

Modul BDKGT05 – Final Term Paper II

Konzeptentwicklung eines neuen Trägersystems für die abgenommenen Bildfelder des Schulhauses Wylergut.



Vor- und Nachname:	Joel Keller
Bachelorstudiengang:	Konservierung, 6. Semester Teilzeit
Betreuende Person:	Dipl. Rest. Christel Meyer-Wilmes
Zeichenanzahl	24'864 (mit Leerschlägen)
Datum der Bearbeitung:	HS 2023 / 2024

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Gegenstand und Ziel	4
2.1	Methodisches und praktisches Vorgehen	4
3	Grundlage	5
3.1	Stand der Forschung	6
3.2	Technologische Anforderungen an den Mörtel des zweiten Trägers	6
3.3	Anforderungen an den zweiten Träger	7
3.4	Rezept der Studie von Sala	8
4	Hauptteil	9
4.1	Versuchsaufbau zu den Testreihen der Mörtelmischungen	9
4.1.1	Auswahl der geeigneten Bestandteile eines Mörtels für die Anforderungen aus 3.2	9
4.1.2	Anmischen der Proben	11
4.1.3	Beurteilung der Mörtelproben	12
4.2	Versuchsaufbau der Übertragungstechnik	13
4.2.1	Übertragung der Bildfelder mit Vorderseite nach oben	13
4.2.2	Ergebnis der Übertragung mit der Vorderseite nach oben	13
4.2.3	Bildfeld von der Hinterseite in zweiten Träger einsetzen	14
4.2.4	Umsetzung des Versuchs	Fehler! Textmarke nicht definiert.
4.2.5	Massnahmen einzeln aufgenommen	18
5	Ergebnisdiskussion	20
5.1	Endergebnis zu Mörtel des zweiten Trägers und Übertragungstechnik	20
6	Fazit und Ausblick	21
7	Verzeichnisse	22
7.1	Quellenverzeichnis	22
7.1.1	Internetquellen	22
7.2	Abbildungsverzeichnis	23
8	Anhang	24
8.1	Mörtelprobe	24
8.2	Auswertung aller Proben	27
8.3	Übertragungstechnik mit Vorderseite nach oben	29
8.3.1	Umsetzung der Übertragung	30

1 Zusammenfassung

In diesem Dokument wird die Konzeptentwicklung eines neuen Trägersystems der abgenommenen Bildfelder des Wandbildes im Schulhauses Wylergut erarbeitet und dokumentiert. Diese Arbeit basiert auf mehreren bereits erstellten Konzepten oder Konzeptideen welche umgesetzt oder nochmals überarbeitet werden.

Abkürzungsverzeichnis

AA	Architektur und Ausstattung
BA	Bachelor
MA	Master
FTP	Final Term Paper
FS	Frühlingsemester
NHL	natural hydraulic lime
HS	Herbstsemester
P	Probe
HKB	Hochschule der Künste Bern
KuR	Konservierung und Restaurierung

2 Gegenstand und Ziel

Alicia Ledergerber hat in ihrer MA- Thesis ein Konzept zur Abnahme des umstrittenen Wandbildes des Schulhauses Wylergut entwickelt. Zusätzlich hat sie das erste Trägersystem für die abgenommenen Bildfeldern ausgearbeitet und am Bildfeld U umgesetzt. Bei diesem ersten Träger handelt es sich um ein Interventionslayer- System aus einem Kalkmörtel mit Sandzuschlägen.

Daria Jermann hat sich in ihrem FTP I + II mit dem zweiten Träger und dem darin enthaltenen Mörtel befasst.

Jermann entwickelt im ersten FTP die erste Idee des Alurahmens, welcher einen möglichst leichten und sicheren Schutz des Originals darstellt. Im zweiten FTP wurde versucht, den zweiten Träger mittels Leichtzuschlagsstoffen im Mörtel leichter zu gestalten.

Ziel dieser Arbeit ist es, aus den Erkenntnissen von Jermann den idealen Mörtel des zweiten Trägers zu entwickeln und eine Übertragungstechnik auszuarbeiten. Die Übertragungstechnik muss eine möglichst sichere und schonende Übertragung in den zweiten Träger mit dem integrierten Alurahmen generieren.

2.1 Methodisches und praktisches Vorgehen

In einem ersten Schritt werden alle erstellten Arbeiten zu diesem Thema durchgelesen. Im Vordergrund steht die Studie zu den Leichtzuschlagsstoffen von (Sala, 2016), mit welchem sich auch schon Daria Jermann in ihrem FTP II befasst hat. Dieses Grundrezept aus Salas Studie wird nochmals neu beprobt und allenfalls angepasst. Die neu beprobten Mörtel werden analysiert und ausgewertet, so dass ein geeignetes Rezept für den zweiten Träger bestimmt werden kann.

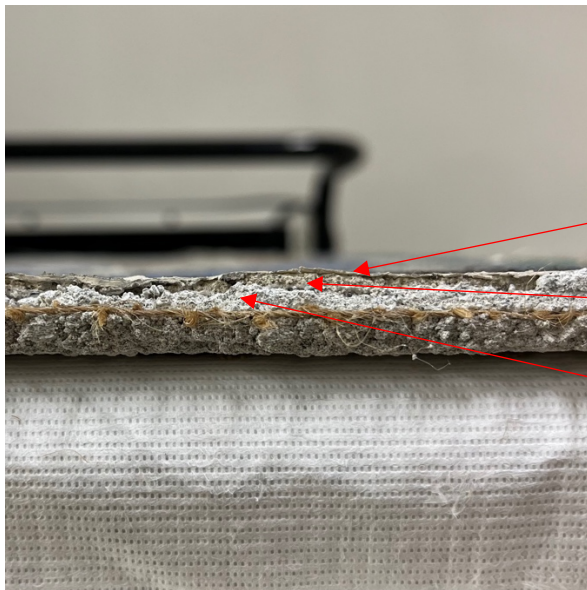
Die abgenommenen Bildfelder wurden mit einem starren Facing auf der Malschichtoberfläche ins Atelier AA der Hochschule gebracht und weiterbearbeitet.

Für eine Einbettung in den zweiten Träger muss eine geeignete Übertragungstechnik herausgefunden werden. Dafür werden Prototypen erstellt, um das Original nicht zu gefährden.

Wenn alle notwendigen Parameter entwickelt sind, wird die Einbettung des ersten Trägers in den zweiten Träger an originalen Bildfeldern durchgeführt.

3 Grundlage

Querschnitt des originalen Bildfeldes mit erstem Trägersystem



Malschicht 0.15 mm – 0.2mm (original)

Feinputz 2.0mm – 3.2mm (original)

Erster Träger, bestehend aus Interventionschicht mit Jutegewebe 9.0mm – 12mm (neuer Bestand)

Abb. 1 Schichtenaufbau Bildfeld Q
Quelle Joel Keller

Auf der äussersten Sicht ist die Malschichtoberfläche. Da die Malerei freskal angelegt wurde, wurden die Pigmente in den feuchten Feinputz aufgetragen. Durch die Carbonatisierung des Feinputzes werden die Pigmente an der Oberfläche gebunden.

Der Feinputz besteht aus einem Kalkputz mit feinen Sandzuschlägen von 0–1mm. Der Feinputz wurde in verschiedenen Putzportionen auf den Grobputz aufgetragen, um der Gestaltung noch mehr Kontrast zu verleihen.

Teilweise sind auf dem Feinputz noch Rückstände vom Grobputz enthalten. Der Grobputz ist ein Teil des Schichtenaufbaus der originalen Wand und auch der Bereich, in welchem die Bildfelder von der Wand abgetrennt wurden. Aus diesem Grund haften teilweise noch Rückstände des Grobputzes auf dem Feinputz. Diese Rückstände werden reduziert. Nach der Reduktion der Rückstände wird der erste Träger mit der Interventionsschicht auf den Feinputz aufgetragen. Das Konzept dafür, wurde von Alicia Ledergerber entwickelt (Ledergerber, 2022, S. 108).

Wenn der erste Träger appliziert und ausgetrocknet ist, kann das Bildfeld umgedreht werden und die verschiedenen Facingschichten entfernt werden.

3.1 Stand der Forschung

Im Verlaufe dieses Projektes, entstanden zu diesem Thema bereits vier Abschlussarbeiten. Die MA- Studentin Alicia Ledergerber entwickelte in ihrer Masterthesis die Abnahme der Bildfelder bis und mit der Übertragung auf den ersten Träger (Ledergerber, 2022).

Die BA- Studentin Daria Jermann entwickelte ihn ihrem FTP I + II und der Ateliardokumentation die Umsetzung der Übertragung der Bildfelder in den zweiten Träger. Thematisch spielt in ihrem FTP II die Umsetzung des zweiten Trägers mit dem darin enthaltenen Leichtzuschlagsmörtel eine zentrale Rolle (Jermann, 2022).

Ein weiteres wichtiges Dokument ist das Paper von Sala et al «Lightweight natural lime composites for rehabilitation of Cultural Heritage» welches eine ausgewertete Studie zu Leichtzuschlagsmörteln enthält (Sala, 2016). Jermann hat dieses Rezept der Studie als Grundlage für die Entwicklung des Mörtels ihres zweiten Trägers verwendet.

Weiter wurde die Quelle von Albert Knoepfl, Handbuch der historischen Techniken, für das Auftragen des Mörtels im zweiten Trägersystem verwendet. Knoepfl beschreibt den Auftrag des Mörtels in historischer Technik und auf was man achten sollte (Albert Knoepfl, 1997, S. 29–32).

Zusätzlich wird Literatur zum Thema Putzmörtel von (Kraus, 2004), (Maier, 2007) und (Grimm, Baustoffwissen, 2018) verwendet, um das Material Kalk und Zuschlagsstoffen genauer zu verstehen.

3.2 Technologische Anforderungen an den Mörtel des zweiten Trägers

- **Kalkmörtel**
Chemische und mechanische Ähnlichkeit zum originalen Mörtel.
- **Mineralische oder natürliche Zuschläge**
Diese entsprechen den konservatorischen Anforderungen einer guten Alterungsbeständigkeit und sind chemisch und material- technologisch dem originalen Mörtel ähnlich.
- **Reduktion des Gewichtes**
Diese unter möglichst geringstem Verlust der Druckfestigkeit des Mörtels.
- **Hohe Druck- und Biegefestigkeit**
Da die Verankerung des Streckmetalls mit integriertem Rahmen in Mörtel vorgenommen wird, ist sie von grosser Bedeutung. Eine höhere Druckfestigkeit sollte allfällige Belastungen beim Handling risikoarmer für das Objekt machen.
- **Korngrösse unter 4mm**
Der Mörtel muss beim Auftragen die Öffnungen des Streckmetalls gut passieren können.
- **Preisgünstig**
Das Budget für das Material ist limitiert.

(Jermann, 2022, S. 8)

3.3 Anforderungen an den zweiten Träger

Die Rahmung der Bildfelder muss in erster Linie einen Schutz des Originales darstellen. Dafür wurde ein stabiler Alurahmen entwickelt, welcher den Bildfeldern möglichst hohen Schutz auf alle Seiten generieren kann. Die Rahmenhöhe steht etwas über dem Niveau der Bildfelder und bildet somit eine Schutzkante über dem Niveau der Bildfelder.

Der Rahmen soll auch das Handling im Bereich des Museums sicherstellen. Durch die stabilen L- Profile an den Seiten können die gerahmten Bildfelder schonend transportiert werden. An den Rückseiten der Rahmung werden kleine Verstrebungen montiert, durch welche die gerahmten Bildfelder einfach an der Ausstellung «gehängt» werden können.

Die Bildfelder können durch die Rahmung horizontal und vertikal gelagert werden. Jedoch wird eine horizontale Lagerung empfohlen.

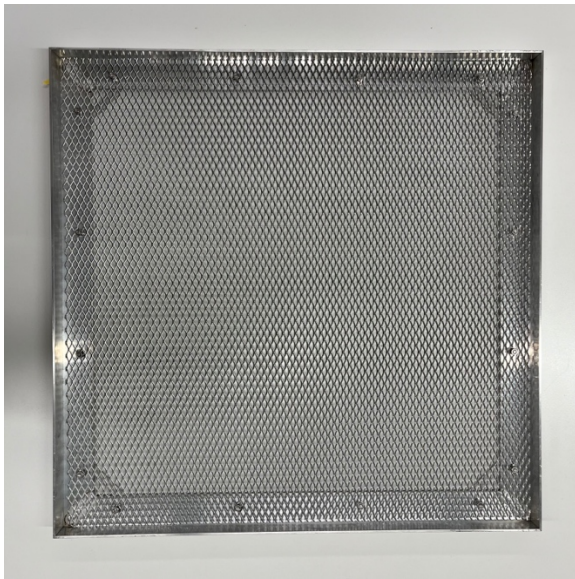


Abb. 2 Alurahmen des zweiten Trägers
Quelle Joel Keller

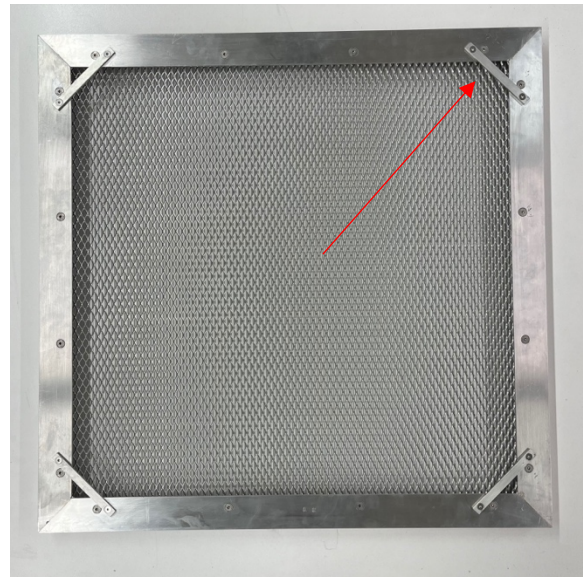


Abb. 3 Rückseite Alurahmen mit Verstrebungen an 90Grad Winkeln, um Bilder zu hängen
Quelle Joel Keller



Abb. 4 Bildfeldoberfläche unter Niveau der Rahmung
Quelle Joel Keller



Abb. 5 Bildfeld U im eingebetteten zweiten Träger
Quelle Joel Keller

3.4 Rezept der Studie von Sala

Jermann hat ein Rezept der Studie von Sala für ihren Prototypen in ihrem FTP II getestet und ausgewertet (Jermann, 2022, S. 14).

Bindemittel (1T)	Zuschlag (3T)
- 800ml NHL 5	- 533ml Brienzer Sand (0mm–4mm) - 533ml Perlit (0mm–4mm) - 533g Blähglas (Porava) Blähglas wurde in verschiedenen Kugelgrössen zusammen gemischt; - 10% 2–4mm - 20% 1–2mm - 40% 0.5–1mm - 30% 0.25–0.5mm

Die Zusammensetzung des Mörtels wurde nicht verändert, da eine Kenndatenentwicklung zu den unterschiedlichen Prüfkriterien erfolgte. Die Leichtzuschlagsstoffe Perlit und Blähglas dienen dazu, den Mörtel leichter zu gestalten. Dabei ist die Korngrössenverteilung von wichtiger Bedeutung, damit die Mischung möglichst alle Zwischenräume innerhalb des Gefüges mit kleineren und grösseren Körnern ausfüllen kann. Nur so kann eine hohe Druck- und Biegekraft generiert werden.

Das Bindemittel NHL 5 ist ein natürlich hydraulischer Kalk und bietet eine hohe Festigkeit. Beim Anmischen des Mörtels mit Wasser reagieren die Calciumsilikat- und alumatverbindungen hydraulisch und erhärten durch Bildung von festigkeitsfördernden Produkten (Kraus, 2004, S. 6).

4 Hauptteil

4.1 Versuchsaufbau zu den Testreihen der Mörtelmischungen

Der Mörtel sollte die Anforderungen, welche in 3.2 aufgelistet wurden, erfüllen. Das Bindemittel, im Prototyp von Jermann, ist mit den vielen Zuschlagsstoffen an seine Belastungsgrenze gekommen. Deswegen wird versucht, die Rezeptur am Bindemittel, oder an den Zuschlagsstoffen zu verändern und dadurch eine höhere Stabilität zu generieren.

Die Bestandteile jedes Rezeptes sowie die Auswertung wurden unter Absprache mit Christel Meyer- Wilmes beurteilt und bewertet.

4.1.1 Auswahl der geeigneten Bestandteile eines Mörtels für die Anforderungen aus 3.2

Bindemittel	Zuschlagsstoffe
- Calciumhydroxid - Kalkhydrat - NHL2 - NHL5 - Dispersion K9	- Sand - Leichtzuschlagsstoffe - Poraver - Blähglas - Hohlgaskügelchen - Hanf

Die folgenden Beschreibungen beziehen sich auf die in 4.1.1 aufgelisteten Begriffe.

Bindemittel Kalk

Kalk ist schon seit Urzeiten ein beliebtes Bindemittel für Mauer- und Putzmörtel. Der Kalkstein wird bei der Herstellung aus dem Steinbruch abgetragen und durch Hitzezufuhr von 900 – 1200 Grad Celsius gebrannt. Nach dem Brennen wird der Kalk mit Wasser gelöscht.

Das Löschen des Weisskalks kann entweder mit Wasserüberschuss oder mit einer aus der chemischen Reaktion genau berechneten Wassermenge geschehen. Wenn der Kalk mit einem Überschuss an Wasser gelöscht wird, entsteht Sumpfkalk (Calciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)). Je länger das Calciumhydroxid im Wasser gelagert wird, desto feinere Calciumhydroxidkristalle bildet er aus. Wenn der Kalk mit der genau berechneten Wassermenge gelöscht wird, spricht man vom Trockenlöschen und man erhält Kalkhydrat $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Kraus, 2004, S. 1). Wenn der Sumpfkalk oder das Kalkhydrat abbindet und mit CO_2 in Verbindung kommt entsteht Kalk (CaCO_3).

Bindemittel NHL

Hydraulische Kalke (NHL)

Wenn Carbonatgestein bei 900 – 1200 Grad Celsius gebrannt wird, bilden sich neben Calciumoxid, Verbindungen des Calciums mit der Tonkomponente Silizium und dem Aluminium bzw. anderer vorhandener Silikatminerale. Hauptsächlich bilden sich aber die Verbindungen des Dicalciumsilikat und Tricalciumalumat. Die Produkte sind nur löschfähig sofern sie noch grössere Mengen an CaO enthalten (Kraus, 2004, S. 6).

Beim Anmischen des Mörtels mit Wasser reagieren die Calciumsilikat- und Alumatverbindungen hydraulisch und erhärten durch Bildung von festigkeitsfördernden Produkten. Somit können NHL- Mörtel auch unter Wasser abbinden und erhärten.

Kalke mit mittleren und hohen hydraulischen Anteilen werden als natürliche hydraulische Kalke (NHL2, NHL3 und NHL5) bezeichnet. Schwache hydraulische Kalke enthärten

überwiegend carbonatisch, mittelhydraulische Kalke sowohl carbonatisch als hydraulisch und hochhydraulische Kalke vorwiegend hydraulisch (Kraus, 2004, S. 6).

Bindemittel Dispersion K9

Dispersion K9 ist ein Reinacrylatdispersion welches frei von Weichmachern, Ammoniak und Formaldehyd ist. Das Bindemittel hat ein hohes Pigmentbindevermögen, ist elastischer als andere Acryldispersionen und vielseitig einsetzbar. Aufgrund seiner hohen Elastizität eignet sie sich zum Malen auf flexiblen Malgründen. Die Dispersion kann auch gut eingedickt und in pastöser Form aufgetragen werden. Sie eignet sich auch für Wandfarben in Kombination mit Celluloseleim, Wasserglas oder Syton X30. Daher wird dieses Produkt hauptsächlich für Retuschen in der Restaurierung verwendet. (Kremer, 2022).

In der Literatur finden sich nur sehr wenige Informationen über die Zusammensetzung und der Eigenschaften dieses Bindemittels und auch keine Angaben zur Löslichkeit. (Ledergerber, 2022, S. 68)

Zuschlagsstoffe

Zuschlagsstoffe sind Gemenge an Körnern, Fasern oder Eiweiss. Mit Kalk und Wasser werden die Bestandteile zu einem Putz- oder Mauermörtel vermischt. Zuschläge für historische Kalkmörtel bestehen vorwiegend aus ungebrochenen oder zerkleinerten Natursteinen in Form von Kies oder Sand. Daneben kommen auch künstlich hergestellte, mineralische Stoffe vor. Ebenso können dem Mörtel hydraulische Zuschläge wie Backstein, Trass oder Ton beige-mischt werden (Maier, 2007, S. 45).

Bei den Zuschlägen ist die Korngrößenverteilung von wichtiger Bedeutung, damit die Mischung möglichst alle Zwischenräume innerhalb des Gefüges mit kleineren und grösseren Körnern ausfüllen kann.

4.1.2 Anmischen der Proben

Jede Probe wurde in eine Form gegeben und sieben Tage ausgehärtet. Bei den Formen handelt es sich um Gussformen aus Gummi und haben die Grösse 88mm X 48mm X 24mm.

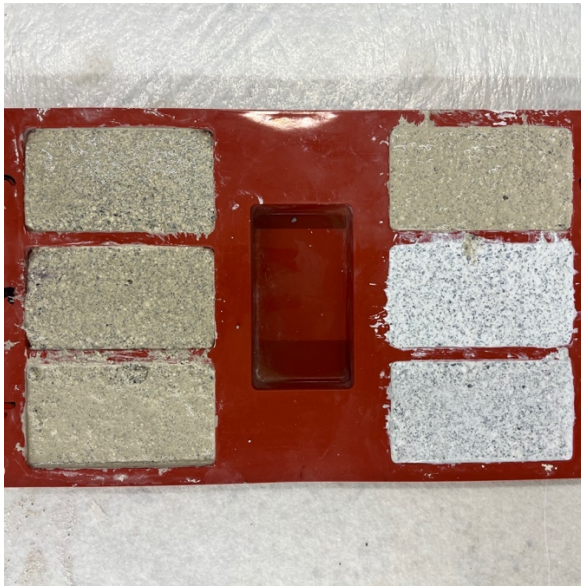


Abb. 6 Proben in Gussform
Quelle Joel Keller

Als Referenzobjekt wurde das Rezept der Studie von Sala nochmals umgesetzt und beurteilt. Daraufhin wurden verschiedene Anpassungen an Bindemittel, Zuschlagsstoffen oder Korngrössenverteilung der Zuschlags- und Leichtzuschlagsstoffen vorgenommen.

4.1.3 Beurteilung der Mörtelproben

Jede Probe wurde nach sieben Tagen bewertet. Die Bewertungskriterien sind das Gewicht, Stabilität, Porosität und optischer Vergleich zum Original.

In erster Linie wurden die Probewürfel gewogen und nach ihrem Gewicht und Stabilität beurteilt. Die Stabilität wurde auf ihre Bruchfestigkeit überprüft.

Ebenso wurde die Wasseraufnahme an der Oberfläche der Probewürfel beurteilt. Dabei wird gemessen, wie lange ein in der Grösse definierter Tropfen Wasser benötigt, um vollständig in das Gefüge einzudringen (C. Bläuer, 2012). Der Tropfen wurde mit einer Eppendorfer Pipette auf die Oberfläche aufgetragen.

In einem letzten Schritt wurde der Mörtel auf sein äusseres Aussehen beurteilt, ob er dem originalen Mörtel ähnlich erscheint.



Abb. 7 Probewürfel auf Wage
Quelle Joel Keller



Abb. 8 Bruchtest Probewürfel
Quelle Joel Keller

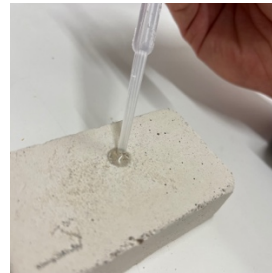


Abb. 9 Tropfentest
Quelle Joel Keller



Abb. 10 Optischer Vergleich
Quelle Joel Keller

Insgesamt wurden 13 Proben entwickelt, bis ein Mörtel alle Kriterien erfüllen konnte.

Es konnte bei allen Proben, ausser Probe 13, eine schwache Stabilität festgestellt werden. Die geringe Stabilität wurde wahrscheinlich durch die Einbringung von den Leichtzuschlagsstoffen ausgelöst. Die Poraver- Leichtzuschlagsstoffe haben alle eine kugelförmige Form, was keine innige Verzahnung zwischen Zuschlagsstoffen und dem Bindemittel ergibt. Die schwache Stabilität wurde bereits zu Beginn der Versuchsreihe der Mörtelrezepte festgestellt. Da die Gewichtsreduktion im Mörtel jedoch eine wichtige Rolle spielt, wurde weiterhin versucht, die Leichtzuschlagsstoffe zu verwenden. Es wurde versucht, mit anderen Bindemitteln und anderen Zuschlagsverhältnissen der geringen Stabilität entgegenzuwirken.

In der Probe 13 wurden die Leichtzuschlagsstoffe Poraver und Perlit weggelassen und durch Hohlglaskügelchen ersetzt. Die Hohlglaskügelchen haben keine runde- und gleichmässige Form und verzahnen dadurch besser mit den Zuschlagsstoffen. Das Gewicht konnte allerdings nicht gleich reduziert werden, wie durch die Leichtzuschlagsstoffe Poraver und Perlit, dafür ist die Stabilität sehr gut.

Die Probe 13 konnte mit den Bestandteilen so eingestellt werden, dass alle Bewertungskriterien erfüllt werden konnten.

	Bindemittel	Zuschlag
Probe 13 (1:3)	- 22.68g Kaliumhydroxid - 2.64g NHL 2 - 1.32g Dispersion K9	- 60ml Brienzer Sand (< 0mm–2mm) - 30ml Hohlglaskügelchen <200müh

Alle angewandten Rezepte der Proben sind im Anhang 8.1 aufgeführt.

4.2 Versuchsaufbau der Übertragungstechnik

Der zweite Träger besteht aus einem Alurahmen mit integriertem Streckmetall, welchem den fragilen Bildfeldern Stabilität verleiht. Zusätzlich ermöglicht der Alurahmen dem Museum ein einfaches Handling und eine horizontale und vertikale Lagerung.

4.2.1 Übertragung der Bildfelder mit Vorderseite nach oben

Es wird versucht, die Bildfelder mit der Vorderseite nach oben in den zweiten Träger einzubetten. Der ausschlaggebende Punkt, um die Bildfelder mit der Vorderseite nach oben in den zweiten Träger einzusetzen ist, dass die Rahmenbäder parallel zum Alurahmen eingebettet werden.

Um dies umsetzen zu können, wurde eine Übertragungshilfe entwickelt, um die fragilen Bildfelder gleichmässig in den zweiten Träger einzusetzen.

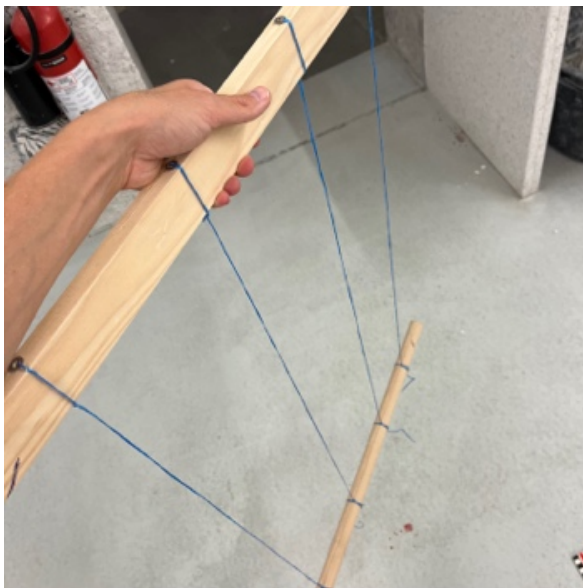


Abb. 11 Übertragungshilfe
Quelle Joel Keller

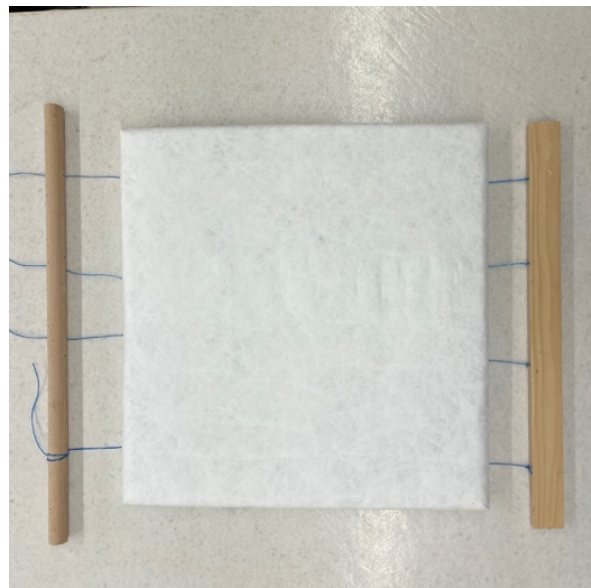


Abb. 12 Übertragungshilfe mit Prototyp
Quelle Joel Keller

4.2.2 Ergebnis der Übertragung mit der Vorderseite nach oben

Um die Übertragungstechnik zu testen wurde ein Dummy erstellt, welcher ein Bildfeld simuliert. Bei der Übertragung mit der Übertragungshilfe ist der Dummy über dem Alurahmen zerbrochen. Wahrscheinlich wurde zu wenig Spannung an den Leisten der Übertragungshilfe aufgebaut so dass die Spannfäden zu wenig Spannung hatten und der Dummy unter seinem Eigengewicht zusammenbrach.

Die genaue Beschreibung des Vorgangs wird im Anhang 8.2 beschrieben.

4.2.3 Bildfeld von der Hinterseite in zweites Trägersystem einsetzen

Der Versuch, das Bildfeld mit der Vorderseite nach oben in den zweiten Träger einzusetzen ist gescheitert. Darum muss der zweite Träger von hinten auf den ersten Träger aufgebaut werden.

Da der Alurahmen auf die Rahmenbänder des Bildes eingepasst werden muss, ist es wichtig, dass die Rahmenbänder zu sehen sind. Dafür wird eine Konstruktionstisch entwickelt, welcher auf den Seiten Aussparungen aufweist, durch welche die Rahmenbänder sichtbar bleiben, obwohl das Bildfeld mit der Vorderseite nach unten zeigt. Somit ist es möglich, den zweiten Träger von hinten auf den ersten Träger aufzubauen.

Für eine genaue Einpassung der Bildfelder in den Rahmen kann ein Spiegel zur Hilfe genommen werden. Der Spiegel kann parallel zum Konstruktionstisch gelegt werden und spiegelt den unteren Teil des Bildfeldes.



Abb. 13 Bau Konstruktionstisch
Quelle Joel Keller

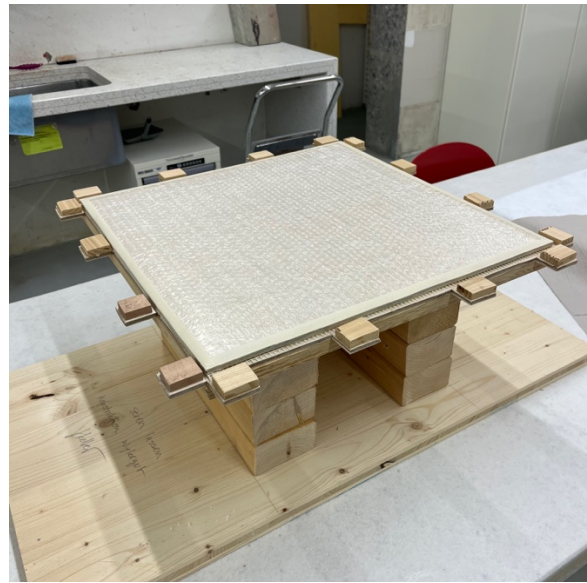


Abb. 14 Fertiger Konstruktionstisch
Quelle Joel Keller

4.2.4 Praktische Umsetzung des Konzepts

Die Tischplatte wurde abgehoben und auf der Bildfeldoberfläche platziert. Danach wurde das Bildfeld mit der Tischplatte gedreht und auf dem Übertragungstisch platziert, so dass die Rückseite des ersten Trägers ersichtlich war.



Abb. 15 Drehvorgang mit abnehmbarer Tischplatte
Quelle Joel Keller

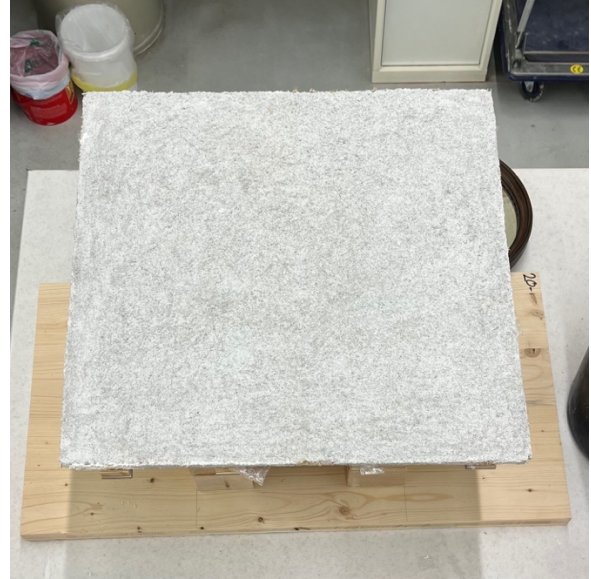


Abb. 16 Rückseite des ersten Trägers auf Konstruktionstisch
Quelle Joel Keller

Der Mörtel, welcher in 4.1.3 bestimmt wurde, konnte als Mörtel für den zweiten Träger verwendet werden.

Rezept Mörtel des zweiten Trägers

Bindemittel (1T)	Zuschlag (3T)
- 2664g Kaliumhydroxid - 264g NHL 2 - 66g Dispersion K9	- 5332g Brienzer Sand (< 0mm–2mm) - 175g Hohlglaskügelchen <200müh

Die erste Putzschicht wurde in einer Schichtdicke von 5–6mm auf den ersten Träger aufgetragen. Die zweite Putzschicht wurde auf das Streckmetall des Alurahmens, ebenfalls in einer Schichtdicke von 5–6mm aufgetragen.



Abb. 17 erste Mörtelschicht des zweiten Trägers
Quelle Joel Keller

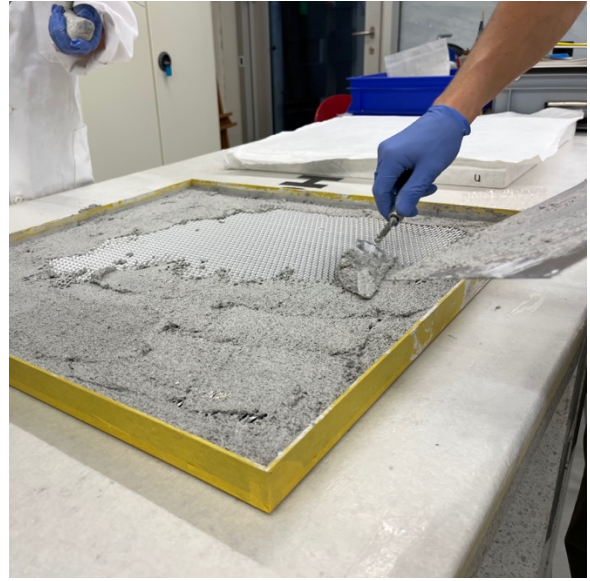


Abb. 18 zweite Mörtelschicht auf Streckmetall des zweiten Trägers
Quelle Joel Keller

Danach wurde der Alurahmen mit der feuchten Putzschicht auf das Bildfeld eingepasst.



Abb. 19 Alurahmen auf Bildfeld einpassen
Quelle Joel Keller

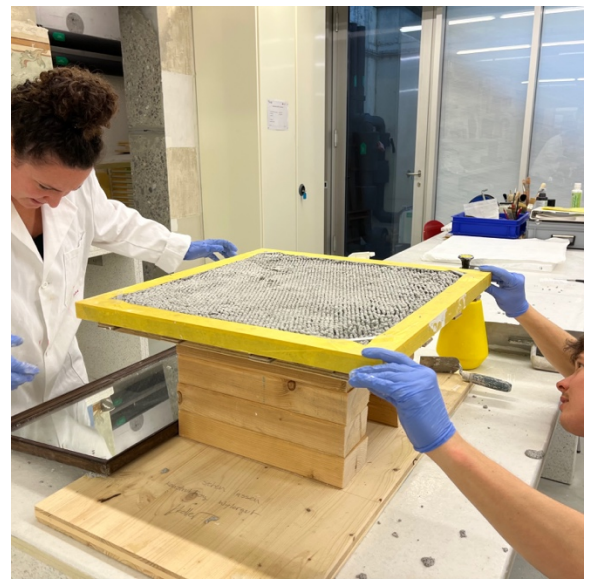


Abb. 20 genaue Einpassung des Alurahmens auf die Rahmenbänder
Quelle Joel Keller

Für das Einpassen wurde mit Hilfe eines Spiegels von unten die Rahmenbänder betrachtet und den Alurahmen parallel auf die Rahmenbänder eingepasst.



Abb. 21 Einpassung via Spiegel
Quelle Joel Keller



Abb. 22 Eingepasstes Bildfeld in zweiten Träger
Quelle Joel Keller

Die Alurahmen sind auf jeder Seite 0.5cm breiter und höher, damit die Bildfelder optimal eingesetzt werden können. Zusätzlich enden die Rahmen nicht auf demselben Niveau wie die Malschichtoberfläche, sondern führen etwas darüber. Dadurch sind die Bildfelder noch etwas besser geschützt.

4.2.5 Massnahmenschichten



Abb. 23 Rückseite Feinputz
Quelle Joel Keller

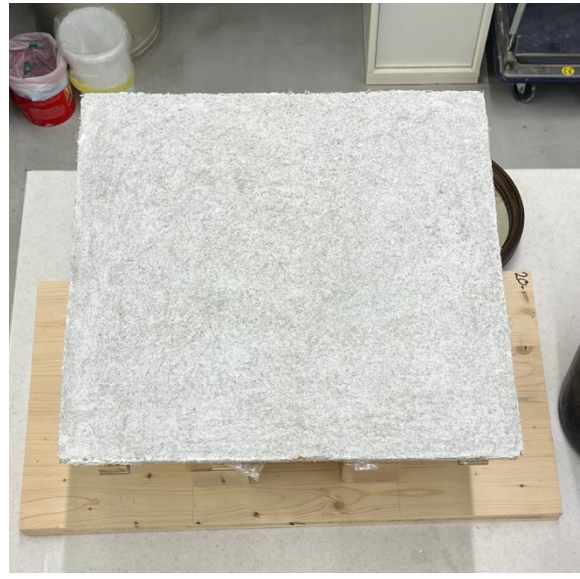


Abb. 24 Erster Träger auf Feinputz
Quelle Joel Keller



Abb. 25 Alurahmen des zweiten Trägers
Quelle Joel Keller



Abb. 26 Übertragung des zweiten Trägers auf den ersten Träger
Quelle Joel Keller



Abb. 27 Bildfeld U im Trägersystem
Quelle Joel Keller

5 Ergebnisdiskussion

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse des Mörtels des zweiten Trägers und die Übertragungstechnik evaluiert.

5.1 Endergebnis zum Mörtel des zweiten Trägers und Übertragungstechnik

Anhand des Balkendiagramms kann abgelesen werden, wie die Auswertungen der Mörtelproben im Bezug auf Gewicht, Stabilität und Wasseraufnahme ausgefallen ist.

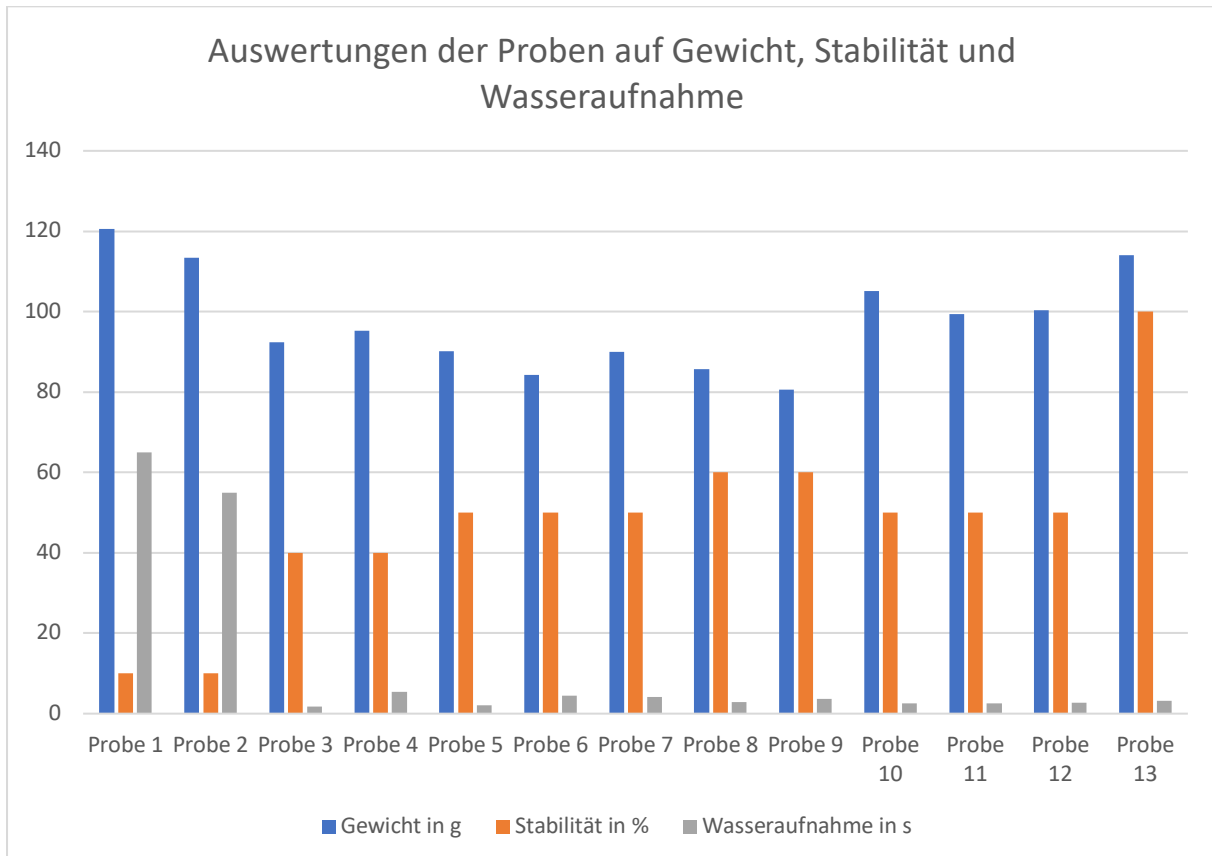


Abb. 28 Graphen der Auswertungen
Quelle Joel Keller

Das Grundrezept aus der Studie von Sala, welches Daria Jermann in ihrem FTP II verwendet hat, konnte für die Umsetzung der Bildfelder in den zweiten Träger nicht verwendet werden da die Stabilität nicht zufriedenstellend war (Probe 3). Die Rezeptur, welche aus Salas Studie entnommen wurde, ist für Fehlstellenintegration in Gewölben konzipiert worden. Wahrscheinlich sind die Bildfelder mit dem darauf enthaltenen ersten Träger für den Mörtel dieser Studie zu schwer.

Es wurde festgestellt, dass alle Proben der Versuchsreihe mit den Poraver- und Perlit Leichtzuschlagsstoffen keine optimale Stabilität, aber ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis in der Gewichtsreduktion aufwiesen. Jedoch ist die Stabilität wichtiger als die Gewichtsreduktion und darum wurde auf die Poraver- und Perlit Leichtzuschlagsstoffen verzichtet und durch Hohlglaskügelchen ersetzt. Die Hohlglaskügelchen erzielten nicht dieselbe Gewichtsreduktion, wie Poraver und Perlit, dafür aber eine sehr zufriedenstellende Stabilität.

Die Bestandteile des Mörtels sind dieselben wie die aus dem ersten Träger, ausser die Hohlglaskügelchen. Dies bringt den Vorteil, dass keine neuen Materialien dem Gefüge eingebracht werden. Je mehr verschiedene Materialien ein Rezept beinhaltet, desto mehr Angriffspunkte für problematische Materialien kann es geben. Zudem sind die verwendeten Materialien alle einfach zu beziehen und kostengünstig.

Die Übertragungstechnik

Anhand des Dummy des ersten Versuches, das Bildfeld mit der Vorderseite nach oben in den zweiten Träger einzubetten, konnte festgestellt werden, wie fragil die Bildfelder sind. Durch diese Erkenntnis wurde eine neue Übertragungsweise entwickelt. Die zweite Übertragungsart erlaubt das Bildfeld von hinten in den zweiten Träger einzusetzen. Dadurch ist das fragile Bildfeld immer durch einen starren Träger geschützt und bildet keine Gefahr des Zerbrechens.

6 Fazit und Ausblick

Ziel dieses Final Term Papers war es, einen Mörtel mit den jeweiligen Anforderungen für den zweiten Träger zu finden und eine möglichst schonende Übertragung in den zweiten Träger zu generieren. Diese beiden Ziele konnten erreicht werden.

Mit dem zweiten Träger und dem darin enthaltenen Alurahmen lassen sich die Bildfelder gut handeln oder transportieren. Auch eine platzsparende Lagerung kann mit der Rahmung generiert werden. Die Bildfelder können horizontal oder vertikal gelagert werden, jedoch wird eine horizontale Lagerung empfohlen.

Durch die erreichten Ziele dieser Arbeit können die Bildfelder in den zweiten Träger eingebettet werden. Bis und mit Ende des HS 2023 / 2024 werden bereits neun Bildfelder in den zweiten Träger eingebettet. Im Verlauf des FS 2024 wird versucht, ein Grossteil der noch nicht bearbeiteten Bildfelder fertig zu stellen.

7 Verzeichnisse

7.1 Quellenverzeichnis

Albert Knoepfl, O. E. (1997). *Reclams Handbuch der künstlerischen Techniken Band 2*. Stuttgart: Philipp Reclam jun.

C. Bläuer, C. F.-B. (2012). *Simple field tests in stone conservation. 12th international congress on the deterioration and conservation of stone* Columbia University. New York.

Jermann, D. (2022). *Daria_FPT_II_HS2022_Wandbild_Wylergut_LZMörtel*. Bern.

Kraus, K. (2004). *Kalkmörtel und Kalkfarbe, gestern, heute... und morgen?*

Ledergerber, A. (2022). *MA Thesis Alicia Ledergerber 2022*. Bern.

Maier, J. (2007). *Putz und Stuck, Material - Anwendung - Restaurierung*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

7.1.1 Internetquellen

Sala, E. (2016). *Lightweight natural lime composites for rehabilitation of Historical Heritage*.
Von <https://pdf.sciencedirectassets.com/271475/1-s2.0-S0950061816X00207/1-s2.0-S0950061816312971/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEPj%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCXVzLWVhc3QtMSJHMEUCIH%2F3AYoPPBk7vOyE%2FQ1t%2Bu85V4%2B1hWN8Dn%2F2HWPo9AefAiEA65> abgerufen

Grimm, R. (2018). *Baustoffwissen*. Von <https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/grundstoffe-des-bauens/perlit-einsatz-im-bauwesen/> abgerufen

Kremer. (2022). *Kremer Pigmente GmbH & Co.* Von <https://www.kremer-pigmente.com/elements/resources/products/files/75075-76806.uebersicht.pdf>.
abgerufen

7.2 Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1 Schichtenaufbau Bildfeld Q</i>	<i>S.4</i>
<i>Abb. 2 Alurahmen des zweiten Trägers</i>	<i>S.7</i>
<i>Abb. 3 Rückseite Alurahmen mit Verstrebungen an 90 Grad Winkels</i>	<i>S.7</i>
<i>Abb. 4 Alurahmen über Bildoberfläche</i>	<i>S.7</i>
<i>Abb. 5 Bildfeld U in eingebettetem zweiten Träger</i>	<i>S.7</i>
<i>Abb. 6 Proben in Gussform</i>	<i>S.11</i>
<i>Abb. 7 Probewürfel auf Wage</i>	<i>S.12</i>
<i>Abb. 8 Bruchtest Probewürfel</i>	<i>S.12</i>
<i>Abb. 9 Tropfentest</i>	<i>S.12</i>
<i>Abb. 10 Optischer Vergleich</i>	<i>S.12</i>
<i>Abb. 11 Übertragungshilfe</i>	<i>S.13</i>
<i>Abb. 12 Übertragungshilfe mit Prototyp</i>	<i>S.13</i>
<i>Abb. 13 Bau Konstruktionstisch</i>	<i>S.14</i>
<i>Abb. 14 Fertiger Konstruktionstisch</i>	<i>S.14</i>
<i>Abb. 15 Drehvorgang mit abnehmbarer Tischplatte</i>	<i>S.15</i>
<i>Abb. 16 Rückseite des ersten Trägers auf Konstruktionstisch</i>	<i>S.15</i>
<i>Abb. 17 erste Mörtelschicht des zweiten Trägers</i>	<i>S.16</i>
<i>Abb. 18 zweite Mörtelschicht auf Streckmetall des zweiten Trägers</i>	<i>S.16</i>
<i>Abb. 19 Alurahmen auf Bildfeld einpassen</i>	<i>S.16</i>
<i>Abb. 20 genaue Einpassung des Alurahmens auf die Rahmenbänder</i>	<i>S.16</i>
<i>Abb. 21 Einpassung via Spiegel</i>	<i>S.17</i>
<i>Abb. 22 Eingepasstes Bildfeld in zweiten Träger</i>	<i>S.17</i>
<i>Abb. 23 Rückseite Feinputz</i>	<i>S.18</i>
<i>Abb. 24 Erster Träger auf Feinputz</i>	<i>S.18</i>
<i>Abb. 25 Alurahmen des zweiten Trägers</i>	<i>S.18</i>
<i>Abb. 26 Übertragung des zweiten Trägers auf den ersten Träger</i>	<i>S.18</i>
<i>Abb. 27 Bildfeld U im Trägersystem</i>	<i>S.19</i>
<i>Abb. 28 Graphen der Auswertungen</i>	<i>S.20</i>

8 Anhang

8.1 Mörtelprobe

Alle ausprobierten Mörtelrezepte;

Rezepte;

	Bindemittel	Zuschlag
Probe 1 1:3	- 400ml NHL5	- 600ml Brienzer Sand (<0mm–2mm) - 600ml Perlit (<4mm)
Probe 2 1:2	- 400ml NHL5	- 400ml Brienzer Sand (<0mm–2mm) - 400ml Perlit (<4mm)
Probe 3 1:2	- 400ml NHL5	- 266.5ml Brienzer Sand (<0mm–2mm) - 533ml Blähglas (Porava) - 0.4ml Hanf Blähglas wurde in verschiedenen Kugelgrössen zusammen gemischt; - 53.3ml (10%) 2mm–4mm - 106.6ml (20%) 1mm–2mm - 213.2ml (40%) 0.5mm–1mm - 159.9ml (30%) 0.25mm–0.5mm
Probe 4 1:2	- 400ml NHL 5	- 266.5ml Perlit (<4mm) - 266.5ml Brienzer Sand (< 0mm–2mm) - 266.5ml Blähglas (Porava) - 0.4ml Hanf Blähglas wurde in verschiedenen Kugelgrössen zusammen gemischt; - 21.32ml (8%) 2mm–4mm - 69.29ml (26%) 1mm–2mm - 101.27ml (38%) 0.5mm–1mm Zum Blähglas wurden noch Hohlglaskügelchen beigemischt; - 74.62ml (28%) Hohlglaskügelchen <200müh
Probe 5 1:1	- 400ml NHL 5	- 133.25ml Perlit (<4mm) - 133.25ml Brienzer Sand (< 0mm–2mm) - 133.25ml Blähglas (Porava) - 0.4ml Hanf Blähglas wurde in verschiedenen Kugelgrössen zusammen gemischt; - 10.66ml (8%) 2mm–4mm - 34.64ml (26%) 1mm–2mm - 50.63ml (38%) 0.5mm–1mm Zum Blähglas wurden noch Hohlglaskügelchen beigemischt; - 37.31ml (28%) Hohlglaskügelchen <200müh

Probe 6 1:2	- 45ml Kalk (Calciumcarbonat)	- 30ml Perlit (<4mm) - 30ml Brienzer Sand (< 0mm–2mm) - 30ml Blähglas (Porava) Blähglas wurde in verschiedenen Kugelgrössen zusammen gemischt; - 2.4ml (8%) 2mm–4mm - 7.8ml (26%) 1mm–2mm - 11.4ml (38%) 0.5mm–1mm Zum Blähglas wurden noch Hohlglaskügelchen beigemischt; - 8.4ml (28%) Hohlglaskügelchen <200müh
Probe 7 1:2	- 45ml Kalk (Calciumcarbonat) - 0.1ml Dispersion K9	- 30ml Perlit (<4mm) - 30ml Brienzer Sand (< 0mm–2mm) - 30ml Blähglas (Porava) Blähglas wurde in verschiedenen Kugelgrössen zusammen gemischt; - 2.4ml (8%) 2mm–4mm - 7.8ml (26%) 1mm–2mm - 11.4ml (38%) 0.5mm–1mm Zum Blähglas wurden noch Hohlglaskügelchen beigemischt; - 8.4ml (28%) Hohlglaskügelchen <200müh
Probe 8 1:2	- 22.5ml Kalk (Calciumcarbonat) - 22.5ml NHL 5	- 30ml Perlit (<4mm) - 30ml Brienzer Sand (< 0mm–2mm) - 30ml Blähglas (Porava) Blähglas wurde in verschiedenen Kugelgrössen zusammen gemischt; - 2.4ml (8%) 2mm–4mm - 7.8ml (26%) 1mm–2mm - 11.4ml (38%) 0.5mm–1mm Zum Blähglas wurden noch Hohlglaskügelchen beigemischt; - 8.4ml (28%) Hohlglaskügelchen <200müh
Probe 9 1:2	- 22.5ml Kalk (Calciumcarbonat) - 22.5ml NHL 5 - 0.1ml Dispersion K9	- 30ml Perlit (<4mm) - 30ml Brienzer Sand (< 0mm–2mm) - 30ml Blähglas (Porava) Blähglas wurde in verschiedenen Kugelgrössen zusammen gemischt; - 2.4ml (8%) 2mm–4mm - 7.8ml (26%) 1mm–2mm - 11.4ml (38%) 0.5mm–1mm Zum Blähglas wurden noch Hohlglaskügelchen beigemischt; - 8.4ml (28%) Hohlglaskügelchen <200müh

Probe 10 1:2	- 22.5ml Kalk (Calciumcarbonat) - 22.5ml NHL 5	- 45ml Brienzer Sand (< 0mm–2mm) - 45ml Blähglas (Porava) Blähglas wurde in verschiedenen Kugelgrössen zusammen gemischt; - 3.6ml (8%) 2mm–4mm - 11.7ml (26%) 1mm–2mm - 17.1ml (38%) 0.5mm–1mm Zum Blähglas wurden noch Hohlglaskügelchen beigemischt; - 12.6ml (28%) Hohlglaskügelchen <200müh
Probe 11 1:2	- 22.5ml Kalk (Kaliumhydroxid) - 22.5ml NHL 5 - 0.1ml Dispersion K9	- 45ml Brienzer Sand (< 0mm–2mm) - 45ml Blähglas (Porava) Blähglas wurde in verschiedenen Kugelgrössen zusammen gemischt; - 3.6ml (8%) 2mm–4mm - 11.7ml (26%) 1mm–2mm - 17.1ml (38%) 0.5mm–1mm Zum Blähglas wurden noch Hohlglaskügelchen beigemischt; - 12.6ml (28%) Hohlglaskügelchen <200müh
Probe 12 1:3	- 22.68g Kaliumhydroxid - 2.64g NHL 2 - 1.32g Dispersion K9	- 53.33g Brienzer Sand (< 0mm–2mm) - 26.66g Blähglas (Porava) Blähglas wurde in verschiedenen Kugelgrössen zusammen gemischt; - 9.06g (34%) 1mm–2mm - 10.13g (38%) 0.5mm–1mm Zum Blähglas wurden noch Hohlglaskügelchen beigemischt; - 7.46g (28%) Hohlglaskügelchen <200müh
Probe 13 1:3	- 22.68g Kaliumhydroxid - 2.64g NHL 2 - 1.32g Dispersion K9	- 60ml Brienzer Sand (< 0mm–2mm) - 30ml Hohlglaskügelchen <200müh

8.2 Auswertung aller Proben

	Gewicht	Stabilität (Bruch)	Wasseraufnahme	Optischer Vergleich
Probe 1	120.50g	ungenügend	65s	Gut
Probe 2	113.35g	ungenügend	55s	Gut
Probe 3	92.40g	ungenügend	1.7s	Gut
Probe 4	95.23g	ungenügend	5.4s	Gut
Probe 5	90.13g	ungenügend	2.1s	Gut
Probe 6	84.27g	ungenügend	4.4s	Gut
Probe 7	90.00g	ungenügend	4.2s	Gut
Probe 8	85.76g	ungenügend	2.8s	Gut
Probe 9	80.58g	ungenügend	3.6s	Gut
Probe 10	105.18g	ungenügend	2.6s	Gut
Probe 11	99.41g	ungenügend	2.5s	Gut
Probe 12	100.34g	ungenügend	2.7s	Gut
Probe 13	114.00g	Gut- sehr gut	3.2s	Gut

P1 und P2 basieren nicht auf einem bereits getesteten Rezept, sondern wurden entwickelt, da das Material Perlit sehr günstig und einfach zu beziehen ist. Die Auswertung hat jedoch ergeben, dass die Proben in ihrer Stabilität unzufrieden stellend. Dadurch wurde das Rezept in P3 von Daria Jermann verwendet, welches Sie an ihren Prototypen verwendet hatte. Zusätzlich wurde noch ihr Fazit des FTP II evaluiert und in P4 umgesetzt. Im Unterschied von P3 zu P4 wurde die Korngrößenverteilung mittels Beigabe von Hohlglaskügelchen verändert. In P5 wurde dieselben Zuschlagsstoffe verwendet wie in P4, jedoch das Bindemittel / Zuschlagsverhältnis auf 1:1 verändert.

Die Proben waren alle in ihrer Stabilität ungenügend. Aus diesem Grund wurden nochmals sechs weitere Proben zusammengestellt. Bei den neuen Proben wurde das Bindemittel zusätzlich noch verändert. Durch eine Recherche konnte festgestellt werden, dass das NHL sehr lange feucht gehalten werden muss, um Wasser in die hydraulische Bindung einbauen zu können (Kraus, 2004, S. 5.6). Wenn dies nicht geschieht, kann der Kalk verbrennen und es entsteht keine optimale Haftung. Möglicherweise ist dies bei den Proben 1 – 5 passiert.

Für die Umsetzung am originalen Bildfeld ist somit das Bindemittel aus reinem NHL nicht die optimale Lösung, da das Bildfeld nicht einer zu langen Feuchtigkeit ausgesetzt werden will. Aus diesem Grund wurden in den Proben 6 – 12 der NHL- Anteil reduziert und Calciumcarbonat beigemischt.

Die Auswertung der Proben 6 – 12 haben gezeigt, dass das Gewicht durch die Leichtzuschlagsstoffe stark reduziert werden konnte, jedoch in ihrer Stabilität ungenügend und somit nicht für die Umsetzung als Träger 2 funktionieren.

Alle Proben, welche mit Leichtzuschlagsstoffen ergänzt wurden, zeigen eine ungenügende Stabilität, dass könnte einerseits mit der niederen Dichte der Zuschläge zusammenhängen, andererseits mit ihrer Form. Die Form des Poraver- Leichtzuschlags ist kugelförmig und somit haben die Zuschlagsstoffe keine Möglichkeit für eine innige Verzahnung. Aus diesem Grund wurde eine letzte Probe entwickelt, welcher bei den Zuschlagsstoffen 1/3 Hohlglaskügelchen beigemischt wurden und dafür kein Poraver. Die Hohlglaskügelchen haben eine scharfkantige Form und sind nicht kugelförmig, was eine bessere Verzahnung verspricht.

Anforderungen von Jermann an den Mörtel des zweiten Trägers
(Jermann, 2022, S. 8)

Kriterien	Erfüllt	Mässig erfüllt	Nicht erfüllt
Kalkmörtel Chemische und mechanische Ähnlichkeit zum originalen Mörtel	X		
Mineralische oder natürliche Zuschläge Diese entsprechen den konservatorischen Anforderungen einer guten Alterungsbeständigkeit und sind chemisch und material-technologisch ähnlicher am originalen Mörtel	X		
Reduktion des Gewichtes Diese unter möglichst geringstem Verlust der Druckfestigkeit des Mörtels.		X	
Hohe Druck- und Biegefestigkeit Da die Verankerung des Streckmetalls mit integriertem Rahmen in Mörtel vorgenommen wird, ist sie von grosser Bedeutung. Eine höhere Druckfestigkeit sollte allfällige Belastungen beim Handling risikoarmer für das Objekt machen	X		
Korngrösse unter 4mm Der Mörtel muss beim Auftragen die Öffnungen des Streckmetalls gut passieren können.	X		
Preisgünstig Das Budget für das Material ist limitiert.	X		

Bewertung zu den Anforderungen

8.3 Übertragungstechnik mit Vorderseite nach oben

Der zweite Träger beinhaltet ein Alurahmen, welcher dem fragilen Bildfeldern Stabilität verleiht. Zusätzlich ermöglicht der Alurahmen dem Museum ein einfaches Handling und eine horizontale und vertikale Lagerung.

Es wird versucht, die Bildfelder mit der Vorderseite nach oben in den zweiten Träger einzubetten. Der ausschlaggebende Punkt, um die Bildfelder mit der Vorderseite nach oben in den zweiten Träger einzusetzen ist, dass die Rahmenbäder parallel zum Alurahmen eingebettet werden.

Um dies umsetzen zu können, wurde eine Übertragungshilfe entwickelt, um die fragilen Bildfelder gleichmässig in den zweiten Träger einzusetzen.

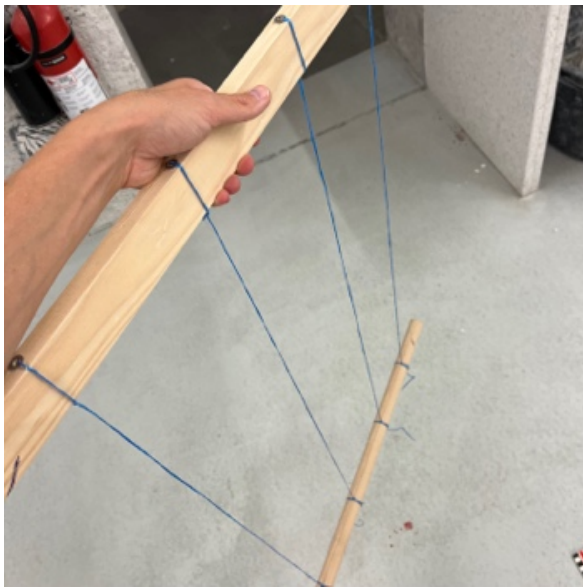


Abb.1 Übertragungshilfe
Quelle: J.Keller

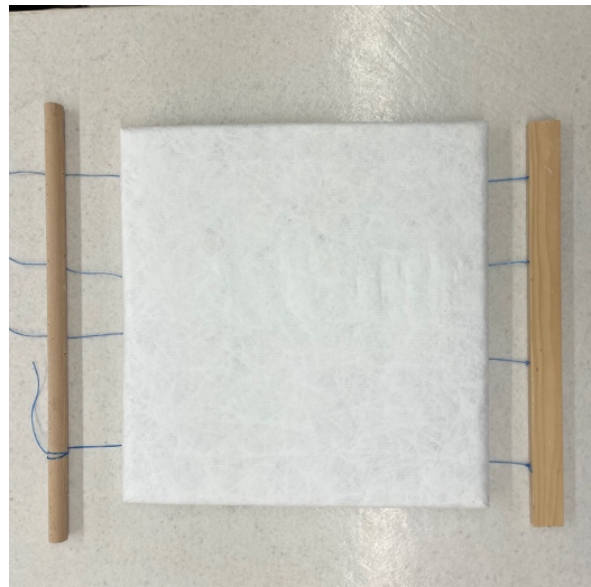


Abb.1 Übertragungshilfe mit Prototyp
Quelle: J.Keller

Das Bildfeld kann auf die Übertragungshilfe gelegt werden (Abb. 1). Mit an den Leisten rechts und links kann das Bildfeld angehoben werden. Das Bildfeld kann somit über dem zweiten Träger positioniert und platziert werden.

Wenn das Bildfeld zweiten Träger platziert ist kann die runde Leiste gelöst werden (Abb. 2) und die Schnüre unter dem Bildfeld herausgezogen werden.

8.3.1 Umsetzung der Übertragung

Um die Übertragungshilfe zu testen wurde ein Dummy hergestellt, welcher das Bildfeld simuliert. Der Dummy weist dieselbe Dicke von 10mm auf.

Der Dummy wurde mit der Übertragungshilfe in den zweiten Träger eingesetzt.



Abb.1 zerbrochener Dummy

Quelle: J.Keller

Bei der Übertragung mit der Übertragungshilfe ist der Dummy über dem Alurahmen zerbrochen. Wahrscheinlich wurde zu wenig Spannung an den Leisten der Übertragungshilfe aufgebaut so dass die Spannfäden zu wenig Spannung hatten und der Dummy unter seinem Eigengewicht zusammenbrach.