

**Europa-Universität Flensburg**  
**Institut für mathematische, naturwissenschaftliche und technische**  
**Bildung**

**Abteilung für Biologie und ihre Didaktik**

Thesis im Studiengang Biologie (PO 2015)

# **Deichbau als Maßnahme des Küstenschutzes für die norddeutsche Küste im Rahmen eines DBU-Projektes zum Klimawandel**

Vorgelegt von:

Christian Weise

Master of Arts Bildungswissenschaften: Biologie/Physik

Fachsemester: 10

Matrikelnummer: 547166

An der Kirche 2a, 24848 Kropp

Email: christian.weise@studierende.uni-flensburg.de

Abgabetermin:

30.06.2021

Erstgutachter: Prof. Dr. Andreas Christian

Zweitgutachterin: Nicole Heuken

gefördert durch



Deutsche  
Bundesstiftung Umwelt

[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

(Materialkosten)



**Europa-Universität  
Flensburg**

Institut für mathematische, naturwissenschaftliche  
und technische Bildung  
Abteilung für Biologie und ihre Didaktik

# Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	
1. Einleitung.....	1
2. Küstenschutz im Zuge des Klimawandels.....	2
3. Küstenschutz an der Nordsee.....	4
3.1 Umsetzung des Küstenschutzes.....	4
3.2 Der Deich als Küstenschutzmaßnahme.....	4
3.3 Die Gezeiten der Nordsee.....	6
4. Der Deich.....	9
4.1 Chronik des Deichbaus.....	9
4.2 Sturmfluteinkatastrophen in der Nordsee durch Deichbrüche.....	11
4.3 Bauweise der heutigen Deiche.....	12
5. Das Exponat.....	16
5.1 Allgemeine Vorüberlegungen zum Exponat.....	16
5.2 Didaktische Überlegungen zum Deichmodell.....	18
5.3 Vorüberlegungen zum Wasserkreislauf für die Sturmflut.....	19
5.4 Vorüberlegungen zum Exponatträger.....	24
5.5 Von der Idee zum fertigen Teil.....	25
6. Bauanleitung zum Exponat.....	28
6.1 Das Deichmodell.....	28
6.2 Der Exponatträger mit Einbau der Modelle.....	30
6.3 Der Wasserkreislauf mit Pumpensteuerung.....	42
7. Fazit.....	45
Literatur.....	
Abbildungsverzeichnis.....	
Tabellenverzeichnis.....	
Anhang.....	

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herrn Prof. Andreas Christian, der meine Masterarbeit betreut und begutachtet hat. Für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, bei der ich dieses Projekt verwirklichen konnte.

Ein besonderer Dank gilt Henrik Petschull, der mit mir gemeinsam dieses Projekt gestaltet hat.

Mein außerordentlicher Dank gilt Sven Jäger, der mir nicht nur als Freund zur Seite stand, sondern dieses Projekt mit zahlreichen konstruktiven Anregungen bereichert hat.

Mein herzlicher Dank gilt meiner Frau Tina Weise, die mir jederzeit beratend zur Seite stand und mich die gesamte Zeit liebevoll unterstützt hat.

# 1. Einleitung

Diese Arbeit entstand im Zuge eines Projektes zum Klimawandel der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) an der Europa-Universität Flensburg und beschäftigt sich mit dem Deichbau an der Schleswig Holsteinischen Nordseeküste im Zuge des Klimawandels.

Dass der Klimawandel immer weiter voranschreitet, ist mittlerweile wissenschaftlich nachgewiesen. Eine Folge ist unter anderem der steigende Meeresspiegel, wodurch der Küstenschutz in Deutschland vor große Herausforderungen gestellt wird. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Deiche, die Deutschlands Küsten seit Jahrhunderten vor Sturmfluten schützen sollen. Dabei zeigte die Vergangenheit, dass dies nicht immer gelang und es dadurch oft zu schweren Flutkatastrophen kam. Daher wird der Deichbau immer weiter verbessert, um in Zukunft schwere Katastrophen zu verhindern und die Deiche sicher gegen den Meeresspiegelanstieg zu machen.

Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine gemeinsame Entwicklungsarbeit mit Henrik Petschull, einem Studenten der Europa-Universität-Flensburg. Während sich diese Arbeit mit den Deichen als Küstenschutzmaßnahme befasst, werden in seiner Arbeit die Sperrwerke thematisiert. Es soll dabei ein Exponat entstehen, welches den Deich und das Sperrwerk als Küstenschutzmaßnahme wiedergibt. Des Weiteren soll es möglich sein, dass durch eine präzise Bauanleitung sowie speziell ausgewählte Baumaterialien das Exponat jederzeit nachgebaut werden kann. Hierbei soll vor allem gezeigt werden, welche Möglichkeiten es gibt, Exponate so zu entwickeln, dass sie einfach und mit etwas handwerklichem Geschick nachgebaut werden können. Damit soll es zum Beispiel Lehrkräften ermöglicht werden, ein solches Exponat in der Schule nachzubauen und das Thema Deiche als Küstenschutzmaßnahme modellhaft zu unterrichten.

In den ersten Kapiteln wird hierfür die theoretische Grundlage zum Küstenschutz und die Deiche als Küstenschutzmaßnahme in Schleswig Holstein geschaffen. Anschließend wird der Entwicklungsprozess des Exponates mit wichtigen Einflussfaktoren für die Entscheidungsfindung beschrieben, gefolgt von einer ausführlichen Baubeschreibung des entwickelten Exponates.



## 2. Küstenschutz im Zuge des Klimawandels

Die Gesamtküstenlänge Deutschlands beträgt an Nord- und Ostsee etwa 3160 km, davon fallen ein Drittel auf die Nordsee und zwei Drittel auf die Ostsee (Bossecke, 2005). Die Küstenlänge von Schleswig-Holstein hat an Nord- und Ostsee eine Länge von ungefähr 1105 km. Daher ist kein anderes Bundesland so stark von seinen Küsten geprägt wie Schleswig Holstein. Dies zeigt sich auch dadurch, dass man an keinem Ort weiter als 60 km von der Küste entfernt ist. Aufgrund dieser Begebenheiten ist das nördlichste Bundesland den Angriffen des Meeres auf besonders hohe Weise ausgesetzt. Rund 350.000 von den Bewohnern Schleswig Holsteins leben in überschwemmungsgefährdeten Küstengebieten (Wiese, 2021). Gerade mit Blick auf den Klimawandel wird der Küstenschutz auch in Zukunft vor hohe Herausforderungen gestellt werden. Hierbei wird der zukünftige Meeresspiegelanstieg eine wichtige Rolle spielen. Dass dieser weiter ansteigt, ist mittlerweile unstrittig. In Abbildung eins ist ein Diagramm mit zwei möglichen Szenarien bezüglich des zukünftigen Meeresspiegelanstieges aufgeführt, wie sie der Weltklimarat in einem Sonderbericht von 2019 veröffentlicht hat. Dabei zeigen die beiden RCP Szenarien die wahrscheinliche Bandbreite des zukünftigen Meeresspiegelanstieges.

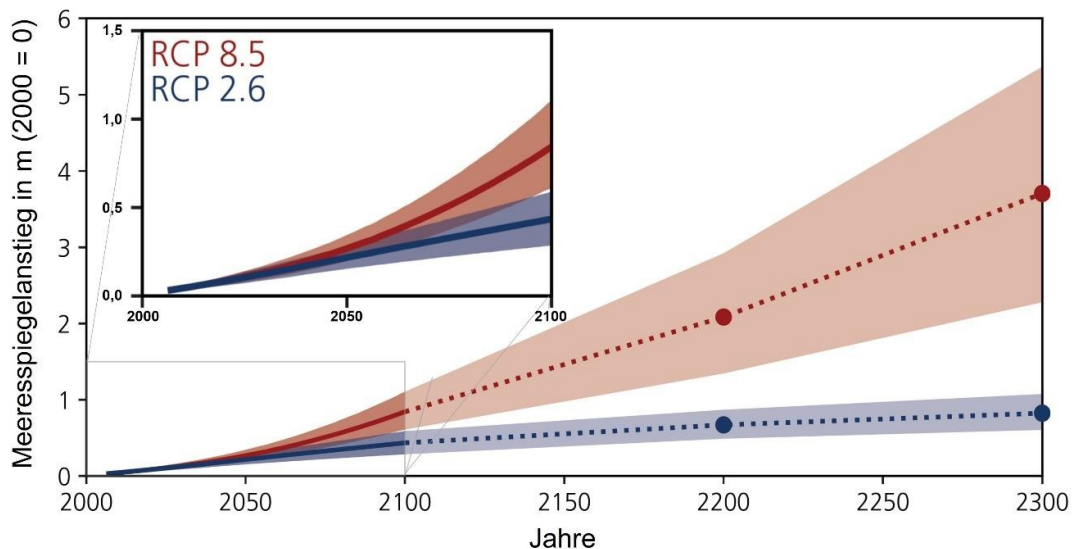


Abbildung 1: Wahrscheinliche Bandbreite des zukünftigen Meeresspiegelanstieges (mit Erlaubnis von: Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft Umwelt und ländliche Räume, 2020 )

Da allerdings viele verschiedene Faktoren daran beteiligt sind, ist bisher noch unklar, in welchem Ausmaß dies geschehen wird (Brasseur et al., 2016). Unter anderem hängt es von der Menge der Treibhausgase ab, die in Zukunft emittiert<sup>1</sup> werden und wie das Schmelzen der Eisschilde in Grönland und der Antarktis weiter voranschreitet. Obwohl dieses Schmelzen ein sehr einflussreicher Faktor ist, wurde dieser Prozess bisher noch nicht ausreichend erforscht (Konitzer & Weidinger, 2019, S.16). Aus diesem Grund wird zunehmend untersucht, welche komplizierten und dynamischen Prozesse in den Eisschilden ablaufen und welche Wechselwirkungen mit den Weltmeeren daraus entstehen können. Dies ist dahingehend wichtig, um zukünftig genauere Klimamodelle aufstellen zu können und Küstenschutzmaßnahmen dementsprechend anzupassen. Im letzten Jahrhundert ist der Meeresspiegel um etwa 15 cm angestiegen und kann – je nach dem, wie sich zukünftige Emissionen entwickeln – bis ins Jahr 2100 zwischen 30 bis 110 Zentimeter ansteigen (Konitzer & Weidinger, 2019, S. 15).

Wie wichtig und wie aufwendig es ist, den Küstenschutz zu betreiben und welche Rolle dabei die Deiche einnehmen, wird in den nächsten Kapiteln am Beispiel der deutschen Nordseeküste in Schleswig Holstein weiter vertieft.

---

1 Hiermit ist das Ablassen der Treibhausgase in die Luft gemeint.

### **3. Küstenschutz an der Nordsee**

In den nachfolgenden Kapiteln soll aufgezeigt werden, wie sich der Küstenschutz an der Nordsee entwickelt hat und wie er in der Gegenwart betrieben wird. Schwerpunktmäßig geschieht dies im weiteren Verlauf durch die Behandlung der Deiche an den Küsten.

#### **3.1 Umsetzung des Küstenschutzes**

Der Bau von Küstenschutzanlagen ist in Deutschland keine direkte Aufgabe des Staates, denn nach dem Grundgesetz ist jedes Bundesland befugt, den Küstenschutz auf Grund von konkurrierender Gesetzgebungskompetenz<sup>2</sup> durch Landesrecht zu regeln (Brinkmann & Heinrichs, 2014). Somit können die Länder eigenständig entscheiden, welche Maßnahmen für den Küstenschutz getroffen werden. Für die Planung und Umsetzung von Küstenschutzmaßnahmen wurden die Deichverbände gegründet. Finanzielle Unterstützung erhalten diese von der Europäischen Union, dem Bund sowie den Bundesländern. Für das Land Schleswig-Holstein ist der Landesbetrieb für Küstenschutz Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (LKN.SH) verantwortlich (Wiese, 2021). Um den Küstenschutz in Schleswig-Holstein weiter zu verbessern und an die Herausforderungen des Klimawandels anzupassen, wurde im Jahr 2001 ein *Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein* erstellt. Darin werden sämtliche Küstenschutzmaßnahmen für Schleswig-Holstein in Form von Entwicklungs- und Handlungszielen definiert. Eine Fortschreibung erfolgte im Jahr 2012 mit dem aktuell geltenden Generalplan Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein. In Abschnitt 4.3 wird genauer darauf eingegangen, welche Maßnahmen dabei für den Deichbau getroffen wurden.

#### **3.2 Der Deich als Küstenschutzmaßnahme**

In erster Linie dient der Küstenschutz dazu, das Festland an den Küsten vor den zerstörerischen Kräften des Meeres zu schützen und dadurch den Lebens- und Wirtschaftsraum der dort lebenden Menschen zu sichern (Bosecke, 2005). Dabei übernehmen Deiche – auf die in den weiteren Kapiteln noch genauer ein-

---

2 Die Länder haben hierbei die Befugnis zur Gesetzgebung, solange der Bund nicht von seiner Gesetzgebungszuständigkeit Gebrauch macht.

gegangen wird – die Hauptfunktion. Sie verhindern, dass die Fluten ins Landesinnere strömen und dort Schäden anrichten. Eine weitere wichtige Aufgabe des Küstenschutzes ist die Landgewinnung an geeigneten Küstenregionen sowie den Rückgang der Küste zu verlangsamen (Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, 2010). Auch hierbei übernehmen die Deiche eine tragende Rolle. Durch die Gezeitenströmung werden feinste Sand- und Tonteilchen vom Boden gelöst und weitertransportiert. Diese und zahlreiche andere mikroskopisch kleine pflanzliche und tierische Organismen ergeben eine Menge von etwa 5 bis 150 mg pro Liter, die hierbei transportiert werden (Wieland, 1998). Während einer Sturmflut kann sich dieser Wert durch Turbulenzen um das Fünzigfache erhöhen. All diese mittransportierten Stoffe kommen bei Hochwasser bis zum Einsetzen der Ebbe zur Ruhe, sinken dabei zu Boden und es entsteht ein *Schlickboden*. Dieser wächst allmählich in die Höhe und wird im Laufe der Zeit immer seltener überspült. Um diesen Vorgang der Neulandgewinnung zu unterstützen, werden sogenannte Lahnungsfelder vor den Deichen angelegt. Hierbei handelt es sich um senkrecht zur Deichlinie verlaufende Holzpfahlreihen mit einem Abstand von etwa 25 cm (Abb.2).



Abbildung 2: Pfahlreihe eines Lahnungsfeldes bei Niebüll in Schleswig-Holstein (C. Weise)

Diese 2 bis 3m langen Holzpfähle werden so weit in den Wattboden gerammt, dass ihre Oberkante etwa 25 cm über den mittleren Hochwasserspiegel heraus-

ragt. Der Zwischenraum dieser Pfahlreihen wird mit Nadelholz-Reisigbündeln, auch *Faschinen* genannt, aufgefüllt und mit nichtrostenden Draht verschnürt. Hat sich genug Neuland gebildet, werden die Pfahlreihen der Lahnungsfelder entfernt und es entsteht ein grünes Vorland mit den typischen schmalen schnurgeraden Gräben, wie es in Abbildung drei zu sehen ist. Ist ein solches Neuland entstanden, wird es eingedeicht und somit eine neue vorgezogene Deichlinie errichtet.



Abbildung 3: Entstandenes Neuland durch Lahnungsfelder im Deichvorland (C. Weise)

### 3.3 Die Gezeiten der Nordsee

Die Gezeiten spielen gerade in der Nordsee eine sehr wichtige Rolle und müssen bei den Küstenschutzmaßnahmen ebenfalls berücksichtigt werden. Daher wird in diesem Abschnitt kurz auf ihre Entstehung und die Besonderheiten in der Nordsee eingegangen.

Als Gezeiten werden die Wasserbewegungen in den Weltmeeren bezeichnet, bei denen es in regelmäßigen Abständen zu Ebbe (Niedrigwasser) und Flut (Hochwasser) kommt. Den Unterschied zwischen Niedrig- und Hochwasser nennt man den *Tidenhub* (Janke & Kremer, 2003, S. 18). Da der Naturvorgang der Gezeitenentstehung etwas komplex ist, erfolgt zunächst ein kleiner physikalischer Exkurs.

Ursache für die Gezeiten sind hauptsächlich die Gravitationskräfte von Mond und Sonne, die auf die Weltmeere der Erde wirken, sowie deren Umlaufbahnen (Grehn et al., 2007). Aber auch die Fliehkräfte, welche durch die Erdrotation entstehen, spielen - wenn auch eher untergeordnet - eine Rolle. Daher wird sich bei diesem Exkurs auf die Gravitationskräfte beschränkt. Dass die Gesetze der Mechanik, wie sie auf der Erde gelten, auch auf Himmelskörper angewandt werden können, stellte im 17. Jahrhundert der Wissenschaftler Isaac Newton fest. Das von ihm aufgestellte Gesetz besagt, dass alle Körper aufgrund ihrer Masse anziehende Kräfte aufeinander ausüben, welche als Gravitationskräfte bekannt sind. Die Gravitationskräfte der Erde, werden dadurch deutlich, dass alle Gegenstände nach unten fallen, wenn man sie fallen lässt. Sie sind umso stärker, je höher die Massen der Körper sind und umso schwächer, je weiter sie voneinander entfernt sind. Die Masse der Sonne ( $1,993 \cdot 10^{33}\text{g}$ ) ist 329.000 mal größer als die der Erde ( $5,973 \cdot 10^{27}\text{g}$ ) und 27.000.000 mal größer als die des Mondes ( $0,0737 \cdot 10^{27}\text{g}$ ) (Wieland, 1998, S.17). Damit ist die Anziehungskraft der Sonne 180 mal größer als die des Mondes. Da der Mond allerdings nur durchschnittlich 384.400 km von der Erde entfernt ist, die Sonne dagegen etwa 149.500.000 km – also etwa 389 mal so weit – ist die Anziehungskraft des Mondes zur Erde größer. Da die Weltmeere nicht fest mit der Erde verbunden sind, werden diese durch die Gravitationskraft von Sonne und Mond bewegt und es entstehen Ebbe und Flut. In Abbildung vier ist dieses Zusammenspiel zu sehen. Durch die Umlaufbahnen von Erde und Mond steht der Mond erst nach ungefähr 24 Stunden und 50 Minuten wieder an der gleichen Stelle über der Erde wie am Vortag (Janke & Kremer, 2003, S.18). Dies hat zur Folge, dass es nicht in 24 Stunden sondern in 25 Stunden zweimal zu Ebbe und Flut auf der Erde kommt. Somit verschiebt sich auch jedes Hochwasser von Tag zu Tag um 50 Minuten. Stehen Erde, Mond und Sonne auf etwa einer Linie, entsteht ein besonders großer Tidenhub. Man spricht dann von einer *Springflut*, welche bei Neu- oder Vollmond entsteht. Verläuft die Verbindungslinie Sonne - Erde senkrecht zur Verbindungslinie Mond - Erde, kommt es zum geringsten Tidenhub auch *Nippflut* genannt.



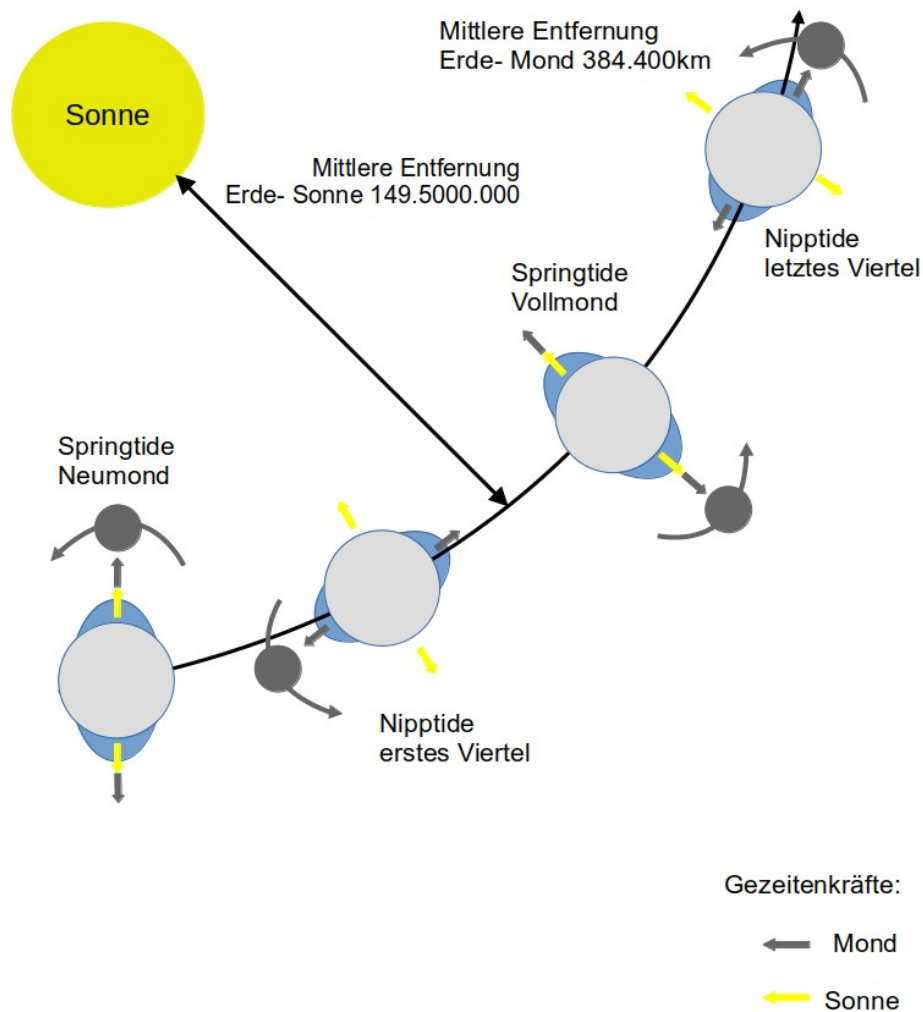


Abbildung 4: Entstehung der Gezeiten (C. Weise)

Durch die sehr flachen und weitläufigen Küsten der Nordsee sind die *Gezeiten* dort auf sehr eindrucksvolle Weise zu beobachten. So wird in regelmäßigen Abständen eine Fläche von etwa 3500 km<sup>2</sup> zwischen Esbjerg in Dänemark über die deutsche Nordseeküste bis Den Helder in den Niederlanden, bei Ebbe freigelegt (Janke & Kremer, 2003, S.8). Diese Fläche bezeichnet man als das *Watt*, welches in dieser Form das größte auf der Erde ist. Der Wattenraum in der Nordsee erstreckt sich dabei über 450 km und hat eine Breite zwischen 5 km bis maximal 20 km.

## 4. Der Deich

### 4.1 Chronik des Deichbaus

Bevor auf den Aufbau und die Funktionsweise eines heutigen Deiches eingegangen wird, erfolgt zunächst ein kurzer geschichtlicher Exkurs über die Entwicklung des Deiches.

Schon seit die Menschen die Küstenregionen an der Nordsee besiedelt haben, versuchten sie, sich mit den ihnen zur Verfügung stehenden Materialien gegen ihre zerstörerischen Einwirkungen zu schützen. Anfangs sicherten sich die Menschen durch den Bau von Warften<sup>3</sup> (Meurer, 2000, S. 16). Diese schützten allerdings nur die Wohnsiedlungen und nicht das umliegende Marschland, welches als Weidefläche genutzt wurde. Also mussten verbesserte Maßnahmen gefunden werden, um auch diese Flächen vor Sturmfluten zu bewahren. Somit entstanden gegen Ende des ersten Jahrhunderts n. Chr. die ersten Deiche. Die zu dieser Zeit entstandenen Deiche waren sogenannte Ringdeiche. Es handelte sich dabei um Deiche, die landeinwärts der äußersten Küstenlinie lagen und einzelne Siedlungen und landwirtschaftlich genutzte Flächen umgaben. Sie waren anfangs Erdwälle mit geringer Breite und einer durchschnittlichen Höhe von etwa 2,70m, wodurch sich eine steile Böschung ergab. Diese Deiche funktionierten als Sommerdeiche, welche die Fluten im Sommer zurückhielten und im Winter überschwemmt wurden. Durch diese Funktion war es den Menschen möglich, im Sommer Getreide anzubauen, ohne dass diese Flächen überflutet wurden.

Ende des 13. Jahrhunderts war die gesamte Nordseeküste eingedeicht, was dann zu einer Weiterentwicklung der Deiche führte. Ab dieser Zeit wurden die Deiche so gebaut, dass sie auch den Wintersturmfluten standhielten. Dies ermöglichte es den Menschen, Wintergetreide anzubauen und weitere Flächen für die Landwirtschaft zu nutzen. Allerdings waren die Deiche zu dieser Zeit auch sehr niedrig und spärlich gebaut, wodurch es bei Sturmfluten häufig zu Deichbrüchen kam. Oft wurden die Menschen, die sich in falscher Sicherheit

---

<sup>3</sup> Hierbei handelt es sich um einen aus Erde aufgeschütteten Hügel, auf denen sich einzelne Häuser oder ganze Siedlungen befinden, die vor Sturmfluten geschützt werden.



wägten, von den Fluten überrascht und es kam zu zahlreichen Todesopfern (Meurer, 2000, S.17).

Mitte des 15. Jahrhunderts wurde Erde – unter anderem durch Landverluste nach Sturmfluten – als Baumaterial für die Deiche knapp, weshalb die Bauweise der *Stackdeiche* entstand (Kramer, 1996). Bei diesen Deichen wurde der seeseitige Deichfuß durch eine senkrechte Wand aus Holzbrettern ersetzt. In Abbildung fünf ist ein solcher Stackdeich zu sehen. Diese Bauweise war zum einen sehr aufwendig, weil die Hölzer von weither gekauft und angeliefert wurden, zum anderen mussten sie alle 30 bis 50 Jahre erneuert werden, da es zu dieser Zeit noch kein geeignetes Imprägnierverfahren gab. Nach einiger Zeit zeigte sich zudem, dass die Stackdeiche leichter unterspült wurden und das Wasser bei Sturmfluten über die Holzwände schlug und dadurch den Deich schnell aufweichte. Aus diesem Grund wurde ab dem 18. Jahrhundert wieder auf die alte Deichbauweise zurückgegriffen.



Abbildung 5: Alter Stackdeich bei Niebüll in Schleswig Holstein (C. Weise)

Nach der schweren Sturmflut im Februar 1962 wurden die Deiche auf einen neuen technischen Stand gebracht. Sie wurden verbreitert, erhöht und bekamen eine flachere Böschung. Zu Beginn des 21. Jahrhunderts erfolgte mit dem bereits erwähnten Generalplan Küstenschutz 2001 an diesen Deichen eine erneute Deichverstärkung.

## **4.2 Sturmfluteinkatastrophen in der Nordsee durch Deichbrüche**

Die deutsche Nordseeküste wurden schon immer von Sturmfluten heimgesucht. Warum es so häufig zu solch schweren Flutkatastrophen der Nordsee kam, lässt sich unter anderem durch die starke Ausprägung der Gezeiten, wie sie in Kapitel 3.3 beschrieben wurden, erklären. Eine Sturmflut, die während einer Springflut auftritt, erreicht einen weit höheren Pegelstand, als eine Sturmflut die bei Ebbe oder einer Nippflut auftritt. Somit wird es auch in Zukunft immer wieder Sturmfluten an der Nordseeküste geben.

Gefährlich für den Menschen wurden Sturmfluten aber erst mit der Besiedlung dieser Gebiete. Denn ab dann begannen die Menschen sich und ihre Häuser gegen diese zu schützen und verhinderten damit die natürliche Ausbreitung der Nordsee während einer Sturmflut. Durch den Beginn des Deichbaues als Küstenschutzmaßnahmen wurden die Wassermassen von den Deichen zurückgehalten und daran gehindert, sich ins Landesinnere auszubreiten. In dieser Zeit kam es häufig zu Deichbrüchen wodurch sich die Fluten wieder ihren Weg ins Landesinnere suchten, was oft schwere Katastrophen mit vielen Todesopfern zur Folge hatte (Wieland, 1998, S. 48).

Allerdings können die Berichte aus den vergangenen Jahrhunderten nicht als wissenschaftlich gesichert angesehen werden, da viele dieser Ereignisse oft nur mündlich weitergegeben wurden (Sönnichsen, 1978). In wie fern die Berichte aus diesen Zeiten der Wahrheit entsprechen, lässt sich daher nicht mehr endgültig nachvollziehen. Erste schriftliche Quellen über Sturmfluten in Deutschland datieren um das Jahr 1000 n. Chr., aber auch bei diesen Dokumentationen ist nicht auszuschließen, dass sie von den Autoren verändert wurden. Denn bis zum 13. Jahrhundert gibt es keinen Berichterstatter von Sturmfluten, der eine Sturmflut selbst erlebte und dies niedergeschrieben hat. Es wird davon ausgegangen, dass Berichte vor dieser Zeit oft übertrieben waren. Bis weit ins 16. Jahrhundert kam es immer wieder zu schweren Katastrophen welche zahlreiche Menschenleben forderten. Einige dieser Flutkatastrophen und ihre Opfer sind in Tabelle eins aufgeführt.

Bei schweren Sturmfluten kam es neben unzähligen Todesopfern auch zu gravierenden Landverlusten. So entstanden zum Beispiel bei der ersten Groten Mandränke am 16.01.1362 die Inseln Sylt, Amrum und Föhr, welche bis dahin noch Teile des Festlandes waren (Zillmer, 2011). Bei der Burchardiflut auch bekannt als zweite Grote Mandränke im Jahre 1634 entstanden die heutigen Konturen der Halligen der Nordsee, deren Fläche in den folgenden Jahrzehnten durch Sturmfluten immer weiter abnahm. So verkleinerte sich ihre Fläche von Mitte des 17. Jahrhunderts bis Ende des 19. Jahrhunderts von etwa 100 km<sup>2</sup> auf weniger als 30km<sup>2</sup>.

---

### Flutkatastrophen der Nordsee und ihre Opfer

---

Datum und Name	Verluste
16.02.1164 Julianenflut	20.000 Tote
14.12.1287 Luciaflut	50.000 Tote
16.01.1362 1. Grote Mandränke	100.000 Tote
18.11. 1421 Elisabethflut	10.000 Tote in Holland
01.11. 1570 Allerheiligenflut	20.000 Tote an der deutschen Küste
11.10. 1634 Burchardiflut	8343 Tote in NF
25.12. 1717 Weihnachtsflut	782 Tote in SH und HH
03./04. 1825 Halligflut	74 Tote in SH und 162 Tote in HH
16./17. 02. 1962 Hamburger Sturmflut	340 Tote, davon 315 in HH

---

*Tabelle 1: Flutkatastrophen der Nordsee und ihre Opfer (verändert nach Sönnichsen, 1978)*

Immer wieder kam es in der Vergangenheit zu schweren Sturmfluten, welche viele Todesopfer forderten und auch zu Landverlusten führten. Um schwere Katastrophen wie in der Vergangenheit zu vermeiden, muss daher weiterhin in den Küstenschutz investiert und die Maßnahmen ständig angepasst sowie verbessert werden.

### 4.3 Bauweise der heutigen Deiche

Die Bauweise und das Aussehen der Deiche hat sich im Laufe der Jahrhunderte immer wieder verändert. Waren diese in ihrer Anfangszeit noch sehr spärlich und einfach gebaut, sind sie mittlerweile sehr aufwendig konstruierte Bauwerke. Speziell die Höhe und Breite hat sich in den Jahrhunderten sehr verändert. Im-

mer wieder mussten die Menschen die Deiche anpassen, da sie den Sturmfluten nicht mehr standhielten. Zu Beginn dieses Jahrhunderts erhielten die bestehenden Deiche mit dem Generalplan Küstenschutz 2001 eine Deichverstärkung, bei der ein Klimazuschlag von 50cm zugrunde gelegt wurde. Dieser wurde 2012 überarbeitet und bekommt im Jahr 2022 die nächste Fortschreibung. Mit der Fortschreibungen von 2012 erhalten die bestehenden Deiche zukünftig eine breitere Deichkrone sowie eine flachere Böschung auf beiden Seiten. Diese, als *Klimadeiche* bezeichneten Bauten, sollen es späteren Generationen ermöglichen, die Deiche durch vergleichsweise geringen Aufwand so zu erweitern, dass sie einem Meeresspiegelanstieg von bis zu 2 Metern ohne Beeinträchtigung der heutigen Schutzstandards begegnen können (Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Nordfriesland, 2020). Somit können diese Deiche bis zum Jahr 2100 auch dem RCP 8.5 Szenario des Weltklimarates aus Abbildung eins standhalten und somit die Sicherheit der Bewohner in diesen Küstenregionen bis weit über das Jahr 2100 gewährleisten. In Abbildung sechs ist eine grafische Darstellung dieses Konzeptes aufgeführt.

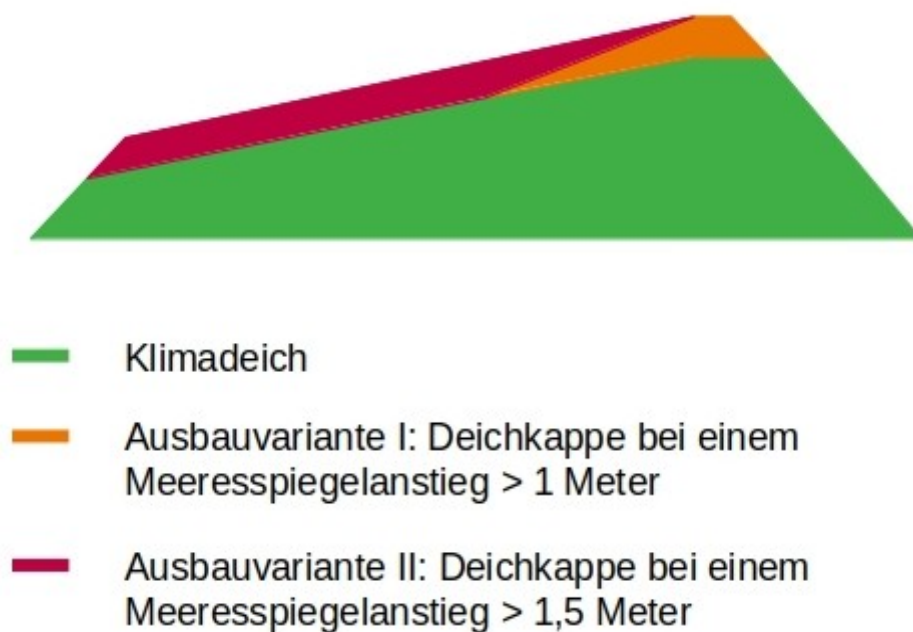


Abbildung 6: Konzept der Baureserve nach dem Generalplan Küstenschutz Schleswig Holstein (verändert nach: Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume , 2021)

In den beiden nachfolgenden Abbildungen sind zwei unterschiedliche Deichprofile dargestellt, wie sie in Schleswig Holstein zu finden sind. Abbildung sieben zeigt das Deichprofil eines Deiches, der nach den Vorgaben des Generalplans Küstenschutz von 2001 gebaut wurde. Dieses Deichprofil findet man zur Zeit noch am häufigsten an Schleswig-Holsteins Küsten vor. Abbildung acht zeigt den 2018 fertiggestellten Klimadeich in Dagebüll. Man kann deutlich die verbreiterte Deichkrone erkennen. In Zukunft sollen die Deiche an Schleswig-Holsteins Küsten dieses Deichprofil mit Baureserve erhalten (Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Nordfriesland, 2020).





*Abbildung 7: Deichprofil eines nach dem Generalplan Küstenschutz 2001 erbauten Deiches (H. Petschull)*



*Abbildung 8: Deichprofil eines Klimadeiches mit Baureserve (H. Petschull)*

## **5. Das Exponat**

Nachdem in den vorherigen Abschnitten ein Einblick in den Küstenschutz sowie den Aufbau und die Funktionsweise der Deiche gegeben wurde, wird in den nachfolgenden Abschnitten die Entwicklung des Exponates beschrieben. Hierbei werden speziell die materiellen und didaktischen Faktoren angesprochen, die bei den Entscheidungsfindungen wichtig waren. Das gesamte Exponat wurde in drei Komponenten konzipiert, welche später auch einzeln nachgebaut werden können. Die drei Komponenten sind der Exponatträger, das Deichmodell sowie der Steuerkreis für die Darstellung der Sturmflut. Anschließend folgt eine ausführliche Anleitung, mit der das entwickelte Exponat gebaut wurde.

### **5.1 Allgemeine Vorüberlegungen zum Exponat**

Wie bereits erwähnt, sollte ein Exponat entwickelt werden, das den Aufbau und die Funktionsweise eines Deiches darstellt und seine Funktion als Küstenschutzmaßnahme verdeutlicht. Ein weiterer wichtiger Aspekt lag darin, das Exponat so zu entwickeln, dass es bei Bedarf – schwerpunktmäßig sollen hierbei Schulen angesprochen werden – einfach und mit minimalem handwerklichen Geschick nachgebaut werden kann. Somit soll es zum Beispiel Lehrkräften ermöglicht werden, das Exponat nachzubauen und im Unterricht zu nutzen. Als Zielgruppe sollen hauptsächlich Jugendliche im Alter von 10 bis 14 Jahren angesprochen werden.

Die ersten Überlegungen beschäftigten sich dahingehend, welche Art von Exponat entstehen sollte. Hierbei musste zunächst entschieden werden, ob ein Anschauungsobjekt oder ein interaktives Exponat entwickelt werden sollte. Zur Entscheidungsfindung trugen unter anderem Studien aus der Museumsforschung bei. Laut Wehner wollen Kinder und Jugendliche Exponate berühren und spielerische Tätigkeiten an ihnen durchführen (Wehner, 2014). Dies unterscheidet ihr Verhalten gegenüber dem von Erwachsenen, die Exponate eher visuell durch das Betrachten wahrnehmen. Des Weiteren wurden an der Europa-Universität Flensburg schon einige Studien in diesem Bereich durchgeführt. So stellte Weise 2019 fest, dass interaktive Exponate von Kindern häufiger genutzt werden, als passive Exponate (Weise, 2019). In dieser Studie wurde das Besucherverhalten im Multimar Warttforum bei Tönning in Schleswig-Holstein unter-

sucht. Dabei wurde festgestellt, dass Kinder – speziell bei der Nutzung interaktiver Exponate – die erwachsenen Begleitpersonen in ihrem Besucherverhalten beeinflussen. Diese wurden von Erwachsenen häufiger genutzt, wenn sie von Kindern begleitet wurden. Daraus lässt sich aus didaktischer Sicht schließen, dass ein interaktives Exponat auch im Unterricht für mehr Motivation bei den Schülerinnen und Schülern sorgt und somit ein höherer Lernerfolg erzielt werden kann. Daher fiel die Entscheidung dahingehend, ein interaktives Exponat zu entwickeln.

Im nächsten Schritt wurden verschiedene Deiche und einige Museen sowie Science Centre besucht, um weitere Informationen über den Deichbau sowie schon vorhandene Exponate in diesem Bereich zu sammeln. Das Multimar Wattforum hat zu diesem Thema ein interaktives Exponat (Abb. 9) in der Ausstellung, an dem hilfreiche Anregungen gesammelt werden konnten.



Abbildung 9: Sturmflutexponat im Multimar Wattforum (mit Erlaubnis von: [apartmentsstpeterording.de](http://apartmentsstpeterording.de))

Die Anregungen, welche durch die Vielzahl von Ausflügen gesammelt werden konnten, flossen bei den weiteren Planungen des Exponates mit ein.



## 5.2 Didaktische Überlegungen zum Deichmodell

Im ersten Schritt wurden Überlegungen angestellt, welche Aspekte des Deiches modellhaft dargestellt werden sollten. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Bau- und Funktionsweise eines Deiches. Wie in Kapitel 4.1 bereits erwähnt, hat sich deren Bauweise im Laufe der Jahrhunderte immer wieder verändert. In Zukunft sollen immer mehr Klimadeiche nach dem aktuellen Generalplan mit einer Baureserve, wie sie in Kapitel 4.3 erläutert wurde, versehen werden. Aus diesem Grund sollte das entwickelte Exponat einen solchen Klimadeich darstellen. Somit kann mit diesem Modell der aktuelle wissenschaftliche Stand im Bezug auf den Deichbau vermittelt werden.

Des Weiteren bestehen Deiche im Inneren aus einem Sandkern, der im Modell ebenfalls ersichtlich sein sollte. Um dies umzusetzen, musste versucht werden, den Deich im Querschnitt darzustellen. Das ist möglich, indem der Deich an einer transparenten Fläche, wie zum Beispiel einer Glasscheibe, ausläuft. Durch die damit erreichte Ähnlichkeit zum Original wird eine entsprechende Anschaulichkeit geboten, was laut Meisert ein erhöhtes Lernpotential bietet (Meisert, 2018).

Nachdem das Aussehen des Deichmodells feststand, galt es zu überlegen, welches Material verwendet werden sollte. Bei den Museumsbesuchen fiel auf, dass viele Exponate maschinell aufwendig konstruiert wurden und sich ein einfacher Nachbau schwierig gestalten würde. Daher wurden weitere Anregungen aus dem Modellbau eingeholt. Häufig wird dort Polystyrol als Baumaterial verwendet. Dieses lässt sich leicht verarbeiten und ist kostengünstig. Weitere Recherchen gingen in den Bereich des 3D Drucks. Hierbei können sämtliche Teile mit den gewünschten Maßen in einem Konstruktionsprogramm passgenau erstellt und später gedruckt werden. Der Vorteil hierbei liegt darin, dass diese Teile später jederzeit und ohne großen Aufwand nachgedruckt werden können. Speziell für Schulen ist diese Methode der Reproduktion ein interessanter Aspekt, da diese Technik in immer mehr Bereichen zur Anwendung kommt (Lachmayer & Lippert, 2016). Aber auch für den privaten Bereich sind 3D Drucker mit Preisen ab 200 Euro mittlerweile erschwinglich. In Abbildung zehn ist ein solcher 3D Drucker für den privaten Bereich abgebildet.

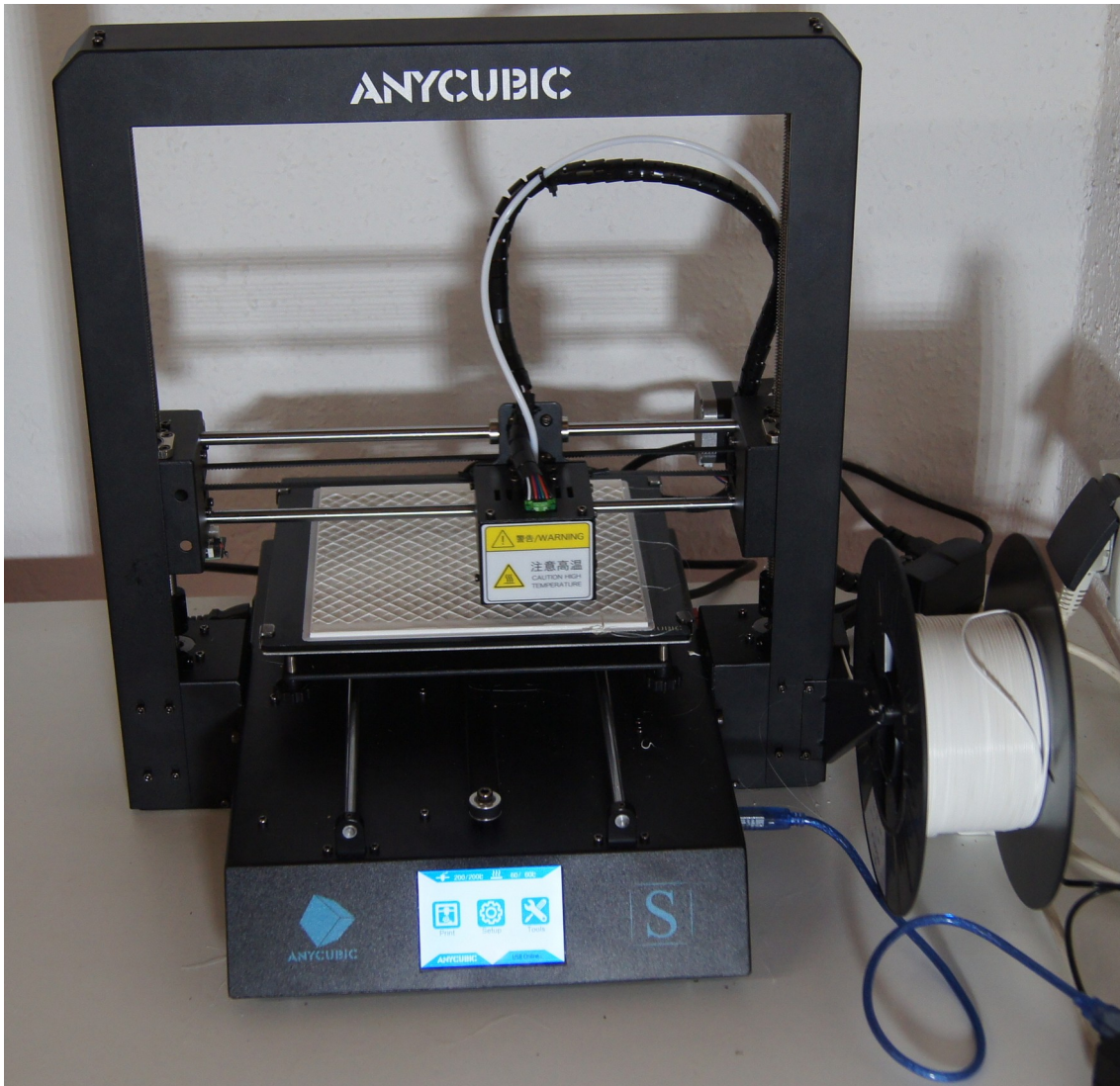


Abbildung 10: 3D Drucker aus dem privaten Bereich (C.Weise)

Auf Grund der Möglichkeit, passgenaue Modelle zu erstellen und eine relativ hochentwickelte Technologie niederschwellig zu verwenden, fiel die Entscheidung auf den 3D Druck. Später wird in Abschnitt 5.5 genauer auf dieses Verfahren eingegangen.

### **5.3 Vorüberlegungen zum Wasserkreislauf für die Sturmflut**

Um ein interaktives Exponat zu entwickeln, sollte es möglich sein, eine Sturmflut im Exponat darzustellen. Dazu musste eine Möglichkeit gefunden werden, das Exponat mit Wasser zu befüllen und dieses dann auch wieder ablassen zu können. Für das Ablassen des Wassers wurde sich für einen manuellen Abfluss entschieden, wie er bei Badewannen oder Waschbecken zum Einsatz kommt. Es galt somit eine Möglichkeit für das Befüllen des Exponates zu entwickeln.

Dabei wurden erste Anregungen aus dem Exponat im Multimar Wattforum geholt. Dort können Funktionen, wie zum Beispiel die eintretende Flut, durch verschiedenen Knöpfe gesteuert werden. Um dies umzusetzen, sollte eine Pumpe zum Einsatz kommen. Dabei fiel die Wahl auf eine Teichpumpe, die in einem Wasserbehälter unterhalb des Exponates platziert werden kann. Es reicht aber nicht, eine Pumpe anzuschließen, die Wasser aus dem Vorratsbehälter in das Exponat pumpt. Einige weitere Funktionen mussten noch erfüllt werden. So darf die Pumpe nur dann pumpen, wenn sich im Exponat kein Wasser befindet und muss das Pumpen unterbrechen, wenn ein bestimmter Wasserstand im Exponat erreicht ist. Um dies umzusetzen wurde sich für eine Sensortechnik entschieden. Hierbei kommt ein Wasserstandssensor zum Einsatz, der den Füllstand des Exponates überwacht und dementsprechend die Pumpe ansteuert oder nicht. Als nächstes musste eine Möglichkeit gefunden werden, um Sensor und Pumpe kommunizieren zu lassen. Dabei fiel die Wahl auf eine Mikrocontrollersteuerung in Form eines Arduino Unos. Diese Steuerungen bestehen aus einer Hardwarekomponente (Abb. 11) und einer Softwarekomponente (Abb. 12).

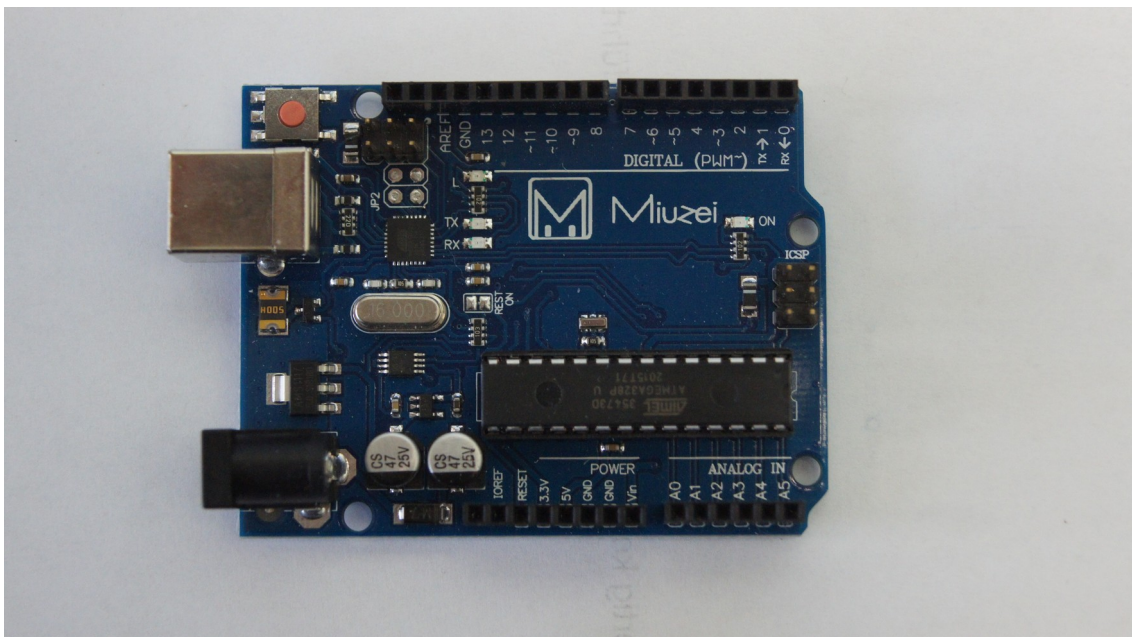


Abbildung 11: Mikrocontroller auf Basis eines Arduino Uno (C. Weise)

```
void setup() {
  pinMode(2, OUTPUT);
  pinMode(3, OUTPUT);
  pinMode(4, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(2, HIGH);
  digitalWrite(3, LOW);
  digitalWrite(4, LOW);

  delay(5000);

  digitalWrite(2, LOW);
  digitalWrite(3, HIGH);
  digitalWrite(4, LOW);

  delay(5000);

  digitalWrite(2, LOW);
  digitalWrite(3, LOW);
  digitalWrite(4, HIGH);

  delay(5000);

  digitalWrite(2, HIGH);
  digitalWrite(3, HIGH);
  digitalWrite(4, LOW);

  delay(5000);
}
```

Abbildung 12: Softwarekomponente auf Basis eines sketches (C. Weise)

In der Software, dem sogenannten *Sketch*, werden Programme geschrieben, die später von der Hardware ausgeführt werden. Eine genauere Beschreibung der Funktionsweise kann der Arbeit von Henrik Petschull entnommen werden (vgl. Petschull, 2021). Zusätzlich findet man im Internet auch zahlreiche Einsteigertutorials, die sich mit diesem Thema befassen.

Mittlerweile gibt es in diesem Bereich zahlreiche Starterkits für Schulen oder den privaten Gebrauch. In diesen Starterkits befindet sich eine Vielzahl von verschiedenen elektrischen Bauteilen, die man über ein Breadboard (Abb. 13) verbinden und mit Hilfe des Arduinos steuern kann. Somit ist es zum Beispiel Lehrkräften im Unterricht später möglich, die in diesem Projekt entwickelte Steuerung nachzubauen oder zu verändern.



Um den Schaltkreis für die Pumpensteuerung zu entwickeln und den notwendigen Sketch zu erstellen, wurde sie auf dem Breadboard vorgesteckt und auf ihre Funktionsweise getestet. Der Aufbau ist in Abbildung 13 zu sehen. Die Pumpe wurde dabei zunächst durch eine LED ersetzt, denn im ersten Schritt sollte eine Schaltung entwickelt werden, in der der Taster nur dann schaltet, wenn der Sensor keinen Wasserkontakt hat und das Exponat leer ist.

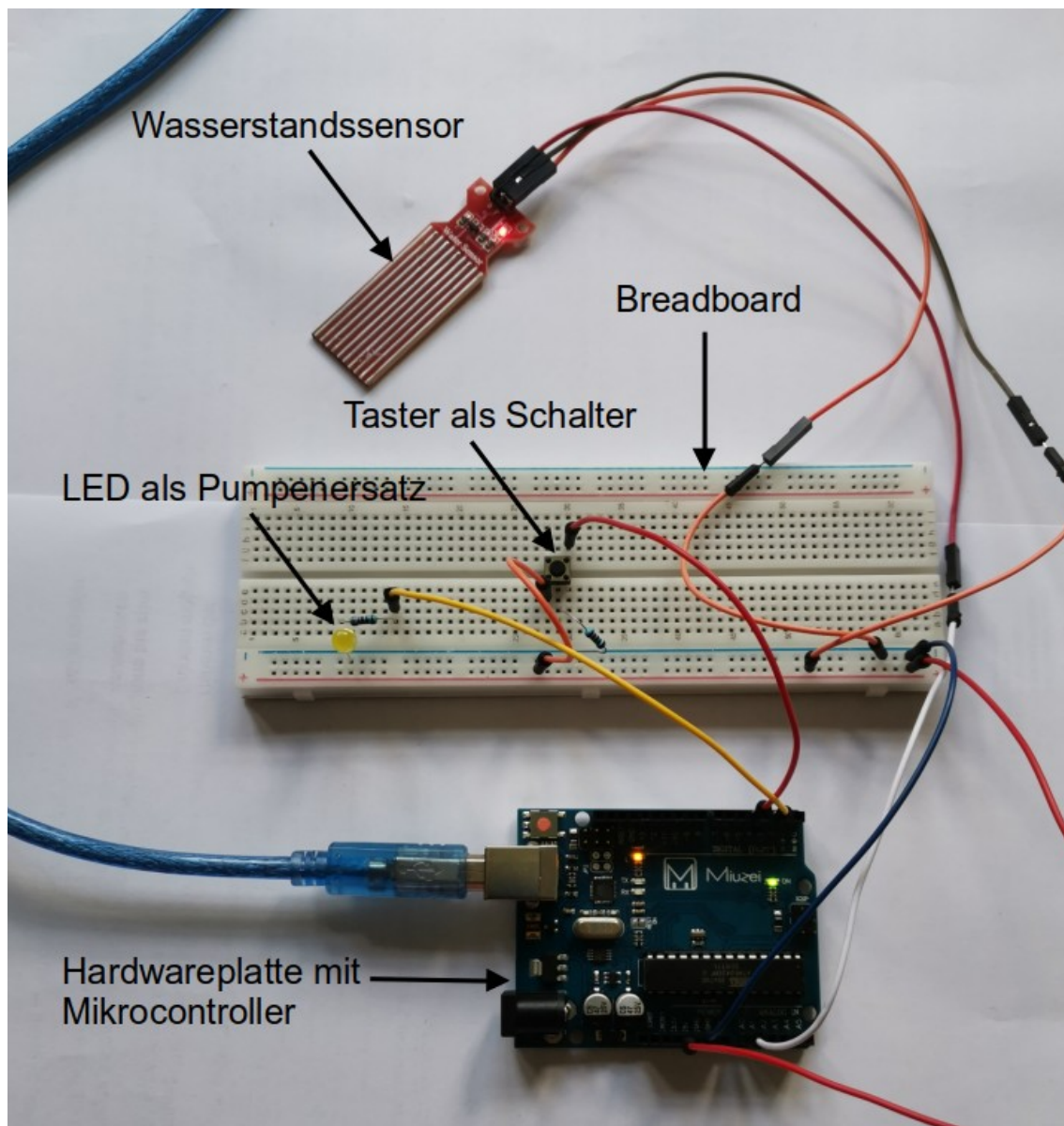


Abbildung 13: Prototyp des Wasserkreislaufes auf dem Breadboard (C. Weise)

Nach einigen Versuchen am Breadboard war eine Lösung gefunden, wie alle Komponenten mit entsprechendem Sketch angesteuert werden konnten. Für eine spätere Verwendung am Exponat musste allerdings noch ein Problem gelöst werden. Die Pumpe wird über den normalen Haushaltsstromkreis mit einer

Spannung von 230 Volt betrieben, der Mikrocontroller wird dagegen mit einer Spannung zwischen drei oder fünf Volt betrieben. Um dieses Problem zu lösen, kann ein Relais<sup>4</sup> verwendet werden. Da die Spannungen in beiden Stromkreisen unterschiedlich sind und um zu verhindern, dass durch den Mikrocontroller eine Spannung von 230 Volt fließt – was auch ein sicherheitstechnischer Aspekt ist – wurde ein Relais mit Optokoppler (Abb. 14) verbaut.

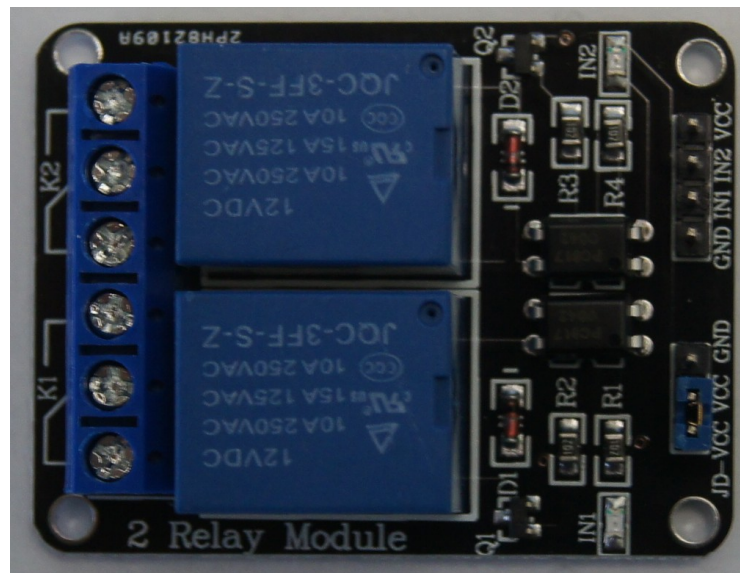


Abbildung 14: Relais mit Optokoppler (C. Weise)

Um die Funktionsweise dieses Relais zu verstehen, erfolgt ein kurzer physikalischer Exkurs in die Elektrotechnik. Mit dem Optokoppler in diesem Relais ist es möglich, eine elektrische Leitung von zwei Stromkreisen zu verhindern, zwischen denen Signale ausgetauscht werden sollen (Böge et al., 2007, S.440 ff). Die Signalübertragung zwischen beiden Stromkreisen erfolgt dabei mittels Licht. Es wird zunächst ein elektrisches Signal in ein optisches Signal umgewandelt und über eine Isolationsstrecke übermittelt, anschließend wird es wieder in ein elektrisches Signal umgewandelt. Dabei dient eine Leuchtdiode als Sender, die über einen Lichtleiter auf einen Empfänger strahlt. Durch dieses System erfolgt die Signalübertragung völlig rückwirkungsfrei. Zum weiteren Verständnis ist in Abbildung 15 das Schaltzeichen eines Optokopplers dargestellt.

---

<sup>4</sup> Ein Relais ist ein elektromagnetischer Schalter, durch den Stromkreise mit unterschiedlichen Spannungen verbunden werden können .

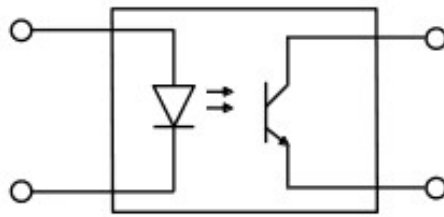


Abbildung 15: Schaltzeichen eines Relais mit Optokoppler (C. Weise)

Da für die Ansteuerung der Leuchtdiode eine Spannung von 5 Volt ausreicht, kann hierfür ein Mikrocontroller verwendet werden. Somit besteht die Steuerung des Wasserkreislaufes aus einem Steuerstromkreis von 5 Volt und einem Laststromkreis von 230 Volt. Am Exponat befindet sich das Relais mit den zugeführten Kabeln in einer dafür vorgesehenen spritzwassergeschützten Abzweigdose unterhalb des Exponates. Zusätzlich werden alle elektrischen Leitungen und Verkabelungen von einer Fachkraft überprüft.

#### 5.4 Vorüberlegungen zum Exponatträger

Nachdem feststand, wie das Modell angefertigt und der Wasserkreislauf umgesetzt wird, musste überlegt werden, wie der Exponatträger aufgebaut sein sollte. Als Grundplatte dient dabei eine Streifenholzplatte mit der Bezeichnung Oriented Stran Board (OSB). Hierbei handelt es sich um eine Holzplatte, die aus vielen 0,6 mm dicken und etwa 80 mm langen verleimten Holzstreifen zusammengesetzt ist und in vielen Bereichen zum Einsatz kommt (Dierks et al., 2011). Dieses Material wurde gewählt, weil es sich gut bearbeiten lässt und im Vergleich zu anderen Materialien kostengünstig ist. Als Alternative wäre auch eine Siebdruckplatte möglich gewesen, wie sie im Fahrzeugbau oder für widerstandsfähige Nutzböden in Anhängern genutzt werden (Lingnau, 2008). Diese Platten sind sehr robust und bestehen aus wetterfest verleimten Furniersperrholzplatten. Zusätzlich sind sie auf beiden Seiten mit einem strapazierfähigen Phenolharzfilm beschichtet. Diese Platten sind allerdings sehr teuer in der Anschaffung, weshalb die Wahl auf die OSB-Platte fiel. Speziell mit Blick auf einen eventuellen Nachbau wurde der Kostenfaktor bei jeder Entscheidung berück-

sichtigt. Für die Rückwand des Exponates und zur Verbesserung der Stabilität wurde allerdings eine Siebdruckplatte verbaut. Für die Platte wurde eine Stärke von 22 mm gewählt, um ein Durchbiegen zu verhindern. Als Wände dienen Polystyrolplatten mit einer Dicke von vier Millimetern, um eine freie Sicht auf das Exponat zu ermöglichen sowie die bereits erwähnte Siebdruckplatte mit einer Dicke von acht Millimetern als Rückwand. Diese Platten wurden gewählt, weil man sie problemlos auf die gewünschte Länge schneiden kann. Eine Glasscheibe wäre viel teurer in der Anschaffung gewesen und hätte extra angefertigt werden müssen. Des Weiteren kann eine Glasscheibe im Gegensatz zu einer Polystyrolplatte schneller zerbrechen. Gerade mit Blick auf die Transportfähigkeit ist dies ein wichtiger Aspekt. Um im Exponat die Landschaft nachzubilden, wurden Polystyrolplatten in Form von Styropor verwendet.

## **5.5 Von der Idee zum fertigen Teil**

Wie in Kapitel 5.2 bereits erwähnt wurde, sollte das Deichmodell im 3D Druckverfahren erstellt werden. Bevor auf die einzelnen Entwicklungsschritte des Modells eingegangen wird, erfolgt zum besseren Verständnis wieder ein kurzer Exkurs. Diesmal in den Bereich des 3D Drucks.

Um einen Gegenstand auf diese Weise entstehen lassen zu können, sind zwei Programme notwendig. Zum einen eine *Computer Aided Design (CAD)* Software, zum anderen eine *Slicer-Software* (Junk, 2019). Mit der CAD-Software ist es möglich, dreidimensionale Volumenmodelle auf dem Computer zu erstellen. Diese CAD-Dateien können allerdings nicht vom 3D Drucker eingelesen werden und müssen daher in ein Dateiformat übertragen werden, welches der 3D Drucker einlesen kann. Dieses Umwandeln übernimmt die Slicer-Software, welche die CAD-Daten in ein Format umwandelt, das vom 3D Drucker eingelesen werden kann. Für dieses Projekt wurden die CAD-Software *Fusion 360* von Autodesk und die Slicer-Software von Cura genutzt. Sie wurden gewählt, da beide kostenlos verfügbar sind, einfach in ihrer Bedienung sind und somit auch in Schulen genutzt werden können. Für den Druck benötigen 3D Drucker das sogenannte *Filament*, das aus einem thermoplastischen Kunststoff besteht (Bothmann, 2014, S.16). Man kann es mit einer Heißklebepistole, die sich im Raum



bewegt, vergleichen. Das am meisten verwendete Filament besteht aus Polyac-  
tide (PLA). Dabei handelt es sich um einen Biokunststoff, der aus chemisch an-  
einander gebundenen Milchsäuremolekülen besteht (Bothmann, 2014, S. 19).  
Dieses Filament wurde auch in diesem Projekt genutzt.

Als Vorlage für die Entwicklung des Deichprofils sollte ein Klimadeich (Abb.6)  
dienen. Um dessen Aufbau bestmöglich als Modell nachbauen zu können, wur-  
den vor Ort zahlreiche Fotos aufgenommen, welche später bei der Entwicklung  
des Modells halfen. Als weitere Vorlage diente eine Infobroschüre über den Da-  
gebüller Deich, in dem ein Profilbild des Deiches abgebildet ist. Anhand dieser  
Vorlagen wurde das Deichprofil in Fusion 360 konstruiert. In Abbildung 16 ist die  
fertig konstruierte Skizze des Modells dargestellt.

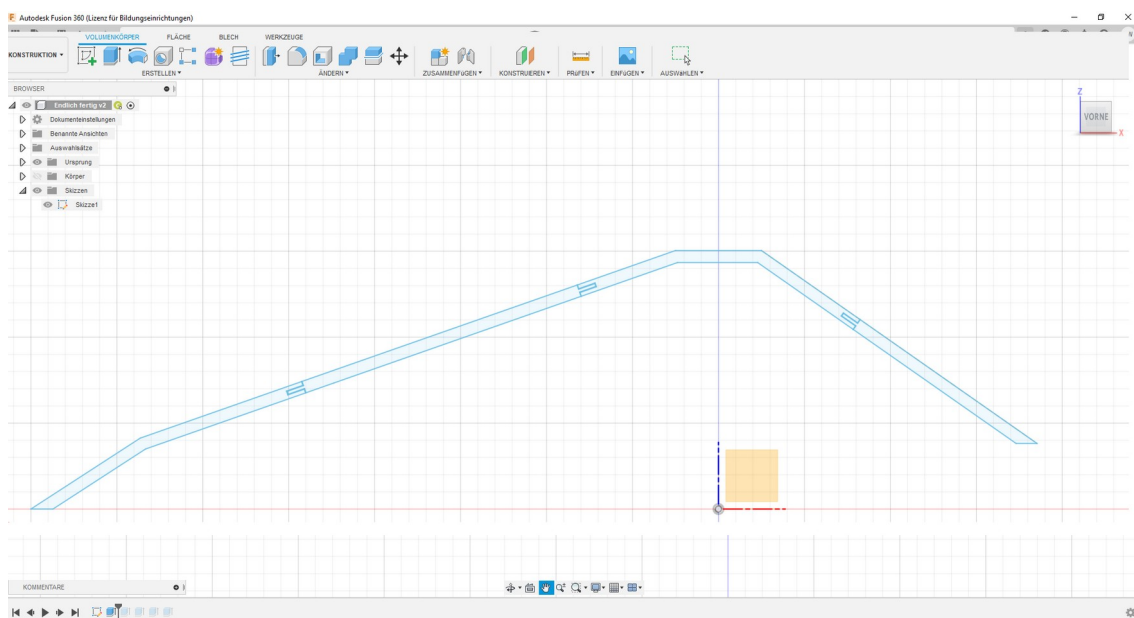


Abbildung 16: Screenshot der Skizze des fertigen Deichmodells aus Fusion 360 (C.Weise)

Darin ist zu sehen, dass das Modell in vier Teilen konstruiert wurde. Dies war  
notwendig, da der Druckraum des verwendeten 3D Druckers auf das Maß von  
20cm x 20cm x 20cm begrenzt ist. Um sie später miteinander zu verbinden,  
wurde ein Nut und Feder System verwendet, welches beim Zusammenbauen  
wasserfest verklebt werden kann. Nach Fertigstellung der Skizze konnten die  
vier Teile des Deiches in ein 3D Modell umgewandelt werden, welches in Abbil-  
dung 17 zu sehen ist.

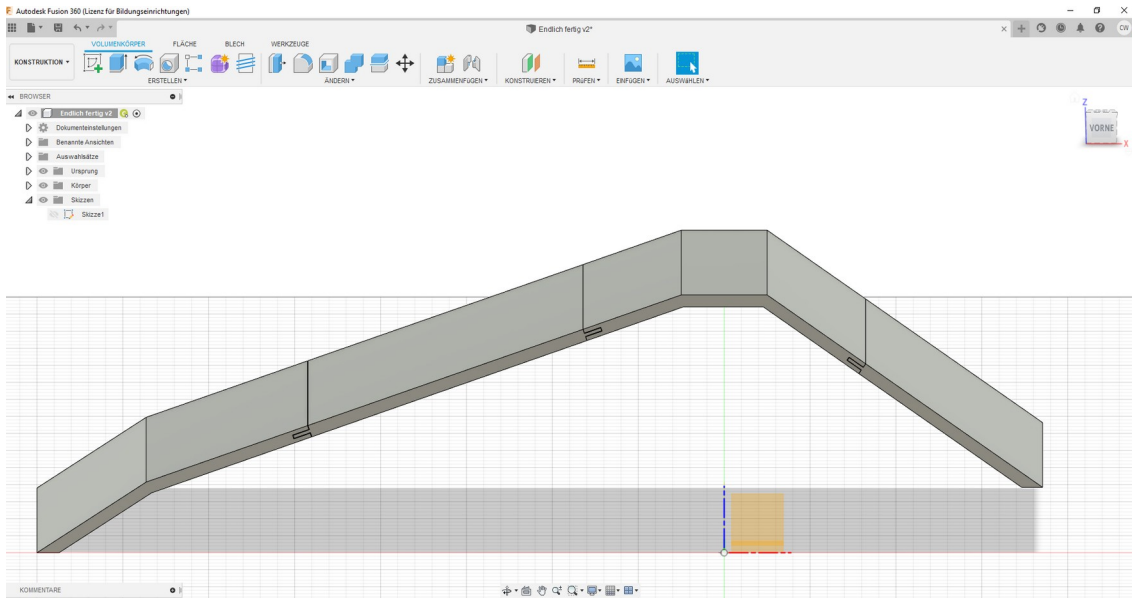


Abbildung 17: Fertig erstelltes 3D Modell des Deiches (C. Weise)

Das fertig konstruierte Modell wurde anschließend mit Cura umgewandelt und ausgedruckt (Abb. 18).



Abbildung 18: Im 3D Druckverfahren erstelltes Deichmodell (C. Weise)

## 6. Bauanleitung zum Exponat

In den folgenden Abschnitten folgt eine detaillierte Baubeschreibung des entwickelten Exponates. Zusätzlich werden auch hilfreiche Tipps gegeben, um Fehler zu vermeiden, die während der Bauphase auftraten. Die in dieser Baubeschreibung angegebenen Maße beziehen sich auf das entwickelte Exponat, in dem sich in der Mitte das Sperrwerk mit angrenzendem Deich befindet. Alle hierfür benötigten Materialien sind im Anhang aufgeführt. Die Maße sowie die verwendeten Materialien können beliebig abgeändert werden.

### 6.1 Das Deichmodell

Im ersten Schritt wird das Deichmodell gedruckt. Dazu können die in dieser Arbeit entwickelten und zur Verfügung gestellten Druckdateien oder individuell angepasste Modelle verwendet werden. Bei der Benutzung der Druckdateien aus dieser Arbeit, können die in Tabelle zwei aufgeführten Druckzeiten und Materialien zugrunde gelegt werden. Da auch die STL-Dateien vorhanden sind, ist es möglich, die Druckzeiten bei Bedarf in Cura anzupassen. Die hier verwendeten Einstellungen wurden gewählt, um ein möglichst wasserfestes Modell zu erzeugen.

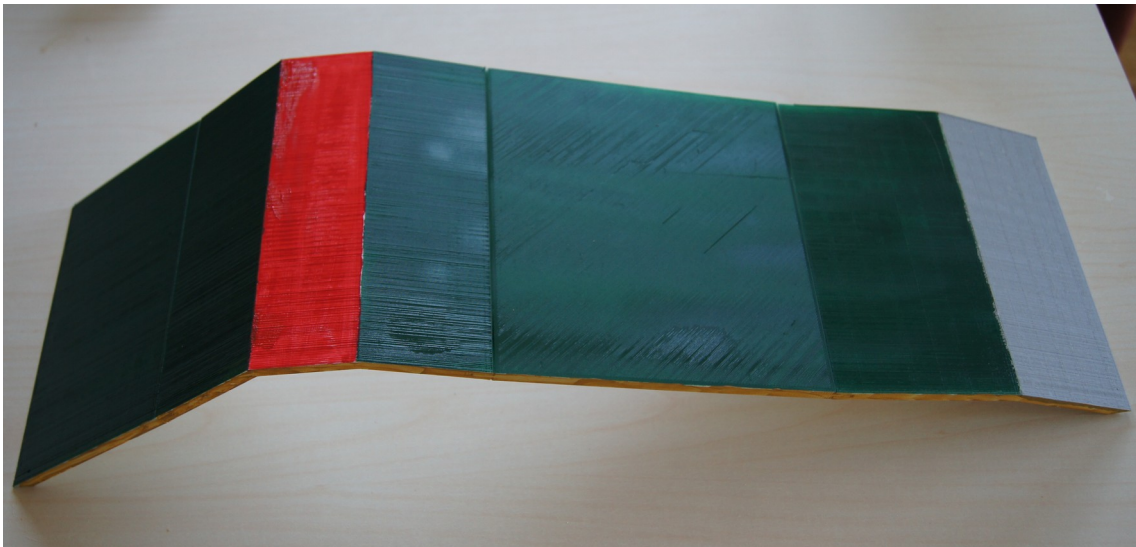
Teil Nr.	Anzahl	Druckzeit pro Teil in Minuten	Filament pro Teil in Meter
1	2	420	26,05
2	2	393	27,28
3	2	442	27,76
4	2	290	19,21

*Tabelle 2: Benötigte Zeit und Material für den Druck des Modells*

Nach Fertigstellung der Modelle können diese individuell farblich gestaltet werden. Hierbei sollte zunächst eine Schicht Klarlack auf das Modell aufgetragen werden und anschließend ein Lackspray oder wasserfeste Acrylfarbe verwendet werden (Abb. 19). Stellen, die nicht lackiert werden sollen, müssen vorher abgeklebt werden. Eine farbliche Gestaltungsmöglichkeit des Deichmodells ist in Abbildung 20 zu sehen.



*Abbildung 19: Lackieren des Modells (T. Weise)*



*Abbildung 20: Fertig lackiertes Modell (C. Weise)*

## 6.2 Der Exponatträger mit Einbau der Modelle

Im ersten Schritt wird die Grundplatte auf das gewünschte Format zugeschnitten. In Abbildung 21 ist eine Skizze aufgeführt, wie die Wände am Exponatträger eingebaut werden, um ihnen ausreichend Stabilität zu gewährleisten.



### Legende:

- Siebdruckplatte
- Polystyrolplatte
- OSB-Platte

Abbildung 21: Skizze des Exponatträgers (C. Weise)

Ist die Grundplatte auf das gewünschte Maß zugeschnitten, werden Nuten<sup>5</sup> in Breiten von vier Millimetern (für die Polystyrolplatten) und acht Millimetern (für die Siebdruckplatte) in einer Tiefe von 10 Millimeter mit einem Nutfräßer in die Platte gefräßt (Abb. 23). Damit die Nuten nicht ausbrechen können, werden sie mit einem Abstand von 2,5 Zentimeter zum Plattenrand gefräßt. Dazu wird mit einem Bleistift und einem langen Lineal der Verlauf der Nuten angezeichnet. Dabei ist zu beachten, auf welcher Seite des Striches der Nutfräßer angesetzt wird. Dies ist wichtig, um das richtige Maß einzuhalten. In Abbildung 22 ist aufgezeigt, welche Möglichkeiten es gibt.

<sup>5</sup> Hierbei handelt es sich um einen technischen Fachbegriff für eine längliche Vertiefung.



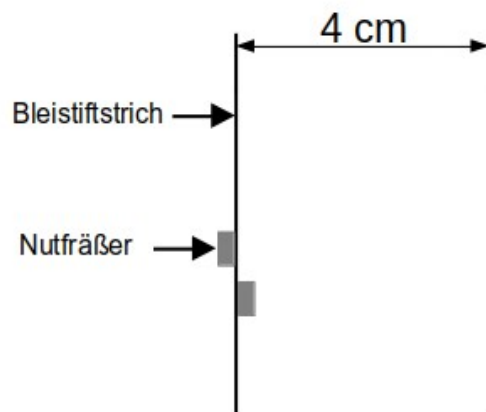


Abbildung 22: Ansetzmöglichkeiten der Nutfräse (C-Weise)

Wird der Nutfräßer links vom Bleistiftstrich angesetzt, bleibt das Maß bei vier Zentimeter, wird er rechts vom Strich angesetzt, verringert sich das Maß um die Breite des Nutfräßers. In Abbildung 24 ist eine fertige Nut als Aufnahme für die Polystyrolplatten zu sehen. Durch die Nuten können Plexiglas und Siebdruckplatte später passgenau eingesetzt und verklebt werden, wodurch sie zusätzliche Stabilität erhalten.



Abbildung 23: Einfräsen der Nuten mit dem Nutfräßer (C. Weise)



*Abbildung 24: Fertige Nut als Aufnahme für die Polystyrolplatten (C.Weise)*

Um zu verhindern, dass später Wasser aus dem Exponat tritt, wird die OSB-Platte mit einer Abdichtfarbe eingestrichen (Abb. 25). Zum Abdichten sollte eine spezielle Farbe zum Einsatz kommen, wie sie auch im Bau von Bädern oder anderen Feuchträumen verwendet wird.



*Abbildung 25: Mit Abdichtfarbe eingestrichene Grundplatte (C. Weise)*

Nachdem die Trocknungszeit der Farbe erreicht ist, wird die Rückwand auf das gewünschte Maß zugeschnitten und in die Nut gesetzt (Abb. 26).





*Abbildung 26: Eingesetzt Rückwand auf der Grundplatte (C. Weise)*

Für eine bessere Stabilität der Polystyrolplatten, werden in die Rückwand ebenfalls Nuten gefräßt (Abb. 27). Hierbei sollte ein rechter Winkel genutzt werden, mit dem der Verlauf von der Grundplatte auf die Rückwand übertragen wird.



*Abbildung 27: Eingesetzt Rückwand mit fertigen Nuten (C. Weise)*

Im nächsten Schritt werden die genauen Maße für die Polystyrolplatten aufgenommen, um diese dann auf das richtige Maß zuzuschneiden. Wichtig ist hierbei, dass die Tiefe der Nuten an der Rückwand mitgemessen wird (Abb. 28).





*Abbildung 28: Ausmessen der Polystyrolplatten (C. Weise)*

Um die Polystyrolplatten zu schneiden, kann entweder ein sehr scharfes Messer oder eine Säge (Abb. 30) – am besten eignet sich hierbei eine Zug-Kapp-Gehrungssäge – verwendet werden. Bei der Verwendung einer Säge sollte der Schnittbereich mit Klebeband abgeklebt werden wie es in Abbildung 29 zu sehen ist, um einen sauberen Schnitt zu erhalten.



*Abbildung 29: Abgeklebte Schnittfläche auf der Polystyrolplatte (C. Weise)*





*Abbildung 30: Zusägen der Polystyrolplatte (C. Weise)*

Bevor die Polystyrolplatten eingesetzt werden, wird Montagekleber in die Nuten gegeben, um diese darin zu verkleben (Abb. 31).



*Abbildung 31: Eintagen des Montageklebers in die Nuten (C. Weise)*

Anschließend werden die Platten eingesetzt. Dabei werden die Ecken mit Silikon verklebt und zur Stabilisierung mit Klebeband versehen (Abb. 32).



*Abbildung 32: Mit Klebeband versehene Ecken (C. Weise)*

Abschließend werden die Wände rundum mit Silikonfugen versehen (Abb. 33). Diese müssen im Anschluss etwa zehn Stunden trocknen und sollten in dieser Zeit nicht mehr berührt werden.



*Abbildung 33: Einbringen der Silikonfugen (C. Weise)*

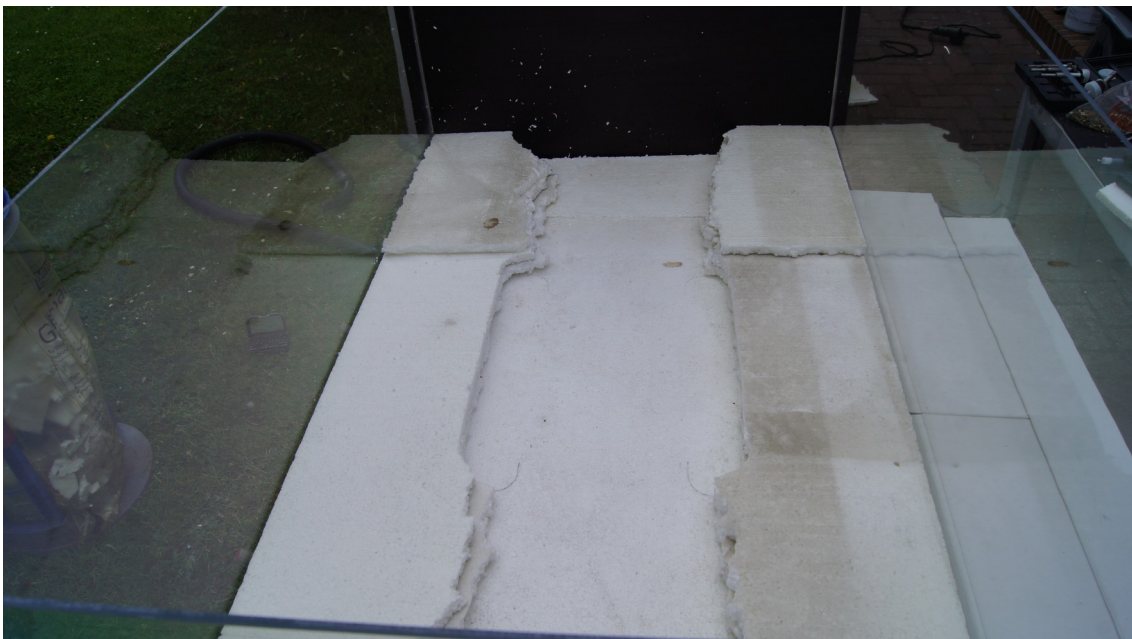
Nachdem das Silikon getrocknet ist, werden zur zusätzlichen Stabilisierung Eckschienen eingesetzt (Abb. 34).





*Abbildung 34: Eingesetzte Eckschiene (C. Weise)*

Im nächsten Schritt wird das Deichvor- und hinterland mit Styroporplatten individuell gestaltet (Abb. 35). Dazu werden mit den Styroporplatten mehrere Schichten aufgebaut. Wichtig ist dabei, ein leichtes Gefälle in Richtung des späteren Wasserablaufes einzubauen, damit das Wasser dort abfließen kann.



*Abbildung 35: Mit Styropor gestaltetes Deichvor- und hinterland (C. Weise)*

Wenn alles fertig gestaltet ist, werden die Bohrungen für den Wasserab- und zulauf sowie die Elektronik, je nach erforderlicher Größe, gebohrt (Abb. 36). Die empfohlenen Positionen sind in Abbildung 37 aufgeführt.



Abbildung 36: Bohrung für den Wasserzulauf (C. Weise)

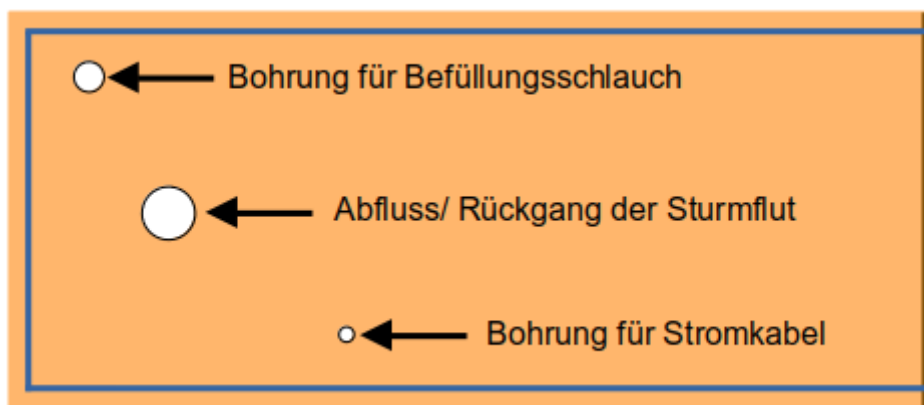


Abbildung 37: Übersicht der Bohrungen (C. Weise)

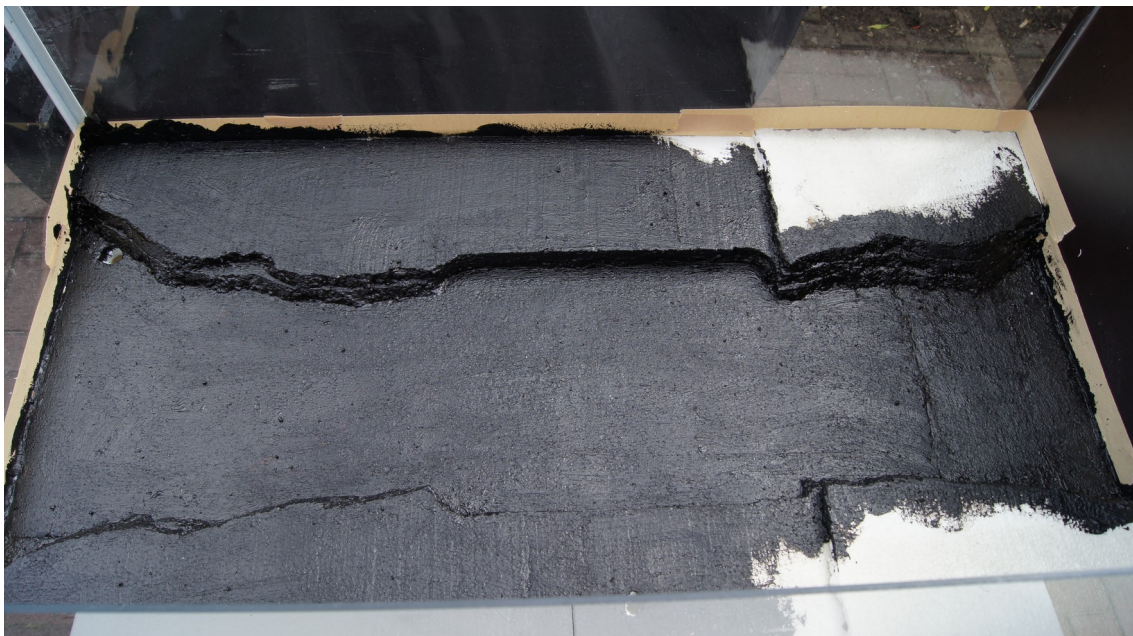
Wenn alle Bohrungen gesetzt sind, werden die einzelnen Styroporschichten miteinander verklebt. Anschließend wird alles mit Bitumfarbe wasserfest gestrichen und an den Rändern mit einer Silikonfuge versehen (Abb. 38). Wichtig ist hierbei, die Polystyrolplatten vorher mit Klebeband abzukleben.



Für das Bedienfeld werden zunächst drei 45 Grad Winkel am Exponat angeschraubt (Abb. 39), auf die ein Brett mit einer Stärke von etwa 4 Zentimetern aufgeschraubt wird.



*Abbildung 38: Angeschraubte 45 Grad Winkel für das Bedienfeld (C. Weise)*



*Abbildung 39: Mit Bitumfarbe gestrichene Styroporplatten (C. Weise)*

Anschließend werden in das Brett Löcher für die Schalter und den Ablauf gebohrt (Abb. 40) und alle Bedienelemente eingebaut (Abb. 41). Die Anordnung ist dabei frei wählbar.





Abbildung 40: Bohrungen im Bedienfeld (H. Petschull)



Abbildung 41: Eingebaute Bedienelemente (C. Weise)

Sind diese Arbeiten abgeschlossen, werden die Modelle eingesetzt. Dazu wird zunächst der Sand unter dem Deich eingebracht und anschließend das Deichprofil darüber gesetzt (Abb. 42). In der Mitte wird das Sperrwerk eingebaut. Sind alle Modelle positioniert (Abb. 43), werden sie durch Silikon wasserfest mit dem Styropor verbunden.



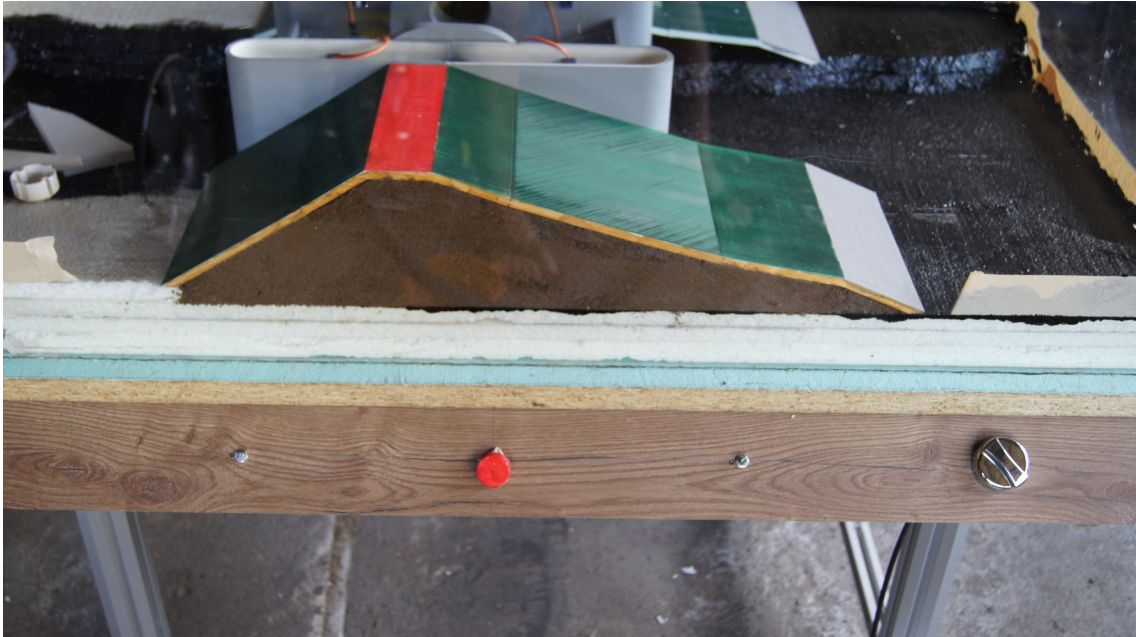


Abbildung 42: Fertig erstelltes Deichmodell (C. Weise)

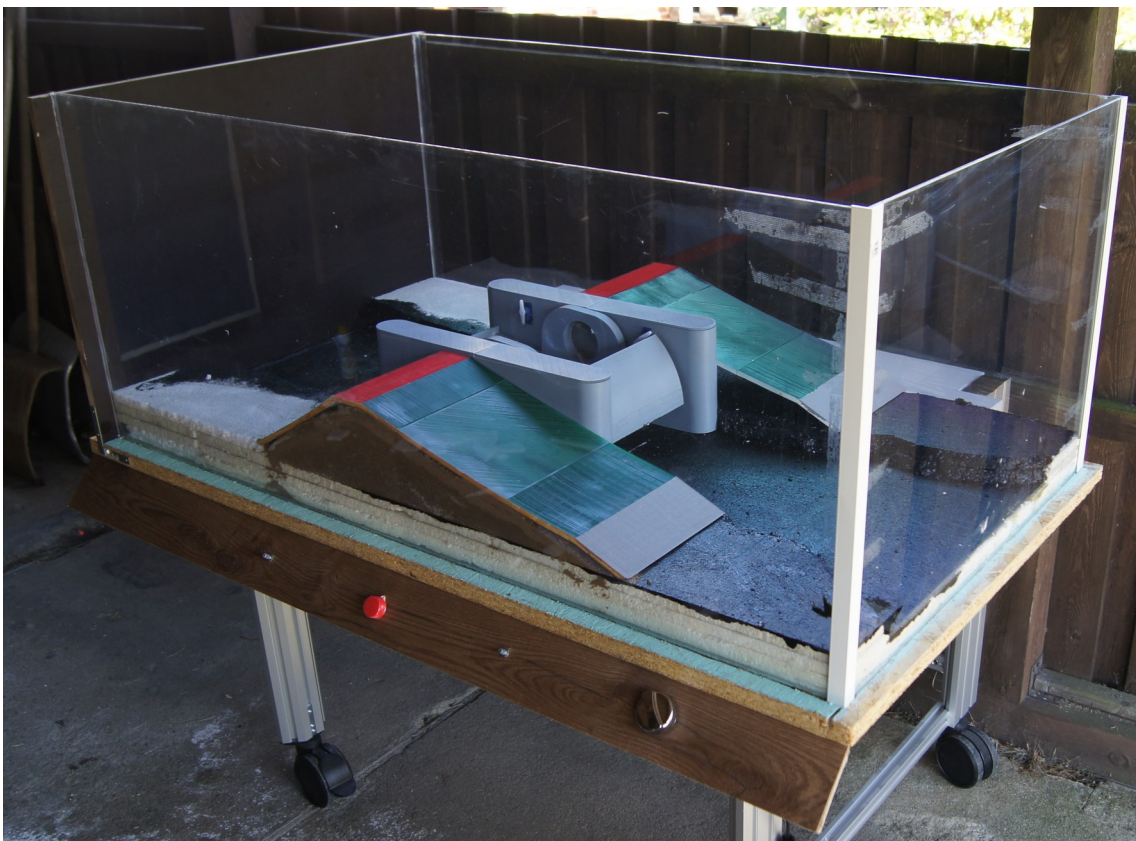


Abbildung 43: Eingesetzte Modelle im Exponat (C. Weise)



### 6.3 Der Wasserkreislauf mit Pumpensteuerung

Im ersten Schritt wird die Steuerung für die Pumpe gebaut. Das dafür benötigte Verdrahtungsschema ist in Abbildung 42 aufgeführt.

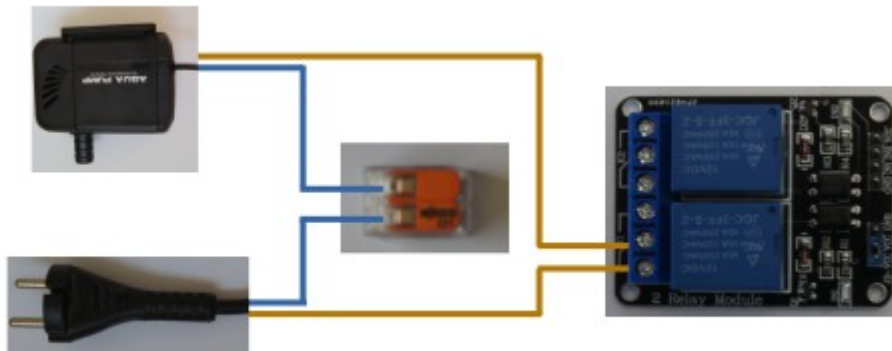


Abbildung 44: Schaltplan für den Laststromkreis (C. Weise)

Zunächst wird der Eurostecker an der Pumpe abgeschnitten und die beiden Stromkabel auf einer Länge von etwa einem Zentimeter abisoliert. Dieses wird anschließend in die vorgesehene Abzweigdose gezogen. Im nächsten Schritt wird ein Kabel mit Eurostecker am Ende abgeschnitten, die beiden Stromkabel ebenfalls auf einen Zentimeter abisoliert und in die Abzweigdose gezogen. Dort werden die blauen Kabel mit Kabelverbindern verbunden, die braunen am Relais angeschlossen (Abb. 43). Wichtig ist, dass alle Verkabelungen vor Inbetriebnahme von einer Fachkraft abgenommen werden.

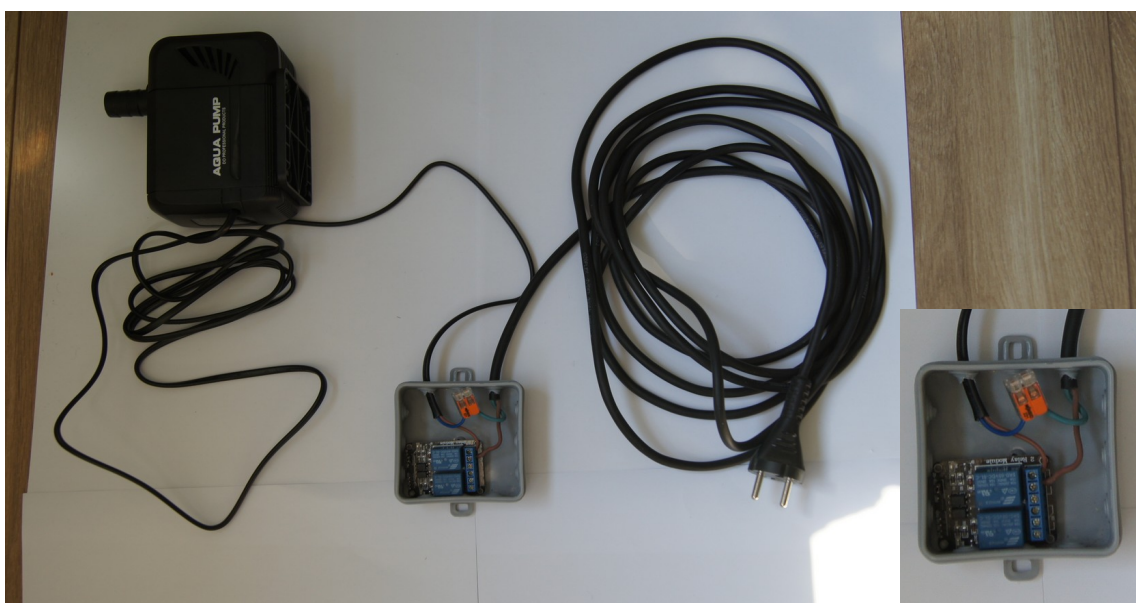
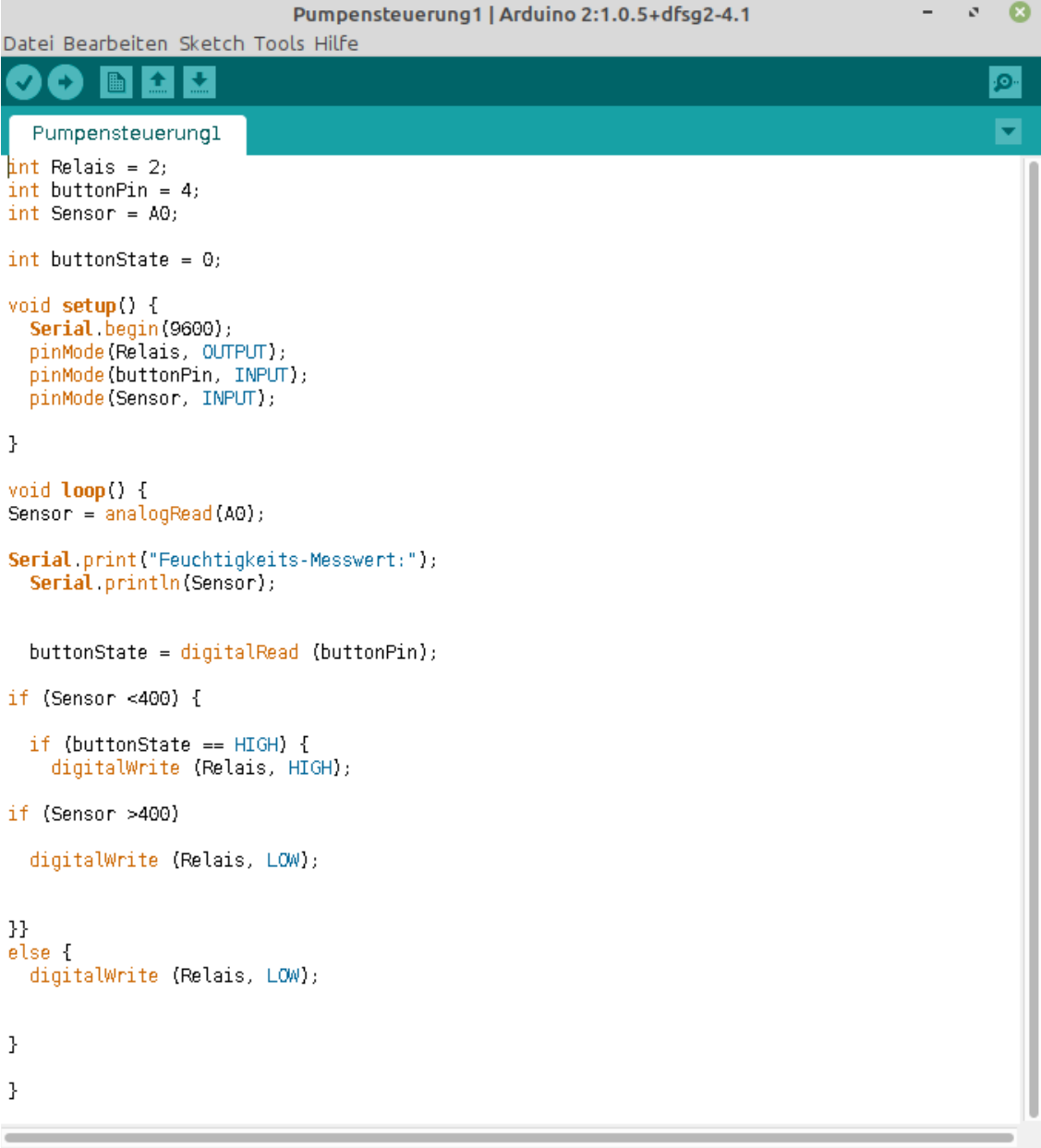


Abbildung 45: Verkabelung der Pumpe und des Stromkabels am Relais (C. Weise)

Als nächstes wird der Steuerstromkreis für die Pumpe gebaut. Dazu kann der zur Verfügung gestellte Sketch aus Abbildung 44 genutzt werden.



```
Pumpensteuerung1 | Arduino 2:1.0.5+dfsg2-4.1
Datei Bearbeiten Sketch Tools Hilfe
Pumpensteuerung1
int Relais = 2;
int buttonPin = 4;
int Sensor = A0;

int buttonState = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(Relais, OUTPUT);
  pinMode(buttonPin, INPUT);
  pinMode(Sensor, INPUT);
}

void loop() {
  Sensor = analogRead(A0);

  Serial.print("Feuchtigkeits-Messwert:");
  Serial.println(Sensor);

  buttonState = digitalRead (buttonPin);

  if (Sensor <400) {
    if (buttonState == HIGH) {
      digitalWrite (Relais, HIGH);
    }
  }
  if (Sensor >400)
    digitalWrite (Relais, LOW);
  }
else {
  digitalWrite (Relais, LOW);
}
}
```

Abbildung 46: Sketch für die Pumpensteuerung (C. Weise)

Darin ist zu sehen, welche Pins am Arduino belegt sind. Der Sketch für die Sperrwerkssteuerung kann der Arbeit von Henrik Petschull entnommen werden (vgl. Petschull, 2021). Der Steuerstromkreis kann entweder auf einem Breadboard gesteckt werden oder auf einer Lötplatine verlötet werden. Der Arduino wird anschließend ebenfalls in der Abzweigdose untergebracht und die nötigen Leitungen an ihre Positionen am Bedienpult und im Exponat verlegt.

Sind diese Arbeiten abgeschlossen, wird die Pumpe in einen Wasserbehälter gestellt und angeschlossen. Durch die frei wählbare Schlauchlänge und ein langes Stromkabel, kann der Wasserbehälter direkt unter dem Exponat oder an einer anderen Position verbaut werden.

In diesem Projekt wurde ein ausgesonderter Tisch verwendet, unter dem der Wasserbehälter gestellt werden kann. Um diesen unzugänglich zu machen, kann der Tisch verkleidet werden.

## 7. Fazit

Das Ziel dieser Arbeit lag darin, ein interaktives Exponat zu entwickeln, welches den Deich und das Sperrwerk als Küstenschutzmaßnahme wiedergibt und mit etwas handwerklichem Geschick nachgebaut werden kann. Zu Beginn musste sich in Themengebiete eingearbeitet werden, welche bis dahin noch eher unbekannt waren. Hierzu zählt unter anderem die Einarbeitung in den 3D Druck sowie im Bereich der Elektrotechnik, das Arduino Uno System. Schnell wurde dabei klar, welches Potential in diesen Bereichen vorhanden ist, um interaktive Exponate zu konstruieren. Durch den 3D Druck ist es möglich, passgenaue und detailreiche Modelle zu erstellen, die später ohne Problem vervielfältigt werden können, was auch die Intention dieses Projektes war. Darüber hinaus bietet der Einsatz von Mikrocontrollern eine Vielzahl interaktiver Möglichkeiten. So bietet das fertige Exponat, die Möglichkeit sich interaktiv mit den Themen Deiche und Sperrwerke als Küstenschutzmaßnahme auseinanderzusetzen. Zusätzlich ist es beispielsweise möglich, nur das Modell des Deiches oder des Sperrwerkes zu nutzen und daran verschiedenen Funktionsweisen aufzuzeigen. Speziell mit Blick auf den Unterricht bietet das entwickelte Exponat eine Menge Potential.

Da es sich noch um einen Prototypen handelt, gilt es als nächstes, das entwickelte Exponat auf eventuelle Schwächen im Alltagsgebrauch zu überprüfen und diese zu verbessern. Hierbei würde sich zunächst ein beaufsichtigter Einsatz in einem Science Centre oder einer Schule anbieten. Auch die entwickelte Bauanleitung kann durch einen Nachbau auf Schwachpunkte geprüft und angepasst werden. Dennoch ist davon auszugehen, dass das entwickelte Exponat schon jetzt eine Bereicherung für den Bau eines Exponates ist.

## Literatur

- Böge, W., Plaßmann, W., Conrads, D., Döring, E., Döring, P., Gierens, H., Liebenstein, R. von, Kemnitz, A., Steffen, H., Wellenreuther, G., & Zastrow, D. (2007). *Vieweg Handbuch Elektrotechnik: Grundlagen und Anwendungen für Elektrotechniker* (4. Auflage). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Bosecke, T. (2005). *Vorsorgender Küstenschutz und Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM) an der deutschen Ostseeküste: Strategien, Vorgaben und Defizite aus Sicht des Raumordnungsrechts, des Naturschutz- und europäischen Habitatschutzrechts sowie des Rechts der Wasserwirtschaft*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Bothmann, O. (2014). *3D-Druck-Praxis: Alles für den Start*. Baden-Baden: Griebisch & Rochol Druck GmbH.
- Brasseur, G. P., Jacob, D., & Schuck-Zöllner, S. (2016). *Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Berlin: Springer Spektrum.
- Dierks, K., Wormuth, R., Gabriel, K., Hänel, K., Klostermann, O., Kuhlmann, E., Schlaich, J., Tietge, H.-W., & Ziegert, C. (2011). *Baukonstruktion: Einführung, Grundlagen, Gründungen, Technische Ausrüstung, Wände, Geschossdecken, Treppen, Dächer, Fenster, Türen, Konstruktionsatlas*.
- Grehn, J., Gomoletz, J., Krause, J., Peters, G., Schwarze, H. (2007). *Metzler Physik SII - 4. Auflage 2007: Schüler-band SII* (4. Auflage). Braunschweig: Schroedel Verlag GmbH.
- Brinkmann, B., & Henrichs, H.. (2014). *Hochwasser- und Küstenschutz in Deutschland* In: Henrichs, H. & Michelsen, G. (Hrsg.): *Nachhaltigkeitswissenschaften* (2014. Auflage). Berlin Heidelberg: Springer Spektrum.
- Janke, K., & Kremer, B. P. (2003). *Das Watt: Alle wichtigen Tiere und Pflanzen in ihren Lebensräumen. Führer zu den Naturparks* (2. Auflage). Stuttgart: Kosmos.
- Junk, S. (2019). *Fusion 360 – kurz und bündig: Praktischer Einstieg in Cloud-CAD mit Anwendungsbeispiel für 3D-Druck* (1. Auflage). Springer Vieweg.

- Konitzer, S., & Weidinger, E. (2019). *Zukunft der Meeresspiegel*. Deutsches Klima Konsortium e.V. Verfügbar unter: <https://www.geo.uni-hamburg.de/geographie/mitarbeiterverzeichnis/ratter/daten/medien-pdf-2019-meeresspiegelanstieg-broschuere.pdf> (11.05.21)
- Kramer, J. (1996). *Kein Deich. Kein Land. Kein Leben. Geschichte des Küstenschutzes an der Nordsee*. Leer: Gerhard Rautenberg.
- Lachmayer, R., & Lippert, R. B. (2016). *Chancen und Herausforderungen für die Produktentwicklung* In: Fahlbusch, T., Lachmayer, R., Lippert, R. B. (Hrsg.): 3D-Druck beleuchtet: Additive Manufacturing auf dem Weg in die Anwendung. Springer-Verlag. (S. 5-17)
- Lingnau, M. (2008). *Spezial Sperrholz*. Verfügbar unter: [https://www.wki.frauenhofer.de/content/dam/wki/de/documents/Mediathek/fachpublikationen/broschuere\\_informationsdienst-holz\\_spezial/spezial\\_Sperrholz\\_2008-04.pdf](https://www.wki.frauenhofer.de/content/dam/wki/de/documents/Mediathek/fachpublikationen/broschuere_informationsdienst-holz_spezial/spezial_Sperrholz_2008-04.pdf) (25.05.21)
- Meurer, R. (2000). *Wasserbau und Wasserwirtschaft in Deutschland: Vergangenheit und Gegenwart*. Berlin: Vieweg+Teubner Verlag.
- Petschull, H. (2021). *Sperwerke als Maßnahme des Küstenschutzes für die norddeutsche Küste im Rahmen eines DBU-Projektes zum Klimawandel [Master Theses]*. Europa Universität Flensburg.
- Meisert, A. (2018). *Mit Modellen lernen* In: Ruppert, W. & Spörhase, U. (Hrsg.) Biologie-Methodik (3. überarbeitete Auflage) - Handbuch für die Sekundarstufe I und II. Berlin: Cornelsen Schulverlag GmbH. (S. 121-127)
- Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Nordfriesland. (2020). *General Küstenschutz des Landes Schleswig-Holstein*. Fortschreibung 2022. Entwurf. Kiel.
- Sönnichsen, U. (1978). *Trutz, blanke Hans: Bilddokumentation der Flutkatastrophen 1962 und 1976 in Schleswig-Holstein und Hamburg*. Husum: Husum-Druck- und -Verlagsgesellschaft mbH u. Co.KG.
- Wehner, B. (2014): *Grundschul Kinder im Museum* In: Czech, A., Kirmeier, J., & Sgoff, B. (Hrsg.): Museumspädagogik. Ein Handbuch: Grundlagen und Hilfen für die Praxis (1. Auflage). Schwalbach/Ts: Wochenschau Verlag.
- Weise, C. (2019). *Der Einfluss von Kindern auf das Besucherverhalten im Multi-mar Wattforum* [Bachelor Thesis]. Europa Universität Flensburg.



Wieland, P. (1998). *Küstenfibel. Ein ABC der Nordseeküste*. Heide: boyens-medien.de.

Wiese, Michael. (2021). *Der LKN.SH*. Landesportal Schleswig-Holstein. Verfügbar unter: [http://www.schleswig-holstein.de/DE/Landesregierung/LKN/\\_documents/lkn.html?nn=482b7958-c246-45d5-aaa9-46ade339a9a3](http://www.schleswig-holstein.de/DE/Landesregierung/LKN/_documents/lkn.html?nn=482b7958-c246-45d5-aaa9-46ade339a9a3) (12.06.21).

Zillmer, H.-J. (2011). *Die Erde im Umbruch: Katastrophen form(t)en diese Welt. Beweise aus historischer Zeit*. München: F. A. Herbig Verlagsbuchhandlung GmbH.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wahrscheinliche Bandbreite des zukünftigen Meeresspiegelanstieges (mit Erlaubnis von: Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft Umwelt und ländliche Räume, 2020 ).....	2
Abbildung 2: Pfahlreihe eines Lahnungsfeldes bei Niebüll in Schleswig-Holstein (C. Weise).....	5
Abbildung 3: Entstandenes Neuland durch Lahnungsfelder im Deichvorland (C. Weise).....	6
Abbildung 4: Entstehung der Gezeiten (C.Weise).....	8
Abbildung 5: Alter Stackdeich bei Niebüll in Schleswig Holstein (C. Weise).....	10
Abbildung 6: Konzept der Baureserve noch dem Generalplan Küstenschutz Schleswig Holstein ( <i>verändert nach</i> : Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume , 2021).....	13
Abbildung 7: Deichprofil eines nach dem Generalplan Küstenschutz 2001 erbauten Deiches (H. Petschull).....	15
Abbildung 8: Deichprofil eines Klimadeiches mit Baureserve (H. Petschull).....	15
Abbildung 9: Sturmflutexpomat im Multimar Wattforum (mit Erlaubnis von: <a href="http://apartments-stpeterording.de">apartments-stpeterording.de</a> ).....	17
Abbildung 10: 3D Drucker aus dem privaten Bereich (C.Weise).....	19
Abbildung 11: Mikrocontroller auf Basis eines Arduino Uno (C. Weise).....	20
Abbildung 12: Softwarekomponente auf Basis eines sketches (C. Weise).....	21
Abbildung 13: <i>Prototyp</i> des Wasserkreislaufes auf dem Breadboard (C. Weise) .....	22

Abbildung 14: Relais mit Optokoppler (C. Weise).....	23
Abbildung 15: Schaltzeichen eines Relais mit Optokoppler (C. Weise).....	24
Abbildung 16: Screenshot der Skizze des fertigen Deichmodells aus Fusion 360 (C.Weise).....	26
Abbildung 17: Fertig erstelltes 3D Modell des Deiches (C. Weise).....	27
Abbildung 18: Im 3D Druckverfahren erstelltes Deichmodell (C.Weise).....	27
Abbildung 19: Lackieren des Modells (T. Weise).....	29
Abbildung 20: Fertig lackiertes Modell (C. Weise).....	29
Abbildung 21: Skizze des Exponatträgers (C. Weise).....	30
Abbildung 22: Ansatzmöglichkeiten der Nutfräse (C.Weise).....	31
Abbildung 23: Einfräsen der Nuten mit dem Nutfräser (C. Weise).....	31
Abbildung 24: Fertige Nut als Aufnahme für die <i>Polystyrolplatten</i> (C.Weise)....	32
Abbildung 25: Mit Abdichtfarbe eingestrichene Grundplatte (C. Weise).....	32
Abbildung 26: Eingesetzt Rückwand auf der Grundplatte (C. Weise).....	33
Abbildung 27: Eingesetzt Rückwand mit fertigen Nuten (C. Weise).....	33
Abbildung 28: Ausmessen der Polystyrolplatten (C. Weise).....	34
Abbildung 29: Abgeklebte Schnittfläche auf der Polystyrolplatte (C. Weise)....	34
Abbildung 30: Zusägen der Polystyrolplatte (C. Weise).....	35
Abbildung 31: Eintagen des Montageklebers in die Nuten (C. Weise).....	35
Abbildung 32: <i>Mit Klebeband versehene Ecken</i> (C. Weise).....	36
Abbildung 33: Einbringen der Silikonfugen (C. Weise).....	36
Abbildung 34: Eingesetzte Eckschiene (C. Weise).....	37
Abbildung 35: Mit Styropor <i>gestaltetes Deichvor- und hinterland</i> (C. Weise)....	37
Abbildung 36: Bohrung für den Wasserzulauf (C. Weise).....	38
Abbildung 37: Übersicht der Bohrungen (C. Weise).....	38
Abbildung 38: Angeschraubte 45 Grad Winkel für das Bedienfeld (C. Weise). .	39
Abbildung 39: Mit Bitumfarbe gestrichene Styroporplatten (C. Weise).....	39
Abbildung 40: Bohrungen im Bedienfeld (H. Petschull).....	40
Abbildung 41: Eingebaute Bedienelemente (C. Weise).....	40
Abbildung 42: Fertig erstelltes Deichmodell (C. Weise).....	41
Abbildung 43: Eingesetzte Modelle im Exponat (C. Weise).....	41
Abbildung 44: Schaltplan für den Laststromkreis (C. Weise).....	42

Abbildung 45: Verkabelung der Pumpe und des Stromkabels am Relais (C. Weise).....	42
Abbildung 46: Sketch für die Pumpensteuerung (C. Weise).....	43

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Flutkatastrophen der Nordsee und ihre Opfer (verändert nach Sönnichsen, 1978).....	12
Tabelle 2: Benötigte Zeit und Material für den Druck des Modells.....	28

## Anhang

### Materialliste des Exponates

#### Exponatträger:

Material	Maße / Anzahl
OSB-Platte	125 cm x 73 cm x 2,2 cm / 1
Polystyrolplatte (Hobbyglas)	50 cm x 121 cm x 0,4 cm / 2
Polystyrolplatte (Hobbyglas)	50 x 67,2 cm x 0,4 cm / 1
Siebdruckplatte	50 cm x 73 cm 2,2 cm / 1
Silicon (transparent)	3
Montagekleber	1
Lugato Duschabdichtung 4 kg	1
Eckschiene (weiß aus Metall)	1 m / 1
Polystyrolplatten	100 cm x 50 cm x 2 cm / 5
Lugato Schwarzer Blocker Schutzfolie 2,5 L	1
Winkelverbinder 45 Grad	3
Brett	125 cm x 10 cm x 4 cm / 1
Spax Schrauben Vollgewinde	4 x 16 / 15
Siebkorbventil Bowdenzug Drehbetätigung	Ø 114 mm 1 Zoll / 1
Sand 2 Liter (trocken)	1

#### 3D Modelle:

Material	Anzahl
Filament 1kg Rolle PLA	3
Dose Lackspray oder Acrylfarbe grün	1
Dose Lackspray oder Acrylfarbe grau	1
Dose Lackspray oder Acrylfarbe rot	1

#### Steuerstromkreis:

Material	Anzahl
Arduino Mikrocontroller	1
Relais mit Optokoppler	1
Taster für Arduino	1
Wassersensor für Arduino	1
Servomotor	4
Drehschalter	2
Elektrischer Draht rot	10 m / 1
Elektrischer Draht schwarz	10 m / 1

**Laststromkreis:**

Material	Maße / Anzahl
Teichpumpe	1
Wasserschlauch für Teichpumpe	1,5 m / 1
Stromkabel mit Eurostecker	1,5 m / 1
Kabelklemmen	1
Abzweigdose Aufputz für Feuchträume	1
Teichpumpe	1



### Eigenständigkeitserklärung

Alle schriftlichen Arbeiten (entsprechend im Falle einer zulässigen Gruppenarbeit der jeweils entsprechend gekennzeichnete Teil der Arbeit) müssen abschließend die nachfolgende schriftliche und eigenhändig von der oder dem Studierenden zu unterzeichnende Versicherung enthalten:

#### ERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich ausdrücklich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Ich versichere insbesondere ausdrücklich, dass ich bei Anfertigung der vorliegenden Arbeit keine Dienstleistungen oder sonstigen Unterstützungsleistungen, gleich welcher Art, von Ghostwriter-Agenturen bzw. vergleichbaren Dienstleistungsanbietern oder sonstigen Dritten, gleich ob entgeltlich oder unentgeltlich, in Anspruch genommen habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus gedruckten, elektronischen oder anderen Quellen entnommene oder entlehnte Textstellen sind von mir eindeutig als solche gekennzeichnet worden.

Mir ist bekannt, dass Verstöße gegen diese Versicherung nicht nur zur Bewertung der vorgelegten Prüfungsleistung mit „nicht ausreichend (5,0)“, sondern in schwerer wiegenden Fällen zu weiteren Maßnahmen der Europa-Universität Flensburg bis zur Exmatrikulation führen können.

Mir ist bekannt, dass die Arbeit digital gespeichert und durch eine Anti-Plagiatssoftware überprüft werden kann. Sowohl mit der Datenspeicherung als auch mit der Überprüfung meiner Arbeit durch den Einsatz einer Anti-Plagiatssoftware erkläre ich mich einverstanden.

Mit einer Ausleihe meiner Arbeit bin ich  einverstanden /  nicht einverstanden.

Flensburg,

---

Unterschrift