



Herstellung eines Stausee-Modells mit Vertiefung auf die Problematik der Ansammlung von Sedimenten

Maturaarbeit von Gian-Marco Schäublin
(2004)

Kantonsschule Uster

Betreuer: Jonas Zimmermann

Expertin: Tanja Jaeger

24. Oktober 2023

1. Vorwort

1.1 Themenwahl

Technische Bauten faszinieren mich seit meiner Kindheit. Ob Brücken, Tunnels oder Staudämme - im Modellbau kann man alles in kleinerem Format nachbauen und ebenfalls grundlegende Schlüsse ziehen. So war mir bereits von Anfang an klar, dass ich für meine Maturaarbeit etwas mit den Händen bauen und konstruieren wollte. Durch die aktuelle Problematik der Energieknappheit ist mir die Wichtigkeit von Wasserkraftwerken in der Schweiz noch stärker bewusst geworden. Mein Interesse, mich tiefer mit dem Thema zu beschäftigen, war geweckt. Im Geographie Unterricht bei Patrick Stettler wurde uns die Problematik der Zurückhaltung und Ablagerung von Sedimenten bei den Staudämmen vermittelt, dies ist mir sehr eindrücklich in Erinnerung geblieben. Natur und Umwelt im Einklang mit der Notwendigkeit der Gewinnung von Energie möglichst effizient zu vereinbaren, erscheint mir grundlegend und ist mir persönlich ein sehr wichtiges Anliegen.

1.2 Danksagung

Ich bedanke mich bei all denen, die mich während der Anfertigung dieser Maturaarbeit unterstützt haben.

Mein Dank gebührt Jonas Zimmermann, der mich bei dieser Arbeit betreut hat, für die hilfreichen Anregungen und konstruktive Kritik.

Zudem danke ich meinen Eltern herzlich für die moralische und finanzielle Unterstützung. Während der gesamten Zeit der Maturaarbeit konnte ich immer über aktuelle Fragen und anstehende Herausforderungen diskutieren. Dies hat mir besonders beim Bau des Modells sehr geholfen abzuwägen, welche Reihenfolge für den Zusammenbau am besten ist. Dankbar bin ich auch für die zur Verfügung gestellte Werkstatt.

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort	1
1.1 Themenwahl	1
1.2 Danksagung	1
2. Darstellungsverzeichnis.....	4
3. Abstract	6
4. Einleitung.....	7
4.1 Ziele	7
4.2 Ausgangslage der Arbeit.....	7
4.3 Aufbau der Arbeit	8
5. Theorie	9
5.1 Begrifflichkeiten zum Stausee.....	9
5.2 Entstehung Sedimente.....	9
5.2.1 Verwitterung.....	10
5.2.2 Erosion (Transport und Ablagerung)	10
5.3 Prozess der Verlandung	11
5.4 Entstehende Probleme.....	12
5.4.1 Negative Folgen aus ökonomischer Sicht	13
5.4.2 Negative Folgen aus ökologischer Sicht.....	13
5.5 Massnahmen	13
5.5.1 Massnahmen im Einzugsgebiet	15
5.5.2 Massnahmen im Stausee.....	15
5.5.3 Massnahmen an der Talsperre	16
6. Bau des Echtwassermodells	17
6.1 Planung.....	17
6.1.1 Testaufbau.....	18

6.1.2 Begründung der Bauweise.....	18
6.1.3 Konstruktion mit Computer Aided Design.....	19
<i>6.2 Ausführung</i>	<i>20</i>
6.2.1 Kosten.....	20
6.2.2 Verwendete Baustoffe, Materialien und Werkzeuge.....	20
6.2.3 Der Zusammenbau	21
7. Aufbau und videographische Darstellung	24
8. Vergleich mit der Theorie.....	24
9. Schlusswort	25
9.1 Diskussion	25
9.2 Fazit	25
10. Ausblick	27
11. Quellenverzeichnis.....	28
12. Eigenständigkeitserklärung	30
13. Anhang	31

2. Darstellungsverzeichnis

- Titelbild Schäublin Gian-Marco, 2023. Eigene Abbildung vom fertigen 3D-Modell im Programm Fusion 360. (8.10.2023)
- Abbildung 1 Schäublin Gian-Marco, 2023. Eigener schematischer Stausee Querschnitt, indem die wichtigsten Begriffe nummeriert sind. (1.10.2023)
- Abbildung 2 Oehy Christoph, Schleiss Anton 2003. Schematische Darstellung des Sedimenttransports durch Trübestrome in Stauseen.
https://www.researchgate.net/figure/Abb-3-Schematische-Darstellung-des-Sedimenttransports-durch-Truebestroeme-in-Stauseen_fig1_37463868
(Zugriff: 12.09.2023)
- Abbildung 3 Oehy Christoph, Schleiss Anton 2002. Übersicht über präventive und retroaktive Massnahmen gegen die Verlandung. Wasser Energie Luft. (Nr. 1/März). S. 34
- Abbildung 4 Schäublin Gian-Marco, 2023. Eigenes Foto vom Testaufbau aus PET-Flaschen für das Plastik aus Melanin. (13.5.2023)
- Abbildung 5 Schäublin Gian-Marco, 2023. Eigenes Foto vom Erstellten 3D-Modell im CAD-Programm Fusion 360. (13.5.2023)
- Abbildung 6 Schäublin Gian-Marco, 2023. Eigene technische Zeichnung der Modellkonstruktion. (27.5.2023)
- Abbildung 7 Schäublin Gian-Marco, 2023. Eigenes Foto vom Erstellen einer Bogenmauer mit dem 3D-Drucker (27.5.2023)
- Abbildung 8 Schäublin Gian-Marco, 2023. Eigenes Foto vom Test der Passform der Komponenten. (11.7.2023)
- Abbildung 9 Schäublin Gian-Marco, 2023. Eigenes Foto vom Schichten der Styroporplatten auf der Grundplatte. (27.5.2023)
- Abbildung 10 Schäublin Gian-Marco, 2023. Eigenes Foto vom Bearbeiten des Gefälles mit Spachtel. (22.8.2023)
- Abbildung 11 Schäublin Gian-Marco, 2023. Eigenes Foto von der Bohrung für das Einlassrohr. (22.8.2023)
- Abbildung 12 Schäublin Gian-Marco, 2023. Eigenes Foto von der Versiegelung der Gipsoberfläche mit Universallack. (22.8.2023)

Abbildung 13 Schäublin Gian-Marco, 2023. Eigenes Foto von der Entfernung von überschüssigem Silikon durch Fugenglätter. (22.8.2023)

Abbildung 14 Schäublin Gian-Marco, 2023. Eigenes Foto von Seitenansicht des Modells mit Auslassventilen. (22.8.2023)

Abbildung 15 Schäublin Gian-Marco, 2023. Eigenes Foto vom fertigen Modell bereit für die Aufnahmen. (10.10.2023)

Abbildung 16 Schäublin Gian-Marco, 2023. Eigenes Foto vom befüllten Stausee-Modell ohne Sedimente. (10.10.2023)

Abbildung 17 Schäublin Gian-Marco, 2023. Erstellter QR-Code zum Video. (16.10.2023)

3. Abstract

Diese Arbeit befasst sich mit dem Thema der Verlandung durch Sedimente bei künstlich angelegten Stauseen in den Alpen. Die Fragestellung, ob anhand eines kompakten Modells mit Echtwasser die Abläufe der Verlandung in einem Stausee vereinfacht dargestellt werden können, steht im Fokus. Dabei werden die Prozesse rund um die Thematik des Sedimentmanagements aufgearbeitet und verständlich erklärt.

Die Konstruktion und der Bau eines Modells zur Veranschaulichung der ablaufenden Prozesse bei der Ansammlung von Sedimenten in einem Stausee ist ein dominierender Teil dieser Maturaarbeit. Die einzelnen Bauphasen für das Modell, von der Ideenfindung bis hin zum fertigen Endprodukt, sind Bestandteil dieser Arbeit. Aufbauend sind die Teilschritte aufgezeichnet in schriftlicher und bildlicher Abfolge. Die dabei aufgetretenen Herausforderungen werden geschildert, ebenso wie die entsprechenden Lösungsfindungen. Das erstellte Stauseemodell ist funktionsfähig und stellt die Problematik auf vereinfachte und anschauliche Weise gut dar. Auch das aufgenommene Videomaterial zeigt die Prozesse, welche in einem realen Stausee verborgen bleiben, gut nachvollziehbar auf. Beides, Modell und Video, können zur Verständlichkeit und Anschaulichkeit bei der Vermittlung der Problematik an Laien gut verwendet werden.

4. Einleitung

Mit dem Klimawandel, der Energiewende und der Energiemangellage steht die Wasserkraft mit ihrer zentralen Funktion, Strom rund um die Uhr zur Verfügung zu stellen, immer mehr im Zentrum. Insbesondere in der Schweiz, dem Wasserschloss Europas, ist Wasserkraft eine Energiegewinnungsform mit Schlüsselfunktion.

Jeder See steht dem natürlichen Prozess der Verlandung gegenüber, indem er mit Sedimenten aufgefüllt wird und ohne eine menschliche Intervention irgendwann zu Land wird. Dieser Prozess hat eine Auswirkung sowohl auf die Effizienz des Kraftwerks als auch auf die Umwelt.

Bereits heute übertrifft der weltweit jährliche mittlere Verlust an Speichervolumen durch Verlandung die jährliche Volumenzunahme durch Neubauten von Stauseen. Die Verlandung gefährdet dadurch stark die nachhaltige Spitzenenergieproduktion. Folglich ist dieser Prozess nicht zu vernachlässigen und Lösungsmöglichkeiten zu dieser Problematik stehen im Fokus bei der Weiterentwicklung dieser Energiegewinnungsform.¹

4.1 Ziele

Ziel dieser Arbeit soll sein, von Grund auf die Problematik und Lösungsansätze rund um den Vorgang der Verlandung von künstlichen Speicherseen im alpinen Raum, einer nichtkundigen Person verständlich aufzuzeigen.

Die Machbarkeit der Visualisierung und Simulation anhand eines Modells soll quantitativ überprüft werden.

Dadurch soll ebenfalls bei Erfolg der Erstellung des Modells mithilfe eines videografischen Zusammenschnitts eine vertiefte Sensibilisierung des Lesers für das Thema der Verlandung geschaffen werden.

4.2 Ausgangslage der Arbeit

Der schriftliche Teil der Arbeit basiert auf unterschiedlichen Quellen, welche sich insbesondere vertieft mit der Verlandung von Stauhaltungen im alpinen Gebiet auseinandersetzen.

¹ Boes Robert, Schleiss Anton, Reindl Robert – Die zunehmende Stauraumverlandung setzt der Wasserkraft weltweit zu, 2020

Bezüglich des Baus des Modells wurde von Grund auf eine eigens geplante Konstruktion zur Umsetzung gebracht. In die konzipierte und einzigartige Modell-Konstruktion sind unterschiedliche Ideen aus dem Bereich der Hydrologie eingeflossen.

4.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit besteht aus drei Teilen.

Zuerst wird die Ausgangslage der Speicherseen und ihren Prozessen anhand Fachliteratur aufgearbeitet und strukturiert die daraus entstehenden Probleme erklärt.

Anschliessend wird vertieft auf die Konzepterarbeitung, Planung und Umsetzung des Baus, eines Modells zur Visualisierung der Verhandlungsprozesse eingegangen.

Abschliessend wird die Funktionalität überprüft und ein Fazit gezogen, welches zur Diskussion gebracht wird. Die einzelnen Schritte werden in schriftlicher, foto- und videografischer Form festgehalten.

5. Theorie

5.1 Begrifflichkeiten zum Stausee

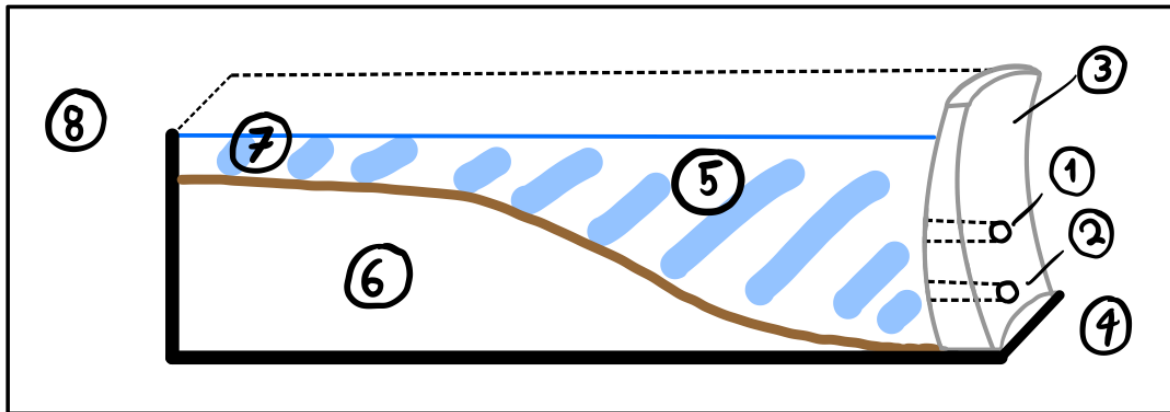


Abbildung 1: Schematischer Stausee Querschnitt, indem die wichtigsten Begriffe nummeriert sind

Um die Abläufe im und um den Stausee zu beschreiben, braucht man die im Folgenden erklärten Grundbegriffe.²

Einzugsgebiet (Nr. 8 in Abbildung): Gelände rund um den Speichersee, wovon Wasser bezogen wird. Zufluss (7): Mündung eines Fließgewässers in den See, Entstehung von Delta durch Sedimente. Erodierbarer Untergrund und Ablagerungen (6): auf einem festen Geländegrund angelagertes Gesteins Material. Stauraum (5): umfasst das gesamte Wasservolumen vom Grund bis zur Oberkante der Staumauer, auch genannt Talsperre (3). Grundablass (2): sitzt im untersten Bereich der Staumauer und ermöglicht eine komplette Entleerung des Sees. Triebwasserauslass (1): befindet sich oberhalb des Grundablasses und speist die Turbinen zur Stromproduktion mit Wasser. Unterwasser (4): Das Wasser wird wieder in einen Fluss zusammengeführt.

Mit dieser kurzen Aufarbeitung der wichtigsten Begriffe kann nun in den Ablauf der Verlandung eingestiegen werden.

5.2 Entstehung Sedimente

Sedimente entstehen durch die Wirkung und Verkettung unterschiedlicher Prozesse. Dabei folgen Verwitterung, Erosion, beziehungsweise Transport und Ablagerung aufeinander. Gesteinsmaterial wird beim Durchlaufen dieser Prozesse immer weiter zerkleinert und kommt

² Vischer - Verlandung von Stauhaltungen und Speicherseen im Alpenraum, 1981

zum Schluss in einer sehr feinen Korngrösse mit teilweise neuen Eigenschaften zur Ablagerung. Dabei handelt sich um klastisches Sediment, da es aus bereits bestehendem Gestein entsteht, welches grundlegend in seiner Form verändert wurde.

Folgend werden die Prozesse der Verwitterung und Erosion beschrieben.³

5.2.1 Verwitterung

Die Verwitterung bringt Mineralien und Gestein zum Zerfall und ist der Impuls für die darauffolgende Prozesskette bis hin zur Sedimentation.

In den Bergen setzt sich die Verwitterung aus physikalischen, chemischen und den biologischen Prozessen zusammen. Es ist also eine Kombination von unterschiedlichen, verketteten Umweltfaktoren, welche in Synergien den Zerfall und die Zersetzung von Gesteinen vorantreiben. Wasser, Wind und Temperatur sind dabei die wichtigsten Verwitterungsverursacher und machen die physikalische Verwitterung massgeblich aus.⁴

Nach Seroka (3) gehören folgende Prozesse zu den zentralen physikalischen Verwitterungsarten:⁵

- Temperaturverwitterung
- Druckentlastungsverwitterung
- Frostverwitterung
- Salzverwitterung
- Quelldruckverwitterung
- Hydratation

5.2.2 Erosion (Transport und Ablagerung)

Im Vergleich zur Verwitterung findet bei der Erosion ein Transport statt. Im alpinen Raum sind dafür die Aktivitäten von Gletscher, Niederschlag und Fliessgewässer von zentraler Bedeutung. Mit ihnen wird das abgetragene Gesteinsmaterial abgeführt und Tal abwärts transportiert. Es wird auch als Geschiebe und Suspension in Verbindung mit Wasser definiert.

Durch diesen Transport von Kies und Steinen im Flussbett werden durch Kollisionen neue Gesteine in den Frachteffekt des Flusses hineingezogen und dadurch weiter zerkleinert.

³Chemie – Sedimente und Sedimentgesteine

⁴ Seroka, Peter – Verwitterung, 2023

⁵ Seroka, Peter – Physikalische Verwitterung, 2023

Es entsteht ein sich selbstverstärkender Prozess und es wird immer mehr Material erodiert. Dabei entstehen ebenfalls Schwebstoffe, welche aus feinen Partikeln wie Schlamm und Ton bestehen. Dabei gilt, je grösser das Gefälle und die Abflussmenge des Flusses ist, desto grösser sind die im Geschiebe mitgeführten Gesteinsfragmente.⁶

In der Fachliteratur wird ein Grenzkorn von 1mm als Richtgrösse für den Übergang von Geschiebe zu Schwebstoff definiert.⁷

Die Abfolge der Verwitterung und Erosion laufen oft parallel ab. Dabei wiederholen sich die Abläufe immer wieder. Die Menge des abgetragenen Materials ist dabei stark von der Grösse und Beschaffenheit des Einzugsgebietes abhängig.

Zum Schluss kommt es zur Sedimentation, was folgend unter dem Prozess der Verlandung beschrieben wird.

5.3 Prozess der Verlandung

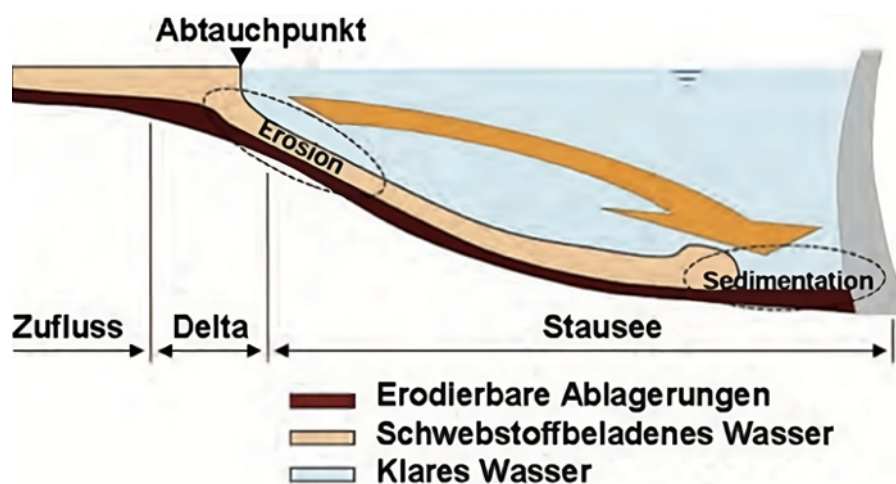


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Sedimenttransports durch Trübe in Stauseen

Mit abnehmender Stromgeschwindigkeit eines Flusses, welcher in einen See mündet, nimmt seine Kraft ab.

Hinsichtlich des Transports der Gesteinsmedien bedeutet dies eine Ablagerung am Seeboden, da ein Mitführen von Material nicht mehr weiter möglich ist. Dabei wird die Materialfracht, je nach Grösse und Dichte unterschiedlich weit in das Gewässer hinein transportiert.

⁶ Bundesamt für Umwelt BAFU – Geschiebe und Schwebstoffe in Fließgewässern, 2022

⁷ Vischer - Verlandung von Stauhaltungen und Speicherseen im Alpenraum, 1981

Schwebstoffe bewegen sich dabei länger im Wasser und setzen sich erst viel später als das dichtere Geschiebe, wie Sand und Kies.

Grundsätzlich findet der Prozess der Akkumulation von Geschiebe bei jeder Flussmündung, hinter dem Zufluss statt und es entsteht in der Folge daraus ein Delta.

In künstlich angelegten Stauseen ist dieser Effekt am Seegrund ein Trübstrom, welcher bis weit in den See vordringt und ebenfalls weiter Material erodiert. Das mitgeführte Material sammelt sich an und lässt das Volumen des Sees immer weiter schrumpfen.

Bei Stauseen mit sich verändernden Pegelständen wird der Verlandungsprozess noch zusätzlich begünstigt. Durch die unterschiedlichen Wasserstände zieht sich das Delta noch weiter in die Länge. Der Abtauchpunkt verschiebt sich somit ebenfalls weiter nach vorne (In der Abbildung 2 nach rechts).⁸

Das Verlanden führt schliesslich zu einer immer weiter fortschreitenden Verminderung vom Fassungsvermögen des Sees.

Die Verlandungsrate hängt dabei stark mit der Grösse des Einzugsgebiets, der Beschaffenheit der Umgebung und den vorherrschenden klimatischen Bedingungen zusammen.

Infolge der Verlandung kommt es zu unterschiedlichen Problemen, welche im nächsten Kapitel genauer beschrieben werden.

5.4 Entstehende Probleme

Die Sedimentverlandung kann verschiedene negative Auswirkungen sowohl auf den Speichersee selbst als auch die umliegende Umgebung rund um das Abflussgebiets des Speichersees haben.

Eine erhöhte Sedimentfracht kann zu einer Verringerung des Speichervolumens führen, da die Sedimente den Raum einnehmen, der sonst für Wasser zur Verfügung stünde. Dies kann die Speicherfähigkeit des Sees im Laufe der Zeit drastisch verringern. Darüber hinaus kann eine erhöhte Sedimentablagerung auch die Wasserqualität beeinflussen, indem sie Nährstoffe oder Schadstoffe bindet und den Lebensraum für aquatische Organismen verändert. Zuletzt kann es auch zu einer Sicherheitsbedrohung in einer Hochwassersituation kommen.⁹

⁸ Vischer - Verlandung von Stauhaltungen und Speicherseen im Alpenraum, 1981

⁹ Stiegmaier Peter – Bewertung der Nachhaltigkeit von Talsperren am Beispiel des Staudammprojekts «El Diquís» in Costa Rica (2009)

Die akuten Probleme aus ökonomischer und ökologischer Sicht werden folgend aufgezeigt.

5.4.1 Negative Folgen aus ökonomischer Sicht

Eine der gewichtigsten Folgen aus wirtschaftlicher Perspektive ist die Verkleinerung des Speichervolumens. Der natürliche Restaurationsprozess durch die Ablagerung von Geschiebe und Schwebstoffe macht einen uneingeschränkten Betrieb zur Deckung der Spitzenenergie nicht mehr möglich. Erreichen die Ablagerungen zudem die Ausflussorgane, so kommt es in Folge zu einer höheren Abnutzung, was zu einer Beeinträchtigung unterschiedlicher hydraulischer Maschinen führt.

Insbesondere die Turbinen und Pumpen erfahren dadurch einen erhöhten hydro-abrasiven Verschleiss. Dies beeinträchtigt stark die Effizienz, wodurch hohe Betriebs- und Wartungskosten anfallen.¹⁰

5.4.2 Negative Folgen aus ökologischer Sicht

Durch das Aufstauen eines Flusslaufes, wird der natürliche Sediment Transport stark beeinträchtigt. Besonders der Unterlauf, hinter der Talsperre, wird durch die variable Abflussdynamik stark beeinflusst. Dabei kommt es zur unnatürlich geringen Wasserausleitung mit einer sehr kleinen Menge an Sedimenten. Dieses Materialdefizit hat eine verstärkte Abrasion und Vertiefung der Sohle, flussabwärts zur Folge. Die natürlichen Umwälzungen und Ablagerungen bleiben zudem im Unterlauf aus.¹¹

Für Wasserorganismen lebenswichtige biotische und abiotische Prozesse können daher unter anderem nicht mehr stattfinden.¹²

Diese teils verherenden Probleme in der Umwelt bringen uns zu den möglichen Lösungsansätzen.

5.5 Massnahmen

Besonders angesichts der immer stärkeren Verlandung durch Einflüsse des Klimawandels, wird das Thema der Lösung dieser Probleme weltweit zunehmend zur Diskussion gebracht. Es

¹⁰ Boes Robert – Wasserkraft vor Sedimenten schützen, 2016

¹¹ Stiegmaier Peter – Bewertung der Nachhaltigkeit von Talsperren am Beispiel des Staudammprojekts «El Diquís» in Costa Rica (2009)

¹² Jordi Andreas – Der ökologische Nutzen von Sediment-Bypässen, 2017

sind immer extremere Niederschlagsereignisse und der Rückgang von Gletschern, welche den Sedimenteintrag in alpinen Stauseen stark erhöhen. Es ist dabei anzumerken, dass es keine einheitliche Lösung für alle Stauhaltungen auf der Welt gibt. Jeder See ist individuell aufgebaut und in eine unterschiedliche topographische Landschaft eingebettet. Die umliegende Topografie der Landschaft hat wiederum einen Einfluss auf das Verhalten der ablaufenden Prozesse in jedem einzelnen Stausee.

Die theoretischen Massnahmen können aufgrund ihrer Einwirkungsweise in die drei Unterpunkte aufgeteilt werden: Im Einzugsgebiet, im Stausee und an der Talsperre.

Dabei sind die als nächstes beschriebenen einzelnen Massnahmen entweder zur präventiven Vorbeugung und Bekämpfung oder der retroaktiven Beseitigung der Verlandung vorgesehen.¹³ (Abbildung 3)

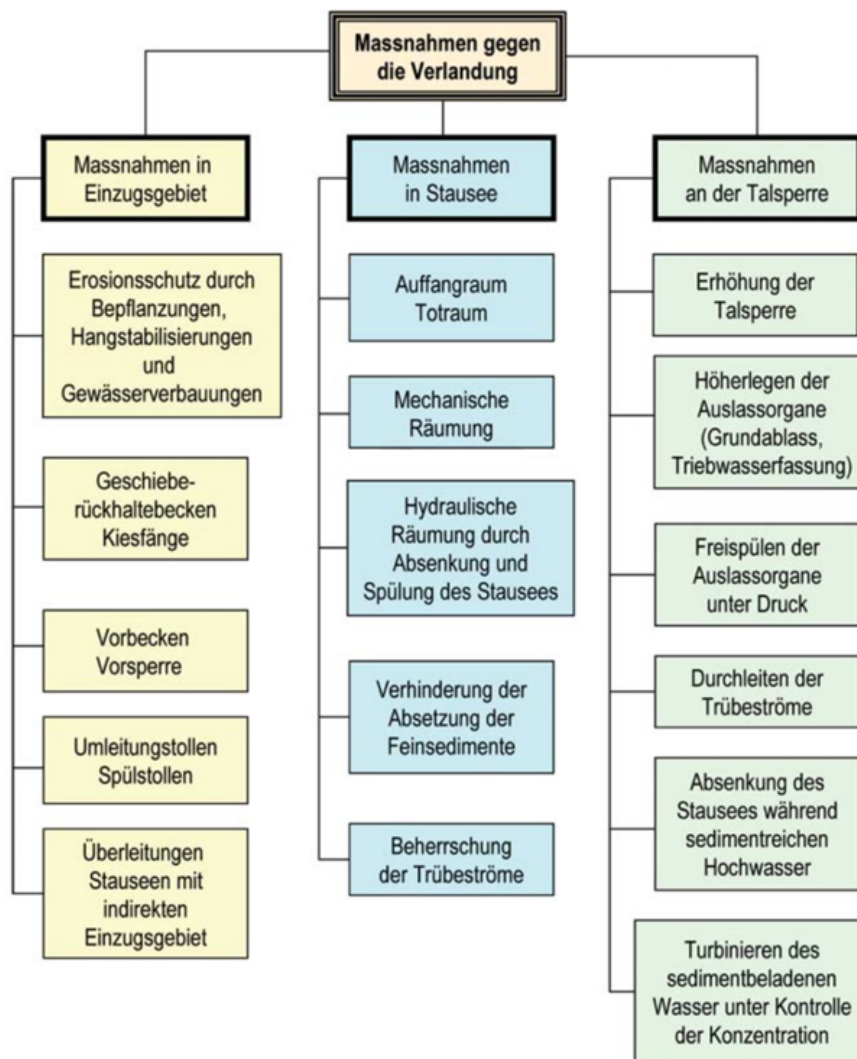


Abbildung 3: Übersicht über präventive und retroaktive Massnahmen gegen die Verlandung.

¹³ Schleiss Anton, De Cesare Giovanni, Jenzer Althaus Jolanda – Verlandung der Stauseen gefährdet die nachhaltige Nutzung der Wasserkraft, 2010

5.5.1 Massnahmen im Einzugsgebiet

Die einzige präventive Massnahme der Verlandung ist die Erosionsbekämpfung durch systematische Bepflanzungen im Einzugsgebiet. Jedoch ist dies klimatischbedingt nicht in allen alpinen Regionen möglich. In höheren Berglagen sind somit künstliche Bebauungen und technische Stabilisierungen der Gewässersohlen und Ufer notwendig.

Mithilfe von Geschieberückhaltebecken, Vorbecken und Vorsperren kann das unerwünschte Geschiebe aufgefangen und aus dem Weg geräumt werden. Zudem können Umleitungsstollen und Spülstollen grössere Mengen an Material in Hochwasserzeiten abfangen und diese in Form eines Bypasses um den Speichersee leiten. Diese Massnahme hat ebenfalls einen positiven Einfluss auf Flora und Fauna im Unterlauf, hinter der Stauhaltung (vgl. Abschnitt 5.4.2).¹⁴

5.5.2 Massnahmen im Stausee

Nach dem Eintritt der Sedimente in den See sind nur noch retroaktive Massnahmen möglich. Zum Schutz und der Erhaltung des Nutzraumes werden bereits in der Planung der Stauseen Auffangräume eingeplant, welche sich über etwa 50 Jahre hinweg auffüllen. Ist dieser Raum aufgefüllt wird dieser zum Totraum und das Material setzt sich anschliessend im Nutzraum ab. Durch mechanische Räumungen mit Baggern lässt sich dieser Prozess der Verlandung hinauszögern.

Ebenfalls gibt es die Ansätze der hydraulischen Räumung. Hierbei wird mit Hilfe von verlegten Leitungen am Seegrund das Sediment abgesogen. Als sehr effizient erweist sich zudem die hydraulische Räumungsmethode mit Spülungen durch den Grundablass. Dazu wird in kurzer Zeit der See teilweise oder sogar ganz, entleert, wobei flussabwärts die hohe Feststoffbelastung ökologische Probleme hervorrufen kann.

Feinsedimente wie Schwebstoffe können durch eine genügend starke Wasserturbulenz mit einem Grossmixer im Schweben gehalten werden. Durch das Verhindern eines sich Absetzens dieser feinsten Teile vor der Talsperre können die Schwebstoffe im Normalbetrieb des Stausees durch die Triebwasserentlassung aus dem Seebecken gelangen. Neue Turbinen haben immer fortschrittlichere Materialien, wodurch ein starker Verschleiss durch Abrasion ausgeschlossen werden kann.

¹⁴ Schleiss Anton, Oehy Christoph – Verlandung von Stauseen und Nachhaltigkeit, 2002

Zum Schluss kann ebenfalls die Kontrolle des Trübstroms als Massnahme gegen die Verlandung angewendet werden. Diese zielen auf das Aufhalten, Umlenken und Verdünnen dieser lawinenartigen Ströme ab.¹⁵

5.5.3 Massnahmen an der Talsperre

Für den Fall, dass bereits ein grosser Anteil des Nutzvolumens durch die Verlandung verlorengegangen ist, kann durch eine Talsperrenerhöhung die ursprüngliche Volumenkapazität wiederhergestellt werden. Ist ein einwandfreier Betrieb durch die Verstopfung der Auslassorgane nicht mehr möglich, kann keine Spülung, wie im Abschnitt 5.5.2 beschrieben, durchgeführt werden. Die Auslassorgane an der Talsperre müssen erhöht werden. Ansonsten wäre die Sicherheit des Dammes nicht mehr gewährleistet und der Prozess der Verlandung könnte weiter voranschreiten. Wenn noch möglich kann der Grundablass durch eine Freispülung unter Druck freigeräumt werden. Dabei werden im Vergleich zur Spülung die Ablässe nur kurz geöffnet. Dadurch geht nicht viel Wasser verloren und es entsteht eine trichterförmige Freiräumung der Sedimente rund um das Auslassorgan. Durch ein geschicktes Management können ebenfalls gezielt Trübströme und Geschiebe in Hochwasserzeiten direkt durch die Auslassorgane durchgeleitet werden. Zum Schluss ist es mithilfe neuer Technologien (Sensoren) möglich ein genaues Monitoring der Feststoffkonzentration durchzuführen. Mit deren Hilfe können gezielt Sedimente dem Triebwasser hinzugefügt werden.¹⁶

¹⁵ Schleiss Anton, Oehy Christoph – Verlandung von Stauseen und Nachhaltigkeit, 2002

¹⁶ Schleiss Anton, Oehy Christoph – Verlandung von Stauseen und Nachhaltigkeit, 2002

6. Bau des Echtwassermodells

Für den zweiten, praktischen Teil dieser Arbeit, die Verlandung anhand eines Modells aufzuzeigen, war es notwendig sich mit allen theoretischen Prozessen durch intensive Recherche vertraut zu machen. Denn eine Eingrenzung der Dimensionen musste bereits zu Beginn stattfinden, um ein klares und realisierbares Ziel zu haben.

Aus praktikablem Grund und begrenzten räumlichen Ressourcen in der vorhandenen Werkstatt, wurde ein Modell im Rahmen einer Tischplattengrösse (80 x 55 cm) anvisiert. Dies erforderte im Voraus eine genaue Planung und praktische Tests vorweg, um die einzelnen Elemente wie die Staumauer und den Einlass im Modell sinnvoll anzubringen. Dieser Entwicklungsprozess wird in den nächsten Abschnitten beschrieben und erklärt.

6.1 Planung

Zur Visualisierung des Prozesses mit einem Fluid, wurde von Beginn an klar, dass dies nur mit echtem Wasser umsetzbar ist. Hierfür muss folglich ein passender Aufbau gestaltet werden, welcher wasserdicht und eine originalgetreue Wasserströmung ermöglicht. Für eine erfolgsversprechende Umsetzung braucht es zudem auch das passende Material, welches als Substitut für Geschiebe und Schwebstoff dient. Nach einer Möglichkeitsstudie mit Quarzsand aus dem Garten konnte dieses Material jedoch ausgeschlossen werden, da es mit geringen Wassermengen auf kleiner Skalierung nicht die gewünschten Transport Eigenschaften aufweist. Dafür sind viel grössere Versuchsaufbauten nötig, wie sie zum Beispiel an der VAW (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie) der ETH Zürich gemacht werden.

Mit vertiefter Recherche nach Projekten in ähnlichem Massstab mit Wasser und Sedimenten wurde ein kleines Unternehmen, «emriver», in den USA im Bundesstaat Illinois ausföndig gemacht. Dieses baut sogenannte «stream tables» zur Veranschaulichung der Entwicklung von Flüssen. Nach Absprache mit der Firmeninhaberin Katherine Poulos wurde ein Versand in die Schweiz des eigens entwickelten Plastiksands «modeling media» zugesichert. Anschliessend wurde dies direkt bestellt.

Mit den beiden fixen Gegebenheiten Wasser und Plastiksand aus Melanin zu verwenden, wurden anhand unterschiedlicher Versuche, Skizzen und 3D-Modelle erstellt, welche im Prozess

immer wieder weiter verfeinert und angepasst wurden. Dazu waren auch die Erkenntnisse aus dem Testaufbau wichtig.

6.1.1 Testaufbau

Nach der Ankunft des Melanins aus den USA wurde direkt ein Test zusammen mit Wasser vorgenommen. Dafür wurde aus leeren PET-Flaschen eine behelfsmässige Rinne erstellt, um das Verhalten des Plastiksandes zu untersuchen. Dabei ist aufgefallen, dass sehr kleine Plastikpartikel teilweise auf der Oberfläche schwimmen und nicht abtauchen. Der Grund dafür war, dass diese nicht komplett mit dem Wasser in Kontakt gekommen sind und durch die Oberflächenspannung weiter aufschwammen. Als Lösung für dieses Problem wurde erkannt, dass man das Material schon zu Beginn mit wenig Wasser befeuchten könnte.



Abbildung 4: Testaufbau aus PET-Flaschen für das Plastik aus Melanin

Der Grund dafür war, dass diese nicht komplett mit dem Wasser in Kontakt gekommen sind und durch die Oberflächenspannung weiter aufschwammen. Als Lösung für dieses Problem wurde erkannt, dass man das Material schon zu Beginn mit wenig Wasser befeuchten könnte.

6.1.2 Begründung der Bauweise

Wie bereits im Abschnitt 5.4 erwähnt, sind alle Speicherseen unterschiedlich aufgebaut. Für eine möglichst anschauliche Visualisierung des Prinzips der Verlandung wurde daher eine idealisierte Form des Stausees gesucht. Hierbei hat sich ein Plan herauskristallisiert, welcher mit Hilfe unterschiedlichen Modellzeichnungen und Querschnitten aus der Fachliteratur entstand. Mit dem Hintergrund, dass das System mit Wasser durchflossen wird und sich das Material nur langsam bewegt und ablagert, wurde entschieden ein Kreislaufsystem mit einer Pumpe zu wählen. Dadurch ist das Modell von Wasser autark und ist nur auf eine Stromversorgung angewiesen. Jedoch braucht es dazu an den Auslassorganen einen Auffangbehälter mit einem Sieb oder Tuch um das Plastik aufzufangen. Bei der Talsperre wurde aus ästhetischen Gründen eine Bogenmauer gewählt, da diese mit alpinen Stauhaltungen assoziiert wird. Zudem wurde das zusätzlich erworbene Wissen um das Verhaltens vom Melanin durch den Test (vgl. 6.1.1), in den Entwurf einbezogen. Der Einlass mit einem Trichter zum Regulieren des Melanins sollte mit einem kleinen Gefälle in das Modell münden um die Ablagerung ausserhalb des Modells, im Einlass selbst zu verhindern.

Es ist anzumerken, dass es in diesem grossen Bereich schwierig ist, ein wasserdichtes Modell mit allen ablaufenden Prozessen zu verwirklichen. Deshalb war es nicht möglich Prozesse wie

die zusätzlich stattfindende Bodenerosion im Stausee selbst aufzuzeigen, da ansonsten das Modell nicht wasserdicht oder kaum wiederverwendbar wäre. Doch mit dem Fokus auf der Veranschaulichung vom signifikanten Ablauf der Verlandung im Stausee selbst, kann eine realistische Umsetzung erfolgen. Dafür war von hoher Bedeutung, die als nächstes beschriebene genaue Konstruktion am Computer.

6.1.3 Konstruktion mit Computer Aided Design

Die selbsterstellten Skizzen mit den geplanten Grössen der Konstruktion wurden zusammengetragen und mit dem CAD-Programm (Computer Aided Design) «Fusion 360» ein dreidimensionales Modell konstruiert. Dadurch konnte eine

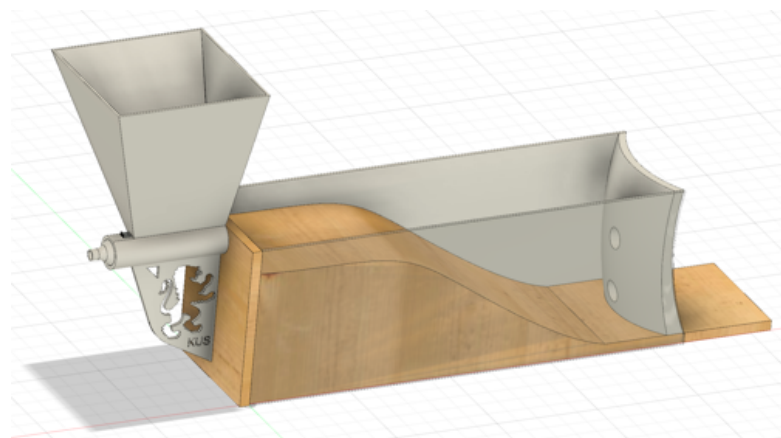


Abbildung 5: Erstelltes 3D-Modell im CAD-Programm Fusion 360

bessere Vorstellung der Funktion des geplanten Aufbaues erlangt werden. Des weiteren konnte im CAD-Programm direkt eine technische Zeichnung erstellt werden. Darauf sind die wichtigsten Ansichten und alle Bemassungen in Millimeter genau angegeben. Diese diente in der Werkstatt als übersichtliche Bauanleitung und Orientierungshilfe während des Zusammenbaus. Dieser Zusammenbau der unterschiedlichen Materialien wird im angehenden Abschnitt kommentiert. Das Modell steht im Anhang zum Download zur Verfügung.

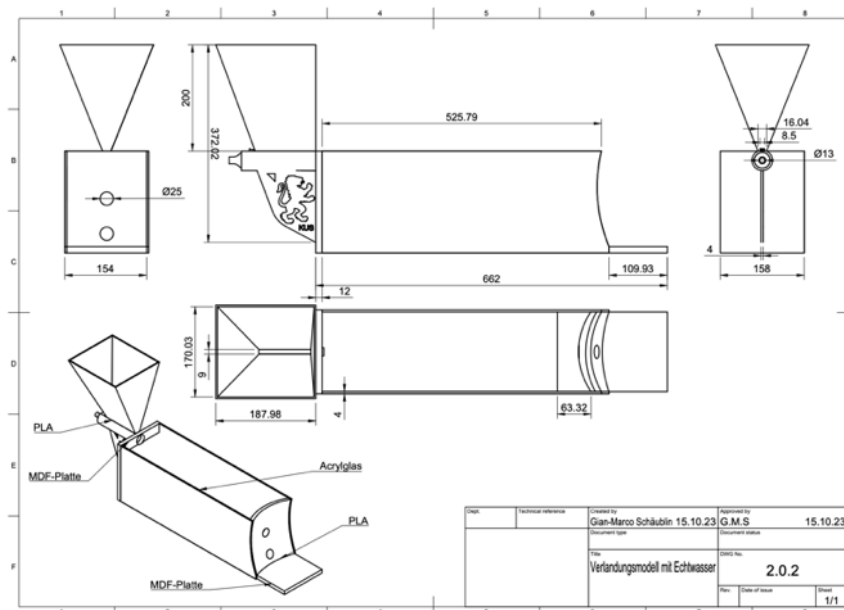


Abbildung 6: Technische Zeichnung der Modellkonstruktion

6.2 Ausführung

6.2.1 Kosten

Für den Bau mussten nur die nicht vorhandenen Baustoffe neu gekauft werden. Alle Werkzeuge konnten aus dem verfügbaren Bestand verwendet werden. Die Gesamtkosten belaufen sich auf CHF 296.95. Die genaue Abrechnung ist im Anhang vorzufinden.

6.2.2 Verwendete Baustoffe, Materialien und Werkzeuge

Im Verlauf des Bauprozesses wurde immer wieder abgewogen, ob die geplanten Baumaterialien zueinander passen und somit das erwünschte Ergebnis erzielt werden kann. Deshalb wurden nicht alle Materialien auf einmal gekauft. Die einzelnen Teile wurden nach und nach ergänzt und dabei immer weiter optimiert, bis die sinnvollste Ausführungsvariante erreicht wurde.

Folgende Baustoffe, Materialien und Werkzeuge kamen für die Umsetzung zum Einsatz.

Eine gut ausgerüstete Werkbank war zudem von grossem Vorteil.

Baustoffe:

2kg Gips
Wasserpumpe
MDF- Schalungsplatten
1kg PLA (Filament für den 3D Drucker)
Acrylscheiben
Silikonkartusche
Universallack (transparent)
Glasklarschlauch
Styroporplatten
Weisse Farbe (Haftgrund)
Karton
2 Komponenten Kleber
Weissleim
Kugelhahn
Färbemittel für Wasser

Werkzeuge:

Laubsäge
Schmirgelpapier
Kartuschenpistole
Schraubstock
Standbohrmaschine
Cuttermesser
Anschlagwinkel
3D-Drucker
Klappmeter
Styroporschneider
Schwamm
Fugenglätter
Spachtel
Anrührbecher

6.2.3 Der Zusammenbau

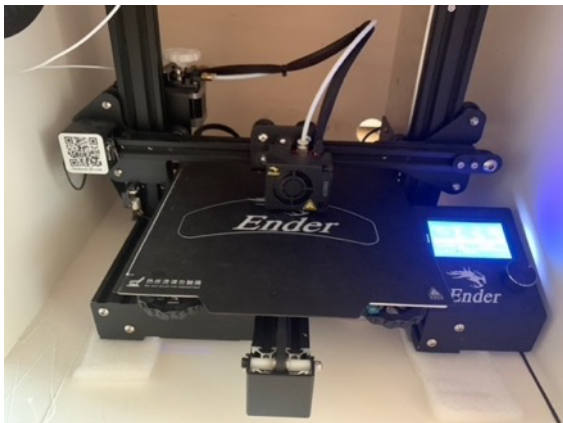


Abbildung 7: Erstellung der Bogenmauer mit dem 3D-Drucker

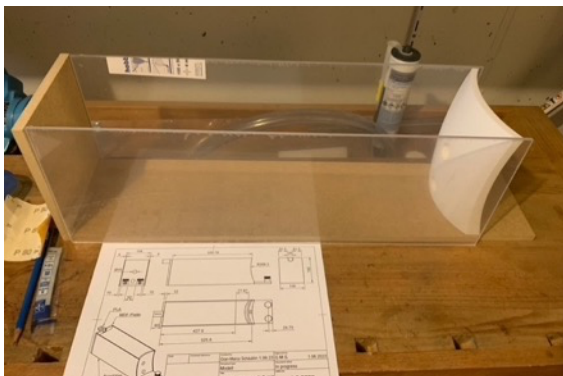


Abbildung 8: Kontrolle der Passform der Komponenten

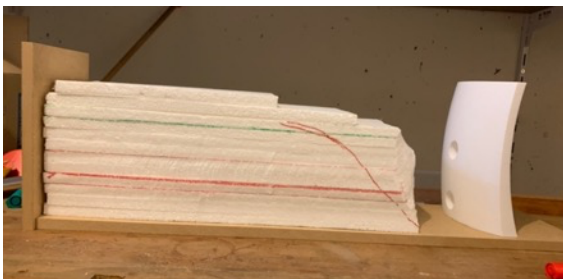


Abbildung 9: Schichten der Styroporplatten auf der Grundplatte

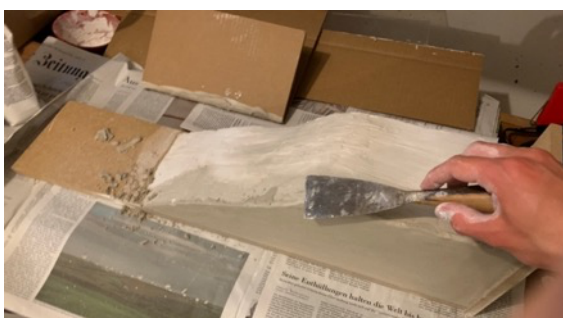


Abbildung 10: Bearbeitung des Gefälles mit Spachtel

Als erster Arbeitsschritt wurde die Bogenstau-
mauer mit dem 3D-Drucker ausgedruckt. An-
schliessend konnten die MDF-Grundplatten und
das Acrylglas im Baumarkt präzise zugeschnit-
ten werden. Darauf folgte eine erfolgreiche
Kontrolle der Passform der einzelnen Kompo-
nenten.

An den beiden Acrylscheiben musste noch die
vordere Kante mit Hilfe einer manuellen Laub-
säge auf die kurvenförmige Form der Stau-
mauer angepasst werden.

Als nächstes wurden die Styroporplatten mit ei-
nem Styroporschneider auf die gewünschte
Grösse zugeschnitten. Kurz darauf wurden die
einzelnen Stücke übereinandergeschichtet und
mit Weissleim verklebt. Dieser Kleber enthält
kein Lösemittel wodurch das Styropor nicht an-
gegriffen wird. Nach der Aushärtung des Lei-
mes, konnte mit dem heissen Draht des Styro-
porschneiders das gewünschte Gefälle model-
liert werden. Jedoch musste teilweise mit dem
Cuttermesser nachgeholfen werden, da sich der
Weissleim nicht mit dem Styroporschneider
durchtrennen liess. Mit dem anschliessenden
Auftragen vom Gips auf das Styropor, konnten
zusätzlich Unebenheiten ausgeglichen werden
und mit dem Schwamm eine homogene Epider-
mis geschaffen werden. Die Herausforderung
dabei war es, das richtige Gips-Wasser-Verhält-
nis im Anrührbecher anzumischen, um eine ge-
eignete Konsistenz zu erreichen. Nach dem



Abbildung 11: Bohrung für das Einlassrohr

ersten Fehlversuch konnte die richtige Menge abgeschätzt werden. Mit der Hilfe eines Spachtels konnte nach der Austrocknung überstehender Gips abgetragen werden. Im nächsten Schritt wurde für das Einlassrohr ein um 3° angewinkeltes Loch in die MDF-Abschlussplatte, mit der Standbohrmaschine gebohrt. Anschliessend wurde diese mit der Grundplatte verklebt. Nun wurden alle Bereiche aus Gips, welche später mit Wasser in Kontakt kommen, mit transparentem Acrylspray versiegelt werden. Nach dem ersten Durchgang wurden Unebenheiten auf der Oberfläche mit Schmirgelpapier wo nötig ausgebessert und anschliessend wei-



Abbildung 12: Versiegelung der Gipsoberfläche mit Uni-versallack

tere Schichten aufgetragen. Dabei musste beachtet werden, dass kein Staub mit dem Lack eingeschlossen wurde. Abschliessend wurden noch die rohen MDF-Plattenteile mit weisser Haftgrundfarbe versehen. Diese Arbeiten wurden draussen an der frischen Luft vorgenommen, aus Schutz vor den giftigen Dämpfen. Für das Zusammenkleben der zwei Acrylglascheiben mit der Grundplatte wurde transparentes Silikon verwendet. Dieser wurde mithilfe einer Silikonpistole auf die Kontaktflächen aufgetragen. Darauf wurde mit einem Fugenglätter überschüssiges Silikon entfernt und die Scheiben für das Festtrocknen mit Wasserflaschen beschwert. Nach der Austrocknung konnte die Bogenstaumauer zwischen die



Abbildung 13: Entfernung von überschüssigem Silikon durch Fugenglätter



Abbildung 14: Seitenansicht des Modells mit Auslassventilen

beiden Acrylglaswände platziert werden und mit starkem Zweikomponentenkleber miteinander verklebt werden.



Abbildung 15: Fertiges Modell bereit für die Aufnahmen

Als nächstes wurden alle restlichen Teile mit dem 3D-Drucker ausgedruckt. Die Auslassventile wurden mit Schraubzwingen an ihrer Position fixiert und verklebt. Der Einlass mit seinem grossen Trichter und seiner Stütze wurde mit Hilfe des Anschlagwinkels zentriert an der Abschlussplatte angebracht. Zum Schluss wurde noch einmal eine Schicht weisse Farbe aufgetragen, um

dem Modell seinen letzten kleinen Feinschliff zu verleihen. Weitere Fotos und Skizzen zum Bauprozess befinden sich im Anhang.

Nun war das Modell bereit für seinen grossen Auftritt vor der Kamera.

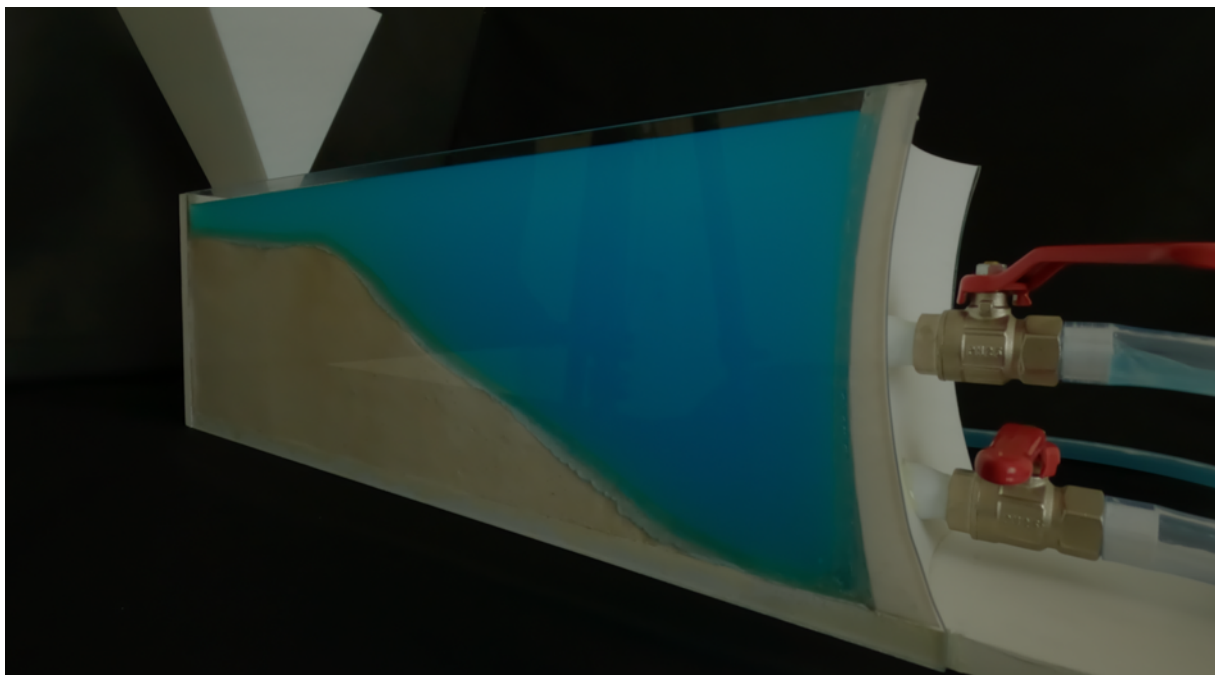


Abbildung 16: Befülltes Stauseemodell ohne Sedimente

7. Aufbau und videographische Darstellung



Abbildung 17: QR-Code zum Video

Um die Aufnahmen in einer möglichst neutralen Umgebung festzuhalten, wurde ein Tisch mit schwarzem Stoff abgedeckt. Für die beste Perspektive auf das Modell, wurden mehrere Kameras verwendet und anschliessend im Schnitt die besten Winkel ausgewählt.

Die Aufnahmen dauerten über eine Stunde, wodurch eine Stromversorgung der Aufnahmegeräte nötig war.

Das erstellte Video ist mit dem aufgeführten QR-Code abrufbar (Abbildung 16) oder unter folgendem Link aufzufinden: https://youtu.be/ow6chwB-XQw?si=OMn2m5v_4DSTx-Bw

8. Vergleich mit der Theorie

Die Verlandung im Modell mit den künstlichen Sedimenten aus Melanin Plastik kann in kurzer Zeit sehr eindrücklich beobachtet werden. Das Modell, welches um ein Vielfaches kleiner ist als ein Stausee in der Natur, zeigt den Vorgang in beschleunigter Weise auf. Durch den Zeitraffer in der erstellten videografischen Dokumentation kann man den Prozess noch deutlicher festhalten. Die Ablagerungen verhalten sich sehr naturnahe. Grosse Körner lagern sich direkt nach dem Zufluss an und beginnen ein Delta zu bilden. Die sehr feinkörnigen Melanin Teilchen setzen sich dabei wie Schwebstoffe erst später, direkt vor der Talsperre ab oder werden durch den oberen Triebwasserauslass abgesogen. Diese konnten im Filtertuch hinter dem Auslass aufgefunden werden. Wirkungsvoll erweist sich auch der Grundablass als effektive Methode die Sedimente aus dem Stausee abzuführen. Das Modell zeigt also in kondensierter Form den Ablauf vereinfacht und verständlich auf. Es kann gut verwendet werden, um interessierten Laien die Problematik anschaulich zu machen.

9. Schlusswort

9.1 Diskussion

In dieser Arbeit wurden die Abläufe der Verlandung in einem alpinen Stausee aufgearbeitet. Der aufbauende Theorieteil schafft ein Verständnis für die Problematik und die Grundlagen. Anhand eines in Eigenkonstruktion erstellten Modells sind die stattfindenden Prozesse nachgestellt. Es hat sich gezeigt, dass mit der gewählten Grösse, der Konstruktion von Zufluss, Talsperre, Ablass, dem sonderangefertigten Sand, welcher die Sedimente nachstellen kann, das Modell einwandfrei funktionsfähig ist. Der Nachweis, dass anhand eines kompakten Modells mit Echtwasser die Abläufe der Verlandung in einem Stausee vereinfacht dargestellt werden können, ist somit erbracht worden. Mit starken Bildern ist der Effekt beim Grundablass in der Videoaufnahme zu beobachten. Das Verhalten bei unterschiedlichen Pegelständen zeigt auf, wie beschleunigt die Verlandung im Stausee vorangeht. Grenzen der Darstellung im Modell sind die in der Realität stattfindenden Trübströme einerseits und andererseits die Erosion. Diese Punkte konnten in der übersichtlichen und vereinfachten Form eines Modells nur mit wenig Aussagekraft eingebracht werden. Grund dafür ist, dass das Echtwassermodell im Bereich des erodierbaren Untergrundes wasserdicht gestaltet werden musste. Ein Modell ist immer eine Vereinfachung der Wirklichkeit, konzentriert sich auf das Wesentliche und unterlässt unwichtigere Details. Dies trifft auch im vorliegenden Modell zu. Durch die generelle Übersichtlichkeit kann man Voraussagen formulieren sowie Verständnis für die Problematik wecken. Jedoch ist ein Modell immer eine Erfindung die statisch ist, deshalb auch nicht vergleichbar mit der Wirklichkeit wie sie in der Natur angetroffen wird. „Modelle werden nicht gefunden, sondern erfunden“¹⁷. Die Stärke dieser Konstruktion liegt darin, dass die Vorgänge der Verlandung in der Seitenansicht eindrücklich sichtbar werden.

9.2 Fazit

Das Ziel dieser Arbeit war es, in einem Theorieteil die Prozesse der Sediment Verlandung in alpinen Stauseen aufzuzeigen und anschliessend in einem Modell zu veranschaulichen. Eine eigenständige Konstruktion eines funktionsfähigen Modells hat den Vorgang des Verlandungseffekts erfolgreich nachgestellt. Mit einer videographischen Aufzeichnung ist der Prozess

¹⁷ Christen Hans Rudolf. 2013. Chemieunterricht. Springer Basel. Basel. S.39

eindrücklich festgehalten. Interessierten Laien kann dadurch die Thematik visuell eindrücklich vermittelt werden.

10. Ausblick

Das erstellte Echtwassermodell könnte verwendet werden, um weitere Tests und Experimente durchzuführen: Beispielsweise wäre es vorstellbar mit anderen Materialien die Trübströme besser sichtbar zu machen. Durch das Anbringen einer zusätzlichen, erodierbaren Schicht oberhalb des wasserfesten Untergrundes, wäre es möglich die Erosion realitätsnäher darzustellen. Erweiternd könnte die Implementierung von Hindernissen oder weitere Lösungsansätze wie beispielsweise Bypass Ableitungen zur Beseitigung der Verlandung ebenfalls zusätzlich angebracht werden.

11. Quellenverzeichnis

Boes Robert, Schleiss Anton, Reindl Robert (2020) – Die zunehmende Stauraumverlandung setzt der Wasserkraft weltweit zu. zek. Hydro. (Nr. 3/Juni). S.34-39.

Boes Robert (16.11.2016) – Wasserkraft vor Sedimenten schützen.

<https://ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2016/11/wasserkraft-vor-sedimenten-schuetzen.html>

(Zugriff: 11.10.2023)

Bundesamt für Umwelt BAFU (11.04.2022) – Geschiebe und Schwebstoffe in Fließgewässern.

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-der-fliessgewaesser/geschiebe-und-schwebstoffe-in-fluessgewaessern.html>

(Zugriff: 01.09.2023)

Chemie – Sedimente und Sedimentgesteine.

https://www.chemie.de/lexikon/Sedimente_und_Sedimentgesteine.html

(Zugriff: 01.09.2023)

Christen Hans Rudolf. (2013) – Chemieunterricht. Birkhäuser. Basel. S.39

Jordi Andreas (15.05.2017) – Der ökologische Nutzen von Sediment-Bypässen.

<https://www.eawag.ch/de/info/portal/aktuelles/newsarchiv/archiv-detail/der-oekologische-nutzen-von-sediment-bypaessen/>

(Zugriff: 11.10.2023)

Oehy Christoph, Schleiss Anton (2002) – Verlandung von Stauseen und Nachhaltigkeit. Wasser Energie Luft. 94 (Nr. 7/8). S. 227-234

Schleiss Anton, De Cesare Giovanni, Jenzer Althaus Jolanda (2010) – Verlandung der Stauseen gefährdet die nachhaltige Nutzung der Wasserkraft. Wasser Energie Luft. (Nr. 1/März). S. 31-40

Seroka, Peter – Physikalische Verwitterung.

<https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Geologisches%20Portrait/Verwitterung%20und%20Erosion/Physikalische%20Verwitterung>

(Zugriff: 01.09.2023)

Seroka, Peter – Verwitterung.

<https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Geologisches%20Portrait/Verwitterung%20und%20Erosion/Lange%20Seite>

(Zugriff: 01.09.2023)

Stiegmaier Peter (Oktober 2009) – Bewertung der Nachhaltigkeit von Talsperren am Beispiel des Staudammprojekts «El Diquís» in Costa Rica.

<https://unipub.uni-graz.at/obvugrhs/content/titleinfo/245845/full.pdf>

(Zugriff: 11.10.2023)

Vischer (23.10.1981) - Verlandung von Stauhaltungen und Speicherseen im Alpenraum.

<https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/vaw/vaw-dam/documents/das-institut/mitteilungen/1980-1989/053.pdf>

(Zugriff: 01.09.2023)

12. Eigenständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich meine Maturitätsarbeit selbstständig und nur unter Zuhilfenahme der in den Verzeichnissen oder in den Anmerkungen genannten Quellen und KI-/LLM-Tools angefertigt habe. Die Mitwirkung von anderen Personen hat sich auf Beratung und Korrekturlesen beschränkt. Alle verwendeten Unterlagen und Gewährspersonen sind vollständig aufgeführt.

Ort, Datum, Unterschrift: _____

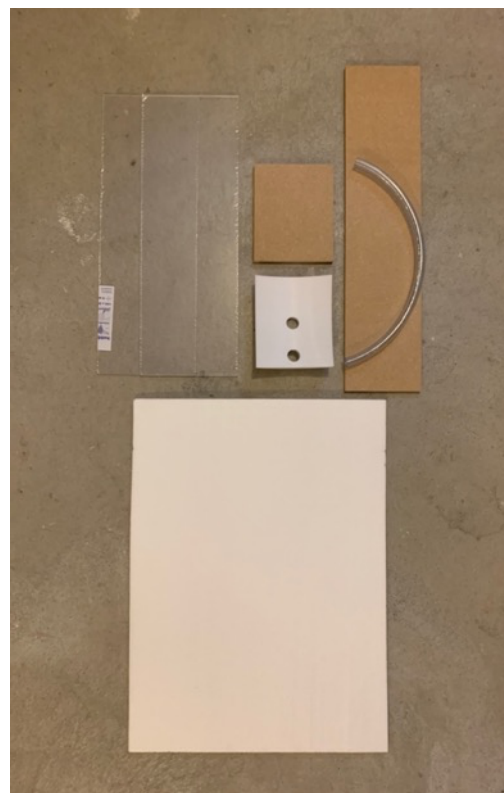
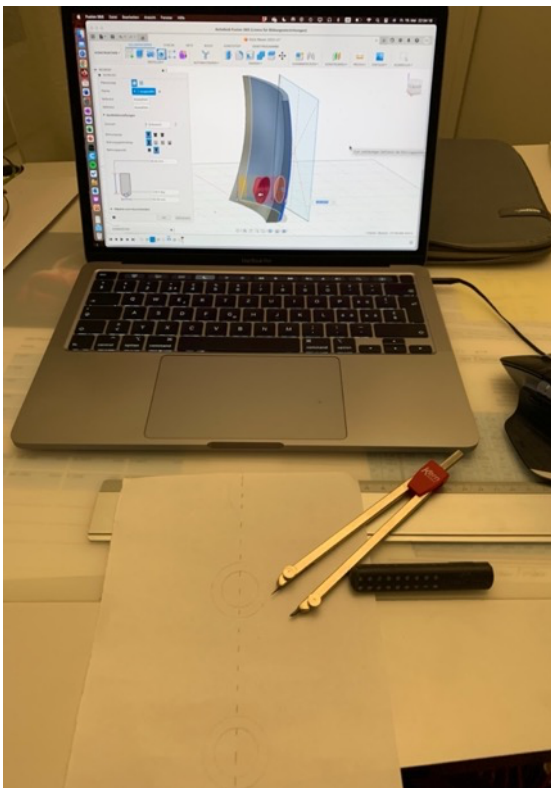
13. Anhang

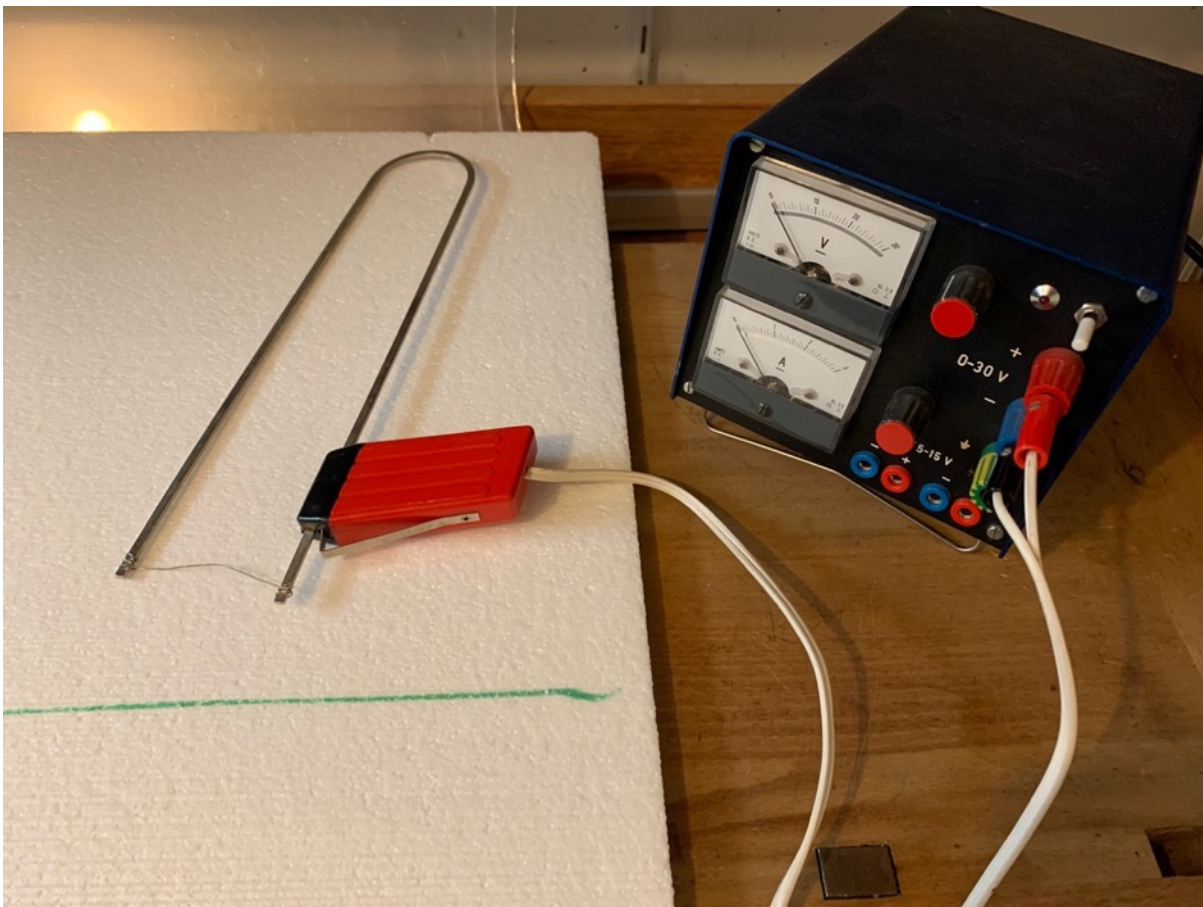
Das erstellte 3D-Modell ist unter folgendem QR-Code und Link zum Download verfügbar:

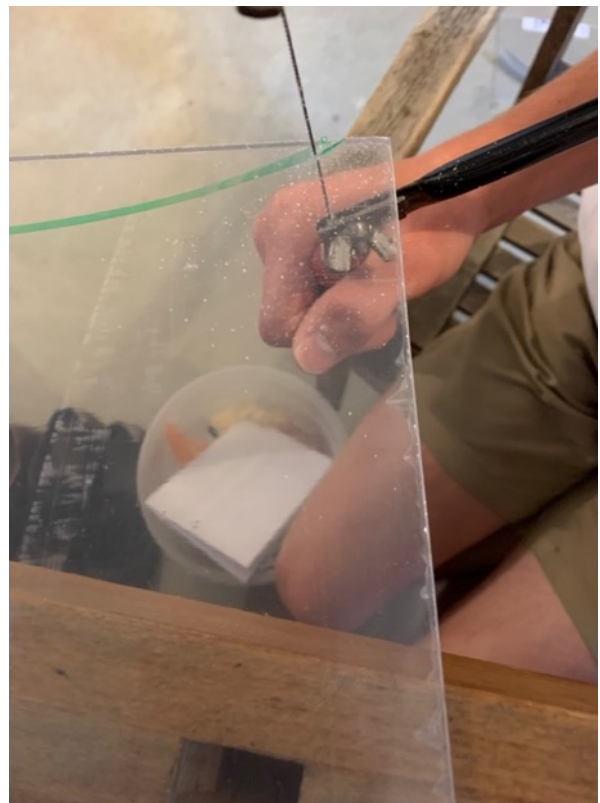


Link: <https://a360.co/45v3tLX>

Chronologische Bilddokumentation aus dem Bauprozesses:

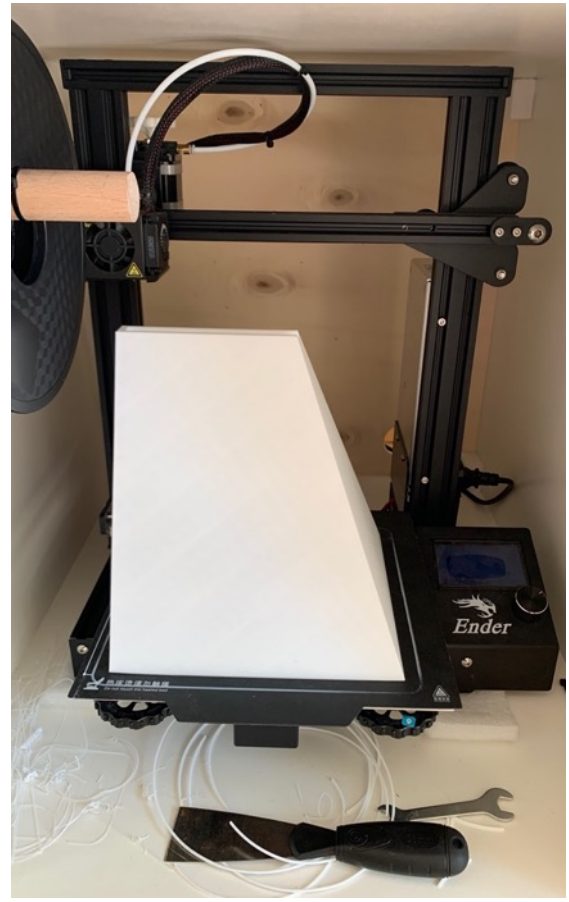








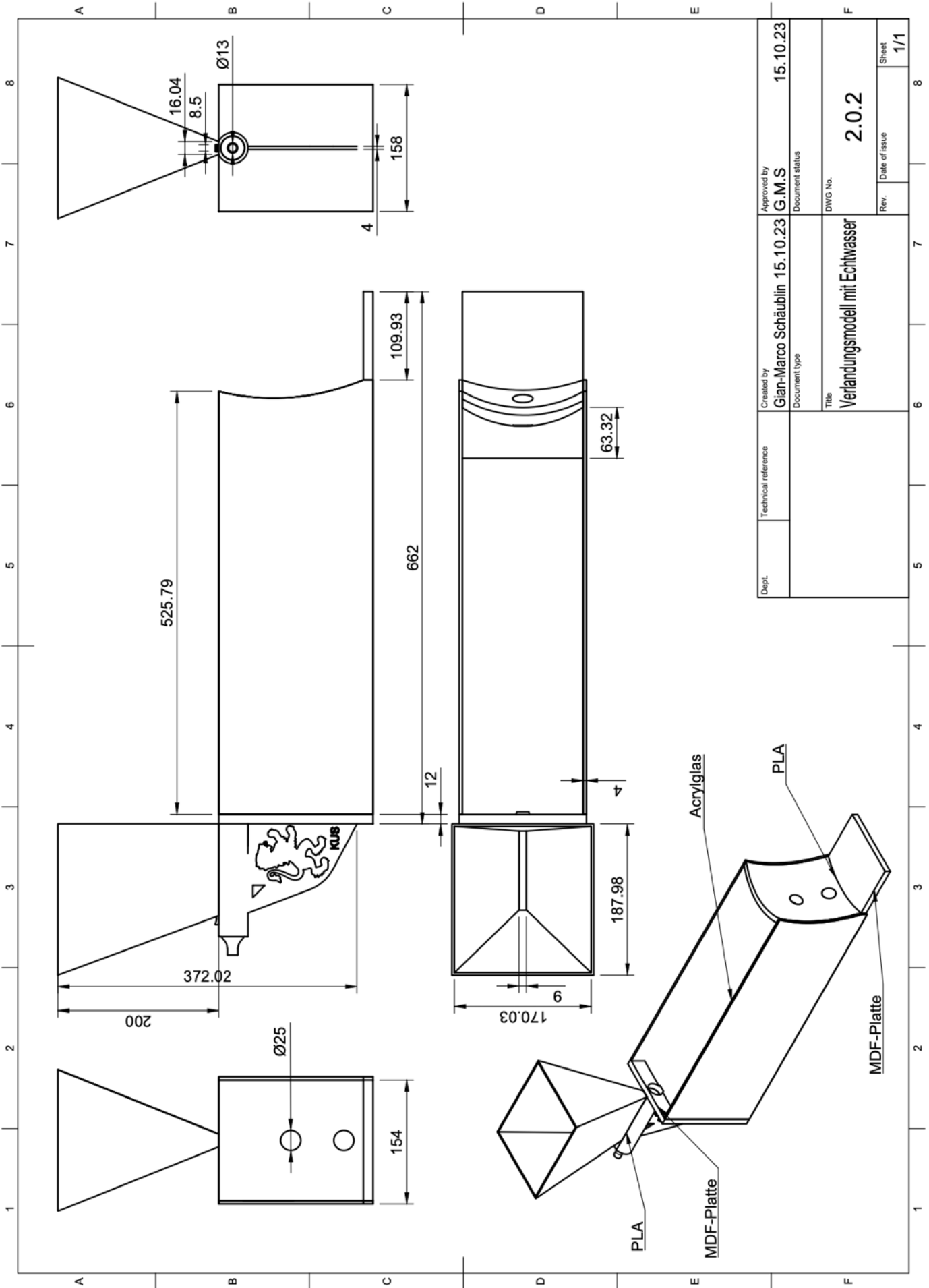






Abrechnungen der verwendeten Materialien und Dienstleistungen für das Modell:

Material und Dienstleistungen	Menge	Preis in CHF
MDF-Schalungsplatte 650mm x 150mm x 12mm	1x	0.07
MDF-Schalungsplatte 193mm x 158mm x 12mm	1x	2.13
Acrylglas 550mm x 193mm x 4mm	2x	10.75
Bau- und Elektrikergips	2x	3.25
Glasklarschlauch 2.4m	1x	6.60
Wasserpumpe	1x	27.95
Universallack	1x	9.95
Universalgrund	1x	9.95
Kugelhahn	2x	10.95
Melanin inklusive Versand aus USA	1x	137.50
1kg PLA	1x	29.90
Zuschnitt	1x	2.00
Färbemittel für Wasser	1x	21.00
Total=		296.95



Dept.	Technical reference	Created by Gian-Marco Schäublin	Approved by G.M.S	15.10.23	15.10.23
		Document type	Document status		
		Title	DWG No.	2.0.2	
		Verlandungsmodell mit Echtwasser			Rev.
			Date of issue	1/1	1/1