

Entwicklung und Konstruktion eines Planktonprobennehmers und Implementierung in ein ferngesteuertes Unterwasserfahrzeug (ROV)

Diplomarbeit

Auslegeexemplar

Tobias Pehmöller

Matrikel Nummer: 1653028

Erstprüfer: Prof. Dr. Franz Vinnemeier
Zweitprüfer: Dr. Rolf Koppelman

Hamburg, 31.01. 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	10
2	Problembeschreibung	12
3	Stand der Technik.....	14
4	Durchgeführte Arbeiten.....	17
4.1	Materialien	18
4.2	Form des Rahmens	19
4.3	Pumpe.....	23
4.4	Pumpensteuerung.....	26
4.4.1	Transistor-Transistor-Logik (TTL)	33
4.5	Ansteuerung der einzelnen Röhren	34
4.5.1	Magnetventile.....	35
4.5.2	Flachschieber/Absperrschieber	37
4.5.3	Absperrklappen/Scheibenventile/Drosselklappe.....	38
4.5.4	Kugelventile	39
4.5.5	Lochscheiben – Magnetsteuerung.....	40
4.5.6	Lochscheiben – Motorsteuerung.....	41
4.6	Rohrleitungen.....	45
4.7	Rückflussverhinderer	46
4.8	Dichtigkeit	49
5	Berechnungen.....	50
5.1	FEM-Analyse	50
5.2	Schraubenberechnung.....	54
5.3	Berechnung des theoretischen Volumenstroms der Pumpe.....	58
5.4	Strömungsanalyse	60
6	Bau / Konstruktion.....	61
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	73
	Literaturverzeichnis.....	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1 Rahmenkonstruktion Planktonprobennehmer.....	19
Abbildung 4-2 Bodenplatte.....	20
Abbildung 4-3 Seitenwand rechts	21
Abbildung 4-4 Seitenwand links	21
Abbildung 4-5 Rückwand	22
Abbildung 4-6 Thruster 600 HF [9].....	24
Abbildung 4-7 Schaltplan Pumpensteuerung.....	26
Abbildung 4-8 Parallax Servo Controller	26
Abbildung 4-9 Electronic Speed Controller Hydra 120.....	27
Abbildung 4-10 Parallax Servo Controller Interface	29
Abbildung 4-11 Entstehung des PWM-Signals [1]	30
Abbildung 4-12 Motorsteuerung mittels PWM [1].....	30
Abbildung 4-13 Graupner 70 SBEC [10].....	31
Abbildung 4-14 Entwurf Planktonsammler – Ort für die Ventile rot eingefärbt.....	34
Abbildung 4-15 Schema Magnetventil [2]	35
Abbildung 4-16 Schema Flachschieber [3]	37
Abbildung 4-17 Schema Absperrklappe [4].....	38
Abbildung 4-18 Schema Kugelventil [5]	39
Abbildung 4-19 Motor Vorderseite	42
Abbildung 4-20 Motor Rückseite	42
Abbildung 4-21 Scheibenmodell 1	43
Abbildung 4-22 Scheibenmodell 2	43
Abbildung 4-23 Schaltplan Schrittmotorsteuerung.....	44
Abbildung 4-24 Planktonprobennehmer mit Rohrleitungssystem	45
Abbildung 4-25 Schema Rückflussverhinderer [6]	46
Abbildung 4-26 Rückstauklappe REDI 50 mm [12].....	47
Abbildung 4-27 Rückstauklappe mit nachträglich eingebauter Feder.....	47
Abbildung 4-28 Schlauchtülle mit 1 1/4" Gewinde [14]	48
Abbildung 4-29 Kunststoff-Klemmverbinder [13].....	48
Abbildung 5-1 von Mises Spannung	52
Abbildung 5-2 Verschiebungen	53
Abbildung 5-3 Geschwindigkeitsverteilung	60
Abbildung 6-1 Außenwände und Rückwand in FilouNC11	61
Abbildung 6-2 Bodenplatte in FilouNC11	62
Abbildung 6-3 Bodenplatte in FilouNC11 3D Simulation.....	63
Abbildung 6-4 Außenwände und Rückwand in FilouNC11 3D Simulation.....	64
Abbildung 6-5 Beispiel NC-Code	65
Abbildung 6-6 NC-Code in WINPC-NC.....	66

Abbildung 6-7 manuelles Fahren mit WINPC-NC	67
Abbildung 6-8 Nullpunkt speichern	67
Abbildung 6-9 WinCNC-Control Fenster	68
Abbildung 6-10 Arbeitsprozessfenster	69
Abbildung 6-11 Gestell des Planktonprobennehmers	70
Abbildung 6-12 Scheibenantrieb Vorderansicht.....	70
Abbildung 6-13 Scheibenantrieb Rückansicht	71
Abbildung 6-14 Befestigung der Pumpe mittels eines C-Profil	72

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1 Werkstoffkennwerte Polypropylen.....	18
Tabelle 5-1 Werte zur Berechnung der Belastung [11].....	51

Liste der Symbole

A	Fläche
d	Durchmesser
D	Durchmesser
E	Elastizitätsmodul
F	Kraft
k_A	Betriebsfaktor
l	Länge
M	Drehmoment
M	Metrisch
m	Masse
\dot{m}	Massenstrom
n	Krafteinleitungsfaktor
p	Druck
p	Flächenpressung
P	Gewindesteigung
P	Leistung
$R_{P0,2}$	Mindeststreckgrenze
S	Sicherheitsfaktor
v	Geschwindigkeit
V	Volumen
\dot{V}	Volumenstrom

Griechische Symbole

δ	Nachgiebigkeit
Φ	Kraftverhältnis
μ	Reibungszahl
η	Wirkungsgrad

Indizes

A	Anzieh-
B	Betriebs-
BS	Zusatz
BT	Entlastungs-
G	Grenz-
ges	Gesamt
k	vereinfacht
kl	Klemm
max	maximal
N	Nenn
N	Schub
red	reduziert
S	Schraube
V	Vorspann-
VM	Montagevorspann-
vorh	vorhanden
Z	Vorspannverlust

Abkürzungsverzeichnis

ESC	Electronic Speed Controller
PP	Polypropylen
PSC	Parallax Servo Controller
PSCI	Parallax Servo Controller Interface
PVC	Polyvinylchlorid
PWM	Pulsweitenmodulation
VAC	Volts alternating current – Wechselspannung
VDC	volts direct current – Gleichspannung
ROV	Remotely Operated Vehicle
TTL	Transistor-Transistor-Logik

1 Einleitung

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Entwicklung und Konstruktion eines Planktonprobennehmers und die Implementierung in ein im Institut für Hydrobiologie Fischereiwissenschaften der Universität Hamburg bereits vorhandenes ferngesteuertes Unterwasserfahrzeug (Remotely Operated Vehicle; ROV *Mohawk* der Firma *sub-Atlantic*) zum Betrieb in bis zu 1000 m Wassertiefe.

Zooplankton, tierische Organismen, die im freien Wasser schweben und treiben und sich nicht aktiv gegen Strömungen fortbewegen, stellen eine wichtige Gruppe in marinen Ökosystemen dar (Lalli & Parsons 1993). Sie dienen als Mittler zwischen den Primärproduzenten (Phytoplankton) und den höheren trophischen Ebenen (z.B. Fische), und modifizieren den Fluss von organischem Material von der produktiven Oberflächenschicht, dem Epipelagial, zum Meeresboden (Koppelman & Weikert 1999). Dicht über dem Meeresboden kommt es zu Zooplanktonanreicherungen (Christiansen et al. 1999). Diese bodennahe Fauna ist bisher aufgrund technischer Schwierigkeiten mit den herkömmlichen geschleppten Netzsystemen wenig erforscht.

Der Planktonprobennehmer soll den Fang von Zooplankton in definierten Abständen zum Boden erlauben. Zur Realisierung empfiehlt sich ein Pumpsystem, mit dem das Plankton angesaugt werden kann.

Der Bau und die Entwicklung der Ansaugröhren, in denen sich die Analysensiebe zur Konzentration des Planktons befinden, beinhaltet auch eine Lösungsfindung zum Thema Ventile, der Planktonprobennehmer soll aus bis zu fünf Röhren bestehen, welche einzeln angesteuert werden sollen. Das heißt, beim Ansaugvorgang ist immer nur ein Rohr geöffnet, sodass fünf voneinander unabhängige Proben gesammelt werden können.

Das Gehäuse des ROV's besteht aus 20 mm starkem Polypropylen (PP), weshalb auch der Rahmen des Planktonprobennehmers aus diesem Material mit gleicher Stärke entstehen wird. Die Bauhöhe soll 150 mm nicht überschreiten um die Wendigkeit des ROVs nicht zu beeinträchtigen

Das Herzstück des Planktonprobennehmers ist die Pumpe, welche das Probenwasser in die Sammelröhren saugen soll. Anhaltspunkt zur Auslegung der Pumpe ist die aus

biologischen Erfahrungswerten benötigte Ansauggeschwindigkeit von ca. 0,5 m/s, damit das Plankton nicht flüchten kann. Zur Spannungsversorgung stehen 24 VDC und 220 ~V zur Verfügung, es besteht auch die Möglichkeit des Einbaus eines zusätzlichen Netzgerätes, um die optimale Versorgung der Pumpe zu gewährleisten.

Zur Quantifizierung der Planktonproben ist es nötig den Volumenstrom der benötigt wird, um die Proben zu sammeln, zu messen. Hierzu muss ein Durchflussmesser in den Ansaug- oder Ausströmtrakt des Planktonprobennehmers integriert werden.

Das Modul muss schließlich noch in das ROV implementiert werden. Die Ansteuerung und die Kontrolle des Durchflussvolumens erfolgt über einen PC an Bord eines Schiffes über die RS232 Schnittstelle des ROV's.

2 Problembeschreibung

Um die Probleme im Einzelnen zu erläutern, ist es unabdingbar, erstmal näher auf die Randbedingungen einzugehen. Da wäre als erstes das Medium Meerwasser zu nennen, Meerwasser hat einen durchschnittlichen Salzgehalt von ca. 3,5% Massenanteil, welcher das Medium sehr aggressiv macht und zwingend den Einsatz besonderer Materialien voraussetzt, um Korrosion zu vermeiden.

Die zweite Randbedingung ist die ungewöhnlich hohe Druckbelastung in der Betriebstiefe von bis zu ca. 1000 m unter Normalnull; in dieser Tiefe herrscht ein Druck von ca. 100 bar, oder $100 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, die Belastung auf Materialien aller Art ist hier besonders hoch.

Ebenso sollte eine gewisse Einbauhöhe von ca. 150 mm nicht überschritten werden. Der Planktonsammler wird als Unterbau unter das ROV implementiert und soll die Beweglichkeit so wenig wie möglich beeinträchtigen.

Aus diesem Grund ist es auch wichtig auf eine ausgewogene Gewichtsverteilung zu achten, welche durch eine genau berechnete Verteilung von Zusatzgewichten erreicht werden soll.

Mit diesen Randbedingungen, welche bei jedem Schritt der Konstruktion bedacht werden müssen, wurde das Projekt in mehrere Schritte unterteilt.

Da der Planktonprobennehmer an das ROV des IHF (Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft) angepasst werden soll, muss die Geometrie an die vorhandenen Maße angepasst sein. Dadurch beschränkt sich der vorhandene Bauraum neben der bereits erwähnten Höhe auch auf eine relativ kleine Fläche, ca. 1100 x 790 mm. Die Baugröße des Planktonprobennehmers beträgt also ca. 1100 x 790 x 150 mm.

Hauptaugenmerk liegt bei dieser Arbeit auf der Pumpe, welche bei den vorhandenen Randbedingungen besonderen Anforderungen standhalten muss. Da die Pumpe nur schwer in einen Druckbehälter integriert werden kann, muss vorausgesetzt sein, dass das Pumpengehäuse sowohl dem Salzwasser als auch dem Druck standhält. Nach einer überschlägigen Rechnung geht man von einer benötigten Saugleistung von ca. 100 l/min aus, um bei einem Röhrendurchmesser von 70 – 100 mm die vorgegebene Ansauggeschwindigkeit von ca. 0,5 m/s zu erreichen.

Nicht weniger wichtig, aber auch schwierig, ist die Ansteuerung der einzelnen Ansaugröhren. Da es unabdingbar ist, dass der Planktonprobennehmer mehrere unabhängige Ansaugröhren hat, muss hier ein Weg gefunden werden, die 4-5 Röhren einzeln anzusteuern. Diese Vorgabe gewährt es dem Benutzer bei einem Tauchgang mehrere Proben zu nehmen und so Vergleichswerte für statistische Untersuchungen zu erhalten.

Die Ansteuerung der gesamten Konstruktion erfolgt über die Technikeinheit des ROV's über die auch die bereits vorhandenen Messgeräte, Kameras etc. gesteuert werden. Zur Verfügung steht hier neben der Spannungsversorgung die serielle Schnittstelle RS232. Sämtliche elektronische Bauteile des Planktonprobennehmers müssen über diese Schnittstelle angesteuert werden.

3 Stand der Technik

Pumpensysteme werden seit Anfang des 20. Jahrhunderts in der Planktonforschung verwendet, um Studien am lebenden Objekt durchzuführen. Zu dieser Zeit machte man sich allerdings noch keine Gedanken darüber, wie diese optimal eingesetzt bzw. ausgelegt werden sollten. Wiborg (1948) stellte die Behauptung auf, dass nicht die Strömungsgeschwindigkeit an der Mündung des Ansaugrohres entscheidend sei, sondern das einzig und allein die Zeit entscheidend sei, in der man eine ausreichend große Wassermenge ansaugt, um zuverlässige Ergebnisse zu bekommen. Die Mindest-Saugleistung bezifferte er auf 200 Liter pro Minute, ohne Bezug auf den Durchmesser der Ansaugröhren zu nehmen. So kam er mit einem Durchmesser von 25 mm auf eine Ansauggeschwindigkeit von ca. 6,5 Metern pro Sekunde.

Diese Meinung hielt sich bis Aron (1958) und O'Connell & Leong (1963) nähere Untersuchungen durchführten und dabei entdeckten, dass die Ansauggeschwindigkeit von entscheidender Bedeutung ist. Diese hängt sowohl von der Saugleistung der Pumpe, dem Ansaugdurchmesser und der vorherrschenden Strömung im Gewässer ab.

Die Ansauggeschwindigkeit muss hoch genug sein, damit das Plankton nicht gegen den Saugstrom flüchten kann. Es ist auch nicht von Bedeutung, ob die Ansaugung horizontal oder vertikal erfolgt. Entscheidend sei nur die Nettoansauggeschwindigkeit in Abhängigkeit von der im Gewässer herrschenden Strömung. Unterschieden wird hier also auch zwischen dem Sammeln mit, bzw. gegen die Strömung, sodass eine Geschwindigkeit von ca. 0,8 Meter pro Sekunde als Referenz angegeben wird.

Die früheren Systeme beruhten fast ausschließlich auf eine vertikale Ansaugung mit Hilfe von Tauchpumpen, welche von Schiffen ins Wasser gehängt wurden, über die entsprechenden Wassertiefen liegen keine Erkenntnisse vor, auszugehen ist allerdings von einer maximalen Tiefe von etwa 50 Metern.

Einige unterschiedliche Möglichkeiten zum Probensammeln auf ROV's, welche ab Mitte der 1970er in Erscheinung traten, werden im Folgenden anhand einzelner Beispiele aufgezeigt.

Das *Center for Great Lakes Studies* der *University of Wisconsin – Milwaukee* hat 1992 einen Probensammler auf dem ROV *Mini Rover MKI* der Firma *Benthos Inc.* installiert,

um in Seen Ausscheidungen von Thermalquellen zu sammeln. Da das ROV ziemlich klein ist, wurde die Pumpeneinheit, welche hier aus einer Schlauchpumpe mit diversen Ventilen bestand, als Einzelmodul unabhängig vom ROV hergestellt. Da die Einsatztiefe des ROV's bei 300 Metern liegt und die Förderhöhe direkt zum Schiff damit für die Pumpen zu groß ist, wurde das Pumpenmodul zwischen dem ROV und dem Schiff installiert. Die Pumpe saugte das Probenwasser über eine Entfernung von 30 m vom ROV aus an.

Die Verwendung einer Schlauchpumpe wurde gewählt, da das Probenvolumen mit 25 ml pro Probe sehr gering war.

Als Beispiel für einen Probensammler direkt auf einem ROV eignet sich das ROV *Cas-tor* des *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, welches für einen ROV Wettbewerb im Jahr 2004 entwickelt worden ist. Hierbei wurde der Probensammler direkt auf dem ROV installiert. Allerdings bestand die Aufgabe auch nur darin eine Flüssigkeitsprobe in wenigen Metern Tiefe zu nehmen, weshalb eine einfache Tauchpumpe verwendet werden konnte.

Bei der Recherche zu dieser Diplomarbeit wurde schnell klar, dass Probensammler für Unterwasseranwendungen keine Serienprodukte sind. Gerade für eine Wassertiefe von ca. 1000 Metern und einem Durchflussvolumen von ca. 100 Litern pro Minute finden sich kaum anwendbare Serienprodukte.

Die französische Firma *Comex* bietet für ihre ROV's eine Pumpeneinheit an, welche mit Saugnäpfen agiert und mit der man Flaschen, Münzen, Keramiken und andere Gegenstände aus bis zu 800 Metern Tiefe bergen kann. Die Pumpleistung liegt nur bei 25 Litern pro Minute, was für diese Art der Nutzung wohl ausreichend ist. Dieses Modul hat mit einem Planktonprobennehmer, wie er in dieser Diplomarbeit konstruiert wird, nichts gemein, und lässt weder Rückschlüsse auf die Funktion noch auf den Aufbau zu, denn sowohl der Zweck, als auch die Funktionsweise dieses Moduls sind nicht auf den Planktonprobennehmer übertragbar.

Da es keine Serienfertigung solcher Komplettdmodule zu geben scheint, lohnt sich ein Blick auf den Stand der Technik der Einzelbauteile eines Planktonprobennehmers.

Die britische Firma *Tritech* bietet Unterwasserpumpen an, die benutzt werden, um Überseekabel in den Weltmeeren zu vergraben, diese haben eine immense Leistung,

allerdings auch eine immense Größe, und sind für einen Einsatz auf dem vorhandenen ROV und für die vorgesehene Aufgabe nicht geeignet.

Andere Firmen, wie beispielsweise der amerikanische Anbieter *Seabird*, bieten Tauchpumpen und auch Schlauchpumpen an, welche in bis zu 800 Metern Wassertiefe arbeiten können, aber nur eine Saugleistung von wenigen Litern pro Minute liefern.

Es ließ sich lediglich ein Anbieter ausfindig machen, welcher Pumpen mit ausreichender Leistung und für so eine Tiefe herstellt. Die Pumpen der Firma *tecnadyne* sind zwar mit ihren Saugleistungen von 950 und 1900 Litern pro Minute etwas überdimensioniert, ließen sich aber laut Aussage des Herstellers im Bedarfsfall stufenlos herunterregeln. Da es sich bei diesen Pumpen allerdings um Sonderfertigungen handelt, sind sowohl der Preis, als auch die Lieferzeit, indiskutabel hoch.

Bei näherer Betrachtungsweise dieser Pumpen fiel die enorme Ähnlichkeit zu den Strahlrudern (Thruster) des Herstellers auf, was letztlich die Vermutung nahe legt, dass es sich bei diesen Pumpen im Wesentlichen um umgebaute Thruster handelt. Somit lieferte diese Beobachtung letztlich den entscheidenden Hinweis in der Lösungsfindung für eine Pumpe.

Abschließend lässt sich zum Stand der Technik solcher Anwendungen nur sagen, dass es sich bei Proben- / Planktonprobennehmern in der Regel um Einzelanfertigungen handelt, da der Markt für eine Serienfertigung nicht ausreichend ist. Diese Erkenntnis betrifft in diesem Fall nicht nur die Suche nach einer passenden Pumpe, sondern auch die Suche nach der passenden Ventilsteuerung und der Ansteuerung der einzelnen Baugruppen über die RS232 Schnittstelle. Bei vielen dieser Schritte muss improvisiert werden, indem man Teile entgegen ihrer Ursprungsfunktion einsetzt oder gar branchenfremde Teile beispielsweise aus dem Modellbaubereich verwendet.

4 Durchgeführte Arbeiten

In diesem Kapitel wird auf die notwendigen Überlegungen und Arbeiten, die zu dieser Konstruktion führten, näher eingegangen. Es wird auch die Lösungsfindung erläutert und in diesem Zusammenhang wird auch auf Lösungen eingegangen, welche aus verschiedensten nicht verwendet wurden. Die Ausschlusskriterien werden plausibel dargestellt. Die Arbeiten und Überlegungen werden hier getrennt nach den einzelnen Baugruppen aufgelistet, es handelt sich hierbei nicht um eine chronologische Anordnung, da viele der folgenden Überlegungen zeitgleich und aufeinander abgestimmt abliefen.

Hierbei werden auch grundsätzliche Überlegungen, wie die Materialauswahl oder die Signalübertragungsarten zwischen den einzelnen Bauteilen näher erläutert.

4.1 Materialien

Nach der Recherche des *Mohawk Manual No.11*, der Anleitung des ROV's der Firma sub-Atlantic, fiel die Entscheidung, den Planktonprobennehmer aus dem gleichen Material herzustellen, wie es für den Rahmen des ROV's verwendet wurde. Es handelt sich hierbei um Polypropylen (PP). PP gehört zu den Thermoplasten und zeichnet sich durch eine gute Steifigkeit, Härte und Festigkeit aus. Die Wasseraufnahme liegt bei Wasserlagerung bei unter 0,1 % (

Tabelle 4-1). Diese Eigenschaften sowie die Beständigkeit gegen Chemikalien und stark korrosive Stoffe und die gute Zerspanbarkeit machen PP zu einem sehr geeigneten Material für diesen Unterwassereinsatz.

Tabelle 4-1 Werkstoffkennwerte Polypropylen

Werkstoffkennwerte Polypropylen (PP)			
Physikalische Eigenschaften	Wert	Einheit	Prüfmethode
Dichte	0,906	g/cm ³	DIN 53479
Feuchtigkeitsaufnahme	0,01	%	DIN 53495
Mechanische Eigenschaften			
Streckspannung	30	N/mm ²	DIN EN ISO 527
Reißdehnung	70	%	DIN EN ISO 527
E-Modul (Zug)	1300	N/mm ²	DIN EN ISO 527
Kerbschlagzähigkeit	7	KJ/m ²	DIN 53453
Kugeldruckhärte	70	N/mm ²	DIN EN ISO 53453
Thermische Eigenschaften			
Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient	16	10 ⁻⁵ /°C	DIN 53752
Einsatztemperatur kurzfristig maximal	140	°C	
Einsatztemperatur langfristig	0 bis 100	°C	

4.2 Form des Rahmens

Die Rahmenkonstruktion (Abbildung 4-1) aus 20 mm starkem PP besteht aus vier verschraubten Teilen, Bodenplatte, 2 Seitenwände und der Rückwand. Der Planktonprobennehmer wird über sechs Stahldreiecksstrukturen an dem ROV mit Schrauben befestigt.

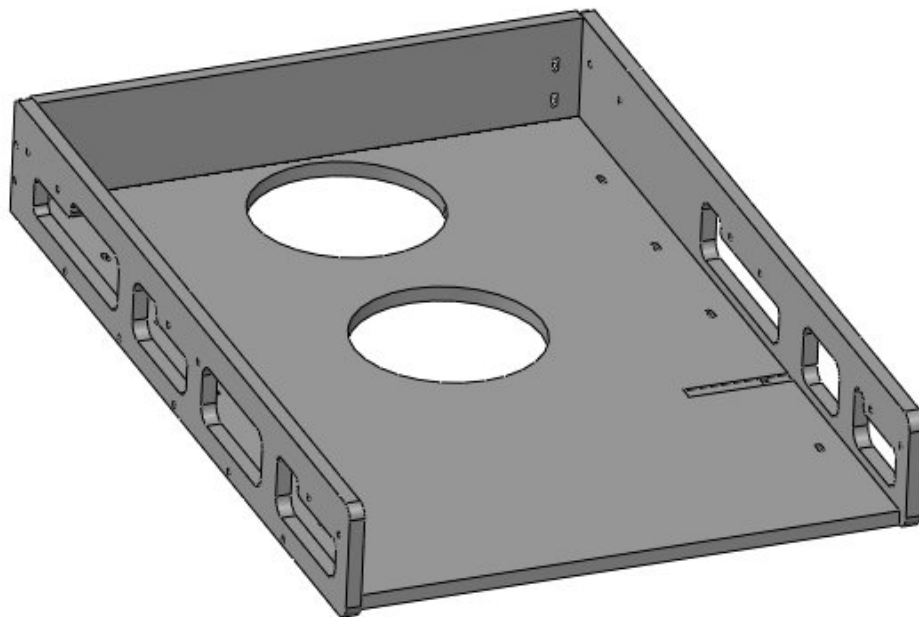


Abbildung 4-1 Rahmenkonstruktion Planktonprobennehmer

In der Bodenplatte () befinden sich zwei kreisrunde Aussparungen mit einem Durchmesser von 250 mm, eine für ein sich im Modul darüber befindliches Messgerät, und eine für das vertikale Strahlruder, welches für Auf-, und Abtrieb des ROVs zuständig ist. Um die Steuerung des ROVs nicht zu beeinflussen ist es zwingend notwendig die Bohrungen mit zwei Hohlzylindern über die gesamte Höhe des Planktonprobennehmers abzuschirmen. Diese Aussparungen begrenzen den Bauraum auf ein Minimum, weshalb sich die Pumpe, der Motor und die Konstruktion zur Ansteuerung der einzelnen An-

saugröhren an den Seitewänden des Rahmens verteilen müssen. Gewählt wurde in dieser Konstruktion die sich in Abbildung 4-1 rechts befindliche Seite.

Neben den beiden kreisrunden Aussparungen befinden sich auf der Bodenplatte (Abbildung 4-2) noch zwei 2 mm tiefe Nuten zur Erleichterung des Zusammenbaus. Die lange Nut am hinteren Teil der Bodenplatte dient der Rückwand zur Arretierung, um das Verschrauben der Seitenwände mit der Rückwand zu Vereinfachen.

Die kürzere Nut mittig auf der rechten Seite der Bodenplatte dient ebenfalls als Arretierung für die Lochscheibenregelung, welche das Ansteuern der einzelnen Ansaugröhren ermöglicht (siehe Kapitel 4.5.6).

Das Zusammenfügen der Seitenwände mit der Bodenplatte erfolgt mit je fünf M8x60 Sechskantschrauben aus rostfreiem Stahl. Dafür wird in den fünf gefrästen Nuten je Seite jeweils eine M8x1 Sechskantmutter nach ISO 8674 versenkt.

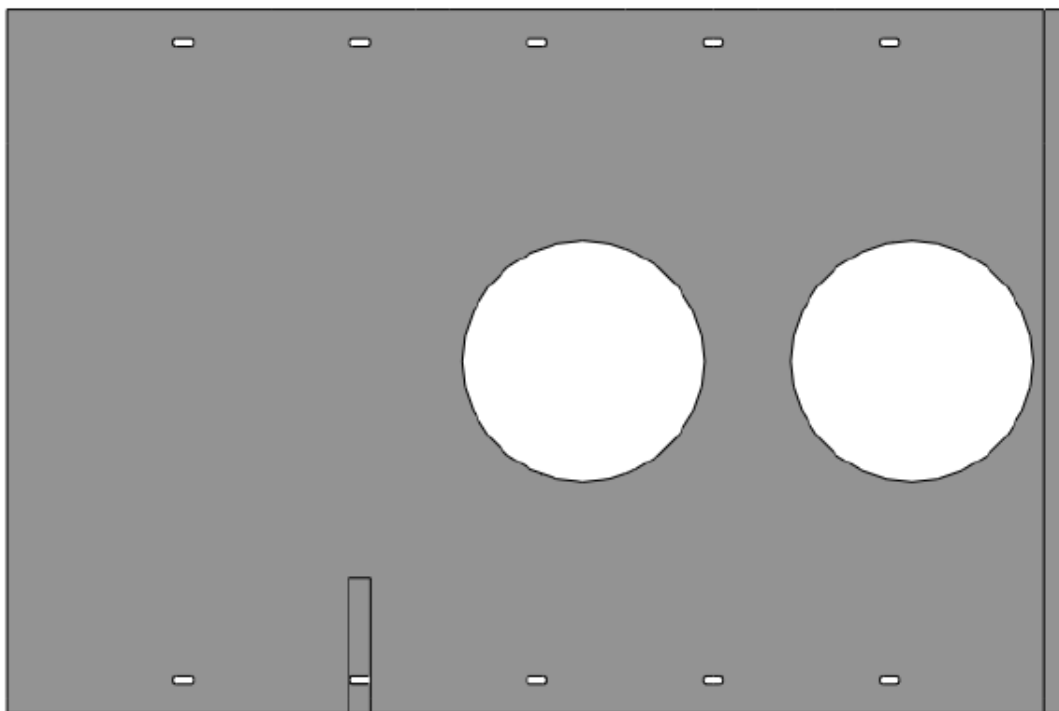


Abbildung 4-2 Bodenplatte

Die rechte Seitenwand (Abbildung 4-3) weist einige Aussparungen auf, welche der Gewichtsersparnis dienen. Ebenfalls erleichtern diese Aussparungen eventuelle Wartungsarbeiten. Die Bohrungen unten und an der hinteren Seite dienen der Befestigung an der Bodenplatte, sowie der Rückwand. Um zu verhindern, dass aufgrund der sich hinten rechts befindlichen Pumpe sowohl die Fauna, als auch die Fahreigenschaften des ROVs durch die Verwirbelungen negativ beeinflusst werden, wurde das hintere Drittel der Seitenwand geschlossen konstruiert. Die oberen sechs Bohrungen dienen der Befestigung des Planktonprobennehmers an das ROV.

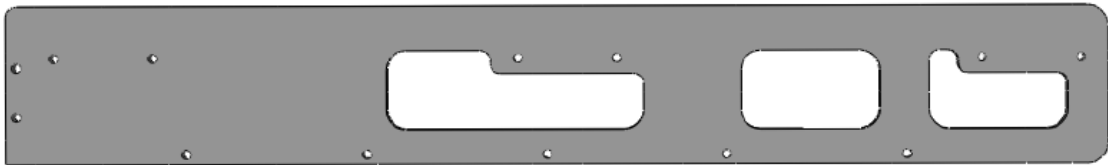


Abbildung 4-3 Seitenwand rechts

Die linke Seitenwand (Abbildung 4-4) weist die gleichen Bohrungen mit den gleichen Funktionen auf, wie die rechte Seitenwand. Den Unterschied zwischen beiden Seitenwänden zeigt sich in den Aussparungen, auf der linken Seite muss keine Rücksicht auf die entstehenden Strömungen genommen werden, weshalb diese Seitenwand, nach den Gesichtspunkten der Gewichtsersparnis mit dennoch ausreichender Festigkeit konstruiert wurde.

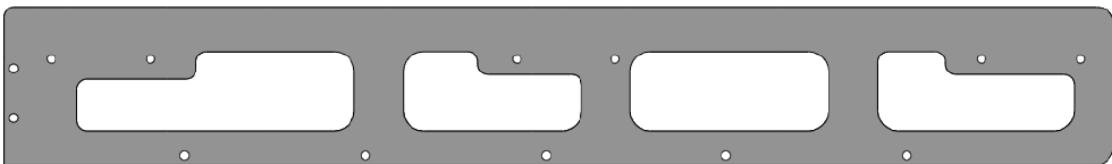


Abbildung 4-4 Seitenwand links

Der Rückwand (Abbildung 4-5) ist komplett geschlossen, um den Einfluss der Strömungen, die die Pumpe erzeugt, auf das ROV zu minimieren. Jede Öffnung würde einen Richtungswechsel erzeugen, bzw. die Thruster des ROVs unnötig belasten. Die gefrästen Taschen dienen zur Befestigung der Rückwand an die Seitenwände. In den Taschen werden M8x1 Sechskantmuttern nach ISO 8674 versenkt und die Bauteile dann mit M8x60 Sechskantschrauben verbunden.



Abbildung 4-5 Rückwand

4.3 Pumpe

Die Kriterien für die Pumpe sind leicht zu definieren, es wird am Eingang der Saugleitung eine Ansauggeschwindigkeit von ca. 0,5 m/s benötigt, um das Plankton aufzunehmen. Ebenso wird natürlich die Druckbeständigkeit, bezogen auf den Druck in bis zu 1000 m Wassertiefe, sowie die Korrosionsbeständigkeit gegenüber Meerwasser benötigt. Die Bauhöhe ist begrenzt auf ca. 130 mm, um die Fahrstabilität des ROV's nicht negativ zu beeinflussen. Die Auswahl der richtigen Pumpe unter diesen Randbedingungen gestaltete sich sehr schwierig.

Die traditionellen Pumpenhersteller haben zwar Pumpen im Angebot, welche zumindest den nötigen Förderstrom liefern, allerdings scheiterte es bei sämtlichen in Betracht kommenden Pumpen an dem zu großen Bauraum, dem zu großen Gewicht und an der Druckbeständigkeit. Die Überlegung, eine Industripumpe zu nutzen, indem man das Gehäuse zwecks Druckbeständigkeit über eine eigens gemachte Bohrung mit Öl füllt, wurde wieder fallengelassen, da es keine Berechnungsgrundlage dafür gibt, und im Falle eines Defekts auch keine Gewährleistung des Herstellers mehr bestehen würde.

Die nächste Überlegung waren Pumpen aus dem Aquarien-Anlagenbau, zum Beispiel die Red Dragon Serie der Marke *Royal-Exclusiv*, da diese vom Werk her salzwasserfest sind und auch eine gewisse Eintauchtiefe vertragen. Diese Pumpen bestehen hauptsächlich aus Kunststoff, weshalb auch das Gewicht sehr gering ist. Die Baugröße bei diesen Pumpen wäre ebenfalls in den entsprechenden Vorgaben geblieben. Aber auch hier stellte sich wieder die Frage nach der Druckbeständigkeit in bis zu 1000 Metern Tiefe. Der Hersteller konnte keine Gewährleistung für diese Tiefe geben und die angesprochene Überlegung mit der Ölfüllung der Pumpe, hätte auch hier zum Erlischen der Herstellergarantie geführt.

Nach weiterer Internetrecherche fiel der Blick auf die Firma *Tecnadyne*, einen Hersteller für ROV-Zubehör. Dieser bietet als Einziger auch Pumpen an, welche jedoch von der Dimensionierung nicht zu den Randbedingungen passten. Das Topmodell, die einzige Pumpe, die für diese Anwendung infrage käme, dieser Firma, welches das Model 212 ist, mit einem maximalen Durchflussvolumenstrom von ca. 950 Liter/min zwar überdimensioniert wäre, aber der ließe sich laut Hersteller über eine Regelung von 0

Liter/min – max. steuern. Nur der Preis von knapp 7000 US\$ war zur Realisierung des Projekts zu hoch.

Aber da diese Pumpe konstruktive Merkmale eines Strahlruders (Thruster) hat, brachte die Idee, ebenfalls einen Thruster zu erwerben, und diesen als Pumpe zu benutzen. Vorteil der Thruster sind, dass sie schon für die zu erwartenden Belastungen ausgelegt sind, nur die Pumpeneigenschaften müssen noch empirisch ermittelt werden.

Die Wahl fiel dann auf den günstigen Thruster der Firma *CrustCrawler Robotics*, USA, *Model 600HF* (Abbildung 4-6). Er ist ausgelegt bis zu einer Wassertiefe von 5000 Fuss (1524 M) und bringt eine Leistung von 600 W bei 24 VDC.



Abbildung 4-6 Thruster 600 HF [9]

Hierbei handelt es sich um einen Bürstenlosen (brushless) Drei-Phasen-Gleichstrom-Motor. Der Motor hat eine maximale Drehzahl von 40000 Umdrehungen pro Minute, das Getriebe sorgt für eine maximale Drehzahl des Propellers von 3000 Umdrehungen pro Minute. Das Gehäuse besteht aus hochfestem Aluminium T-6, der Propeller aus massivem Messing.

Der Schub dieses Strahlruders ist in der amerikanischen Einheit pounds force mit 16 lbs angegeben, das entspricht ca 71 Newton.

Zur Druckkompensation wird das Gehäuse mit einem klaren Weißöl gefüllt und an der Öleinlassschraube mit einem kurzen Schlauchstück erweitert, um einen gewissen Ölfluss in und aus das Gehäuse heraus zu gewährleisten. So können eventuell auftretende minimale Verformungen des Gehäuses kompensiert werden, ohne dem Thruster zu schaden.

Zur Steuerung der Thrusters werden zwei Controller benötigt.

4.4 Pumpensteuerung

Zur Ansteuerung des Thrusters, im Folgenden nur noch Pumpe genannt, werden zwei Controller (PSC, ETC) (Abbildung 4-7), eine Spannungsquelle mit 24 VDC, bei bis zu 25A, und ein Anschluss über USB oder Transistor-Transistor-Logik benötigt.

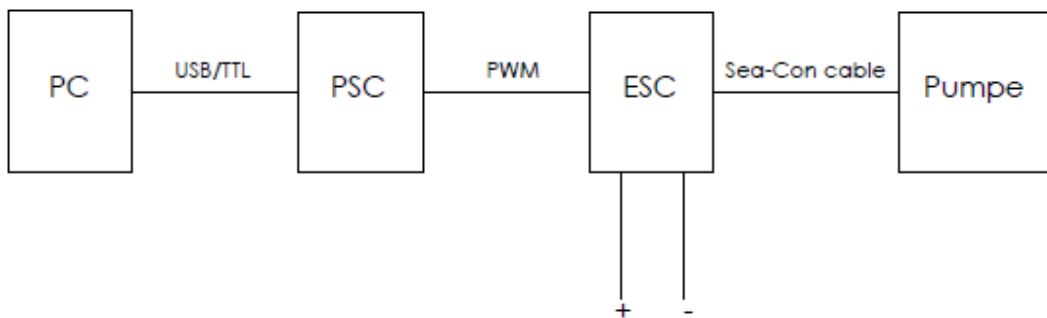


Abbildung 4-7 Schaltplan Pumpensteuerung

Der *Parallax-Servo-Controller* (PSC) (Abbildung 4-8) wird im Labor eine über USB-Schnittstelle mit dem Rechner verbunden, das eingehende Trägersignal wird als PWM-Signal dem Electronic-Speed-Controller (ESC) *Hydra 120* (Abbildung 4-9) der Firma *Hydra* übergeben.

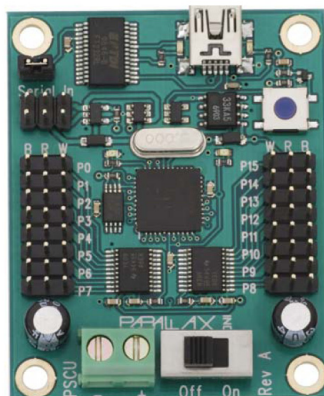


Abbildung 4-8 Parallax Servo Controller



Abbildung 4-9 Electronic Speed Controller Hydra 120

Der ESC steuert dann über das eingehende PWM-Signal die Geschwindigkeit des Rotors. Beide Controller wurden direkt über den Pumpenhersteller bezogen, welcher diese beiden Geräte auch empfiehlt. Hierbei wird das eingehende Signal verwendet, um die drei Phasen des Gleichstrommotors zu schalten.

Der ESC lässt sich mit der mitgelieferten *Programming Kit* programmieren. Dieses Kit wird über ein USB-Kabel zwischen PC und ESC geschaltet und über die dann automatisch startende Software *CastleLink* lassen sich folgende Einstellungen ändern:

- Cutoff Voltage, das ist die Spannung, ab der sich der ESC automatisch abschaltet, um die Batterie vor kompletter Entladung zu schützen. Ist im Falle der hier verwendeten Anwendung uninteressant, da der Planktonprobennehmer mit einem Netzteil versorgt wird.
- Reverse Type, hier wird festgelegt, ob die Pumpe in eine oder in beide Richtungen fördern soll. Gewählt wurden hier beide Richtungen, für den Fall, dass es nötig ist, die Pumpe auch mal rückwärts laufen zu lassen, Fremdkörperentfernung o.ä.
- Reverse Throttle Amount, hier wird festgelegt, ob die Förderung der Pumpe entgegen der Hauptrichtung gedrosselt werden soll. Eingaben von 25% - 100% sind hier möglich.
- Motor Timing, hier lässt sich die Leistung des Motors einstellen, es gibt die Einstellung Low, Normal, High und Highest. Hier entscheidet der Einsatz der Pumpe.

pe die Auswahl, gewählt werden kann von Dauereinsatz bei niedriger Leistung bis hin zu einer kurzzeitigen sehr hohen Leistung mit großer Wärmeentwicklung und großer Pumpenbelastung. Gewählt wurde hier High, da keine Rücksicht auf die Haltbarkeit der Batterien genommen werden muss, und so die Pumpenleistung voll ausgeschöpft werden kann.

- Start Power, hier lässt sich die Einschaltleistung der Pumpe einstellen, bzw. reduzieren. Auch diese Einstellung zielt wieder auf die Qualität der Batterien ab, und kann in dieser Anwendung ignoriert werden.
- Throttle Curve, hier lässt sich eine ganz eigene Beschleunigungskurve erstellen. Es gibt Anwendungen, bei denen es sinnvoller zu sein scheint, eine quadratische Beschleunigungskurve zu verwandeln, um so eine geschmeidigere Beschleunigung zu bekommen. Bei der Pumpe kann man es hier bei einer linearen Kurve belassen.
- Brake Kurve, hier gilt das Gleiche, wie bei der Throttle Kurve, gewählt wurde auch hier die lineare Verteilung.

Nachdem die Eigenschaften des ESC gespeichert wurden, muss er nun noch über die mitgelieferte Software des PSCs *Parallax Servo Controller Interface* (Abbildung 4-10) konfiguriert werden.

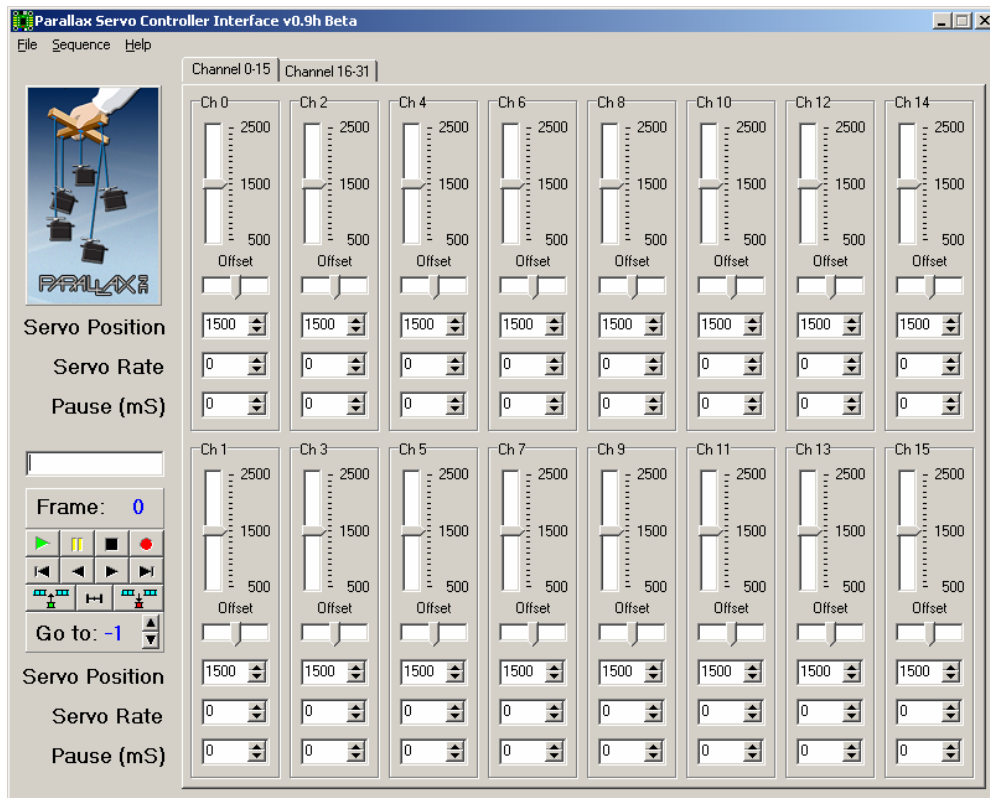


Abbildung 4-10 Parallax Servo Controller Interface

Der PSC lässt eine Steuerung von bis zu 16 Motoren (Channel 1 -16) Geschwindigkeit und die Richtung der Motoren lassen sich über Schieberegler steuern.

Zur Konfiguration der Pumpe wird der Pumpe gelehrt bei welchen Pulsweiten die drei entscheidenden Punkte volle Leistung vorwärts, Stopp und volle Leistung rückwärts liegen.

Bei der Pulsweitenmodulation (PWM) (Abbildung 4-11) werden Impulse mit voller Spannung, aber variabler Breite gesendet. Es handelt sich also im eigentlichen Sinne, um eine Pulsbreitenmodulation, wie auch das englische Originalwort pulse-width modulation vermuten lässt. Die Änderung der Signalbreite steuert hierbei die Phasenanssteuerung des Motors, und damit die Geschwindigkeit. Der Vorteil der PWM ist, dass weniger Leistung gebraucht wird, da nicht permanent eine Eingangsspannung anliegt.

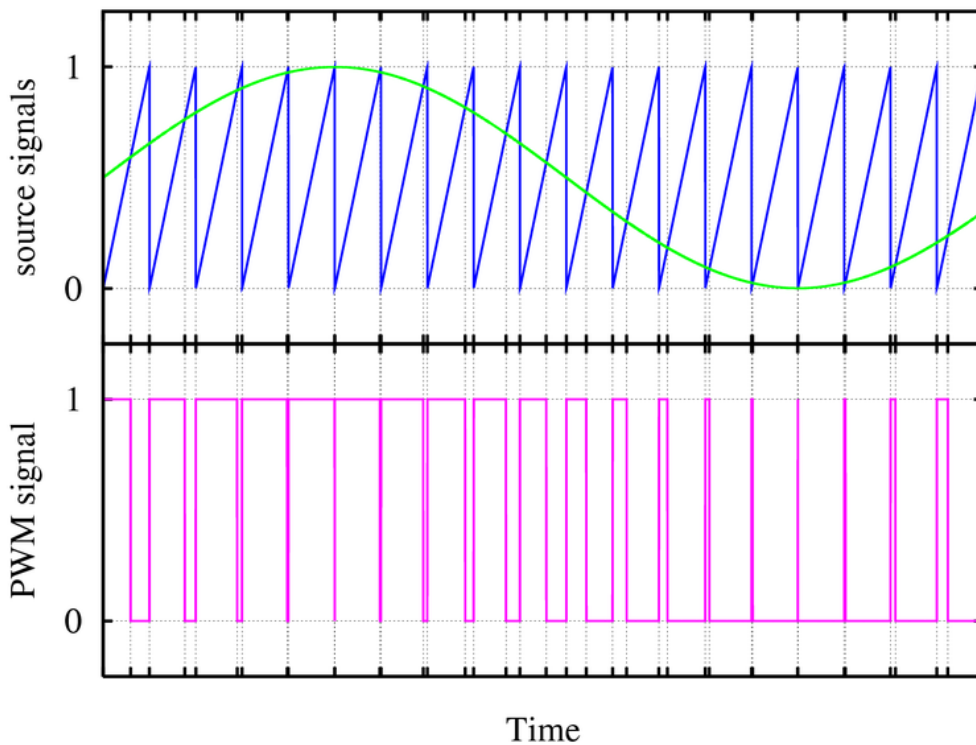


Abbildung 4-11 Entstehung des PWM-Signals [1]

In dem Fall des *Hydra 120* liegen die entscheidenden Signalbreiten bei 2,0 ms für volle Leistung vorwärts, 1,5 ms für Stopp und 1,0 ms für volle Leistung rückwärts (Abbildung 4-12).

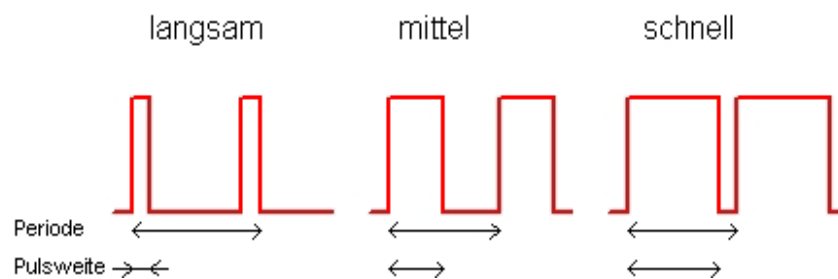


Abbildung 4-12 Motorsteuerung mittels PWM [1]

Zur Konfiguration des ESC muss der Controller vom Netzteil getrennt werden, und bei der Software die Stellung Volle Leistung vorwärts, also 2,0 ms, welche bei dem Schie-

beregler der Zahl 2000 entsprechen. Daraufhin wird das Netzteil angeschaltet und der ESC betätigt über eine bestimmte Tonfolge, dass die Einstellung übernommen wurde. Das wird dann noch mit der Pulsweite für die Funktionen Stopp und Volle Leistung rückwärts wiederholt und dann ist die Pumpe einsatzbereit.

Während dieser Einstellhase der drei Geräte ging viel Bearbeitungszeit verloren, da sich beide Controller, PSC und ESC als defekt herausstellten. Ob diese Defekte von Anfang an, oder erst im Laufe der Tests mit unterschiedlichen Netzteilen oder gar durch unsachgemäße Behandlung auftraten ließ sich nicht zweifelsfrei klären.

Der PSC wurde 1 zu 1 ersetzt, da dieser auch von inländischen Händlern vertrieben wird und die Lieferung ohne Schwierigkeiten erfolgte. Bei dem ESC wurde ein anderes Modell gewählt, welches den Ansprüchen der Pumpe absolut genügt, auch wenn es nicht so groß dimensioniert ist wie der *Hydra 120*.

Bei dem neuen ESC handelt es sich um das Modell *70 SBEC* (Abbildung 4-13), der deutschen Firma *Graupner*. Der Vergleich der beiden Controller zeigt den Unterschied lediglich in dem maximalen Dauerstrom, welcher bei dem Modell von Graupner bei 70 A und bei dem ursprünglichen Modell von Hydra bei 120 A liegt. Da der Betrieb der Pumpe bei maximal bei 25 A erfolgt, sollten sich durch den Austausch keinerlei Nachteile ergeben.



Abbildung 4-13 Graupner 70 SBEC [10]

Die Konfiguration des neuen ESC erfolgt hier über einen an dem Controller angebrachten Knopf, nach dem alle Geräte miteinander verbunden sind, wird der Knopf mehrere

Sekunden lang gedrückt, woraufhin der Controller mit einer Tonfolge reagiert. Nacheinander werden dann wieder über PSC Software volle Leistung vorwärts, Stopp und volle Leistung rückwärts eingestellt und alles mit einem Knopfdruck am ESC bestätigt. Nach dieser Prozedur ist der ESC eingestellt und die Pumpe ist auf die entsprechende Pulsweite für Geschwindigkeit und Richtung eingestellt.

4.4.1 Transistor-Transistor-Logik (TTL)

Da auf dem ROV kein USB-Anschluss vorhanden ist, muss für den endgültigen Anschluss eine Ansteuerung über einen seriellen TTL-kompatiblen Weg erfolgen. In diesem Fall über den vorhandenen RS 232 Stecker mit einem RS 232 – TTL Adapter. Der PSC muss dann zusätzlich über eine externe Spannungsquelle mit 5 VDC versorgt werden. Die TTL ist eine Schaltungstechnik (Logikfamilie) für logische Schaltungen. Die Versorgungsspannung beträgt 5 V, reagiert aber relativ tolerant, sodass auch eine Betriebsspannung 4,5 V möglich ist. Eine hohe Spannung ist als High-Pegel eine logische 1, eine niedrige Spannung als Low-Pegel eine logische 0. Eine Eingangsspannung kleiner als 0,8 V wird als Low-Pegel erkannt und eine Eingangsspannung von größer als 2,0 V als High-Pegel. Zwischen Ein- und Ausgangsspannung besteht ein statischer Störabstand von 0,4 V, das heißt, dass die Ausgangsspannung für den Low-Pegel beträgt weniger als 0,4 V, und für den High-Pegel mehr als 2,4 V. Das macht die TTL unempfindlicher gegenüber elektrostatischen Entladungen.

4.5 Ansteuerung der einzelnen Röhren

Erste Überlegungen zur Konstruktion der Anlage sahen die Ansteuerung der einzelnen Ansaugleitungen über Ventile vor (Abbildung 4-14). Für den Betrieb der Ventile stehen bis zu 24 VDC zur Verfügung. Im Folgenden werden vier Absperrarten näher betrachtet und bezüglich ihrer Einsatzmöglichkeit in dieser Konstruktion bewertet:

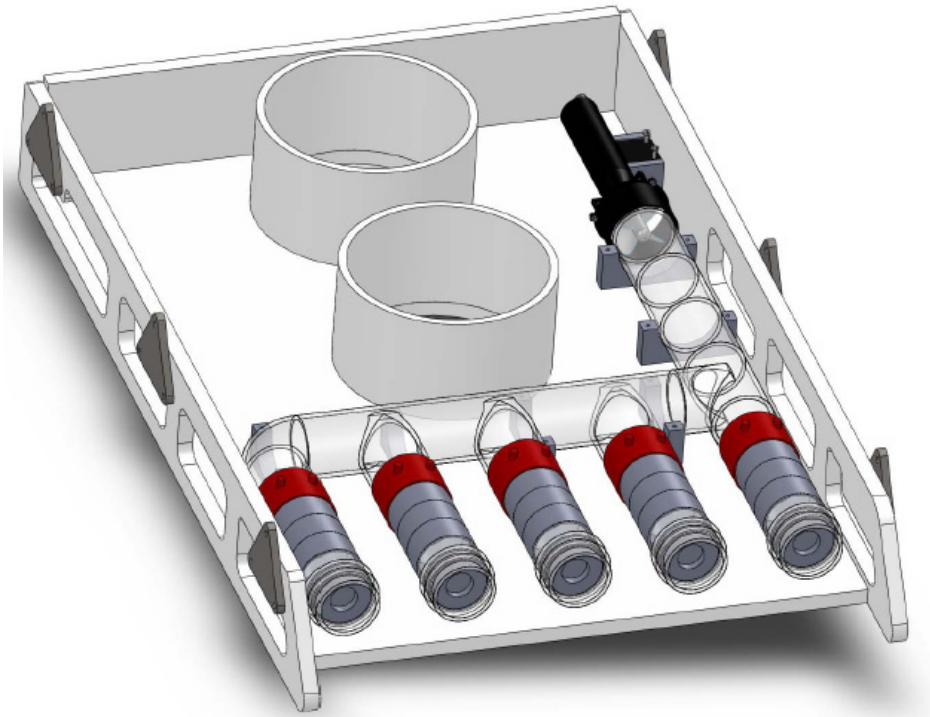


Abbildung 4-14 Entwurf Planktonsammler – Ort für die Ventile rot eingefärbt

4.5.1 Magnetventile

Ein Magnetventil (Abbildung 4-15) besteht im Wesentlichen aus folgenden Bauteilen:

- A Eingang
- B Membran
- C Druckkammer
- D Druckentlastungskanal
- E Magnetspule
- F Ausgang

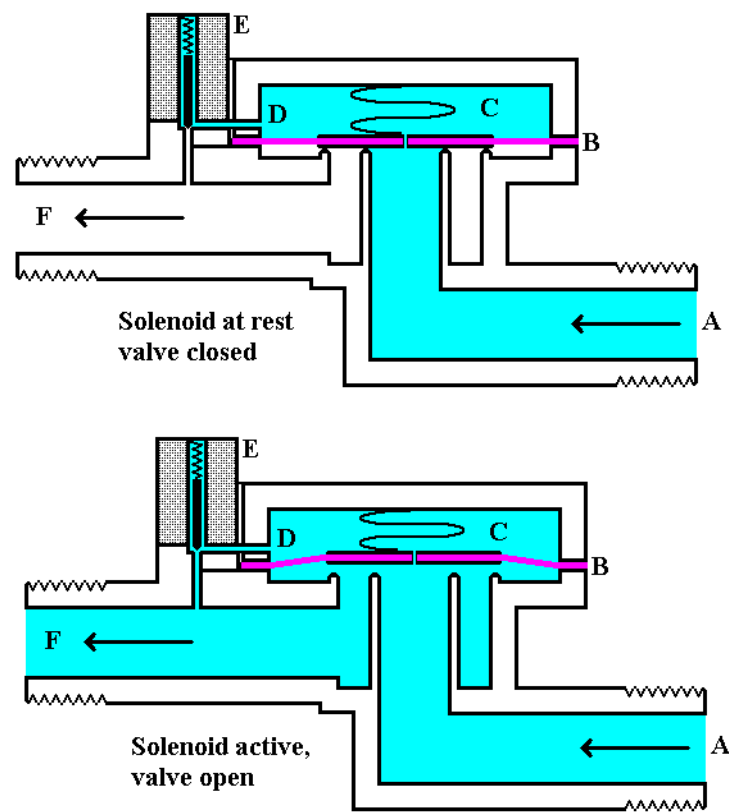


Abbildung 4-15 Schema Magnetventil [2]

Damit das Magnetventil funktioniert muss am Eingang A ein gewisser Betriebsdruck anliegen, dieser wird bei den Herstellern solcher Ventile stets angegeben. Er wird über eine kleine Öffnung in der Membran B, in die Druckkammer C übertragen und sorgt mit der Feder in der Druckkammer für die Dichtigkeit des Ventils. Wird nun über die Spule E ein Magnetfeld erzeugt, welches eine größere Kraft, als die Feder erzeugt, öffnet sich das Ventil.

Magnetventile sind also ohne Ansteuerung des Magneten geschlossen und durch die Ansteuerung öffnet es sich.

Diese Eigenschaft ließe sich gut mit den Randbedingungen, die an die Ventile des Planktonsammlers gestellt werden, vereinbaren. Beim Abtauchen (Druckanstieg) wären die Ventile geöffnet, um den Druck auszugleichen, die Analysesiebe würden von hinten durchspült, die Proben würden also nicht verfälscht werden, und beim Auftauchen (Druckabfall) wären sie ebenfalls geöffnet und die Siebe würden in Ansaugrichtung den Druck ausgleichen und auch so würden die Proben nicht verfälscht werden.

Auch das Probennehmen an sich, wäre mit Magnetventilen problemlos möglich. Wenn 4 Ventile angesteuert werden, und die Pumpe aktiviert wird, stellt sich bei diesen 4 Ventilen der Betriebsdruck ein und somit auch die nötige Dichtigkeit.

Angesteuert werden Magnetventile in der Regel mit 24 VDC.

Das Ausschlusskriterium für diese Ventile hängt mit den Umgebungsbedingungen zusammen. Es besteht keine Möglichkeit die elektrischen Bauteile der Magnetventile gegen den Aussendruck zu schützen, und auch die immense Einbauhöhe schließt eine Nutzung dieser Ventile in dieser Anwendung aus. Die Preise der elektronischgesteuerten Variante liegen bei etwa 1000 € pro Stück.

4.5.2 Flachschieber/Absperrschieber

Ein Flachschieber oder auch Absperrschieber (Abbildung 4-16) wird hauptsächlich zur Dosierung für Schüttgut verwendet, es gibt aber auch Anbieter solcher Geräte für flüssige Medien, sogar Ausführungen aus Kunststoff werden angeboten.

Zum Verschließen des Flachschiebers wird über einen Spindeltrieb eine flache Scheibe von oben über den gesamten Querschnitt des Rohres geschoben und dieses damit verschlossen. Der Antrieb erfolgt entweder über einen Handantrieb oder über einen Schrittmotor.

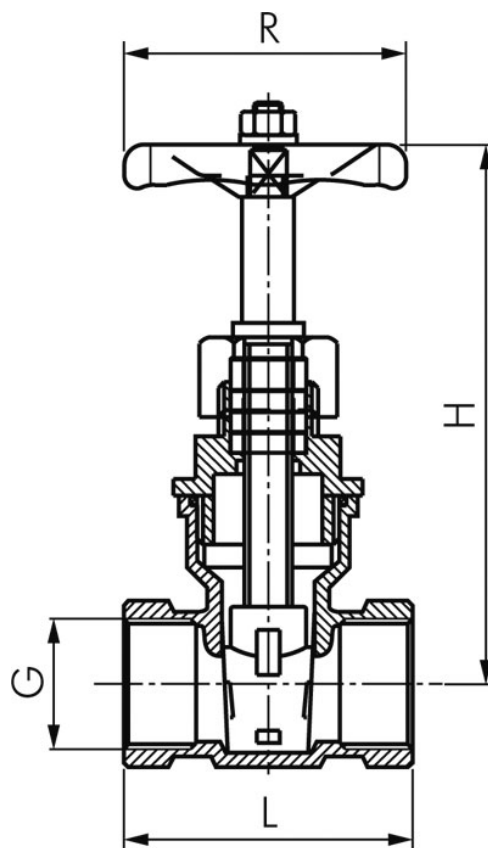


Abbildung 4-16 Schema Flachschieber [3]

Die Abbildung 4-16 zeigt das Ausschlusskriterium, das Verhältnis zwischen H und G zeigt, dass der Flachschieber für den vorhandenen Bauraum zu groß ist. Hinzu kommt auch hier wieder die Schwierigkeit einen Schrittmotor gegenüber dem Aussendruck zu schützen.

4.5.3 Absperrklappen/Scheibenventile/Drosselklappe

Eine Absperrklappe (Abbildung 4-17) besteht aus einer zentral in Rohr gelagerten Scheibe mit dem Außendurchmesser gleich dem Rohrdurchmesser. Durch drehen dieser Scheibe (0° , 90° , 0°) ist das Rohr entweder geöffnet oder geschlossen.

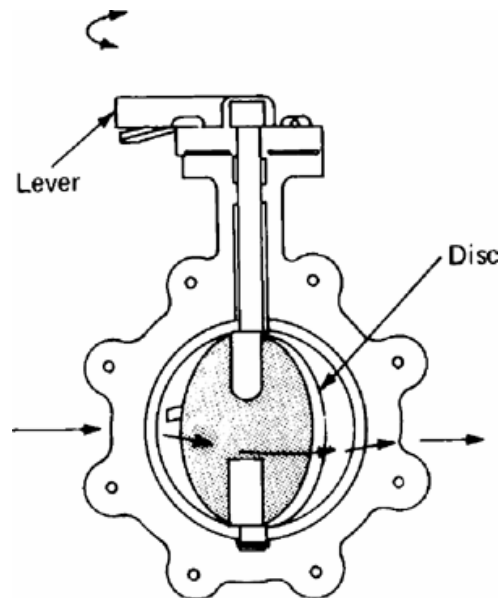


Abbildung 4-17 Schema Absperrklappe [4]

Als Antrieb stehen hier ähnlich wie beim Flachschieber verschiedenen Möglichkeiten zur Verfügung, Handbetrieb, Pneumatiktrieb und Elektroantrieb. Pneumatik ist ohne Kompressor nicht möglich. Der Elektroantrieb ist aufgrund des Aussendruckes ebenfalls nicht zu realisieren. Da bei handbetriebenen Absperrklappen die Bauhöhe relativ gering ist, wurde folgende Lösung überdacht:

Ein Riementrieb zum Betätigen der Klappen über einen zentral installierten Schrittmotor. Dieser Schrittmotor wäre dann mit einer Magnetkupplung über das Druckgehäuse mit der Welle verbunden worden. Hier besteht das Problem neben der Druckkammer, dass ein Riementrieb zu anfällig auf Treibgut oder sonstige Verschmutzungen unter Wasser reagieren würde. Somit fällt auch diese Möglichkeit als Lösung aus.

4.5.4 Kugelventile

Ein Kugelventil (Abbildung 4-18) besteht im Wesentlichen aus einem Rohr mit einer drehbaren Kugel, eine Bohrung axial zur Durchströmungsrichtung des Rohres. Durch das Drehen der Kugel über eine Welle um 90° kann das Ventil öffnen und schließen.

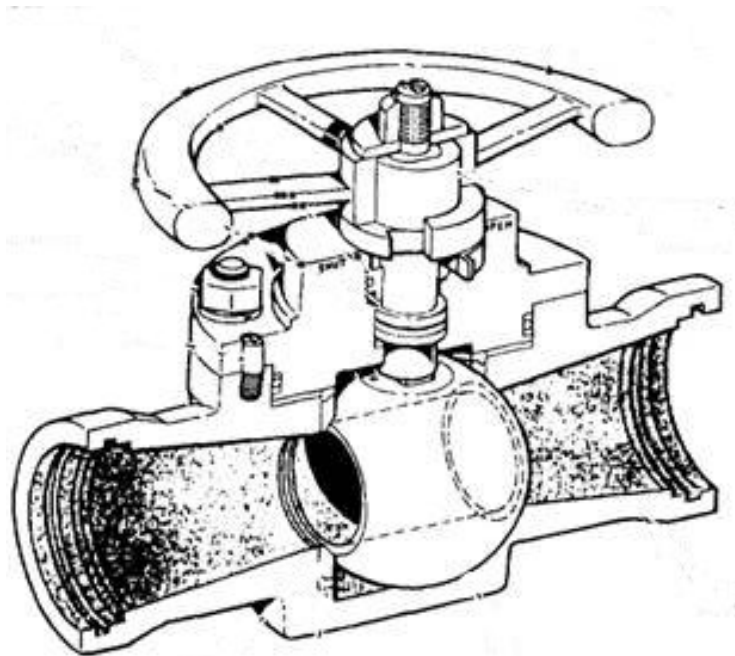


Abbildung 4-18 Schema Kugelventil [5]

Die Ausschlusskriterien der Kugelventile für diese Anwendung sind wie auch das Handhabungsprinzip sehr ähnlich der Absperrklappe. Trotz geringer Bauhöhe und einfacher Funktionalität lässt sich unter diesen Randbedingungen kein vertretbarer Antrieb finden.

4.5.5 Lochscheiben – Magnetsteuerung

Ein anderer Ansatz zur Ansteuerung der einzelnen Röhren, besteht aus zwei konzentrisch gelagerten Lochscheiben, wobei die sich auf der Saugseite befindende Scheibe ein Loch aufweist und die zweite fünf. Jede dieser fünf Öffnungen führt wiederum zu den fünf Ansaugröhren mit ihren Planktonsieben. Die Scheibe mit nur einem Loch wird nun so gedreht, dass stets nur einer der fünf Durchgänge geöffnet ist.

Das Drehen der Einlochscheibe sollte nach ersten Überlegungen durch die Anziehungskräfte von Gleichstromhaftmagneten erfolgen. Die bestellten Magnete mit einem Durchmesser von 25 mm werden mit 24 VDC betrieben und weisen im eingeschalteten Zustand eine Kraft von 135 N bei 0 mm Luftspalt auf. Die Magneten sollten komplett in eine PP-Platte eingelassen und mit Harz abgedichtet werden. Aufgrund der kompakten Bauweise und der geringen Oberfläche, auf die der Aussendruck wirken würde, wären diese Magnete auch bei dem hohen Aussendruck voll einsatzfähig.

Der Aufbau sah jetzt vor, dass an jedem der fünf Durchgänge ein Haftmagnet in die Scheibe eingelassen wird und so die Einlochscheibe, welche mit einem Anker versehen wird, alleine durch das An- und Ausschalten der Magnete automatisch in die richtige Position gebracht wird, um jeweils einen Durchgang zu öffnen. Dafür wäre es nötig, dass die Magnete den Anker über ihre komplette Oberfläche ziehen.

Die Wirkweise der Gleichstromhaftmagneten entsprach jedoch nicht den Erwartungen, die Magneten zogen den Anker nicht über ihre komplette Oberfläche, somit ist mit diesem Lösungsansatz die Ansteuerung der einzelnen Ansaugröhren nicht zu realisieren.

4.5.6 Lochscheiben – Motorsteuerung

Die unerwartete, kurzfristige Verfügbarkeit eines Schrittmotors (Abbildung 4-19 und Abbildung 4-20), welcher für den Betrieb des Tiefsee-Planktonnetzes MOCNESS (Wiebe et al. 1985) entwickelt wurde, und so eine maximale Betriebswassertiefe von ca. 5000 m aufweist, ließ die Lochscheibensteuerung überleben. Der Motor, welcher nur zwei Anschlusslitzen aufweist, und damit auf den ersten Blick kein Schrittmotor sein kann, entpuppte sich bei näherer Betrachtung vermutlich als ein 5-Phasen-Schrittmotor. Da es sich um einen Motor mit einem ölgefüllten Gehäuse handelt, wurde auf eine Öffnung und ganz genaue Inspektion des Motorinneren verzichtet. Leider existieren keine Datenblätter oder andere Dokumente des Motors. Die folgenden Annahmen beruhen auf der Beobachtung und der daraus folgenden Analyse des Motors. Angetrieben wird er auf dem MOCNESS mit einer 19,2 V Batterie. Die komplette Steuerung der 5-Phasen, sowie der folgenden Betrachtungen laufen über eine sich im Inneren des ölgefüllten Motorgehäuses befindliche elektrische Steuerung. Beim 5-Phasen-Schrittmotor werden jeweils 4 von 5 Motorphasen gleichzeitig bestromt, Die Motorspulen sind um 72° versetzt angeordnet. Der Motor benötigt also 36 Vollschritte mit jeweils 10° für einen kompletten Umlauf. Der Motor ist so gesteuert, dass er pro Stromimpuls genau einen Schritt entgegen des Uhrzeigersinns macht. Bleibt der Stromimpuls danach bestehen, wird der Permanentmagnet des Ankers durch das entstandene Magnetfeld der Motorspulen gehalten. Das maximale Haltemoment entsteht also im bestromten Zustand nach dem Schritt. Die Polung der beiden Anschlusslitzen führt bei diesem Motor zu keinem Richtungswechsel, auch hier zeigt sich, dass sich in dem Motorgehäuse ein Schrittmortreiber befinden muss, welcher auch die Drehrichtung regelt. Die ermittelte elektrische Leistung des Motors beträgt 76 W.

Der Motor verfügt somit über ausreichend Leistung, um die Ansteuerung der Röhren auf dem Planktonprobennehmer zu übernehmen.



Abbildung 4-19 Motor Vorderseite



Abbildung 4-20 Motor Rückseite

Die Ansteuerung der einzelnen Ansaugröhren erfolgt also über das Zweischeibenprinzip (Abbildung 4-21+Abbildung 4-22). Hierbei überträgt der Motor sein Drehmoment über eine Kunststoffkette auf die Welle am freien Wellenende. Die Welle ist über eine Wellen-Nabe Verbindung mit der Einlochscheibe (rote Scheibe) verbunden ist. Die Fünflochscheibe (grüne Scheibe) ist feststehend, in ihr befindet sich ein IGUS Kunststoffgleitlager, welches die Wellenbewegung zulässt.

Da der Motor eine Schrittweite von 10° hat, wird die Übersetzung zwischen Motorwelle und angetriebener Welle 1:1 übernommen. So erreicht der Motor alle sechs Schritte

eine neue Ventilstellung. Bei fünf Ansaugröhren bedeutet es, dass fünf Stellungen als geöffnet und eine als geschlossen anzusehen ist. Die Schläuche, welche von den Selbstverständlich sorgt die gewollte Undichtigkeit auch in diesem Fall für den benötigten Druckausgleich.

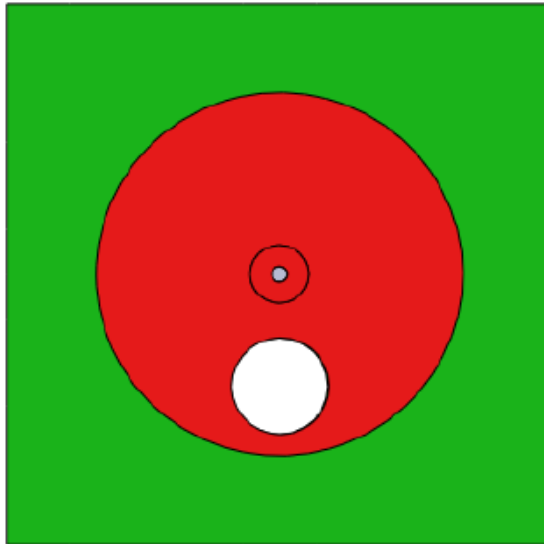


Abbildung 4-21 Scheibenmodell 1

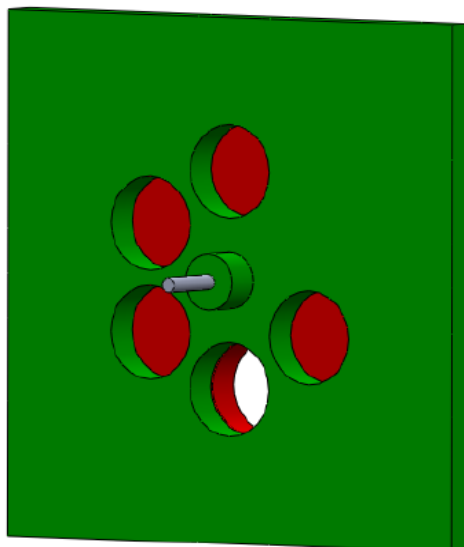


Abbildung 4-22 Scheibenmodell 2

Um den Schrittmotor vom Schiff aus steuern zu können, müssen über ein weiteres Netzteil, mit maximal 18 V, 76 Watt Leistung übertragen werden. Da der Motor bei jedem Impuls nur einen Schritt macht, wird ein Relais über das ELV RS-232-IO Board angesteuert. Die Impulse sollten eine Frequenz von 1 Hz nicht unterschreiten, da der Motor sonst leicht Schritte verliert (Abbildung 4-23).

Das IO-Board wird über die serielle Schnittstelle über *MATLAB* betrieben und ebenso wie das Netzteil und das Relais in der Technischeinheit des ROVs integriert.

Das *MATLAB* – Programm sendet per Knopfdruck sechs Impulse in Folge, um so die nächste Ventilstellung zu erreichen.

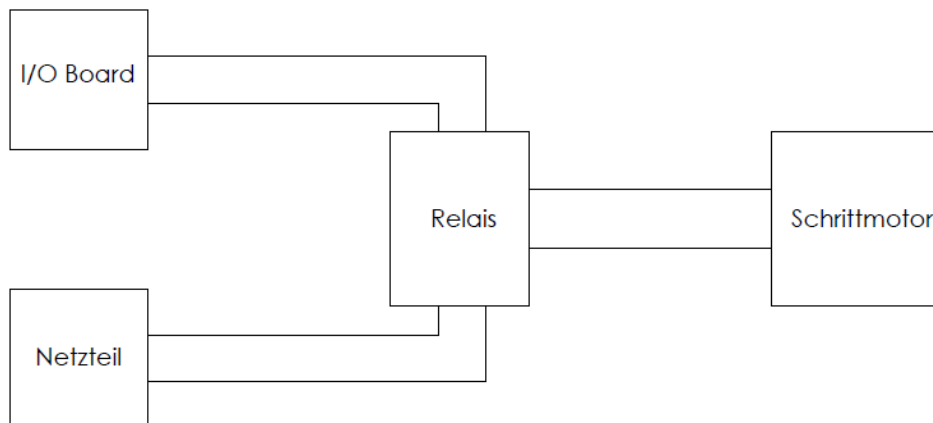


Abbildung 4-23 Schaltplan Schrittmotorsteuerung

4.6 Rohrleitungen

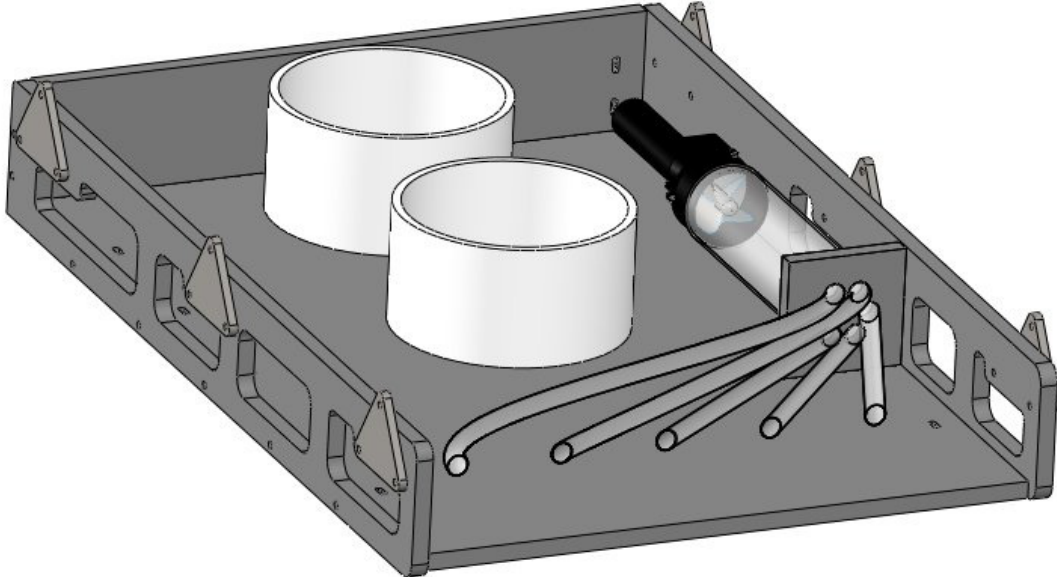


Abbildung 4-24 Planktonprobennehmer mit Rohrleitungssystem

Das Rohrleitungssystem des Planktonprobennehmers besteht aus einem 300 mm langem Rohrstück mit einem Innendurchmesser von 106 mm, welches die Ansaugseite der Pumpe mit den Lochscheiben verbindet. Dieses Rohrstück ist in einer kreisrunden Nut in der Fünflochscheibe fixiert. Rohr und Lochscheibe bestehen aus PVC, weshalb die Verbindung zur maximalen Stabilisierung verklebt wurde. Die Auslassseite der Pumpe bleibt unbedeckt, um für einen optimalen Druckausgleich zu sorgen. Die Strecke zwischen der Fünflochscheibe und den Analysesieben, welche in Abbildung 4-24 nicht zu sehen sind, wurde mithilfe von Schläuchen realisiert. Die Verbindung wurde über PVC-Klebeschlauchtüllen, welche in die Fünflochscheibe geklebt wurden realisiert. Die Schlauchenden wurden mit Schlauchschellen befestigt. Die Übergänge der fünf Schlauchanfängen zu den Analysesieben (Durchmesser 50 mm) wurden mittels PVC – Reduzierstücken und ebenfalls Schlauchschellen gefertigt.

4.7 Rückflussverhinderer

Um den ungewollten Rücklauf aus den Analysesieben ins Meer zu verhindern, werden so genannte Rückflussverhinderer (Abbildung 4-25) eingesetzt, die bei einer erreichten Druckdifferenz in eine Richtung öffnen. Die benötigte Druckdifferenz zum Öffnen der Rückflussverhinderer wird von der Pumpe erbracht. Der Rückflussverhinderer besteht aus einem wenige Zentim dicken Rohrausschnitt, einer Klappe und einer Feder, die ab einer bestimmten Druckdifferenz nachgibt und die Klappe in eine Richtung öffnen lässt. Die Geometrie ist so gewählt, dass sie nur eine Durchflussrichtung zulässt.

Gewählt wurde hier die Einfach-Rückstauklappe REDI mit einem Aussendurchmesser von 50 mm aus PP (Abbildung 4-26).

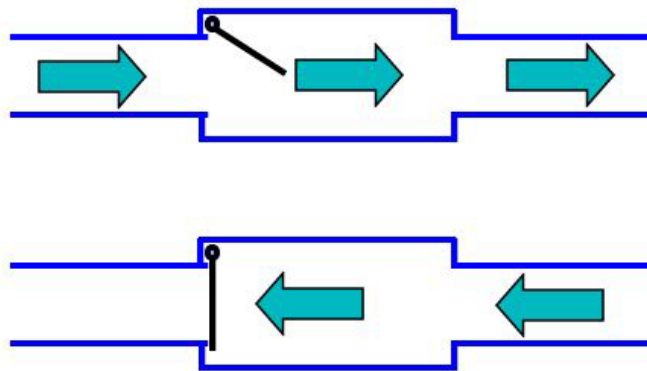


Abbildung 4-25 Schema Rückflussverhinderer [6]

Um die Dichtigkeit der Rückstauklappe zu erhöhen, wurde diese nachträglich mit einer Federkonstruktion erweitert (Abbildung 4-27).



Abbildung 4-26 Rückstauklappe REDI 50 mm [12]



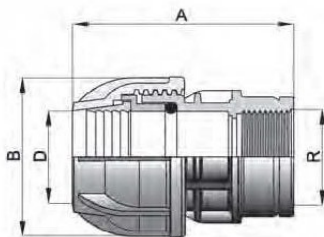
Abbildung 4-27 Rückstauklappe mit nachträglich eingebauter Feder

Die Rückstauklappe REDI 50 mm wird auf der Einlassseite um ein kurzes Rohrstück mit eingeklebter Planktongaze erweitert und in einem Kunststoff-Klemmverbinder (Abbildung 4-29) montiert. Somit bildet die Rückstauklappe den eigentlichen Plankton-sammelbehälter, welcher über eine Schlauchtülle (Abbildung 4-28) mit 1 ¼“ Gewinde mit dem Schlauch verbunden ist. Zum leeren des Sammelbehälters muss der Rück-

stauklappe inklusive des Klemmverbinders von der Schlauchtülle abgeschraubt werden und kann mithilfe der Wartungsöffnung der Rückstauklappe geleert werden.



Abbildung 4-28 Schlauchtülle mit 1 1/4" Gewinde [14]



Abmessungen und Gewichte

DN	Rohr außen-Ø [mm]	Anschlussgewinde R ISO 7/1	Artikelnummer	A [mm]	B [mm]	D [mm]	Bewicht [kg]
10	16	1/2"	13011801	88	43	21	0,022
10	16	3/4"	13011602	69	43	21	0,022
15	20	1/2"	13012001	68	43	21	0,032
15	20	3/4"	13012002	69	43	21	0,034
20	25	1/2"	13012501	76	51	26	0,055
20	25	3/4"	13012502	77	51	26	0,058
20	25	1"	13012503	80	51	26	0,059
25	32	3/4"	13013202	86	61	33	0,083
25	32	1"	13013203	90	61	33	0,086
25	32	1 1/4"	13013204	91	61	33	0,111
32	40	1"	13014003	100	71	42	0,132
32	40	1 1/4"	13014004	100	71	42	0,149
32	40	1 1/2"	13014005	106	71	42	0,160
40	50	1 1/4"	13015004	118	85	51	0,227
40	50	1 1/2"	13015005	117	85	51	0,228
40	50	2"	13015006	121	85	51	0,232
50	63	1 1/4"	13016304	140	103	64	0,340
50	63	1 1/2"	13016305	136	103	64	0,363
50	63	2"	13016306	138	103	64	0,389
65	75	2"	13017506	180	130	77	0,630
65	75	2 1/2"	13017507	186	130	77	0,646
80	90	2 1/2"	13019007	220	154	92	0,947
80	90	3"	13019008	225	154	92	1,013
100	110	3"	130111008	245	185	113	1,650
100	110	4"	130111009	257	185	113	1,650

Abbildung 4-29 Kunststoff-Klemmverbinder [13]

4.8 Dichtigkeit

Um den großen Druck in der ausgleichen zu können darf die gesamte Anlage keine hundertprozentige Dichtigkeit aufweisen. Die Leitungen müssen sich ab dem Zeitpunkt des Eintauchens mit Wasser füllen können. Einzig die Ansaugöffnung soll beim Auf – und Abtauchen eine absolute Dichtigkeit aufweisen, damit sowohl keine Objekt vor dem eigentlichen Saugvorgang in die Siebe gelangen und andererseits keine Objekt beim Auftauchen wieder aus den Sieben herausgespült werden.

Die Undichtigkeit wird durch die Pumpe erzeugt, welche nach hinten offen ist, und so für den benötigten Druckausgleich sorgt.

5 Berechnungen

Im folgenden Kapitel werden Berechnungen zur Festigkeit der Rahmenkonstruktion und zu der erwartenden Saugleistung der Pumpe dargestellt. Neben den Berechnungen werden auch eine FEM-Analyse und eine Strömungssimulation erläutert. Beide Simulationen werden mit der CAD-Software *Solidworks* und liefern zumindest hilfreiche Anhaltspunkte über die Steifigkeit des Rahmens und die Strömungsverteilung innerhalb des Planktonprobennehmers.

Um die Festigkeit des Rahmens sicherzustellen wird auch die Schraubverbindung zwischen den Einzelteilen berechnet.

5.1 FEM-Analyse

Zur Festigkeitsberechnung des Gestells wurde die *Solidworks* eigene FEM-Analyse benutzt. Als erstes wurde hier das Material definiert, die Werte hierfür wurden aus dem Datenblatt für Polypropylen des Herstellers Kern GmbH und dessen Werkstoffdatenbank *RIWETA 4.1*.

Um die maximale Belastung im Falle eines Unfalls mit dem ROV zu simulieren, wurde anhand des zu erwartenden Gesamtgewichts des ROVs mit dem Planktonprobennehmers sowie dessen Höchstgeschwindigkeit die maximale Kraft im Falle eines Aufpralls auf ein starres Hindernis errechnet.

Für die Berechnungen wurden die Werte aus der Tabelle 5-1 benutzt:

Tabelle 5-1 Werte zur Berechnung der Belastung [11]

	Symbol	Wert	Einheit
Planktonprobennehmer			
Gewicht in Luft	m_{Luft}	30	kg
Volumen	V	0,027	m^3
Dichte Seewasser			
	$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$	1025	kg/m^3
ROV			
Gewicht	m_{ROV}	265	kg
Höchstgeschwindigkeit	v_{max}	1,5	m/s
Sicherheitsfaktor			
	s	3	

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \rho_{\text{H}_2\text{O}} \times V = 28\text{kg} \quad (1)$$

$$m_{\text{Gesamt_H}_2\text{O}} = m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{ROV}} = 293\text{kg} \quad (2)$$

$$F_{\text{max}} = m_{\text{Gesamt_H}_2\text{O}} \times a \times s \approx 1500\text{N} \quad (3)$$

Daraus wird das Gesamtgewicht (2) unter Wasser, sowie die maximale Kraft bei einem Zusammenstoß (3) errechnet. Der Sicherheitsfaktor wurde hier auf 3 festgelegt, dies sollte eine ausreichende Sicherheit garantieren.

Die maximal zu erwartende Kraft ist 1500 N. Um die Festigkeit des Gestells zu prüfen wird diese Kraft an den 4 Ecken angebracht, um einen Zusammenstoß an den empfindlichsten Stellen zu simulieren.

Als Ergebnis werden einmal die im Maschinenbau übliche Gestaltänderungsenergiehypothese, oder auch von-Mises-Vergleichsspannung (Abbildung 5-1) genannt, sowie die Verschiebungen (Abbildung 5-2) grafisch dargestellt.

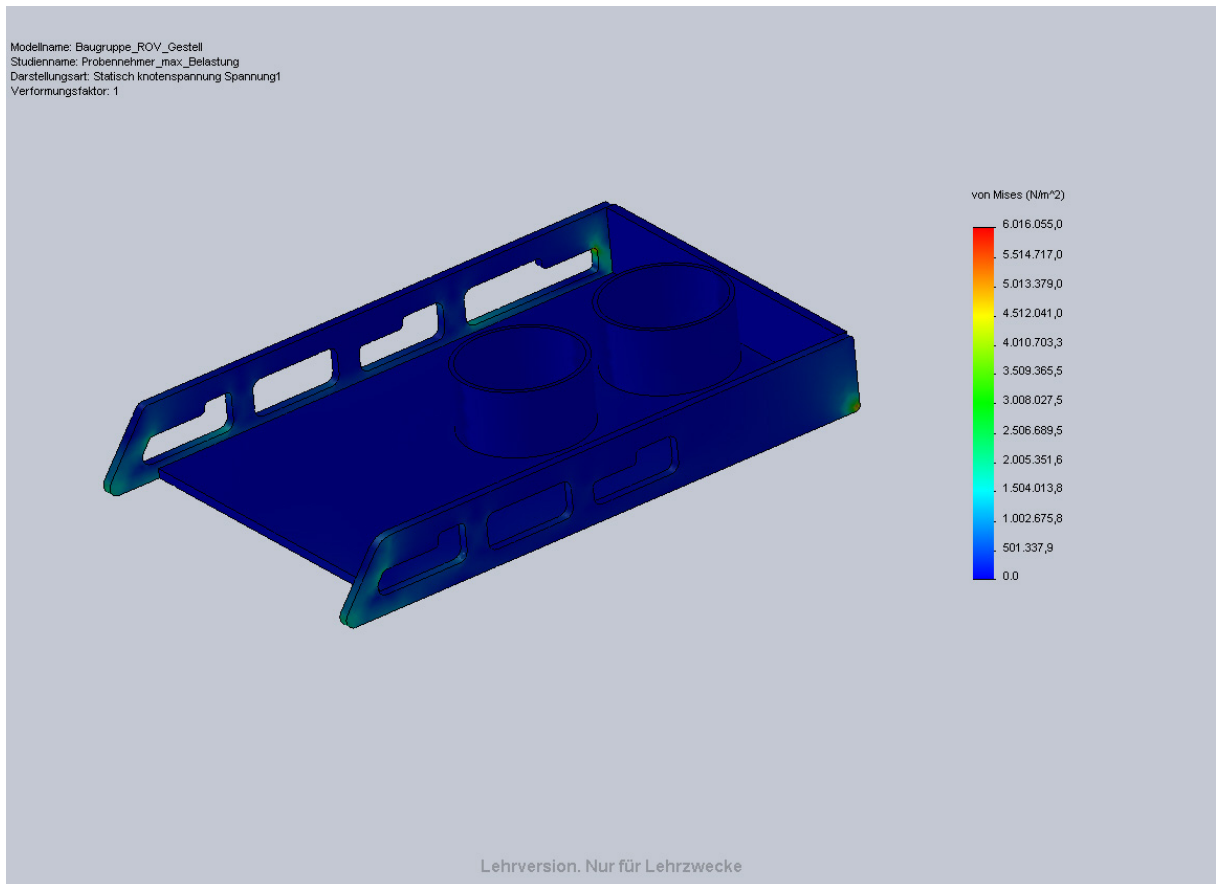


Abbildung 5-1 von Mises Spannung

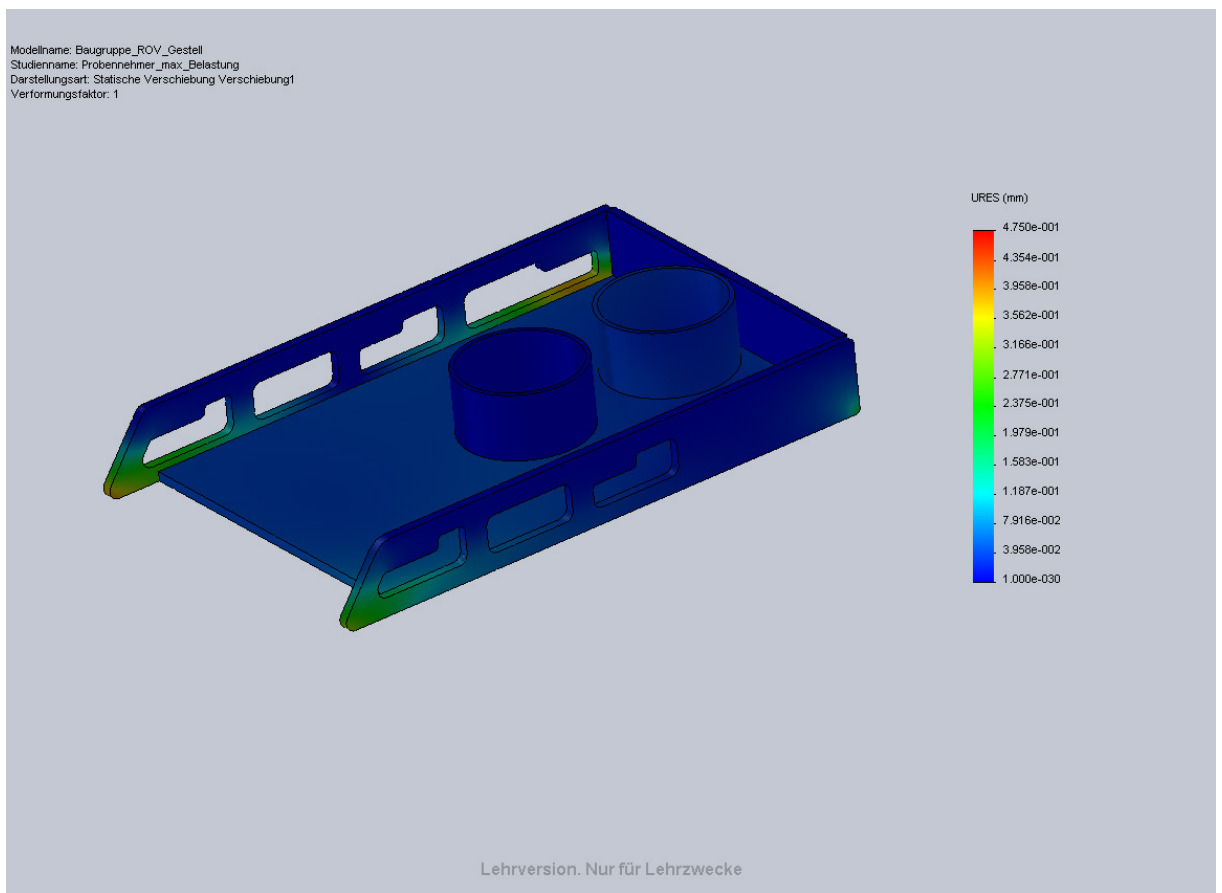


Abbildung 5-2 Verschiebungen

Hierbei zeigt sich ganz deutlich, dass dieses Gestell den Anforderungen standhält, und selbst bei starken Belastungen nur geringfügige Verformungen auftreten, welche im Maximalfall bei unter einem halben Millimeter liegen werden.

Mit den ermittelten Belastungen werden im Folgenden die Schrauben für die Verbindung der Rückwand und der Seitenwände mit der Bodenplatte berechnet.

5.2 Schraubenberechnung

Die Schraubenberechnung erfolgt nach Roloff/Matek [7]:

Zur Auslegung wurden folgende Überlegungen und Berechnungen durchgeführt:

- (1) Grobe Vorwahl des Schraubendurchmessers d und der Festigkeitsklasse nach TB 8-13 des Tabellenbuches Roloff/Matek [8] mit der Betriebskraft F_B und die überschlägige Berechnung der Flächenpressung p .
- (2) Ermittlung der erforderlichen Montagevorspannkraft F_{VM} .
- (3) Bestimmen des erforderlichen Anziehmoments M_A .
- (4) Nachprüfung der Schrauben mit statischer, bzw. dynamischer Betriebskraft und dem Sicherheitsfaktor.

Als Schraubendurchmesser wurde überschlägig M8 Regalgewinde der normalen Festigkeitsklasse 8.8 gewählt. Die Seitenflächen sollen jeweils mit 5 Schrauben an der Bodenplatte befestigt werden. Die Spannkraft F_{SP} jeder einzelnen Schraube wird mit 18 KN angegeben. Dieser Wert ist sehr hoch gewählt, da die genaue Betriebskraft nicht eindeutig zu ermitteln ist, da diese durch Strömung oder eventueller Kollisionen sehr stark schwanken kann. Einziger Anhaltspunkt sind die Extrema aus der FEM-Analyse mit der Vergleichsspannung von ca. $6 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, und die überschlägig berechnete Kraft im Falle eines Aufpralls bei Höchstgeschwindigkeit unter Wasser von 1500 N.

Um die Flächenpressung überschlägig zu berechnen wird noch die Kopfauflagefläche A_P der M8 Sechskantschraube benötigt. Aus Tabelle 8-8 [8] erhält man den Wert 62 mm^2 . Nach der Berechnung folgt noch der Vergleich mit der Grenzflächenpressung p_G für die Verbindung zwischen PP Bauteilen.

So ergibt sich:

$$p = \frac{F_{SP}}{A_P} \leq p_G \quad (4)$$

$$p = 320 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 340 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Um die Montagevorspannkraft F_{VM} zu ermitteln sind diverse Zwischenschritte und Tabellenwerte von Nöten:

$$F_{VM} = k_A \times (F_{kl} + F_B \times (1 - \Phi) + F_Z) \quad (5)$$

$$F_{VM} = 22214N$$

Der Anziehungsfaktor k_A beträgt beim Anziehen der Schrauben per Hand einen Wert von 1,3. Tabelle [8-11] [8].

Um die Klemmkraft F_{kl} und das Kraftverhältnis Φ zu ermitteln sind folgende Zwischenschritte nötig, welche größtenteils auf Tabellen- und Diagrammwerten beruhen.

$$F_{kl} = F_V - F_B \times (1 - \Phi) \quad (6)$$

$$F_{kl} = 14665N$$

$$\Phi = n \times \Phi_k \quad (7)$$

$$\Phi = 0,11$$

$$\Phi_k = \frac{\delta_T}{\delta_S + \delta_T} \quad (8)$$

$$\Phi_k = 0,021$$

$$\delta_T = \frac{l_k}{A_{ers} \times E_T} \quad (9)$$

$$\delta_T = 2 \times 10^{-7} \frac{mm}{N}$$

$$A_{ers} = \frac{\pi}{4} (d_w^2 - d_h^2) + \frac{\pi}{8} \times d_w (D_A - d_w) \left[\left(\sqrt[3]{\frac{l_k \times d_w}{D_A^2} + 1} \right)^2 - 1 \right] \quad (10)$$

$$A_{ers} = 1227,5mm^2$$

$$\delta_S = \frac{1}{E_S} \left(\frac{0,4d}{A_N} + \frac{l_1}{A_1} + \frac{l_2}{A_2} + \frac{0,5d}{A_3} + \frac{0,4d}{A_N} \right) \quad (11)$$

$$\delta_S = 9 \times 10^{-6} \frac{mm}{N}$$

Mit den Werten aus (8) – (11) können jetzt das Kraftverhältnis (7) und damit dann die Klemmkraft (6) berechnet werden.

Um die Montagevorspannkraft gänzlich berechnen zu können fehlt noch der Vorspannkraftverlust F_Z .

$$F_Z = \frac{f_Z}{\delta_S} \times (1 - \Phi_k) \quad (12)$$

$$F_Z = 1088N$$

Der Setzbetrag f_Z lässt sich wieder über das Tabellenbuch ermitteln, in diesem Fall Tabelle [8-10a] [8].

Mit (6), (7) und (12) lässt sich (5) berechnen. Aus der Montagevorspannkraft lässt sich mithilfe der Formel (13) das benötigte Anziehdrehmoment M_A der Schrauben ermitteln.

$$M_A = F_{VM} \left(0,159P + 0,577 \times \mu_G \times d_2 + \mu_K \times \frac{d_K}{2} \right) \quad (13)$$

$$M_A = 16Nm$$

Abschließend folgt noch ein Nachprüfen der Schrauben, sowohl einmal die Einhaltung der maximal zulässigen Schraubenkraft (14) und das Einhalten der geforderten Sicherheit (16)

$$F_{BS} = \Phi \times F_B \leq 0,1 \times R_{p0,2} \times A_S \quad (14)$$

$$F_{BS} = 165N \leq 2508N$$

mit

$$A_S = \frac{\pi}{4} + \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2 \quad (15)$$

$$A_S = 39,2 \text{ mm}^2$$

$$S_F = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{red}} \geq S_{F_{\text{erf}}} \quad (16)$$

$$1,12 \geq 1,0$$

$S_{F_{\text{erf}}}$ ist in diesem Fall 1,0. Man sieht also, dass nur eine Schraube das Gestell im Falle eines Unterwasserunfalls zusammenhalten würde, hier werden in der Realität sieben Schrauben pro Seite eingesetzt.

5.3 Berechnung des theoretischen Volumenstroms der Pumpe

Grundlage der Berechnung sind einmal die Herstellerangaben der Firma *Crust Crawler* und die tatsächlich vorhanden technischen Voraussetzungen. Da sich die genauen Verluste aufgrund von Undichtigkeiten und Reibungen gerade an den unterschiedlichen Querschnitten und Materialien nicht beziffern lassen, dient diese Rechnung nur als grober Anhaltswert.

Die maximale Motorleistung P_{\max} beträgt 600 W bei $U=24$ VDC und $I= 25$ A. Da die Leistung des verbauten Netzteils etwas geringer ist verringert sich die maximal vorhandene Motorleistung $P_{\max,\text{vorh}}$ auf 480 W. Der Wirkungsgrad η des Motors ist nicht bekannt, liegt bei 3-Phasen-Gleichstrommotoren in der Regel bei etwa 0,95, das ist für diese Übersichtsrechnung ausreichend genau.

Die vorhandene Motorleistung P_{vorh} wird also mit 456 W angenommen.

Die angegebene maximale Schubkraft $F_{N,\max}$ von 16lbs, bzw. 71 N wird bei 24 VDC erreicht.

Der Durchmesser d des Rotorgehäuses beträgt 3,75“, das entspricht $0,9525 \times 10^{-3}$ m.

Mit diesen Angaben lässt sich der Volumenstrom \dot{V} ausreichend genau bestimmen:

$$\dot{V} = v \times A \quad (17)$$

$$\dot{V} = 0,045 \frac{m^3}{s}$$

mit

$$A = \pi \times \frac{d^2}{4} \quad (18)$$

$$A = 0,007m$$

und

$$v = \frac{P_{\text{vorh}}}{F_N} \quad (19)$$

$$v = 6,4 \frac{m}{s}$$

Der in (17) errechnete Wert von ca. $2700 \frac{l}{\text{min}}$ zeigt, dass die Leistung der Pumpe als absolut ausreichend anzusehen ist, selbst bei extremen Verlusten sollte die benötigte Ansauggeschwindigkeit von ca. $0,5 \frac{m}{s}$ erreicht werden.

5.4 Strömungsanalyse

Mit der *Solidworks* Zusatzanwendung *Flow Simulation 2010* wurde die Strömungsgeschwindigkeitsverteilung im vereinfachten Modell verbildlicht. Der Volumenstrom betrug hier $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$, die Wände sind als ideal und die Strömung als turbulent und laminar eingestellt. Zweck dieser Untersuchung ist eine grobe Übersicht über die Strömungs- und Geschwindigkeitsverteilung, um Rückschlüsse auf das Verhalten des Gesamtfährtes zu erhalten. Es zeigt sich (Abbildung 5-3), dass sich die Strömungsturbulenzen größtenteils auf das Innere des Planktonprobennehmers bezieht, weshalb die Auswirkungen auf das ROV gering sein sollten und durch die Steuerung der sehr leistungsstarken Thruster ausgeglichen werden können.

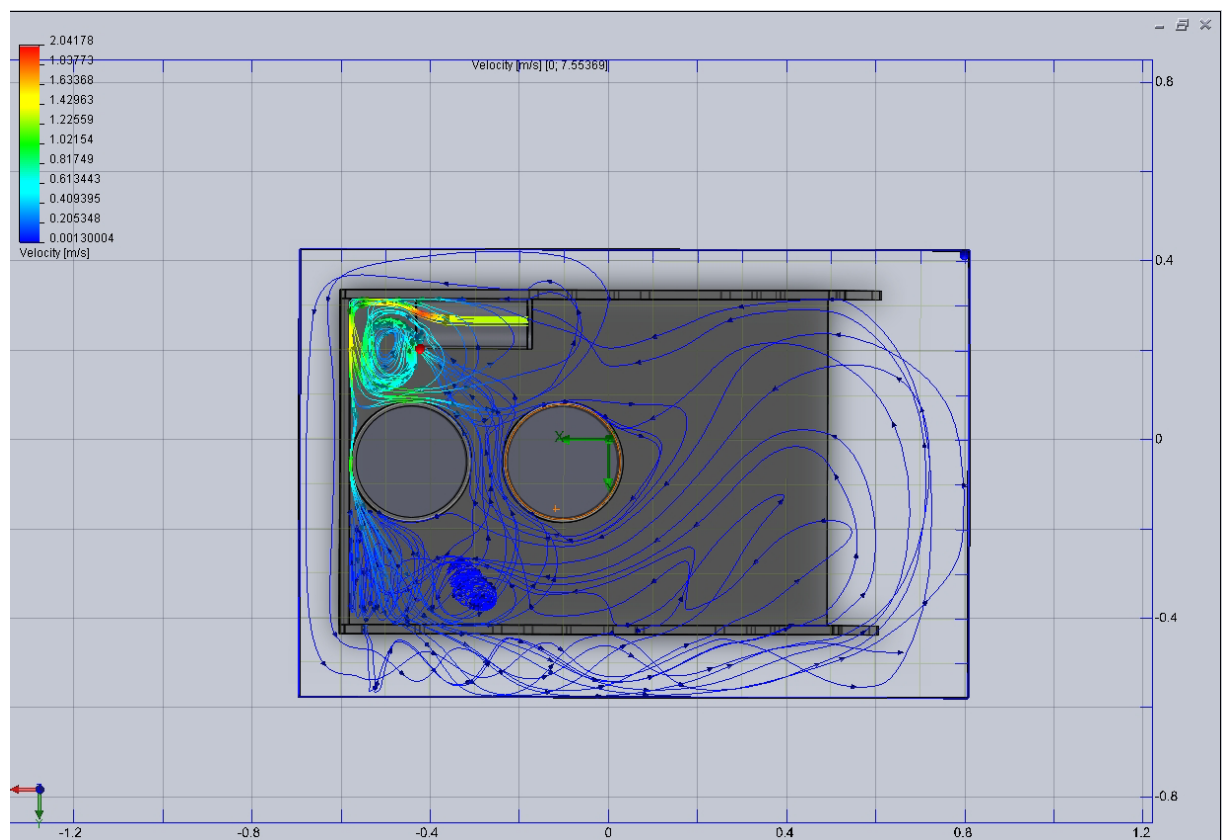


Abbildung 5-3 Geschwindigkeitsverteilung

Ebenfalls zeigt sich bei diesem vereinfachten Modell, dass die von der Pumpe verursachte Strömungsgeschwindigkeit vorne an der Ansaugseite relativ gering ist (ca. $0,001 \text{ m/s}$). Dies sollte das Ansaugverhalten nicht beeinträchtigen.

6 Bau / Konstruktion

Sämtliche Bauteile des Planktoprobennehmers werden mithilfe der institutseigenen CNC-Portalfräse hergestellt. Dafür müssen die CAD Modelle platz sparend in einer Ebene im DXF-Format abgespeichert werden, um diese dann mit dem Programm *Filou NC11* grafisch zu fräsen. Das Programm erstellt dabei automatisch den NC Code. Dieser Code wird dann mit der Software *WinPC-NC* direkt an die Fräse gesendet, welche über die parallele Schnittstelle mit einem PC verbunden ist.

Anhand der Beispiele Außenwände und Rückwand, sowie der Bodenplatte wird im Folgenden erläutert, wie der NC-Code erstellt und an die CNC-Fräse gesendet wird:

Nach dem Öffnen der DXF-Datei mit *FilouNC11* wird die Geometrie in einer 2D Darstellung (Abbildung 6-1 und Abbildung 6-2) angezeigt. Um nun die einzelnen Konturen etc. zu fräsen, bedarf es einiger Voreinstellungen:

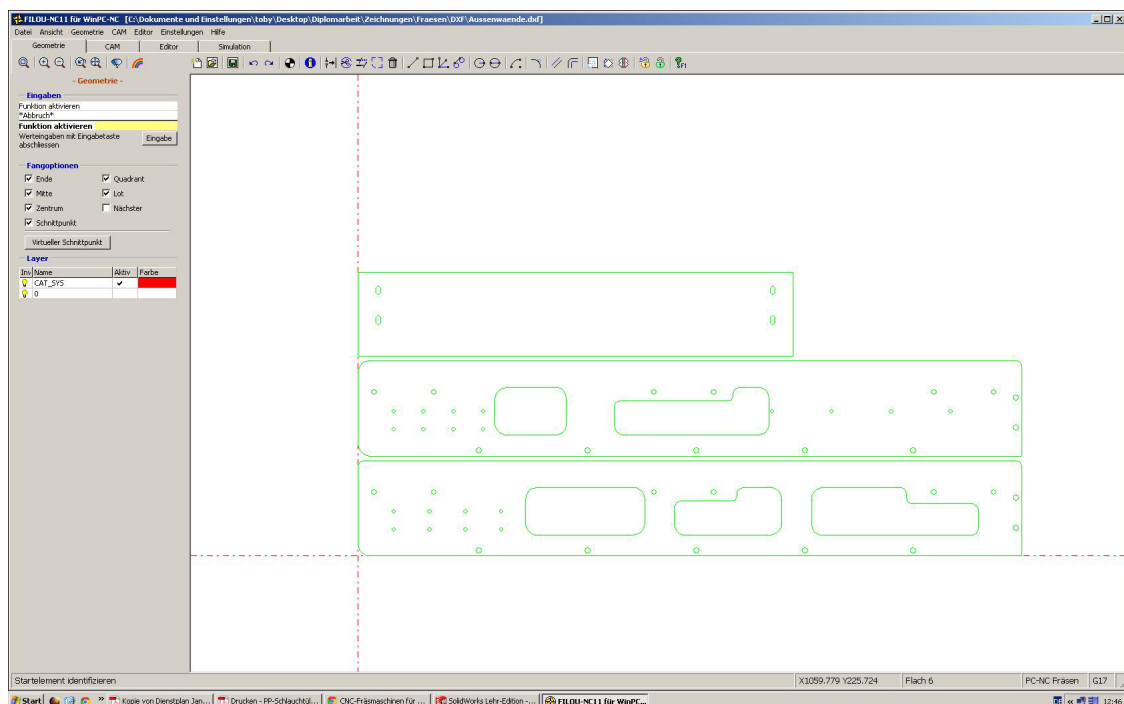


Abbildung 6-1 Außenwände und Rückwand in FilouNC11

Als erstes wird mit dem Befehl *Zeichnung aufräumen* die Zeichnung von überflüssigen Elementen gesäubert. Das geht automatisch und dient zum Beispiel der Entfernung von ungewollten Überlagerungen oder identischen Elementen.

Als nächsten wird der Programm-Nullpunkt gewählt, welcher identisch mit dem Werkstück-Nullpunkt ist. Gewählt wurde die Ecke links unten.

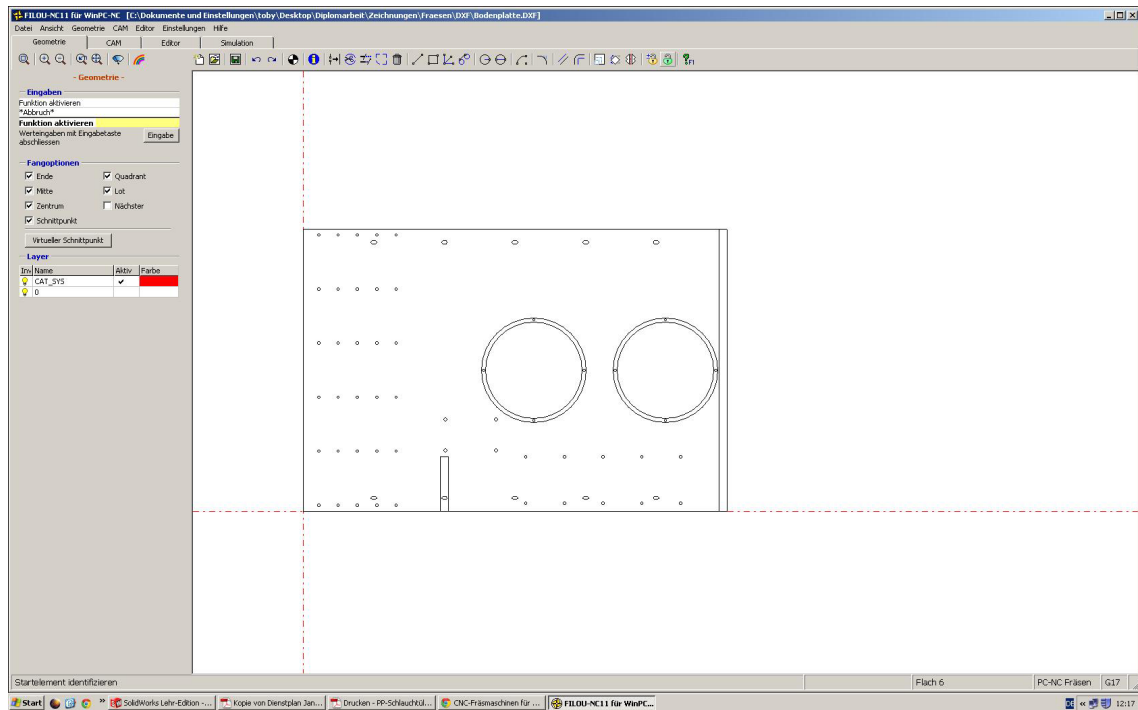


Abbildung 6-2 Bodenplatte in FilounNC11

Nach dieser Auswahl wird das NC-Programm begonnen, den Programmanfang schreibt *FilouNC11* mit dem Befehl *Neues Programm starten*, hier kann man den jeweiligen Programmen noch einen Namen zuweisen.

Nach dem der Anfang geschrieben ist, muss noch ein Werkzeug eingefügt werden, da in diesem Projekt bewusst keine kleineren Radien und Bohrungen als 6 mm vorhanden sind, wird hier alles mit einem 6 mm starken, einzahnigen Fräser gefertigt.

Die einzelnen Konturen werden wie folgt gefertigt:

- 6 mm Bohrungen werden mit dem Fräser gebohrt
- Bohrungen > 6 mm werden mithilfe einer Helix-Bewegung erzeugt
- des weiteren stehen verschiedenste Arten von Konturen, wie Rechteck-, Kreis, Konturtasche etc. zur Verfügung

Beim Abfahren der einzelnen Fräserbewegungen muss immer auf die jeweils einzustellenden Vorschübe und auch Einstechtiefen geachtet werden. Unterschiedliche Bewegungen benötigen auch immer unterschiedliche Einstellungen. So können Außenkonturen schneller gefahren werden, als beispielsweise Bohrungen oder Helices.

Besonderes Augenmerk liegt auf den Einstechtiefen, da bei dem Importieren der Modelle aus dem CAD ins DXF-Format reine 2D Zeichnungen entstehen, müssen sämtliche Tiefen (Z-Koordinaten) manuell eingegeben werden.

Wenn die gesamte Geometrie mithilfe der zur Verfügung gestellten Fräs-Module grafisch abgefahren wurde kann die Arbeit in einer 3D Simulation (Abbildung 6-3 und Abbildung 6-4) betrachtet werden, dies ist besonders hilfreich, um eventuelle Fehler in den Schnitttiefen, oder das doppelte Abfahren bestimmter Geometrien zu erkennen.

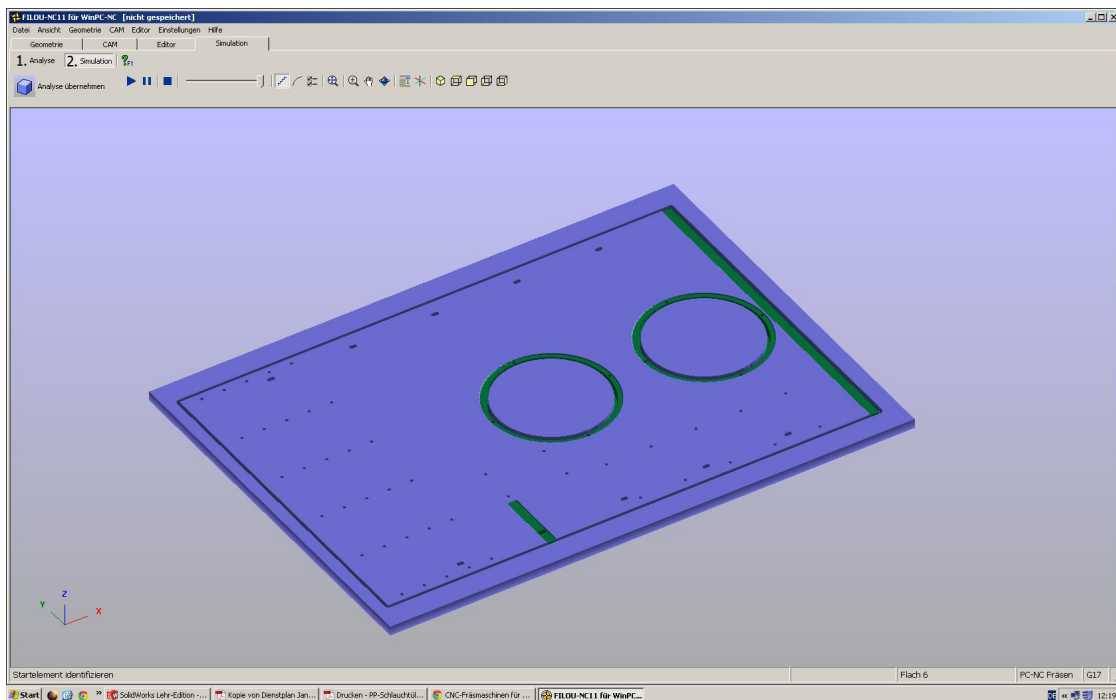


Abbildung 6-3 Bodenplatte in FilounNC11 3D Simulation

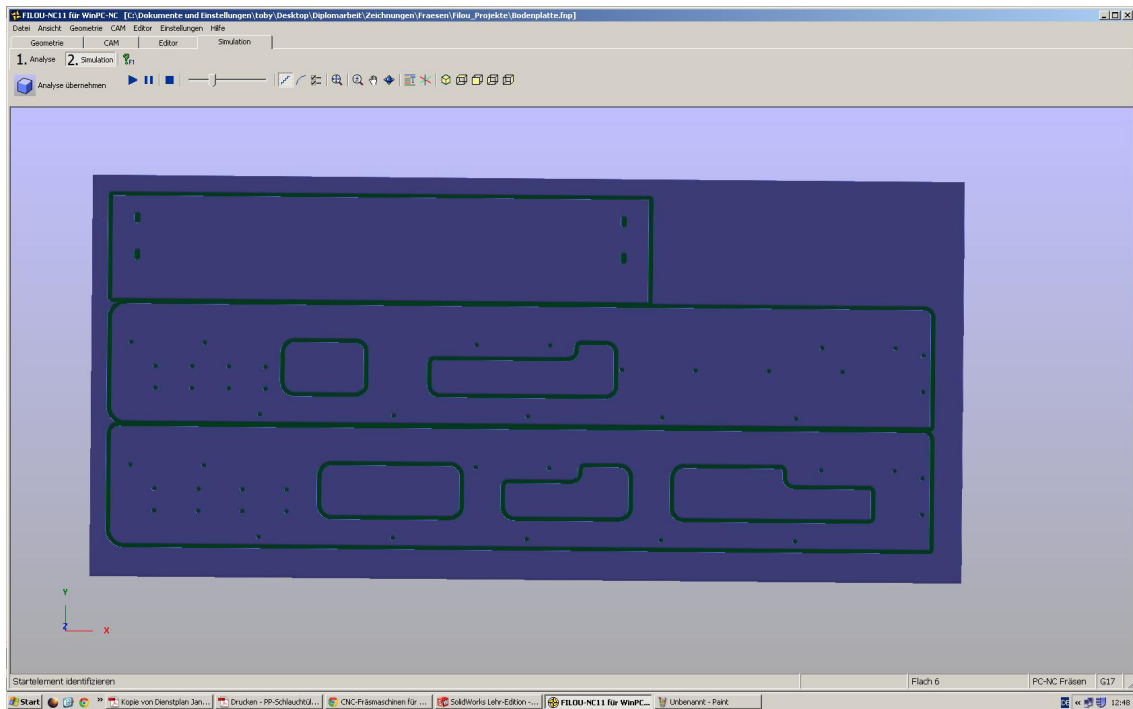


Abbildung 6-4 Außenwände und Rückwand in FilouNC11 3D Simulation

Anschließend wird der NC-Code (Abbildung 6-5) von *FilouNC11* an das Programm *WINPC-NC* übermittelt. Der NC Code beinhaltet die Koordinaten der Fräswege, Ausgangspunkt ist der gewählte Programmnullpunkt. Von links nach rechts betrachtet besteht der NC-Code aus:

- Zeilen-Nummerierung N
- aus G-Befehlen z.B. G0 – Zustellvorgang im Eilgang, G1 – Bearbeitung, G2 – Kreisbewegung etc.
- X – Y – Z – Koordinaten
- F – Befehl beschreibt den Vorschub; betrachtet man hier die Zeilen N284 + N285 in Abbildung 6-5 erkennt man den Vorschub F2228 in mm/min in Z-Richtung und den Vorschub F2000 in X – Y Richtung
- hinzu kommen noch verschiedene Zusatzbefehl wie beispielsweise I – O als Kreisparameter


```

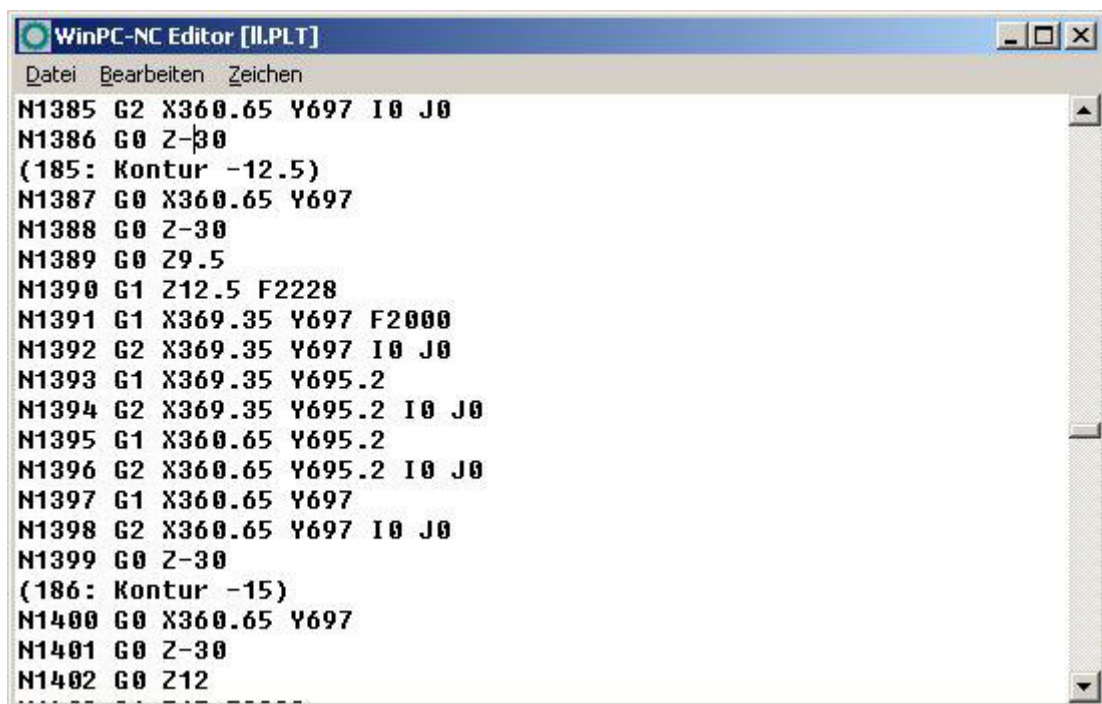
LNL-Code_Aussenwaende - Editor
Datei Bearbeiten Format Ansicht ?
N280 G1 Z-20
N281 G0 Z30
(50: Kontur -2.5)
N282 G0 X33 Y391.65
N283 G0 Z30
N284 G1 Z-2.5 F2228
N285 G1 X33 Y400.35 F2000
N286 G2 X33 Y400.35 IO JO
N287 G1 X34.8 Y400.35
N288 G2 X34.8 Y400.35 IO JO
N289 G1 X34.8 Y391.65
N290 G2 X34.8 Y391.65 IO JO
N291 G1 X33 Y391.65
N292 G2 X33 Y391.65 IO JO
N293 G0 Z30
(51: Kontur -5)
N294 G0 X33 Y391.65
N295 G0 Z30
N296 G0 Z-2
N297 G1 Z-5 F2228
N298 G1 X33 Y400.35 F2000
N299 G2 X33 Y400.35 IO JO
N300 G1 X34.8 Y400.35
N301 G2 X34.8 Y400.35 IO JO
N302 G1 X34.8 Y391.65
N303 G2 X34.8 Y391.65 IO JO
N304 G1 X33 Y391.65
N305 G2 X33 Y391.65 IO JO
N306 G0 Z30
(52: Kontur -7.5)
N307 G0 X33 Y391.65
N308 G0 Z30
N309 G0 Z-4.5
N310 G1 Z-7.5 F2228
N311 G1 X33 Y400.35 F2000
N312 G2 X33 Y400.35 IO JO
N313 G1 X34.8 Y400.35
N314 G2 X34.8 Y400.35 IO JO
N315 G1 X34.8 Y391.65
N316 G2 X34.8 Y391.65 IO JO
N317 G1 X33 Y391.65
N318 G2 X33 Y391.65 IO JO
N319 G0 Z30
(53: Kontur -10)
N320 G0 X33 Y391.65
N321 G0 Z30
N322 G0 Z-7
N323 G1 Z-10 F2228
N324 G1 X33 Y400.35 F2000
N325 G2 X33 Y400.35 IO JO
N326 G1 X34.8 Y400.35
N327 G2 X34.8 Y400.35 IO JO
N328 G1 X34.8 Y391.65
N329 G2 X34.8 Y391.65 IO JO
N330 G1 X33 Y391.65
N331 G2 X33 Y391.65 IO JO
N332 G0 Z30
(54: Kontur -12.5)
N333 G0 X33 Y391.65
N334 G0 Z30
N335 G0 Z-9.5
N336 G1 Z-12.5 F2228
N337 G1 X33 Y400.35 F2000
N338 G2 X33 Y400.35 IO JO
N339 G1 X34.8 Y400.35
N340 G2 X34.8 Y400.35 IO JO
N341 G1 X34.8 Y391.65
N342 G2 X34.8 Y391.65 IO JO
N343 G1 X33 Y391.65
N344 G2 X33 Y391.65 IO JO
N345 G0 Z30
(55: Kontur -15)
N346 G0 X33 Y391.65

```

Abbildung 6-5 Beispiel NC-Code

Zum Fräsen des Werkstücks muss das Rohteil auf dem Frästisch befestigt werden, hierzu wurde eine 15 mm starke Spanplatte auf dem Frästisch eingespannt, sie dient als Sicherheit des Tisches gegen eventuelle Durchfräsungen. Auf diese Spanplatte wird das Rohteil aus 20 mm starkem PP geschraubt. Die Schrauben werden so gesetzt, dass sie sich weder im Bauteil, noch in den zu erwartenden Fräsbahnen befinden.

Ist das Rohteil ausgerichtet und ausreichend befestigt wird der NC-Code von *FilouNC11* in *WINPC-NC* geladen (Abbildung 6-6). Hierbei fällt auf, dass *WINPC-NC* die Z-Achse invertiert, das ist auch so gewollt, das Koordinatensystem in beiden Programmen zueinander gedreht.



```
WinPC-NC Editor [I1.PLT]
Datei Bearbeiten Zeichnen
N1385 G2 X360.65 Y697 I0 J0
N1386 G0 Z-30
(185: Kontur -12.5)
N1387 G0 X360.65 Y697
N1388 G0 Z-30
N1389 G0 Z9.5
N1390 G1 Z12.5 F2228
N1391 G1 X369.35 Y697 F2000
N1392 G2 X369.35 Y697 I0 J0
N1393 G1 X369.35 Y695.2
N1394 G2 X369.35 Y695.2 I0 J0
N1395 G1 X360.65 Y695.2
N1396 G2 X360.65 Y695.2 I0 J0
N1397 G1 X360.65 Y697
N1398 G2 X360.65 Y697 I0 J0
N1399 G0 Z-30
(186: Kontur -15)
N1400 G0 X360.65 Y697
N1401 G0 Z-30
N1402 G0 Z12
-----
```

Abbildung 6-6 NC-Code in WINPC-NC

Um nun starten zu können benötigt die Fräse nach einer Referenzfahrt, welche den Fräser zum Maschinen – Nullpunkt fährt, die manuelle Fahrt zum Werkstück - Nullpunkt, welcher identisch mit dem Programm-Nullpunkt im NC-Code ist. Hierzu wird der Fräser manuell an den gewünschten Punkt am linken unteren Rand des Rohteils gefahren (Abbildung 6-7).

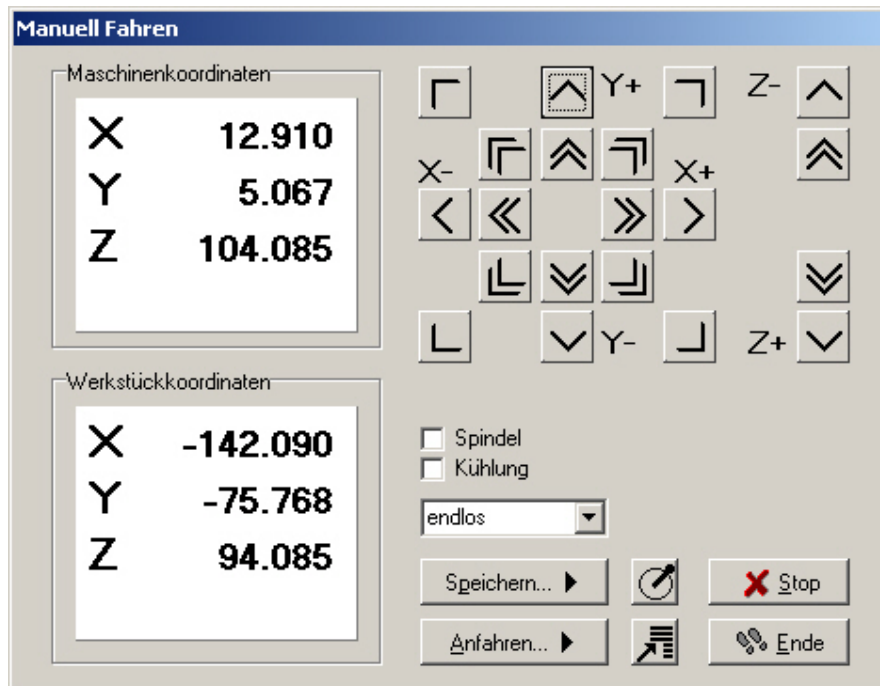


Abbildung 6-7 manuelles Fahren mit WINPC-NC

Der entsprechende wird als Nullpunkt X – Y – Z gespeichert (Abbildung 6-8). Zum Anfahren des Z – Nullpunktes empfiehlt es sich ein Stück Papier zwischen Fräser und Rohteil zu klemmen und soweit herunterzufahren, bis sich beim Bewegen des Papiers ein kratzendes Geräusch einstellt. Damit ist der Nullpunkt gefunden in dem die Werkstückkoordinaten aus Abbildung 6-7 auf 0-0-0 stehen.

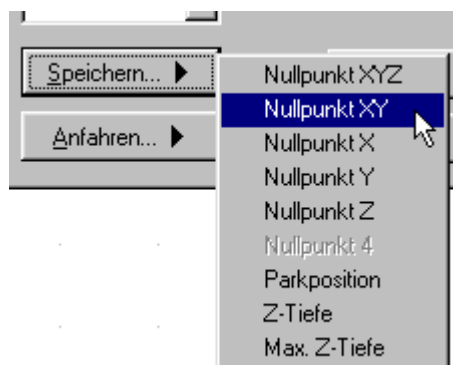


Abbildung 6-8 Nullpunkt speichern

Wird der Fräsvorgang gestartet öffnen sich zwei weitere Programmfenster, einmal das WinCNC-Control- (Abbildung 6-9) und das Arbeitsprozessfenster (Abbildung 6-10).

Das WinCNC-Control – Fenster dient zur Überwachung der Fräserbewegung, es werden sowohl die Maschinen-, als auch die Werkstückkoordinaten angezeigt. Um fehlerhafte programmierte Einstechtiefen zu erkennen, empfiehlt es sich die Z – Koordinate bei den Werkstückkoordinaten zu beobachten, diese sollte selbstverständlich nicht größer, als die Rohteildicke sein.

Realtime-CNC-Kernel	
(c) Copyright Burkhard Lewetz, 2009	
Version 1.60/41E T/R S/N 1009030	
Alle Rechte vorbehalten	
...loaded and running	

X	20.442
Y	-30.605
Z	9.480

X	1.722
Y	-10.981
Z	3.776

Abbildung 6-9 WinCNC-Control Fenster

Das Arbeitsprozessfenster (Abbildung 6-10) dient der Kontrolle des Fräsvorgangs, es zeigt neben dem NC-Programmfortschritts auch den Vorschub an. Dieser lässt sich hier auch manuell zwischen 10 und 150% regeln, was gerade bei unbekanntem Werkstoffverhalten und unterschiedlichen Fräsbewegungen von Nöten ist.

Es besteht hier auch die Möglichkeit das Programm bei aufkommender Gefahr zu stoppen oder zu pausieren, um die Maschine von Spänen zu befreien. Das ist häufiger der Fall, da sich die statisch aufgeladenen PP – Späne nicht nur am Fräser, sondern auch an den Spindeln und den Spindelmuttern festsetzen und so regelmäßig zu unangenehmer Geräuscentwicklung führen

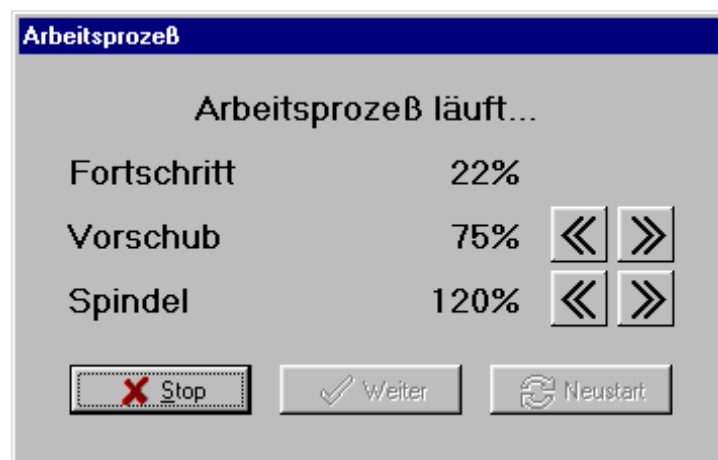


Abbildung 6-10 Arbeitsprozessfenster

Nach dem Fräsen müssen die Fräskanten und Bohrungen noch entgratet werden, hierzu empfiehlt sich bei PP der Einsatz eines Teppichmessers für die Kanten und ein Senker für die Bohrungen. Auch die Taschen, in denen die M8 Sechskantmuttern versenkt werden sollen, müssen von Hand mit einem Stecheisen etwas aufgeweitet werden.

Da es sich bei der Fräse um eine 2,5D Fräse handelt, müssen die Bohrungen, die parallel zum Frästisch liegen noch manuell gefertigt werden.

Nach diesen Arbeiten kann das Gestell zusammengeschaubt (Abbildung 6-11) werden.

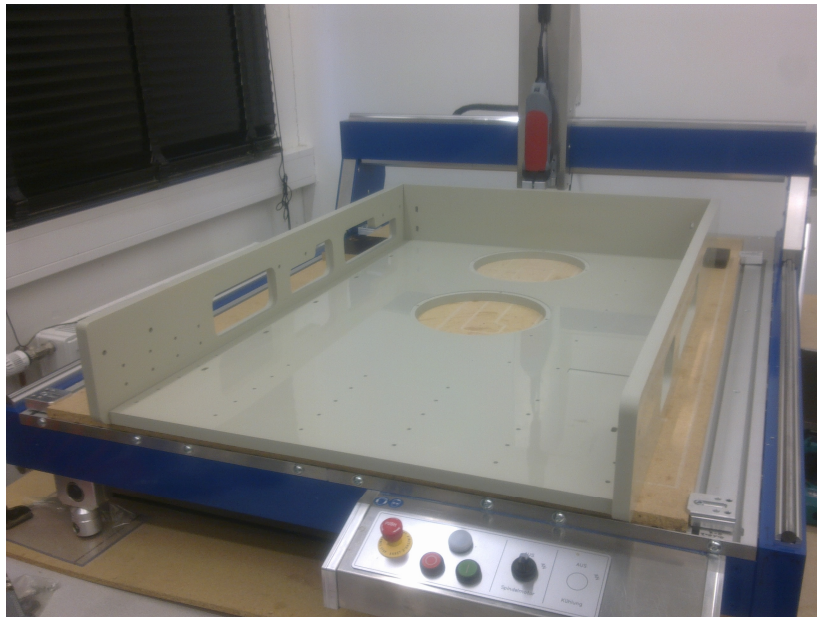


Abbildung 6-11 Gestell des Planktonprobennehmers

Als nächstes Bauteil wird nun der Scheibenantrieb (Abbildung 6-12 und Abbildung 6-13) erstellt, hierzu müssen die beiden Lochscheiben gefräst werden.

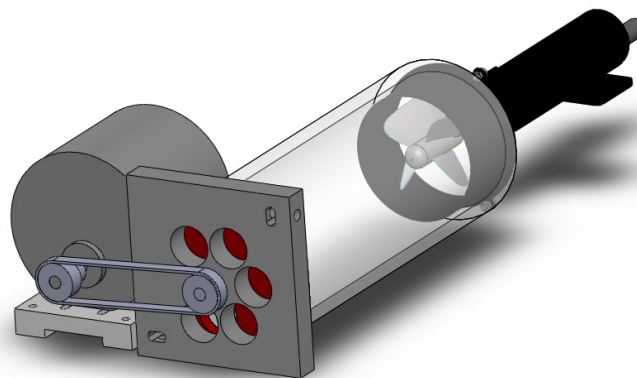


Abbildung 6-12 Scheibenantrieb Vorderansicht

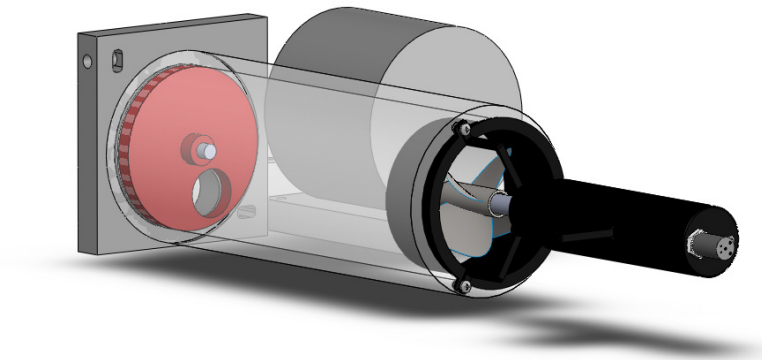


Abbildung 6-13 Scheibenantrieb Rückansicht

Die Schläuche werden mit Schlauchtüllen in die Bohrungen geklebt, um dieses zu ermöglichen werden die Lochscheiben aus PVC gefertigt. PP lässt sich aufgrund seiner wachsartigen Oberfläche nicht verkleben. Das PVC - Rohr (125x6x320) zwischen Pumpe und den Scheiben wird ebenfalls an die Scheiben geklebt.

Die Pumpe selbst wird über ein C-Profil mit passender M8 Gleitmutter an dem Gestell befestigt (Abbildung 6-14).



Abbildung 6-14 Befestigung der Pumpe mittels eines C-Profil

7 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Diplomarbeit war die Konstruktion und der Bau eines Planktonprobennehmers mit einer Pumpe und bis zu fünf voneinander unabhängig ansteuerbaren Probensammelröhren, sowie dessen Implementierung in ein ROV. Die gesamte Konstruktion sollte aus PP bestehen und nach Möglichkeit mit der institutseigenen CNC-Fräse hergestellt werden.

In einer ersten Bewertung wurde die Pumpe als das Kernstück dieser Anlage deklariert und die Lösungsfindung begann mit diesem Bauteil wie in Kapitel 4.3 beschrieben.

Nach dem die passende Pumpe in Form eines Strahlruders (engl. Thruster) gefunden war, stand der erste Entwurf der Konstruktion fest (Abbildung 4-14). Es war zu diesem Zeitpunkt noch nicht abzusehen, dass nicht die Pumpe, sondern die Ansteuerung der einzelnen Ansaugröhren die größte Herausforderung dieser Konstruktion werden sollte.

Es stellte sich heraus, dass keine dokumentierten Aufbauten existieren, die dieser Konstruktion gleichen, und somit auch keine Bauteile, welche für die Randbedingungen infrage kämen. Die Lösungsfindung (Kapitel 4.5) nahm einen Großteil der Zeit in Anspruch und auch das stark begrenzte Budget für dieses Vorhaben komplizierte die Suche, schließlich liegen die Kosten für ein durchschnittliches elektronisch gesteuertes Ventil, welches in der Industrie verwendet wird, bei ca. 1000 € und da ist noch keine Absicherung gegen den zu erwartenden Druck in 1000 m Wassertiefe eingerechnet. Fraglich bleibt hier auch, ob es überhaupt eine Möglichkeit gäbe, diese Bauteile gegen den Druck zu sichern.

Erst das Auftauchen eines Ersatzschrittmotors einer anderen Unterwasseranwendung, dem Planktonnetz MOCNESS, ermöglichte eine Lösung des Problems mit einem elektrisch angetriebenen Lochscheibenmodell, bei dem sich eine Lochscheibe über die zweite bewegt, so dass immer nur ein Ansaugtrakt geöffnet ist.

Somit fehlten nur noch die Rohrleitungen und die Absperrklappe, welche mittels der zahlreichen Bohrungen an dem Rahmen befestigt werden (Abbildung 6-11).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit ein wenig mehr Zeit und in manchen Situationen, beispielsweise bei der Pumpensuche, auch mit einem höheren Budget

eine optimalere Lösung möglich gewesen wäre, aber Stand jetzt steht die Konstruktion vor der Vollendung und es sind nur noch ein paar kleinere Aufgaben zu erledigen.

Zur Inbetriebnahme des Planktonprobennehmers fehlen noch die Adapter, um die elektrisch angetriebenen Bauteile, die Pumpe und den Schrittmotor, an das von *sub-Atlantic* genutzte Steckersystem anzuschließen.

Auch die Ansteuerung des Schrittmotors mithilfe eines I/O-Boards, eines Relais und einem Netzteil steht noch vor der Vollendung.

Wie sich der Planktonprobennehmer in der Realität verhält und ob die benötigte Saugleistung erreicht oder sogar übertroffen werden sollte, zeigt letztlich nur der Einsatz unter Realbedingungen. Für den März 2012 ist eine Seereise geplant, hier soll auch der Planktonprobennehmer zum ersten Mal zum Einsatz kommen.

Literaturverzeichnis

- [1] Wikipedia (2011) <http://de.wikipedia.org/wiki/Pulsweitenmodulation>
- [2] Wikipedia (2011) <http://de.wikipedia.org/wiki/Magnetventil>
- [3] Wikipedia (2011) <http://de.wikipedia.org/wiki/Absperrschieber>
- [4] Wikipadia (2011) <http://de.wikipedia.org/wiki/Drosselklappe>
- [5] Wikipedia (2011) <http://de.wikipedia.org/wiki/Kugelhahn>
- [6] Wikipedia (2011) <http://de.wikip8edia.org/wiki/R%C3%Bcckschlagklappe>
- [7] Roloff/Matek (2007) Maschinenelemente 18. Auflage, Viewegs Fachbücher der Technik
- [8] Roloff/Matek (2007) Maschinenelemente Tabellen 18. Auflage, Viewegs Fachbücher der Technik
- [9] CrustCrawler Inc. (2008) Hi – Flow Thruster, Product Guide and Warranty, V 2.0
- [10] Graupner GmbH & Co. KG (2011) <http://www.graupner.de/de/products/3f7642c0-d8d0-4ecc-adca-076d15f7f112/7237/product.aspx>
- [11] Kern GmbH Technische Kunststoffteile (2011) <http://www.kern.de/cgi-bin/riweta.cgi?nr=1502&lng=1>
- Hover, F & Consi, T. (2004) ROV Castor: A Multi-Mission Remotely Operated Vehicle
- Koppelman, R. & Weikert, H (1999) Temporal changes of deep-sea mesozooplankton abundance in the temperate NE Atlantic and estimates of the carbon budget, Marine Ecology Progress Series Vol. 179, S. 27 - 40
- Sub-Atlantic Ltd. (2005) Mohawk Serial No, SA-RMOH-1K-11 Operation & Maintenance Manual
- Universität Hamburg, IHF (2009) ROV Mohawk Brochure

- Val Klump, J., Paddock, A Multiple-Loop, ROV Controlled, In-Situ Water Sampler, J. R. & Lovalvo, D (1992) Great Lakes Res. 18 (2), S. 309 - 315
- Lalli, C. M. & Parsons, T. Biological Oceanography: An Introduction, Butterworth-Heinemann Ltd. (1993)
- Fischer, U. Kilgus, R. et al. (1999) Tabellenbuch Metall, Verlag Europa-Lehrmittel
- [12] Baustoffoutlet (2011) http://shop.strato.de/epages/61186960.sf_AT/?ObjectPath=/Shops/61186960/Products/rsk.050
- [13] Gebo Armaturen GmbH (2012) http://www.gebo.de/pdf/plast/pe_klemmverbinder_innen.pdf
- [14] Lotze Wassertechnik <http://www.lotze-wassertechnik.de/html/de/schlaucharmaturen/schlauchtuellen/schlauchtueller-pp-1-zoll-aussengewinde-x-32-mm/article--1032482-schlaucht%25FClle-all-830090813190814290.html>
- Coughlan, J., Flemming, J. M. (1978) A Versatile Pump – Sampler for Live Zooplankton, Estuaries Vol. 1 No. 2, S. 132 - 135