

Hochschule der Künste Bern
Studiengang: Konservierung BA
Vertiefungsrichtung: Architektur und Ausstattung
Modulgruppe: Bachelor

Modul BDKGT04 - **Final Term Paper II**

Auswahl eines Rezeptes für einen Leichtzuschlags-Mörtel zur Gewichtsreduktion der neuen Mörtelträger der Bildfelder vom Wandalphabet im Schulhaus Wylergut

Vor- und Nachname:	Daria Jermann
Bachelorstudiengang:	Konservierung, 6. Semester
Betreuende Referentin:	Dipl.-Rest. Christel Meyer-Wilmes Dozentin in der Vertiefung Architektur und Ausstattung
Datum der Abgabe:	26.06.2023
Zeichenzahl:	21'431

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	2
2	Abstract	3
3	Grundlagen.....	3
4	Wandalphabet im Schulhaus Wylergut	5
5	Leichtzuschlagsmörtel (LZ-Mörtel)	6
5.1	Anforderungsprofil.....	8
5.2	Auswahl des Mörtelrezeptes.....	9
6	Anwendung am Dummy.....	11
6.1	Ergebnisdiskussion- Angleichen der Rezeptur.....	12
6.2	Auswertung der Anwendung am	13
7	Praktische Umsetzung am Bildfeld P.....	14
7.1	Ergebnisdiskussion am Original.....	15
8	Fazit und Ausblick	16
9	Verzeichnisse.....	18
9.1	Literatur- und Quellenverzeichnis	18
9.2	Abbildungsverzeichnis	19
9.3	Abbildungsnachweis	20
9.4	Materialverzeichnis	20
10	Anhang	22

2 Abstract

Der Inhalt des Final Term Paper II umfasst die Grundlagen zur Geschichte des Wandalphabets im Schulhaus Wylergut in Bern, dessen (Teil-)Abnahme und der damit verbundenen Umsetzung des Trägers, des Rahmens und der Hängung, welche als Konzept im Final Term Paper I (FTP I) von Jermann (2023) erarbeitet wurde. Das Thema dieses Papers ist die Reduktion des Gewichtes des neuen Trägers der Bildfelder, welches gemäss den Anforderungen des Bernischen Historischen Museum (BHM) im Gegensatz zum Normalzuschlagsmörtel (NZ-Mörtel) des Konzeptes aus dem FTP I angepasst werden sollte.

Durch eine Kurzrecherche wird ein Leichtzuschlagsmörtel ausgewählt, welcher die gestellten material-technologischen Anforderungen erfüllt. Dieser wurde an einem Dummy getestet und anschliessend auf dem originalen Bildfeld P angewandt.

3 Grundlagen

Das Wandbild im Schulhaus Wylergut war aufgrund der stereotypisierten Menschen aus Afrika, Asien und Amerika in den letzten zwei Jahren Gegenstand von weitreichenden politischen Diskussionen. Im Rahmen eines Wettbewerbs der Kommission KiÖR (Kunst im öffentlichen Raum) setzte sich das Projekt "Das Wandbild muss weg" durch, welches die Abnahme des Wandbildes befürwortet.

Die Abnahme im Stacco-Verfahren zweier Testbildfelder, Bildfeld P und U, geschah im Rahmen der Masterthesis von Ledergerber im Sommer 2021. Während beim Bildfeld U die Malschichtseite unbeschädigt blieb und schon auf einen neuen Träger übertragen wurde, führte beim Bildfeld P ein laxes Sägeband zur Durchtrennung der Malschicht und des Putzes, wodurch dieses nun in zwei Fragmenten vorliegt.

Im FTP I von Jermann (2023) wurde für das abgenommene Bildfeld P ein Rahmen- und Hängesystem ausgearbeitet, welches sich den Anforderungen der neuen Eigentümerin (BHM) stellt, die restauratorisch-konservatorische Anforderungskriterien erfüllt und das Vorkonzept der Masterthesis von Ledergerber (2022) übernimmt. Das FTP I ist somit dem FTP II vorausgestellt und wird auf dessen Ergebnissen aufbauen.

«Der Rahmen besteht aus einem Konstrukt aus Aluminium-Winkelprofilen, Flachstangen und Eckplatten, sowie einem Streckmetallgitter als mittiges Verbindungsstück. Beim Auftrag eines neuen Trägers, welcher im Falle von Ledergerber ein mineralisches Mörtel-Sandwichsystem ist, wird die Streckmetallplatte in die Intervention-Mörtelschicht mit eingelassen.

Die Doppelnutzung durch die Fusion mit dem Rahmensystem ist nicht nur kompatibel mit Ledergerbers Konzept des Mörtelträgers, weist eine höhere Stabilität auf und hat eine

Verankerung des Rahmens mit dem Objekt, sondern dient innerhalb der Interventionlayer (Mörtelschicht) auch direkt als Sollbruchstelle für zukünftige restauratorische Eingriffe. An den verwendeten Eckplatten des Alurahmen wird die Wandmalerei aufgehängt, wobei der Rahmen Teil des Objektes ist und für die Stabilität und Ästhetik sorgt, und dabei gleichzeitig als Hängevorrichtung dient.» ((FTP I) Jermann, 2023, S. 3)

Im März 2023 wurde bei der Vorstellungsrunde des Konzeptes der zukünftigen Träger mit der Delegation des BHM's entschieden, dieses übernehmen, aber den Fokus auf die Reduktion des Gewichts des Normalzuschlags-Mörtel (NZ-Mörtel) zu legen. Das Gewicht sollte grösstmöglich reduziert und gleichzeitig die Funktion des Mörtels kleinstmöglich beeinträchtigt werden.

4 Wandalphabet im Schulhaus Wylergut

Die Wandmalerei «Wandalphabet» von den Künstlern Eugen Jordi (1894-1983) und Emil Zbinden (1908- 1991) befindet sich im westlichen Trakt der Schulanlage in der Grosssiedlung Wylergut im Bezirk Lorraine der Stadt Bern.

Das Wandbild besteht aus 24 quadratischen Feldern (je ca. 60 x 60 cm) und erstreckt sich asymmetrisch über zwei Stockwerke (360 x 420 cm, ca. 8.60m²). Abgebildet ist ein lateinisches Alphabet, mit Ausnahme des Buchstabens J, welches mit den gross geschriebenen Anfangsbuchstaben jeweils entweder einen Gegenstand, eine Landschaft, ein Tier oder einen stereotypisierten Menschen darstellt. Bei den Motiven handelt es sich um 15 Abbildungen von Tieren, zwei von Pflanzen, eine Landschaft, ein Schiff und drei



Abb. 1 Gesamtansicht des Wandbildes «Wandalphabet» von Emil Zbinden und Eugen Jordi (1949).

stereotypisierten Menschen aus Afrika, Asien und Amerika. Das X und das Y sind in einem Bildfeld zusammengefasst.

Die Buchstabenfelder mit den stereotypisierten Menschen sind schwarz übermalt, jedoch sind die darunterliegenden Malereien resp. vor allem die Vorritzungen der Künstler noch leicht zu erkennen (Ledergerber, 2022, S. 15 ff).

5 Leichtzuschlagsmörtel (LZ-Mörtel)

Die Gewichtsreduktion des Normalzuschlag-Mörtels (NZ-Mörtel) wurde als weiterführende Massnahmen beim Konzept der neuen Träger für die Bildfelder eingeführt. Die Möglichkeit einen Mörtel leichter zu machen liegt darin, anstatt normalem Sand Leichtzuschläge zu verwenden.

Leichtzuschläge (LZ) sind porenreiche Aggregate, welche als Zuschläge in Baustoffen Verwendung finden und vorwiegend zur Reduktion des Gewichtes (tiefere Schüttdichte) oder zur Verbesserung der Wärmedämmung eingesetzt werden. Zudem bewirken Leichtzuschläge in Mörteln durch die Offenporigkeit eine verbesserte Wasserdampfdiffusion, bessere Wärmedämmeigenschaften und bessere Frost- und Salzbeständigkeit. (Zalenska et al., 2021)

Normalgewichtsaggregat (Sand) hat eine Schüttdichte von ca. 1500 kg/m^3 ¹, die unten vorgestellten Leichtzuschläge variieren zwischen $50\text{-}800 \text{ kg/m}^3$.

Leichtgewichtsmörtel werden direkt von den Charakteristiken des Leichtaggregates beeinflusst:

- **Form und Grösse der Aggregate:** beeinflusst vor allem wie viel Wasser für den Mörtel gebraucht wird und damit die Verarbeitbarkeit des Mörtels. Zudem könnte mit zunehmender Grösse des Aggregats eine Reduktion in Dichte, Steifheit und Stärke der Körner erfolgen.
- **kleine Schüttdichte:** die kleine Dichte des LZ-Mörtels ist die wichtigste Eigenschaft
- **Wasserabsorption:** durch die Porengrösse ist die Wasseraufnahme oftmals grösser als normal. Es beeinflusst die Verarbeitung des Mörtels, aber auch die Härte am Schluss. Je kleiner die Wasserabsorptionskapazität, desto leichter und härter wird die finale Mischung.
- **Kompressionsstärke:** je höher die Dichte, desto resistenter ist das Aggregat. Bei LZ-Mörtel hängt die Stärke weniger vom Bindemittel und mehr von der Stärke resp. Kohäsion im Leichtzuschlagskorn ab. (Sala et al, 2016, S. 83)

¹ Sala et al., 2016, S. 83

Leichtzuschläge werden *mineralisch*, *künstlich* und *natürlich* aufgeteilt:

- Mineralisch: geblähtes Vermiculit, Blähperlit, Blähglas, Blähton, Tonschiefer, Zeolithe, Kieselgur
- Künstlich: geschäumtes Polystyrol
- Natürlich: Korkgranulat, Holzspäne

Eine Vorauswahl an verschiedenen Leichtaggregate wurde nach dem Konsultieren der Literatur getroffen:

Leichtzuschlag	Herkunft	Korngrösse	Schüttdichte
Bimsstein	natürlich	Verschiedene KG erhältlich	700 kg/m ³²
<i>Herstellung:</i> Mineralien natürlichen Ursprungs, wobei das Lava bei einem Vulkanausbruch durch Wasserdampf und Kohlenstoff aus der Atmosphäre geschäumt wird. ³			
Blähton (expanded clay)	Industriell hergestellt aus natürlichem Material	Verschiedene KG erhältlich	300-800 kg/m ³⁴
<i>Herstellung:</i> Ton oder Schiefer werden fein gemahlen und anschliessend in Drehöfen bei hoher Hitze gebläht. ⁵			
Blähglas (expanded glass)	Recycled	(Poraver®) 0,04-0,125mm/ 0,1- 0,3mm/ 0,25-0,5 mm/ 0,5-1mm/ 1- 2mm/ 2-4mm	(Poraver®) zwischen 190 kg/m ³ (2-4mm) bis 530 kg/m ³ (0,04- 0,125mm) ⁶
<i>Herstellung (Hersteller Poraver®):</i> Altglasscherben werden fein gemahlen, granuliert, mit Binde- und Blähmittel versetzt und im Drehofen bei 800- 900° gebläht. ⁷			
Korkgranulat	Natürlich	Verschiedene KG erhältlich	180-250 kg/m ³⁸

² <https://www.mollet.de/info/schuettdichte-und-schuettgewicht.html>

³ Grimm, R. (2018)

⁴ <https://www.mollet.de/info/schuettdichte-und-schuettgewicht.html>

⁵ Grimm, R. (2018)

⁶ <https://poraver.com/poraver/>

⁷ <https://poraver.com/poraver/>

⁸ <https://www.mollet.de/info/schuettdichte-und-schuettgewicht.html>

Herstellung: Gewinnung aus der Rinde der Korkeiche.			
Blähperlit	Industriell hergestellt aus natürlichem Material (vulkanisches Glas (Obsidian))	Korngrösse	50-150 kg/m ³⁹
Herstellung: Das Vulkangestein Perlit wird durch Glühen gebläht. ¹⁰			
Blähvermiculit (expanded vermiculit)	Industriell hergestellt aus natürlichem Material (Schichtsilikat)	Korngrösse	100 kg/m ³¹¹
Herstellung: Gleicht der Herstellung von Blähperlit.			

5.1 Anforderungsprofil

Material-technologische Anforderungen an den Mörtel.

- **Kalkmörtel**
chemische und mechanische Ähnlichkeit zum originalen Mörtel.
- **Mineralische oder natürliche Zuschläge**
Diese entsprechen der konservatorischen Anforderungen einer guten Alterungsbeständigkeit und sind chemisch und material-technologisch ähnlicher am originalen Mörtel.
- **Reduktion des Gewichtes**
Dies unter möglichst geringstem Verlust der Druckfestigkeit des Mörtels.
- **Hohe Druck- und Biegefestigkeit**
Da die Verankerung des Streckmetalls mit integriertem Rahmen im Mörtel vorgenommen wird, ist sie von grosser Bedeutung. Eine höhere Druckfestigkeit sollte allfällige Belastungen beim Handling risikoarmer für das Objekt machen
- **Korngrösse $\leq 4\text{mm}$**
Der Mörtel muss beim Auftrag die Öffnungen des Streckmetalls gut passieren können.

⁹ <https://www.mollet.de/info/schuettdichte-und-schuettdgewicht.html>

¹⁰ Grimm, R. (2018)

¹¹ Sala et al (2016)

- **Preisgünstig**

Das Budget für das Material ist limitiert.

Aufgrund des Auftrags auf die Rückseite des Originals wurden nicht auf ästhetische Anforderungen eingegangen.

5.2 Auswahl des Mörtelrezeptes

Es wurden Mörtel mit verschiedenen Leichtzuschlägen aus Studien mit Testreihen angeschaut und ein geeignetes Rezept anhand der oben genannten Anforderungen übernommen. Beim Rezept handelt es sich um den Leichtzuschlagsmörtel aus dem Paper «*Lightweight natural lime composites for rehabilitation of Cultural Heritage*» von Sala et al (2016), welcher in den Bereichen Reduktion des Gewichtes mit möglichst geringer Einbüßen der Druckfestigkeit und einer grossen material-technologischen Ähnlichkeit zum originalen Intonaco trumpfen konnte.

Das Rezept lautet wie folgt:

1	VT	NHL 5
2/3	VT	Sand (< 4 mm)
2/3	VT	Perlit 0-3 mm
2/3	VT	Blähglas 2-4 mm
0.65	VT	Wasser

Das Bindemittel-Zuschlagsverhältnis liegt somit bei 1:2.

Die Dichte des LZ-Mörtels aus dem Paper wurde nach 28 Tage auf 1150 kg/m³ gemessen, die Druckfestigkeit auf 2,1 MPa (im Vergleich hatte der NZM eine Festigkeit von 2,6 MPa). Der Elastizitätsmodul lag mit ca. 3 GPa nach 28 Tagen stark unter dem des NZM mit mehr als 6 GPa, jedoch schnitt dieser LZ-Mörtel im Vergleich zu den anderen Zuschlägen am Besten ab.¹²

Der Mörtel ist 20% weniger druckfest als Normalzuschlagsmörtel (Sand), jedoch gibt es eine Dichte-Reduktion um 40%. Durch das reduzierte Gewicht ist die Druckfestigkeit-Dichte Verhältnis aber dann wieder um 30% höher.¹³

¹² Auszügen aus den Messungen und tabellarischen Auflistungen im Vergleich zu den anderen Leichtzuschlägen im Paper lassen sich im Anhang finden.

¹³ Sala et al (2016)



Abb. 2 Blähperlit ungesiebt.



Abb. 3 Verschiedene Korngrößen von Blähglas (Poraver®).

Es wurden Testquader mit dem Mörtelrezept von Ledergerber (2022) mit Normalzuschlag und dem Leichtzuschlagsmörtel angefertigt. Ledergerbers Rezept bedient sich einem Kalkmörtel mit 1:3 Bindemittelverhältnis (Calciumhydroxid) und gewaschenem Sand. Die Gewichte waren wie folgt:

Mörtel normal: 164 g
LZ-Mörtel: 107 g

Dies ergibt eine Reduktion des Gewichtes von 35% von einem normalen Mörtel zum Leichtzuschlagsmörtel, was wiederum fast der Gewichtsreduktion von prophezeiten 40% aus der Studie entspricht.

Anforderung	Auserwähltes Rezept aus Sala et al. (2016)
Kalkmörtel	Es handelt sich um einen reinen Kalkmörtel mit einem natürlich hydraulischen Kalk (NHL) Stärke 5 als Bindemittel (hat somit einen natürlichen hydraulischen Anteil)
Mineralische oder natürliche Zuschläge	Bei den drei Zuschlägen Blähglas, Blähperlit und Sand handelt es sich um mineralische Zuschläge
Reduktion des Gewichtes	Eine Reduktion des Gewichtes von 35% wurde erreicht
Hohe Druckfestigkeit	Die Druckfestigkeit reduzierte sich zum NZM um 0,5 MPa, der Elastizitätsmodul halbierte sich. Jedoch wird durch das reduzierte Gewicht das Dichte-

	Druckfestigkeitsverhältnis erhöht, was zu einer Verbesserten Leistung des Mörtels führt
Korngrösse $\leq 4\text{mm}$	Die Korngrösse ist nicht grösser als 4 mm
preisgünstig	Die Kosten hängen stark vom Bezugsort und der Menge ab. Das Blähglas (beispielsweise von Poraver®) ist aber mehr als 5x so teuer wie Perlit, weshalb es günstiger ist, neben Blähglas auch Perlit zu verwenden.

6 Anwendung am Dummy

Die genaue Ausführung und das Konzept der Anwendung bei dem Dummy und dem Original werden ausführlich in der Semesterarbeit von Jermann (2023) beschrieben. Es wird nicht weiter auf das Konzept eingegangen, da in dieser Arbeit der LZ-Mörtel vordergründig ist.

1. Mörtelschicht (gemäss dem Konzept von Ledergerber (2022) und Jermann (2023):

Es wurde die von Ledergerber (2023) angegebene Kalkschlemme (CalXnova Kalkbindemittelmörtel mit Sand $< 1\text{mm}$) mit dem Pinsel auf das Objekt aufgetragen. Danach wurde nass-in-nass die eine weitere dünne Schicht LZ-Mörtel aufgebracht. Auf die noch nasse Schicht wurden ca. $10 \times 10\text{ cm}$ Naturfasergaze Stücke einmassiert. Nach dem Aushärten der beiden Mörtel wurden diese Gazestücke wieder abgezogen und somit gleich die Sinterschicht mitentfernt. Dies ermöglichte eine bessere Haftung der 2. Mörtelschicht.

2. Mörtelschicht:

Rezept des LZ-Mörtels für den Dummy:

1500 ml NHL 5

1000 ml Perlit $< 4\text{ mm}$

1000 ml Sand $< 0.2\text{ mm}$

1000 ml Blähglas $0.5 - 4\text{ mm}$

Etwas Hanf wurde beigemengt.

Das Bindemittel-Zuschlags-Verhältnis lag somit bei 1:2.

Blähglas der Korngrössen $0.5 - 1.25\text{ mm}$, $1.2 - 2\text{ mm}$ und $2 - 4\text{ mm}$ wurden im Verhältnis 1:1:1 zusammengemischt.

Dummygrösse: 505 x 275 mm

Fläche: 1388,75 cm²

Da die Dummy-Oberfläche ziemlich unebene war, mussten an einzelnen Orten dicke Schichten LZ-Mörtel aufgetragen werden. Danach wurde das Streckmetallgitter mit integriertem Rahmen in den Mörtel eingedrückt und mit einer abschliessenden Schicht LZ-Mörtel überdeckt (s. Abb. 4). Der Mörtel wurde 3 Tage mit einer feuchten Jute und einem Plastik abgedeckt, wobei einmal pro Tag die Jute befeuchtet wurde.

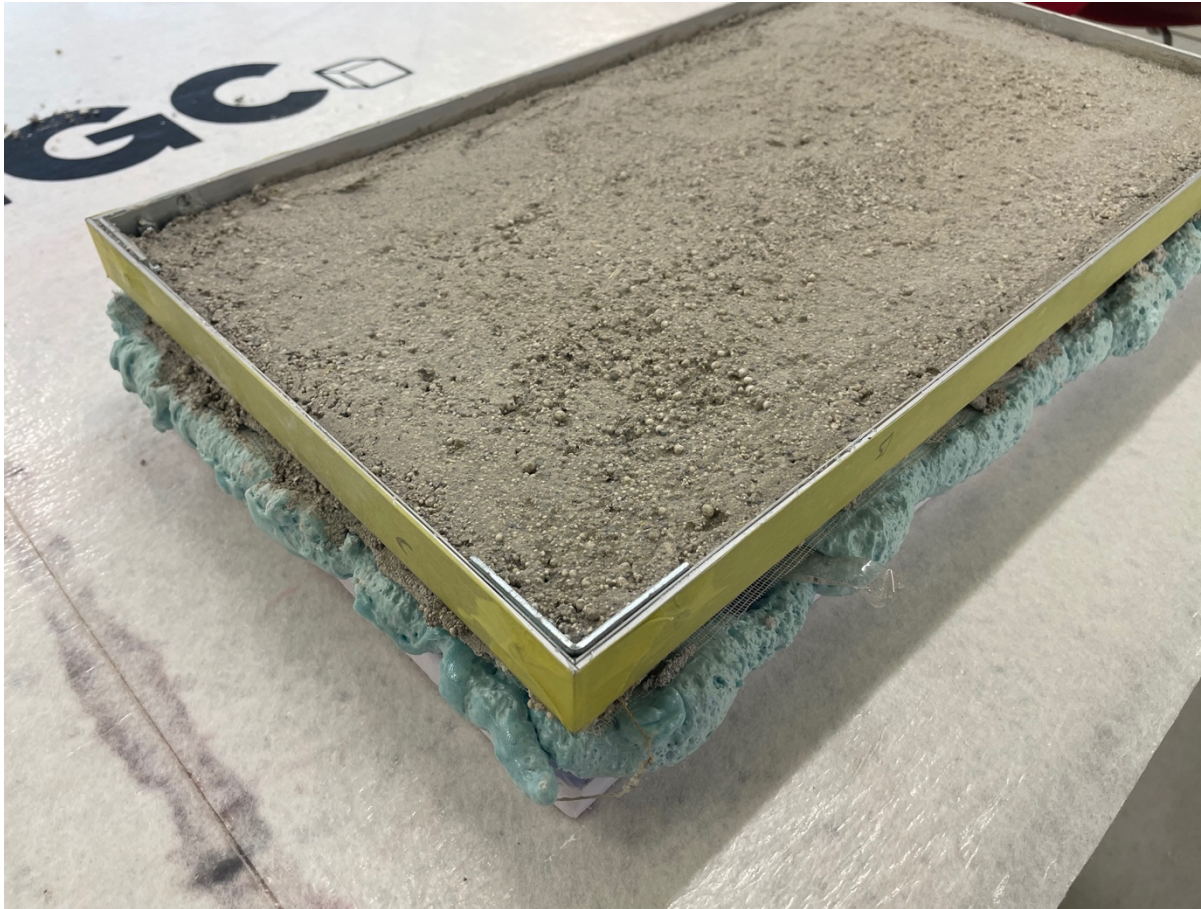


Abb. 4 Der Wandmalerei-Dummy liegt noch mit Facing vor (der hellblaue PU-Schaum ist gut ersichtlich). Der neue Träger wurde auf die Rückseite der Wandmalerei aufgetragen. Es handelt sich um ein Kalkmörtelschichtpaket mit einer im Mörtel eingelassenen Streckmetallgitter-Rahmen-Konstruktion.

6.1 Ergebnisdiskussion- Angleichen der Rezeptur

Es wurde erkannt, dass die Korngrössenverteilung vor allem des Blähglases (Poraver®), welches es in verschiedenen Kugelgrössen im Handel gibt, nicht ideal ist. Es wurde anschliessend im Paper 'A new lightweight support for the restoration and presentation of a large Roman mosaic' von Zupanek et al (2016) ein alternatives Rezept mit vorgegebenen Mischverhältnissen der Korngrössen gefunden:

2-4 mm: 8%

1-2mm: 26%

0,5- 1 mm: 38 %

Hohlgaskügelchen < 200 µ: 28%

Hanf: 0,4 %

Aufgrund der knappen Zeitverhältnisse wurde das Rezept in den Prozentangaben übernommen und nicht auf ein neues Material der Hohlgaskügelchen gewechselt, sondern eine kleine Korngrösse von Poraver® (also 0,5 bis 1,25 mm) dafür verwendet. Es wurde entschieden, nicht zu weit vom Rezept der ersten Studie abzuweichen, da das Rezept in der Studie genau getestet wurde und nur so garantiert werden konnte, dass die Resultate des übernommenen Mörtels ähnlich ausfallen werden. Die Korngrössenverteilung im Kleinstbereich wird ohnehin sowohl vom Sand, als auch vom Perlit abgedeckt.

6.2 Auswertung der Anwendung am

Die Auswertungstabelle wurde mit den gestellten Anforderungen des FTP I von Jermann (2023) kombiniert, da es sich beim Dummy um die Auswertung für das gesamte Konzept inklusive Rahmung handelt:

Kriterium	Erfüllt	Mässig erfüllt	Nicht erfüllt
Mörtel (FTP II):			
chemisch und material-technologische Ähnlichkeit zum originalen Mörtel.			
Mineralische oder natürliche Zuschläge			
Reduktion des Gewichtes; gutes Handling durch niedriges Gewicht			
Hohe Druck- und Biegefestigkeit des Mörtels, gutes Handling des gesamten Objektes			
Gesamtkonzept des neuen Trägers (FTP I) für den Dummy:			
Das Wandbild sollte nach Möglichkeit in den vorgegebenen Bildfeldern der einzelnen Buchstaben präsentiert werden.			
Die einzelnen Bildfelder sollen transportabel und stapelbar sein			
Die einzelnen Bildfelder sollen stabil sein.			
Unscheinbare und neutrale Rahmung der Einzelfelder			
Dampfdiffusion durch alle Schichten gewährleistet.			
Gute Verankerung des Rahmens mit dem Objekt			

Einrahmung so weit wie möglich reversibel			
Hängung und Lagerung möglichst als Teil des Rahmens realisieren			
Ästhetisch ansprechend			
Formstabile Rahmung (nicht flexibel)			
Preisgünstig			
Einfache Anschaffung des Materials			

Der Mörtel, so schien es, brauchte mehr Wasser als mit reinem Calciumhydroxid als Bindemittel, jedoch liess er sich gut verarbeiten. Das Streckmetallgitter mit Rahmen liess sich mit etwas rüttelnder Bewegung gut in den Mörtel versenken, auch die grösste Korngrössen des Zuschlags passierte die Öffnungen des Streckmetalls ohne Probleme.

Der LZ-Mörtel liegt mit 35% weniger Gewicht im Rahmen des akzeptablen, jedoch wäre wohl eine deutlich stärkere Reduktion des Gewichtes gerne angenommen worden (vom BHM und der Betreuungsperson).

Je nach Bezugsort und -menge kann Blähglas über 5x mehr kosten als Perlite und ca. 8x mehr als normaler Sand, wodurch sich die Kosten auf ein Bildfeld sicher im Vergleich zum NZ-Mörtel deutlich erhöhen. Jedoch liegt der Hauptkostenteil des Konzeptes immer noch auf dem Streckmetall und dem Rahmen und kann deshalb nicht als zu gewichtig eingestuft werden.

7 Praktische Umsetzung am Bildfeld P

1. Mörtelschicht (gemäss Konzept von Ledergerber (2022):

Der NZ-Mörtel der ersten Schicht wurde mit CalXnova Kalkmilch und Wasser angerührt und so dick wie die kleinsten Zuschläge mit einem Spachtel aufgemörtelt. Eine weitere Schicht LZ-Mörtel wurde anschliessend so dünn wie möglich nass-in-nass in den NZ-Mörtel verarbeitet. Anschliessend wurde auf den Mörtel eine Naturfasergaze in ca. 6-7 Stücken mit etwas Kalkschlemme in den unteren Mörtel eingerieben. Diese Gaze wurde danach für die einfache Entfernung der Kalksinterschicht wieder vom Mörtel abgezogen.

2. Mörtelschicht:

800 ml NHL 5

533 ml Sand < 4mm

533 ml Perlite < 4 mm

533 ml Blähglas*

*Korngrößenverteilung:

2-4 mm: 10%

1-2mm: 20%

0,5- 1 mm: 40 %

0,25-05 mm: 30%

(Hanf ging vergessen)

«Der LZ-Mörtel < 4 mm wurde anschliessend in einer Dicke von möglichst nur 4-8 mm aufgebracht. (...) Danach wurde das Streckmetall mit integriertem Rahmen möglichst in die Mörtelmasse eingedrückt. Durch die Grösse des Streckmetalls konnte das Gitter aber nicht so ideal eingelassen werden. Dies resultierte wohl in einer etwas dickeren Mörtelschicht als geplant und möglicherweise eines etwas weniger guten Verankerung des Gitters. Auf das Streckmetall wurde eine weitere Mörtelschicht mit den Händen durch das Gitter getrieben, um eine möglichst gute Verankerung zu gewährleisten. Der Mörtel wurde etwas nasser gemischt, als normalerweise ideal gewesen wäre, um ein einfaches Passieren durch das Gitter zu ermöglichen. Der Mörtel wurde 3 Tage mit einer feuchten Jute und einem Plastik abgedeckt, wobei die Jute einmal am Tag neu befeuchtet wurde. Am 5. Tag wurde dann die Jute und der Plastik abgedeckt.» (Jermann, 2023, S. 58)

7.1 Ergebnisdiskussion am Original

Kriterium	Erfüllt	Mässig erfüllt	Nicht erfüllt
Mörtel (FTP II):			
chemisch und material-technologische Ähnlichkeit zum originalen Mörtel.			
Mineralische oder natürliche Zuschläge			
Reduktion des Gewichtes; gutes Handling durch niedriges Gewicht			
Hohe Druck- und Biegefestigkeit des Mörtels, gutes Handling des gesamten Objektes			
Gute Passierbarkeit des Mörtels			
Gesamtkonzept des neuen Trägers (FTP I) für den Dummy:			
Das Wandbild sollte nach Möglichkeit in den vorgegebenen Bildfeldern der einzelnen Buchstaben präsentiert werden.			
Die einzelnen Bildfelder sollen transportabel und stapelbar sein			
Die einzelnen Bildfelder sollen stabil sein.			

Unscheinbare und neutrale Rahmung der Einzelfelder			
Dampfdiffusion durch alle Schichten gewährleistet.			
Gute Verankerung des Rahmens mit dem Objekt			
Einrahmung so weit wie möglich reversibel			
Hängung und Lagerung möglichst als Teil des Rahmens realisieren			
Ästhetisch ansprechend			
Formstabile Rahmung (nicht flexibel)			
Preisgünstig			
Einfache Anschaffung des Materials			

Das Gewicht wurde bei der Auswertung des Dummys schon angesprochen und stellt insofern kein konservatorisches Problem dar.

Es taten sich bei dem Wechsel auf die originale Grösse von 60 x 60 cm einige Problemfelder auf, welche vorher beim Dummy mit dem kleineren Mass keine Komplikationen verursacht hatten. Die Problematik beruht auf dem Fakt, dass das Streckmetall auf diese Grösse nicht mehr in sich stabil war, sondern sich zu flexibel bewegen konnte. Obwohl die Biege-Zugfestigkeit des Mörtels noch genau gleich stark war, kam dieses bei einer mechanischen Belastung des Rahmens an die Belastungsgrenze und an einigen Orten darüber hinaus (beim Bau klebten sich aus Versehen die Flachstangen des Rahmens an die Konstruktion, welche danach mit Hitze abgenommen werden musste und eine geringe mechanische Belastung auf das Gitter gaben (da das Gitter mit dem Rahmen verbunden ist)). Dieses Problem zog dann auch die Kriterien des 'stabil sein' und die 'gute Verankerung im Objekt' nach sich.

8 Fazit und Ausblick

Ziel dieses Final Term Papers II war es, durch eine Recherche zu Leichtzuschlags-Mörtel ein Rezept für einen Mörtel zu finden, der als der neue Träger für die abgenommene Wandalphabet-Bildfelder dienen kann. Dieses Ziel wurde erreicht, wenn auch der Ausgang bei dem spezifischen Beispiel des problematischen Bildfeldes P nicht ideal war¹⁴.

Da beim Dummy der Mörtel und das Konzept Erfolge erzielen konnte und beim Original die Hauptproblematik auf dem Gitter resp. der Grösse lag, könnte durch eine Überarbeitung der Schwachstellen des Konzeptes ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden.

¹⁴ Genauere Angaben und Problematiken bei der praktischen Umsetzung finden sich in der Semesterarbeit von Jermann (2023).

Das Konzept beruht auf der Grenze der Fähigkeit eines Kalkmörtels, welcher hier sowohl als dünne Schicht, als auch mit einer 'Sollbruchstelle' (Gitter) versetzt ist. Es muss somit klar formuliert werden, dass das Objekt in Zukunft mit dem Mörtel und dem Streckmetall immer mit einer gewissen Vorsicht hantiert werden muss. Wichtig für das Konzept ist somit auch die Erkenntnis, dass aus dem Handling die meisten Schäden hervorgehen könnten.

Die Mischung zwischen Perlit und dem Blähglas wurde von der Studie übernommen. Es könnte getestet werden, ob mit einer besseren Korngrößenverteilung des Blähglases das Perlit als weiteres zusätzliches Material ausgeschlossen werden kann. Je weniger Materialien ein Rezept vorweisen kann, desto weniger Angriffspunkte für problematische Materialien gibt es und desto einfacher wird eine ökonomische Verwendung (einfachere Beschaffung, Übersichtlichere Materialienliste etc.). Der Perlit hat optimale Dämmeigenschaften, weist aber eine geringe Kornfestigkeit auf. Jedoch darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass der Perlit im Vergleich zum Blähglas um einiges billiger ist, und es sich lohnen könnte, die Gesamtkosten durch eine Teilersetzung des Blähglases zu senken.¹⁵ Um der ungleichen Korngrößenverteilung vor allem im Kleinstpartikelbereich nachzukommen, wäre es möglich, zusätzlich Hohlgaskugeln in das Rezept aufzunehmen. Auch das konnte aufgrund der knappen Zeitverhältnisse nicht getestet werden.

Mit den Erkenntnissen dieser Arbeit und zukünftiger Überarbeitungen könnte das Massnahmenkonzept an den Bildfeldern des Wandalphabets des Schulhauses im Wylergut umgesetzt werden.

Das Konzept ist ohne Überarbeitung noch nicht geeignet für die Umsetzung aller verbleibenden Bildfelder. Die Problemfelder müssen neu evaluiert und ausgebessert werden, um ein zufriedenstellendes Resultat zu erreichen.

¹⁵ Die Kosten hängen stark vom Bezugsort und der Menge ab.

9 Verzeichnisse

9.1 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Al-Bashaireh, K. (2016). *Use of lightweight lime mortar in the construction of the west church of UMM El-Jimal, Jordan: radiocarbon dating and characterization*. In: Radiocarbon (Vol. 58, Nr. 3, S. 583-598). DOI: 10.1017/RDC.2016.40
- Giosue, C. et al (2018). *Effect of pore structure on the performance of photocatalytic lightweight lime-based finishing mortar*. In: Construction and Building Materials (Vol 171, S. 232-242). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.106> (16.06.2021)
- Grimm, R. (2016). *Was ist Blähton und für was wird es verwendet?* Online verfügbar unter: <https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/daemmstoffe/blaehglas-definition-herstellung-eigenschaften-einsatzbereiche-altglas-granulat-poraver-verotec-leichtzuschlag-schuettgut/> (07.05.2023)
- Grimm R. (2018). *Leichtzuschläge in Baustoffen*. Online verfügbar unter: <https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/grundstoffe-des-bauens/leichtzuschlaege-in-baustoffen/> (07.05.2023)
- Grimm, R. (2018). *Perlit: Einsatz im Bauwesen*. Online verfügbar unter: <https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/grundstoffe-des-bauens/perlit-einsatz-im-bauwesen/> (07.05.2023)
- Jermann, D. (2023). *Bildfeld P; Restauratorische Befundssicher und praktische Umsetzung* (Semesterarbeit). Bern: Berner Fachhochschule, Hochschule der Künste.
- Konakova, D. et al (2017) *lime-base plaster with combined clay-silica aggregate: microstructure, texture and engineering properties*. In: Cement and Concrete Composite (Vol. 83, S. 374-383). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.08.005> (16.06.2021)
- Muñoz-Ruiperez, C. et al (2016). *Lightweight masonry mortars made with expanded clay and recycled aggregates*. In: Construction and Building Materials (Vol. 118, S. 139-145). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.065> (16.06.2021)

- Pereira de Oliveira, L. A., Castro Gomes, J.P. and Nepomuceno, M.C.S. (2012). *The Influence of Wastes Materials on the Rheology of Rendering Mortars*. In: *Applied Rheology* (Vol. 23, Iss. 1). DOI: <https://doi.org/10.3933/applrheol-23-15505> (16.06.2021)
- Sala, E. et al (2016). *Lightweight natural lime composites for rehabilitation of Historical Heritage*. In: *Construction and Building Materials* (Vol. 125, S. 81-93). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.33> (16.06.2021)
- Xu, S. et al (2014). *Study on the lightweight hydraulic mortars designed by the use of diatomite as partial replacement of natural hydraulic lime and masonry waste as aggregate*. In: *Construction and Building Materials* (Vol. 7, S. 33-40). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.062> (16.06.2021)
- Zalenska, M. et al (2021). *Effect of Aggregate and Binder Type on the Functional and Durability Parameters of Lightweight Repair Mortars*. In: MDPI (Hgg.) *Sustainability* (Vol. 13). DOI: <https://doi.org/10.3390/su132111780> (16.06.2021)
- Zupanek, B. et al (2016). *A new lightweight support for the restoration and presentation of a large Roman mosaic*. In: *Journal of Cultural Heritage* (Vol. 19, S. 477-485). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2016.01.005> (16.06.2021)

9.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Gesamtansicht des Wandbildes «Wandalphabet» von Emil Zbinden und Eugen Jordi (1949).....	5
Abb. 2 Blähperlit ungesiebt.....	10
Abb. 3 Verschiedene Korngrößen von Blähglas (Poraver®).	10
Abb. 4 Der Wandmalerei-Dummy liegt noch mit Facing vor (der hellblaue PU-Schaum ist gut ersichtlich). Der neue Träger wurde auf die Rückseite der Wandmalerei aufgetragen. Es handelt sich um ein Kalkmörtelschichtpaket mit einer im Mörtel eingelassenen Streckmetallgitter-Rahmen-Konstruktion.	12
Abb. 5 Recto Ansicht des Bildfeldes P. Die Sicht fällt durch die Abnahme auf die Rückseite/den Putz der Maloberfläche. Die Malschicht liegt noch auf dem Facing (gelb). 22	
Abb. 6 Recto Ansicht des kleineren Fehlstellenstückes des Bildfeldes P.	23
Abb. 7 Recto Ansicht der beiden Fragmente, wie sie eigentlich zueinander gehören.....	23
Abb. 8 Das Bildfeld P im finalen Zustand nach der praktischen Umsetzung, wobei noch ohne Retusche.....	24
Abb. 9 Quelle: Sala et al. (2016). Schüttdichte der verschiedenen getesteten Mörtel nach 28 Tagen. Die Säulen mit der gleichen Farben aber anderen Bezeichnung gehen von einem anderen Zuschlag-Bindemittelverhältnis aus.	24

Abb. 10 Quelle: Sala et al. (2016). Die Druckfestigkeit der verschiedenen getesteten Mörtel nach 28 Tagen.....	25
Abb. 11 Quelle: Sala et al. (2016). Sekantenelastizitätsmodul der verschiedenen getesteten Mörtel nach 28 Tagen.	25
Abb. 12 Quelle: Sala et al. (2016). Druckfestigkeit im Verhältnis der Schüttdichte der verschiedenen getesteten Mörtel nach 28 Tagen. Die Bindemittel-Zuschlags-Verhältnis liegt dabei bei 1:2.	26
Abb. 13 Quelle: Sala et al. (2016). Auswirkung des volumetrischen Gehalts der Leichtzuschläge auf die Dichte von Mörteln mit einem Bindemittel-Zuschlags-Verhältnis von 1:2 und 1:3 und auf die Druckfestigkeit von Mörteln mit einem Bindemittel-Zuschlags-Verhältnis von 1:2.	26

9.3 Abbildungsnachweis

Abbildungsnummer	Quelle
Abb. 2 Abb. 3 Abb. 5 Abb. 6 Abb. 7 Abb. 8	Daria Jermann, 2022/23
Abb. 1	Alicia Ledergerber, 2022
Abb. 9 Abb. 10 Abb. 11 Abb. 12 Abb. 13	Sala et al. (2016)

9.4 Materialverzeichnis

Material	Technische Informationen	Quelle
Aluminium-Winkelprofil Dummy abgebundener Mörtel	Vertikal 25 mm, horizontal 25 mm Dicke: 2 mm Länge: 2000 mm	OBI
Aluminium-Winkelprofil Dummy nass-in-nass	Vertikal 15 mm, horizontal 25 mm Dicke: 1,2 mm Länge: 2000 mm	OBI
Aluminium-Flachstange Dummy nass-in-nass	Dicke: 2 mm Breite: 20 mm Länge: 2000 mm	OBI
Streckmetall	Stahl roh, 2,8 mm, 250x500 mm	Jumbo
Schrauben und Muttern		Jumbo
Eckverstärkungen	50x50x 70 mm, galv., gelb verzinkt, Artikel 2880242	Hornbach (bestellt)

Tacker- Klammern		HKB
Kraft-Mix extrem fest	2 Komponenten Kleber	Pattex; Jumbo
Plexisol P 500-40	Acrylharz	Kremer; HKB
Dispersion K 360	Rein-Acryldispersion	Kremer; HKB
Araldite 2020	2 Komponenten Kleber XW396 Harz + XW397 Härter	Araldite, HKB
Dispersion K9	Rein-Acryldispersion	Kremer; HKB
Sumpfkalk	Eingesumpftes Kalkhydrat	HKB
NHL 3,5	Natürlicher Hydraulischer Kalk (Druckfestigkeit 3,5 N/mm ²)	Kremer; HKB
NHL 2	Natürlicher Hydraulischer Kalk (Druckfestigkeit 2 N/mm ²)	Ekkehard Fritz
CalXnova Kalkbindemittel	Nanokalkdispersion	Kremer; HKB
Gewaschener Sand	4mm; gesiebt in 1mm und 2mm Korngrösse	Jumbo; HKB
Quarzsand	0,1-0,3 mm und 0,5-1mm Korngrösse	Kremer; HKB
Marmorsplitt rosa	Korngrösse 4 mm und 2 mm	Kremer; HKB

10 Anhang



Abb. 5 Recto Ansicht des Bildfeldes P. Die Sicht fällt durch die Abnahme auf die Rückseite/den Putz der Maloberfläche. Die Malschicht liegt noch auf dem Facing (gelb).



Abb. 6 Recto Ansicht des *kleineren* Fehlstellenstückes des Bildfeldes P.



Abb. 7 Recto Ansicht der beiden Fragmente, wie sie eigentlich zueinander gehören.



Abb. 8 Das Bildfeld P im finalen Zustand nach der praktischen Umsetzung, wobei noch ohne Retusche.

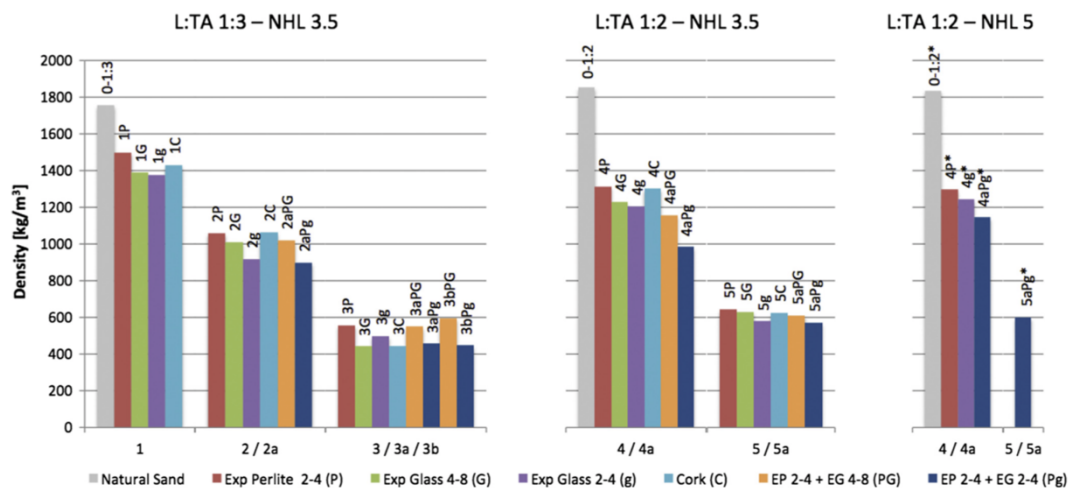


Fig. 5. Materials' density after 28 days curing.

Abb. 9 Quelle: Sala et al. (2016).

Schüttdichte der verschieden getesteten Mörtel nach 28 Tagen. Die Säulen mit der gleichen Farben aber anderen Bezeichnung gehen von einem anderen Zuschlag-Bindemittelverhältnis aus.

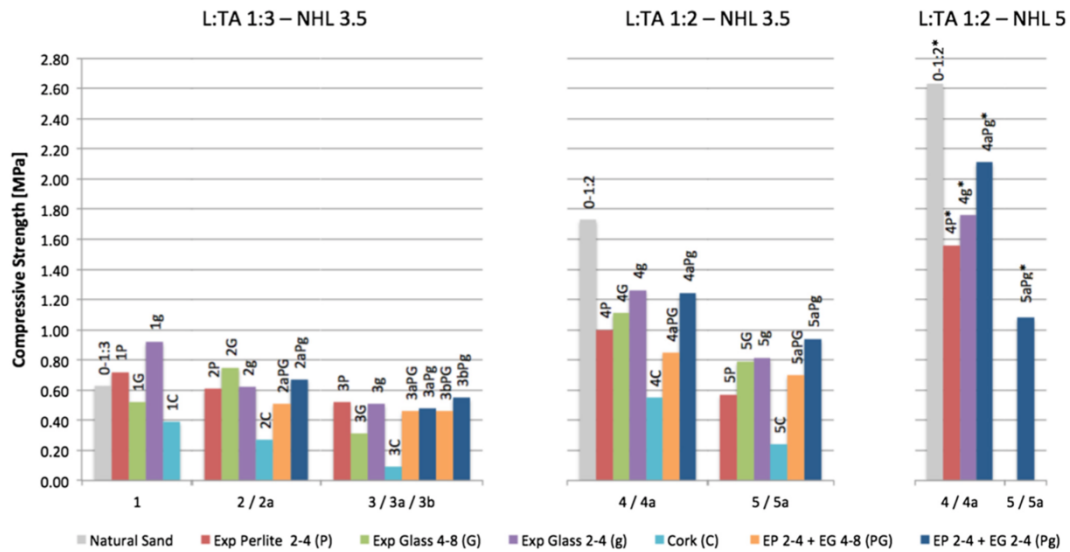


Fig. 6. Materials' compressive strength after 28 days curing.

Abb. 10 Quelle: Sala et al. (2016).

Die Druckfestigkeit der verschieden getesteten Mörtel nach 28 Tagen.

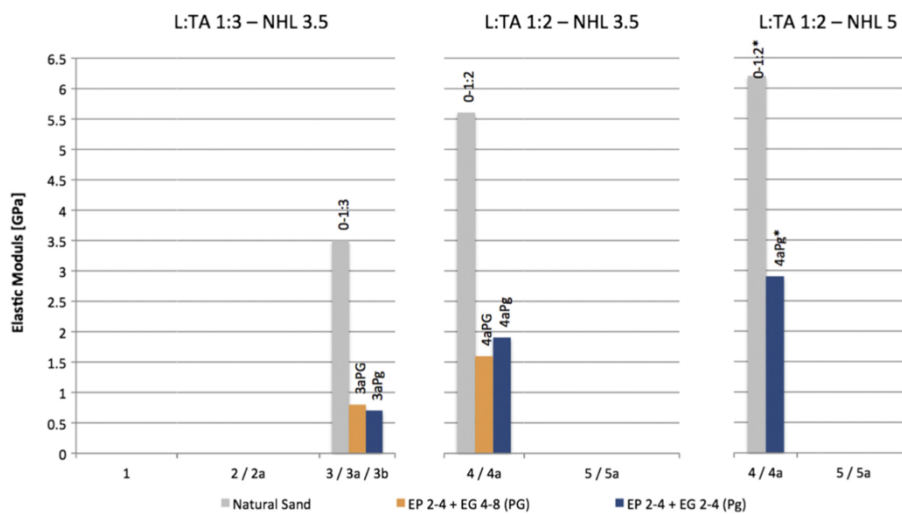


Fig. 7. Secant elastic modulus in compression 28 days curing.

Abb. 11 Quelle: Sala et al. (2016).

Sekantenelastizitätsmodul der verschieden getesteten Mörtel nach 28 Tagen.

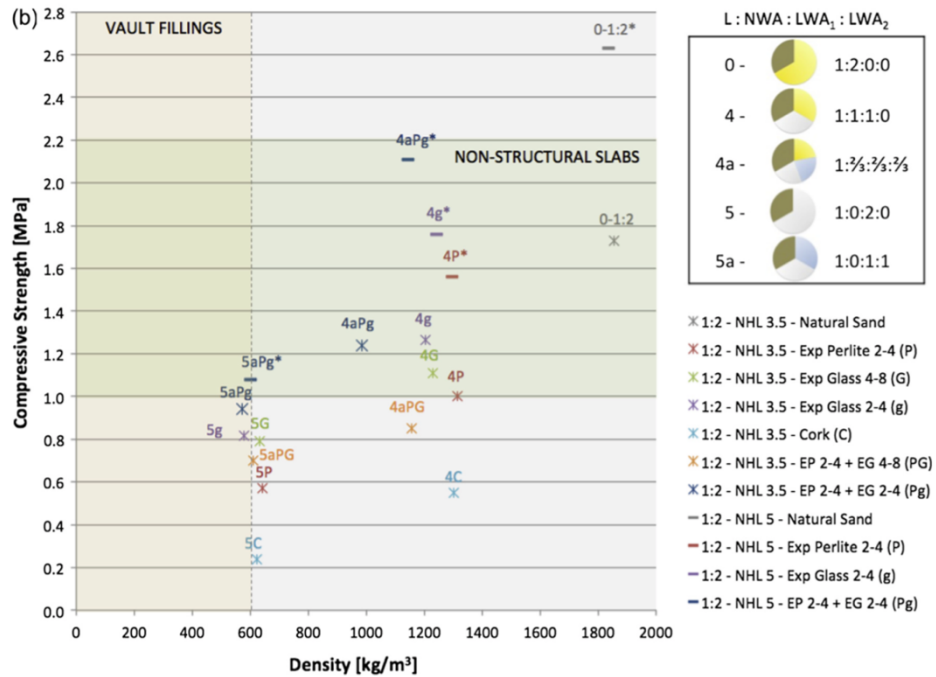


Fig. 8. Compressive strength-density trends of mortars with lime/aggregate ratio of (a) 1:3 and (b) 1:2.

Abb. 12 Quelle: Sala et al. (2016).

Druckfestigkeit im Verhältnis der Schüttdichte der verschiedenen getesteten Mörtel nach 28 Tagen. Die Bindemittel-Zuschlags-Verhältnis liegt dabei bei 1:2.

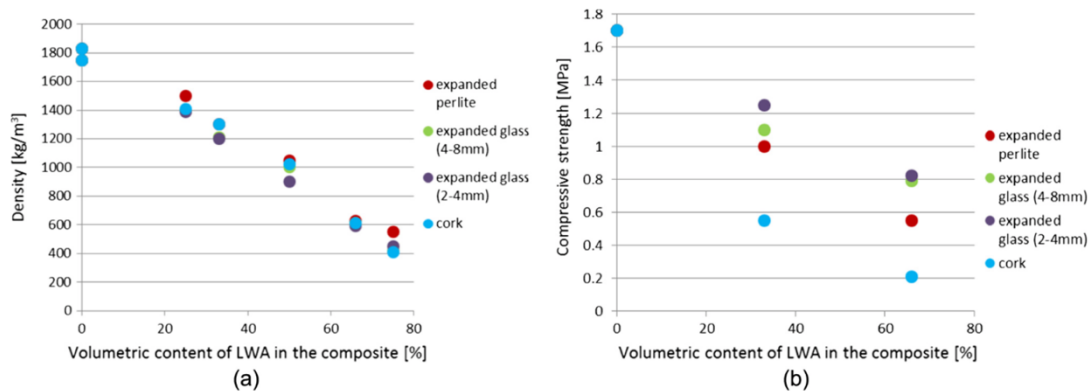


Fig. 9. Effect of volumetric content of LWA on density of mortars with 1:2 and 1:3 binder-aggregate ratios (a), and on compressive strength of mortars with 1:2 binder-aggregate ratio (b).

Abb. 13 Quelle: Sala et al. (2016).

Auswirkung des volumetrischen Gehalts der Leichtzuschläge auf die Dichte von Mörteln mit einem Bindemittel-Zuschlags-Verhältnis von 1:2 und 1:3 und auf die Druckfestigkeit von Mörteln mit einem Bindemittel-Zuschlags-Verhältnis von 1:2.