliche Betreuer dieser Arbeit war und mir immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden ist.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen Mitarbeitern des Lehrstuhles für Gesteinshüttenkunde, die mich tatkräftig unterstützt haben. Vor allem bedanke ich mich bei Frau Manuela Ortner und Herrn Horst Hopfinger, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich während der gesamten Studienzzeit unterstützt haben.

## Kurzfassung

Holzwoleleichtbauplatten (auch HWL-Platten genannt) sind Bauplatten, die aus langfaseriger Holzwole und Bindemitteln auf mineralischer Grundlage bestehen. Zum Einsatz kommen HWL-Platten unter anderem als verputzbare Dämmplatten im Innen- und Außenbereich. Darüber hinaus sind sie schwer entflammbar und bieten unverputzt einen sehr guten Schallschutz.

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Entwicklung einer Methode zur Beurteilung des Langzeitverhaltens gipsgebundener Putzträgerplatten für den Außenbereich unter zyklischer Feuchte- und Trocknungsbelastung. Durch diese Untersuchungen soll geprüft werden, ob es durch eine solche zyklische Belastung zu einer Verringerung der Haftzugfestigkeit zwischen Platte und Putz kommen kann. Eine solche negative Auswirkung wird fallweise vermutet. Als mögliche Ursache dafür wird ins Treffen geführt, dass Gips in der Platte gelöst wird, an die Grenzschicht Platte/Putz transportiert wird und dort wiederum kristallisiert. Es besteht der Verdacht, dass eine solche Gipsschicht die Festigkeit vor allem bei Feuchteeinwirkung verringern kann.

Aus diesem Grund wurde eine Methode entwickelt, die gewährleistet, dass die Trocknung der verputzten HWL-Platte ausschließlich über die verputzte Seite erfolgt.

Hierfür wurde ein Stahlrahmen konstruiert, in den die verputzte HWL-Platte für die zyklische Beanspruchung eingepasst wird.

Bevor es zur zyklischen Feuchte- und Trocknungsbeanspruchung kam, wurden bei allen HWL-Platten Haftzugfestigkeitsprüfungen durchgeführt. Diese Werte dienten als Referenzwerte.

Bei der Haftzugfestigkeitsprüfung stellte sich heraus, dass nach der zyklischen Beanspruchung die Haftzugfestigkeit zugenommen hat.

Des Weiteren wurden Haftzugfestigkeitsprüfungen bei durchfeuchteten Platten durchgeführt. Hier zeigte sich, dass die ursprüngliche Verbundfestigkeit nicht unterschritten wurde.

Bei der Beurteilung des Bruchbildes nach dem Haftzugversuch zeigte sich, dass mit steigender Haftzugfestigkeit immer mehr Putzmörtel in den Faserzwischenräumen der HWL-Platte verblieben ist.

Um Veränderungen in der Grenzschicht aufgrund der zyklischen Feuchte- und Trocknungsbeanspruchung beobachten zu können, wurden mikroskopische Untersuchungen durchgeführt. Hierfür wurden Schliffe im Bereich der Grenzschicht zwischen HWL-Platte und Putz angefertigt.

Die mikroskopischen Untersuchungen gaben keinen Verlust des ursprünglichen Verbundes Putz/Platte durch die zyklische Beanspruchung zu erkennen. Zusätzlich wurde beobachtet, dass sich Gips in den Poren des Putzmörtels eingegliedert hat und dieser somit einen positiven Beitrag zur Haftzugfestigkeit leistet.

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1 PROBLEMSTELLUNG</b> .....	<b>4</b>
<b>2 STAND DES WISSENS</b> .....	<b>6</b>
2.1 Holzwoleleichtbauplatten.....	6
2.1.1 Definition .....	6
2.1.2 Normung .....	6
2.1.3 Eigenschaften .....	6
2.1.4 Anwendung und Ausführung im Bauwesen .....	6
2.2 Putze und deren Anwendung.....	7
2.2.1 Definition.....	7
2.2.2 Putzmörtelgruppen .....	7
2.2.3 Putzauswahl .....	7
2.3 Bestandteile bei der Ausführung von Verputzarbeiten.....	8
2.3.1 Haftvermittler .....	8
2.3.2 Putzarmierung .....	8
2.4 Außenseitige Wandsysteme .....	9
2.5 Bestimmung der Haftzugfestigkeit nach ÖNORM B 3343 .....	11
2.5.1 Prüfeinrichtung .....	11
2.5.2 Auftragen des Prüfmörtels auf die Holzwoleleichtbauplatte .....	11
2.5.3 Herstellen der Prüfflächen.....	12
2.5.4 Bestimmung der Haftzugfestigkeit .....	12
2.5.5 Auswertung der Haftzugfestigkeit .....	12
2.5.6 Auswertung der Bruchbilder .....	13
2.6 Haftzugfestigkeiten von Außenputzen auf HWL-Platten.....	14
2.7 Zusammenfassung .....	15
<b>3 VERSUCHSPLANUNG</b> .....	<b>16</b>
3.1 Methodenentwicklung.....	16
3.1.1 Festlegung der Plattengröße und Putzstärke .....	16
3.1.2 Haftzugfestigkeitsprüfung nach 28 Tagen .....	17
3.1.3 Rahmenkonstruktion .....	17
3.1.4 Ablauf der zyklischen Feuchte- und Trocknungsbeanspruchung.....	18
3.1.5 Weiterführende Untersuchungen .....	18
<b>4 DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNGEN</b> .....	<b>19</b>
4.1 Probenherstellung .....	19
4.1.1 Charakterisierung der HWL-Platte .....	19
4.1.2 Herstellung der verputzten HWL-Platten .....	20
4.2 Prüfung der Haftzugfestigkeit nach 28 Tagen.....	21
4.3 Vorbereitung der Proben zur zyklischen Feuchte- und Trocknungsbeanspruchung.....	21
4.4 Versuchsdurchführung .....	23
4.4.1 Erster Zyklus und zweiter Zyklus .....	23
4.4.2 Veränderung der Vorgehensweise nach dem zweiten Zyklus.....	23

4.4.3	Veränderung der Vorgehensweise nach dem vierten Zyklus .....	23
4.4.4	Sechster Zyklus .....	23
4.5	Lagerungsdauerabhängige Haftzugfestigkeit .....	23
4.6	Haftzugfestigkeitsprüfungen bei durchfeuchteten Platten .....	24
4.7	Durchführung der Haftzugfestigkeitsprüfung .....	24
<b>5</b>	<b>VERSUCHSERGEBNISSE .....</b>	<b>26</b>
5.1	Ergebnisse der Haftzugfestigkeitsprüfung .....	26
5.2	Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchung .....	33
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG DER ENTWICKELTEN METHODE .....</b>	<b>43</b>
6.1	Probenvorbereitung .....	43
6.2	Versuchsdurchführung der zyklischen Beanspruchung .....	43
6.3	Haftzugfestigkeitsprüfung .....	43
<b>7</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN .....</b>	<b>44</b>
7.1	Entwickelte Methode .....	44
7.2	Gipsgebundene HWL-Platten .....	45
7.3	Werte der Haftzugfestigkeit .....	45
7.4	Einfluss erhöhter Feuchte .....	45
<b>8</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>46</b>

## **Abkürzungsverzeichnis**

HWL-Platte

WDVS

$\lambda$

HZF

HZV

Holzwoleleichtbauplatte

Wärmedämmverbundsystem

Wärmeleitfähigkeit [W/mK]

Haftzugfestigkeit

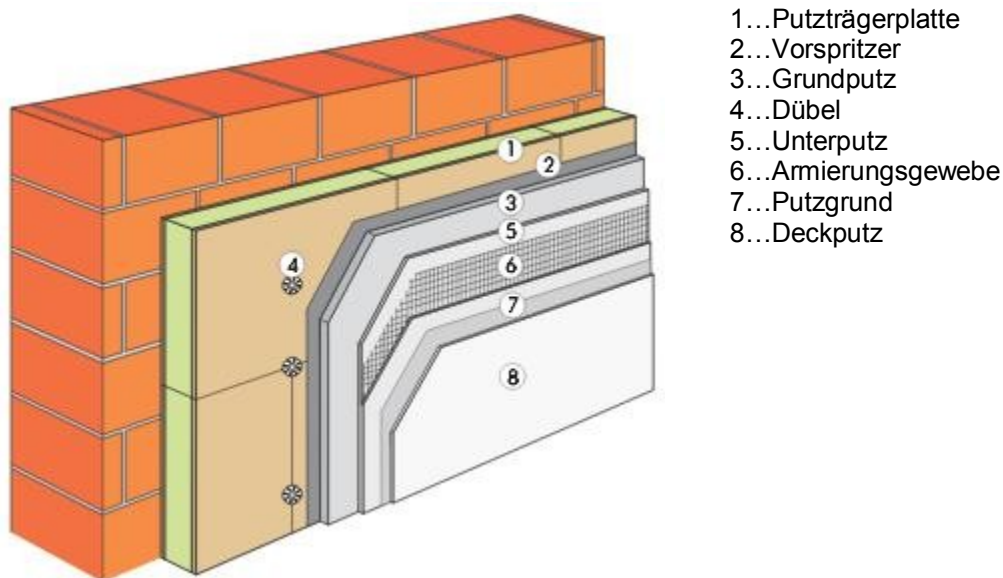
Haftzugversuch

# 1 Problemstellung

Holzwoleleichtbauplatten (HWL-Platten) werden unter anderem als Putzträgerplatten eingesetzt, und dienen zur Verbesserung des Putzgrundes. Sie können mit Mörtel am Untergrund angesetzt, mechanisch an ihm befestigt werden oder anbetoniert sein.

Die HWL-Platten bestehen aus langfaseriger Holzwolle und einem Bindemittel, das auf mineralischer Grundlage besteht. Hierfür werden Weißzemente, Grauzemente und Magnesit (sulfatgebundene kaustisch gebrannte Magnesia) verwendet [1].

Abbildung 1 zeigt ein Wandsystem mit einer Mehrschichtholzwoleleichtbauplatte als Putzträger.

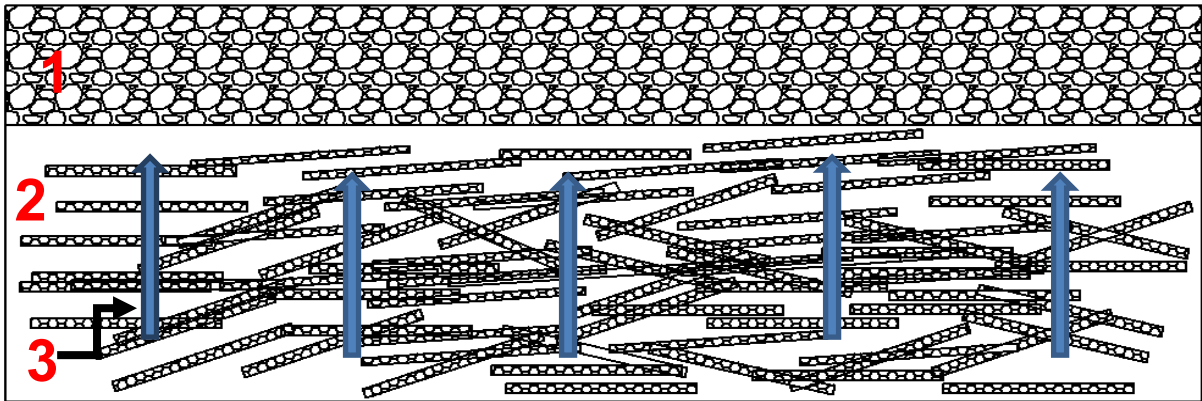


**Abbildung 1:** Wandaufbau [2]

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Methode entwickelt, um das Langzeitverhalten gipsgebundener Holzwoleleichtbauplatten für den Außenbereich untersuchen zu können. Das Hauptproblem für diesen Anwendungsbereich stellt die Feuchtigkeit dar, welche durch Regen, Schnee, oder Luftfeuchtigkeit entstehen kann. Aufgrund der Löslichkeit des Gipses ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ) wird vermutet, dass bei der Trocknung die gelösten Gipskristalle in die Grenzschicht zwischen HWL-Platte und Putz transportiert werden.



Abbildung 2 zeigt den Aufbau einer verputzten HWL-Platte.



**Abbildung 2:** Möglicher Gipstransport in Richtung Grenzschicht

- 1 Putzschicht
- 2 HWL-Platte
- 3 Diffusionsrichtung des Wassers

Aufgrund der geringeren Porosität im Putz kann es zu einer Kristallisation von Gips im Bereich der Grenzschicht kommen. Die Gipskristalle können den Verbund zwischen HWL-Platte und Putz schädigen und somit die Haftzugfestigkeit verringern. Dies könnte in weiterer Folge zu einer Abplatzung des Putzes führen.

Anhand von Laborversuchen soll eine geeignete Methode zur Prüfung zyklischer Feuchte- und Trocknungsbeanspruchung entwickelt werden, die gewährleisten soll, dass die Trocknung ausschließlich über die verputzte Seite erfolgt. Des Weiteren soll herausgefunden werden, in welchem Bereich der Platte es zu einer Kristallisation der Gips kommt und ob diese zu einer Verminderung der Haftzugfestigkeit beitragen.

## 2 Stand des Wissens

### 2.1 Holzwolleleichtbauplatten

#### 2.1.1 Definition [3]

Holzwolleleichtbauplatten (HWL-Platten) bestehen aus langfaseriger, längsgehobelter Holzwolle und mineralischen Bindemitteln (Zement, Gips [4] oder Magnesiabinder). Zum Einsatz kommen HWL-Platten als

- Putzträgerplatte im Innen- und Außenbereich
- Wärmeschutz
- Schallschutz (unverputzt)
- Brandschutz
- verlorene Schalung

#### 2.1.2 Normung [5]

Die ÖNORM B 6021 kennt nachfolgende Begriffsbestimmung für Holzwolleleichtbauplatten und Mehrschichtleichtbauplatten.

##### **Holzwolle-Dämmplatte:**

Dämmstoff aus chemisch nicht vorbehandelter, mit Sorelzement oder Portlandzement gebundener Holzwolle.

##### **Holzwolle-Mehrschicht-Dämmplatte:**

Dämmstoff aus Dämmkork, Mineralwolle oder Hartschaum mit einer oder beidseitiger Beschichtung aus mit magnesit- oder portlandzementgebundener Holzwolle.

#### 2.1.3 Eigenschaften

Die Rohdichte bei Holzwolleleichtbauplatten beträgt zwischen 0,35 und 0,57 kg/dm<sup>3</sup>. Des Weiteren weisen HWL-Platten eine Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  von ca. 0,09 W/(mK) auf [5].

Das Verhalten bei Einwirkung von Feuchtigkeit und Frost spielt bei Holzwolleleichtbauplatten eine große Rolle, da sich bei Änderung der Plattenfeuchtigkeit auch eine Änderung der Platteneigenschaften ergibt (Festigkeit, Wärmeleitfähigkeit) [6].

#### 2.1.4 Anwendung und Ausführung im Bauwesen

Holzwolleleichtbauplatten können am Untergrund durch Schrauben und Dübel oder mit Mörtel befestigt werden. Um zukünftige Bauschäden im Außenbereich zu vermeiden, muss bei großflächigen Fassaden eine Bewehrung angebracht werden [5].

Darüber hinaus können HWL-Platten als verlorene Schalung verwendet werden, wo sie gleichzeitig eine Wärmedämmschicht und Putzträgerfläche darstellen [3].

## 2.2 Putze und deren Anwendung

### 2.2.1 Definition

Putzmörtel ist ein Gemisch aus einem oder mehreren anorganischen Bindemitteln, Gesteinskörnungen, Wasser und gegebenenfalls Zusatzstoffen und/oder Zusatzmitteln. Der Kornanteil der Gesteinskörnung ist üblicherweise zwischen 0,25 und 4 mm. Putzmörtel können als Außen- oder Innenputze verwendet werden. [7].

### 2.2.2 Putzmörtelgruppen [3]

Laut DIN 18550 Teil 1 werden die Putzmörtel nach dem Bindemittelregime in folgender Weise unterteilt:

- Putzmörtelgruppe P I      Luftkalke, Wasserkalke, hydraulische Kalke
- Putzmörtelgruppe P II      Hochhydraulische Kalke, Putz- und Mauerbinder, Kalk-Zement-Gemische
- Putzmörtelgruppe P III      Zemente
- Putzmörtelgruppe P IV      Baugipse ohne und mit Anteilen an Baukalk
- Putzmörtelgruppe P V      Anhydritbinder ohne und mit Anteilen an Baukalk

Im Außenbereich kommen hauptsächlich Putze der Mörtelgruppe P II zum Einsatz.

### 2.2.3 Putzauswahl [3]

Die richtige Putzauswahl ist ein wesentlicher Faktor für die Schadensvermeidung. Aus diesem Grund sind einige Kriterien für die Auswahl zu beachten:

- Beanspruchungsbedingungen
- Mauerwerkart
- Besondere Anforderungen
- Detailausbildungen
- Verarbeitbarkeit
- Wirtschaftlichkeit

Auch der Putzgrund ist ein wesentlicher Faktor für das Putzsystem und sollte daher folgenden Anforderungen entsprechen:

- Eben
- Sauber
- Rau
- Nicht ständig durchfeuchtet
- Frei von schädigenden Substanzen
- Einheitlich

Wichtig ist auch, dass der Putz bautechnisch vor aufsteigender und rückwärtig einwirkender Feuchtigkeit geschützt ist.

## **2.3 Bestandteile bei der Ausführung von Verputzarbeiten**

### **2.3.1 Haftvermittler [8]**

Als Haftvermittler werden Vorspritzer, spezielle Haftmörtel, Haftschlämme und Haftbrücken verwendet.

Für Kalk-Zement-Putze kommen auf allen Putzgründen (ausgenommen Beton) Vorspritzer als Haftvermittler zur Anwendung.

Der Vorspritzer ist eine Putzgrundvorbereitung und dient als Haftvermittler und/oder Saugausgleich. Er kann im Innen- und Außenbereich angewendet werden. Bei der Anwendung eines Vorspritzers ist darauf zu achten, dass ein dafür vorhergesehener Werkmörtel zu verwenden ist. Ein Putz- und Mauermörtel als Vorspritzer ist nicht zulässig.

Die durchschnittliche Mindeststandzeit von Vorspritzern beträgt drei Tage. Die Verputzarbeiten dürfen erst nach vollständiger Erhärtung des Vorspritzers erfolgen.

### **2.3.2 Putzarmierung [8]**

Putzarmierungen sind alkalibeständige Textilglasgitter gemäß ÖNORM B 3347 und dienen zur Rissminimierung von mineralisch gebundenen Innen- und Außenputzen.

Die Textilglasgitter werden entweder in einer Spachtelschicht oder in einer Putzlage eingebettet. Im Außenbereich wird dabei das Textilglasgitter in jedem Fall aufgespachtelt.

Die Mindestdicke der Armierungsschicht beträgt 3 mm und das Textilglasgitter ist dabei mittig einzubetten. Die Mindeststandzeit der Armierungsschicht beträgt 7 Tage und ist witterungsabhängig.

## 2.4 Außenseitige Wandsysteme

Wandsysteme für den Außenbereich müssen eine Vielzahl von Anforderungen erfüllen. Neben den statischen Anforderungen sind noch folgende bauphysikalischen Eigenschaften relevant:

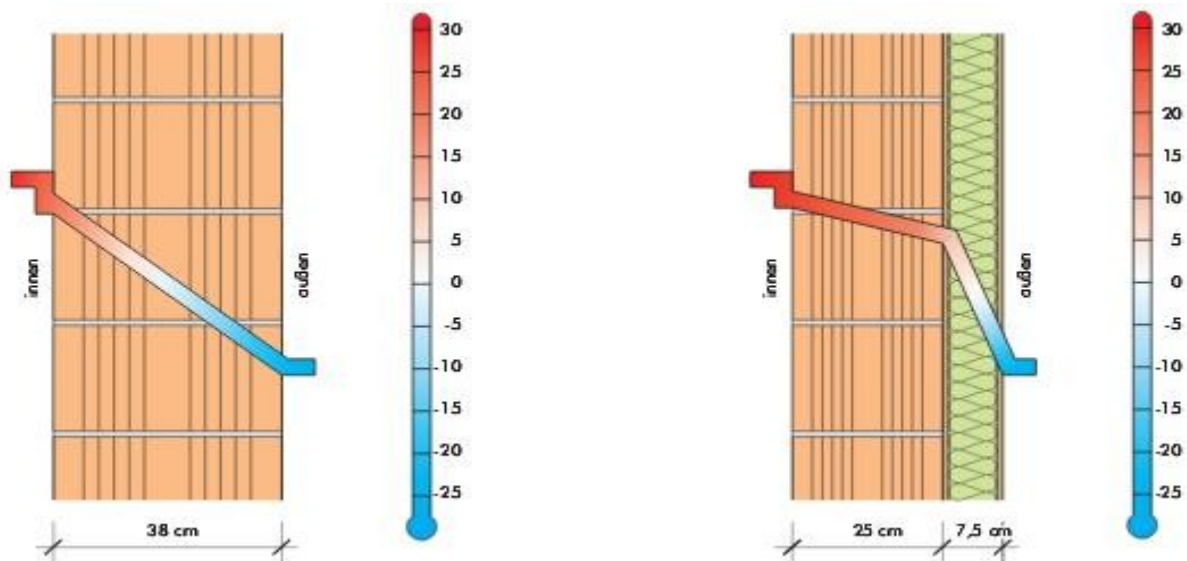
- Wärmedämmung
- Schallschutz
- Feuchtigkeitsregulierung

Außenwandsysteme bestehen aus einem Putzgrund und dem Putzsystem, wobei der Untergrund zur besseren Haftung des Putzsystems mit einem sogenannten Putzträger bzw. Haftvermittler versehen werden kann.

Folgende Außenwandsysteme werden unterschieden:

- Einschaliges Außenwandsystem: Die tragende Wand besteht aus einem Baustoff, auf den der Außenputz aufgetragen wird [9, 10].
- Mehrschaliges Außenwandsystem: Zwischen die als tragende Wand fungierende Innenschale und die Außenschale, die Schutz vor Witterungseinflüssen bietet, wird eine wärmedämmende Schicht eingebaut. Der Außenputz wird dabei auf die Außenschale aufgebracht [9, 10].
- Außenseitige Wärmedämmverbundsysteme: Ausgehend von ihrem grundsätzlichen Schichtenaufbau können an Außenwänden befestigte und verputzte HWL-Platten als erste Funktionsmuster oder zumindest als Vorläufer der heutigen Wärmedämmverbundsysteme betrachtet werden [9]. WDVS sind Außenwandbekleidungen, die aus den Komponenten Applikationssystem, Wärmedämmung und Putzsystem bestehen und in mehrere Arbeitsgängen auf einen tragfesten Untergrund aufgebracht werden. Sie zeichnen sich gegenüber den zwei genannten Wandsystemen durch eine deutliche Verringerung der Transmissionswärmeverluste aus [11].

Abbildung 3 zeigt den Temperaturverlauf mit und ohne WDVS. Der Temperaturverlauf im rechten Bild zeigt, dass das gesamte Mauerwerk im positiven Temperaturbereich liegt. Erst durch das entsprechende Fassadendämmsystem wird das Mauerwerk zum optimalen Wärmespeicher.



**Abbildung 3:** Temperaturverlauf in der Außenwand [2]

## 2.5 Bestimmung der Haftzugfestigkeit nach ÖNORM B 3343 [12]

Die Haftzugfestigkeit wird durch direkten Lasteintrag rechtwinkelig zur Oberfläche des Putzes bestimmt. Die Zugbelastung wird über eine definierte Zugplatte aufgebracht, die auf der Prüffläche der Mörteloberfläche aufgeklebt ist. Die Haftzugfestigkeit ist das Verhältnis aus Bruchlast und Prüffläche.

### 2.5.1 Prüfeinrichtung

- Prüfmaschine, Klasse 1, mit biegemomentfreiem Anschluss an die Zugplatten.
- Klimaschrank, in dem eine Temperatur von 20°C +/- 2°C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 95 % +/- 5 % aufrechterhalten werden kann.
- Kleber auf Harzbasis, z.B. Epoxidharz
- Kreisförmige Zugplatte aus Stahl mit einem Durchmesser von 50 mm +/- 0,1 mm, mit einer Mindestdicke von 10 mm und einem zentrischen Anschluss für die direkte Zugbelastungseinrichtung. Quadratische Zugplatten aus Stahl mit einer Seitenlänge von 50 mm, einer Mindestdicke von 10 mm und einem zentrischen Anschluss für die direkte Zugbelastung.
- Die Probenherstellung kann durch Einbohren oder durch Eindringen einer Ringschalung wie folgt erfolgen:
  - Kernbohrgerät mit einer Bohrkronen mit einem Innendurchmesser von 50 mm +/- 0,1 mm, die für Bohrungen für Festmörtel und Untergrund geeignet ist.
  - Scharfkantiger, kegelstumpfförmiger Ring aus Stahl oder Messing mit einem Innendurchmesser von 50 mm +/- 0,1 mm und mit einer Höhe von 25 mm +/- 0,5 mm. Die Mindestwanddicke muss am oberen Rand 5,0 mm und der Außendurchmesser der Grundfläche 51 mm +/- 0,1 mm betragen.

### 2.5.2 Auftragen des Prüfmörtels auf die Holzwolleleichtbauplatte

Der Frischmörtel ist in der vom Hersteller empfohlenen bzw. dem vorgesehenen Verwendungszweck entsprechenden Auftragsdicke auf den mattfeuchten Untergrund aufzutragen. Soweit nicht durch den Hersteller eine Auftragsdicke vorgegeben ist, beträgt die Gesamtdicke der Mörtelschicht 10 mm +/- 1 mm.

### 2.5.3 Herstellen der Prüfflächen

Die Prüfflächen können an der frisch aufgetragenen oder an der erhärteten Mörtelschicht hergestellt werden.

- Nach dem Auftragen der Mörtelschicht und nach dem Beginn des Erstarrens wird der zuvor gereinigte, leicht mit Mineralöl eingeölte, kegelstumpfförmige Ring unter leicht drehender Bewegung mit seiner scharfen Kante durch die Frischmörtelschicht bis auf den Untergrund eingedrückt. Der Abstand der Prüfflächen vom Rand des Putzuntergrundes sowie den einzelnen Prüfflächen muss mindestens 50 mm betragen. Der Ring ist, sobald er den Untergrund erreicht hat, unter leicht drehender Bewegung vorsichtig abzuheben.
- In der erhärteten Mörtelschicht werden kreisförmige Prüfflächen ( $\varnothing = 50$  mm) geschnitten und Haftzuganker aufgeklebt. Um sicherzustellen, dass der Probekörper eindeutig von der Mörtelschicht freigeschnitten ist, muss der Schnitt etwa 5 mm tief in den Untergrund hineinreichen.

### 2.5.4 Bestimmung der Haftzugfestigkeit

Die Probekörper sind nach der vorgeschriebenen Lagerungszeit zu prüfen. Auf die Prüfflächen werden die Zugplatten deckungsgleich mit dem Kleber aufgebracht. Dabei darf kein Kleber außerhalb des Randes der Prüffläche sein.

Die Zugbelastung muss rechtwinkelig zu den Zugplatten aufgebracht werden. Die Lastaufbringung muss stoßfrei und mit gleichmäßiger Geschwindigkeit ( $0,003$  N/(mm<sup>2</sup>\*s) –  $0,100$  N/(mm<sup>2</sup>\*s)) erfolgen. Die Geschwindigkeit sollte so gewählt werden, dass der Bruch zwischen 10 s und 80 s eintritt.

### 2.5.5 Auswertung der Haftzugfestigkeit

Die Einzelwerte der Haftzugfestigkeit sind nach folgender Formel zu berechnen:

$$\beta_h = \frac{F_h}{A}$$

$\beta_h$  .....Haftzugfestigkeit (N/mm<sup>2</sup>)

$F_h$  .....Bruchlast (N)

$A$  .....Prüffläche (mm<sup>2</sup>)

Die Haftzugfestigkeit muss als Mittelwert von 5 Einzelwerten angegeben werden. Erfolgt der Bruch nicht in der Berührungsfläche zwischen Mörtel und Untergrund, ist die Haftzugfestigkeit größer als die gemessene Haftzugfestigkeit.



### **2.5.6 Auswertung der Bruchbilder**

Bezüglich der Beurteilung des Bruchbildes nach dem Haftzugversuch unterscheidet die ÖNORM B 3343 folgende Möglichkeiten:

- Kohäsionsbruch im Putzmörtel
- Kohäsionsbruch im Untergrund
- Adhäsionsbruch zwischen Untergrund/Putzmörtel
- Bruch im Kleber zwischen Putzmörtel und Prüfzylinder des Haftzugstempels (Metallzylinder)

## 2.6 Haftzugfestigkeiten von Außenputzen auf HWL-Platten

Die nachstehende Tabelle 1 zeigt verschiedene Außenputze, an welchen Haftzugfestigkeitsprüfungen auf zement- und magnesiagebundenen HWL-Platten (Tabelle 2) durchgeführt wurden [13].

**Tabelle 1:** Zusammensetzung der untersuchten Außenputze [13]

Probe	Bindemittel	Leichtzuschlag (Körnung [mm])	Weitere Komponenten und Bezeichnung laut Produktdatenblatt
AP(A)	Weißkalkhydrat, Portlandzement	EPS (0,5 bis 2)	Putzsande, Zusätze
AP(B)	Hydraulischer Kalk (Zement)	Schaumglas (<2)	Vergütung, Mörtelgruppe P2 nach DIN 18550, wasserabweisend
AP(C)	Hydraulischer Kalk, Kalkhydrat, Zement	Schaumglas (<2)	Vergütung, Mörtelgruppe P2 nach DIN 18550, nicht wasserabweisend
AP(D)	Kalk, Zement	Schaumglas (<2)	Fasern, Mörtelgruppe P1c nach DIN 18550, wasserabweisend
AP(E)	Kalk, Zement	EPS (0,5-2)	Kalksand (0-2mm)
AP(F)	Weißkalkhydrat, Portlandzement	EPS (0,5-2)	Kalksteinbrechsand, hydrophobierende Zusätze
AP(G)	Hydraulischer Kalk, Zement	Perlit (<2)	Calcitische Füllstoffe, Kunstfasern
AP(H)	Hydraulischer Kalk, Kalkhydrat, Zement	Perlit (<2)	Calcitische Füllstoffe, Acrylfasern
AP(I)	Kalk, Zement	Perlit (<2)	Kalkfeinsand, verarbeitungsverbessernde Zuschläge
AP(J)	Kalk, Zement	EPS (0,5-2)	Kalkfeinsand, verarbeitungsverbessernde Zuschläge

**Tabelle 2:** Übersicht der HWL-Platten [13]

Probe	Putzgrund	Aufbau(Dicke)	Bindemittel
PM	Holzwoleleichtbauplatte	35 mm	Magnesiabinder
PZ	Holzwoleleichtbauplatte	35 mm	Zement

Die Tabellen 3 und 4 zeigen die Ergebnisse der Haftzugfestigkeitsprüfungen in Abhängigkeit ihrer Lagerungsdauer und Lagerungsbedingungen.

**Tabelle 3:** Haftzugfestigkeit nach 14-tägiger Lagerung [13]

Probe	HZF [MPa]	
	<i>PZ</i>	<i>PM</i>
AP(A)	0,117	0,087
AP(B)	0,059	0,030
AP(C)	0,075	0,048
AP(D)	0,058	0,043
AP(E)	0,080	0,075
AP(F)	0,117	0,071
AP(G)	0,162	0,133
AP(H)	0,149	0,112
AP(I)	0,113	0,114
AP(J)	0,105	0,103

**Tabelle 4:** Haftzugfestigkeit nach 42-tägiger Lagerung in Abhängigkeit von den Lagerbedingungen [13]

Probe	HZF [MPa] ohne Wasserlagerung		HZF [MPa] mit Wasserlagerung	
	<i>PZ</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PZ</i>
AP(A)	0,102	0,077	0,173	0,134
AP(B)	0,036	0,031	0,074	0,067
AP(C)	0,063	0,076	0,126	0,093
AP(H)	0,088	0,067	0,143	0,122
AP(J)	0,084	0,082	0,182	0,127

Des Weiteren wurden bereits Haftzugfestigkeitsprüfungen von Maschinenputzen auf magnesiagebundenen HWL-Platten getestet. Diese Haftzugfestigkeitswerte nach 28 tägiger Lagerung betragen zwischen 0,13 und 0,20 MPa [14].

## 2.7 Zusammenfassung

Die Literaturrecherche zeigte, dass bereits Haftzugfestigkeitsprüfungen von Putzen auf Holzwolleleichtbauplatten bei verschiedensten Bedingungen durchgeführt wurden. Die Ergebnisse der Haftzugfestigkeitsprüfungen liegen dabei in einem Bereich von 0,03 bis 0,2 MPa.

Eine Methode zur Beurteilung des Langzeitverhaltens von verputzten Holzwolleleichtbauplatten ist in der Literatur nicht beschrieben.

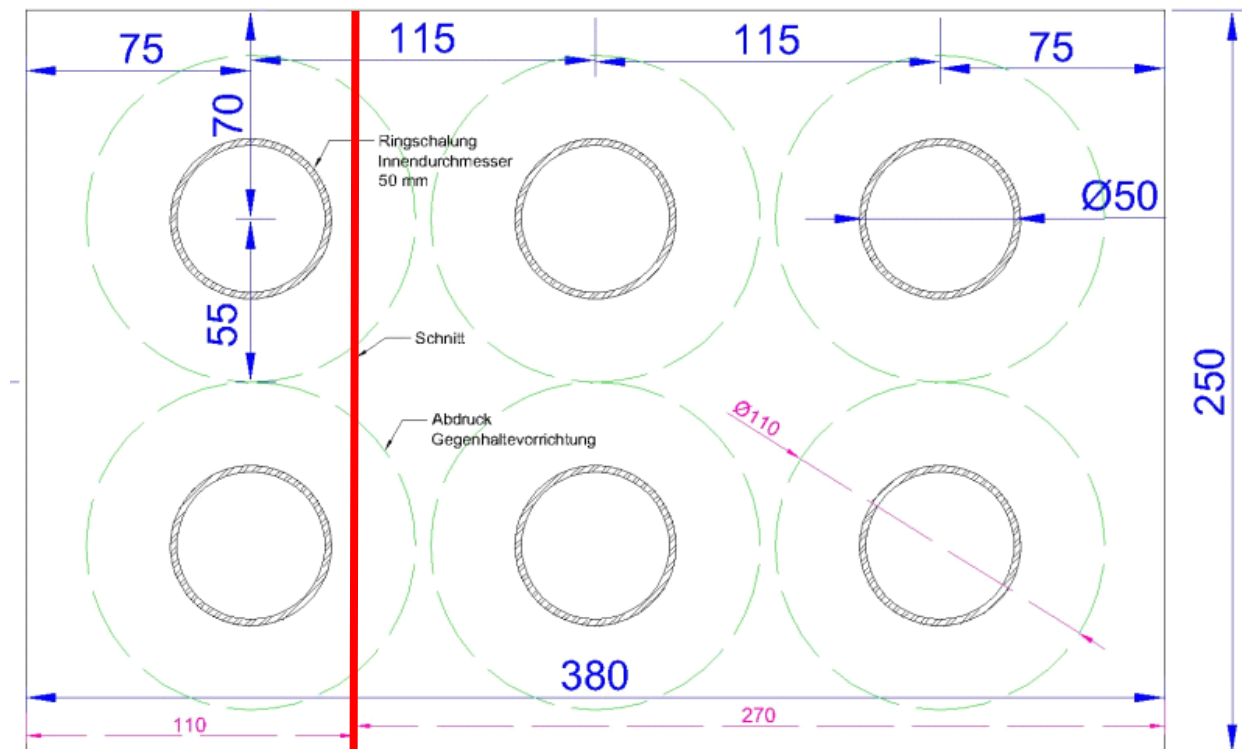
### 3 Versuchsplanung

#### 3.1 Methodenentwicklung

##### 3.1.1 Festlegung der Plattengröße und Putzstärke

Im Vorfeld wurden die Abmessungen und die Anzahl der Prüfstellen der verputzten Holzwolleleichtbauplatte festgelegt. Gemäß den Verarbeitungsrichtlinien für Werkputzmörtel sind ein Vorspritzer und ein Textilgitter erforderlich. Da es bei der Verwendung dieser beiden Komponenten zu einer Verbesserung des Verbundes Putz/Platte kommt, könnte die Abnahme der Haftzugfestigkeit nach der zyklischen Feuchte- und Trocknungsbeanspruchung möglicherweise nicht erkennbar sein.

In Abbildung 4 ist der Grundriss der verputzten HWL-Platten ersichtlich. Die rote Linie kennzeichnet den Bereich, welcher für die zyklische Beanspruchung mittels Steinsäge abgeschnitten wird. Dabei wird der rechte Abschnitt für die zyklische Feuchte- und Trocknungsbeanspruchung verwendet. Der linke Teil der Platte dient zu einer Ermittlung der Haftzugfestigkeit nach 28 Tagen.



**Abbildung 4:** Grundriss der verputzten HWL-Platte (Abmessungen in mm)

Die Stärke der Holzwolleleichtbauplatte wurde mit 30 mm definiert und die Stärke der Putzschicht beträgt 15 mm. Für die verputzte Schicht wurde aufgrund seiner Eigenschaften ein Kalk-Zement-Putz (Röfix 610) ausgewählt. Für die Herstellung der Ringnut wurde eine Ringschaltung mit 50 mm herangezogen.

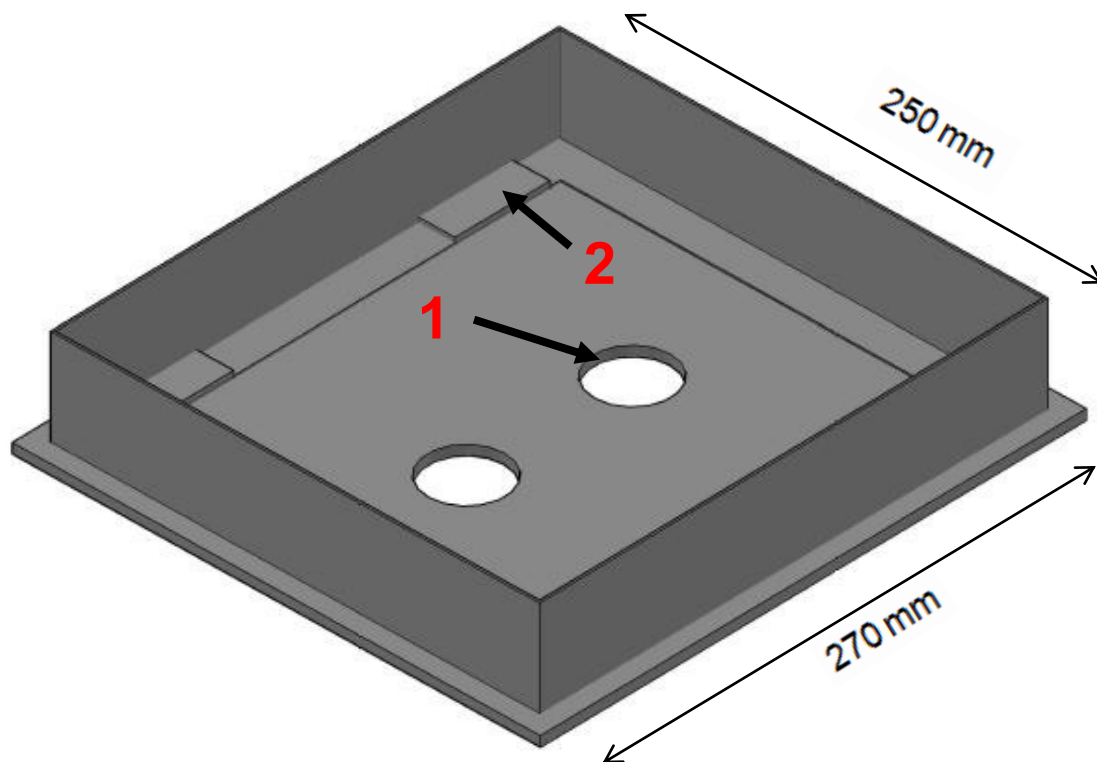
### 3.1.2 Haftzugfestigkeitsprüfung nach 28 Tagen

Um Referenzwerte der Haftzugfestigkeiten zu bekommen, wurde geplant, dass vor der zyklischen Feucht- und Trocknungsbeanspruchungen Haftzugfestigkeitsprüfungen durchgeführt werden. Diese Prüfung findet 28 Tage nach den Verputzarbeiten statt. Sie beschränkt sich auf den linken Teil (Abbildung 4: linker Teil) der verputzten HWL-Platte. Von jeder Platte wird ein Mittelwert der Haftzugfestigkeit der zwei Positionen ermittelt. Grund dafür ist, um eine Veränderung der Haftzugfestigkeit nach der zyklischen Beanspruchung feststellen zu können.

### 3.1.3 Rahmenkonstruktion

Um den Effekt der möglichen Kristallisation von Gips in der Grenzschicht zwischen HWL-Platte und Putz in Laborversuchen simulieren zu können, musste eine Methode entwickelt werden, bei der die Trocknung einer zuvor befeuchteten Platte ausschließlich über die verputzte Seite erfolgt. Hierfür wurde ein Stahlrahmen konstruiert, in welchen die verputzte Holzwoleleichtbauplatte eingelegt werden kann. Diese Konstruktion hat eine Länge von 270 mm, eine Breite von 250 mm und eine Höhe von 50 mm. Wie in Abbildung 4 ersichtlich, befinden sich mittig auf der Rückseite des Rahmens zwei Bohrungen mit einem Durchmesser von 50 mm. Diese Öffnungen dienen zur Durchfeuchtung der HWL-Platte und werden beim Trocknungsvorgang mit konischen Gummistopfen luftdicht verschlossen.

Für die zyklische Versuchsdurchführung wurden zehn solcher Rahmen gefertigt.



**Abbildung 5:** Rahmenkonstruktion  
1 Bohrung für die Wasserbefüllung  
2 Distanzhalter (30x10x1 mm<sup>3</sup>)

### **3.1.4 Ablauf der zyklischen Feuchte- und Trocknungsbeanspruchung**

Um eine Langzeitsimulation von Feuchte- und Trocknungsbeanspruchung gewährleisten zu können, wurde die Zyklusanzahl mit 20 definiert. Diese Anzahl entspricht bei realen Bedingungen ca. 10 bis 20 Jahre.

- Einpassen der verputzten HWL-Platten in die Rahmenkonstruktion
- Abdichten der Ringspalte
- Durchfeuchtung bis zur Gewichtskonstanz
- Anschließende Trocknung bei 40°C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz
- Haftzugfestigkeitsprüfung nach jedem zweiten Zyklus
- Auswertung der Haftzugfestigkeiten

### **3.1.5 Weiterführende Untersuchungen**

Nach dem Auswerten der Haftzugfestigkeiten in Abhängigkeit der Zyklusanzahl sind noch weitere makroskopische und mikroskopische Untersuchungen vorgesehen.

- Beurteilung der Bruchbilder gemäß ÖNORM B 3343
- Schliffherstellung im Bereich der Grenzschicht
- Panoramabildaufnahme der Grenzschicht mittels Auflichtmikroskop
- REM-Analyse um Gipsphasen identifizieren zu können
- Dokumentation über die Veränderung der Grenzschicht nach der zyklischen Beanspruchung

## 4 Durchführung der Untersuchungen

### 4.1 Probenherstellung

#### 4.1.1 Charakterisierung der HWL-Platte

Tabelle 5 zeigt die Zusammensetzung der Holzwolleleichtbauplatten, die als Putzträgerplatten im Außenbereich angewendet werden.

**Tabelle 5:** Mischung der HWL-Platte

Handelsname des Rohstoffes	Genau chem. Bezeichnung	Wirkungsweise	Gew.- Anteil in %
Holzwollefasern	Holzwolle	Fasern	25 +/- 5
Wasser	Nicht zutreffend	Bindungspartner für Bindemittel	25 +/- 5
Alpha – Halbhydrat AGMM	CAS-Nr.: 7778-18-9 Calciumsulfat	Bindemittel	50 +/- 5

#### Berechnung der Menge Gips pro HWL-Platte:

**Tabelle 6:** Daten für die Mischungsrechnung

Dichte HWL-Platte	0,5 g/cm <sup>3</sup>
Molgewicht CaSO <sub>4</sub> *1/2H <sub>2</sub> O	145,15 g/mol
Molgewicht CaSO <sub>4</sub> *2H <sub>2</sub> O	172,15 g/mol
Gewicht HWL-Platte	1012,5 g

*Berechnung für 100 g Einwaage:*

25 g.....Holzfasern

25 g.....Wasser

50 g.....Alpha – Halbhydrat (α-HH)

$$n_{\alpha-HH} = \frac{50 \text{ g}}{145,15 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,344 \text{ mol}$$

$$\text{Menge Gips} = 0,344 \text{ mol} * 172,15 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 59,3 \text{ g}$$

Gewicht einer Platte bei 100 g Einwaage: **59,3 g Gips + 25 g Holzfasern = 84,3 g**

15,7 g Wasser verdampfen bei der Herstellung und Lagerung bei Raumtemperatur.

Bei einer Restfeuchte von 0 g stellt sich der höchste Gipsgehalt ein.

*Berechnung der Menge CaSO<sub>4</sub> \* 2H<sub>2</sub>O (Gips) pro Platte (250x270x30 mm<sup>3</sup>):*

84,3 g.....59,3 g

1012,5 g.....**712 g** Gips pro HWL-Platte

Die Berechnung zeigt, dass eine HWL-Platte mit 1012,5 g, 712 g Gips enthält.

#### 4.1.2 Herstellung der verputzten HWL-Platten

Für die Versuche wurden 20 Stück gipsgebundene HWL-Platten mit einem Kalk-Zement-Putz (Röfix 610) im Labor der Fa. Knauf verputzt. Die Abbildungen 6 und 7 zeigen die Verputzarbeiten. Der äußere Holzrahmen diente lediglich für die Verputzarbeiten und ist nicht Bestandteil der Probekörper.



**Abbildung 6:** HWL-Platte ohne Putz



**Abbildung 7:** Verputzarbeiten

Nach den Verputzarbeiten wurde in den noch nicht erhärteten Putz eine Ringschalung mit Innendurchmesser 50 mm eingedrückt und wieder entfernt. In Abbildung 8 sind die Schablone und die zu eindrückende Ringschalung ersichtlich. Die genauen Positionen der Ringschalungen sind in Abbildung 4 ersichtlich.



**Abbildung 8:** Eindrücken der Ringschalung



## 4.2 Prüfung der Haftzugfestigkeit nach 28 Tagen

Im Vorfeld wurden von jeder Platte zwei Haftzugfestigkeitsprüfungen durchgeführt, um für jede Platte einen Referenzwert der Haftzugfestigkeit zu ermitteln. Hierfür standen verputzte HWL-Platten zur Verfügung die 28 bzw. 29 Tage nach den Verputzarbeiten getestet wurden. Für diesen Versuch wurden die zwei Positionen in Abbildung 4 (linker Teil) getestet. Der genaue Ablauf der Haftzugfestigkeitsprüfung ist in Kapitel 4.7 beschrieben.

## 4.3 Vorbereitung der Proben zur zyklischen Feuchte- und Trocknungsbeanspruchung

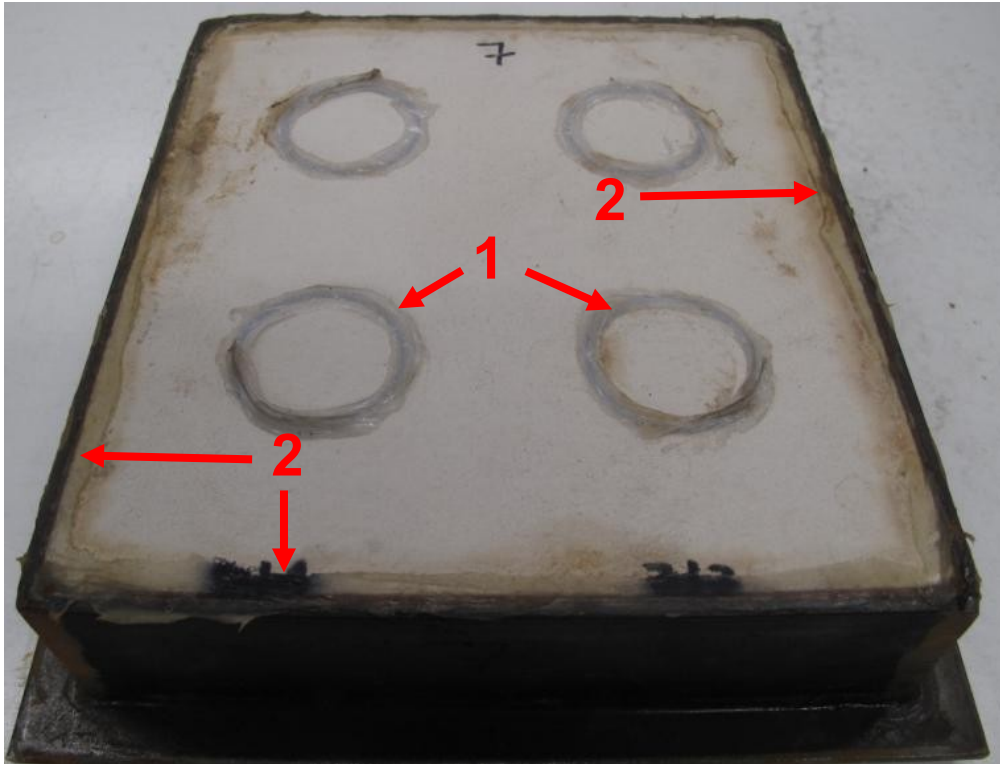
In Abbildung 9 ist der fertiggestellte Rahmen zu sehen. Die Abmessungen entsprechen genau denen der Platte mit den restlichen vier Positionen (Abbildung 4: rechter Teil). Zur zusätzlichen Abdichtung des Systems wurden die Schweißnähte mit Silikon versiegelt.



Abbildung 9: Stahlrahmen

Abbildung 10 zeigt die Rahmenkonstruktion inklusive der eingepassten HWL-Platte. Beim Einpassen ist besonders darauf zu achten, dass die verputzte Platte ein Spiel von ca. 3 mm gegenüber dem Rahmen aufweist. Grund dafür ist, dass es durch die Feuchteinwirkung bei der zyklischen Beanspruchung zu einem Quellen der Platte kommt. Die verputzten HWL-Platten wurden mit einem Bandschleifgerät auf die passende Größe zugeschliffen.

Nach dem Einpassen wurden die Ringspalte (1) und die Kontaktflächen (2) zwischen HWL-Platte und Rahmen mittels Silikon abgedichtet.



**Abbildung 10:** Rahmen mit HWL-Platte  
1 Ringspalt  
2 Kontaktfläche zwischen Platte und Rahmen

## **4.4 Versuchsdurchführung**

### **4.4.1 Erster Zyklus und zweiter Zyklus**

Um die Platten zu durchfeuchten, wurden zehn Versuchsaufbauten (ohne rückseitige Gummistopfen) in einem mit 400 Liter befüllten Wasserbad für vier Stunden bis zur Gewichtskonstanz gelagert. Die Gewichtskonstanz wurde mittels Laborwaage ermittelt. Im Anschluss daran wurden alle Versuchsaufbauten aus dem Wasserbecken entnommen und mit den Gummistopfen an der Rückseite verschlossen. Die Trocknung erfolgte im Trockenschrank bei 40°C bis zur Gewichtskonstanz (acht Tage). Beim Trocknungsverlauf bildete sich an der Oberfläche des Putzes Kondenswasser. Dieses Wasser diffundierte durch die gesamte Plattenstärke und zeigt somit die ordnungsgemäße Funktionalität der Konstruktion.

### **4.4.2 Veränderung der Vorgehensweise nach dem zweiten Zyklus**

Bei der Entnahme der ersten HWL-Platte aus dem Rahmen stellte sich heraus, dass es zu einem Quellen der Holzfasern in der Platte gekommen ist, und diese somit sehr schwer aus dem Rahmen zu entfernen war.

Des Weiteren lösten sich große Mengen an Gips, was durch das Ablösen von Holzwolle an der Unterseite der Platte erkannt wurde. Aufgrund der Löslichkeit des Gipses von 2 g/l können in einem 400 Liter fassenden Wasserbecken ca. 800 g Gips in Lösung gehen. Aufgrund dessen wurde die Vorgehensweise dahingehend geändert, dass anstelle der Wasserlagerung 500 g Wasser pro Zyklus bei jeder Platte über die rückseitigen Bohrungen aufgegeben wurden.

Darüber hinaus wurde bei der augenscheinlichen Beurteilung der Bruchbilder eine Restfeuchte der HWL-Platte erkannt.

### **4.4.3 Veränderung der Vorgehensweise nach dem vierten Zyklus**

Die zuvor in Kapitel 4.4.2 vorgenommenen Veränderungen hatten zur Folge, dass sich die Restfeuchte der HWL-Platte augenscheinlich reduzierte, aber noch immer vorhanden war.

Um eine vollständige Trocknung der HWL-Platten sicherzustellen, wurden die mit 500 g Wasser befüllten Aufbauten für eine Stunde mit der verputzten Seite nach unten gelagert. Im Anschluss daran wurde das überschüssige Restwasser entleert. Die Trocknungsdauer im Trockenschrank wurde zusätzlich auf zehn Tage erhöht.

### **4.4.4 Sechster Zyklus**

Diese Änderung der Vorgehensweise stellte sich bei der Haftzugfestigkeitsprüfung nach dem sechsten Zyklus als ausreichend heraus, da die HWL-Platte keine augenscheinliche Restfeuchte mehr beinhaltete.

## **4.5 Lagerungsdauerabhängige Haftzugfestigkeit**

Um den Einfluss der zeitabhängigen Festigkeitssteigerung der verputzten HWL-Platten zu überprüfen, wurden bei diesen Platten, 90 Tage nach ihrer Herstellung Haftzugfestigkeitsprüfungen durchgeführt. Hier kam heraus, dass sich die Haftzugfestigkeit gegenüber der 28 Tage alten Platten nicht verändert hat.

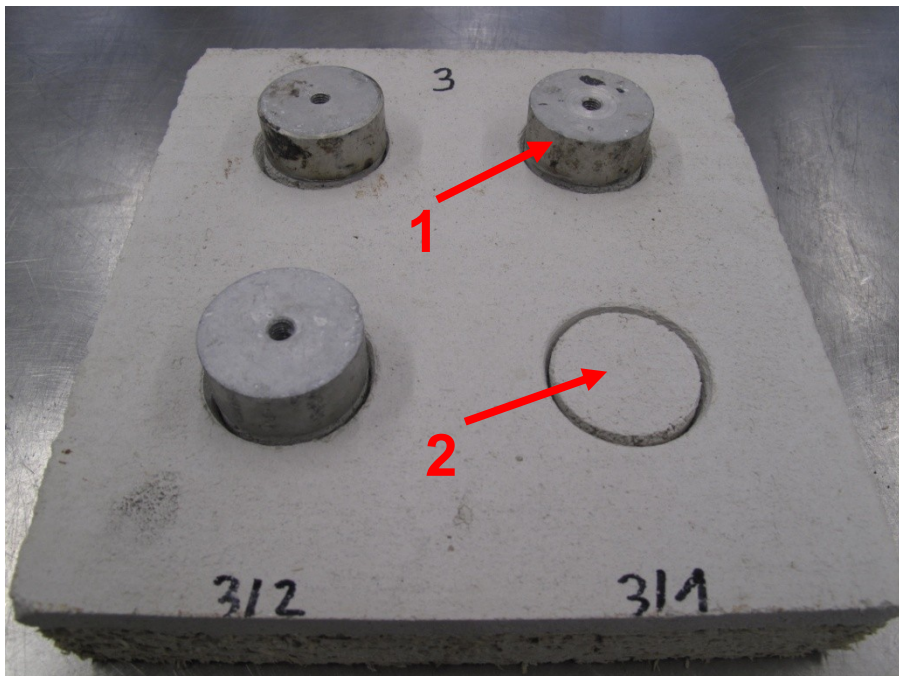
## 4.6 Haftzugfestigkeitsprüfungen bei durchfeuchteten Platten

Um für das Praxisverhalten von durchfeuchteten Wandsystemen, Ergebnisse für die Verbundfestigkeit zu ermitteln, wurde die Haftzugfestigkeitsprüfung bei wassergesättigten verputzten HWL-Platten durchgeführt. Dabei wurden die HWL-Platten in einem mit 25 Liter befüllten Wasserbecken für 30 Minuten gelagert.

## 4.7 Durchführung der Haftzugfestigkeitsprüfung

Für die Prüfung der Haftzugfestigkeit wurden auf den Flächen innerhalb der Ringspalte Metallzylinder nach ÖNORM aufgeklebt. Hier stellte sich heraus, dass ein Zwei-Komponenten-Epoxidharz die beste Klebeverbindung zwischen Putz und Metallzylinder darstellt. Zuvor wurde ein Superkleber auf Cyanacrylat-Basis verwendet. Bei dieser Klebeverbindung stellte sich heraus, dass der Kleber die erforderliche Festigkeit nicht oder nur teilweise erreicht.

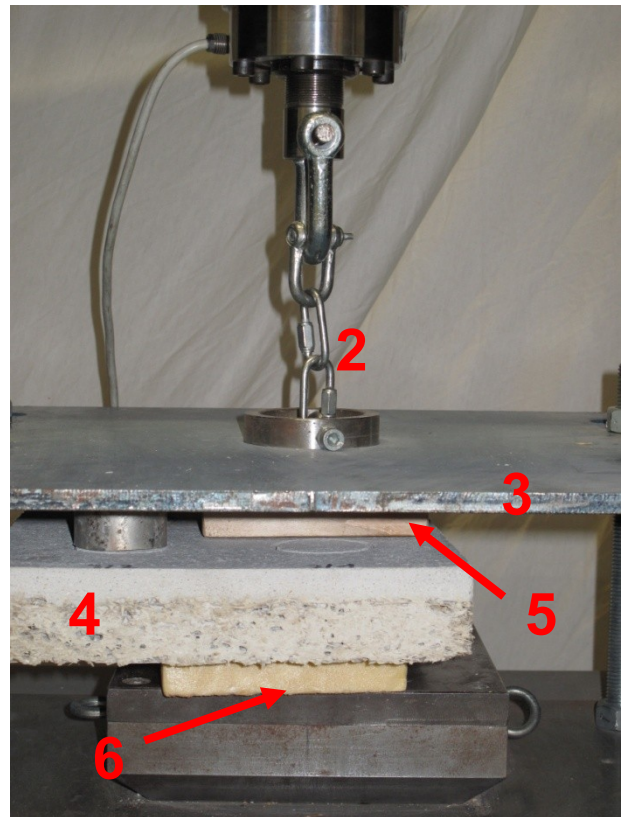
In Abbildung 11 sind die aufgeklebten Metallzylinder für die Haftzugfestigkeitsprüfung ersichtlich.



**Abbildung 11:** HWL-Platte mit aufgeklebten Zylindern  
1 Metallzylinder  
2 Fläche innerhalb des Ringspaltes (Klebeschicht)

Während des Aushärtens des Klebers wurden die Metallzylinder mit einem Gewicht von 1 kg beschwert. Um ein vollständiges Aushärten des Klebers zu gewährleisten, erfolgte die Prüfung der Haftzugfestigkeit nach 24 Stunden.

Die Untersuchung der Haftzugfestigkeit wurde an der Universalprüfmaschine („Shimadzu Autograph“) durchgeführt. Hierfür wurde zusätzlich eine Rückhalteplatte installiert und ein Adapter für die Metallzylinder gefertigt. Der Aufbau der Prüfmaschine ist in den Abbildungen 12 und 13 ersichtlich.



**Abbildung 12:** Universalprüfmaschine

- 1 Messeinrichtung mit Computerverbindung
- 2 Kette mit Schraube
- 3 Rückhalteplatte
- 4 Probe
- 5 Abstandshalter mit großer Auflagefläche
- 6 Unterlegekeil für HWL-Platte

**Abbildung 13:** Aufbau

Die Probe wurde mit 50 N vorgespannt und danach die Kraft mit einer Laststeigerungsrate in Anlehnung an die Norm von 5 N/s bis zum Bruch erhöht.

## 5 Versuchsergebnisse

### 5.1 Ergebnisse der Haftzugfestigkeitsprüfung

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse der Haftzugfestigkeit der Referenzpositionen angeführt (ohne zyklische Belastung). An zwei Positionen konnte kein Wert ermittelt werden, da der Bruch bereits beim Einspannen auftrat.

**Tabelle 7:** Haftzugfestigkeit vor der zyklischen Beanspruchung

Probe	Alter [d]	Haftzugfestigkeit Stelle 1 [MPa]	Haftzugfestigkeit Stelle 2 [MPa]	Mittelwert [MPa]	Fehler des Mittelwertes [MPa]
1	28	-	0,165	0,165	0,000
2	28	0,230	0,153	0,192	0,039
3	28	0,163	0,217	0,190	0,027
4	28	-	0,133	0,133	0,000
5	28	0,139	0,126	0,133	0,007
6	28	0,185	0,145	0,165	0,020
7	28	0,173	0,149	0,161	0,012
8	28	0,247	0,163	0,205	0,042
9	29	0,235	0,172	0,204	0,032
10	29	0,137	0,188	0,163	0,026
11	29	0,164	0,160	0,162	0,002
12	29	0,236	0,262	0,249	0,013
13	29	0,188	0,125	0,157	0,032
14	29	0,180	0,185	0,183	0,003
15	29	0,202	0,229	0,216	0,014
<b>Gesamt</b>				<b>0,180</b>	<b>0,038</b>

Der Fehler des Mittelwertes  $\Delta x$  ist der Quotient aus der Standardabweichung und der Wurzel der Anzahl der Stichproben.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$\Delta x = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

$\Delta x$ .... Fehler des Mittelwertes

$\sigma$ ..... Standardabweichung

$x_j$ ..... Stichprobe

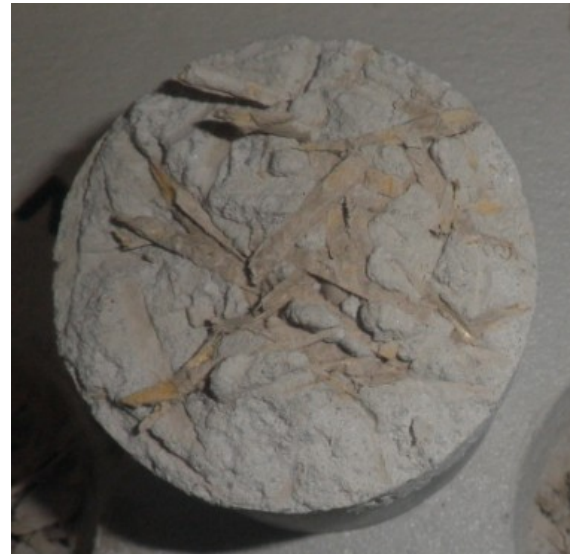
$\bar{x}$ ..... Mittelwert der Stichproben

$N$ ..... Anzahl der Stichproben

In den nachstehenden Abbildungen 14 und 15 sind die Bruchbilder der Platten 3 und 15 ohne zyklische Beanspruchung ersichtlich.



**Abbildung 14:** Fraktur Platte 3



**Abbildung 15:** Fraktur Platte 15

Die Bruchbilder zeigen, dass der Bruch, ohne zyklische Beanspruchung, in der Grenzschicht erfolgte und somit die Haftzugfestigkeit repräsentiert. Kleinere Mengen an Mörtel verblieben dabei in der Holzwolle. (Abbildungen 14 und 15: linker Teil).

In Tabelle 8 sind die Ergebnisse der Haftzugfestigkeitsprüfung nach der zyklischen Beanspruchung angeführt.

**Tabelle 8:** Haftzugfestigkeiten in Abhängigkeit der zyklischen Beanspruchung

Zyklus (Platte)	HZF Pos. 3	HFZ Pos. 4	HZF Pos. 5	HZF Pos. 6	HZF MW	Fehler des Mittelwertes [MPa]	Verhältnis [%]	Fehler [%]
0 (15)	0,160	0,180	0,200	0,140	0,173	0,022	78,9	18,5
2 (13)	0,150	0,182	0,106	0,163	0,150	0,028	96,0	28,5
4 (02)	0,123	0,152	0,129	0,163	0,142	0,016	74,0	31,3
6 (01)	0,229	0,271	0,159	0,243	0,226	0,041	136,6	13,4
8 (04)	--	--	--	--	--	--	--	--
10 (10)	--	0,253	0,339	0,353	0,311	0,044	193,7	10,9
12 (11)	0,340	0,290	0,340	0,370	0,334	0,029	206,8	4,2
14 (09)	0,270	0,270	0,360	0,370	0,317	0,048	156,0	13,82
16 (05)	0,200	0,200	0,210	0,180	0,198	0,011	149,1	4,9
18 (14)	0,260	0,350	0,470	0,420	0,376	0,079	205,5	10,3
20 (07)	--	0,276	0,312	0,287	0,292	0,015	181,2	5,0

Die Auswertung nach dem achten Zyklus konnte nicht durchgeführt werden, da die Platte beim Auspressen aus der Rahmenkonstruktion zerstört wurde. Beim 10. und 20. Zyklus konnte bei der Position 3 kein Wert ermittelt werden, da es beim Vorspannen zu einem vorzeitigen Bruch gekommen ist. Bei den rot markierten Messreihen zeigen die Bruchbilder, dass der Bruch nicht vollständig in der Grenzschicht geschah, sondern eher auf der verputzten Seite.

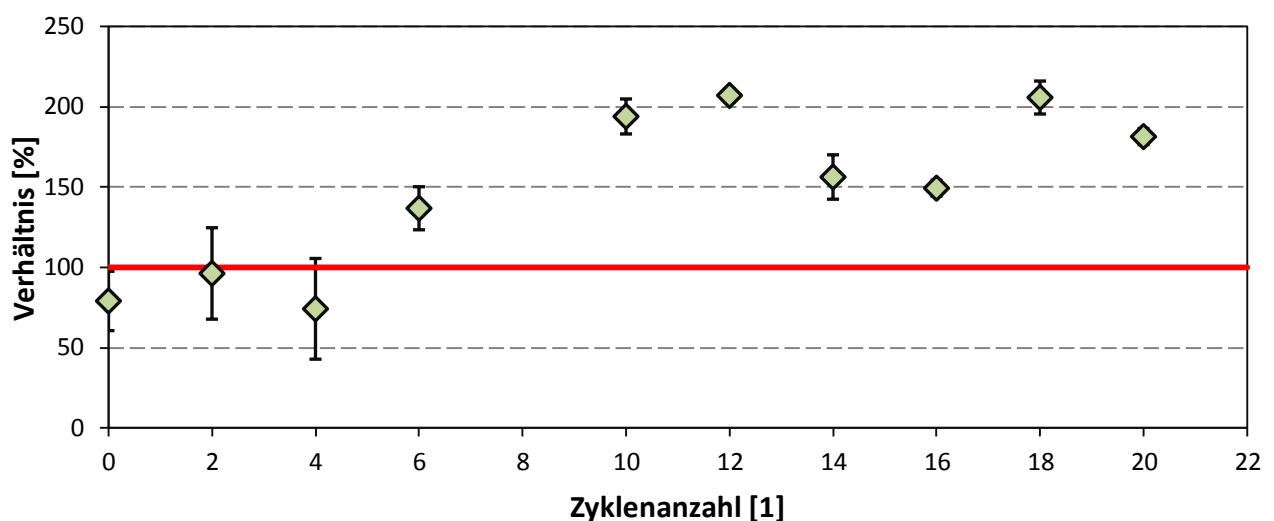
Das Verhältnis ist definiert durch:

R..... Verhältnis in Prozent

MW.... Mittelwert der Haftzugfestigkeit

$$R = \frac{(MW_{mit\ Zyklus})}{(MW_{ohne\ Zyklus})} * 100\ %$$

Abbildung 16 zeigt den Verlauf der Haftzugfestigkeiten in Abhängigkeit der Zyklanzahl. Dabei ist ersichtlich, dass bei höherer Zyklanzahl ein Trend zu einer höheren Haftzugfestigkeit besteht.



**Abbildung 16:** Haftzugfestigkeit in Abhängigkeit der Zyklanzahl



Die Auswertung der Bruchbilder erfolgte in Anlehnung an die ÖNORM B 3343 [12] wie bereits in Kapitel 2.5.6 dargestellt.

Bei der Bestimmung der Haftzugfestigkeiten in Abhängigkeit der Zyklenanzahl wurden folgende Bruchbilder (Abbildungen 17 bis 25) beobachtet.



**Abbildung 17:** Fraktur 2. Zyklus



**Abbildung 18:** Fraktur 4. Zyklus

Nach dem zweiten und vierten Zyklus zeigte sich keine Veränderung des Bruchbildes gegenüber den Bruchbildern ohne zyklische Beanspruchung (Abbildungen 14 und 15). Anzumerken ist, dass bei diesen beiden Haftzugfestigkeitsprüfungen noch Restfeuchtigkeit in der Probe vorhanden war.



**Abbildung 19:** Fraktur 6. Zyklus



**Abbildung 20:** Fraktur 10. Zyklus



**Abbildung 21:** Fraktur 12. Zyklus

Nach dem sechsten, zehnten und zwölften Zyklus zeigte sich keine Veränderung des Bruchbildes gegenüber den Bruchbildern ohne zyklische Beanspruchung (Abbildungen 14 und 15).

Bei diesen Versuchen beinhalteten die Proben keine Restfeuchte mehr und die Haftzugfestigkeit war bereits deutlich angestiegen.



**Abbildung 22:** Fraktur 14. Zyklus

In Abbildung 23 erfolgte der Bruch eher auf der Putzseite als in der Grenzschrift. Es verblieben relativ große Mengen an Mörtel in den Faserzwischenräumen.



**Abbildung 23:** Fraktur 16. Zyklus

Das Bruchbild des 16. Zykluses zeigt wieder eine Fraktur im Bereich der Grenzschrift.



**Abbildung 24:** Fraktur 18. Zyklus



**Abbildung 25:** Fraktur 20. Zyklus

Bei den letzten beiden Zyklen wurde beobachtet, dass der Bruch wieder im Bereich der Putzschicht eintrat.

Zusätzlich wurden Haftzugfestigkeitsprüfungen an zwei durchfeuchtete Platten durchgeführt (Tabelle 9). Die Vorgehensweise ist in Kapitel 4.6 beschrieben.

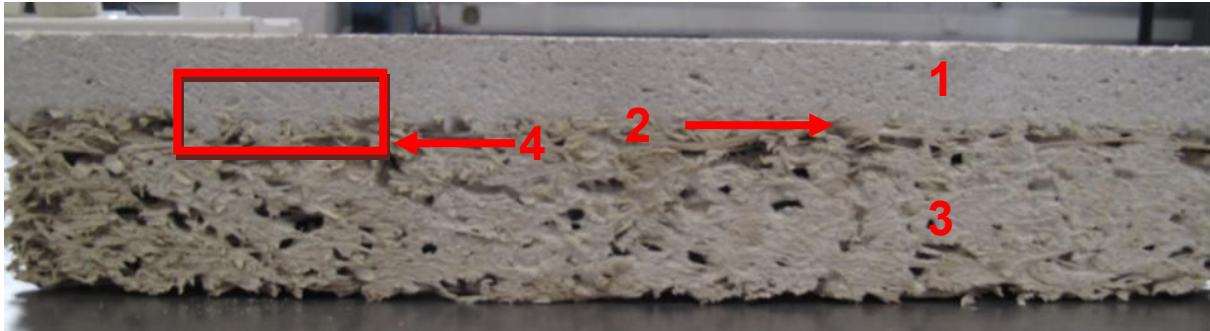
**Tabelle 9:** Haftzugfestigkeit der durchfeuchteten Platten

Platte	Plattenzustand	HZF Pos. 3	HZF Pos. 4	HZF Pos. 5	HZF Pos. 6	MW der HZF
3	Feucht, ohne zyklische Vorbelastung	0,11	0,10	0,10	0,11	0,105
12	Feucht, mit 10 Zyklen vorbelastet	0,21	0,21	0,15	0,19	0,19

## 5.2 Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchung

Die lichtmikroskopische Untersuchung erfolgte an Anschliffen über einer Probenquerschnittsfläche mit einem Auflichtmikroskop (Abbildung 26). Des Weiteren wurde eine energiedispersive Röntgenanalyse auf dem Rasterelektronenmikroskop durchgeführt, um Gips im Bereich der Grenzschicht nachzuweisen.

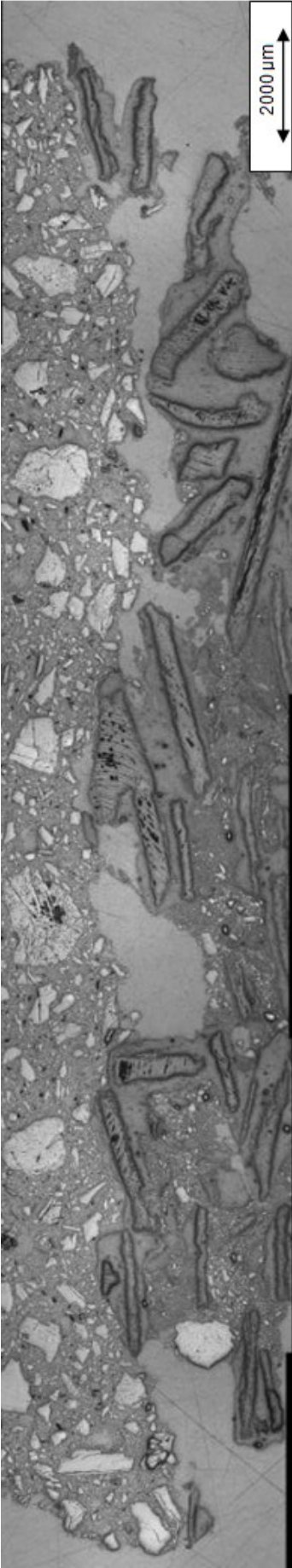
Die nachstehende Abbildung 26 zeigt die verputzte HWL-Platte im Aufriss. Der rote Rahmen markiert dabei den Bereich für die Schliffherstellung.



**Abbildung 26:** Aufriss der verputzten HWL-Platte

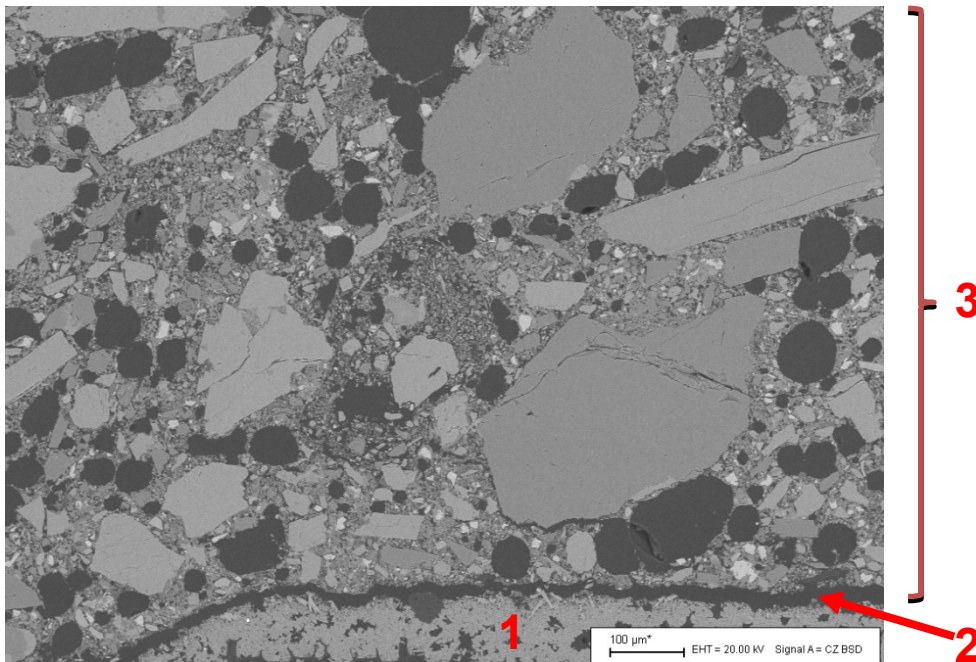
- 1 Putzschicht
- 2 Grenzschicht
- 3 HWL-Platte
- 4 Bereich für die Schliffherstellung

Um ein Referenzbild der Grenzschicht zu bekommen, wurde zuerst eine unbehandelte Platte untersucht. Abbildung 27 zeigt eine mikroskopische Aufnahme der Grenzschicht ohne zyklische Beanspruchung. Die Abbildungen 29 und 32 zeigen die Grenzschicht der HWL-Platte nach dem 10. und 20. Zyklus.



**Abbildung 27:** Lichtmikroskopische Darstellung der Grenzschnitt ohne zyklische Beanspruchung

Abbildung 28 zeigt ein rasterelektronenmikroskopisches Bild der Grenzschicht ohne zyklische Beanspruchung.



**Abbildung 28:** Grenzschicht einer verputzten HWL-Platte ohne zyklische Beanspruchung  
 1 Gipskristalle (Spektrum 1)  
 2 Grenzschicht  
 3 Putz

Mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie konnte man anhand der Analyse der Elemente die Gipsphasen identifizieren. Hier stellte sich heraus, dass die Probe ohne zyklische Beanspruchung Gipsphasen nur im Bereich der Holzwolle aufweist. Tabelle 10 zeigt die Analyse der Elemente in Atom% in diesem Bereich (1).

**Tabelle 10:** REM Analyse der Elemente in Atom%

Spektrum	S	Ca	O
1	16,65	16,70	66,55

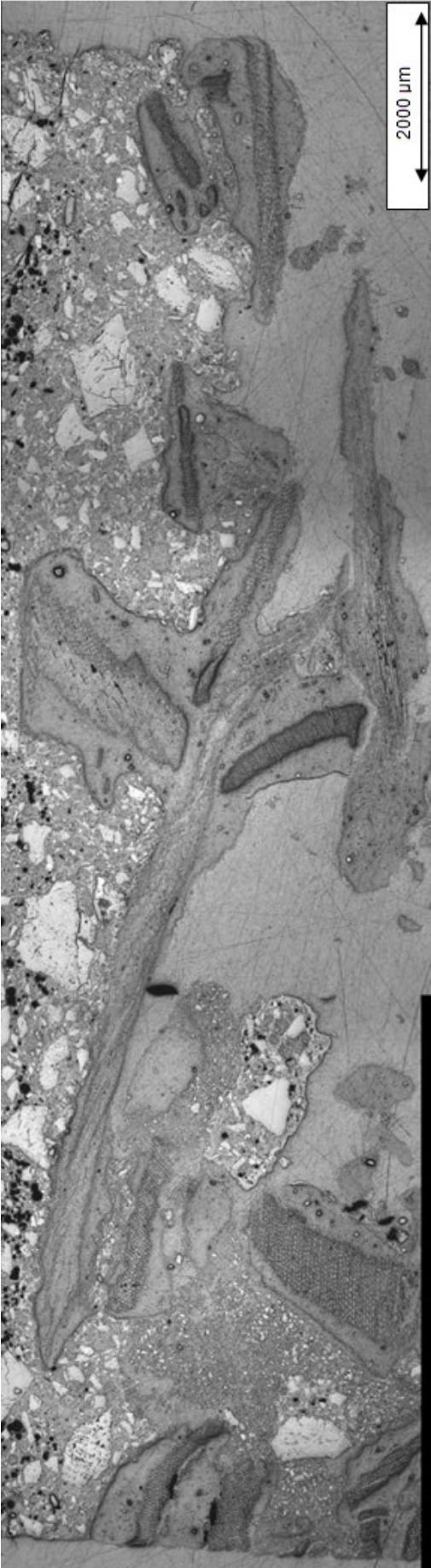
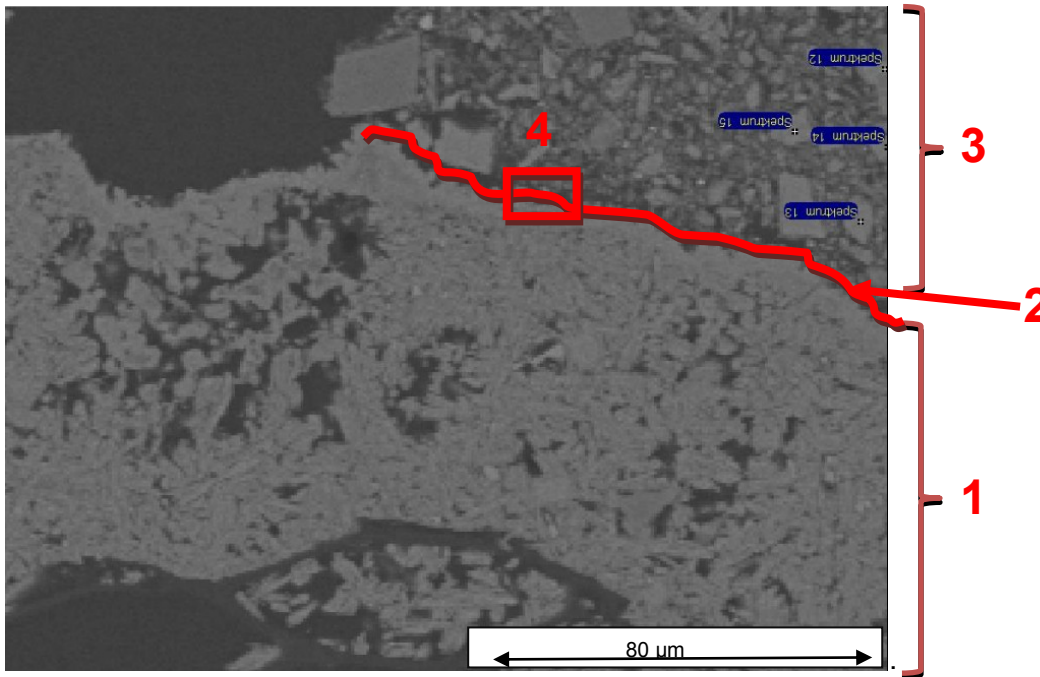


Abbildung 29: Lichtmikroskopische Darstellung der Grenzschicht 10. Zyklus

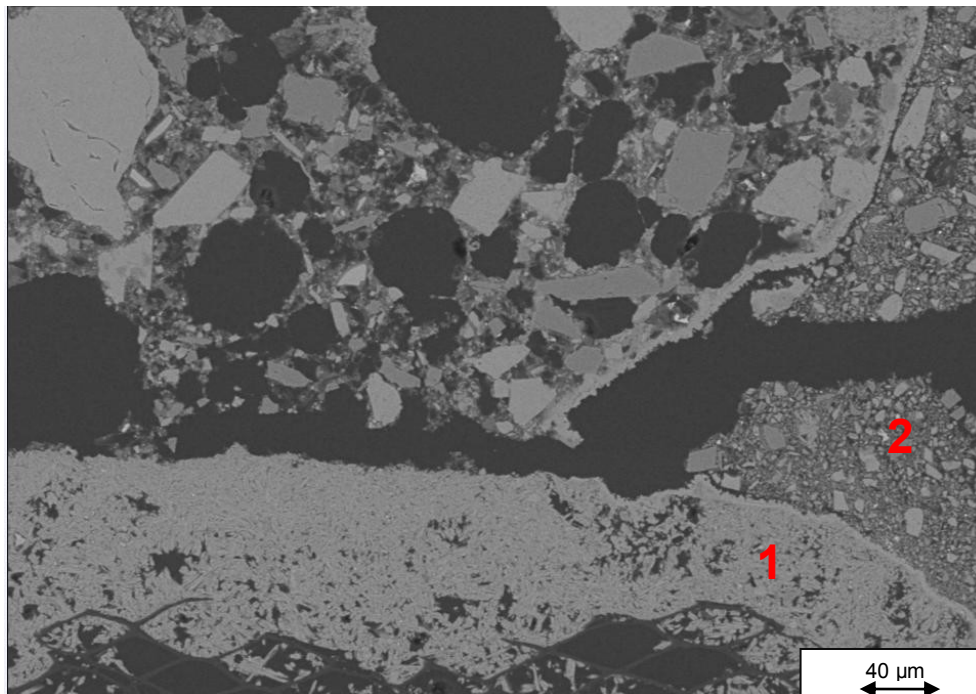


Abbildungen 30 und 31 zeigen die Grenzschicht nach dem 10. Zyklus. In der Detailaufnahme in Abbildung 31 ist zu erkennen, dass sich Gipsphasen in den Hohlräumen der Putzschicht abgelagert haben. Dieser Effekt trägt vermutlich zur Erhöhung der Haftzugfestigkeit bei.



**Abbildung 30:** Grenzschicht einer verputzten HWL-Platte nach 10 Zyklen

- 1 Gipskristallschicht
- 2 Grenzschicht
- 3 Putzschicht
- 4 Detailausschnitt für Abbildung 27



**Abbildung 31:** Detailaufnahme der Grenzschicht 10. Zyklus

- 1 Gipskristallschicht
- 2 Putzschicht mit eingelagerten Gipsphasen

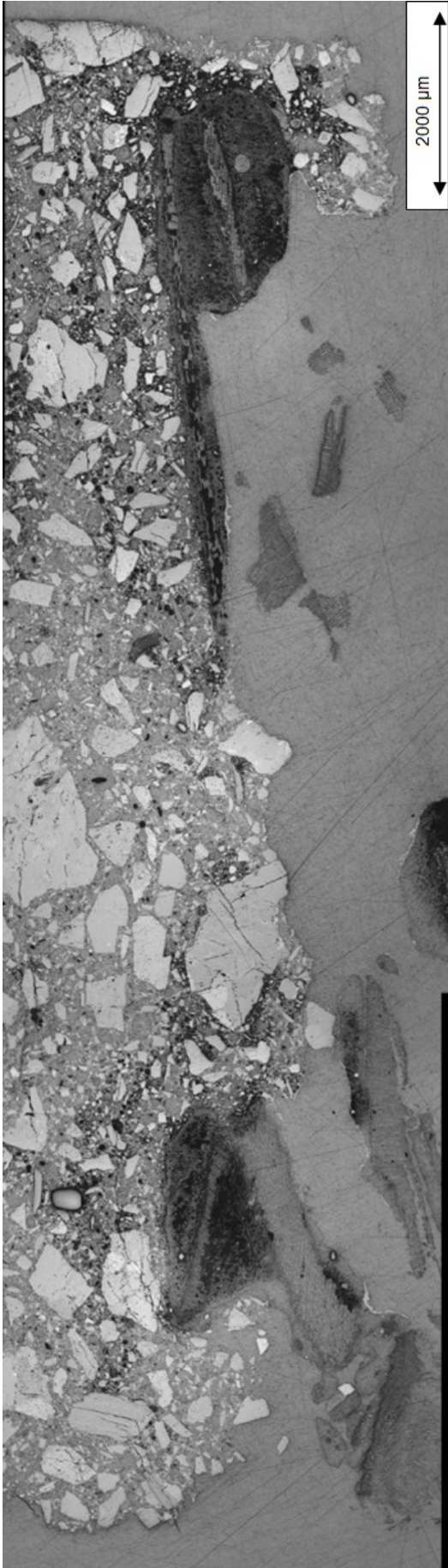
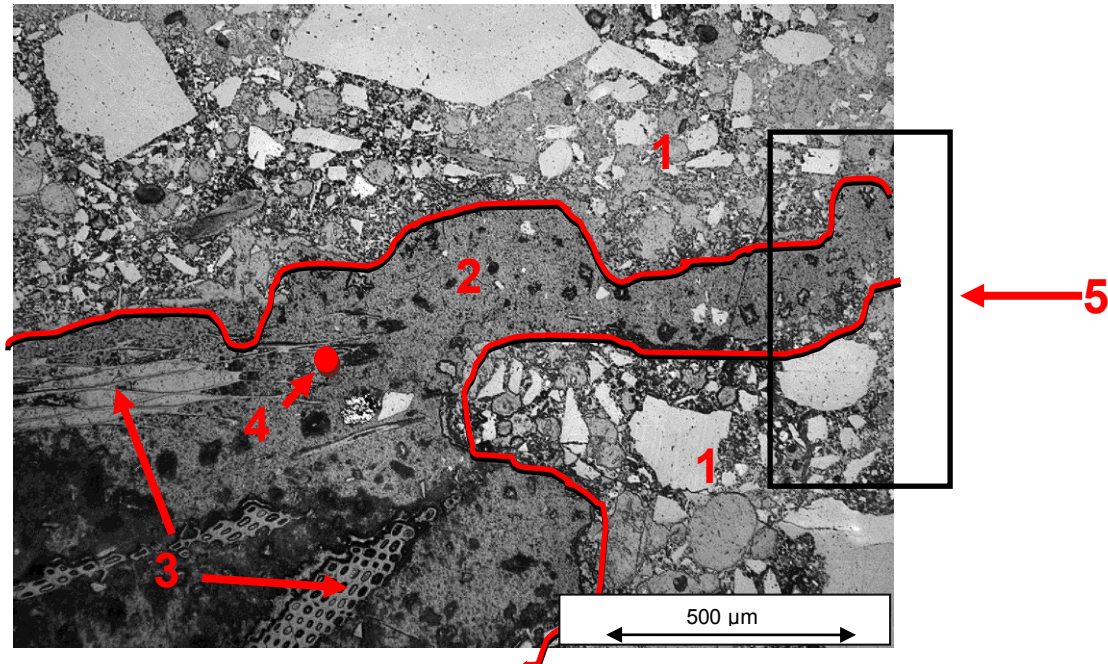


Abbildung 32: Lichtmikroskopische Darstellung der Grenzschicht 20. Zyklus

Abbildung 33 zeigt eine mikroskopische Aufnahme nach dem 20. Zyklus. Hier ist bereits deutlich erkennbar, dass der Gips sehr tief in die Putzschicht transportiert worden ist.. Der Bereich 2 zeigt die Gipsphasen, welche in den Hohlräumen des Putzes diffundiert sind.



**Abbildung 33:** Mikroskopische Aufnahme nach dem 20. Zyklus

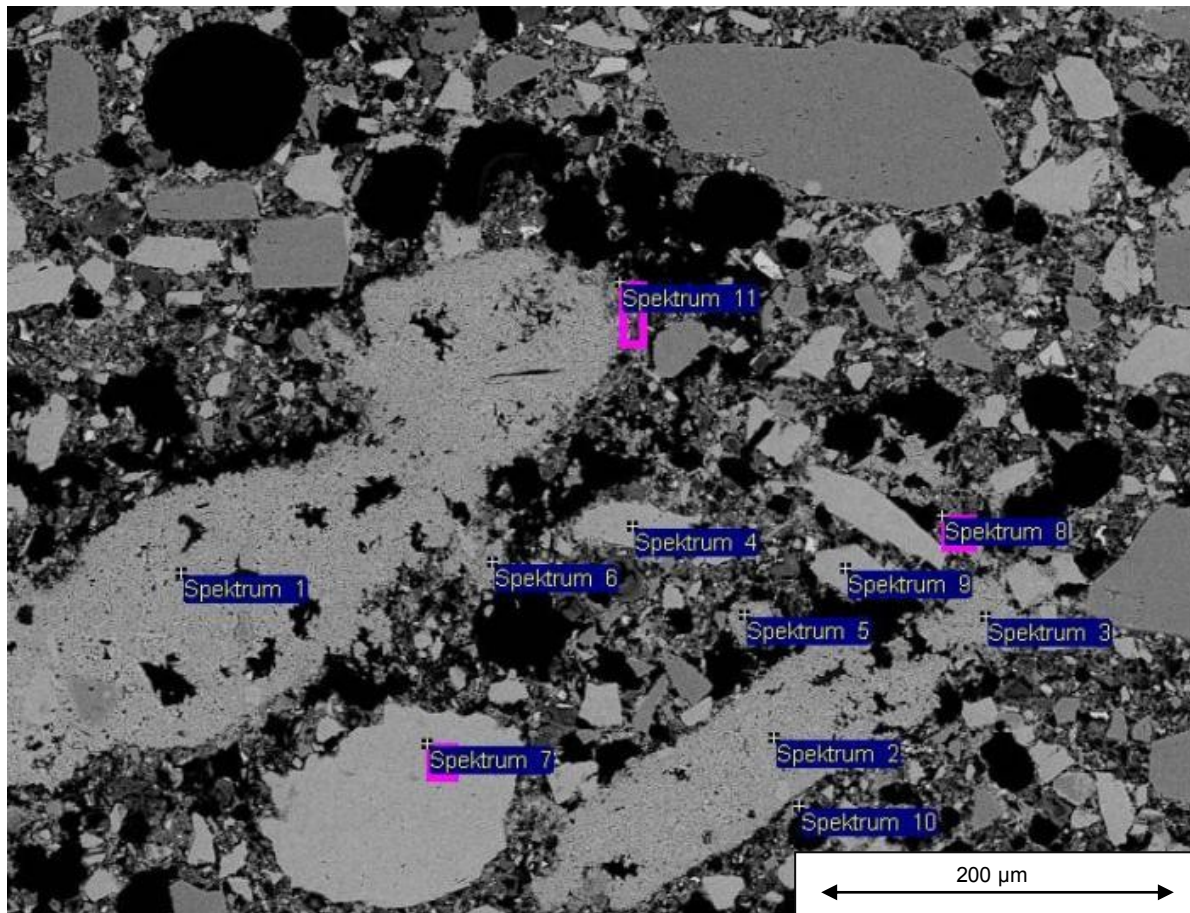
- 1 Putz
- 2 Gips
- 3 Holzfasern
- 4 Messpunkt Spektrum 1 (Gips)
- 5 Detailausschnitt für Abbildung 30

Tabelle 11 zeigt die Analyse der Rasterelektronenmikroskopie von Spektrum 1 (Abbildung 33 (4)). Hierbei handelt es sich um Gipsphasen.

**Tabelle 11:** REM Analyse der Elemente in Atom%

Spektrum	S	Ca	O
1	16,81	16,38	66,81

Die nachstehende REM-Analyse (Abbildung 34) nach dem 20. Zyklus zeigt die Phasenvergesellschaftung im Bereich der Grenzschicht. Die Analyse der einzelnen Messpunkte ist in Tabelle 12 ersichtlich.



**Abbildung 34:** REM-Aufnahme Detailausschnitt (letzter Zyklus)

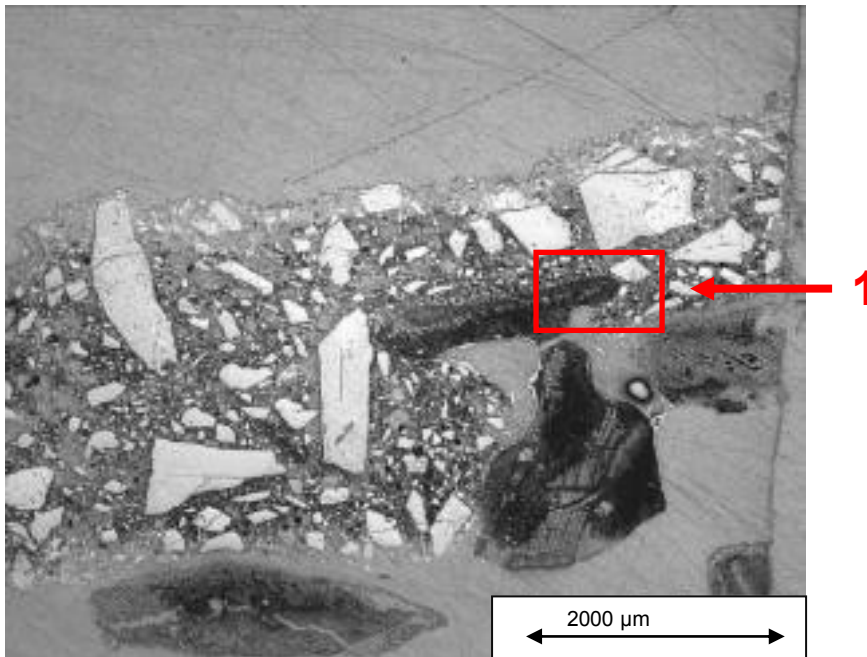
**Tabelle 12:** Spektrenanalyse in Atom% ( Abbildung 34)

Spektrum	O	Na	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	Phase
1	66.57					17.05	16.39		Gips
2	69.91					15.18	14.91		Gips
3	65.72					16.96	17.32		Gips
4	76.15		0.53				23.32		Kalk
5	69.27					15.24	15.49		Gips
6	67.37					16.06	16.57		Gips
7	76.60		0.88				22.38	0.14	Kalk
8	77.01		2.27	1.21	4.54	1.27	13.45	0.25	Mischanalyse
9	75.82		1.34				22.84		Kalk
10	72.50	0.59	0.63	2.21	6.40	0.56	17.11		---
11	77.50		1.70	1.25	4.81	1.23	13.26	0.25	Mischanalyse

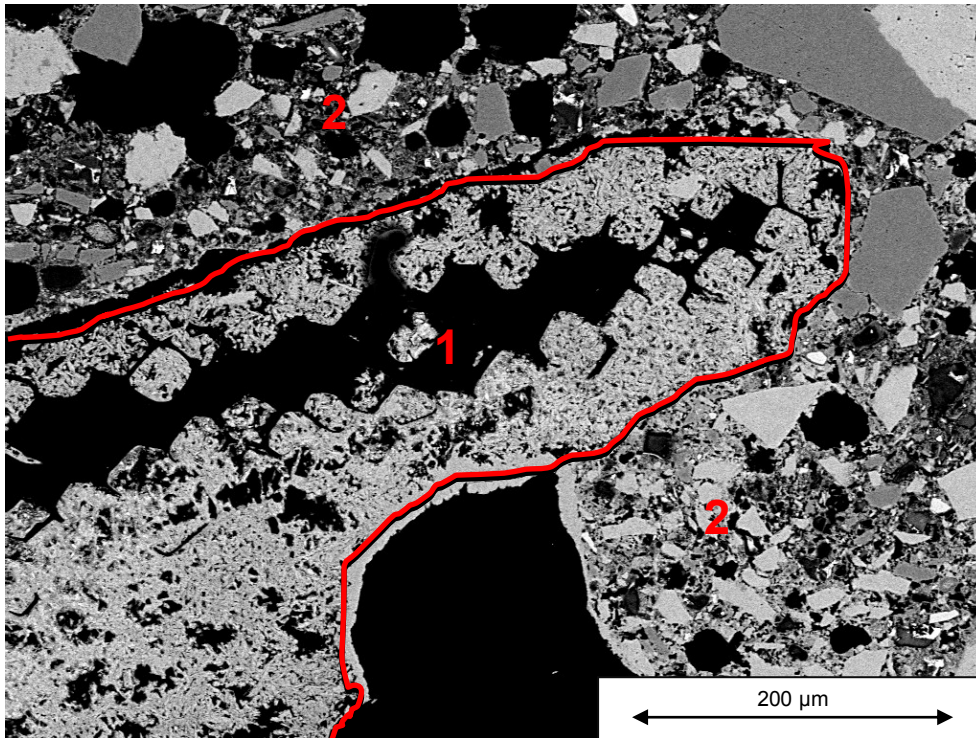
Aufgrund der Tatsache, dass bei steigender Zyklanzahl nach der Haftzugfestigkeitsprüfung immer größere Mengen an Mörtel in der Grenzschicht verblieben (Abbildung 35), wurde in diesem Bereich eine Untersuchung mittels Auflichtmikroskop und Rasterelektronenmikroskop durchgeführt (Abbildungen 36 und 37). Die Schliffentnahme erfolgte gemäß Abbildung 26.



**Abbildung 35:** Aufnahme nach dem 18. Zyklus  
1 Mörtel, welcher auf der Grenzschicht verblieben ist



**Abbildung 36:** Aufnahme der Grenzschicht nach HZV  
1 Bereich der Rasterelektronenmikroskopie (Abbildung 34)



**Abbildung 37:** REM-Aufnahme nach HZV  
1 Gips inkl. Holzfasern  
2 Kalk-Zement-Putz

Die Fläche 1 (innerhalb der rot markierten Linie) zeigt den Bereich, wo sich Gipskristalle und Holzfasern befinden. Der Bereich 2 zeigt den restlichen Mörtel, der in der Grenzschicht verblieben ist. Aufgrund der Tatsache, dass sich auch Holzfasern im Bereich 1 befinden, welche während der zyklischen Beanspruchung nicht transportiert werden, wird vermutet, dass sich der Mörtel bei den Verputzarbeiten in den Poren der HWL-Platte eingliedert hat.

## **6 Zusammenfassung der entwickelten Methode**

### **6.1 Probenvorbereitung**

- Herstellung der verputzten HWL-Platten (Kapitel 4.1.2)
- Lagerungsdauer von 28 Tagen bei Raumbedingungen
- Haftzugfestigkeitsprüfung von jeweils zwei Positionen, um einen Referenzwert zu ermitteln (Kapitel 4.7)
- Zuschnitt der verputzten HWL-Platten (Abbildung 4)
- Einpassen der zugeschnittenen HWL-Platten in die Rahmenkonstruktion (3 mm Spiel)
- Abdichten der Ringspalte und Kontaktflächen

### **6.2 Versuchsdurchführung der zyklischen Beanspruchung**

- Aufgabe von 500g Wasser über die rückseitigen Bohrungen
- Einstündige Lagerung mit der verputzten Seite nach unten
- Entleerung des Restwassers
- Bohrungen mit Gummistopfen verschließen
- Zehntägige Trocknung im Trockenschrank bei 40°C

### **6.3 Haftzugfestigkeitsprüfung**

Die Haftzugfestigkeitsprüfung wurde nach jedem zweiten Zyklus durchgeführt.

- Aufkleben der Metallzylinder auf der verputzten Seite (Abbildung 10)
- Beschwerung der aufgeklebten Metallzylinder mit einem Gewicht von 1 kg
- Aushärten des Klebers für 24 Stunden
- Durchführung der Haftzugfestigkeitsprüfung (Abbildung 12)
- Auswertung

## 7 Schlussfolgerungen

### 7.1 Entwickelte Methode

Der anhand von Laborversuchen getestete Versuchsaufbau stellte sich als eine geeignete Methode zur Prüfung zyklischer Feuchte- und Trocknungsbeanspruchung heraus. Durch dieses entwickelte Verfahren konnte gewährleistet werden, dass die Trocknung der feuchten HWL-Platte ausschließlich über die verputzte Seite erfolgt. Dies wurde durch eine abgedichtete Rahmenkonstruktion sichergestellt.

Beim Entfernen der verputzten HWL-Platte nach der zyklischen Beanspruchung wurde bemerkt, dass die Stahlrahmenkonstruktion sehr stark oxidiert war (Abbildung 38). Für diese Versuchsdurchführung wäre ein oxidationsgeschützter Rahmen besser geeignet.



**Abbildung 38:** Rahmenkonstruktion nach zyklischer Beanspruchung

Des Weiteren stellte sich heraus, dass die eingepasste HWL-Platte durch die zyklische Feuchte- und Trocknungsbeanspruchung eine Volumszunahme aufwies. Aus diesem Grund sollte die HWL-Platte so eingepasst werden, dass sie ein Spiel von 3 mm aufweist.



## **7.2 Gipsgebundene HWL-Platten**

Die Untersuchung der gipsgebundenen HWL-Platten zeigt, dass nach der zyklischen Feuchte- und Trocknungsbeanspruchung die Haftzugfestigkeit angestiegen ist (Abbildung 16). Der Einfluss der zeitabhängigen Festigkeitssteigerung ist durch Laborversuche ausgeschlossen worden (Kapitel 4.5).

Die Erhöhung der Haftzugfestigkeit nach der zyklischen Beanspruchung ist offensichtlich durch die Nachreifung der Mörtelbindung im Putz zu begründen.

Die mikroskopischen Untersuchungen lassen keinen Verlust des ursprünglichen Verbundes Putz/Platte durch die zyklische Beanspruchung zu erkennen. Zusätzlich wurde beobachtet, dass in der Grenzschicht Gips in den Poren des Putzes transportiert worden ist (Abbildung 33). Dies könnte auch positiv auf die Verbundwirkung Putz/Platte beigetragen haben.

Die Vermutung, dass sich Gipskristalle in der Grenzschicht in so einem Ausmaß bilden, dass die Haftzugfestigkeit vermindert wird bzw. dass dies zu einer Abplatzung des Putzes führt, konnte anhand der Laborversuche nicht beobachtet werden.

## **7.3 Werte der Haftzugfestigkeit**

Anhand der mit der Literatur verglichenen Werte der Haftzugfestigkeit von Putzen auf Holzwoleleichtbauplatten stellte sich heraus, dass die HZF von gipsgebundenen HWL-Platten und einem Kalk-Zement-Putz (Röfix 610) höher sind.

## **7.4 Einfluss erhöhter Feuchte**

Die Haftzugfestigkeitsprüfungen von durchfeuchteten Platten haben gezeigt, dass die ursprüngliche Verbundfestigkeit nicht unterschritten wurde.

## 8 Literatur

- [1] Knauf Insulation, „Umwelt- Produktdeklaration nach ISO 14025“, [http://www.knaufinsulation.com/sites/corporate.knaufinsulation.net/files/EPD\\_Heraklit\\_h\\_EPS\\_KNI\\_2012611\\_D.pdf](http://www.knaufinsulation.com/sites/corporate.knaufinsulation.net/files/EPD_Heraklit_h_EPS_KNI_2012611_D.pdf), Mai 2015
- [2] Knauf Insulation, „Tektalan A2-E-21Dickputz-Fassadendämmsystem“, [http://www.knaufinsulation.at/sites/at.knaufinsulation.net/files/Broschuere\\_Tektalan-A2-E-21\\_10-2010\\_A\\_web.pdf](http://www.knaufinsulation.at/sites/at.knaufinsulation.net/files/Broschuere_Tektalan-A2-E-21_10-2010_A_web.pdf), Mai 2015
- [3] H. Ross, F.Stahl, „Praxis-Handbuch Putz“, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 1997
- [4] T. Dettmering, H. Kollmann, „Putze in Bausanierung und Denkmalpflege“, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2001
- [5] ÖNORM B 6021, „Dämmstoffe für den Wärme- und/oder Schallschutz im Hochbau; Holzwolle-Dämmplatten WW und Holzwolle-Mehrschicht-Dämmplatten“, 1991
- [6] R. Wendehorst, „Baustoffkunde“, Vincentz Verlag, Hannover 1998
- [7] BAUNETZ WISSEN, Mauerwerk, [www.baunetzwissen.at](http://www.baunetzwissen.at)
- [8] Österreichische Arbeitsgemeinschaft Putz, „Verarbeitungsrichtlinien für Werkputzmörtel (Var. VI)“, 6. Auflage, Innsbruck 2012
- [9] Fachverband österreichischer Ziegelwerke, [www.ziegel.at](http://www.ziegel.at)
- [10] H.-J. Imschler, P. Schuber, „Mauerwerkkalender“, Ernst & Sohn Verlage, Berlin 2000
- [11] W. Riedel, H. Oberhaus, F. Frössel, W. Haegele, „Wärmedämmverbundsysteme“, Fraunhofer IRB Verlag, 2010
- [12] ÖNORM B 3343, „Mauer und Putzmörtel; Prüfverfahren für die Eigen- und Fremdüberwachung“, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Februar 1997
- [13] A. Kirschner, „Untersuchung zur Entstehung und Vermeidung von Schadensfällen an Außen- und Innenputzen“, Dissertation, Montanuniversität Leoben, 2003
- [14] S. Schrempf, „Untersuchung zur Haftung von Maschinenputzen auf Holzwolleleichtbauplatten“, Diplomarbeit, Montanuniversität Leoben, 1997