

# FS 32-143

## MARITIME FORSCHUNGSSTATION UND PLASTIKMÜLL-FILTRATION

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.

<http://www.ub.tuwien.ac.at>



The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology.

<http://www.ub.tuwien.ac.at/eng>





## DIPLOMARBEIT

# FS 32-143

MARITIME FORSCHUNGSSTATION UND PLASTIKMÜLL-FILTRATION

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer Diplom-Ingenieurin  
unter der Leitung von

**Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Anton Kottbauer**

E253-3

Abteilung für Raumgestaltung und nachhaltiges Entwerfen

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

**Anna-Sophie Hörschläger**

1053689

Wien, am 5.4.2018

## ABSTRACT

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, einen architektonischen Entwurf zu entwickeln, der die Erfordernisse einer ozeanischen Forschungsstation mit einer gezielten Strategie zur Beseitigung des von uns Menschen in die Meere eingetragenen Mülls vereint. Der aktuelle, globale Stand der Forschung im Bereich der marinen Müllbeseitigung stellt noch keine tatsächlich durchführbaren und finanziell ausreichend förderbaren Projekte dar, jedoch gibt es einige innovative Lösungsansätze. Auf den Erkenntnissen dieser will ich aufbauen und mir die positive, wie auch negative Kritik an den aktuell bestehenden Vorschlägen zu Nutze machen, um ein Projekt zu entwickeln, das der erfolgreichen Beseitigung des marinen Müllproblems ein Stück näher kommt. Ein wichtiger Teil meiner Arbeit wird demnach das analysieren bereits bestehender Lösungsansätze sein, sowie der Erkenntnisgewinn durch das verständlich machen der physikalischen, chemischen, biologischen und dynamischen Prozessen in den Meeren.

Den architektonischen Lösungsvorschlag zur marinen Müllbeseitigung will ich aus zwei speziellen Gründen mit den Anforderungen einer Forschungsstation kombinieren: zum einen ist ein Forschungsteam, das die Auswirkungen des Mikroplastiks auf die marinen Organismen untersucht, folg-

lich interessiert an der Beseitigung des problematischen Mülls in den Ozeanen und wählt zudem ihre Forschungsstandpunkte analog zu jenen der Filtration an stark verschmutzten Bereichen der globalen Meere. Was allerdings aus wirtschaftlicher Sicht noch weit schwerwiegender hinzukommt ist der finanziell lukrative Aspekt einer Kombination dieser zwei Einrichtungen. Der Betrieb einer Forschungsstation auf einem herkömmlichen Forschungsschiff erfordert täglich einen fünfstelligen Betrag. Diese immensen Kosten, sowie die ebenfalls sehr hohen Anschaffungskosten einer marinen Müllbeseitigungsstation und die einer schwimmenden Forschungsstation könnte man in einen sinnvollen ökonomischen Zusammenhang stellen.

Der architektonische Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung einer möglichst leichten und elementaren Konstruktion, die einen raschen Aufbau auf hoher See garantiert, um eventuelle Verzögerungen durch starken Seegang zu umgehen und die Entstehungskosten dadurch so gering wie möglich zu halten. Ein modulares Konstruktionsprinzip wurde gewählt, das den Ansprüchen eines Bauvorhabens dieser Weise gerecht wird.

Der Widerstand unter Wasser ist äußerst relevant in Bezug auf einen Schwimmkörper, der sich dynamisch im beziehungsweise auf dem Wasser fortbewegen soll. Dem Auftrieb wird durch Ballasttanks und dem Gewicht des

Filtrationskörpers entgegengewirkt, wobei der Grad der Flutung der Ballasttanks eine Variabilität des Tiefgangs ermöglicht. Zwei unterschiedliche Grade der Flutung gewährleisten sowohl im stationären als auch im mobilen Zustand der Plastik-filtrierenden Forschungsstation den jeweils optimalen Tiefgang in Bezug auf den Wasserwiderstand und die erforderliche Stabilität bei hohem Seegang. Das Antriebssystem fungiert neben seiner konventionellen Funktion zur Fortbewegung auch dazu, den Komplex in stationärem Betrieb in Position zu halten und entgegen der Strömungsrichtung zu positionieren, um den größtmöglichen Plastikmüllertrag zu erzielen.

Der Einsatz von korrosionsbeständigen Materialien wird bei allen architektonischen Elementen eine entscheidende Rolle spielen. Verzinkte Metalle mit einem möglichst geringen Materialverbrauch sind entscheidend, um auch den Gebrauch von Ultraschall gewährleisten zu können. Damit wird die Entstehung von Biofilmen auf den Oberflächen unterhalb der Wasserlinie unterbunden, sowie die marine Fauna davon abgehalten, in die Kammern der Filtrationselemente zu schwimmen.

Der schwimmende Komplex aus Forschungsstation und Filteranlage soll zudem mit Energie versorgt werden, die durch eine spezielle Vergasungsmethode des gesammelten Mülls gewonnen wird, da dieser ohnehin aufgrund der durch Salzwasser zerstörten Molekularstruktur nicht mehr sinnvoll recycelt werden kann und die Deponierung an Land einen großen Kosten- und Logistikaufwand erfordern würde.

Zusätzliche ressourcenschonende Energiegewinnungsmethoden unterstützen den Energiehaushalt der Forschungsstation.

Eine intensive Auseinandersetzung mit den Klimabedingungen auf hoher See, den speziellen Erfordernissen einer Forschungseinrichtung und den verschiedenen Möglichkeiten der Energiegewinnung, der Müllsammlung, der Trinkwasser- und Nahrungsgewinnung, sowie gestalterischen und konstruktiven Elementen der Architektur auf und unter Wasser sind zudem erforderlich, um einen reibungslosen Betrieb eines solchen Komplexes zu garantieren.

# ABSTRACT

IN ENGLISH

The aim of this work is to develop an architectural design that combines the requirements of an ocean research station with a targeted strategy for the disposal of the garbage which we have entered into the sea. The current state-of-the-art research on marine waste management is not yet a viable and financially fundable project, but there are some innovative solutions. On the findings of these solutions I will build up and make use of the positive as well as negative criticism of the current proposals in order to develop a project closer to the successful removal of the marine waste problem. An important part of my work will therefore be the analysis of already existing approaches to solving the problem, as well as the gain in knowledge by the understanding of the physical, chemical, biological and dynamic processes in the seas.

I would like to combine the architectural solution for marine waste disposal with the requirements of a research station for two special reasons: on the one hand a research team investigating the effects of microplasticity on marine organisms is therefore interested in the removal of the problematic garbage in the oceans and also their chosen research positions are similar to those of the filtration in heavily polluted areas of the global seas. However, from an economic point of view, the financially lucrative aspect

of a combination of these two institutions is far more serious. The operation of a research station on a conventional research vessel requires a five-digit amount per day. These immense costs, as well as the very high acquisition cost of a marine waste disposal station and a floating research station, could be placed in a sensible economic context.

The architectural emphasis is on the development of a lightweight and elementary construction that guarantees a rapid construction on the high seas to avoid any delays caused by strong swell and thus to minimize the cost of construction. A modular design principle was chosen, which meets the requirements of a construction project this way.

The resistance under water is extremely relevant with respect to a float which is to move dynamically in or on the water. The buoyancy is counteracted by ballast tanks and the weight of the filtration body, whereby the degree of flooding of the ballast tanks allows a variability of the draft. Two different degrees of flooding, both in the stationary and in the mobile state of the plastic-filtering research station, ensure the optimum draft in terms of water resistance and the required stability during high seas. In addition to its conventional locomotion function, the propulsion system also functions to hold the complex in place in stationary operation and to position it against the direction of flow to maximize the yield of plastic waste.

The use of corrosion-resistant materials will play a crucial role in all architectural elements. Galvanized metals with the lowest possible material consumption are crucial in order to ensure the use of ultrasound. This prevents the formation of biofilms on the surfaces below the waterline and keeps the marine fauna from floating in the chambers of the filtration elements.

The floating complex of the research station and filter system is also to be supplied with energy, which is obtained by a special gasification method of the collected garbage, since this can no longer be reasonably recycled due to the molecular structure destroyed by salt water and the dumping on land would require a large cost and waste logistics.

Additional resource-saving energy generation methods support the energy budget of the research station.

An intensive examination of the climatic conditions on the high seas, the special requirements of a research facility and the various possibilities of energy production, the collection of garbage, the drinking water and food production, as well as design and construction elements of the architecture on and under water are necessary to ensure an unobstructed operation of such a complex.







## DANKE

an alle unersetzbaren Hilfesteller und mentalen Stützen, die mit offenen Ohren, konstruktiver Kritik, hilfreichen Anregungen, kontinuierlichen Motivationsschüben, interessanten Debatten und emotionalem Rückhalt maßgeblich dazu beigetragen haben, dass diese Diplomarbeit in jener Form vorliegt und sich die letzten eineinhalb Jahre zu einer äußerst lehrreichen und gewinnbringenden Phase meines Lebens gestaltet haben.

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| AUFBAU DER ARBEIT                                                    | 16  |
| PROLOG                                                               | 18  |
| 1 OZEANBEOBACHTUNG                                                   | 20  |
| DIE KOMPONENTEN DER MEERE                                            | 20  |
| DIE MEERE ALS SAUERSTOFFLIEFERANT                                    | 24  |
| DIE STRÖMUNG DER MEERE                                               | 28  |
| DIE MEERE ALS WÄRMESPEICHER                                          | 36  |
| 2 PLASTIK IN DEN MEEREN                                              | 44  |
| WIE VIEL PLASTIKMÜLL BEFINDET SICH IN DEN MEEREN UND WOHER KOMMT ER? | 44  |
| WO SAMMELT SICH DER PLASTIKMÜLL?                                     | 50  |
| DER ZERSETZUNGSPROZESS DES PLASTIKMÜLLS                              | 54  |
| DAS ÖKOSYSTEM KIPPT - AUSWIRKUNGEN AUF MENSCH, TIER UND UMWELT       | 56  |
| WARUM ES WICHTIG IST GEGENZUSTEUERN                                  | 70  |
| 3 BEDINGUNGEN AUF HOHER SEE                                          | 78  |
| 4 PROJEKTE ZUR MARINEN MÜLLBEKÄMPFUNG                                | 82  |
| FISHING FOR LITTER                                                   | 83  |
| THE OCEAN CLEANUP                                                    | 85  |
| PACIFIC GARBAGE SCREENING                                            | 90  |
| MÜLLSAMMEL-KATAMARAN                                                 | 92  |
| PROJECT KAISEI                                                       | 95  |
| PLASTIC REPUBLIC                                                     | 97  |
| MÜLLBESEITIGUNGS-DROHNE                                              | 99  |
| CLIMATE ENGINEERING                                                  | 101 |
| BIOKUNSTSTOFF                                                        | 103 |
| WEITERE ÜBERLEGUNGEN ZU MARINEN FILTERMETHODEN                       | 105 |

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| WAS BEDEUTET DIESE ANALYSE FÜR DIE<br>PLASTIK FILTRIERENDE FORSCHUNGSSTATION? | 106 |
| LISTUNG ALLER NEGATIVEN ASPEKTE UND POSITIVEN ASPEKTE                         | 110 |
| GEWÄHLTES SYSTEM DER FORSCHUNGSSTATION                                        | 112 |
| <br>                                                                          |     |
| FORSCHUNGSSCHIFF                                                              | 116 |
| WIE UND WOZU WIRD AUF HOHER SEE GEFORSCHT?                                    | 116 |
| ECKDATEN VERSCHIEDENER FORSCHUNGSSCHIFFE                                      | 119 |
| ANSICHTEN UND GRUNDRISSSE DER POSEIDON                                        | 122 |
| AUSRÜSTUNG EINES FORSCHUNGSSCHIFFES                                           | 123 |
| LABOR AUSSTATTUNG                                                             | 129 |
| <br>                                                                          |     |
| FORMFINDUNG DES BAUKÖRPERS                                                    | 140 |
| BAUPRINZIP VON KATAMARAN UND SWATH                                            | 140 |
| MATERIALITÄT                                                                  | 145 |
| LEBENSDAUER                                                                   | 147 |
| VOR- UND NACHTEILE VON SWATH-SCHIFFEN                                         | 148 |
| SONDERFORM DES SWATH-SCHIFFES VEREINT DIE VORTEILE BEIDER BAUTYPEN            | 151 |
| <br>                                                                          |     |
| AUFBAU DER PLASTIK FILTRIERENDEN FORSCHUNGSSTATION                            | 152 |
| BAUWEISE                                                                      | 152 |
| ANTRIEB                                                                       | 157 |
| MATERIALITÄT                                                                  | 161 |
| GEWÄHLTES MATERIAL                                                            | 173 |
| <br>                                                                          |     |
| MÖGLICHKEITEN ZUR VERMEIDUNG VON TIEREN<br>IM BEREICH DER FILTRATION          | 174 |
| <br>                                                                          |     |
| METHODEN ZUR GRÜNDUNG BZW. VERANKERUNG                                        | 176 |
| OFFSHORE-WINDPARK                                                             | 177 |
| BOHRPLATTFORM                                                                 | 183 |
| WAS HEISST DAS FÜR DIE POSITIONSHALTUNG DER FORSCHUNGSSTATION?                | 186 |

|    |                                                        |     |
|----|--------------------------------------------------------|-----|
| 11 | WASSERDRUCK                                            | 188 |
| 12 | AUFTRIEB                                               | 190 |
| 13 | ENERGIEGEWINNUNGSFORMEN                                | 194 |
|    | MEERESENERGIE                                          | 194 |
|    | WINDENERGIE                                            | 207 |
|    | BIOMASSE                                               | 208 |
|    | SONNENENERGIE                                          | 209 |
|    | ENERGIE AUS PLASTIKMÜLL                                | 213 |
|    | GEWÄHLTES ENERGIEGEWINNUNGSSYSTEM                      | 218 |
|    | ENERGIEERTRAG AUS PLASTIKMÜLL                          | 219 |
|    | ZUSÄTZLICHER ENERGIEERTRAG AUS ALGENKULTUR             | 225 |
| 14 | NAHRUNGSGEWINNUNG                                      | 230 |
| 15 | TRINKWASSERGEWINNUNG                                   | 234 |
| 16 | ENTWURFSKONZEPT                                        | 240 |
|    | FUNKTIONS UND FLÄCHENBEDARF                            | 240 |
|    | RAUMKONZEPT                                            | 244 |
|    | RAUMPROGRAMM                                           | 246 |
|    | FORMFINDUNG DES BAUKÖRPERS                             | 248 |
|    | RÄUMLICHE ORIENTIERUNG                                 | 250 |
|    | KONSTRUKTIONSPRINZIP                                   | 252 |
|    | SCHRÄGLAGE VERHINDERN                                  | 270 |
|    | KLAPPUNG DER FILTRATIONSELEMENTE                       | 272 |
|    | TANK- ENTLEERUNG / BEFÜLLUNG                           | 274 |
|    | ULTRASCHALL ZUR VERMEIDUNG VON TIEREN UND ALGENBILDUNG | 276 |
|    | KONSTRUKTIONS-ABLAUF                                   | 278 |
|    | BETRIEBSABLAUF                                         | 280 |
|    | ORGANISATION IM GRUNDRIS                               | 281 |
|    | ANZAHL UND AUFTEILUNG DER WOHN-MODULE                  | 282 |

|                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| VERBINDUNG DER FLEXIBLEN MODULE AN DEN STARREN ZENTRALBEREICH                                              | 283 |
| WÄRMEDÄMM-EBENE                                                                                            | 284 |
| MODULERWEITERUNG                                                                                           | 286 |
| SCHALTBARE WOHNHEINHEITEN                                                                                  | 288 |
| ELEMENTE EINER WOHNHEIT                                                                                    | 290 |
| VERBINDUNGS-PRINZIP DER KONSTRUKTIONSELEMENTE                                                              | 292 |
| HAUSTECHNIK UND ELEKTRIK                                                                                   | 294 |
| ABLEITUNG VON REGEN- UND MEERWASSER                                                                        | 296 |
|                                                                                                            | 302 |
|  PLANGRAFIKEN UND DETAILS | 305 |
|  SCHAUBILDER              | 349 |
| EPILOG                                                                                                     | 358 |
| LITERATURVERZEICHNIS                                                                                       | 360 |
| BILDNACHWEIS                                                                                               | 372 |

## AUFBAU DER ARBEIT

Um den Aufbau und die Funktionsweise der Plastik-filtrierenden Forschungsstation sowie dessen Sinnhaftigkeit in seiner Gänze zu verstehen, ist es notwendig, zu allererst die komplexen Vorgänge in den Weltmeeren näher zu betrachten. In Folge wird erläutert, wie Müll in die Meere eingetragen wird, wo er sich sammelt und welche verheerenden Folgen dieser für das marine

Leben und schließlich auch für uns Menschen bedeutet.

Um den Bau so gut es geht an die gegebenen Bedingungen anzupassen, werden an-

schließend entscheidende klimatische Faktoren dargestellt.

Des Weiteren ist es unumgänglich, sich mit Projekten auseinanderzusetzen, die sich bereits der Bekämpfung des ozeanischen Müllproblems widmen. Auf den Erkenntnissen durch eventuelle Fehlschläge, aber auch auf positive Erfahrungen mit Maßnahmen zur Müllbekämpfung wird das Konzept der Plastik-filtrierenden Forschungsstation aufgebaut.

Neben den verschiedenen Möglichkeiten der Filtrierung von im Ozean treibendem Plastikmüll wird der Aufbau, die Ausstattung und die nötige Besatzung eines Forschungsschiffes analysiert. Das Bauprinzip eines solchen Schiffes ist dabei von besonderer Bedeutung für die Formfindung und den konstruktiven Aufbau der schwimmenden Forschungsstation.

Physikalische, biologische und chemische Prozesse machen die Meere zu den Rettern unseres Klimas und zur Heimat einer unglaublichen organischen Artenvielfalt.



Darüber hinaus ist es unumgänglich sich mit zahlreichen Faktoren zu beschäftigen, die den Entwurf entscheidend prägen: Die Möglichkeiten der Vermeidung von marinen Tieren im Bereich der Filtration, sowie die des Biofilms an Oberflächen unterhalb der Wasserlinie, die zur Wahl stehenden Baumaterialien, Antriebsmöglichkeiten, die Konstruktion beeinflussenden Berechnungen zu Wasserdruck und Auftrieb, die Funktionsweise von Wellenbrechern, mögliche Energiegewinnungsformen, das Funktionsprinzip der Plasmavergasung, die Techniken zur Trinkwasseraufbereitung und Nahrungsgewinnung auf hoher See, verschiedenste Elemente zum Sonnenschutz, sowie die Klimatisierung und Lüftung von Baukörpern am offenen Meer sind maßgebend für ein evidentes und überzeugendes Konzept. Die Darstellungen des darauf aufbauenden Entwurfs vervollständigen schließlich den Umfang dieser Arbeit.

## PROLOG

Wir alle haben das Glück auf einem Planeten zu leben, den nicht dasselbe Schicksal ereilte wie unsere Nachbarplaneten. Im Gegensatz zur extrem heißen Venus oder dem eiskalten Mars leben wir unter klimatisch beinahe hervorragenden Bedingungen für unsere menschliche Existenz. Auch Fauna und Flora haben sich perfekt an die gegebenen Bedingungen angepasst, doch der Mensch alleine scheint dabei zu sein, dieses gesamte funktionierende System zum Kippen zu bringen. Schon um die Mitte des 20. Jahrhunderts erkannten einige Naturwissenschaftler, dass der Mensch, vor allem durch seine unbändige Gier und sein Konsumverhalten, der Verursacher der globalen Klimaerwärmung sein könnte.<sup>1</sup> In den 1970er Jahren bestätigten wissenschaftliche Erkenntnisse schließlich, dass der Mensch durch sein Handeln die physikalischen und biologischen Funktionen des Planeten folgenreich verändert. Damit wurde das anthropozäne Zeitalter eingeläutet.<sup>2</sup> Darunter versteht man die geologische Periode, die um 1750 mit der industriellen Revolution begann, als der Mensch erstmals in die biologischen, geologischen und atmosphärischen Prozesse der Erde eingriff.<sup>3</sup> Auf umfassende wirtschaftliche und politische Maßnahmen zur Regulierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes wartet man aber bis heute, beinahe 50 Jahre nach dieser Erkenntnis, noch immer vergeblich, obwohl man heute weiß, dass die Wissenschaftler damaliger Zeit die Bedrohung sogar unterschätzten. Um 2010 war

---

<sup>1</sup>Vgl. Oreskes, Conway (2015): Vom Ende der Welt - Chronik eines angekündigten Untergangs, S. 13.

<sup>2</sup>Vgl. Doel (2003): Constituting the Postwar Earth Sciences, S. 535 ff.

<sup>3</sup>Vgl. Wikipedia: Anthropozän

bereits klar, dass die negativen Entwicklungen unseres Klimas frühere Schätzwerte sogar noch übertroffen haben. Die Erderwärmung, der Anstieg aller Meeresspiegel und das Abschmelzen des arktischen Eises sind nur einige wenige der gravierenden, globalen Auswirkungen, die der Mensch noch stärker zu verantworten hat, als die Wissenschaft je vorhergesagt hätte.<sup>4</sup> Wenn die Atmosphäre und besonders die Meere weiter als Senken - Orte der Erde, an denen Abfall angehäuft wird<sup>1</sup> - betrachtet werden und weiterhin der Glaube besteht, unser Planet könne bis in alle Ewigkeit die vom Menschen produzierten Abfälle und Emissionen aufnehmen, dann stehen uns, wenn man der Wissenschaft glauben möchte, mit ziemlicher Sicherheit globale Naturkatastrophen von gewaltigem Ausmaß bevor. Um den Zusammenhang zwischen den Ursachen (Verschmutzung von Atmosphäre und Meeren) und den zahlreichen Auswirkungen (Meeresspiegelanstieg, Artensterben, Abschmelzen des arktischen Eises, ...) auch tatsächlich begreifen zu können, ist es nötig, die physikalischen, chemischen und biologischen Vorgänge in den Ozeanen zu verstehen. Darüber hinaus müssen wir vor allem wissen, wie sich die Verschmutzung der Ozeane auf deren Rolle als Klimaregulator auswirkt.<sup>5</sup> In den folgenden Kapiteln werde ich versuchen, diese einzelnen Faktoren und ihre Zusammenhänge zu veranschaulichen, um verständlich zu machen, warum die Bekämpfung des Plastikmülls in den Meeren von äußerster Relevanz ist.

---

Vgl. Elektronisches Archiv von Voraussagungen und Daten ab 2012 (2016)<sup>4</sup>

Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 198 f.<sup>5</sup>

## OZEANBEOBACHTUNG

### DIE KOMPONENTEN DER MEERE

# 1

Die Eigenschaften des Meerwassers sind weder konstant noch sind sie in den verschiedenen Ozeanen gleich. Dasselbe gilt für das Leben in den Meeren. Diese Tatsache macht es umso schwerer, die Weltmeere bis ins Detail zu erforschen und zu verstehen. Punktuelle und sporadische Messungen reichen nicht aus, um den physikalischen, chemischen und biologischen Zustand der Ozeane zu dokumentieren. Man geht davon aus, dass in der Tiefsee mehr Tierarten leben, als auf dem gesamten restlichen Planeten. Das würde bedeuten, dass über 80 Prozent aller Tierarten noch nicht einmal entdeckt wurden. „Es gibt für uns in Zukunft noch mehr zu entdecken als alles, was seit Anbeginn der Welt bereits entdeckt wurde.“<sup>1</sup> - Davon ist der französische Architekt Jacques Rougerie, der vor allem durch seine innovative Unterwasserarchitektur bekannt wurde, überzeugt. Er geht zudem davon aus, dass diese unbekannten Welten noch zahlreiche Ressourcen für uns Menschen bereithalten. Die Forschung scheint diese Annahme zu bestätigen. Durch speziell entwickelte Programme ist es Wissenschaftlern möglich Daten zu gewinnen, die über die Zusammensetzung der Meere und das Leben darin informieren. Argo ist ein solches internationales Programm zur Erforschung der Ozeane. Viele einzelne Driftbojen (Anfang 2014 waren es 3560 Bojen) liefern Messungen aus den oberen zwei Ki-

---

<sup>1</sup> Rougerie, Jacques von Gaymard, Philotée zitiert (2015)

lometern der Ozeane praktisch in Echtzeit. Unterhalb von 2000 Metern unter dem Meeresspiegel spielen sich zwar ebenfalls wichtige chemische und biologische Prozesse ab, die unser Klima beeinflussen oder auf anderem Weg unser Leben beeinflussen, dennoch ist es ein bedeutender Schritt im Bereich der Forschung. Die Bojen liefern zum Beispiel Messungen des Chlorophyllgehalts in den oberen Schichten des Ozeans, der Informationen über die biologische Produktivität in der lichtdurchfluteten Zone übermittelt. Auch der gemessene Salzgehalt des Meereswassers spielt eine wichtige Rolle bei chemischen und biologischen Prozessen. Der Durchschnittswert liegt bei 34,7 Promille. Das hört sich jetzt womöglich nicht nach besonders viel an, ein Beispiel soll Ihnen aber eine Vorstellung davon geben, wie unglaublich viel Salz sich in den Ozeanen befindet: wäre es möglich, die Salze aus dem Meereswasser auf den Kontinenten unseres Planeten abzulagern, wäre die gesamte Landoberfläche mit einer etwa 166 Meter dicken Salzschrift bedeckt.

Mit einer Fläche von fast 362 Millionen Quadratkilometern bedecken die Ozeane 71 Prozent unserer Erdoberfläche. Es liegt also auf der Hand, dass wir mit gravierenden Auswirkungen rechnen müssen, wenn die Menschheit, die nur auf rund einem Drittel der Erdoberfläche lebt, die anderen zwei Drittel des Planeten als Mülldeponie missbraucht.

Die Ozeane bestehen grundsätzlich aus unterschiedlichen Komponenten, die untereinander in wechselseitiger Beziehung stehen: die Wassersäule, die Meeressedi-

mente, das auf dem Meer schwimmende Eis, sowie die Meeresflora und -fauna. Die Prozesse innerhalb dieser Komponenten und diejenigen, die zwischen ihnen ablaufen, übersteigen bei weitem unsere Vorstellungskraft. Knapp 97 Prozent des gesamten Wassers des Planeten befindet sich als Salzwasser in den Ozeanen, die im Schnitt 3700 Meter tief sind und ein Volumen von knapp 1,3 Milliarden Kubikkilometern aufweisen. Um sich das etwas besser vorstellen zu können: die Nordsee würde mit ihrer Fläche von 575 000 Quadratkilometern und ihrer maximalen Tiefe von 94 Metern im Vergleich zu diesen Unmengen an Wasser wie eine kleine Pfütze wirken.

**Über 90 Prozent des Lebensraums der Erde liegen in den Ozeanen.** Was zunächst etwas unglaublich scheint, wird aber vorstellbar, wenn man bedenkt, dass das gesamte Volumen des Lebensraums in den Ozeanen bis zu 11.034 Meter tief reicht (an der Stelle des Marianengrabs im Pazifik, der zugleich die tiefste Stelle der Erde ist), während sich über dem Meeresspiegel gerade einmal eine Höhe von rund 100 Meter als Lebensraum für den überwiegenden Teil der Pflanzen, Tiere und uns Menschen anbietet. Die Ozeane sind bis zum Meeresgrund voll mit Leben und damit die eigentliche Heimat des Lebens auf unserem Planeten. Auch wenn die heutige Technik noch nicht ausreicht, um die gesamten Vorgänge in den Meeren bis ins

Detail zu erforschen, ist man sich dieser Tatsache bewusst. Da Wasser im Vergleich zur Luft ziemlich schwer ist, besitzt es eine relativ große Dichte. Der Druck nimmt daher in der Tiefe des Ozeans schnell zu, weswegen wir Menschen uns nur mit Tauchbooten in die großen Tiefen wagen. Viele Meereslebewesen scheinen von diesem hohen Druck aber weniger beeindruckt zu sein. Trotz zusätzlicher Erschwernisse durch die Eiskälte (nur noch wenige Grad Celsius) ist der Meeresboden der Ort mit der höchsten Artenvielfalt auf der Erde. Was umso beeindruckender erscheint, wenn man bedenkt, dass davon noch nicht einmal ein Prozent biologisch erforscht ist. Der Census of Marine Life bestätigt die Vermutung vieler Wissenschaftler, dass, rein am Gewicht gemessen, bis zu 90 Prozent des Lebens in den Meeren mikrobiell ist, also aus primitivem Leben besteht. Um sich diese Annahme besser vorstellen zu können: auf jede auf der Erde lebende Person würde in etwa das Gewicht von 35 Elefanten kommen.<sup>2</sup>

Die Tiefsee ist eines der letzten Refugien für das Leben auf der Erde. Dort konnte sich das Leben bisher weitgehend ohne menschliche Einflüsse entwickeln. Einen solchen Naturschatz dürfen wir nicht durch unser profit- und konsumorientiertes Verhalten zu Grunde richten.

Obwohl es nun allmählich auf der Hand liegt, möchte ich dennoch abermals betonen, dass es uns nicht zusteht, die Ozeane dieses Planeten als Müllkippe zu missbrauchen, oder zu glauben, dass ein wirtschaftlicher Profit die Förderung fossiler Rohstoffe rechtfertigen könne.

---

Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 27 - 111 <sup>2</sup>

## DIE MEERE ALS SAUERSTOFFLIEFERANT

In chemischer Hinsicht wäre uns ohne intakte Ozeane buchstäblich die Luft zum Atmen genommen. Das Leben in den Meeren trägt dazu bei, dass der Gehalt des Sauerstoffs ( $O_2$ ) in der Luft konstant bleibt. Mit 78 Prozent steuert Stickstoff (N) zwar den größten Teil der Zusammensetzung der Luft bei, der Sauerstoff-Anteil von 21 Prozent ist für die meisten Lebewesen der Erde, uns Menschen miteingenommen, aber der entscheidende. Dass dabei die Meere mit einem Anteil von etwa 50 Prozent der Hauptlieferant für den Sauerstoff in unserer Atmosphäre sind, ist nur äußerst wenigen bewusst. Das Plankton - winzig kleine im Wasser treibende Lebewesen - ist die Grundlage allen Lebens im Meer. Es dient größeren Lebewesen wie Fischen, Robben, Walen und vielen anderen Tieren als Nahrung. Zudem stellen die als Primärproduzenten bezeichneten Kleinstlebewesen Sekunde für Sekunde die Hälfte des Sauerstoffs her, den wir zum Überleben benötigen. Der Großteil des Planktons ist pflanzlicher Natur (Phytoplankton) und produziert somit durch die Photosynthese Sauerstoff. Streng biologisch gesehen gehört Phytoplankton aber nicht ausschließlich zur Welt der Pflanzen: Zum Beispiel zählen auch zur Photosynthese fähige Bakterien zu dieser Gattung. Mithilfe des Sonnenlichts spalten diese Lebewesen die in den Meeren enthaltenen Mineralsalze und das Kohlendioxid auf. Gemeinsam mit einigen organischen Stoffen, die anderen



Meeresbewohnern als Nahrung und zum Atmen dienen, ist der resultierende Sauerstoff dabei für sie nichts weiter als eine Art Abfallprodukt. Phytoplankton ist daher ein Lebensspender für die Fauna sowohl der Ozeane als auch der Fauna am Land und nicht zuletzt für uns Menschen. Pro Jahr produziert dieses Plankton außerdem nicht nur rund die Hälfte des von uns Menschen und Tieren an Land benötigten Sauerstoffes, sondern binden zudem auch noch etwa genauso viel Kohlenstoff, wie sämtliche Landpflanzen zusammen, obwohl die lebende Biomasse der Ozeane nur etwa ein Zweihundertstel der in den Landpflanzen enthaltenen Biomasse beträgt.<sup>1</sup> Dass es somit besorgniserregend ist, dass das Phytoplankton seit 1950 global zurückgegangen ist, sei nicht extra erwähnt. Kanadische Wissenschaftler errechneten einen Rückgang um erschreckende 40 Prozent während der letzten Jahrzehnte.<sup>2</sup> Auch hier gilt der anthropogene Klimawandel als Verursacher und somit liegt die Schuld wieder bei uns Menschen. Das durch die Klimaerwärmung erwärmte Wasser der oberen, lichtdurchfluteten Schicht der Meere, in denen das Plankton lebt, erschwert die vertikale Durchmischung der Wassermassen und bietet somit keine regelmäßige Nährstoffanreicherung. Im nächsten Kapitel werde ich auf das Prinzip und vor allem den extremen Wert der dynamischen Prozesse in den Ozeanen noch genauer eingehen.

---

Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 288 ff. <sup>1</sup>

Vgl. Boyce, Daniel G. u.a. (2010): Global phytoplankton decline over the past century, S. 591 ff. <sup>2</sup>

Ohne den Sauerstoff aus den Meeren hätten wir ein weiteres gravierendes Problem: die Ozonschicht wäre dünner und somit die Schutzfunktion des natürlichen Schildes, der als Filter der UV-Strahlung fungiert, nicht mehr ausreichend gewährleistet. Das Ozon, das sich in einer Höhe von 15 bis 30 Kilometern (Stratosphäre) befindet, wird pausenlos zerstört und neu gebildet. Die Neubildung gelingt aber nur mit Hilfe eines ausreichenden Angebots an Sauerstoff, der ohne die Produktion in den Meeren aber nicht mehr im nötigen Maß vorhanden wäre. Die intensiver werdende UV-Strahlung würde zusehends unser Leben auf dem Land gefährden. Diese aggressive Strahlung schädigt Zellen von Organismen und kann, wie wir wissen, bei Menschen sogar Krebs verursachen. Die Ozeane hingegen haben die Fähigkeit schon in geringen Tiefen die UV-Strahlung zu absorbieren.<sup>3</sup> Ein Glück, dass diese positive Eigenschaft der Meere eine der wenigen ist, die ihnen nicht durch den Menschen genommen werden kann.

---

<sup>3</sup>Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 288 ff.



## DIE STRÖMUNG DER MEERE

Die Bewegungen in den Meeren, auf die ich in diesem Kapitel näher eingehen möchte, sind für das Leben auf unserem Planeten, vor allem aber für das in den Meeren, von extremer Bedeutung. In allen Schichten, von der Oberfläche bis zur Tiefsee, und sowohl vertikal als auch horizontal sind die Wassermassen in ständiger Bewegung und sichern so lebenswichtige Nahrungsquellen und Stoffaustausch für die Meeresfauna.<sup>1</sup> Diese Strömungen resultieren entweder aus dem Zusammentreffen warmer Winde aus den Tropen und kalter Winde aus den Polargebieten, oder durch den Wechsel tropischer, gemäßigter und polarer Klimazonen, der zu unterschiedlichen Wassertemperaturen führt und somit zur Umwälzbewegung des Meereswassers.<sup>2</sup> Als Umwälzbewegung bezeichnet man den Austausch des Oberflächenwassers und des Wassers aus der Tiefe. Das Oberflächenwasser kühlt ab, wird dadurch schwerer als das Wasser in der Tiefe und sinkt ab. Das Tiefenwasser wird als Folge dieses Prozesses verdrängt und steigt wieder in höheren Schichten auf.<sup>3</sup> Durch diesen konstanten Kreislauf ist die Lebensgrundlage der Meeresfauna gewährleistet. Dass die durch den menschlichen Einfluss zusehends dünner werdende Ozonschicht für die Umwälzbewegung in den Meeren gravierende Folgen hat, ist spätestens jetzt gut vorstellbar. Das Klima würde die oberen Schichten des Meeres warm halten, somit das Absinken

---

<sup>1</sup>Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 50 ff.

<sup>2</sup>Vgl. Video: Arte: Waste-Continents in the Oceans – Müllkontinente aus Plastik

<sup>3</sup>Vgl. Bildungsserver Wiki

dieser Wassermassen und die daraus folgende Umwälzbewegung verhindern, und so wiederum die Lebensgrundlage einer unglaublichen Artenvielfalt gefährden. Wie wir nun wissen, hat das Klima eine Auswirkung auf die Strömung in den Meeren. Wenn jedoch die Umwälzbewegung aufgrund der Klimaerwärmung ausbleibt, ist nicht nur das Leben der Meerestiere gefährdet, sondern auch das Leben an Land.

Das globale Klima und die Zirkulation des Meereswassers stehen in wechselwirkender Beziehung zueinander: Erwärmt sich das Klima, fällt die Umwälzbewegung aus - fällt die Umwälzbewegung aus, verändert sich als Folge auch das Klima.

Ohne die Strömung in den Meeren wäre das Temperaturgefälle vom Äquator bis zu den Polen erheblich extremer als es zur Zeit (noch) ist. Der Golfstrom vor der Ostküste

von Nordamerika ist ein gutes Beispiel für die enorme Bedeutung solcher Meeresbewegungen: In der Nähe Grönlands teilt er sich in mehrere Zweige auf. Dadurch kühlt ein Großteil des Wassers ab, wird somit schwerer und sinkt in tiefere Schichten ab, wo er dann als kalte Ausgleichsströmung nach Süden zurückkehrt, während der Rest als Nordatlantischer Strom bis in das Europäische Nordmeer fließt und dadurch für ein milderes Klima in unserem Breitengrad sorgt. Kurz gesagt: Die dynamischen Prozesse in den Ozeanen sorgen dafür, dass es in höheren Breitengraden nicht zu kalt und in Breiten um den Äquator nicht zu heiß wird.<sup>4</sup>

---

Vgl. Wissen.de <sup>4</sup>

Auch der Ausgleich des Salzgehaltes wird durch die Umwälzbewegung gewährleistet. Der Atlantik besitzt im Vergleich zum Pazifik einen etwas höheren Salzgehalt, weil die vorherrschenden Winde das über dem Atlantik verdunstende Wasser in Richtung des Pazifiks wehen, wo es als Regen die Luft wieder verlässt. Die Ozeanzirkulation verhindert, dass sich der Salzanteil im Atlantik durch diesen ständigen Vorgang nicht tendenziell immer weiter erhöht und dadurch im Pazifik immer geringer ausfällt. Sollte sich die Temperatur der polaren Meere in Zukunft immer weiter erhöhen oder sich ihr Salzgehalt etwa infolge der zunehmend stattfindenden Eisschmelze empfindlich verringern (dieses Süßwasser verdünnt die Meere und verringert so deren Salzgehalt), würde das den Motor für die Umwälzbewegung ins Stottern bringen und somit, wie schon erwähnt, die Existenz der Fauna und Flora auf dem gesamten Planeten gefährden.<sup>5</sup>

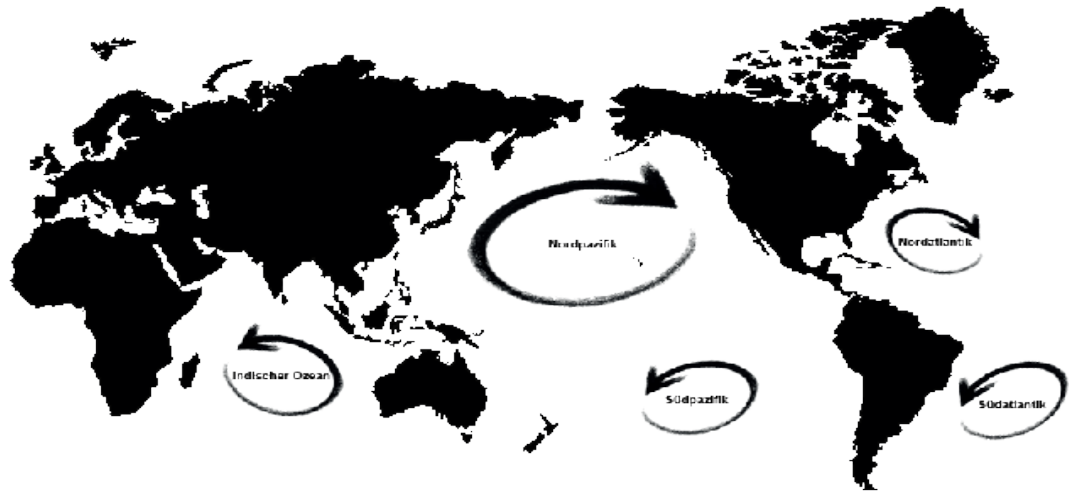
Sie bemerken, dass die meisten natürlichen Prozesse der Erde in wechselseitiger Beziehung stehen. Dadurch ist es für mich von großer Bedeutung, Ihnen diese globalen Verknüpfungen zu veranschaulichen.

**Es gibt 5 große subtropische Wirbel, die die Ozeane unseres Planeten in Bewegung halten.**

---

<sup>5</sup>Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 50 ff.

Diese windschwachen Hochdruckgebiete, in denen die Strömungskreise aufgrund der Erdrotation auf der Nordhalbkugel im Uhrzeigersinn und auf der Südhalbkugel gegen den Uhrzeigersinn drehen, haben einen geringen Nährstoffgehalt und somit einen äußerst geringen Bestand von Meereslebewesen.<sup>6</sup>



Die Strömung vermischt durch ihre dreidimensionale globale Zirkulation das Meereswasser und bildet damit die Basis für das darauf angepasste Leben. Substanzen und Nährstoffe werden durchmischt und über weite Entfernungen transportiert. Der Meeresfauna bietet diese Bewegung zudem eine notwendige Unterstützung für die Fortbewegung über weite Distanzen. Außerdem

---

Vgl. Video: Arte: Waste-Continents in the Oceans – Müllkontinente aus Plastik <sup>6</sup>

sind die Meere der Inbegriff der Telekommunikation: die Strömung sorgt für die Übermittlung wichtiger Informationen und vernetzt die einzelnen Ozeane perfekt miteinander.

Die windgetriebene Ozeanzirkulation fungiert hauptsächlich horizontal und erzeugt riesige, beckenweite Wirbel mit Ausmaßen von Tausenden von Kilometern, die sich meist innerhalb der obersten 1000 Meter der Ozeane abspielen. Der Subtropenwirbel im Nordpazifik ist ein solcher Wirbel, der durch die riesige Ansammlung von Plastikmüll in seinem Inneren bereits eine traurige Berühmtheit erlangt hat. Aber, wie zu Anfang des Kapitels schon erwähnt, ist nicht nur der Wind für die Strömung in den Meeren verantwortlich, sondern auch die sogenannte Thermohaline Zirkulation (Umwälzbewegung). Sie ermöglicht nicht nur den natürlichen Substanzen des Meerwassers, sondern auch dem sich in den Ozeanen ansammelnden Plastikmüll eine Art Mitreisesegelegenheit.<sup>7</sup> Der amerikanische Geowissenschaftler Wallace S. Broecker prägte 1987 diesen Begriff.<sup>8</sup> Mithilfe einer schematischen Zeichnung stellte er die Strombewegung, beziehungsweise die globale Umwälzbewegung - wie sie der deutsche Meteorologe und Klimaforscher Mojib Latif in seinem Buch „Das Ende der Ozeane“ meiner Meinung nach gekonnter formuliert - als „Ozean-Förderband“ dar.<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup>Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 50 ff.

<sup>8</sup>Vgl. Broecker (1987): The biggest chill, Natural History Magazine, S. 74 ff.



Diese reduzierte Darstellung der **Thermohalinen Zirkulation** trifft den Kern der Sache ausgezeichnet und macht sie zudem für jedermann verständlich. Diese natürliche Zirkulation vernetzt, wie schon erwähnt, die Strömungen innerhalb der einzelnen Meere miteinander und sorgt zudem für die wichtige Verbindung der Strömungen in den oberen Schichten der Ozeane sowie die der tieferen Schichten.



Der US-amerikanische Ozeanograph Charles Curtis Ebbesmeyer dokumentierte den Weg, den eine Charge von Quitschentchen und anderen Plastiktieren zurücklegte, nachdem

sie bei einem Sturm über Bord gingen und der Thermohalinen Zirkulation ausgesetzt waren. Nach acht Monaten wurden die ersten Plastiktiere in Alaska angespült, während einige andere der Ringströmung des Pazifiks folgten und zwei bis drei Jahre für die Umdrehung benötigten. An zahlreichen weiteren Stränden auf allen Kontinenten des Planeten fand Ebbesmeyer weitere dieser Plastikspielzeuge.<sup>9</sup> Wie wir schon wissen, sorgt die Thermohaline Zirkulation aber nicht nur dafür, dass die Substanzen in den Meeren - seien es natürliche oder vom Menschen eingetragene - horizontal weitergetragen werden, sondern sie ist auch für den vertikalen Transport innerhalb unserer Weltmeere verantwortlich.

---

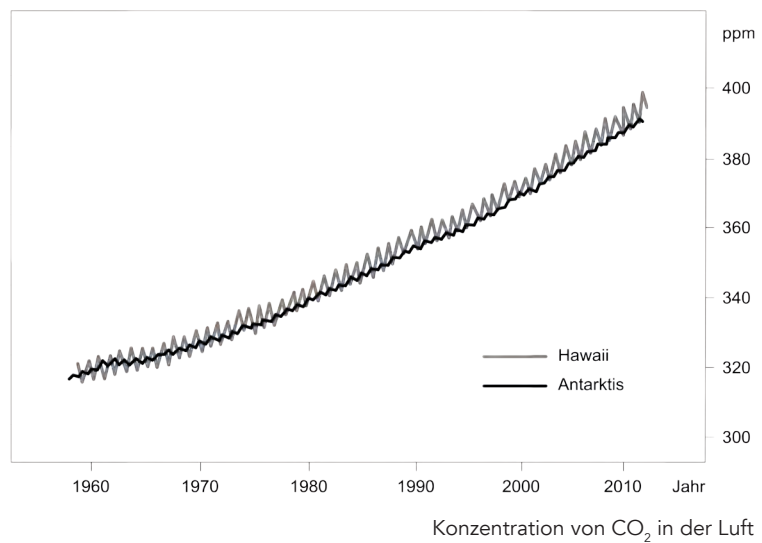
<sup>9</sup> Vgl. Wikipedia: Friendly Floatees



## DIE MEERE ALS WÄRMESPEICHER

Die Ozeane und die Atmosphäre beeinflussen sich wechselseitig - das ist mittlerweile klar. Deshalb müssen wir uns auch mit der Zusammensetzung der Atmosphäre und mit ihrem Einfluss auf die Meere näher auseinandersetzen: Stickstoff und Sauerstoff sind gemeinsam mit 99 Prozent zwar die Hauptgase unserer Lufthülle, dennoch bestimmen die Spurengase wie Wasserdampf ( $H_2O$ ), Kohlendioxid ( $CO_2$ ) oder Methan ( $CH_4$ ) unser Klima durch den sogenannten Treibhauseffekt. Dieser erwärmt die Oberfläche unseres Planeten um etwa 33 °C und macht dadurch die Erde überhaupt erst bewohnbar. Würde sich der heutige  $CO_2$ -Gehalt der Atmosphäre verdoppeln, wäre das Kohlendioxid mit einem Anteil von 0,08 Prozent zwar immer noch ein Spurengas, die globale Erwärmung läge allerdings bei mehreren Grad Celsius. Im Jahr 2013 wurden alleine durch den Menschen 35 Milliarden Tonnen  $CO_2$  in die Luft geblasen. Davon gehen fast 90 Prozent auf das Konto der Verbrennung fossiler Brennstoffe. Seitdem steigt der Wert des ausgestoßenen Kohlendioxids durch den Menschen Jahr für Jahr.

Lag der vorindustrielle  $CO_2$ -Gehalt der Luft noch bei 280 ppm (0,028 Prozent), liegt er heute schon bei fast 400 ppm (0,04 Prozent) im Jahresmittel. Mit dem Wachstum der Wirtschaft steigt auch der Ausstoß von Kohlendioxid. Oder wie es der Meteorologe

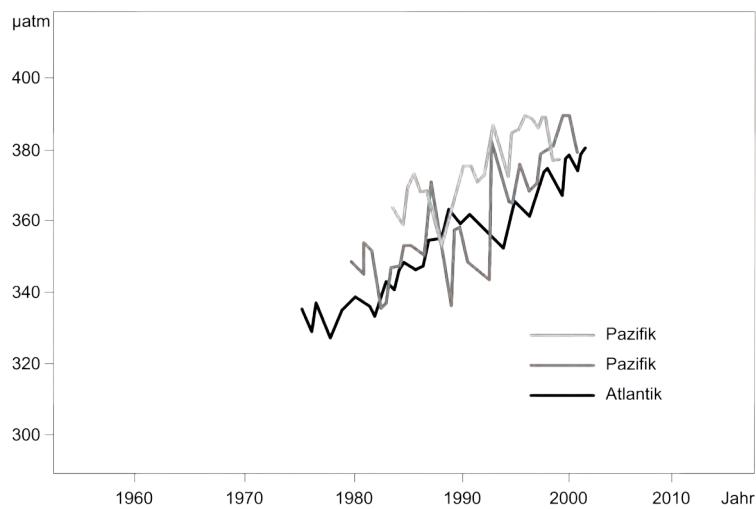


und Klimaforscher Mojib Latif formuliert: „Steigt [...] der Wohlstand auf diesem Planeten, dann sägen wir gleichzeitig immer mehr den Ast ab, auf dem wir sitzen.“<sup>1</sup> Wir müssen diesen Teufelskreis, den wir uns selbst zu Schulden haben kommen lassen, unterbrechen. Die Menschheit ist dabei, die Grenzen der Belastbarkeit dieses Planeten auszuloten. Es ist an der Zeit, die endlichen Ressourcen der Erde durch erneuerbare Energien zu ersetzen.

Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 209 <sup>1</sup>

Abb. 1: Latif Mojib

Dem Themader Ressourcenschonung sowie dem erneuerbarer Energien werde ich mich aber später noch intensiver widmen. Dass der weltweite Kohlendioxidausstoß seit dem Jahr 2000 um ungefähr 50 Prozent gestiegen ist, liegt womöglich auch an den stetig scheiternden Klimakonferenzen. Wir können von Glück sprechen, dass die Meere und die Vegetation zu gleichen Teilen etwa die Hälfte des von uns Menschen produzierten Kohlendioxids direkt aufnehmen.

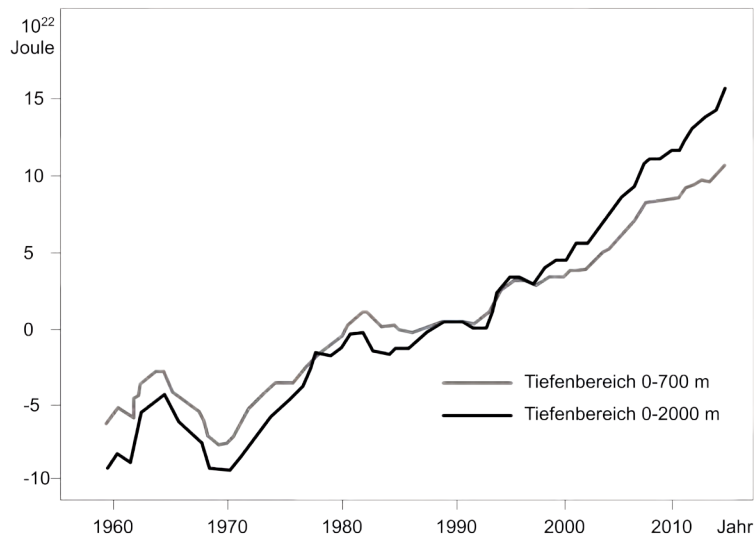


Partialdruck von gelöstem  $\text{CO}_2$  im Oberflächenwasser  
gemessen an zwei Stellen im Pazifik und einer Stelle im Atlantik

Abb. 2: Latif Mojib

Die Meere sind dabei allerdings die bei weitem wichtigsten Langzeitsenken für das anthropogene Kohlendioxid. Ohne die Speicherkapazität der Meere wäre die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre schon deutlich höher und somit auch das Klima der Erde schon einige Grade wärmer. Die CO<sub>2</sub>-Aufnahme bringt durch die daraus resultierende Versauerung der Meere aber eine enorme Gefahr für die marinen Ökosysteme und in Folge auch für den Menschen. Der Sünder wird selbst zum Leidtragenden. Um katastrophale Folgen der globalen Erwärmung zu verhindern, hätten wir einen Wert von 350 ppm nicht überschreiten sollen. Da es im März 2014 allerdings schon 401 ppm waren, wird es für uns Menschen sehr schwierig den Klimawandel, der bereits Fahrt aufgenommen hat, noch rechtzeitig zu stoppen. Während sich das Klima in einer Zeitspanne von 10.000 Jahren (zwischen Eiszeit und gegenwärtiger Warmzeit) um etwa 5 °C erwärmte, verzeichnete man seit 1900 (also in einer Phase von 117 Jahren) einen Anstieg der globalen Temperatur von 1 °C, was einer rund zwanzigmal schnelleren Erwärmung entspricht. Zudem stellen nicht nur globale Auswirkungen eine ernstzunehmende Gefahr dar, sondern auch moderate und regional begrenzte Klimaauswirkungen können Millionen von Menschen in die Bredouille bringen. Die unvorstellbaren Wärmemengen, die die Ozeane alleine in den letzten dreißig Jahren in den oberen 2000

Metern bereits aufgenommen haben, entsprechen einer Energiemenge von  $17 \times 10^{22}$  Joule. Das ist so viel Energie, wie man zum Beispiel gewonnen hätte, wenn man während dieser dreißig Jahre sekundlich eine Hiroshima-Atombombe zur Explosion gebracht hätte.



Wärmeinhalt des oberen Ozeans

Es sei aber auch erwähnt, dass die Meere zwar große Teile an Wärme und Kohlendioxid aufnehmen und dadurch den Klimawandel verlangsamen, aber wir dür-



fen dabei die langsame Reaktionszeit der Ozeane nicht außer Acht lassen. Irgendwann wird die Bremswirkung der Ozeane nachlassen und somit die in ihnen gespeicherte Wärme wieder in die Atmosphäre gelangen. Die Meere helfen uns nur kurzfristig. Auf lange Sicht betrachtet agieren sie wie ein Boomerang: selbst wenn wir einen kompletten Stopp des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes schaffen würden, würde sich aufgrund der gespeicherten Wärme in den Meeren, die Schritt für Schritt wieder freigegeben wird, die Temperaturen der unteren Luftschichten des Planeten weiter erwärmen. Die Erderwärmung ist somit weiter fortgeschritten, als wir es heute anhand von Messungen der Erdoberflächentemperatur feststellen können. Die Wärme, die unser Klima nachhaltig verändern könnte ist nun sozusagen in den Meeren gespeichert. Allerdings sind die Wassermassen unseres Planeten ein endliches Speichermedium. Steigen die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den kommenden Jahren weiter an, ist es den Meeren nicht mehr möglich, unser Klima zu regulieren. Langfristiges Denken, strategisch kluge Pläne aus Politik und Wirtschaft, sowie ein konsequent überlegtes Handeln aller menschlichen Bewohner dieses Planeten sind nötig, um die Früchte unserer Bemühungen in einigen Jahrzehnten ernten zu können. Denn selbst die reine Stabilisierung der heutigen CO<sub>2</sub>-Emissionen reicht nicht mehr aus, um weitere klimatische Veränderungen zu verhindern. Die

Lebensdauer des Kohlendioxids in der Luft von etwa 100 Jahren hätte zur Folge, dass der atmosphärische CO<sub>2</sub>-Gehalt weiter steigt, dadurch die Belastung für die Meere, und somit auch die Belastung für das Leben an Land. Wir dürfen uns nicht in scheinbarer Sicherheit wiegen, weil die Ozeane aufgrund ihrer Trägheit die Erwärmung der Erdoberfläche und die der unteren Luftschichten verzögern. Denn wenn der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre noch in diesem Jahrhundert um mehrere hundert ppm steigt, würden es die Meere nicht mehr schaffen, weiterhin das Kohlendioxid in der jetzigen Intensität zu binden. Es würde vermutlich zu irreversiblen Änderungen unseres Klimasystems führen. Doch ich werde später noch genauer auf die globalen Folgen für Fauna, Flora und uns Menschen eingehen.

Aufgrund der Aufnahme des Kohlendioxids durch die Meere wandelt sich dieses fast zur Gänze in andere Verbindungen um. Im Wasser geht es, anders als in der Atmosphäre, keine chemische Reaktion ein, sondern reagiert mit dem Meereswasser zu Kohlensäure. Diesen Prozess bezeichnet man als die Versauerung der Meere. Die Konvektion (Strömungsbewegungen in Gasen und Flüssigkeiten - hier ist natürlich die in Flüssigkeiten gemeint) ermöglicht dem Kohlendioxid in tiefere Meereschichten zu gelangen. Wie wir schon wissen, fungie-

ren die Meere aber nicht nur durch die Strömung zur CO<sub>2</sub>-Aufnahme, sondern auch durch das Phytoplankton, oder besser gesagt durch dessen Prozess der Photosynthese. Diese beiden Vorgänge machen die Ozeane zu für den Menschen unverzichtbaren Senken des Planeten. Bei einer weiter steigenden CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre könnte die Kohlendioxidaufnahme der Meere allerdings zurückgehen: Zum einen könnte das durch den Klimawandel erwärmte Oberflächenwasser das CO<sub>2</sub> schlechter lösen als kaltes, zum anderen würde sich der Verbrauch von Karbonat-Ionen (Salze der Kohlensäure) erhöhen, was die Aufnahme zusätzlich erschwert. Doch nicht nur die Erwärmung des Meereswassers, auch die zunehmende Versauerung dieser, sowie der stete Eintrag von Müll schwächt das marine Leben und dadurch auch die biologische Kohlendioxid-Pumpe.<sup>2</sup>

---

Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 20 - 248 <sup>2</sup>

## PLASTIK IN DEN MEEREN

WIE VIEL PLASTIKMÜLL BEFINDET SICH IN DEN MEEREN UND WOHER KOMMT ER?



Die Ursachen und deren Auswirkung auf die globale Klimaerwärmung ohne die Einbeziehung der physikalischen, chemischen und biologischen Vorgänge in den Ozeanen zu verstehen ist, wie wir nun wissen, ein Ding der Unmöglichkeit. Darüber hinaus müssen wir uns aber auch mit der Verschmutzung der Ozeane beschäftigen, die ebenfalls eine tragende Rolle im Prozess der Klimaerwärmung spielt. Über 40 Prozent der Meere unterliegen mittlerweile dem menschlichen Einfluss. Zwar nur 0,5 Prozent der Ozeane sind enormem Einfluss ausgesetzt, jedoch entspricht dieser Teil einer Fläche von 2,2 Millionen Quadratkilometer. Um sich das Ausmaß besser vorstellen zu können: Diese Fläche ist sechsmal größer als ganz Deutschland.<sup>1</sup> Weltweit werden jährlich rund 280 Millionen Tonnen Kunststoff produziert, wovon rund 10 Prozent in den Meeren landen. Das entspricht unglaublichen 350 Tonnen pro Tag. Dieser Kunststoff bildet etwa 89 Prozent des festen Mülls in den Ozeanen.<sup>2</sup> Innerhalb von zwei Jahren entspricht das Gewicht dieses Plastikmülls dem der gesamten Bevölkerung der Erde.<sup>3</sup> Diese Werte unterliegen allerdings auf Grund der Größe der Meere nur groben Schätzungen. Die Bestimmung der Plastikmüllmenge ist bislang nur in einigen wenigen Meeren möglich (Computerprogramme wie GEOMAR liefern Daten zu Menge und Position des Mülls) und

<sup>1</sup> Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 17

<sup>2</sup> Vgl. Video: Arte: Waste-Continents in the Oceans – Müllkontinente aus Plastik

<sup>3</sup> Vgl. Wie wir wollen, Artikel von Michael Bonvalot: Ich will die Weltmeere von Plastik befreien

muss somit auf die Gesamtmenge hochgerechnet werden.<sup>4</sup> Außerdem sinkt ein beträchtlicher Teil des Kunststoffmülls - laut dem UN-Umweltprogramm rund 70 Prozent - auf den Meeresboden. Die restlichen 30 Prozent treiben zur Hälfte auf den Oberflächen der Ozeane, die andere Hälfte wird an die Küsten getrieben, wo sie durch Reibung und die UV-Strahlung zu feinem Granulat wird und somit heute bereits ein Zehntel des Sandes an den Stränden ausmacht.<sup>5</sup>

Es gibt in den Meeren dieses Planeten ein enormes Problem, das durch den Jahr für Jahr zunehmenden Plastikmüll hervorgerufen wird und mittlerweile nicht mehr nur Gefahren für die marine Fauna und Flora birgt, sondern auch für alle Lebewesen und Pflanzen auf dem Land, uns Menschen natürlich mit eingeschlossen. Die Produktion von Plastik steigt nach wie vor an, um unser Konsumverhalten zu befriedigen.<sup>6</sup> Dabei bemerken wir vor lauter Gier nicht einmal, dass wir uns damit selbst das eigene Grab schaufeln.

Der Plastikmüll alleine ist natürlich nicht verantwortlich für die Verschmutzung der Meere. Auch die Verschmutzung durch Öle ist eine Auswirkung unseres neoliberalen Wirtschaftssystems. „Sie ist Sinnbild für rücksichtsloses Gewinnstreben auf Kosten der Umwelt“<sup>7</sup>, wie es der schon erwähnte Meteorologe und Klimaforscher Mojib Latif treffend formuliert.

---

Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 126 ff. <sup>4</sup>

Vgl. Wie wir wollen, Artikel von Michael Bonvalot: Ich will die Weltmeere von Plastik befreien <sup>5</sup>

Vgl. Video: Arte: Waste-Continents in the Oceans – Müllkontinente aus Plastik <sup>6</sup>

Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 126 <sup>7</sup>

Da für meine Arbeit aber vor allem die Verschmutzung der Ozeane durch Kunststoffe eine tragende Rolle spielt, werde ich mich dieser Form des menschlichen Eintrags in die Meere intensiver widmen. Soviel sei aber gesagt: Auch die Produktion von Kunststoffen benötigt Erdöl. Somit sind wir alle durch den Konsum von Produkten aus Plastik nicht nur an der Verschmutzung durch Kunststoff verantwortlich, sondern auch für die durch fossile Energieträger, die vor allem im Zuge von Erdöl-Bohrungen in das Meerwasser gelangen. Die Strömungen, wie wir bereits wissen, verteilen zwar das Öl und heben somit dessen Konzentration an einem Ort auf, die Giftwirkung und somit die fatalen Auswirkungen für die marine Fauna und Flora bleiben dennoch bestehen. Das selbe Prinzip gilt auch bei Plastikmüll: Die nimmermüden Wellen sowie die Reibung an Felsen oder anderen Objekten (Bohrinseln, Schiffsrümpfe, etc.) tragen neben der UV-Strahlung, die den Kunststoff brüchig werden lässt, dazu bei, dass die Plastikteile zu immer kleineren Stücken zerfallen. Makroplastik teilt sich in Mikroteile, die wiederum zu Nanoteilen werden und nur mehr unter dem Mikroskop sichtbar sind. Diese kleinsten Teile (oft sogar bis zu einem Tausendstel Millimeter klein) sind besonders gefährlich, da sie praktisch ungehindert in die Organismen der marinen Fauna gelangen. Kleinkrebse, Fische und andere Kleintiere, die am Anfang der marinen Nahrungskette stehen, sehen

dieses Mikroplastik als vermeintliches Futter an. Zudem werden durch den Zerfall von Kunststoffen giftige Stoffe freigesetzt, die ebenso in die Nahrungskette aufgenommen werden, und schließlich auch auf unseren Tellern landen.<sup>8</sup> Die sichtbaren Funde sind also längst nicht alles: Die größte Gefahr geht wahrscheinlich von Mikro- und Nanoplastik aus.

Wie anfangs schon erwähnt, dürfen wir die Meere, die ganze 70 Prozent der Fläche unseres Planeten ausmachen, also keinesfalls als unendliche Senken betrachten, weder in Bezug auf Kohlendioxid, noch auf unser zunehmendes Müllproblem. Zwischen 2008 und 2011 gab es trotz der Kenntnis des Verschmutzungsproblems einen starken Anstieg der Kunststoffproduktion und dadurch eine Verdoppelung des Mülls in den Meeren.<sup>9</sup> Zurzeit verbrauchen Europäer im Durchschnitt 30 Kilogramm Plastikverpackung pro Kopf und Jahr. Den größten Teil davon machen Flaschen und Säcke aus, was den am häufigsten im Meer landenden Plastikprodukten entspricht. Umweltberater Alexander Potrykus zog aus dieser Beobachtung den Schluss, dass globale Sanktionen aus der Wirtschaftspolitik unumgänglich sind, für einen Rückgang der marinen Verschmutzung durch Plastikmüll. Kunststoff muss vor allem auch seine tragende Rolle als günstiges und leichtes Verpackungsmaterial abtreten. Es ist an der Zeit für Alternativen in der Verpackungsherstellung.

---

Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 126 ff. <sup>8</sup>

Vgl. Video: Arte: Waste-Continents in the Oceans – Müllkontinente aus Plastik <sup>9</sup>

Das Problem der Verschmutzung des Wassers ist allerdings nicht nur auf die Meere beschränkt: Auch die Flüsse sind zunehmend verseucht. Im Rahmen einer Studie wurde 2014 festgestellt, dass alleine aus der Donau täglich 4,2 Millionen Tonnen Plastikmüll ins Schwarze Meer gespült werden. Zwischen Wien und Bratislava transportiert die Donau pro 1000 Kubikmeter Wasser bereits mehr Plastikpartikel (317 Partikel - entsprechen einem Gewicht von 4,8 Gramm) als Fischlarven (275 Larven - entsprechen einem Gewicht von 3,2 Gramm). Der Großteil dieses Mülls wird als industrielles Rohmaterial von Betrieben offenbar ungeklärt ins Wasser gekippt.<sup>10</sup> Der Mülleintrag durch die Industrie, der meist durch ungereinigte Abwässer passiert, stellt aber nur einen Bruchteil der gesamten Verschmutzung dar. Plastik findet sich in unser aller Leben fast überall: Unsere Kleidung gibt beim Waschen unzählige Fasern ab, die dann ungehindert durch den Abfluss in die Meere gelangen, da sie zu kleinteilig sind, um durch eine Kläranlage herausgefiltert zu werden. Zusätzlich tragen die Weichmacher in Wasch- und Weichspülmittel dazu bei, dass sich immer mehr Nanopartikel in den Meeren ablagern. Auch Partikel in Duschgels, Peelings oder Cremen, die auf der Verpackung meist trügerisch als „Salze“ bezeichnet werden, sowie feine Plastikgranulate in Zahnpasten, landen früher oder später in den Ozeanen. Ein Großteil der marinen Verschmutzung wird durch den direk-

---

<sup>10</sup> Vgl. Wie wir wollen, Artikel von Michael Bonvalot: Ich will die Weltmeere von Plastik befreien



ten Eintrag von Plastikmüll ausgelöst. Meist sind es Verpackungen, die von Menschen in die Flüsse geworfen, oder an den Stränden zurückgelassen werden und durch Wind und Wellen ins Meer gelangen.<sup>11</sup> Aber auch der Tourismus am Wasser hat schwerwiegende Auswirkungen. Abfälle werden einfach über Bord der Schiffe geworfen oder fallen unabsichtlich ins Wasser. Zudem wird Müll oft gleich direkt auf See entsorgt, anstatt ihn an Land zu deponieren. Auch der Fischfang spielt eine tragende Rolle bei der Produktion von marinem Müll. Kaputte Netze und Reusen (stationäre Vorrichtungen zum Fang von Fischen und anderen Wassertieren<sup>12</sup>) werden vor allem beim industriellen Fang einfach in den Meeren zurückgelassen. Dieser Eintrag macht gemeinsam mit denen des Schifffahrt-Tourismus ganze 20 Prozent des gesamten marinen Plastikmülls aus. Der größere Teil (80 Prozent) passiert durch den Eintrag von Plastikmüll über das Land, zu dem weiters auch noch die Verschmutzung durch Rückstände aus Abwässern zählt, die bei starkem Regen in die Flüsse oder direkt in die Meere gelangen.<sup>13</sup> Nicht zuletzt sind auch die marine Industrie sowie Aquakulturanlagen verantwortlich, für die zunehmende Verschmutzung der Ozeane.<sup>14</sup>

---

Vgl. Video: Bayerischer Rundfunk: Wie kommt Plastik ins Meer? – Faszination Wissen <sup>11</sup>

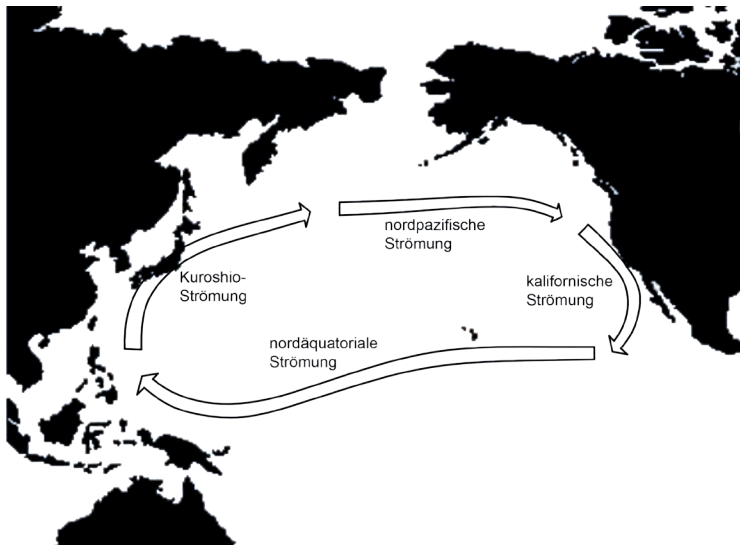
Vgl. Wikipedia: Reuse <sup>12</sup>

Vgl. Video: Arte: Waste-Continents in the Oceans – Müllkontinente aus Plastik <sup>13</sup>

Vgl. Video: Müll im Meer - Gefahren und Lösungen, Kim Detloff - Meeresschutzexperte bei NABU <sup>14</sup>

## WO SAMMELT SICH DER PLASTIKMÜLL?

Ein internationales Forscherteam ist im Rahmen einer großflächigen Untersuchung der europäischen Meere auf Müll in jeder der besuchten Regionen auf Plastik gestoßen. Die küstennahen Gebiete sind ebenso mit Kunststoff angereichert, wie die Tiefsee.<sup>1</sup> Durch die 5 große Meeresströmungen, die die Ozeane unseres Planeten in Bewegung halten, sammelt sich der in den Meeren treibende Plastikmüll vor allem innerhalb dieser subtropischen Wirbel.



<sup>1</sup> Vgl. Pham, Christopher K. u. a. (2014): Marine Litter Distribution and Density in European Seas

Eine der größten dieser Meeresdriften dominiert die Meereswelt zwischen China und Nordamerika - der Nordpazifikwirbel. Forscher gehen davon aus, dass sich in diesem Teil des Meeres mittlerweile bereits zwei von einander unabhängig zirkulierende Müllstrudel gebildet haben. Die Müllsammlung, die sich innerhalb dieses Wirbels findet, ist als „Great Pacific Garbage Patch“ („Großer pazifischer Müllwirbel“) bekannt, der mittlerweile auf die Größe der Fläche Mitteleuropas geschätzt wird.<sup>2</sup> Im Zentrum des nordpazifischen Müllwirbels treibt also auf einer Fläche von fast 2 Millionen Quadratkilometer Plastik mit einem hochgerechneten Gewicht von rund 100 Millionen Tonnen. Und das Schlimme daran ist das tägliche Anwachsen dieser Müllfläche im Nordpazifik.<sup>3</sup> Die Plastikdichte der oberen 10 Meter unterhalb des Meeresspiegels, was der Durchschnittstiefe des sich dort befindlichen Plastikmülls entspricht, wird auf etwa 5 Kilogramm pro Quadratkilometer geschätzt. Das hört sich vorerst nach nicht besonders viel an, wenn man sich zum Beispiel fünf Packungen Mehl vorstellt, die je einem Kilogramm entsprechen, und diese der Fläche eines ganzen Quadratkilometers gegenüberstellt. Man muss jedoch bedenken, dass diese Plastikpartikel meist sehr klein sind und somit, eine besondere Gefahr für die marinen Lebewesen und schließlich uns selbst darstellen. Im Durchschnitt befinden

---

Vgl. Wie wir wollen, Artikel von Michael Bonvalot: Ich will die Weltmeere von Plastik befreien <sup>2</sup>

Vgl. Pacific Garbage Screening <sup>3</sup>

sich innerhalb des nordpazifischen Wirbels 300.000 Kunststoffteilchen pro Quadratkilometer, an manchen Stellen sind es sogar bis zu einer Million. In den 4 anderen großen Wirbeln der Weltmeere (im Südpazifik, Nord- und Südatlantik, sowie im Indischen Ozean) findet man laut Forschern bestimmt auch schon eine ähnliche Situation vor. Doch nicht nur in den großen Müllwirbeln findet sich eine große Zahl an Kunststoffteilen, auch in den anderen Teilen der weltweiten Ozeane sind im Durchschnitt bereits 13.000 Teilchen pro Quadratkilometer gemessen worden.<sup>4</sup> Generell reichen die Plastikteile im Zentrum des Nordpazifik-Wirbels allerdings nicht nur bis 10 Meter unter die Meeresoberfläche - für diesen Bereich hat die Wissenschaft mittlerweile schon, wie oben angeführt, Messungen durchgeführt und diese hochgerechnet auf die gesamte Fläche des Wirbels - sondern in bis zu 30 Meter Tiefe. Das Plastik ist auf Grund seiner geringeren Dichte leichter als Wasser und müsste somit theoretisch immer an der Oberfläche der Ozeane schwimmen, die nimmermüde Strömung verhindert dies allerdings. Durch die schon bekannte Umwälzbewegung treibt der Kunststoff leider nicht nur an den Oberflächen der Meere, sondern gelangt bis in tiefe Meeresschichten, wo sich eine Beseitigung dieser Fremdkörper als äußerst schwierig gestaltet.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Vgl. Video: Arte: Waste-Continents in the Oceans – Müllkontinente aus Plastik

<sup>5</sup> Vgl. Pacific Garbage Screening

Aufgrund des immer weiter ansteigenden Müllgehalts im nordpazifischen Meereswirbel wird dieser mittlerweile schon als „7. Kontinent“ bezeichnet.<sup>6</sup> Doch nicht nur in diesem Wirbel sammelt sich immer mehr Plastikmüll. Wasserproben belegen, dass sich in jedem der 5 großen Meereswirbel zusehends mehr Kunststoffteile sammeln, die auf globale Wanderschaft gehen (Vergleiche „Die Strömung der Meere“). Neueste Computersimulationen, die auf Daten von Forschungsbojen basieren, zeigen, dass sich die Plastikteile von Wirbel zu Wirbel durch die gesamten globalen Meere bewegen und in naher Zukunft sogar eine sechste Region entstehen könnte, in der sich der von uns allen eingetragene Müll sammeln und rotieren könnte - in der arktischen Barentsee.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup>Vgl. Video: Arte: Waste-Continents in the Oceans – Müllkontinente aus Plastik <sup>6</sup>

Vgl. Deutschlandfunk: Die Entmüllung der Meere <sup>7</sup>

## DER ZERSETZUNGSPROZESS DES PLASTIKMÜLLS

Der auf Erdöl basierende Kunststoff weist eine sehr lange Haltbarkeit auf. Abhängig von der Zusammensetzung des Materials und den Umweltbedingungen baut sich der Plastikmüll in den Meeren unterschiedlich schnell ab.<sup>1</sup> Er zersetzt sich im Wasser innerhalb eines Zeitraums von bis zu einigen Jahrzehnten und sondert dabei schrittweise zahlreiche Schadstoffe ab.<sup>2</sup> Der Zersetzungsprozess einiger Abfallprodukte (Sixpackringe, Einwegwindeln, zahlreichen Plastikflaschen, Angelschnüren, etc.) kann sogar bis zu mehreren Jahrhunderten andauern.<sup>3</sup>

Rund 90 Prozent des derzeit produzierten Kunststoffes sind auf natürlichem Wege nicht oder nur sehr schwer abbaubar.<sup>1</sup> Der Plastikmüll, für den wir selbst verantwortlich sind, überlebt uns also. Wir hinterlassen unseren nachfolgenden Generationen ein Erbe in Form von Müll. Dass keiner unserer Nachkommen über ein solches Erbe erfreut sein wird, ist bereits heute klar: Der Kunststoffmüll stellt eine schwerwiegende Bedrohung für das Leben im Meer dar und die gravierend negativen Auswirkungen für uns Menschen lassen sich schon erahnen. Neben den ökologischen Problemen, die der Plastikmüll in den Meeren darstellt, gehen mit dieser Art der Verschmutzung auch ästhetische und sozioökonomische Auswirkungen einher. Viele Millionen Euro werden jährlich bereitgestellt, um die Häfen, Küsten und Strände sauber

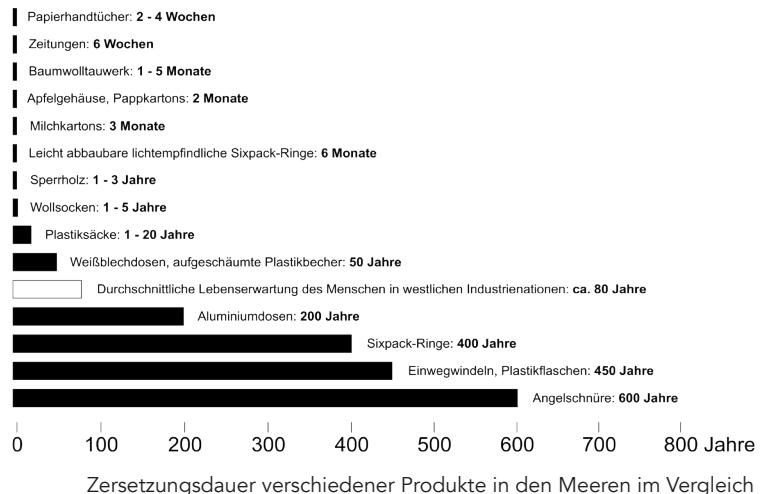
---

<sup>1</sup> Vgl. Pacific Garbage Screening

<sup>2</sup> Vgl. Wirtschafts Woche, Artikel von Lara Sogorski (8.5.2013): 19-Jähriger will Meere von Plastikmüll befreien

<sup>3</sup> Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 150 ff.

zu halten.<sup>3</sup> Dennoch verändert der Plastikmüll zusehends das Bild unseres Planeten. Mitte 2014 wurde erstmals der geologische Fund von Gebilden aus geschmolzenen Kunststoffen, Vulkangesteinen, Korallenfragmenten und Sandkörnern publiziert. Die als Plastiglomerat bezeichnete neue Art von Gestein wurde an der Küste von Hawaii entdeckt und bestätigte die wissenschaftliche Annahme, dass ein neues Zeitalter angebrochen ist - das Anthropozän.<sup>4</sup> Der Mensch verändert durch seine Handlungen die biologischen, geologischen und atmosphärischen Prozesse nachhaltig, was äußerst folgenschwere Konsequenzen für Fauna, Flora und nicht zuletzt uns Menschen birgt.



Vgl. Wie wir wollen, Artikel von Michael Bonvalot: Ich will die Weltmeere von Plastik befreien <sup>4</sup>

Abb. 4: Latif Mojib

## DAS ÖKOSYSTEM KIPPT AUSWIRKUNGEN AUF MENSCH, TIER UND UMWELT

„Die Zukunft der Meere - zu warm, zu hoch, zu sauer“<sup>1</sup>: So überschrieb der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) sein im Jahr 2006 verfasstes Sondergutachten zu den Meeren. Es besteht die Gefahr, dass die Ökosysteme unserer Meere noch in diesem Jahrhundert kippen, was zu Auswirkungen katastrophalen Ausmaßes führen würde.<sup>2</sup> Der Kunststoffmüll dringt in jeden Winkel der Weltmeere vor und wird dort zum Risiko für die marine Tier- und Pflanzenwelt. Diese massive Verschmutzung der Meere wirkt sich aber nicht nur negativ auf die Flora und Fauna aus, sondern in Folge auch erheblich auf die Verursacher dieses Übels - uns Menschen.<sup>3</sup> Die US Marine Mammal Commission vermutet 130 betroffene Tierarten, die sich alleine in von Fischern im Meer zurückgelassenen Netzen und Leinen verfangen und somit kläglich verenden. Der US Fish and Wildlife Service geht von der Annahme aus, dass es sogar rund 260 Tierarten sind, die von dieser Gefahr bedroht werden.<sup>4</sup> Meerestiere wie zum Beispiel die Lederschildkröte oder auch Vögel verfangen sich in den Plastiknetzen und ersticken qualvoll.

Eine sehr große Gefahr für Meeresbewohner geht allerdings durch die Verwechslung von Müllfragmenten mit Nahrung aus: Plastiksäcke werden oft für Qualen gehalten und sorgen unverdaut im Magen der Meeresbewohner meist für einen qualvollen Tod.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2006): Die Zukunft der Meere

<sup>2</sup>Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 25, 104 f.

<sup>3</sup>Vgl. Deutschlandfunk: Die Entmüllung der Meere

<sup>4</sup>Vgl. Video: Müll im Meer - Gefahren und Lösungen, Kim Detloff - Meeresschutzexperte bei NABU





Plastiksack

Qualle

Bedrohliche Ähnlichkeit von Plastiksäcken und Quallen im Meerwasser

Da die Plastikteile in den Meeren durch den Salzgehalt, die Erosion oder die UV-Strahlung in immer kleinere Teile zer setzt werden, ist die Gefahr besonders groß, dass der Plastikmüll als scheinbare Nahrung eingenommen wird. Zwei Drittel aller in den Meeren lebenden Fischen sind bereits durch diese fälschliche Art der Nahrungsaufnahme in ihrer Existenz bedroht.<sup>5</sup> Forscher fanden bei fast 95 Prozent der tot an die Küsten der Nordsee gespülten Meerestiere Plastik im Magen. Im Schnitt waren es unglaubliche 30 Teile pro Tier.<sup>6</sup> Meereswissenschaftler vom zur spanischen Forschungsgemeinschaft CSIC gehörenden Institut Estación Biológica de Donana in Sevilla untersuchten den Kada-

Vgl. Pacific Garbage Screening <sup>5</sup>

Vgl. Deutschlandfunk: Die Entmüllung der Meere <sup>6</sup>

Abb. 5: Mr. Monti's Science Site

ver eines im Frühjahr 2012 verendeten Pottwals im Mittelmeer an der Küste Andalusiens.<sup>7</sup> Das etwa 10 Meter lange und 4,5 Tonnen schwere Tier starb aufgrund einer Unmenge an Plastikmüll in seinem Magen. Fast 18 Kilogramm Kunststoff nahm der Pottwal im



Durch Plastikmüll qualvoll verendete marine Lebewesen

Die Kunststofffragmente und die von ihnen abgegebenen Gifte landen aber nicht nur auf diese Weise in den Organismen der Meerestiere: Miesmuscheln filtern täglich bis zu 40 Liter Wasser und nisten sich dafür gerne in „Müllnestern“ ein. Diese Form der Unterkunft gibt aber ständig Giftstoffe an das sie umgebende Meereswasser ab, welche dann in die Organismen der Miesmuscheln gelangen, die dieses verunreinigte Wasser filtern.<sup>9</sup> Dass das Fleisch solch bedrohter Tierarten für uns keinesfalls für den Verzehr geeignet sein kann, ist somit klar. Es ist hoch belastet durch die vom Plastik abgegebenen Giftstoffe, die enorme gesundheitliche Auswirkungen auf den Menschen haben. Dennoch landen täglich Unmengen solcher Nahrungsmittel aus dem Meer auf unseren Tellern und das Nanoplastik (kleinste Partikel, die für unser

<sup>7</sup>Vgl. Estacion Biologica Donana CSIC

<sup>8</sup>Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 153

<sup>9</sup>Vgl. Video: Arte: Waste-Continents in the Oceans – Müllkontinente aus Plastik

Abb. 6,7,8,9: Galileo, Umwelt im Unterricht, Global Citizen, WWF

Auge nicht mehr wahrnehmbar sind) gelangt ungehindert in die globale Nahrungskette.<sup>10</sup> Krankheiten wie Krebs sowie die Veränderung unserer DNA (Desoxyribonukleinsäure: ein in allen Lebewesen vorkommendes Biomolekül und Träger der Erbinformation<sup>11</sup>) breiten sich dadurch zunehmend aus.<sup>12</sup> Das gesamte Ausmaß der Folgen ist zwar noch unbekannt, dennoch müssen wir alle mit Sicherheit von zunehmend negativen gesundheitlichen Auswirkungen ausgehen.

Ein weiteres Problem stellt der globale Anstieg der Temperatur in der Luft sowie der in den Meeren dar. Zweiterer hat besonders gravierende Folgen für zahlreiche Meeresbewohner: Die Temperaturlimitierung vieler mariner Lebewesen ist relativ gering. Sie können dem zunehmenden Anpassungsdruck, dem sie durch die globale Klimaerwärmung ausgesetzt sind, auf Dauer nicht standhalten. Die meisten tropischen Korallenarten wären von diesem traurigen Schicksal betroffen. Man geht davon aus, dass eine Erwärmung der tropischen Ozeane von deutlich mehr als einem Grad die Existenz der ihr innewohnenden Korallenriffe und damit auch das von ihnen abhängige marine Ökosystem bedrohen würde. Modellrechnungen belegen, dass die tropischen Korallen ohne einen weltweiten Klimaschutz auf Grund des um mehr als zwei Grad erwärmten Meereswassers bis zum Ende des 21. Jahrhunderts dem Tod geweiht wären.<sup>13</sup>

---

Vgl. Deutschlandfunk: Die Entmüllung der Meere <sup>10</sup>

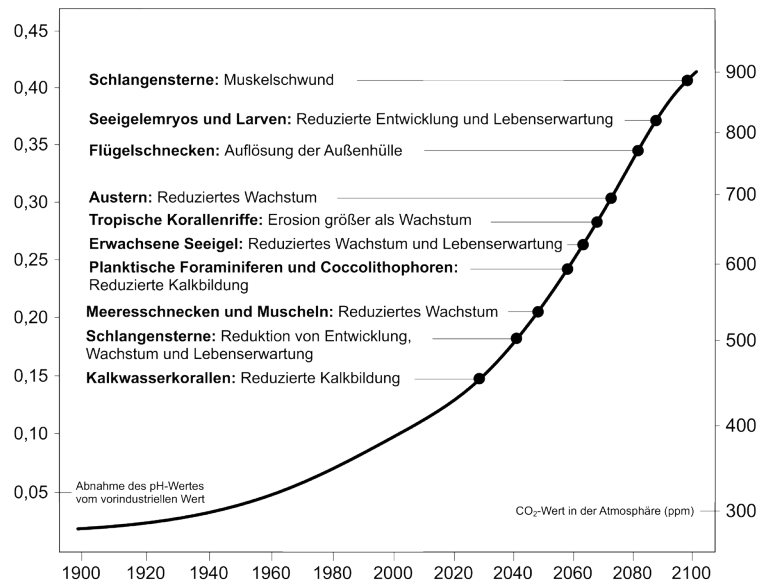
Vgl. Wikipedia: Desoxyribonukleinsäure <sup>11</sup>

Vgl. Pacific Garbage Screening <sup>12</sup>

Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 301 f. <sup>13</sup>

Die zunehmende Versauerung der Meere (Aufnahme des Meereswasser von Kohlendioxid aus der Luft) trägt zum Fall des pH-Wertes in den Ozeanen bei. Schon sehr geringe Veränderungen dieses Wertes reichen aus, um die marinen Ökosysteme negativ zu beeinflussen. Die kalkhaltigen Skelette oder Schalen von zahlreichen Meeresbewohnern wie Korallen, Krebsen, Muscheln oder Schnecken reagieren äußerst sensibel auf Änderungen des pH-Wertes. Im Falle eines starken Anstiegs der Versauerung des Meerwassers könnten sich die Kalkstrukturen sogar völlig auflösen. Besonders betroffen sind heute bereits die polaren Regionen, da bekanntermaßen kaltes Wasser Gase wie Kohlendioxid besonders gut löst, was zur Folge hat, dass sich schon in diesem Jahrzehnt die Gehäuse kalkbildender Lebewesen aufzulösen beginnen.

Doch nicht nur die Kalkbildung ist durch die zunehmende Ozeanversauerung gestört, auch das Gehör vieler Fische wird durch das saure Wasser beeinträchtigt. Besonders die Entwicklung des Hörsinns in den entscheidenden ersten Lebensstadien ist davon betroffen. Aber nicht nur die Schädigung des Hörsinns selbst ist ein zunehmendes Problem, sondern auch der hinzukommende Anstieg des Lärmpegels in den Meeren. Durch die Versauerung können sich besonders tiefe Töne, die durch



Reaktion mariner Organismen auf die zunehmende Ozeanversauerung

den Schiffsverkehr, den Bau von Windkraftanlagen, die Suche nach Öl und Gas, militärische Übungen und akustische Scheuchvorrichtungen, weit ausbreiten, was, wie man bereits herausgefunden hat, insbesondere für Meeressäuger negative Konsequenzen hätte, da sie sehr empfindlich auf niederfrequenten Lärm reagieren. Bei Walen zum Beispiel könnten sich temporäre Hörschäden einstellen und ihr sensibles Ortungssystem durcheinanderbringen, was zu einer

vermehrten Strandung der Meeressäuger führen würde. Ebenso kann der Geruchssinn durch eine höhere CO<sub>2</sub>-Konzentration Schaden tragen.<sup>14</sup> Der Geruchs- und Geschmackssinn sind bei Fischen ein und dasselbe. Oftmals über eine Million Mal feiner als der des Menschen unterstützt dieser die Fische bei der Orientierung.<sup>15</sup> Es ist somit vorstellbar, was für negative Konsequenzen eine Funktionsstörung dieses Sinnes für die Fische hätte.

Durch Messungen des pH-Wertes in verschiedenen Ozeanregionen wurde der steigende Säuregehalt des Meeresswassers mittlerweile belegt: Zweifelsfrei sank der pH-Wert im weltweiten Durchschnitt von rund 8,2 auf 8,1, was das Wasser in Folge um 30 Prozent saurer werden lässt. Diese scheinbar kleine Veränderung des pH-Wertes hat also bereits beträchtliche Auswirkungen auf das marine Ökosystem. Da die negativen Folgen für die Meere aber wechselseitig auch uns Menschen beeinflussen, sollte uns spätestens bei diesem Gedanken die Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes ein bedeutendes Anliegen sein, um ein Massensterben der Tierwelt in den Ozeanen zu verhindern und somit auch die Existenz unserer Nachkommen zu sichern.

Sowie die Meeresströmung eine Mitreisese Gelegenheit für den Plastikmüll bietet, bietet das treibende Plastik wie-

---

<sup>14</sup> Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 251 ff.

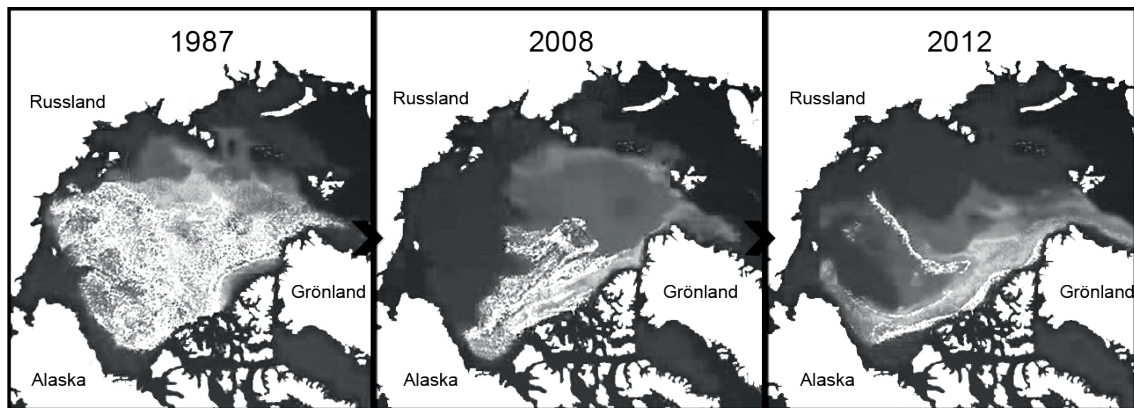
<sup>15</sup> Vgl. Planet Wissen, Artikel von Pia Grzesiak: Die Sinne der Fische

derum Meerestieren die Möglichkeit mühelos weite Distanzen zu überwinden. Was vorerst nach einem positiven Aspekt klingt, kann das Ökosystem aber völlig aus den Fugen bringen: Die marinen Bewohner legen dadurch für sie eigentlich unüberwindbare Entfernungen zurück und werden so in ihnen fremde Lebensräume eingeschleppt, was negative Auswirkungen auf das Ökosystem vor Ort sowie auch für die Tiere selbst haben kann.<sup>16</sup> Da das Meereis unseres Planeten integraler Bestandteil einer Vielzahl einzigartiger Ökosysteme ist, ist dessen Rückgang nicht nur für das Klima eine Bedrohung - wie bereits erwähnt, behindert das kalte Süßwasser die Umwälzbewegung des Meerwassers und somit die Regulation des atmosphärischen Klimas - sondern auch für zahlreiche Tierarten. Die Eisbären zum Beispiel sind bei ihrer Jagd auf Robben vom Meereis abhängig. Der Rückgang der Kryosphäre (Teile der Erdoberfläche, die sich im gefrorenen Zustand befinden<sup>17</sup>) hat bereits jetzt zur Folge, dass in einigen Regionen der Arktis Körpergewichtsverluste bei Eisbären feststellbar sind. Ein weiteres extrem warmes Jahr würde ausreichen, um den Rückgang der Eisbärpopulation in der kanadischen Arktis nicht mehr stoppen zu können. Dass der Eisbär mittlerweile auf der Roten Liste der bedrohten Arten steht, nützt ihm allerdings ohne aktive Schutzmaßnahmen nichts. Doch nicht nur der durch das Abtauen kleiner werden-

---

Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 257 ff. <sup>16</sup>

Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 82 <sup>17</sup>



Rückgang des arktischen Eises

de Lebensraum ist eine zunehmende Gefahr für die Bewohner der Arktis: Durch den Rückgang des Eises öffnet sich der arktische Ozean für die ökonomische Nutzung. Zum einen wird mit einem Anstieg des Schiffsverkehrs (Tourismus und Industrie) gerechnet und zum anderen würde die Ausbeutung der in großen Mengen vorhandenen Rohstoffen in diesen Regionen zunehmen. Zu allem Überfluss trägt das Abschmelzen des Meereseises aber natürlich auch zum Meeresspiegelanstieg bei: Die Hälfte des aktuellen Anstiegs von durchschnittlich gut 3 Millimeter pro Jahr sind auf das geschmolzene Meereseis zurückzuführen. Der Rückzug der kontinentalen Eisschilde hat zur Folge, dass der Meeresspiegel seit 1900 im weltweiten Durchschnitt um etwa 20 Zentimeter gestiegen



ist. Solange die Erwärmung der Ozeane fortschreitet, wird sich auch keine Verlangsamung des Meeresspiegelanstiegs einstellen, denn wie uns schon in frühen Jahren im Physikunterricht gelehrt wurde, dehnt sich jeder Körper, der sich erwärmt, aus. Dieses Phänomen ist der Grund, warum auch das Volumen der Meere in Folge von stetiger Erwärmung zunimmt und somit der Meeresspiegel in die Höhe steigt.<sup>18</sup> Auch die Umwälzbewegung, also die essentiellen Strömungen in den Ozeanen, trägt erheblich zum Anstieg des Meeresspiegels bei. Ein Ausbleiben der atlantischen Umwälzbewegung hätte allerdings keinen globalen Meeresspiegelanstieg zur Folge. In Bereichen des Nordatlantiks würde er um mehrere Dezimeter steigen, während er anderswo fallen würde. Die Überlagerung der Folgen durch das Schmelzen der Gebirgsgletscher und kontinentalen Eisschilde, der thermischen Expansion des Meeresvolumens, sowie der Rückgang beziehungsweise das Ausbleiben der Umwälzbewegung könnte für Bereiche des Nordatlantiks (unter Berücksichtigung des hinzukommenden globalen Anstiegs des Meeresspiegels) ein Ansteigen von über einem Meter bedeuten.<sup>19</sup> Mittlerweile ist diese Bedrohung nicht mehr nur Theorie. Besonders in den USA halten aber viele Menschen den Klimawandel immer noch für ein Märchen oder Propaganda. Im nur 1,3 Meter über dem Meeresspiegel liegenden Miami werden diese Menschen mittlerweile eines Besseren

---

Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 47 und 201 ff. <sup>18</sup>

Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 286 <sup>19</sup>

belehrt: Extreme Wetterbedingungen wie Überschwemmungen und Wirbelstürme finden in immer geringer werdenden Abständen statt. Wenn der globale Temperaturanstieg und somit auch der Anstieg des Meeresspiegels nicht gestoppt wird, prognostiziert man nach heutigem Forschungsstand einen Meeresspiegelanstieg von 60 Zentimeter bis zum Jahr 2060, was eine ernstzunehmende Gefahr für das beliebte Tourismusziel darstellen würde.<sup>20</sup>

Das Hochwasser in Miami und künftig auch in zahlreichen weiteren Regionen (Malediven, Sydney, Niederlande,...) ist aber nur eine von zahlreichen globalen Bedrohungen. Dass im Jahr 2010 in Russland infolge einer sommerlichen Rekordhitze und damit verbundenen Großbränden über 50.000 Menschen starben, im Jahr darauf in Australien über 250.000 Menschen Opfer massiver Überschwemmungen wurden, oder im Jahr 2012 das „Jahr ohne Winter“ war, mit den höchsten nächtlichen Temperaturen, die in den Vereinigten Staaten von Amerika jemals gemessen wurden, ist scheinbar nicht Grund genug, um aktiv zu werden und gegenzusteuern. Auch die von Wissenschaftlern festgestellte Zunahme der Hurrikanstärken (höhere Oberflächentemperaturen tropischer Meere führen zu häufigeren und stärkeren Hurrikanen) ruft scheinbar keinen Paradigmenwechsel hervor.<sup>21</sup> Das UNO-Umweltprogramm (Unep) sowie die Universi-

---

<sup>20</sup> Vgl. Welt N24, Artikel von Daniel García Marco und Ivonne Marschall (06.08.2014): Die Zukunft von Miami Beach ist unsicher

<sup>21</sup> Vgl. Oreskes, Naomi und Conway, Erik M. (2015): Vom Ende der Welt, oekom, München, S. 21 ff.

tät der Vereinten Nationen (Unu) warnten schon 2005 vor einer enormen Welle an Klimaflüchtlingen: Bis 2010 prognostizierten sie 50 Millionen Menschen, die aufgrund der Erderwärmung auf der Flucht sein würden.<sup>22</sup> Dass es bislang jedoch nur etwa halb so viele sind, ist allerdings kein Anlass, uns in Sicherheit zu wiegen. In Berichten wird nach wie vor gewarnt, dass die Migration und Vertreibung als Folgen der Klimaerwärmung bislang unterschätzt werden. Die Internationale Organisation für Migration (IOM) geht aufgrund von Berechnungen von 200 Millionen Klimaflüchtlingen bis zur Mitte des Jahrhunderts (2050) aus.<sup>23</sup>

Doch nicht nur die Flucht aus der vertrauten Heimat, sondern auch der Welthunger würden uns vor nahezu unlösbare Probleme stellen. Das Ausmaß der Ozeane als Nahrungsquelle wäre dezimiert und somit die Lebensgrundlage zahlreicher Bevölkerungsgruppen dieses Planeten.<sup>24</sup> Die Professorin für Wissenschaftsgeschichte Naomi Oreskes und der Wissenschafts- und Technikhistoriker Erik M. Conway ziehen aus ihren Erkenntnissen durch historische Beobachtungen den Schluss: „Es wird eine Zukunft für die Menschheit geben, auch wenn es eine ist, die nicht mehr von der „westlichen Kultur“ dominiert sein wird.“<sup>25</sup> In ihrem Buch „Vom Ende der Welt“ gehen die Historiker von furiosen Zukunftsszenarien aus: Wenn der weltweite CO<sub>2</sub>-Aus-

---

Vgl. Spiegel Online, Artikel von Axel Bojanowski (17.4.2011): Prognose zu Klimaflüchtlingen bringt UNO in Bedrängnis <sup>22</sup>

Vgl. Heise, Telepolis, Artikel von Florian Rötzer (11.6.2009): Hunderte Millionen Klimaflüchtlinge bis 2050? <sup>23</sup>

Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 292 <sup>24</sup>

Oreskes, Naomi und Conway, Erik M. (2015): Vom Ende der Welt, oekom, München, S. 91 <sup>25</sup>

stoß weiter in die Höhe klettert und das Kontingent der Meere als Kohlendioxid-Senke endgültig erreicht ist, könnten Hitzewellen, Dürren, Hurrikane, Tornados etc. zur Tagesordnung werden. Gravierende Maßnahmen zur Eindämmung der Katastrophe würden uns nicht erspart bleiben. Die Rationierung der Lebensmittel (aufgrund des Ernteverlusts durch Dürreperioden und Überschwemmungen) und Trinkwasser, die malthusianische „Ein-Kind-Politik“, sowie das Umsiedeln von Klimaflüchtlingen in ihnen unbekannte Regionen könnten zu unverzichtbaren Maßnahmen werden, selbst wenn der Meeresspiegel um „nur“ 15 Zentimeter ansteigen würde. Unterernährung und Dehydrierung, sowie der explosive Anstieg von Insektenpopulationen und die daraus folgenden Epidemien könnten unter zahlreichen anderen Folgefaktoren ein Artensterben von gewaltigem Ausmaß nach sich ziehen. Laut Oreskes und Conway sei es nicht unrealistisch, dass 60 bis 70 Prozent aller Spezies unseres Planeten aussterben könnten. Die sozialen, kulturellen, wirtschaftlichen und demografischen Verluste könnten größer sein, als jemals zuvor in der Geschichte.<sup>26</sup>

---

<sup>26</sup> Vgl. Oreskes, Naomi und Conway, Erik M. (2015): *Vom Ende der Welt*, oekom, München, S. 43 ff.



## WARUM ES WICHTIG IST GEGENZUSTEUERN

Die bloße Analyse falscher Entwicklungen, das tägliche rituelle Aufzählen von schmelzenden Eisschildern, steigenden Meeresspiegeln, der wachsenden Häufigkeit von Hurrikanen usw., sowie die Empörung darüber lindern allerdings diese Probleme und ihre folgenschweren Auswirkungen keineswegs.

”

Intelligenz ist eine moralische Kategorie.

Theodor W. Adorno

Die Urteilskraft der moralischen Intelligenz ist mithin die Voraussetzung für Selbstaufklärung und Aufklärung. Selbst-Denken ist also nur als emotionales Vermögen vorstellbar.<sup>1</sup>

folgert der Soziologe Harald Welzer

“

**Den Gedanken Adornos und Welzers folgend, meine ich, dass es einen aufgeklärten Verstand braucht, um die Probleme dieses Planeten nicht nur zu erkennen, sondern auch durch Handlungen gegenzusteuern, soweit es jedem Individuum möglich ist. Die Moral ist eine entscheidende Größe im Gefüge unserer wandelnden Ge-**

---

<sup>1</sup> Welzer, Harald (2015): Selbst Denken - Eine Anleitung zum Widerstand, Fischer, Frankfurt am Main, S. 290 f.

**sellschaft. Urteilen zu können, was hinnehmbar ist und wo es des Widerstands bedarf - dieses Potential ist uns Menschen gegeben. Warum setzen wir es nicht ein?**

Das „Vorsorgeprinzip“, das auf den Medizinwissenschaftler Hippokrates (Antike) zurückgeht, lehrte schon früh, dass man rechtzeitig handeln müsse, um eine spätere Katastrophe zu vermeiden.<sup>2</sup> Dieser Lehre hat die Bevölkerung unseres Planeten allerdings wenig Beachtung geschenkt. Der optimistische Glaube an die unendliche Anpassungsfähigkeit des Menschen an jegliche Umweltbedingungen scheint grenzenlos. Ob dieses Verhalten aus Aussichtslosigkeit, Ignoranz, Machtwahn oder schlichter Unwissenheit resultiert, ist dabei fraglich. Womöglich ist es eine Mischung all dieser Faktoren. Eines ist allerdings klar, und längst schon durch die Wissenschaft bestätigt: Die Selbstheilungskräfte des Planeten sind nicht mehr imstande die von Menschen verursachte Klimaänderung zu stoppen. Eine Begrenzung des Ausmaßes des bereits an unserem Planeten angerichteten Schadens ist möglich, jedoch ist diese Tatsache keineswegs Grund genug, um den eingeschlagenen Weg weiterhin nicht zu verlassen. Die Meere sind treue Helfer im Kampf gegen den Klimawandel, doch auch sie haben Grenzen in ihrer Fähigkeit als Langzeitsenken. Grenzen, die bald schon erreicht sind. Modellrechnungen des Club of Rome zeigen außer-

---

Vgl. Oreskes, Naomi und Conway, Erik M. (2015): Vom Ende der Welt, oekom, München, S. 103 f. <sup>2</sup>

dem, dass die Ökosysteme der Meere innerhalb kürzester Zeit und so gut wie ohne Vorwarnung kippen können. Dass ein solches Phänomen tatsächlich möglich ist, hat uns längst schon die Chaosforschung gelehrt.<sup>3</sup> Erkenntnisse, die aus jahrelangen wissenschaftlichen Forschungen resultieren, zu ignorieren, wäre äußerst riskant und hochmütig.

Der Umgang mit dem Klimaproblem ist symptomatisch für unseren Umgang mit der Natur: Wir leben in einer rücksichtslosen Gesellschaft, der Konsum als Maßstab für den Erfolg eines Landes zugrunde liegt, anstatt sich am bhutanesischen Konzept des Bruttonationalglücks zu orientieren, bei dem das Wohlbefinden eines Staates entscheidend ist.<sup>4</sup> Dass steigender Konsum gleichzeitig aber auch eine steigende Ausbeutung unseres Planeten bedeutet, darf nicht weiter ignoriert oder toleriert werden. Die irdischen Rohstoffvorräte werden Jahr für Jahr knapper, doch die staatlichen Maßnahmen halten sich weltweit in Relation dazu begrenzt. Im Jahr 1992 unterzeichneten 154 Länder mit dem „Rahmenübereinkommen der Vereinigten Nationen über Klimaänderungen“ (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) einen auf den Erkenntnissen der Wissenschaft basierenden Vertrag, der „eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems“ verhindern soll. Aus Seiten der Politik weigerte man sich aber rasch eine

---

<sup>3</sup> Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 189 ff.

<sup>4</sup> Vgl. Oreskes, Naomi und Conway, Erik M. (2015): Vom Ende der Welt, oekom, München, S. 20 ff.



Finanzierung für die Maßnahmen gegen den Klimawandel bereitzustellen: „[...] es gebe zu viele Unsicherheiten in den wissenschaftlichen Ergebnissen, um die Kosten und Mühen einer Vermeidung von Treibhausemission zu rechtfertigen.“<sup>5</sup> Forscher wurden oft als Panikmacher beschimpft, die nur daran interessiert wären, an Forschungsgelder zu gelangen. In Folge wurden sogar Gesetze erlassen, die Gegenstand und Methoden wissenschaftlicher Forschungen einschränkten. Das „Gesetz zur Leugnung steigender Meeresspiegel“ wurde im Jahr 2012 verordnet und ist ein Beispiel für solche Gesetzgebungen. Der „Government Spending Accountability Act“ schränkte noch im selben Jahr die Möglichkeit ein, dass im Regierungsauftrag tätige Wissenschaftler an Konferenzen teilnehmen dürfen, um so ihre Forschungsergebnisse austauschen und analysieren zu können. Als wäre dies alles nicht schon ausreichend Restriktion, wurden zu allem Überfluss Aufzeichnungen zur Explosion der Ölplattform „Deepwater Horizon“, die sich 2010 im Golf von Mexiko ereignete, beschlagnahmt. Die Wissenschaftler wurden durch Kampagnen diskreditiert. Wer das Geld für diese Kampagnen bereitstellte, ist klar: die Öl- und Gasindustrie, deren jährliche Gewinne zu jener Zeit das Bruttoinlandsprodukt der meisten Länder überstieg.<sup>6</sup> Dass eine solche Umweltkatastrophe, wie sie im Golf von Mexiko durch Geldgier und Nachlässigkeit passierte, nicht einmal wirtschaftliche

---

Oreskes, Naomi und Conway, Erik M. (2015): Vom Ende der Welt, oekom, München, S. 16 f. <sup>5</sup>  
Vgl. Oreskes, Naomi und Conway, Erik M. (2015): Vom Ende der Welt, oekom, München, S. 20 ff. <sup>6</sup>

sondern rein ökologische Schäden mit sich bringt, zeigt der Konzern, der für das Unglück verantwortlich war: Nie zuvor hat BP einen derart hohen Gewinn verzeichnet, wie im Folgejahr der Ölkatastrophe. Finanziell lohnt es sich also, auf die Umwelt keine Rücksicht zu nehmen und unseren Planeten gnadenlos und ohne Scham auszubeuten.<sup>7</sup>

Was ich mit diesen Erzählungen aus den Sektoren der Wirtschaft und Politik darlegen möchte: Unsere westliche Zivilisation hätte schon früh genug das nötige Wissen und die technischen Mittel gehabt, um den Klimawandel rechtzeitig zu bekämpfen. Doch finanzieller Profit spielt in der machthungrigen Gesellschaft eine äußerst dominante Rolle. Eine solch dominante Rolle, dass man sogar dem unverzichtbaren Schutz unseres Planeten nur unzureichende Bedeutung schenkt. Die wenigen durch die Regierung unserer weltweiten Staaten getätigten Maßnahmen zur Eindämmung des klimatischen Schadens scheinen zudem das Übel nicht an der Wurzel zu packen: „Climate Engineering“ erfreut sich großer Beliebtheit, obwohl es nur oberflächlich zur Problemlösung beiträgt. Zum Beispiel der großflächige Einsatz von Lösungsmitteln, die das Ölproblem in den Meeren bekämpfen sollen, löst das Öl nicht auf, sondern zersetzt es lediglich in kleinere Bestandteile, die dann ungehindert in den Organismus der Tiere eindringen können. Das Problem wird somit nur in ein

---

<sup>7</sup>Vgl. Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 132 f.

anderes, weniger offensichtliches umgewandelt. Die Zeit, die für solche Maßnahmen investiert wird, hätte man meiner Meinung nach nützen können, um eine umfassende Infrastrukturwende hin zu erneuerbaren Energien zu vollziehen. „Ohne etwas loszulassen, kann nichts Neues entstehen“<sup>8</sup>, formulierte die Klimaforscherin Helga Kromp-Kolb treffend. Eine Energieversorgung, sowie der extreme und teilweise äußerst unvernünftige Einsatz von Materialien basierend auf Erdöl darf in Zukunft nicht mehr toleriert werden. Die finanziell lukrativen Gründe im Wirtschaftssektor dürfen nicht ausschlaggebend sein, für Entscheidungen, die den Umgang mit den Ressourcen unseres Planeten betreffen. Dass sich durch die schmelzenden Eisschilde nun auch zusehends die letzten Refugien unseres Planeten erschließen lassen, wird in Wirtschaftskreisen bereits jetzt gefeiert und von Seiten der Politik sogar noch staatlich finanziell gefördert.<sup>9</sup> Was sich wie ein Science-Fiction Krimi im Stil George Orwells liest, ist ernüchternde Realität. In ihrem Buch „Vom Ende der Welt“ schreiben die schon erwähnten Historiker Oreskes und Conway aus der Sicht einer auf dem künftigen, von den Klimafolgen geprägten Planeten lebenden Gesellschaft, „dass die Macht nicht in der Hand jener lag, die über die größten Kenntnisse über das Klimasystem verfügen, sondern bei politischen, wirtschaftlichen und sozialen Institutionen, die ein starkes Interesse

---

Video: ORF 1, Helga Kromp-Kolb (30.11.2016): Quantensprung <sup>8</sup>

Vgl. Oreskes, Naomi und Conway, Erik M. (2015): Vom Ende der Welt, oekom, München, S. 39 <sup>9</sup>

an der Aufrechterhaltung des „energetischen Status quo“ hatten.“<sup>10</sup> Dieses Phänomen, das weitgehend von einem Netzwerk mächtiger Unternehmen ausgeht (Produzenten fossiler Brennstoffe, Öl-Bohrunternehmen, Dienstleistungen rund um die Erdölexploration, Baufirmen, Auto- und Flugzeughersteller, Marketingunternehmen,...), bezeichnen die Autoren als „fossilen Verbrennungskomplex“.<sup>10</sup>

**Ich möchte die unsere ökologischen Probleme dulden-  
de oder gar ignorierende Gesellschaft mit meiner Arbeit  
wachrütteln und aufzeigen, dass es sehr wohl Alternati-  
ven zum jetzigen Energiegewinnungssystem gibt und der  
rücksichtslose Umgang mit unseren Ressourcen dring-  
lich zu überdenken ist. Tagtäglich wird an einer Vielzahl  
von Möglichkeiten geforscht, die auch schon vereinzelt  
Einsatz finden und dabei die letzten Refugien unseres  
Planeten schützen und den Klimawandel eindämmen.  
Einen energieautarken Zyklus zu gewährleisten,  
der einen Lösungsansatz für das enorme Müllprob-  
lem in den Meeren mit den Anforderungen und Aus-  
stattungen einer marinen Forschungsstation ver-  
eint, habe ich mir mit dieser Arbeit zum Ziel gesetzt.**

---

<sup>10</sup>Oreskes, Naomi und Conway, Erik M. (2015): Vom Ende der Welt, oekom, München, S. 56

”

Die gewaltigen Probleme unserer Zeit können nicht mit derselben Denkart gelöst werden, welche jene Probleme hervorgebracht haben.

Albert Einstein

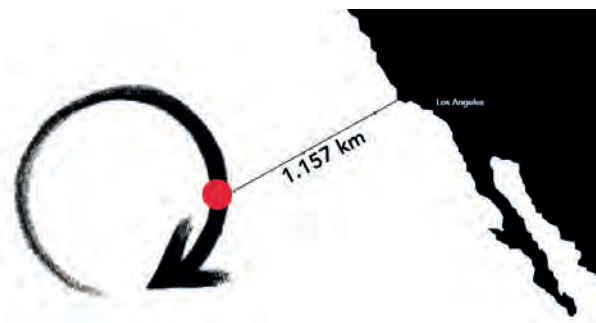
“

## BEDINGUNGEN AUF HOHER SEE

# 3

### ENTFERNUNG ZUM FESTLAND

Bereits die geringste Entfernung zwischen der Ostküste der USA und dem nordpazifischen Müllwirbel beträgt über tausend Kilometer. Um sich dies besser vorstellen zu können: Diese Distanz entspricht in etwa jener zwischen Wien und Paris und würde eine etwa 12-stündige Autofahrt erfordern.<sup>1</sup>



Um einen Komplex aus schwimmender Forschungsstation

und Plastikfiltration so gut wie möglich an die gegebene Situation auf hoher See anpassen zu können, ist es notwendig, die klimatischen Bedingungen im Bereich der stark verschmutzten Meeresgebiete zu analysieren. Die Entfernung zum Festland sowie die Meerestiefe helfen zudem, sich über eventuell nötige bauliche Maßnahmen bewusst zu werden. Da die Analyse jedes einzelnen Bereiches der Meere ein zu hohes Ausmaß annehmen würde, werde ich die für die Planung relevanten Parameter anhand des am stärksten verschmutzten Gebietes der Ozeane darstellen: dem nordpazifischen Müllwirbel.

<sup>1</sup>Vgl. Google Maps

## WASSEITEMPERATUR

Die Meeresoberflächentemperatur in den oberen und dadurch für den Bau der Plastik filtrierenden Forschungsstation relevanten Schichten der Ozeane wird als kalorische Mitteltemperatur angegeben und von Schiffen, Bojen oder Fischloggern gemessen. In den Tropen, also auch im Pazifik, betragen die höchsten gemessenen Temperaturen 28°C bis maximal 30°C. Die Minimumtemperatur liegt in den oberen Schichten der Weltmeere bei -1,8°C, was dem Gefrierpunkt von Meerwasser entspricht.<sup>2</sup>

## STRÖMUNG

Im Zentrum eines subtropischen Müllwirbels herrscht ungewöhnliche Windstille, was für eine ruhige Seelage und eine sehr geringen Strömung sorgt. Am Rand des Wirbels herrschen allerdings weitaus intensivere Strömungsverhältnisse mit Geschwindigkeiten zwischen 3-4 km/h (1 m/s) und Maximalwerten von 7 km/h (2 m/s).<sup>3</sup>

---

Vgl. ENSO-Lexikon: Meeresoberflächentemperatur <sup>2</sup>  
Vgl. SEOS: Meeresströmungen - Die großen Meereswirbel <sup>3</sup>

WIND

Innerhalb der Meereswirbel herrscht gewöhnlich nahezu absolute Windstille.<sup>4</sup>

MEERESTIEFE

Die Meerestiefe liegt im Bereich des nordpazifischen Müllwirbels zwischen 4.500 und 6.000 Meter.<sup>5</sup>

LUFTTEMPERATUR

Die Lufttemperatur liegt im Sommer (gemessen am 28.8.2017) bei etwa 23°C und im Winter (gemessen am 10.1.2017) bei etwa 19°C.<sup>6</sup>

LUFTFEUCHTIGKEIT

Im Sommer (gemessen am 28.8.2017) liegt die relative Luftfeuchtigkeit bei etwa 80% und im Winter (gemessen am 10.1.2017) bei etwa 75%.<sup>7</sup>

---

<sup>4</sup>Vgl. SEOS: Meeresströmungen - Die großen Meereswirbel

<sup>5</sup>Vgl. GeoInfo: Meerestiefe

<sup>6</sup>Vgl. Weather 365: Temperatur

<sup>7</sup>Vgl. Weather 365: Feuchtigkeit



## VORKOMMEN MARINER ORGANISMEN

Die starke Sonneneinstrahlung auf hoher See wärmt das Wasser bis in beachtliche Tiefen, was eine starke Verdunstung des Oberflächenwassers zur Folge hat. Dies erhöht den Salzgehalt und verringert die thermohaline Zirkulation. Dadurch wird der vertikale Wasseraustausch der horizontalen Wasserschichten und somit die Nährstoffanreicherung in allen Bereichen der Wassersäule vermindert. Für die marine Fauna und Flora stellt dies keinen attraktiven Lebensraum dar.<sup>8</sup>

## NIEDERSCHLAG

Weder im Sommer noch im Winter (gemessen am 28.8. und 10.1.2017) finden im Bereich des nordpazifischen Müllwirbels erhebliche Niederschläge statt. Die maximalen Niederschlagswerte belaufen sich auf 2-4 mm pro Tag.<sup>9</sup>

---

Vgl. SEOS: Meeresströmungen - Die großen Meereswirbel <sup>8</sup>

Vgl. Wheather 365: Niederschlag <sup>9</sup>

## PROJEKTE ZUR MARINEN MÜLLBEKÄMPFUNG

# 4

Zahlreiche Versuche wurden bereits unternommen, teils bislang theoretisch, teils bereits realisiert, um dem Problem durch die marine Verschmutzung Herr zu werden. Die folgende Auflistung aller relevanten Projekte soll mir dabei helfen, ein möglichst energiesparendes, umweltschonendes, wartungs- und kostenarmes Filtrationssystem zu entwickeln.

## FISHING FOR LITTER

Bereits im Jahr 2000 entstand in den Niederlanden die Idee für diese Initiative, die seit 2003 auf europäischer Ebene durch das Netzwerk Kommunenes Internasjonale Miljøorganisasjon (KIMO) organisiert wird. Kommunen und Fischer, die als eine der Ersten das zunehmende marine Müllproblem erkannten, engagieren sich mit bereits mehr als 35 beteiligten Häfen und fast 350 Fischereifahrzeugen an diesem Projekt. Da es in Deutschland bislang keine Fishing for Litter-Initiative gibt, unterstützt sie der NABU (Naturschutzbund Deutschland) bei ihrem Aufbau und finanziert diese gemeinsam mit der öffentlichen Hand. Die Fischer der Weltmeere bringen nicht nur Meerestiere an Land, sondern auch erhebliche Massen Müll. Das Projekt Fis-

hing for Litter bietet die Möglichkeit, den in den Netzen gefangenen Abfall fachgerecht und kostenfrei zu entsorgen. Der NABU koordiniert dabei die Logistik und die Kommunikation der Projektpartner. Anfang 2012 wurde begonnen die gesammelten Abfälle zu untersuchen, um mehr Informationen



Fishing for Litter - Fischer entsorgen ihren Beifang

Abb. 12: NABU, Kim Detloff

über den Verschmutzungsgrad der Meere und die Zusammensetzung sowie die Herkunft des Mülls zu analysieren.<sup>1</sup>

Dieses Projekt wirft laut Stefanie Wagner, die am Umweltbundesamt Deutschland im Bereich des Meerschutzes tätig ist, aber einige ökologische Fragen auf. Laut ihr müsste man eine Umweltbilanz aufstellen, da die Auswirkungen der Grundschieppnetzfisherei erheblichen Schaden für das weltweite Ökosystem bedeuten könnten. Hinzu kommt die ernüchternde Tatsache, dass auf diese Weise nur marginale Mengen an marinem Müll an Land gebracht werden können.

Im Mai 2011 wurde von Maria Damanaki, der EU-Kommissarin für maritime Angelegenheiten und Fischerei, medial eine andere Idee vorgeschlagen: Die Fischer sollten anstatt von Meerestieren mit ihren Netzen Müll sammeln und dafür entlohnt werden. Ein reduziertes Müllaufkommen im Ozean bei gleichzeitiger Eindämmung der Überfischung - so die Idee hinter diesem Vorschlag, der allerdings rasch Kritik erntete. Fischer, die mit Schleppnetzen den Seeboden und somit den Lebensraum zahlreicher mariner Lebewesen zerstören, dürften keinesfalls durch Subventionen auch noch gefördert werden.<sup>2</sup>

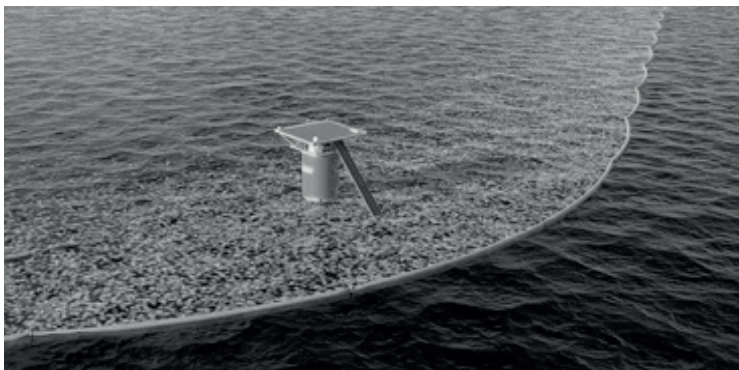
---

<sup>1</sup> Vgl. Fishing for Litter, NABU: Müll fischen für saubere Meere

<sup>2</sup> Vgl. Deutschlandfunk: Die Entmüllung der Meere

## THE OCEAN CLEANUP

Der damals 19-jährige Student für Luft- und Raumfahrtstechnik Boyan Slat entwickelte 2011 an der TU Delft das Konzept für einen riesigen schwimmenden Filter, der die Meere vom Plastikmüll befreien soll. Die Konstruktion funktioniert als Müllbarriere, die auf der Meeresoberfläche treibt. Sie setzt sich aus einer am Meeresboden fixierten Plattform und seitlich daran angebrachten Auslegern zusammen. Dabei macht man sich die natürliche Meeresströmung zu Nutze, um die Plastikpartikel automatisch in Richtung der Sammelstation zu befördern.<sup>1</sup> An den 50 Kilometer langen Auslegern sind bewegliche Vorhänge befestigt, die den Abfall auffangen. Auf große Netze wird aber bewusst verzichtet, um Meeresbewohner und Pflanzen nicht in Mitleidenschaft zu ziehen.



The Ocean Cleanup - Müllsammelanlage mit 50 Kilometer langen Auslegern

Große Tiere, wie Wale oder Delfine, können laut dem Erfinder problemlos unter der Konstruktion durchschwimmen. Der in der Auffang-Plattform gesammelte Müll wird schließlich aus dem Wasser geholt und in Container verladen. Der

---

Vgl. Wirtschafts Woche, Artikel von Lara Sogorski (8.5.2013): 19-Jähriger will Meere von Plastikmüll befreien <sup>1</sup>

Abb. 13: Eco Watch

Verkauf des Altplastiks soll eine profitable Durchführung garantieren und Solarzellen die benötigte Energie für die Plattformen bereitstellen.<sup>2</sup> Slat geht davon aus, dass pro Anlage 65 Kubikmeter Müll pro Tag eingesammelt werden können. Ziel ist es, dadurch in nur fünf Jahren 7,25 Millionen Tonnen Plastikmüll, was dem Gewicht von 1000 Eiffeltürmen entspricht, aus den Weltmeeren zu fischen. Laut Slat ist dafür der Einsatz von fünf seiner Konstruktionen notwendig, die innerhalb der fünf größten Müllwirbel in den Ozeanen platziert werden sollen.<sup>3</sup> Dieses Unterfangen wurde auf Kosten von sechs Milliarden Euro berechnet, was vorerst erschreckend hoch wirkt. Im Verhältnis zu den Kosten von bisherigen Ansätzen zur ozeanischen Müllbekämpfung ist diese Summe aber eher gering. Zum Vergleich: alleine die 15 Eurofighter haben den österreichischen Steuerzahlern rund 2,5 Milliarden Euro gekostet. Trotz einer 500 Seiten langen Machbarkeitsstudie, die zahlreiche Berechnungen, einen überarbeiteten Entwurf, sowie einen 40 Meter langen Prototyp beinhaltet, wird beinahe an jedem Punkt des Entwurfes Kritik verübt. Insbesondere wurde daran gezweifelt, dass gewisse Teile der Konstruktion tatsächlich keine Gefahr für die marine Fauna und Flora darstellen. Man vermutet, dass die Netze Plankton einfangen würden, und somit die Nahrungsgrundlage für zahlreiche Meereslebewesen in Gefahr wäre.

---

<sup>2</sup>Vgl. Wie wir wollen, Artikel von Michael Bonvalot: Ich will die Weltmeere von Plastik befreien

<sup>3</sup>Vgl. Wirtschafts Woche, Artikel von Lara Sogorski (8.5.2013): 19-Jähriger will Meere von Plastikmüll befreien

Dass mit dem Ocean Cleanup-Projekt rund 80 Prozent aller Plastikteile eingefangen werden können, die größer als 3,5 Millimeter sind, stellt bislang zwar das Team um Slat zufrieden, nicht aber eine Vielzahl an Kritikern. Der Plastikmüll zerfällt sich relativ schnell in immer kleinere Teile, die als besonders problematisch für die globale Nahrungskette gelten. Am ursprünglichen Modell wurde zudem kritisiert, dass eine Gefahr bestehe, dass starke Stürme die Schläuche aus der Verankerung reißen könnten. Das Konzept wurde bereits modifiziert, doch eine 100-prozentige Garantie für eine Konstruktion, die jeglichen Witterungen standhält, ist nach wie vor nicht gegeben. Falls die Schläuche aus ihrer Verankerung gelöst werden, sollen sie laut Slat später wieder eingesammelt und erneut montiert werden. Schließlich wird Slat vorgeworfen, dass sein Konzept dazu beitragen könnte, das Plastikproblem sogar zu verstärken und eine Behebung dessen hinauszuzögern. Wenn es so einfach ist die Ozeane wieder vom eingetragenen Müll zu befreien, dann wäre es ja nicht mehr notwendig, sich um die Müllvermeidung Gedanken zu machen. Stiv Wilson von der Meeresschutz-Organisation 5 Gyres, die sich ebenfalls der Bekämpfung des Plastikmülls in den Meerestrudeln widmet, meint sogar, dass die Reinigung der Meereswirbel „eine Prophezeiung aus dem Märchenland [ist]. [...] Die Idee spielt der Industrie in die Hände, und

schlimmer noch, sie lenkt von den weniger aufregenden, realistischen Lösungen ab.“<sup>4</sup> Er bezweifelt zudem die Stabilität der geplanten Anlage, da die weltweit tiefsten Ankerkonstruktionen derzeit einen Tiefgang von über 2500 Metern nicht überschreiten und somit eine sichere und dauerhafte Verankerung nicht gewährleistet werden kann. Das Team um Slat unterschätze laut dem Wissenschaftler die Risiken durch Seegang, Stürme und Meeresströmungen. Die mögliche Verkrustung der Barrieren durch Meeresorganismen stellt laut Forschern ein weiteres Problem dar. Die Materialien könnten stark angegriffen und beschädigt werden. Die Anlage wäre in Folge unbrauchbar und ihre Funktionstüchtigkeit nur sehr kostenintensiv wieder herstellbar. Slat's Machbarkeitsstudie weist diese Probleme selbst auf, jedoch werden sie aus Sicht der Forscher als zu wenig gravierend eingestuft.<sup>5</sup> Miriam Goldstein und Kim Martini gehen sogar noch einen Schritt weiter und erklären das The Ocean Cleanup-Projekt als zum Scheitern verurteilt. Sie weisen darauf hin, dass bei der ersten Versuchsanlage vor den Azoren weder die Strömungsverhältnisse realistisch waren noch der Beifang von Tieren und Pflanzen überprüft wurde. Dass Slat zudem gerade einmal vier Plastikteile eingefangen hat, die er zuvor selbst ins Meer warf, sehen sie als Beweis genug, dass dieses Unterfangen die physischen und finanziellen Mühen nicht wert ist.<sup>6</sup> „Da wir

---

<sup>4,5</sup> Wie wir wollen, Artikel von Michael Bonvalot: Ich will die Weltmeere von Plastik befreien

<sup>6</sup> Vgl. Süddeutsche Zeitung, Artikel von Sarah Zierul (20.8.2014): Forscher warnen vor Ozean Filtern



etwas vorhaben, das nie zuvor unternommen wurde, ist es wahrscheinlich, dass wir auf viele unerwartete Dinge stoßen“<sup>7</sup>, kontert Slat gegenüber der Süddeutschen Zeitung im Bezug auf die Kritik an seinem bisherigen Verfahren. Ob The Ocean Cleanup tatsächlich funktionieren kann ist derzeit noch unklar. Dennoch ist sicher, dass dieses Projekt die Aufmerksamkeit auf ein wesentliches ökologisches Problem gelegt hat und somit zweifellos einen wichtigen Fortschritt in der Erkenntnis unseres rücksichtslosen Umganges mit unserem Planeten erbracht hat.

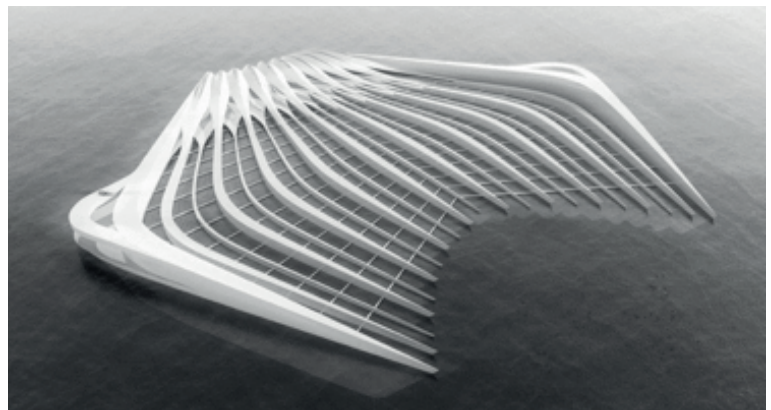
---

Vgl. Süddeutsche Zeitung, Artikel von Sarah Zierul (20.8.2014): Forscher warnen vor Ozean Filtern <sup>7</sup>

## PACIFIC GARBAGE SCREENING

Das Abschlussprojekt der damaligen Architekturstudentin Marcella Hansch sieht eine 400 mal 400 Meter große Plattform vor, die innerhalb der ozeanischen Müllstrudel am Meeresboden verankert wird. Die Konstruktion reicht bis 35 Meter unter die Meeresoberfläche und filtert Plastikpartikel passiv aus dem Wasser. Die architektonische Form beruhigt und verlangsamt die Strömung, während zusätzliche horizontale Unterteilungen diesen Prozess unterstützen und eine Art Kanalsystem schaffen, das die Plastikpartikel durch ihren eigenen Auftrieb, an die Oberfläche steigen lässt. An der Wasseroberfläche wird der Müll schließlich als eine Art „Umkehr-Sedimentation“ abgeschöpft. Meeresbewohner können einfach durch die Kanäle schwimmen und würden nicht in Netzen hängen bleiben und qualvoll verenden.<sup>1</sup>

Aufgrund von Erosion, Salzwasser und Sonne sind die Polymerketten der Partikel so kurz, dass ein sinnvolles Recycling nicht mehr möglich ist. Stattdessen werden die Partikel mittels einer Plasma-vergasungsanlage verwertet. Da-



PGS - Plastik filtrierende Anlage

<sup>1</sup> Vgl. forum - Nachhaltig Wirtschaften, Das Entscheider-Magazin, Interview mit Marcella Hansch, S. 20-21  
Abb. 14: Pacific Garbage Screening

durch Brennstoffzellen zu elektrischer Energie, die die Plattform selbst versorgen soll. Das CO<sub>2</sub> wird Algenkulturen zugeführt, denen es als Grundnahrungsmittel dient. Entzieht man den Algen in ihrer Wachstumsphase Schwefel, produzieren sie nicht wie in ihrem natürlichen Vorkommen Sauerstoff, sondern Wasserstoff. Aus der Biomasse der Algen wird anschließend biologisch abbaubarer Algenkunststoff erzeugt. Das Pacific Garbage Screening ist ein ökologisch nachhaltiges Gebilde, das sich autark und CO<sub>2</sub>-neutral der Bekämpfung des marinen Müllproblems annimmt und zudem einen biologisch abbaubaren Rohstoff generiert.<sup>2</sup>

Da dieses Projekt bislang noch keinen Prototypen hervorgebracht hat, oder sonstige Schritte in Richtung der tatsächlichen Realisierung getätigt wurden, bleibt auch die Kritik daran noch weitgehend aus. Womit das Team um Marcella Hansch allerdings mit Sicherheit rechnen muss, ist die Kritik an der gewählten Verankerungsmethode, beziehungsweise an einer prinzipiellen Möglichkeit der Verankerung eines solchen Komplexes in 4000 Meter Tiefe. Wie schon Boyan Slat erfahren musste, wird eine Verankerung in so großen Tiefen am Meeresboden als äußerst problematisch erachtet. Der erhebliche Kostenfaktor des Pacific Garba-

---

Vgl. Pacific Garbage Screening <sup>2</sup>

## MÜLLSAMMEL-KATAMARAN

Im Auftrag des Vereins One Earth - One Ocean erbaute die Werft gegenüber der Lübecker Altstadt (im Südosten Schleswig-Holsteins an der Ostsee) einen Katamaran, der eingesetzt werden soll, um den Müll aus den Meeren zu fischen. Der Vorsitzende von One Earth - One Ocean, Günther Bonin, hat zusammen mit dem Kieler Ingenieur Dirk Lindenau und der Werft an dem Schiffsentwurf gearbeitet, der zwischen zwei jeweils zwölf Meter langen Rümpfen eine bewegliche Netzkonstruktion vorsieht. Der durch Solarenergie angetriebene Katamaran soll die an der Oberfläche treibenden Kunststoffteile während der Fahrt einfangen. Eine besondere Herausforderung war die Vorgabe der modularen Bauweise: Der Katamaran sollte in 8 Teile zerlegbar sein, um anschließend in Container verpackt und an jeden Ort der Erde gebracht werden zu können. Pro Fahrt soll die „Seekuh“ rund zwei Tonnen Müll aufnehmen, die in Folge an Land recycelt werden sollen. Da die Netze nur etwa drei bis vier Meter in die Tiefe reichen, ist der Einsatz dieses



Müllsammel-Katamaran „Seekuh“

---

Abb. 15: Wassersport, Frank Brodmerkel, OEEO

Gefährts auf Küstennähe und Binnenwasser beschränkt. Zur Zeit arbeitet man an einem Folgeprojekt: dem „See-Elefanten“. Er soll den Plastikmüll nicht nur einsammeln, sondern daraus auch Energie gewinnen, um sich selbst anzutreiben.<sup>1</sup>

Dass dieses Projekt viele Punkte aufweist, die weder Umweltschützer, Forscher, noch Wissenschaftler gutheißen können, liegt, denke ich, mittlerweile auf der Hand. Das Fischen mit Netzen stellt, ganz zu Schweigen vom kommerziellen Einsatz im Tätigkeitsfeld der Fischerei, eine große Gefahr für das marine Leben dar. Schwerwiegende ökologische Probleme könnten die Folge sein, wenn Pflanzen und Tiere durch den Einsatz der Netze zu Schaden kommen, oder sogar sterben. Sind die Netze zu feingliedrig stellen sie eine erhebliche Gefahr für das marine Ökosystem dar, sind sie allerdings grobgliedrig genug, um Lebewesen und Pflanzen hindurch zu lassen, gilt das gleiche für die Plastikteile. Eine Säuberung mit Netzen wäre in diesem Fall sinnlos. Zudem bedeutet der Einsatz mit Netzen dieser Art nur eine Reinigung der Meeresoberfläche. Das Vorkommen des Mülls reicht aber bis 30 Meter Tiefe unterhalb der Wasserlinie. Es würde nicht nur einen sehr geringen Anteil des Müll-Problems beheben, sondern zudem auch nur einen Lösungsansatz für das Makroplastik darstellen. Das weit aus gefährlichere Mikroplastik, durch das die ökologische Grundlage des Lebens

---

Vgl. Welt N24 (3.1.2016): Lübecker Schiff soll Ozeane von Plastikmüll säubern <sup>1</sup>

im Meer zerstört werden könne, wird dabei gänzlich ignoriert. Dass der Einsatz durch Schiffe, seien es durch erneuerbarer Energie betriebene oder nicht, eine zusätzliche Belastung für das marine Ökosystem bedeutet, muss dabei ebenfalls erwähnt werden. Zudem gewährleisten Schiffe keineswegs die ausreichende Kapazität, um dem marinen Müllproblem den Kampf anzusagen. Projekte wie „The Ocean Cleanup“ oder „Pacific Garbage Screening“ konzipierten mit ihren passiven Anlagen, die sich die natürlichen Strömungsbewegungen zu nutze machen, diesbezüglich schon weit fortschrittlicher.

## PROJECT KAISEI

Das Kaisei Projekt (japanisch für „Ozean Planet“) ist eine wissenschaftliche Mission der Non-Profit-Organisation Ocean Voyages Institute (Los Angeles) zur Beseitigung des marinen Plastikmülls und zur Erforschung dessen. Die Säuberungsaktionen konzentrieren sich auf die großen Meereswirbel (Great Pacific Garbage Patches), die eine etwa 20-fache Plastikdichte im Vergleich zum globalen Durchschnitt aufweisen. Im Rahmen des Kaisei-Projektes wird das Ausmaß der Verschmutzung genauer untersucht, sowie das Material an sich. Ziel ist es, dieses aus den Meeren zu holen, zu entgiften und anschließend zu recyceln. Zwei Forschungsreisen (Sommer 2009 und 2010) wurden bereits getätigt, um die vom Ocean Voyages Institute, einer in Kalifornien ansässigen gemeinnützigen Organisation, geplante Säuberungsaktion vorzubereiten. Dabei wurden wissenschaftliche Untersuchungen der Plastikablagerungen im nordpazifischen Strömungswirbel, sowie eine Machbarkeitsstudie der Verwertungs- und Recyclingtechnologie unternommen. Es werden neue Fangme-



Project Kaisei - Mission zur Beseitigung des marinen Plastikmülls

gen im nordpazifischen Strömungswirbel, sowie eine Machbarkeitsstudie der Verwertungs- und Recyclingtechnologie unternommen. Es werden neue Fangme-

thoden untersucht, die einen niedrigen Energieeinsatz und eine geringe Abnutzung aufweisen. Außerdem werden verschiedene Technologien zum Recyclen der Plastikfragmente evaluiert, um eventuelle Sekundärprodukte aus den Abfällen herzustellen, was die Chance auf die Subventionierung eines solchen Projektes erhöhen soll.<sup>1</sup> Eine Vielzahl an Problemen stellt die Sinnhaftigkeit dieses Vorhabens allerdings in Frage: Der hohe Energie- und Kostenaufwand für Forschung, Planung und Durchführung neuer Technologien und Ausrüstungen, sowie die Komplexität der angedachten Fangart an sich, halten viele Forscher und Wissenschaftler für Grund genug, um dem Kaisei-Projekt keine Zukunftschancen in Aussicht zu stellen. Das System des Müll-Aufsammelns könnte zudem nach wie vor ein erhebliches Problem für die marine Fauna und Flora sein. Dass der Großteil der Plastikteile aufgrund der molekularen Strukturveränderung durch Erosion, Salzwasser und Sonne nicht mehr sinnvoll recycelbar ist, wurde bereits erwähnt. Dementsprechend ist dieses Vorhaben auch bei diesem Projekt zu hinterfragen. Ein politisches Problem kommt schwerwiegend hinzu: Große Teile der Meere liegen außerhalb von Hoheitsgewässern und somit außerhalb von ausschließlichen Wirtschaftszonen. Kein Staat möchte die Verantwortung und vor allem die Kosten einer solchen Säuberungsaktion übernehmen.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Vgl. Wikipedia: Project Kaisei, [https://en.wikipedia.org/wiki/Project\\_Kaisei](https://en.wikipedia.org/wiki/Project_Kaisei), 19.5.2017

<sup>2</sup> Vgl. Video: Arte: Waste-Continents in the Oceans - Müllkontinente aus Plastik



## PLASTIC REPUBLIC

Die iGEM-Stiftung (International Genetically Engineered Machine), eine gemeinnützige Organisation, die sich der Weiterentwicklung im Bereich der synthetischen Biologie widmet, betreibt im Rahmen dieses Forschungsgebietes den weltweit größten und bedeutendsten studentischen Wettbewerb. Im Rahmen des 2012 von Studenten des University College London eingereichten Projektes „Plastic Republic“ will man sich der Säuberung der Meere mit Hilfe von speziell entwickelten Organismen annehmen, die das Plastik sicher abbauen sollen.<sup>1</sup> Rasch stellten die Begründer dieser Idee

aber fest, dass es sinnvoller wäre, den Plastikmüll nicht einfach abzubauen, sondern als Ressource zu nützen. Demzufolge arbeiteten sie an einem neuen Organismus, der die Kunststoffpartikel zu großen Klumpen fügt und somit ein Fundament für eine neue Idee schaffen soll: Der Plastikmüll soll in künstliche Inseln verwandelt werden, die eine selbst-erhaltende Lebenswelt auf



Plastic Republic - fiktive Inseln aus Plastikmüll

Vgl. Video von UCLiGEM: Plastic Republic - UCL iGEM 2012 Fundraising video <sup>1</sup>

Abb. 17: iGEM

dem Ozean schaffen sollen. Natürliche Ressourcen sollen dafür sorgen, dass für 5000 Menschen ein urbaner Raum geschaffen wird. Nachhaltige Landwirtschaft und Seegras-Anbau liefern die notwendige Nahrung. Erneuerbare Energiequellen sorgen für Transport und Komfort im Alltag.

Dass unser künftiges Leben auf am Meer treibenden Inseln aus verklumptem Altplastik stattfinden soll, ist allerdings, wenn auch nachhaltig, nicht für jeden eine idyllische und erstrebenswerte Vorstellung. Auch Zukunftsforscher halten eine solche Form der Müllbeseitigung und gleichzeitigen Landgewinnung nicht unbedingt für ideal. Ganz abgesehen von der geringen Attraktivität eines solchen Agglomerats als Lebensbasis wäre der Kunststoff immer noch in den Meeren und somit auch dessen Giftstoffe.<sup>2</sup> Lebewesen und Pflanzen würden sich an die riesigen Gebilde anhaften und somit ihren Organismus nachhaltig schädigen. Zudem würden sich bestimmt durch die ununterbrochene Strömung der Meere Mikro- und Nanopartikel von den Kunststoffinseln ablösen und erneut in den globalen Nahrungskreislauf gelangen.

---

<sup>2</sup> Vgl. Deutschlandfunk: Die Entmüllung der Meere

## MÜLLBESEITIGUNGS-DROHNE

Sechs Studenten der französischen Elitehochschule Institut Supérieur de Design, darunter der mittlerweile bekannte Industriedesigner Elie Ahovi, haben im Rahmen eines Wettbewerbs des Großkonzerns Veolia das Konzept und den Entwurf der Müllbeseitigungsdrohne ins Leben gerufen.<sup>1</sup> Eine mit Netzen ausgestattete, zylinderförmige Drohne soll im Wasser innerhalb eines Zeitraums von zwei Wochen die treibenden Abfallteile einfangen. Damit nicht auch Tiere im Trichter landen, stoßen diese mobilen „Mülleimer“ einen Ultraschall aus. Nach ihrem Einsatz unter Wasser werden die Drohnen entweder auf einer schwimmenden Plattform oder an Bord eines Schiffes gereinigt und erneut ins Meer gesetzt. Die eingesammelten Kunststofffragmente sollen anschließend recycelt werden.<sup>2</sup>



Drohne „Veolia“ zur Beseitigung des marinen Mülls

Wie gewaltig dieses Unterfangen wäre, illustriert die US-Umweltbehörde NOAA: Mit 68 Schiffen würde man innerhalb eines ganzen Jahres nur ein einziges Prozent des Nordpazifiks vom Müll befreien können. Der Aktivist und Entdecker des Müllwirbels, Charles Moore, kalkuliert für die Säuberung aller fünf Kreisströmungen 1000 Boote, die 79 Jahre lang rund um die

Vgl. Page, Artikel von Daniel Schilling (30.7.2012): Formschön die Meere retten <sup>1</sup>

Vgl. Umwelt Dialog (3.8.2012): Hightech - Drohne jagt Plastikmüll im Meer <sup>2</sup>

Abb. 18: Page

Uhr das Wasser filtern. Diese Idee bleibt allerdings eine reine Hypothese, da weder die Technik schon derart ausgereift ist, noch eine Sinnhaftigkeit hinter diesem Einsatz zu vermuten ist. Es würde Unmengen an Energie verschlingen und zudem nur die Oberfläche der Ozeane reinigen.<sup>3</sup>

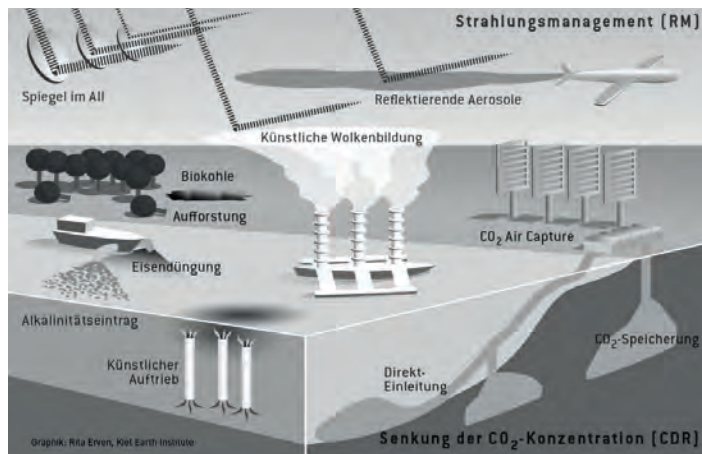
---

<sup>3</sup> Vgl. Deutschlandfunk: Die Entmüllung der Meere

## CLIMATE ENGINEERING

Neben baulichen Maßnahmen zur Wiederherstellung eines intakten marinen Ökosystems werden Chemikalien eingesetzt, die durch den Menschen beeinflussten Störungen der klimatischen, biologischen und chemischen Verhältnisse unseres Planeten wieder ausgleichen sollen. Im Fall der marinen Verschmutzung bezeichnet man den Eintrag von Chemikalien in die Meere als Climate Engineering. Dies soll je nach Zusammensetzung der Chemikalien verhindern, dass sich zum Beispiel das Plastik in den Meeren nicht zersetzt und die in ihm enthaltenen Toxine an die Umwelt freigibt. Ein anderes Beispiel aus dem Jahr 2010: Um die verheerenden Ausmaße der Ölkatastrophe im Golf von Mexiko so

gering wie möglich zu halten, wurde nach der Explosion der Ölbohrplattform Deepwater Horizon im Zeitraum vom 20. April bis zum 5. Mai 2010 rund eine Million Liter Chemikalien ins Meer eingetragen. Giftiges Lösungsmittel namens Corexit 9500 sollte das Öl tief unter Wasser dispergieren und so verhindern, dass es an die Oberfläche steigt und an Land geschwemmt werden kann. Dass sich das Öl dadurch nicht in Luft



Maßnahmen zur Wiederherstellung eines gesunden Klimas

auflöst, sondern in den Tiefen der Meere verteilt und an der Oberfläche weniger sichtbar erscheint, ist ein unglaubliches Vergehen am Ökosystem unseres Planeten. Nicht nur das Öl selbst, sondern nun auch die zusätzlichen Chemikalien stellen eine enorme Bedrohung für das Leben in den Ozeanen dar.<sup>1</sup> Algenblüten auslösende Eisenverbindungen ins Meer zu kippen, um somit zu erreichen, dass die Meere noch mehr CO<sub>2</sub> aus der Luft aufnehmen, zählt ebenfalls zu Vorschlägen aus Seiten des „Climate Engineering“ beziehungsweise „Geo-Engineering“. Der deutsche Meteorologe und Klimaforscher Mojib Latif bezeichnet ein solches Vorhaben schlicht als „Sterbehilfe für die marinen Ökosysteme“.<sup>2</sup> Laut Mojib sollten wir keinesfalls den Technokraten die Beseitigung unserer Umweltprobleme überlassen und der Forderung nachgeben, die Meere als Mülldeponie zu missbrauchen. Durch ein derartiges menschliches Eingreifen verschlimmert sich die Situation für das marine Leben und auch für das Leben an Land zusehends. Lösungsansätze, die das Problem der Verschmutzung der Meere nachhaltig bekämpfen, werden allerdings bislang nicht staatlich gefördert. Die großen Konzerne würden mit großer Wahrscheinlichkeit finanzielle Einbußen erleben, was wiederum unser neoliberales Wirtschaftssystem schwächen würde.

---

<sup>1</sup> Vgl. Wikipedia: Ölpest im Golf von Mexiko 2010 - Maßnahmen zur Säuberung

<sup>2</sup> Mojib Latif: Das Ende der Ozeane. Herder, 2014, S. 268

## BIOKUNSTSTOFF

Eine Abbaubarkeit des universell eingesetzten Materials, das aus unser aller Alltag kaum mehr wegzudenken ist, lässt sich schwer vereinbaren mit den Eigenschaften, die man von Produkten aus Plastik erwartet: Fest, belastbar, wasserabweisend und langlebig soll das Material sein. Wie soll also eine kurzlebige, schnell abbaubare Bioressource all diese Erwartungen erfüllen? „Unter heutigen Bedingungen wird ein bioabbaubarer Kunststoff einen Kunststoff, der Werkstoff ist, der also klassischerweise sehr langlebig sein soll, und über sein gesamtes Leben konstant seine Funktion erfüllen muss, nicht ersetzen können“,<sup>1</sup> meint Wolfgang Beier vom deutschen Umweltbundesamt dazu.

Bei einem Material, das sich nach kurzer Zeit von selbst auflöst, anstatt weiter verwertet zu werden, gehen wertvolle Energie und Ressourcen verloren. Gegenüber konventionellen Plastiksor-ten haben Biokunststoffe also kei-nen Umweltvorteil, so Beiers Fazit. Im Meer, besonders in großen Tie-fen, wo es feucht, kalt und dun-kel ist, zersetzen sich abbaubare Kunststoffe außerdem nur sehr langsam. Mit der Aufschrift „100



irreführendes Biosiegel:  
verleitet Konsumenten zum Kauf bei ausbleibendem Umweltvorteil

---

Deutschlandfunk: Die Entmüllung der Meere <sup>1</sup>

Abb. 20: Plastik schadet der Welt - Blog

Prozent kompostierbar“ wird der Konsument zum Kauf verleitet. Dieser Sachverhalt tritt aber nur unter Bedingungen ein, die in industriellen Kompostanlagen herrschen. Bioabbaubare Kunststoffe müssten sich laut Beier schlagartig auflösen, sobald sie ins Meer gelangen, um keine Gefahr für das marine Ökosystem darzustellen. Das wir jedoch niemals passieren, weil es schlicht und ergreifend nicht möglich ist.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Vgl. Deutschlandfunk: Die Entmüllung der Meere



## WEITERE ÜBERLEGUNGEN ZU MARINEN FILTERMETHODEN

Neben den bereits eingesetzten oder zumindest erforschten Methoden zur Bekämpfung des marinen Müllproblems ließen sich noch weitere Möglichkeiten zur Ökosystem-schonenden Filtration andenken:

### SELEKTION AUF INTELLIGENTER BASIS

Das Meerwasser mit all seinen Komponenten (Kunststoff, aber auch marine Fauna und Flora) nach oben zu pumpen, um in einer anschließenden Selektion auf intelligenter Basis (z.B. Scan durch Kamera) die marinen Organismen herauszufiltern zu können, wäre eine weitere Möglichkeit. Das übrig bleibende Gemisch aus Kunststofffragmenten und Salzwasser könnte in einen Verdampfer eingespeist werden und resultierend nicht nur die Plastikfragmente als Energieressource, sondern auch das nun entsalzte Meerwasser als Trinkwasser genützt werden.

### FÖRDERBAND MIT PLASTIK BINDENDER BESCHICHTUNG

Ein Förderband, das so tief wie das Vorkommen der Plastikfragmente reicht, könnte mit einer Beschichtung versehen werden, die den Kunststoff chemisch bindet. Das herangetriebene Plastik würde in Folge auf dem Förderband haften bleiben und in gewissen Zeitabständen über die Wasserlinie befördert werden.

## WAS BEDEUTET DIESE ANALYSE FÜR DIE PLASTIK FILTRIERENDE FORSCHUNGSSTATION?

# 5

Die Art der Behebung des Müllproblems in unseren Meeren darf nicht schädlicher sein, als das Problem an sich.

Bislang wurde an jedem Versuch, die Meere vom Plastikmüll zu befreien, sei er aktiv oder konzeptionell, Kritik verübt. Ich gehe nicht davon aus, dass mein eigener Lösungsansatz auf keinerlei Kritik stoßen wird, jedoch will ich aus den Erkenntnissen der bereits bestehenden Ansätze lernen und auf diesen aufbauen. Eine Zusammenfassung und anschließende Listung aller Probleme und Kritiken mit denen meine Kolleginnen und Kollegen im Zuge ihrer Arbeit bereits zu kämpfen hatten, sowie ein Überblick der vielversprechenden Ansätze sollen mir dabei helfen:

Wie schon erwähnt, bedeutet die Grundschieppnetzfischerei eine erhebliche Gefahr für das weltweite Ökosystem. Die mit dem „Fishing for Litter“-Projekt einhergehende Müllbeseitigung, die noch dazu einen kaum relevanten Beitrag zur Behebung des Problems inne hat, da auf diese Weise nur marginale Mengen des Mülls eingefangen werden können, ist somit keineswegs erstrebenswert. Der Katamaran „Seekuh“ bedient sich nahezu der selben Technik, um den marinen Müll einzusammeln, obwohl Netze ein erhebliches Gefahrenpotential für Fauna und Flora darstellen und zudem die Meere keineswegs ausreichend genug säubern. Auch die Drohne „Veolia“ oder die Mission des Project Kaisei könnten

sich nur der obersten Wasserschicht widmen und somit einen bescheiden geringen Prozentsatz des gesamten schwimmenden Plastikmülls einfangen. Hinzu kommt, dass sich der Lösungsansatz mit Netzen lediglich dem Problem des Makroplastiks widmet und die Gefahr, die von dem weitaus bedrohlicheren Mikro- und Nanoplastik ausgeht, gänzlich ignoriert wird. Das zusätzliche Gefahrenpotential durch den CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Müll sammelnden Schiffe wird offenbar vollkommen außer Acht gelassen. Mit dem Ansatz, sich die natürliche Strömung zu Nutze zu machen, um die Plastikpartikel automatisch in Richtung einer Sammelstation zu befördern, bedient sich Boyan Slat einer weitaus umweltfreundlicheren Methode. Der Bedarf der Verankerung seiner geplanten Konstruktion am Meeresgrund stellt aber leider zahlreiche Wissenschaftler und Techniker wenig zufrieden. Zudem können mittels diesem Konzept nur Plastikteile eingefangen werden, die größer als 3,5 Millimeter sind. Ein Herausfiltern des weitaus gefährlicheren Mikroplastiks erfolgt auch hier nicht. Die Funktionsweise der Umkehr-Sedimentation birgt Ansätze für einen rücksichtsvollen und schonenden Umgang mit dem marinen Ökosystem. Ein spezielles Kanalsystem macht sich die natürliche Strömung zunutze, um Plastikpartikel jeglicher Größe aufzunehmen. Weitere Bearbeitungsprozesse transformieren die eingefangenen Ressourcen in elektrisch nutzbare Energie und stellen somit einen vielversprechenden

Lösungsansatz dar. Das beim Verbrennungsvorgang der Plastikfragmente anfallende Kohlenstoffdioxid wird Algenkulturen zugeführt. Dadurch wird eine neue Energiequelle (Biomasse) genährt, bei gleichzeitiger Rücksichtnahme auf die zunehmende Klimaerwärmung durch den steigenden CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre. Die Verankerung eines baulichen Komplexes in 4000 Meter Tiefe wird allerdings auch diesem Projekt zum Verhängnis werden. Zudem kommt die Problematik, dass es dem Bau für das „Pacific Garbage Screening“ eines enormen Kostenaufwands bedarf, obwohl dieser den Anforderungen der Forschung auf hoher See keineswegs gerecht wird. Die Räumlichkeiten eines Forschungsschiffes müssen immer wieder an neue Gegebenheiten anpassbar und adaptierbar sein. Keine Forschungsmission gleicht der anderen und somit auch nicht die jeweils erforderlichen Ausrüstungen und Einrichtungen. Ein weiterer Kritikpunkt ist der starre Komplex dieser Architektur. Beschädigte Teile können nur mit hohem Arbeits- und Kostenaufwand ausgetauscht werden. Zudem ist es notwendig, den gesamten Bau in einer Werft zu fertigen und ihn in Folge tausende Kilometer mit Schiffen an den gewünschten Standort zu bringen. Der Ansatz, den Plastikmüll nicht aus den Meeren zu filtern, sondern einen neuen Organismus zu entwickeln, der diesen bindet, um künstliche Inseln aus Plastikmüll zu schaffen, behebt das Problem allerdings auch nicht ausreichend: Die vom Kunst-

stoff abgegebenen Giftstoffe sind weiter eine Komponente der Meere und bergen eine enorme Gefahr für alle Lebewesen der Erde. Durch die Einwirkung von UV-Strahlung und Erosion werden zudem weiter Partikel des Materials an die Umwelt abgegeben und finden Eingang in den globalen Nahrungskreislauf. Auch die Bemühungen den marinen Kunststoff-Abfall zu recyklieren, oder biologisch abbaubaren Kunststoff herzustellen, haben keinen relevanten Umweltvorteil. Dass die Maßnahmen, die man unter dem Begriff Climate Engineering versteht, keineswegs eine nachhaltige Relevanz für die Behebung des globalen Plastikmüllproblems darstellen, muss nicht näher erläutert werden. Die beiden eigens angedachten Vorschläge zur marinen Müllbekämpfung basieren zum einen auf Erkenntnissen der Forschung, die sich noch im Anfangsstadium befinden (chemische Bindung des Kunststoffes durch die Beschichtung des Förderbandes) und zum anderen stellen sie ein eventuelles Risiko für das marine Ökosystem dar (Verletzung/Tötung/Beschädigung durch Hinaufpumpen des Meerwassers). Auch die Präzision der Selektion auf intelligenter Basis ist nach jetzigem Forschungsstand noch zu hinterfragen.

Die folgende Listung aller positiven und negativen Aspekte der genannten Filtrationsmethoden soll bei der Entscheidungsfindung eines passenden Systems für die filtrierende Forschungsstation helfen.

## NEGATIVE ASPEKTE

- Müllsammeln mit Netzen jeglicher Art  
fischt nur an Oberfläche, fischt zu wenig effizient, fischt nur Makro-Plastik
- Müllsammeln mit Schiffen  
CO<sub>2</sub>-Ausstoß durch Schiffe ist bedenklich
- Verankerung in hohen Tiefen  
zu wenig technisch ausgereift, kostenintensiv
- Starres Raumkonzept  
muss flexibel an unterschiedliche Forschungsnutzung angepasst werden  
können und adaptierbar sein
- Komplexer und kostenintensiver Bau  
ein rascher und einfacher Aufbau auf hoher See muss gewährleistet sein,  
sowie eine möglichst kostenarme Bauweise
- Schwieriger Austausch von beschädigten Elementen der Konstruktion beziehungsweise eine aufwändige Reparatur  
auf hoher See muss die Wartung besonders reibungsarm funktionieren, um  
einen hohen Arbeits- und Kostenaufwand zu vermeiden
- Kunststoff-Inseln  
Toxine und Mikroplastik-Partikel werden weiter an die Umwelt abgegeben
- Biologisch abbaubarer Kunststoff  
durch selbstauflösendes Material Verlust wertvoller Ressourcen; um keine  
Gefahr für das marine Ökosystem darzustellen, müsste sich der Biokunststoff  
sofort im Wasser auflösen; weit nicht so fest, belastbar, wasserabweisend und  
langlebig wie herkömmlicher Kunststoff
- Climate Engineering  
auf lange Sicht schädlicher als das Müllproblem selbst
- Förderband mit chemischer Bindung der Kunststoffpartikel  
noch zu wenig ausgereift
- Selektion auf intelligenter Basis  
noch zu wenig ausgereift, eventuelles Risiko für marines Ökosystem

## POSITIVE ASPEKTE

- Kanalsystem mit Wirkung der Umkehr-Sedimentation  
sich den natürlichen Auftrieb der Kunststoffpartikel zu Nutze machen
- Fixer Standpunkt  
sich die natürliche Strömung zu Nutze machen und den Plastikmüll herantreiben lassen
- Plasmavergasung  
Transformation der nicht sinnvoll rezyklierbaren Abfallprodukte in nutzbare Energie
- Bei Plasmavergasung anfallendes CO<sub>2</sub> Algenkulturen zuführen  
diese als Biomasse zur Energiegewinnung nutzen

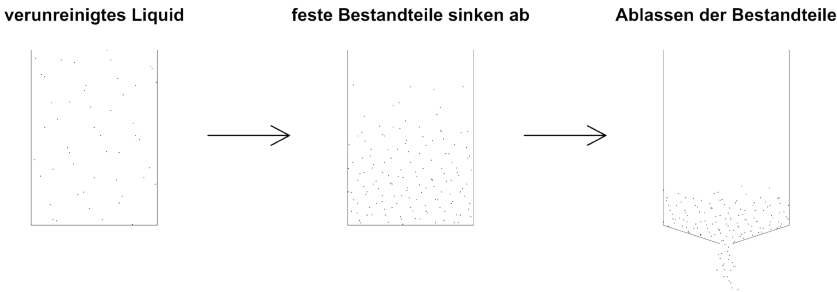
## GEWÄHLTES SYSTEM DER FORSCHUNGSSTATION RESULTIEREND AUS DER ANALYSE

### FILTRATION

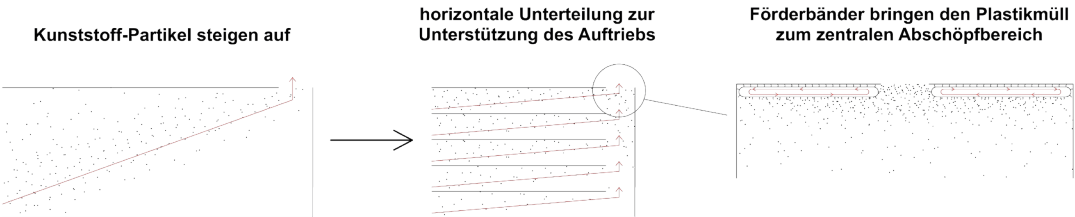
Während dem Filtrationsprozess ist die Forschungsstation fix stationiert, allerdings nicht durch eine Verankerung mit dem Meeresboden verbunden. Dies wird eine Herausforderung, aber dennoch machbar für das Antriebssystem, das die Konstruktion mittels GPS entgegen der Strömungsrichtung in Position halten muss. Man macht sich mit diesem Prinzip die Strömung allerdings auch gleichzeitig zum Nutzen: Die herantreibenden Kunststoffpartikel werden in bis zu 35 Meter tief reichenden Filtrationskammern gesammelt und ihr



**ANALOGIE: SEDIMENTIERBECKEN EINER KLÄRANLAGE**

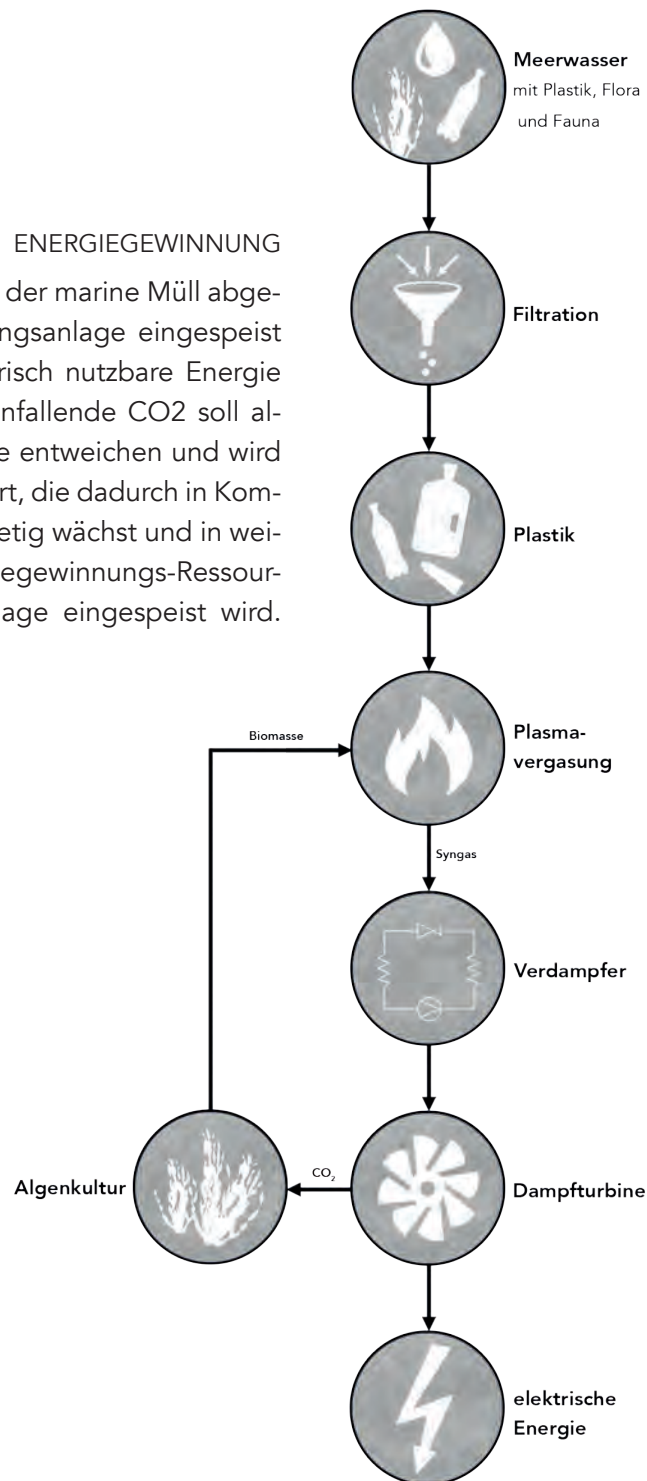


**ABLEITUNG: UMKEHR-SEDIMENTIERUNG DER PLASTIKFILTRATION**



**ENERGIEGEWINNUNG**

An der Wasserlinie wird in Folge der marine Müll abgeschöpft, in eine Plasmavergasungsanlage eingespeist und in weiteren Schritten elektrisch nutzbare Energie daraus gewonnen. Das dabei anfallende CO<sub>2</sub> soll allerdings nicht in die Atmosphäre entweichen und wird daher einer Algenkultur zugeführt, die dadurch in Kombination mit dem Sonnenlicht stetig wächst und in weiterer Folge als Biomasse Energiegewinnungs-Ressource in die Plasmavergasungsanlage eingespeist wird.



#### BAUWEISE

Eine möglichst materialsparende und leichte Bauweise ist dabei unumgänglich, sowie die Konstruktion modular zu konzipieren, um einen raschen und reibungsarmen Aufbau vor Ort gewährleisten zu können und spätere Wartungsarbeiten problemarm zu gestalten. Auch auf die sich durch die unterschiedlichen Nutzungen der Labore verändernden Anforderungen kann somit eingegangen werden. Flexibilität und Adaptierbarkeit spielen eine große Rolle bei Forschungsmissionen auf hoher See. Um den Arbeits- und Kostenaufwand gering zu halten, muss zudem ein möglichst einfacher und kostengünstiger Transport der Bauelemente gegeben sein. Die Dimensionierung muss sich also eines gewissen Rasters bedienen, um die vorgefertigten Elemente so platzsparend wie möglich auf einem Lastenschiff anordnen und befördern zu können.

## FORSCHUNGSSCHIFF

WIE UND WOZU WIRD AUF  
HOHER SEE GEFORSCHT?

# 6

Um das Plastikproblem in den Meeren in seiner Komplexität zu erfassen und daraus mögliche Lösungsansätze und Vermeidungsstrategien zu entwickeln, werden Meeresorganismen unter kontrollierten Bedingungen einer Mikroplastikbelastung ausgesetzt. An verschiedenen Standorten werden die selben Experimente durchgeführt, um zu analysieren, ob der Einfluss des Mikroplastiks auf die marinen Organismen standortspezifisch ist, oder sich überall der gleiche Effekt einstellt. Dabei werden nicht nur die Auswirkungen auf alle Organismen, die den Planeten beleben, untersucht, sondern auch die Reaktion der Materie unserer Erde. Da die ökologischen und gesellschaftlichen Faktoren in wechselseitiger Beziehung stehen, werden die wissenschaftlichen Forschungsergebnisse mit sozialwissenschaftlichen Faktoren verknüpft. Aus der Wechselbeziehung zwischen Mensch und Umwelt können Nachhaltigkeitsstrategien entwickelt werden, die in politische Maßnahmen einfließen können.<sup>1</sup>

Das wichtigste Mittel für Ozeanographen sind heute für ausschließlich wissenschaftliche Zwecke gebaute Schiffe. Während vor einigen Jahren häufig noch Frachtdampfer oder Fischereischiffe von Meereskundlern angemietet wurden, oder gelegentlich forschende Passagiere auf Handelsschiffen mitfahren, erleichtern die heute rund tausend rein für die

---

<sup>1</sup> Vgl. IBU - Universität Oldenburg, <http://www.macroplastics.de/index.php?page=wer-bloggt>

Forschung genutzten Schiffe die wissenschaftliche Arbeit auf dem offenen Meer.<sup>2</sup> Diese Schiffe bieten als mobile Labore Raum für die Aufgaben verschiedenster Disziplinen: Geologie, Meteorologie, Ozeanografie, Schiffbau, Fischereiwissenschaften, Meeresbiologie, Unterwasserarchäologie, Arktis-, Antarktis-, Eis-, und Polarforschung. Entsprechend der Fahrtbereiche hat sich eine internationale Klasseneinteilung durchgesetzt. Diese unterscheidet globale Forschungsschiffe, die auf allen Weltmeeren eingesetzt werden können, von ozeanischen Schiffen, die lediglich einen Ozean befahren.<sup>3</sup> Eine Forschungsreise muss im Vorfeld bis ins Detail genauestens geplant werden, um einen zu hohen Kostenaufwand zu vermeiden und die Expedition so effizient wie möglich zu gestalten. Eine wissenschaftliche Crew von 11 bis maximal 50 Personen (abhängig von der Mission und in Folge von der Schiffsgröße) arbeitet 14 bis 75 Tage physisch isoliert vom Festland an neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen, bevor das Forschungsschiff - anders als die ständig auf See stationierte beziehungsweise fahrende Forschungsstation - wieder in einem Hafen einkehrt. Weil wir über den größten aller Lebensräume unseres Planeten, der 98 Prozent der freien Wassermenge bindet, nach wie vor vergleichsmäßig wenig wissen, ist der Einsatz von modernen Forschungsschiffen mit einer entsprechend wissenschaftlichen Ausrüstung nötig. POLARSTERN, METEOR, SONNE,

---

Vgl. Rainer Crummenerl (2004): Was ist Was - Meereskunde, S. 7 <sup>2</sup>

Vgl. Wikipedia: Forschungsschiff <sup>3</sup>

MARIA S. MERIAN, POSEIDON, ALKOR, HEINCKE und ELISABETH MANN BORGESE heißen die deutschen Schiffe, die speziell für die Belange der Meeresforschung konstruiert wurden. Ihre Einsatzgebiete sind so vielseitig wie die Meeresforschung selbst und ihre Ausrüstung ist den Arbeiten in den Bereichen der Biologie, Geologie, Geophysik, Glaziologie, Geochemie, Ozeanographie und Meteorologie angepasst.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup>Vgl. Portal deutsche Forschungsschiffe

## ECKDATEN VERSCHIEDENER FORSCHUNGSSCHIFFE

### **POLARSTERN**

|                                     |                                                    |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Länge:                              | 118 m                                              |
| Reisegeschwindigkeit:               | 10,5 kn                                            |
| Seezeit (max.):                     | 75 Tage                                            |
| Wissenschaftliches Personal (max.): | 50 Personen                                        |
| Einsatzgebiete:                     | Nord- und Südpolarmeer                             |
| Vorlaufzeit für Fahrvorschläge:     | 3-4 Jahre                                          |
| Eigner:                             | BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) |

### **METEOR**

|                                     |                                                     |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Länge:                              | 98 m                                                |
| Reisegeschwindigkeit:               | 11,5 kn                                             |
| Seezeit (max.):                     | 50 Tage                                             |
| Wissenschaftliches Personal (max.): | 28 Personen                                         |
| Einsatzgebiete:                     | Atlantik, Ostpazifik, Westindik, Mittelmeer, Ostsee |
| Vorlaufzeit für Fahrvorschläge:     | 2 Jahre                                             |
| Eigner:                             | Bundesrepublik Deutschland (vertreten durch BMBF)   |

## **SONNE**

|                                     |                                                   |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Länge:                              | 116 m                                             |
| Reisegeschwindigkeit:               | 12,5 kn                                           |
| Seezeit (max.):                     | 52 Tage                                           |
| Wissenschaftliches Personal (max.): | 40 Personen                                       |
| Einsatzgebiete:                     | Indik, Pazifik                                    |
| Vorlaufzeit für Fahrvorschläge:     | 2-3 Jahre                                         |
| Eigner:                             | Bundesrepublik Deutschland (vertreten durch BMBF) |

## **MARIA S. MERIAN**

|                                     |                                                         |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Länge:                              | 95 m                                                    |
| Reisegeschwindigkeit:               | 12,5 kn                                                 |
| Seezeit (max.):                     | 35 Tage                                                 |
| Wissenschaftliches Personal (max.): | 22 Personen                                             |
| Einsatzgebiete:                     | Subpolares Nordmeer (Eisrand), Nordatlantik, Mittelmeer |
| Vorlaufzeit für Fahrvorschläge:     | 2 Jahre                                                 |
| Eigner:                             | Land Mecklenburg-Vorpommern                             |

## **POSEIDON**

|                                     |                          |
|-------------------------------------|--------------------------|
| Länge:                              | 61 m                     |
| Reisegeschwindigkeit:               | 9 kn                     |
| Seezeit (max.):                     | 21 Tage                  |
| Wissenschaftliches Personal (max.): | 11 Personen              |
| Einsatzgebiete:                     | Nordatlantik, Mittelmeer |
| Vorlaufzeit für Fahrvorschläge:     | 1 Jahre                  |
| Eigner:                             | Land Schleswig-Holstein  |



### **ALKOR**

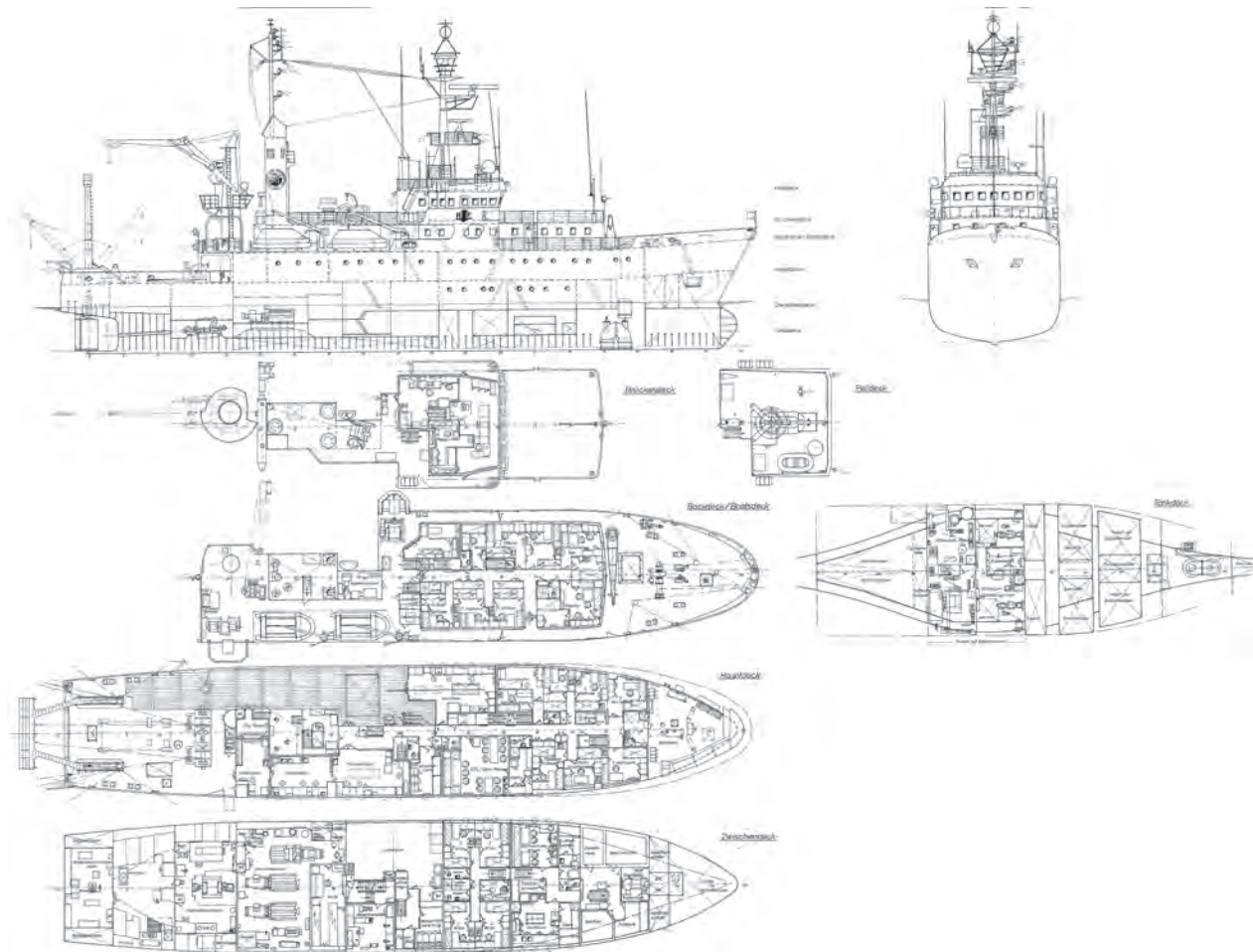
|                                     |                         |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Länge:                              | 55 m                    |
| Reisegeschwindigkeit:               | 12,5 kn                 |
| Seezeit (max.):                     | 21 Tage                 |
| Wissenschaftliches Personal (max.): | 12 Personen             |
| Einsatzgebiete:                     | Nord-, Ostsee           |
| Vorlaufzeit für Fahrvorschläge:     | 1 Jahre                 |
| Eigner:                             | Land Schleswig-Holstein |

### **HEINCKE**

|                                     |                       |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Länge:                              | 55 m                  |
| Reisegeschwindigkeit:               | 12,5 kn               |
| Seezeit (max.):                     | 21 Tage               |
| Wissenschaftliches Personal (max.): | 12 Personen           |
| Einsatzgebiete:                     | Nordsee, Nordatlantik |
| Vorlaufzeit für Fahrvorschläge:     | 1 Jahre               |
| Eigner:                             | BMBF                  |

### **ELISABETH MANN BORGESE**

|                                     |                             |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Länge:                              | 56,5 m                      |
| Reisegeschwindigkeit:               | 11 kn                       |
| Seezeit (max.):                     | 14 Tage                     |
| Wissenschaftliches Personal (max.): | 12 Personen                 |
| Einsatzgebiete:                     | Ostsee                      |
| Vorlaufzeit für Fahrvorschläge:     | 1 Jahr                      |
| Eigner:                             | Land Mecklenburg-Vorpommern |



## ANSICHTEN UND GRUNDRISSE DER POSEIDON

In den kommenden Kapiteln werden die wichtigsten Parameter eines Forschungsschiffes anhand des POSEIDON erklärt.

## AUSRÜSTUNG EINES FORSCHUNGSSCHIFFES

Eine Vielzahl an modernsten Großgeräten ist Teil der meereswissenschaftlichen Einrichtungen an Bord eines Forschungsschiffes. Neben dem generellen Inhalt und Ziel einer Reise muss die Verfügbarkeit und der notwendige Kostenumfang des Einsatzes eines speziellen Großgerätes bereits beim Einreichen des Fahrtvorschlages zwingend nachgewiesen werden.<sup>5</sup> Da schwierige Wetter- und Fahrbedingungen die oftmals monatelangen Forschungsreisen erschweren können, müssen die Schiffe besonders seetüchtig und manövrierfähig sein.<sup>6</sup> Spezielle Messgeräte und Anzeigen erleichtern die Fahrt unter komplexen Bedingungen auf hoher See.

- Geräte zum Absenken und Heben von Untersuchungsausrüstung: Heckgalgen, Arbeitskran, Schiebebalken, Ausleger, Proviantkran, Kranbahnen (Laufkatzen bringen die Lasten in verschiedene Bereiche)
- Geeignete Aussetz- und Schleppvorrichtungen zur Probenahme: Einleiterwinde, Schwerlastwinde, Vertikalwinde, Beiholerwinde, Einleiterschleppwinde, Kurrleinenwinde (Reservekabel, -drähte und -leinen müssen immer an Bord sein)<sup>7</sup>
- Videogreifer und Fotoschlitten
- Geräte zum Messen der Meerestiefe

---

<sup>5</sup> Vgl. Portal deutsche Forschungsschiffe

<sup>6</sup> Vgl. Rainer Crummenerl (2004): Was ist Was - Meereskunde, S. 7

<sup>7</sup> Vgl. Geomar (2015): FS Poseidon - Handbuch für Nutzer, S. 13 ff.

Abb. 21: Geomar, aus dem Handbuch des POSEIDON

Meteorologische Beobachtungsanlagen<sup>8</sup> •

Navigationshilfen: •

Satelliten-Empfangssysteme (GPS), Planungsanlage, Kreiselkompass, elektronische Seekarte, Tageslichtradar, Bordwetterstation (Sensoren für Schiffsgeschwindigkeit und -richtung, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur und -feuchte, Wassertemperatur, Luftdruck), Wassertemperaturanzeige, Winddatenanzeige, Lagesensor, elektronisch geführtes wissenschaftliches Stations- und Logbuch, Reiseassistent, Kommunikationseinrichtung (zu Land und intern)

Hydroakustische Anlagen (zum Messen der Meerestiefe): •

Flachwasserlot, Navigationslot, Tiefseelot, Fächerlote<sup>9</sup>  
Hubschrauberplattformen

Schwingungsarme •

Abfüllraum •

Aquarienraum •

Wissenschaftliche Stauräume<sup>8</sup> •

---

Vgl. Rainer Crummenerl (2004): Was ist Was - Meereskunde, S. 7 <sup>8</sup>

Vgl. Geomar (2015): FS Poseidon - Handbuch für Nutzer, S. 13 ff. <sup>9</sup>

- gut schallisolierte Laboratorien:  
Nasslabor, Trockenlabor, Chemielabor  
Die Labore sind oftmals als eine Art Container gestaltet, die austauschbar sind und somit einen vielseitigen Einsatz des Forschungsschiffes ermöglichen.<sup>10</sup> Das Nasslabor muss zudem über einen Zugang zum Arbeitsdeck verfügen. Die Raumtemperatur ist in den Laboren einzeln regulierbar. Die lichte Raumhöhe beträgt allgemein 2,1 m (unter Lüftungsöffnungen, Lampen und Feuermeldern oftmals weniger).  
Ausstattung: kunststoffbeschichtete und versiegelte Fertigmöbel, offene Regale unter den Tischen, Drehstühle, Bildschirm, Kommunikationseinrichtungen, Abfalltrennsystem (jeglicher Abfall muss an Land gebracht und dort fachgerecht entsorgt werden), magnetische Wände
- Versorgungsanschlüsse:  
Strom (Sondervorkabelung), Feuerlöschpumpe, Aquariumspumpe (Seewasser), Frischwassertank, Fäkalientank, Chemikali­entank, Schmutzwassertank (alle nicht-chemischen Abwasser werden dort gesammelt, geklärt und mit Salzlauge versetzt, bevor sie nach außen abgegeben werden; chemische Abwasser müssen an Land gebracht und dort entsorgt werden), Ballasttank<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> Vgl. Rainer Crummenerl (2004): Was ist Was - Meereskunde, S. 7

<sup>11</sup> Vgl. Geomar (2015): FS Poseidon - Handbuch für Nutzer, S. 13 ff.

Netzwerk (vLAN): •

zum Daten erfassen, darstellen, speichern, drucken, etc.

Arbeitsboote: •

Für Arbeiten außerhalb des Forschungsschiffes stehen das Bereitschaftsboot (Länge: 5,5 m, Breite: 2,2 m, Außenborder: 60 PS, Personen: 4) und optional ein weiteres Schlauchboot (Länge: 4,1 m, Breite: 1,6 m, Außenborder: 25 PS, Personen: 3) zur Verfügung.

Arbeitsdeck: •

Größe einschließlich 20' Containerstellplatz: 135 m<sup>2</sup>

Bodenbelag: Holz auf der Backbord-Seite

Reling: klappbare Stürze an der Backbord-Seite, die mit Kettenzügen verbunden sind und ganz oder teilweise entfernt werden können

Klapppodest (800 x 800 mm): an der Steuerbord-Seite bildet es im hochgeklappten Zustand die Reling, daneben befindet sich eine Pforte (lichte Weite: 1750 x 800 mm)

Pforte: achtern unter dem Heckgalgen (lichte Breite: 4380 mm)

See- und Frischwasseranschlüsse

Ladeluke: mit Schraubbuchsen im Raster von 760 x 1530 mm

Laschaugen/Klappbügel: an Schanzkleid und an den Aufbauten

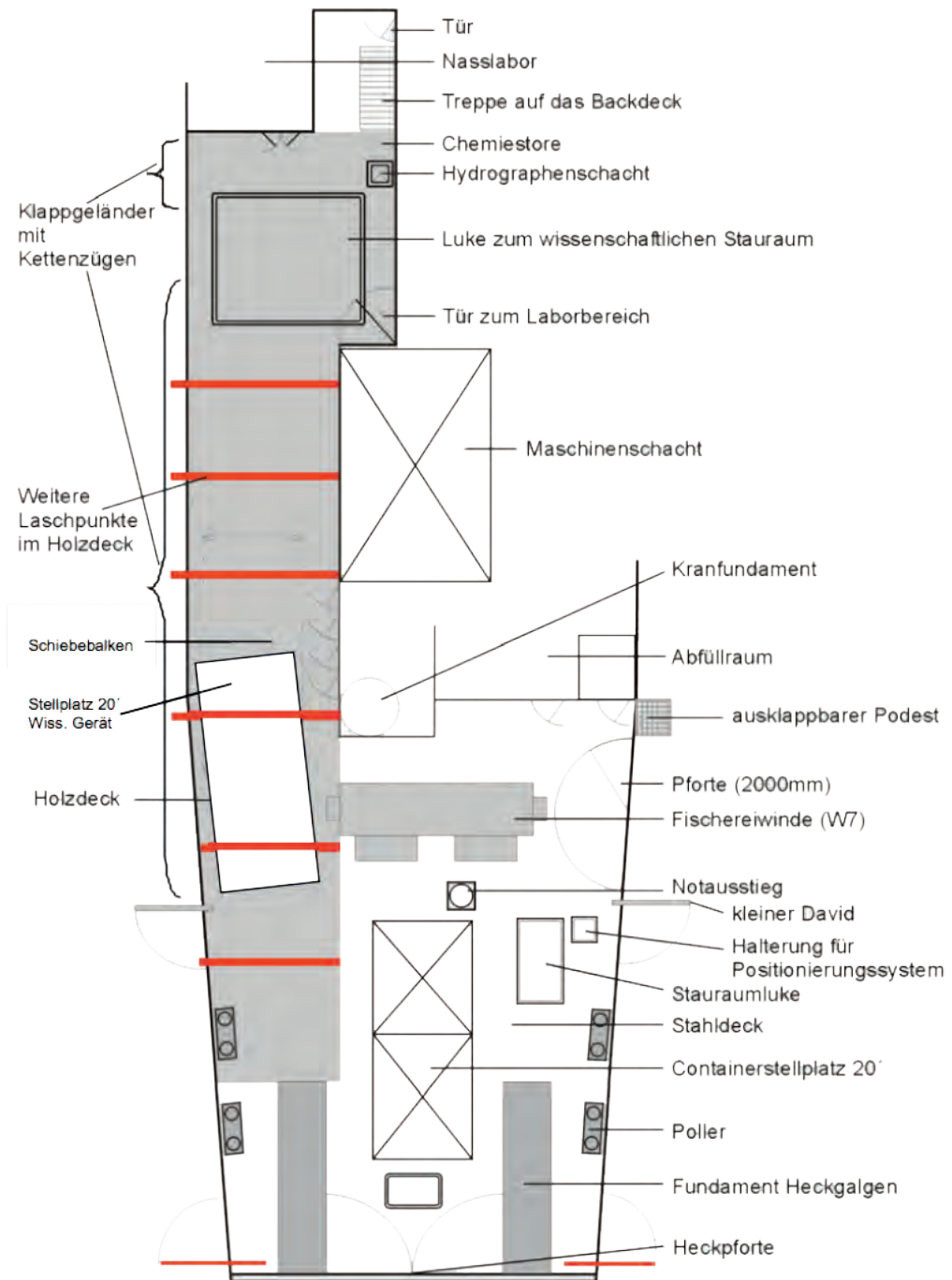
Anzeige des 12 kHz Tiefseelots: gut sichtbar an der Vorkante des Arbeitsdecks

Halterung für akustisches Positionierungssystem (GAPS/ORE): auf der Steuerbord-Seite achtern hinter der Seitenpforte; die Drehkippvorrichtung hierzu ist ständig an Bord<sup>12</sup>

---

Vgl. Geomar (2015): FS Poseidon - Handbuch für Nutzer, S. 13 ff. <sup>12</sup>

Abb. 22: Geomar, aus dem Handbuch des POSEIDON



schematischer Grundriss des Arbeitsdecks des POSEIDON





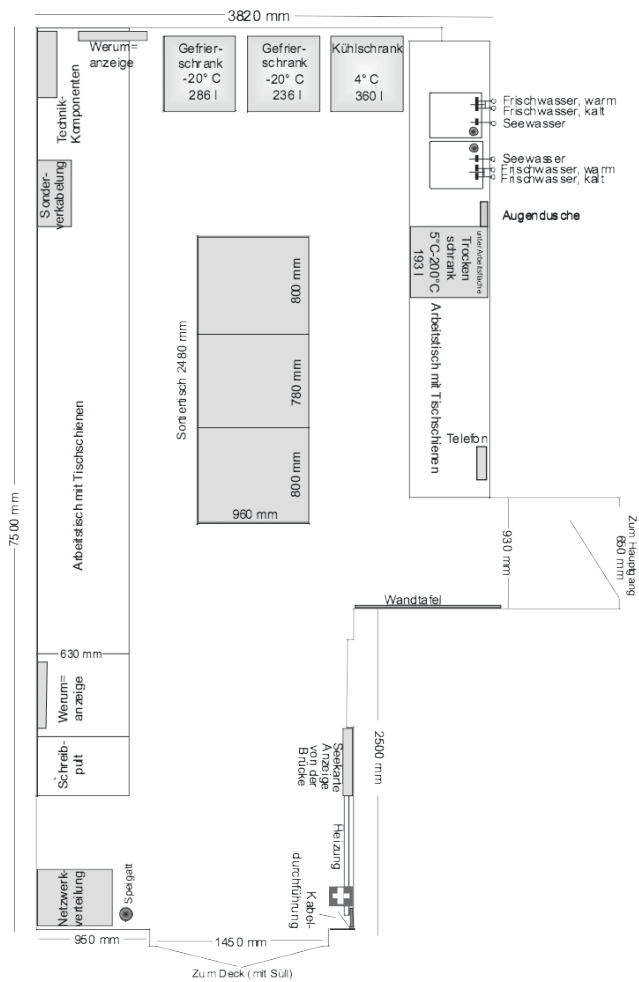
## LABORAUSSTATTUNG

|                                                            | wiss.<br>Arbeitsplatz | Nasslabor | Trockenlabor | Chemielabor | Abfüllraum |
|------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|--------------|-------------|------------|
| <b>Elektrische Versorgung</b>                              |                       |           |              |             |            |
| Schiffsnetz - 220 V (rot)                                  | x                     | x         |              |             | x          |
| Labornetz - 220 V (gelb)                                   | x                     | x         | x            | x           | x          |
| Labornetz mit USV, 220 V (grün), 20 kW insgesamt           |                       | x         | x            | x           |            |
| (mobile) USV, 1,6 kW                                       |                       | x         |              |             |            |
| Kraftstrom, 380 V, 16A                                     |                       | x         | x            | x           |            |
| CEE, 3P+N+SL                                               |                       |           |              |             |            |
| Erdungsbuchsen                                             |                       | x         | x            | x           |            |
| Sondervorkabelung                                          |                       | x         | x            |             |            |
| <b>Daten / Kommunikation</b>                               |                       |           |              |             |            |
| wiss. Wechselsprechanlage                                  | x                     | x         | x            | x           |            |
| Netzwerk Dosen für RJ45 Stecker                            | x                     | x         | x            | x           |            |
| Tochteranzeige elektronische Seekarte                      |                       | x         | x            |             |            |
| PC Thermosalinograph, Fluorometer, SVT                     |                       |           | x            |             |            |
| PC Schiffs ADCP                                            |                       |           | x            |             |            |
| ELAC 3D Fächerlotauswertung                                |                       |           | x            |             |            |
| DShip Client (Wiss.)                                       |                       |           | x            |             |            |
| DShip Tochter (Wiss.)                                      |                       | x         |              | x           | x          |
| Drucker HP3200 s/w                                         |                       |           | x            |             |            |
| <b>Wasser</b>                                              |                       |           |              |             |            |
| Frischwasser - kalt                                        |                       | x         | x            | x           | x          |
| Frischwasser - warm                                        |                       | x         | x            | x           | x          |
| Seewasser                                                  |                       | x         |              |             |            |
| Seewasser (Aquariumspumpe)                                 |                       |           |              | x           |            |
| <b>Abwasser</b>                                            |                       |           |              |             |            |
| Kleiner Ablauf                                             |                       |           |              | x           |            |
| Laborbecken                                                |                       | 2 x       |              | x           | x          |
| Handbecken                                                 |                       |           | x            |             |            |
| Speigatte zum Arbeitsdeck                                  |                       | x         |              |             |            |
| <b>Daten- und Windenanzeigen</b>                           |                       |           |              |             |            |
| Auf allen Bildschirmen der Datenverteilung möglich         |                       | x         | x            | x           |            |
| <b>Sonstiges</b>                                           |                       |           |              |             |            |
| Wärmeschrank, 50°C-300°C                                   |                       |           |              | 193 l       |            |
| Kühlschrank, 4°C                                           |                       | 1 x 360 l |              |             |            |
| Gefrierschrank, -20° C                                     |                       | 1 x 236 l |              |             |            |
| Gefrierschrank, -40° C                                     |                       | 1 x 286 l |              |             |            |
| Gefrierschrank, -40° C                                     |                       |           |              | 1 x 60 l    |            |
| Kühlkombination, 4°C                                       |                       |           |              | 1 x 170 l   |            |
| Druckluft, <= 7 bar, ohne Ölabscheider; ohne Druckminderer |                       | x         |              |             |            |

Übersicht der Einrichtungen der verschiedenen Labore

Abb. 23: Geomar, aus dem Handbuch des POSEIDON

Der direkte Zugang zum Arbeitsdeck muss sich an einer einigermäßen geschützten Stelle befinden. Durch das Schott kann die Kranbahn aus dem Labor heraus auf das Arbeitsdeck verlängert werden. Ein Schwanenhals ermöglicht zusätzlich fliegende Leitungen auf das Arbeitsdeck sowie in andere Labore.<sup>13</sup>



<sup>13</sup> Vgl. Geomar (2015): FS Poseidon - Handbuch für Nutzer, S. 13 ff.

Abb. 24: Geomar, aus dem Handbuch des POSEIDON

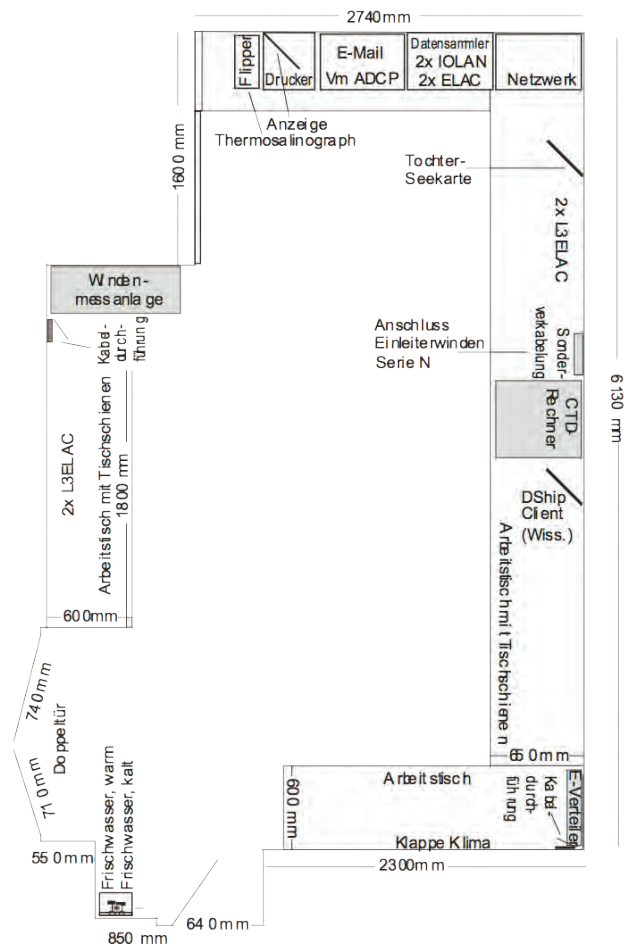
#### Grundausstattung:

Anordnung von Außenwand achtern im Uhrzeigersinn

- **12 kHz Tiefsee- und Pingerlot** mit Anzeige
- **Schreibpult mit Wechselsprechstelle**, darunter Schubladen
- **Kreiseltochter**-Anzeige in Datavis
- **mobile USV** (Powerware 9-120, 1 kw)
- **freie Tischfläche** mit Ablagen darunter
- **DATAVIS**: direkte Ausgabe von Datengruppen (D-Substecker, male, Pin, 5)
- **Drehstromanschluss** (380V/16A, CEE-Norm)
- **2 Gefrierschränke** (-20°C, 236 l und 286 l) an Vorkante des Labors
- **Kühlschrank** (4°C, 360 l) an Vorkante
- **2 Laborbecken** mit Ablage, Frischwasser (warm und kalt), Seewasser
- **Augendusche**
- **Elektronische Seekarte**
- **Netzwerkdosen** für RJ45-Stecker
- **Telefon**
- **Sortiertisch** in der Mitte des Labors unter der Bahn für die Laufkatze, mit aufgesetzter Edelstahlwanne (2480 x 960 mm, Wannenhöhe 130 mm, Arbeitshöhe Wannenrand 1010 mm)

## TROCKENLABOR

In diesem Labor erfolgt hauptsächlich die online Datenerfassung. Hier befindet sich der DHCP-Server für das Netzwerk. Die Daten werden im Trockenlabor für die zentrale Datenerfassung (DATAVIS) zusammengeführt und verteilt, sowie die Daten für den Schiffs-ADCP und die der CTD erfasst. Der Tisch und die Wand an der Vorkante sind daher mit ständig vorhandenen Geräten belegt. Erst ab Mitte des Labors bis zum hinteren Bereich befindet sich freier Arbeitsplatz. Über die Klimaanlage kann die Temperatur im Labor gesteuert werden.<sup>14</sup>



<sup>14</sup> Vgl. Geomar (2015): FS Poseidon - Handbuch für Nutzer, S. 13 ff.

Abb. 25: Geomar, aus dem Handbuch des POSEIDON

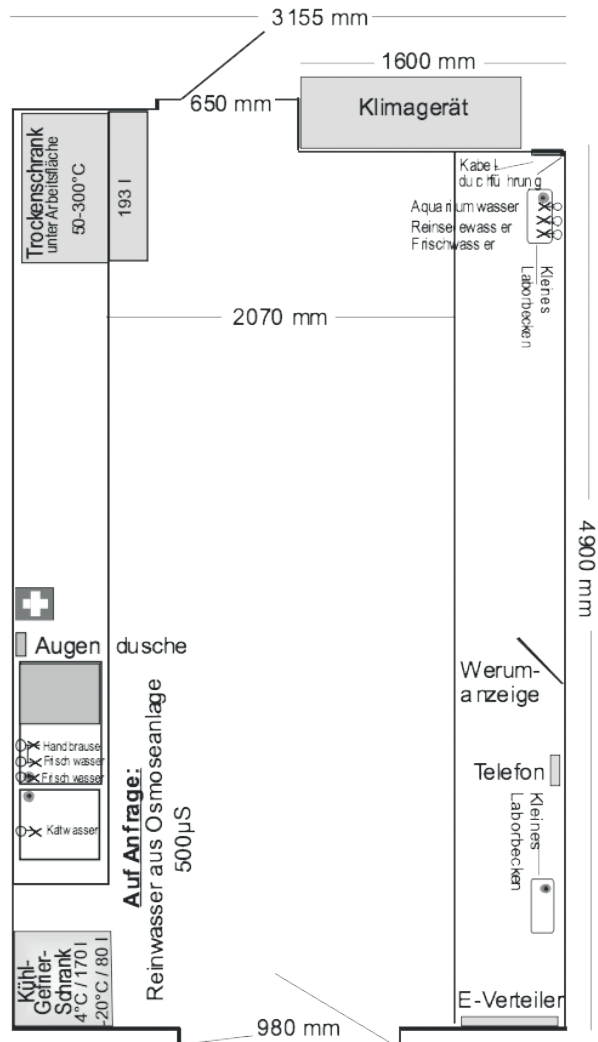
Grundausrüstung:

Anordnung von Außenwand achten im Uhrzeigersinn

- **Dokumentationen:** in gedruckter Version über der freien Tischfläche
- **USV Verteilung**
- **Windmessanlage**
- **Durchführung** für Kabel zum Gang
- **PC** zur Darstellung und Speicherung der Daten vom Thermosalinographen, Fluorometer und SVT
- **Schiffs-ADCP** (75 kHz), OceanSurveyor, Bordgerät und Datenerfassung
- **Netzwerkdrucker** an der Tisch Vorkante
- **DHCP-Server** und **e-mail Rechner**
- **Fächerecholot**
- **Datensammler** (Wetter)
- **Reiseassistent** (IOW), Dominator
- **Netzwerkverteiler**
- **Seekarte**
- **Windenkabelanschlussbox**
- **CTD** (SBE911), Deckeinheit und Erfassung
- **Wechselsprechapparat** (über der CTD)
- **Sonderverkabelung** (Verteiler mit Bananabuchsen)
- **DShip Client** (Wiss.)
- **freie Tischfläche** (teilweise mit Unterschränken)
- **Netzwerkdosen** (RJ45)
- **Direkte Ausgabe von Datengruppen** (D-Substecker, 9pol. Male, Pin 2/3, 5-Gnd)

## CHEMIELABOR

Das Chemielabor dient vorwiegend zum Aufbau von Systemen für meereschemische Arbeiten. Ein mobiler Abzug führt die Abluft über einen Schlauch durch den Abfüllraum nach außen. Die Temperatur im Labor kann separat gesteuert werden.<sup>15</sup>



<sup>15</sup> Vgl. Geomar (2015): FS Poseidon - Handbuch für Nutzer, S. 13 ff.

Abb. 26: Geomar, aus dem Handbuch des POSEIDON

Grundausrüstung:

Anordnung von der Tür zum Trockenlabor im Uhrzeigersinn

- **Seewasseranschluss** (Aquariumpumpe), Frischwasser (warm), kleines Ablaufbecken
- **freie Arbeitsfläche** (für Salinometer, Standort für mobile Abluftanlage, etc.)
- **DShip**
- **Kabeldurchführung** zum Nasslabor an der hinteren Wand (Steuerbord oben, auch für den Schlauch des mobilen Abzugs)
- **Kühlkombination** (4 °C, 170 l, -40 °C, 80 l Nutzvolumen) an der Innenwand achtern
- **Laborbecken** mit Frischwasser (warm und kalt)
- **Augendusche** am Laborbecken
- **Reinwasser** aus Osmoseanlage (< 800 µS, < 3 m<sup>3</sup>/d)
- **Wärmeschränk** (50-300 °C, Innenmaße: BxTxH = 540x550x650 mm, 193 l)
- **Netzwerkdosen** (RJ45)
- **Wechselsprechanlage**
- **Telefon**

ABFÜLLRAUM

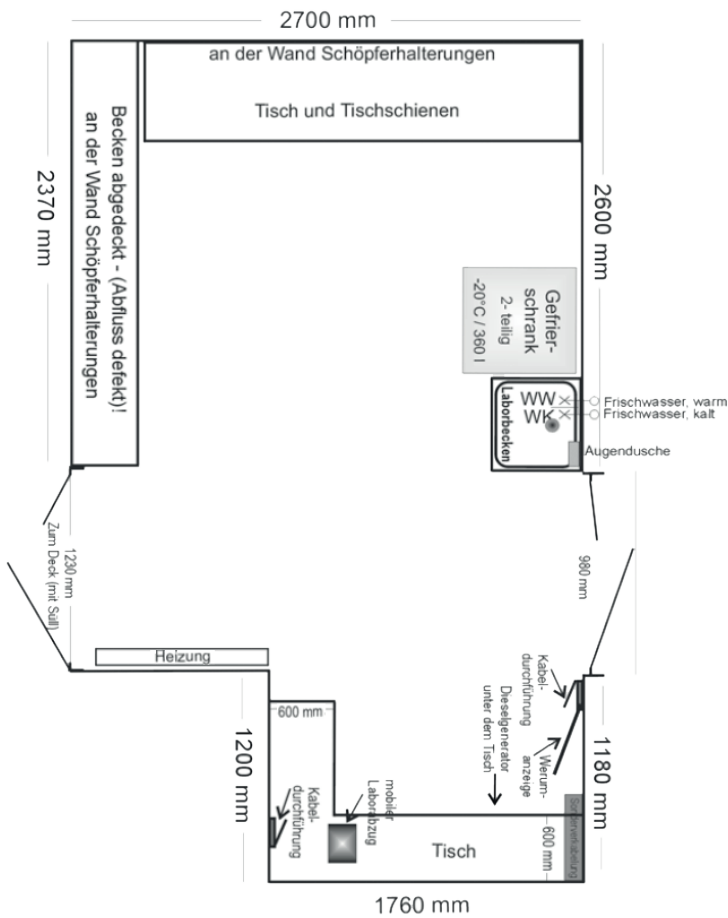


Abb. 27: Geomar, aus dem Handbuch des POSEIDON



Grundausstattung:

Anordnung von der Tür zum Deck im Uhrzeigersinn

- **freie Arbeitsflächen**
- **Gefrierschrank** (-20 °C, 360 l)
- **Laborbecken** mit Frischwasseranschluss (warm und kalt)
- **Augendusche**
- **Kabeldurchführung**
- **Werumanzeige**
- **Dieseldgenerator** (unter Tisch)
- 
- **Heizung**

## WISSENSCHAFTLICHER STAURAUM

Unter der Ladeluke an der Backbordseite befindet sich im Zwischendeck der wissenschaftliche Stauraum. Da ein Notausstieg frei gehalten werden muss, sind von der 40 m<sup>2</sup> großen Fläche nur etwa 37 m<sup>2</sup> nutzbar. Alle größeren Geräte müssen bereits im Hafen in die Laborräume geschafft werden, da die Ladeluke schlüssig mit dem Arbeitsdeck ausgeführt ist und auf See nicht geöffnet werden darf. In Fahrt ist der wissenschaftliche Stauraum somit nur durch eine sehr enge Treppe vom Hauptgang aus erreichbar.

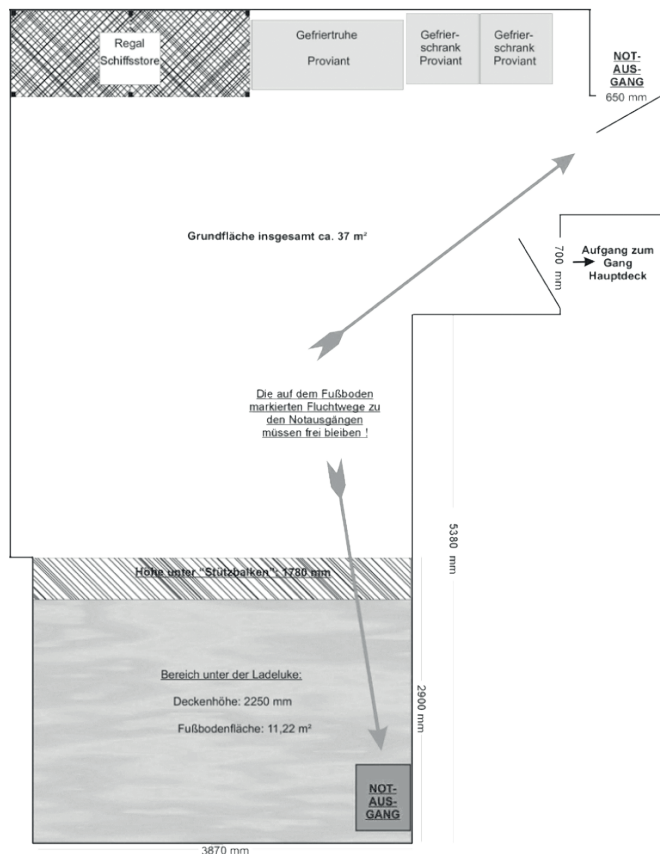


Abb. 28: Geomar, aus dem Handbuch des POSEIDON

## BESATZUNG

|                                                       |         |
|-------------------------------------------------------|---------|
| • Kapitän                                             | 1       |
| • Offiziere                                           | 2       |
| • Ingenieure                                          | 2       |
| • Schiffsmechaniker/Motorenwärter                     | 1       |
| • Elektriker                                          | 1       |
| • Koch                                                | 1       |
| • Steward                                             | 1       |
| • Bootsmann                                           | 1       |
| • Schiffsmechaniker / Matrosen                        | 4       |
| • Wissenschaftler                                     | 11 - 50 |
| Abhängig von Expedition und dafür erforderlicher Crew |         |

Bei der Plastik filtrierenden Forschungsstation entsteht aufgrund der speziellen Anforderungen ein zusätzlicher Besatzungsbedarf, der bei einem herkömmlichen Forschungsschiffes ausbleibt:

|                                                |                |
|------------------------------------------------|----------------|
| • Reinigungskraft                              | 2              |
| Wäscherei und allgemeine Reinigung der Station |                |
| • Techniker                                    | 2              |
| für Abschöpfung und Plasmavergasung            |                |
| • Besucher                                     | 8              |
| <b>Gesamt</b>                                  | <b>37 - 76</b> |

Ein Arzt steht, wie auch bei konventionellen Forschungsschiffen, nur bei besonderer Anforderung zur Verfügung. Es ist daher notwendig, dass die Besatzung, oder zumindest ein Teil davon, in Erste-Hilfe-Maßnahmen geschult wurde. Befindet sich ein Besatzungsmitglied allerdings in wirklich kritischem Zustand, wird ein Arzt eingeflogen, der den Patienten sofort in medizinisch eingerichteten Räumlichkeiten vor Ort versorgen kann. Anschließend besteht die Möglichkeit, das erkrankte beziehungsweise verletzte Besatzungsmitglied mit dem Helikopter an Land zu bringen, oder ein Ausrücken im Krankenzimmer der Forschungsstation in Anspruch zu nehmen.

## FORMFINDUNG DES BAUKÖRPERS



Da die Konstruktion der Plastik filtrierenden Forschungsstation sowie ihre Form selbst trotz der enormen Spannweite möglichst wenig Widerstand im Wasser darstellen und zudem sehr leicht sein soll, es jedoch gleichzeitig erforderlich ist, dass sie sehr stabil im Wasser liegt und möglichst unempfindlich auf den Seegang reagiert, ist es sinnvoll, sich das Prinzip des Katamarans und das ähnliche Funktions- und Bauschema der SWATH-Schiffe (Small Waterplane Area Twin Hull) näher anzusehen. Damit der Betrieb der Filtration, sowie jener der Forschungsstation in stationärem, aber auch in mobi-

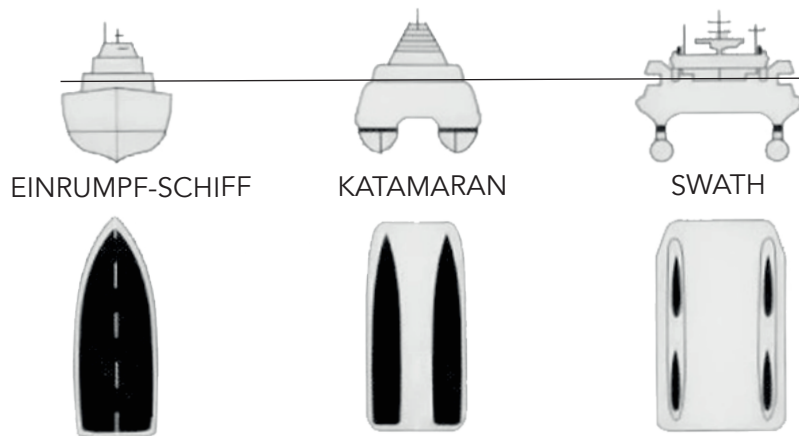
### BAUPRINZIP VON KATAMARAN UND SWATH

Zwei meist durch ein Tragdeck miteinander verbundene Rümpfe bilden die Grundstruktur des „Bootes aus zusammengebundenen Baumstämmen“, wie der Name Katamaran aus dem Tamilischen übersetzt wird. Im Gegensatz zu Einrumpf-Schiffen liegen Schiffe oder Boote mit dieser Bauweise sehr stabil auf dem Wasser. Da durch diese stabile Wasserlage und ihre Formstabilität auf einen Kiel verzichtet werden kann, haben Katamarane ein relativ geringes Gewicht. Sie sind daher meist sehr schnell und können mit Gleitrümpfen ausgestattet werden.<sup>1</sup> (Gleiter heben sich mit zunehmen-

---

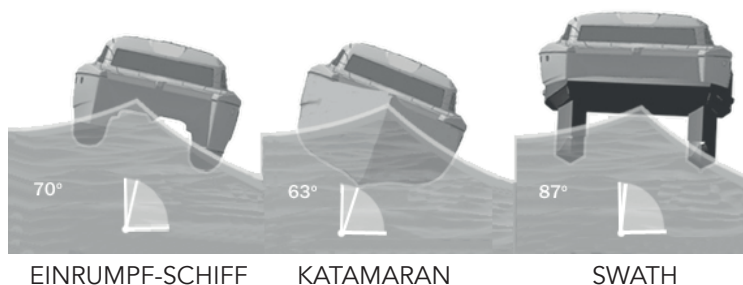
<sup>1</sup> Vgl. Wikipedia: Katamaran

der Geschwindigkeit aus dem Wasser und beginnen darauf zu gleiten, während sich der Rumpf eines Verdrängers immer im Wasser befindet und dieses demnach verdrängt.<sup>2)</sup> Aufgrund ihrer Antriebsart unterscheidet man Motorkatamarane von Segelkatamaranen, wobei die SWATH eine Sonderform darstellt. Ihre spezielle Rumpfform ist besonders unempfindlich gegen Seegang. Zwei torpedoförmige Auftriebskörper unter der Wasseroberfläche und eine auf meist vier Stützen darauf über dem Wasser angebrachte Plattform bilden eine minimale Wasserlinienfläche. Nicht nur ein geringer Wasserwiderstand wird dadurch erzielt, sondern auch die schon erwähnte Minimierung von Vertikalbewegungen im Seegang.



Vgl. Wikipedia: Verdränger und Gleiter <sup>2</sup>  
Abb. 29: Diariodenautica

Das Bauprinzip der SWATH-Schiffe wird den Halbtauchern, der Bauform von Bohrplattformen, entlehnt. Die Tatsache, dass die Wellenbewegung an der Wasseroberfläche am heftigsten ist und mit zunehmender Tiefe abnimmt, macht man sich hierbei zu Nutze. Die dadurch kleinstmöglich gehaltenen Tauchbewegungen des Schiffes verursachen allerdings gleichzeitig, dass Tauchauslenkungen nur sehr geringe Rückstellkräfte (Kräfte, die in Richtung der Ruhelage einer Masse wirken und somit die Masse in ihre Ruhelage „zurückstellen“ wollen<sup>3</sup>) verursachen. Das heißt, die Konstruktion verhält sich im Wasser unerwünschter Weise wie eine sehr weiche Feder. Sprich, sie braucht relativ lange, um wieder in ihre Ruhelage zurückzukommen. Diesem Verhalten begegnet man mit aktiv gesteuerten Flossen, die das System in Fahrt stabilisieren.



<sup>3</sup>Vgl. Wikipedia: Rückstellkraft  
Abb. 30: The Seasteading Institute

Da der konstruktive Teil, der SWATH und Katamaran voneinander unterscheidet, unter der Wasseroberfläche liegt und somit im Normalfall nicht gesehen wird, können diese zwei Schiffsarten leicht miteinander verwechselt werden.



Katamarane



SWATH-Schiffe

An die im Wasser liegenden Auftriebskörper sind die beiden Propeller, die zur Fortbewegung dienen, angebracht. Allerdings reicht bei kleineren Einheiten (unter 40 Meter) meist der Platz in den Auftriebskörpern nicht aus, um darin Dieselmotoren unterzubringen. Man sorgte für Abhilfe durch dieselektrische Antriebe, bei denen sich der Dieselmotor in der Plattform über dem Wasserspiegel befindet. Die vom Motor erzeugte mechanische Energie wird mit

Hilfe eines Generators in elektrische Energie umgewandelt und auf das Antriebssystem des Schiffes übertragen.<sup>4</sup>



Auftriebskörper eines SWATH-Lotsentenders  
minimiert die Gefahr beim Übersetzen des Lotsen - meist ein erfahrener Nautiker, d. h. Kapitän

---

<sup>4</sup>Vgl. Wikipedia: Dizelelektrischer Antrieb

Abb. 37: Boote - Europas größtes Motorboot-Magazin



## MATERIALITÄT

Während sich die großen Katamarane und SWATH-Schiffe in ihrer Materialität kaum von jenen in konventioneller Bauweise unterscheiden, kann man feststellen, dass der Oberbau eines kleineren Segelkatamarans (der SWATH Bauweise bedient man sich meist nur in größerem Maßstab) weitgehend reduziert ausgeführt wird. Um das Gewicht so gering wie möglich zu halten und somit das maximale Geschwindigkeitslimit an die Spitze zu treiben, werden oft Netze oder andere textile Fabrikate, wie zum Beispiel Planen, von Auftriebskörper zu Auftriebskörper gespannt. Der Vorteil liegt allerdings nicht nur im leichten Gewicht, sondern auch in der hohen Resistenz gegenüber Salzwasser und Witterung, sowie dem leicht möglichen und relativ kostengünstigen Austauschen von beschädigten Teilen.<sup>5</sup>



Segelkatamarane

Während sich die zuvor beschriebenen Schiffstypen fast ausschließlich dem Baumaterial Metall (Stahl und Aluminium) oder glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) verschrieben ha-

---

Vgl. Wikipedia: Schiffstyp - Unterteilung <sup>5</sup>  
Abb. 38, 39: Goodall Design, WoodenBoat Forum

ben, findet auch Holz Einsatz im Schiffbau. In seltenen Fällen (bei High-Performance-Rennyachten) kommen auch kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe oder Aramid zum Einsatz. Letztgenannte Materialien sind allerdings erheblich teurer und finden daher im Schiffbau noch sehr selten Anwendung. In laminierten Form (einzelne Teile aneinandergeschweißt bzw. auf andere Weise formschlüssig miteinander verbunden) oder aus Großplatten werden die Schiffe gefertigt, wobei man die Bauweisen Vollrumpf und beplankte Spanten unterscheidet. Außerdem gibt es die Möglichkeit des Formgusses (Metall).<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup>Vgl. Wikipedia: Schiffstyp - Unterteilung

## LEBENSDAUER

Aus wirtschaftlichen Gründen werden konventionelle Frachtschiffe meist nicht wesentlich älter als 30 Jahre, weil die nötigen Investitionen in den Erhalt der Schiffssubstanz und der eingebauten Technik ab diesem Zeitpunkt oft den Ertrag übersteigen. Dass bei entsprechender Bauweise und Pflege allerdings sehr wohl eine weitaus höhere Lebensdauer möglich ist, beweist das schon über 100 Jahre alte Hochsee-Fahrgastschiff Doulos, oder die über 150 Jahre alten Skibladner (Raddampfer) auf dem norwegischen Mjøsa. Die meisten immernoch fahrtüchtigen, im 19. oder Anfang des 20. Jahrhunderts gebauten Schiffe wurden aus Holz gefertigt.<sup>7</sup>

---

Vgl. Wikipedia: Schiff - Lebensdauer <sup>7</sup>

## VORTEILE VON SWATH-SCHIFFEN

Auch bei starkem Seegang liegen SWATH-Schiffe noch immer sehr ruhig im Wasser. Katamarane sind ebenfalls bekannt für diesen Vorteil, jedoch können sie nicht zur Gänze mit der Ruhelage eines SWATH-Schiffes mithalten. Diese Bauform ist somit zur Zeit die geeignetste für Schiffe, deren Besatzung auch bei extremen Verhältnissen weiterarbeiten muss, oder Besatzungsmitglieder auf Plattformen oder andere Schiffe umsteigen müssen. Forschungsschiffe sind wegen der darauf ausgeführten Aussetz- und Aufnahmearbeiten umfangreicher Messeinheiten und dem Einsatz bewegungsempfindlicher Geräte auf möglichst geringe Bewegungen und somit auf die Fahrt mit einem SWATH-Schiff angewiesen. Bei rauer See ermöglicht dieses Bauprinzip zudem ein schnelleres Vorankommen, als mit Einrumpf-Schiffen, da ein Zweirumpf-Schiff nicht stampft, also nicht in die Wellen eintaucht.<sup>8</sup> Die vom Bauprinzip des SWATH leicht differenzierte Form des Katamarans kann allerdings höhere Geschwindigkeiten aufnehmen bei gleichzeitig geringerem Treibstoffverbrauch, was hauptsächlich auf das geringere Gewicht zurückzuführen ist.<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup>Vgl. Wikipedia: Small Waterplane Area Twin Hull

<sup>9</sup>Vgl. Yacht Forum

## NACHTEILE VON SWATH-SCHIFFEN

Schon bei geringen Änderungen der Ladung kann es zu starken Änderungen des Tiefganges kommen beziehungsweise geringe Änderungen des Schwerpunktes können zu einer Schiefelage des Schiffes führen. Starken Gewichtsveränderungen zwischen leerem und beladenem Zustand bergen die Gefahr, dass die Tauchkörper teilweise aus dem Wasser kommen, oder das Schiff zu tief ins Wasser eintaucht, was durch Gewichtsausgleich korrigiert werden muss. Ein weiterer Nachteil der SWATH ist der relativ große Tiefgang und der erheblich geringere Stauraum im Gegensatz zu Schiffen in herkömmlicher Bauweise.<sup>10</sup> Das schwierige Handling, vor allem in besonders engen Häfen stellt ein weiteres Problem dieser Form des Schiffbaus dar. Anders als Kiel-Segelyachten, die sich auch nach starker Schräglage wieder von selbst aufrichten können, ist dies größeren Katamaranen und SWATH-Schiffen außerdem nicht ohne die Hilfe eines Krans möglich.<sup>11</sup>

---

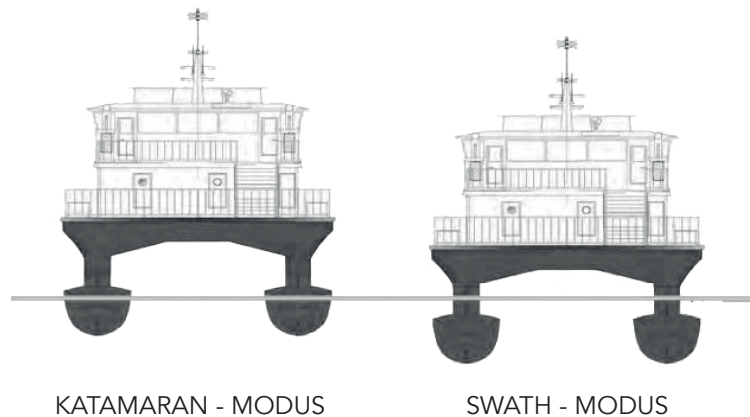
Vgl. Wikipedia: Small Waterplane Area Twinn Hull <sup>10</sup>

Vgl. Wikipedia: Katamaran <sup>11</sup>



### SONDERFORM DES SWATH-SCHIFFES VEREINT DIE VORTEILE BEIDER BAUTYPEN

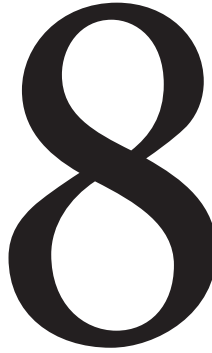
Eine spezielle Bauweise aus Karbonfaser ermöglicht es die Vorteile von Katamaranen und SWATH zu vereinen. Durch ein Ballastsystem kann das Schiff vertikal gezielt bewegt werden: In nur 45 Sekunden werden mit Hilfe von Kompressoren (komprimierte Luft) die unter dem Meeresspiegel liegenden Hohlkörper mit Wasser befüllt und somit das Funktionsprinzip eines SWATH-Schiffes in das eines Katamarans transformiert. In befülltem Zustand lassen sich nun die Vorteile der hohen Stabilität selbst bei extremem Seegang auskosten, während die unbefüllten Hohlkörper zu einem geringeren Gewicht führen und in Folge eine schnelle Fortbewegung und reduzierten Treibstoffverbrauch ermöglichen.<sup>12</sup>



Vgl. Yacht Forum <sup>12</sup>  
Abb. 40: Yacht Forum

## AUFBAU DER PLASTIK FILTRIERENDEN FORSCHUNGSSTATION

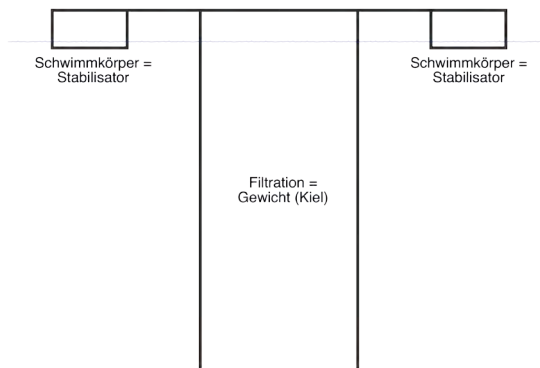
### BAUWEISE



Um im stationären Zustand der Forschungsanlage eine stabile Lage im bzw. auf dem Wasser garantieren zu können, sowie das schnellere Vorankommen in Fahrt und dabei geringeren Energieverbrauch zu garantieren, ist es den Erkenntnissen aus dem Schiffbau zufolge also nötig, sich der Zweirumpf-Bauweise zu bedienen, die auch bei rauer See nicht in die Wellen eintaucht, sondern darauf gleitet. Anders als bei einem konventionellen Katamaran, wird es bei der Konstruktion der Filtrieranlage und Forschungsstation allerdings nicht reichen, den Bau auf die Elemente der beiden Schwimmkörper zu reduzieren. Während beim Katamaran oder SWATH auf den Kiel verzichtet werden kann, wird die Filtrationsanlage analog zum Prinzip im Schiffbau als ein solcher eingesetzt. Sie dient demnach neben ihrem Einsatz als Plastik-Sammler als zentriert gelagertes Gewicht, das den Schwerpunkt des gesamten Komplexes weiter nach unten verlagert. Somit wird die Gefahr des Kenterns bei extremen Bedingungen auf hoher See weiter reduziert und die Chancen einer stabilen Lage im Ozean gesteigert. Die Lebens- und Arbeitsräume sollen sich aufgrund der Nutzungsanforderungen über Wasser befinden und finden so Platz in den seitlich angebrachten Schwimmkörpern. Nach einer noch eingehenderen Recherche über die Bauarten im Bereich des mehrrumpfigen Schiffbaus stellt man fest,



dass das Bauprinzip der Forschungsstation dem eines Trimarans - einer Sonderform des Katamarans, die heute als das schnellste Boot der Welt gilt - gleicht. In mehr oder weniger großem Abstand werden drei Rümpfe parallel zueinander angeordnet, wobei der mittlere die Hauptfunktionen übernimmt und die seitlichen Rümpfe der Kippstabilität dienen.<sup>1</sup>



Trimaran und Aufbau der Plastik filtrierenden Forschungsstation im Vergleich

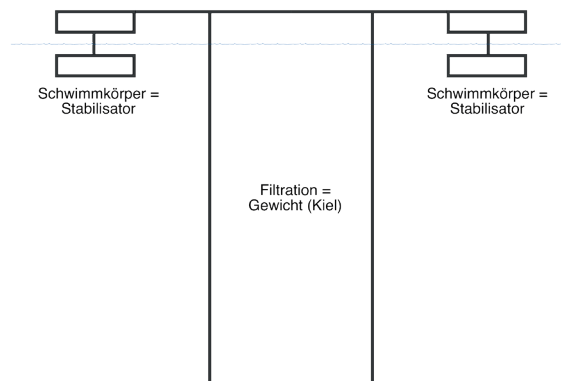
Dabei ist zu beachten, dass die Stege, die die einzelnen Bereiche der Forschungsstation miteinander verbinden, ausreichend weit über dem Meeresspiegel liegen, um in Fahrt den Wasserwiderstand keinesfalls zu erhöhen. Wie bei zahlreichen Formen von Segel- und Motorkatamaranen könnten auch die parallel im Wasser liegenden Trakte der Forschungsstation zumindest teilweise mit textilen Fabrikaten verbunden

<sup>1</sup> Vgl. Wikipedia: Trimaran

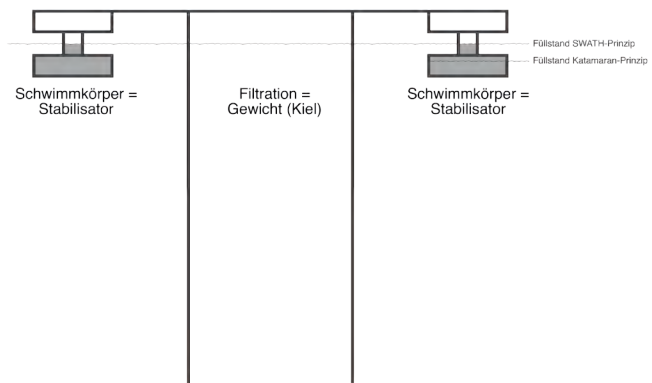
Abb. 41: Area, John Shuttleworth Yacht Designs

werden. Egal für welches Material man sich letztlich entscheidet, die Analyse hat gezeigt, dass ein geringes Eigengewicht, sowie die kostengünstige und aufwandsarme Instandhaltung entscheidende Parameter für den Entwurf sind.

Neben dem grundsätzlichen Aufbau kann das Konzept der schwimmenden Forschungsstation aber auch von der Ausführung der Auftriebskörper eines SWATH-Schiffes profitieren. Die minimale Wasserlinienfläche ist hierbei entscheidend, um die Vertikalbewegungen bei starkem Seegang minimal zu halten und so zu garantieren, dass bewegungsempfindliche Forschungsgeräte und der Betrieb der Plasmavergasungsanlage, die den Plastikmüll in nutzbare Energie umwandelt, in ihrer Funktionstüchtigkeit nicht beeinträchtigt werden. Adaptiert man nun diese Erkenntnisse mit jenen vom prinzipiellen Aufbau eines Mehrrumpf-Schiffes würde für die Forschungsstation folgendes grafisch dargestellte Prinzip als sinnvoll gelten:



Auch der Sonderform der SWATH-Schiffe kann man einen essentiellen Entwurfparameter abgewinnen. Da es der Forschungsstation in stationärem, Plastik filtrierendem Zustand einer höchst möglichen Stabilität und Ruhelage im Wasser bedarf (SWATH-Prinzip), sie in Fahrt allerdings von einem geringen Gewicht, einem reduzierten Wasserwiderstand und somit von einem geringeren Energieverbrauch und schnellerem Fortkommen profitieren soll (Katamaran-Prinzip), könnte sich das Konzept an dem die vertikale Lage im Wasser regulierende Ballastsystem orientieren. Eine möglichst leichte Konstruktion ist hierbei allerdings unumgänglich.



Unabhängig vom exakten Aufbau und dessen Dimensionen ist bei einer symmetrischen Anordnung der Baukörper darauf zu achten, dass die Nutzlast gleichmäßig am Bau verteilt ist. Schon geringe Änderungen des mittig liegenden Schwerpunktes können die Forschungsstation in Schiefelage bringen und so die eigentlich optimal auf die Bedingungen ausgerichtete Konzeption beeinträchtigen. Eine leichte Ungleichverteilung der Lasten ist allerdings keineswegs bedenklich, solange diese durch Ausgleichstanks oder-gewichte korrigiert wird.

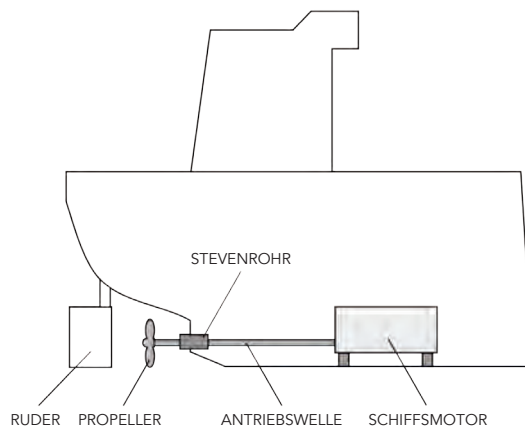
## ANTRIEB

Da der Schwerpunkt der Forschungsstation durch die 35 Meter unter den Meeresspiegel reichende Filtrationsanlage tiefer sitzt als bei den beschriebenen Schiffstypen, ist zu hinterfragen, ob die Propeller an den Auftriebskörpern angebracht werden sollten. Im Bezug auf den Aufbau eines Katamaran-, SWATH- oder Trimaran-Schiffes werden die Propeller an der tiefsten Stelle des Heckes (hinteres Ende des Schiffes) angebracht. Befasst man sich mit den Antrieben im Schiffbau näher, stellt man schnell fest, dass sich dieses Prinzip nicht nur auf die schon beschriebenen Bautypen beschränkt. Nahezu jede Schiffsschraube wird im unteren Bereich des Rumpfes angebracht. Bei größeren Wasserfahrzeugen wird die Schiffsschraube am achteren (hinteren) Ende durch zusätz-



Die Wellenanlage, also die gesamte technische Ausrüstung, die für die Übertragung der Drehbewegung der Antriebsmaschine auf den Propeller, sowie zur Aufnahme des Propellerschubs und dessen Überleitung auf den Schiffskörper nötig

ist<sup>2</sup>, kann anders als bei einem Katamaran oder SWATH mit Sicherheit in den Auftriebskörpern der Forschungsstation Platz finden, da diese aufgrund des räumlichen Bedarfs und der Raumnutzung nicht so schmal ausgeführt werden können, wie es bei einigen beschriebenen Schiffstypen der Fall ist.

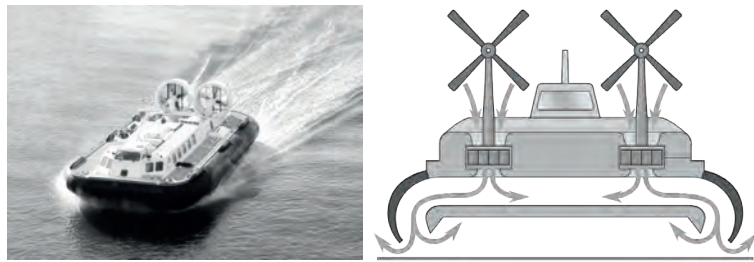


Neben den konventionellen Antriebsmöglichkeiten, bei der das Drehmoment über die Propellerwelle an den Propeller, einen Generator (für die elektrische Energieversorgung auf dem Schiff) oder einen Jet-Antrieb (Rückstoßprinzip durch Wasserstrahl) übertragen wird, stellt noch das Luftkissen-Prinzip eine mögliche Antriebsform dar, bei dem sich der Antrieb über dem Wasserspiegel befindet. Bei Luftkissen-

<sup>2</sup>Vgl. Wikipedia: Wellenanlage (Schiffbau)

Abb. 44: Wikipedia

senbooten ist der gesamte Rumpf mit einer flexiblen Schürze versehen, in die ein Gebläse permanent Luft strömen lässt und somit für eine „Unterpolsterung“ des Fahrzeugs führt, auf der es gleitet ohne dabei den Untergrund zu berühren.<sup>3</sup> Der Antrieb erfolgt durch Propeller oder Impeller (ein mit einem ring- oder röhrenförmigen Gehäuse umschlossener Propeller<sup>4</sup>) im Luftstrom, während Lufruder, ähnlich dem Leitwerk bei Flugzeugen, die Steuerung übernehmen.<sup>5</sup>



Funktionsprinzip eines Luftkissenbootes

## WAS HEISST DAS FÜR DAS ANTRIEBSSYSTEM DER PLASTIK FILTRIERENDEN FORSCHUNGSSTATION?

Das Antriebsprinzip eines klassischen Einrumpf-Schiffes direkt auf den Entwurf einer 35 Meter tief reichenden Forschungsstation zu übertragen, wäre womöglich nicht besonders sinnvoll. Da der Bau des gesamten schwimmenden Komplexes direkt vor Ort stattfindet, muss die

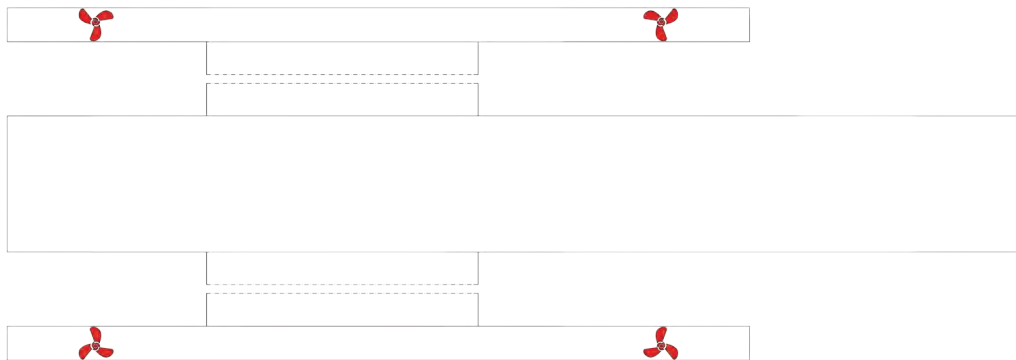
Vgl. Wikipedia: Luftkissenfahrzeug <sup>3</sup>

Vgl. Wikipedia: Schiffsmotor <sup>4</sup>

Vgl. Wikipedia: Impeller <sup>5</sup>

Abb. 45, 46: Firangi on India, Wikipedia

Montage der Propeller den geringstmöglichen Aufwand darstellen. Es scheint somit sinnvoll, das Prinzip des SWATH aufzugreifen und den Antrieb in den beiden Schwimmkörpern zu lokalisieren, die sich weit näher an der Wasserlinie befinden. An die jeweils beiden Enden der seitlichen Stabilisationskörper werden Turbinen angebracht.



Der mittlere, tiefreichende Teil der Konstruktion (Filtrationselemente) wird allerdings in Fahrt einen starken Wasserwiderstand erzeugen. Es ist zu Überlegen, diese tiefreichenden Elemente so zu konzipieren, dass sie nur in stationärem Zustand einen Tiefgang von 35 Metern aufweisen. In Fahrt könnten sie durch eine spezielle Konstruktionsweise hochgeklappt beziehungsweise eingefahren werden.



## MATERIALITÄT

Welches Material das absolut geeignetste für den Bau der Plastik filtrierenden Forschungsstation ist, lässt sich natürlich noch nicht eindeutig klären. Bevor das für eine Entscheidung notwendige Konstruktionsprinzip feststeht, kann man lediglich die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Materialien hinsichtlich verschiedener Parameter beurteilen. Folgende Aspekte sind dabei Ausschlag gebend:

### GEWICHT

Dass Stahl ein hohes Eigengewicht hat, ist nicht nur im Bauwesen bekannt. Der Vergleich zwischen der Rohdichte dieses Metalls und der von anderen im Schiffbau eingesetzten Materialien zeigt wie stark eine Konstruktion aus Stahl das Eigengewicht der Forschungsstation erheblich beeinflussen könnte:

|                                                                                                            |                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Dichte Stahl:                                                                                              | 7700–7900 kg/m <sup>3</sup>                   |
| Dichte Aluminium:                                                                                          | 2710 kg/m <sup>3</sup>                        |
| Dichte Glasfaserverstärkter Kunststoff:                                                                    | 2000 kg/m <sup>3</sup>                        |
| Dichte Holz (lufttrocken):                                                                                 | 400 kg/m <sup>3</sup> - 800 kg/m <sup>3</sup> |
| abhängig von der Holzart, wobei die häufig eingesetzte Fichte bei 500 kg/m <sup>3</sup> liegt <sup>6</sup> |                                               |

Der Bau aus Holz (unter der Annahme, dass das Konstruktionsprinzip und somit das Volumen des benötigten Materialeinsatzes je nach Materialwahl nicht variieren) hätte demnach mit Abstand das geringste Eigengewicht.

Glasfaserverstärkter Kunststoff oder Aluminium als Baumaterial zu wählen wäre allerdings aus rein auf das Gewicht bezogener Sicht noch immer eine plausible Entscheidung.

---

Vgl. Wikipedia: Kohlenstoffverstärkter Kunststoff, Wikibooks: Tabellensammlung Chemie <sup>6</sup>

## TRANSPORTFÄHIGKEIT UND BEARBEITBARKEIT VOR ORT

Ein möglichst leichtes Eigengewicht des gewählten Baumaterials ist nicht nur für den reibungsarmen Betrieb der Forschungsstation entscheidend, sondern spielt auch beim Transport zum Bauplatz auf hoher See eine tragende Rolle. Neben dem Eigengewicht des Materials ist es aber auch entscheidend, wie viel Volumen die einzelnen Elemente der Konstruktion einnehmen und wie problemarm sie für den Transport gelagert und gesichert werden müssen. Hierbei kommt es allerdings weniger auf die Eigenschaften des Materials selbst an, als auf ein entsprechend durchdachtes Konstruktionsprinzip. Um die Wirtschaftlichkeit des Konzeptes nicht zu schmälern, ist es notwendig sich eines Konzeptes zu bedienen, das einen schnellen und problemarmen Aufbau vor Ort ermöglicht. Die Witterungsverhältnisse auf offener See könnten rasch zu einer Verzögerung des Baufortschritts führen und die Wiederaufnahme der Arbeiten erheblich vertagen. Das Beherbergen und Versorgen der Arbeiter auf offener See, das Schützen der bislang erbauten Stationselemente, sowie der reine Kostenaufwand durch Baufirmen und ihre Angestellten, die ohne Leistung erbringen zu können weiter bezahlt werden müssen, würden bei einem länger anhaltenden Baustopp den Rahmen für einen finanziell erträglichen Aufwand sprengen. Neben der Erforderlichkeit, die einzelnen Elemente der Tragstruktur, sowie die der raumbildende Hülle rasch und

unproblematisch aneinander fügen zu können, ist die Art der Verbindung der einzelnen Elemente ebenfalls entscheidend. Ein Verzicht auf die Notwendigkeit von Schweißarbeiten vor Ort wäre von Vorteil, was sich allerdings bei der Ausführung der Konstruktion aus Stahl und bzw. oder Aluminium womöglich nicht gänzlich vermeiden lässt. Auch die oftmals erforderlichen Anpassungs- bzw. Ausbesserungsmaßnahmen an einigen Bauelementen vor Ort stellen bei metallischen Materialien im Falle der Plastik filtrierenden Forschungsstation eine größere Problematik dar, da der Einsatz von verzinkten Baumaterialien unumgänglich ist. Die Erneuerung der Zink-Legierung an vor Ort ausgebesserten Stellen kann nur mehr durch eine anschließende Kalkverzinkung erfolgen, die allerdings nicht so robust und dauerhaft ist. Holz und Kunststoffe haben den Vorteil, dass sie auch noch vor Ort durch Fräsen, Schneiden, Bohren, etc. bearbeitet werden können.<sup>7</sup> Eine Konstruktionsweise, die sich eines bestimmten Rasters und Modulen bedient, die immer wieder die gleichen Abmessungen aufweisen und vorgefertigt werden können, würde mit Sicherheit nicht nur Anpassungsarbeiten der einzelnen Elemente beim Bau vor Ort umgehen, sondern auch einen raschen und einfachen Aufbau ermöglichen, sowie eine wirtschaftliche Logistik.

---

Vgl. pro:Holz: Materialeigenschaften im Vergleich <sup>7</sup>

## KOSTEN

Da die Konstruktionsweise stark vom gewählten Material abhängt und somit in Folge auch der erforderliche Materialaufwand differiert, ist es nahezu unmöglich einen sinnvollen Kostenvergleich der verschiedenen Baustoffe aufzustellen.

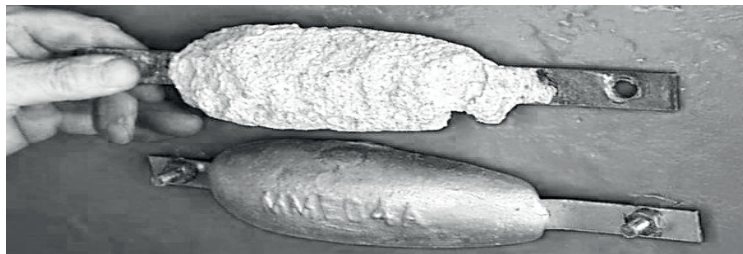
## SALZWASSER-RESISTENZ

Durch Schäden aufgrund von Korrosion kann der Erhalt eines ständig dem Meereswasser ausgesetzten Objektes sehr kostspielig werden. Heute spricht man nicht mehr ausschließlich bei metallischen Werkstoffen von Korrosion, sondern auch andere Materialien müssen mit einem passiven oder aktiven Korrosionsschutz versehen werden. Von einem passiven Schutz gegen das angreifende Medium spricht man bei aktiv pigmentierten (Zinkstaub, Zinkphosphat, Zinkchromat, Bleimennige, etc.) Beschichtungsstoffen. Diese flüssigen, pastösen oder pulverförmig aufgetragenen Stoffe erzielen eine abschirmende Wirkung gegen korrosive Medien. Kunstharze (EP, PU, etc.), Kunststoffe (PVC, Kunststofffolien, etc.), Öle, Lacke, Gummi oder Hartparaffine können zum Schutz aufgetragen werden.<sup>8</sup> Holz kann damit bearbeitet werden um dem Vermorschen entgegenzuwirken. Das Rosten von Stahl oder Aluminium schreitet zwar langsamer voran als das Vermodern des Holzes, allerdings kommt der pflanzliche Baustoff weit besser mit

---

<sup>8</sup>Vgl. Wikipedia: Korrosionsschutz

aggressiven Umweltverhältnissen zurecht.<sup>9</sup> Bei metallischen Materialien reichen die Möglichkeiten des Korrosionsschutzes weiter: Damit der im Wasser gelöste Sauerstoff die metallische Bausubstanz nicht angreift, können Opferanoden eingesetzt werden, die eine negativere Spannung als das zu schützende Metall aufweisen und dadurch ihre Elektronen an den Sauerstoff abgeben, bevor dies das Baumaterial selbst tut. Diese Bauteile zur Korrosionsvermeidung opfern sich also sozusagen auf, um andere Metalle zu schützen. Man unterscheidet dabei Anoden aus Zink, Aluminium und Magnesium, wobei nur Zink- und Aluminiumanoden in Salzwassergebieten eingesetzt werden und somit eine Relevanz für den Korrosionsschutz der schwimmenden Forschungsstation darstellen. Würde man sich beim Bau der Station für ein metallisches Baumaterial entscheiden, würde die Wahl sinnvollerweise auf Anoden aus Aluminium fallen. Diese sind wesentlich leichter als Zinkanoden und zeichnen sich zudem mit einer bis zu 50 Prozent höheren Lebensdauer aus.<sup>10</sup>



Verbrauchte und neue Opferanode im Vergleich

<sup>9</sup> Vgl. pro:Holz: Materialeigenschaften im Vergleich

<sup>10</sup> Vgl. 12seemeilen Logbuch: Opferanode für Boote  
Abb. 47: Emsbroek

Neben der richtigen Materialwahl der Anoden stellt sich noch die Frage der notwendigen Anzahl, um einen ausreichenden Schutz gewährleisten zu können. Die Größe der unter Wasser liegenden Fläche ist ausschlaggebend für diese Berechnung.

| Oberfläche m² | Aluminium in kg | Magnesium in kg | Zink in kg |
|---------------|-----------------|-----------------|------------|
| 5 – 10        | 0,5             | 0,5             | 5,5        |
| 10 – 20       | 1,0             | 1,5             | 9,5        |
| 20 – 30       | 1,5             | 2,5             | 15,0       |
| 30 – 40       | 2,0             | 3,0             | 20,0       |
| 40 – 50       | 2,5             | 4,5             | 25,0       |

Tabelle zur Ermittlung der notwendigen Anodenanzahl

Der Verschleiß einer Opferanode hängt vom Fahrgebiet, der Schraubensorte und dem Zustand der zusätzlichen Schutzschicht auf dem Oberflächenmaterial, auf das sie aufgebracht wird, ab. Unabhängig vom Material der Anode sollten diese aber jedenfalls ausgetauscht werden, wenn ihre Schutzleistung zu 70-80 Prozent erschöpft ist. Andernfalls würde sie keinen zuverlässigen Korrosionsschutz mehr gewährleisten. Bei Schiffen wird die Erneuer-

erung der Anoden etwa einmal pro Jahr vorgenommen.<sup>11</sup> Eine ausreichende Schutzfunktion der Opferanoden ist allerdings nur in Kombination mit einer korrosionsvorbeugenden Behandlung der Materialoberfläche gegeben. Anorganische und nichtmetallische Überzüge können in Form von einer Konversionsschicht (eine dünne Schicht, die durch eine chemische Reaktion mit ihrem metallischen Untergrund erzeugt wird<sup>12</sup>) durch eine Phosphatierung, eine Eloxalschicht, eine Harteloxalschicht, eine Chromatierung oder durch Feuerverzinkung aufgebracht werden. Diese dünnen Schichten schützen das darunterliegende Material darüber hinaus auch im Fall einer Beschädigung, da sie als Opferanode fungieren. Metallische Deckschichten aus Zinn, Gold, Nickel, Kupfer, Chrom, oder Zink, sowie Legierungsschichten wie Nickel-Phosphor oder Zink-Nickel ermöglichen ebenfalls einen Korrosionsschutz. Bei Edelmetallen basiert die Schutzwirkung auf der Eigenschaft, selbst nicht zu korrodieren. Bei anderen Metallen schützt die Barrierewirkung durch die Bildung einer dicken Oxidschicht auf der Oberfläche. Einige Metalle sind zudem in der Lage sich durch die Bildung einer Patina (z. B. Kupfer oder Zink) selbst zu schützen.<sup>13</sup>

Speziell für Holz wurden in den letzten Jahren im Bereich der Nanotechnologie Hydrophobierungsmittel entwickelt, die durch funktionelle Molekülschichten zwar eine stark wasser-

---

Vgl. 12seemeilen Logbuch: Opferanode für Boote <sup>11</sup>

Vgl. Wikipedia: Konversionsschicht <sup>12</sup>

Vgl. pro:Holz: Materialeigenschaften im Vergleich <sup>13</sup>

abweisende Wirkung erzielen, dabei die Wasserdampfdurchlässigkeit allerdings nicht einschränken. Dieser Effekt ist bereits bekannt durch funktionelle Textilien wie zum Beispiel Gore-Tex®. Zurzeit beinhalten die entwickelten Holzschutzprodukte dieser Art jedoch noch keinen UV- und chemischen Schutz. Funktionstaugliche Beschichtungssysteme mit hydrophober Wirkung sind bislang erst im Entwicklungsstadium.<sup>14</sup> Für Kunststoffe gibt es bislang keinen nennenswerten Schutz gegen die Einwirkung von Salzwasser. Die miteinander verfilzten Fadenmoleküle, die beim Erwärmen über den Erweichungspunkt des Materials plastisch, also formbar werden und nach dem Erkalten erhärten und ihre Form behalten<sup>15</sup>, werden durch den ständigen Einfluss von Salzwasser und UV-Strahlung erheblich geschwächt. Das Material wird spröde und verliert nach und nach seine Belastbarkeit.<sup>16</sup> Durch Glas- oder Karbonfasern können die Lebensdauer und die allgemeine Belastbarkeit allerdings deutlich gesteigert werden. Zudem muss man feststellen, dass sich Kunststoff im Vergleich zu anderen Materialien grundsätzlich durch eine relativ hohe Resistenz gegen die Umwelteinflüsse auf offener See auszeichnet.

---

<sup>14</sup> Vgl. pro:Holz: Oberflächenbehandlung von Holz

<sup>15</sup> Vgl. Spektrum, Lexikon der Biologie

<sup>16</sup> Vgl. Pacific Garbage Screening



## RESISTENZ GEGEN DEN BEFALL DURCH MARINE ORGANISMEN

Gegen die Ansiedelung von marinen Organismen ist kein Material resistent. Schon über den Zeitraum von ein paar Wochen kann der Befall durch Fauna und Flora die Reibung und den Widerstand der sich fortbewegenden Forschungs- und Filterstation beeinflussen und somit den Energieverbrauch erhöhen und die Geschwindigkeit drosseln. Über einen längeren Zeitraum kann der Befall durch Organismen auch erheblichen Materialschaden verursachen. Anders als bei Schiffen, die nach ihrem Einsatz in einen Hafen zurückkehren und dort hochgezogen und gereinigt werden können, ist eine derartige Beseitigung des Foulings (unerwünschte Ansiedlung von Organismen<sup>17</sup>) am Bau der Forschungsstation nicht möglich. Der alleinige Bewuchsschutz

durch regelmäßige Reinigung ist somit keine Option. Bei einer Anlage, die die Meere von toxischen Stoffen befreit, kann allerdings keinesfalls auf den Einsatz von Beschichtungssystemen, die ihrerseits wiederum



Schiffsrumpf mit starkem Befall durch marine Organismen

---

Vgl. Wikipedia: Fouling (Schiffbau) <sup>17</sup>  
Abb. 49: Boot Düsseldorf - Revit Center

Toxine an die Umwelt abgeben, zurückgegriffen werden. Da bislang am Markt erhältliche Antibewuchsanstriche Biozide und Kupferverbindungen enthalten, die nachweislich die Organismen von Meerestieren und das Wachstum von mariner Flora beeinträchtigen, versuchen Wissenschaftler seit Jahren alternative Produkte und Verfahren zu entwickeln. Eine mögliche Alternative stellen Biozid freie, erodierende Beschichtungen dar. Diese lösen zwar auch durch ihre sich im Salzwasser auflösende Oberflächenschicht die angesiedelten Organismen mit ab, allerdings tun sie dies ohne den Einsatz von Giftstoffen. Auf die toxischen Stoffe kann aufgrund der erhöhten Auflösungsrate der Biozid freien Beschichtung verzichtet werden. Da sich die Forschungsstation allerdings mehrere Wochen oder sogar Monate kaum von ihrem aktuellen Standort bewegt, der angesiedelte Bewuchs aber nur durch die Kräfte des Wassers in Fahrt abgelöst wird, stellt auch dieses der Umwelt gegenüber unbedenkliche Beschichtungsverfahren keine Alternative zum herkömmlichen Foulingschutz dar. Anders sieht es bei Antihafbeschichtungen aus, die auf einem physikalischen Prinzip beruhen: Eine äußerst geringe Oberflächenspannung bei Silikonen, Wachsen und Teflon verhindert, dass sich unerwünschte Organismen festsetzen. Die langen stationären Einsätze der Forschungs- und Filteranlage haben hier sogar den Vorteil,

dass dadurch ein geringer mechanischer Einfluss entsteht und so die Silikonschicht geschont und ihre Lebensdauer auf bis zu 5 Jahren erhöht wird, während andere Beschichtungssysteme oft einer jährlichen Erneuerung bedürfen. Neben Antihafbeschichtungen ist auch der gezielte Einsatz von Strom erdenklich. Schon mehrere Hersteller haben elektrochemische Systeme entwickelt, die in unregelmäßigen Abständen von einigen Minuten schwachen Strom durch den Schiffsrumpf schicken. Ohne Beeinträchtigung des marinen Ökosystems werden so Organismen am Festsetzen gehindert. Ein weiterer Vorteil neben der Umweltfreundlichkeit ist die Steuerbarkeit dieses Systems. Nur in stationärem Zustand, wenn ein möglicher Bewuchs zum tatsächlichen Problem wird, muss Strom durch jene Teile des Baukörpers fließen, die unter der Meeresoberfläche liegen. Zur Zeit erfolgt die Verteilung des Stroms über eine Titanfolie oder ein Stahl-Magnetband, das am Wasserpass angebracht wird. Dass bei dieser Antifoulingmethode an Board ein Steuergerät installiert werden muss, das durch Kontakte mit den leitenden Materialien verknüpft wird, stellt im Vergleich zu anderen Methoden einen Aufwand dar. Zudem ist die Titanfolie relativ kostenintensiv, kann allerdings bei Neubau durch ein kostengünstigeres, leitfähiges Material ersetzt werden.<sup>18</sup> Einen besonders nachhaltigen und umweltfreundlichen Schutz zur Vermeidung von Bewuchs bietet der Einsatz

---

Vgl. Boot Düsseldorf, Revit Center - Ratgeber ungiftige Antifoulings<sup>18</sup>

von Ultraschall. Dessen Effekt, verschiedenste Algenarten am Anhaften zu hindern, wurde bereits an Schiffsrümpfen im Zweiten Weltkrieg beobachtet. Damals wurde festgestellt, dass der Ultraschall der Sonargeräte einen schützenden Antifoulingeffekt in ihrem Umfeld auslöste, doch erst seit relativ kurzer Zeit baut man auf diese Erkenntnisse auf und entwickelt dieses Prinzip weiter. Durch die optimale Wellenlänge zwischen 27.000 und 48.000 Hz hüllt das Ultraschallsystem die zu schützenden Elemente in eine Kavitationsschicht (Bildung und Auflösung von Dampfblasen in Flüssigkeiten<sup>19</sup>) ein, die sofort das Ansiedeln aller Algenarten verhindert. Aktuelle Produkte haben bereits gezeigt, dass sie über mehrere Jahre hindurch reibungslos funktionieren und somit das kosten- und arbeitsintensive Reinigen und Erneuern der Beschichtung überflüssig machen. Zudem wird verhindert, dass jegliche Stoffe der Beschichtung nicht in das Meerwasser gelangen und somit eine Gefahr für die marinen Organismen darstellen. Mit dem Ultraschall-Antifouling kann das Reinhalten der sich unter Wasser befindlichen Oberflächen von Metallen und Kunststoffen bereitgestellt werden, allerdings nicht das von Holz.<sup>20</sup>

---

<sup>19</sup> Vgl. Wikipedia: Kavitation

<sup>20</sup> Vgl. Shipsonic: Ultraschall Antifouling

## GEWÄHLTES MATERIAL

Aufgrund des Bauprinzips der Forschungsstation, auf das ich später noch ausführlich eingehen werde, ist der Einsatz von verzinkten Stahlprofilen sinnvoll. Zum einen können die Profile vorgefertigt werden und vor Ort rasch und einfach kraftschlüssig verbunden werden, zum anderen ist dieses beschichtete Material äußerst korrosionsbeständig und nur gering wartungsanfällig. Zudem ist die umweltfreundliche und nachhaltige Möglichkeit des Antifoulings per Ultraschall gegeben. In das Tragwerk aus Stahlprofilen werden weiters die raumbildenenden Elemente eingefügt: vorgefertigte Module, die mit verzinkten Profilblechen verkleidet sind. Dort wo aufgrund von Aquaponik zur Nahrungsgewinnung Transparenz gewährleistet sein muss, wird großflächig Isolierglas eingesetzt.

## MÖGLICHKEITEN ZUR VERMEIDUNG VON TIEREN IM BEREICH DER FILTRATION



Wie schon im Kapitel „Die Strömungen der Meere“ beschrieben wurde, ist die thermohaline Zirkulation, also die stetige Umwälzbewegung in den Meeren, nicht nur für den horizontalen Transport von Abfall und Organismen verantwortlich, sondern auch für den vertikalen. Vor allem durch die vertikalen Umwälzbewegungen wird der Nährstoffgehalt in den horizontalen Schichten erneuert und somit die Existenzbasis für zahlreiche marine Lebewesen geschaffen. Da der vertikale Austausch von Stoffen innerhalb der großen Müllwirbel aber nicht erfolgt und somit keine Nahrungsgrundlage gegeben ist, befinden sich in den Müllballungsgebieten auch kaum Organismen. Dies kommt einer Plastik filtrierenden Station zugute. Da sich aber besonders schutzsuchende Jungtiere oft an der Unterseite von Ölplattformen, Booten, künstlichen Inseln, etc. vor möglichen Fressfeinden verstecken, ist es nicht ausgeschlossen, dass marine Lebewesen in die Hohlräumen der Filtration geraten und sich von dort nicht mehr befreien können. Eine präventive Maßnahmen könnte die im vorangegangenen Kapitel erwähnte Ultraschallmethode sein: Nicht nur Algen reagieren sensibel auf diese hochfrequenten Wellen, sondern auch zahlreiche andere marine Organismen. Auf diese Weise können Tiere kostengünstig und ohne die Vorgänge im Meer nachhaltig zu beeinflussen von der Filt-

ration der schwimmenden Station ferngehalten werden. Auch eine analog zur Hautfarbe von Raubfischen gewählte Erscheinung der Forschungsstation könnte effektiv sein. Marine Lebewesen wie Wale oder Haie setzen die Farbe ihrer Haut unbewusst wirkungsvoll ein. Während die dunkle Farbe am Rücken und an den Seiten die Tiere von über ihnen liegenden Meeresschichten aus schwer erkennbar macht, gilt das gleiche Prinzip auch anders herum: Durch ihre helle, meist sogar weiße Körperunterseite sind sie gegen die durch das Sonnenlicht erhellten oberen Meeresschichten von unten kaum erkennbar. Die Wahl eines hellen Materials bzw. hellen Anstriches der sich unter dem Meeresspiegel befindlichen Oberflächen der Station könnte also eine durchaus effektive Maßnahme sein, um Organismen fernzuhalten. Dieses Funktionsprinzip könnte man durch die Anbringung von Leuchtdioden am Baukörper entlang der Wasserlinie verstärken. Auch hier findet man Inspiration in der marinen Biologie: Zahlreiche Lebewesen werden in ihrer Tarnung durch Biolumineszenz unterstützt, die sie häufig nach dem erwähnten Prinzip einsetzen.<sup>1</sup>

---

Indirekte Zitate aus einem persönlichen Mailverkehr mit M.Sc.Rosanna Schöneich-Argent <sup>1</sup>

## METHODEN ZUR GRÜNDUNG BZW. VERANKERUNG

# 10

Da in der Architektur noch keine gängigen Methoden zur

Gründung in tiefen Gewässern entwickelt wurden, liegt es nahe, auf die Prinzipien der Verankerungen von Windkraftanlagen in den Gründen natürlicher Gewässer oder der auf Konzepte von Bohrplattformen zurückzugreifen. Man wählt abhängig von der Wassertiefe und der Beschaffenheit des Grundes ein System, das selbst bei starker Strömung und hohem Wellengang sicheren Halt garantiert und dennoch einen, in Relation dazu, akzeptablen Kosten- und Produktionsaufwand verspricht.



## OFFSHORE-WINDPARK

Im Gegensatz zum Onshore-Windpark (an Land) werden die Windparks beim Offshoring im Küstenvorfeld der Meere errichtet. Bislang werden sie ausschließlich auf dem Festlandsockel gebaut und nicht auf hoher See, wie oft fälschlicherweise behauptet. Offshore-Standorte zeichnen sich üblicherweise durch relativ kontinuierliche Windbedingungen und hohe durchschnittliche Windgeschwindigkeiten aus. Die Errichtung eines Offshore-Windparks erfolgt entweder mittels geschleppter Hubinseln oder speziell für diese Aufgabe erbauter Errichterschiffe.<sup>1</sup> Die Gründung solcher Anlagen oder die von Bohrplattformen stellt eine besondere Herausforderung dar, da nicht nur das eigene Gewicht, sondern auch die Strömung des Wassers, sowie die Kraft der Wellen auf die Konstruktion wirken. Die Kraft des Windes wirkt auf alle Teile des Bauwerkes oberhalb des Meeresspiegels und in Folge somit indirekt auch auf die Gründung. All diese Kräfte können sich addieren und zu Langzeitverformungen führen, die die Standsicherheit der gesamten Anlage gefährden. Da die Konstruktion ständig salzhaltigem Wasser und ebensolcher Luft ausgesetzt ist, werden an die Korrosionsbeständigkeit erhöhte Anforderungen gestellt. Umso größer die Wassertiefe am Standort ist, desto höher sind auch die Anforderungen, um eine langfristige Sicherheit gewährleisten zu können. Aufgrund der ähnlichen Anforderungen greift man dabei auf die Erfahrungen der Erdöl- und Gasin-

---

Vgl. Wikipedia: Offshore-Windpark <sup>1</sup>

## SCHWERGEWICHTSGRÜNDUNGEN

Als Schwergewichtsgründung bezeichnet man im Bauwesen eine Gründungsform für Offshorebauwerke, die auf jegliche Verankerung verzichtet und durch Hilfe eines schweren Ballasts für Stabilität sorgt. Eine ausreichende Tragfähigkeit des Meeresbodens ist dabei die Voraussetzung für den Einsatz einer solchen Gründungsmethode. Mit vorgefertigten Senkkästen aus Stahl oder Beton wird das Fundament auf beziehungsweise wenige Meter unter dem Meeresboden errichtet. Mit zunehmender Tiefe steigt die benötigte Ballastmasse überproportional zur Wassertiefe, was den Einsatz ausschließlich in geringen Meerestiefen wirtschaftlich macht. Diese Fundamente werden in der Regel nur in flachen Gewässern bis maximal 50 Meter Tiefe eingesetzt, weil diese Art der Gründung mit hohen Kosten verbunden ist. Der Vorteil liegt dabei in der Eisgangbeständigkeit.<sup>2</sup>

## MONOPILES

Mit Hilfe eines Errichterschiffes oder einer Hubinsel wird ein einzelner runder Stahlpfahl in den Meeresboden gerammt, wobei dessen oberes Ende über dem Meeresspiegel liegt. Die schlanke und einfache Konstruktion ermöglicht eine platzsparende und somit kostengünstige Herstellung und einen ebenso günstigen Transport. Der vergleichsweise geringe Eingriff in den Meeresboden reduziert zudem die Vorarbeiten auf ein Minimum. Die Schlankheit begrenzt allerdings die maximal mögliche Länge und kann den Einsatz bei Wassertiefen über 20 Meter nicht mehr gewährleisten.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup>Vgl. Wikipedia: Schwergewichtsgründungen

<sup>3</sup>Vgl. Wikipedia: Monopile

## TRIPLES, TRIPODS, JACKETS

Diese Gründungsform basiert auf den gleichen Prinzipien, wie die der Monopiles. Allerdings ermöglicht der stabilere Dreifuß bei Tripiles und Tripods, sowie der Vierfuß bei Jacket-Gründungen im Gegensatz zum einzelnen Gründungspfahl den Einsatz in tieferen Gewässern (ab 20 bis 50 Meter). Konstruktiv unterscheiden sich Tripiles beziehungsweise Tripods durch die runden, miteinander verschweißten Baustahlrohre von den Jackets. Die viereckige Fachwerkkonstruktion aus Stahlrohren ermöglicht den Jackets allerdings eine noch vorteilhaftere Lastenverteilung. Durch die mehrfüßige Konstruktion ist eine bessere Verteilung der Kräfte gegeben.<sup>4</sup>

## SCHWIMMENDE WINDKRAFTANLAGE

Diese Form der Windkraftanlage wird auf einem schwimmenden Fundament errichtet. Es ist dabei möglich, mehrere Windkraftanlagen auf einem Fundament unter zu bringen, oder für jede einzelne Windkraftanlage ein eigenes schwimmendes Fundament zu errichten. Schwimmende Windkraftanlagen sind zwar vergleichsweise teuer und haben ein komplexes dynamisches Verhalten, lassen sich jedoch einfacher auf große Anlagen anpassen und ermöglichen eine einfachere Logistik. Zudem können sie im Gegensatz zu zuvor genannten Gründungsmethoden in größeren Wassertiefen Einsatz finden und beschränken sich nicht nur auf Standorte in flachen Randmeergebieten. Auch das Zurückschwingen und dadurch erfolgte Abfangen von Schlägen durch starke Windböen bringt große Vorteile.<sup>5</sup> Grundsätzlich unterscheiden sich schwimmenden Anlagen dieser Art in ihrer Verankerungsmethode:

---

Vgl. Wikipedia: Tripile, Tripod, Jackets <sup>4</sup>

Vgl. Wikipedia: Schwimmende Windkraftanlagen <sup>5</sup>

#### SPAR-PLATFORM (SP) •

Diese tiefreichende schraubenähnliche Konstruktion ermöglicht ein Arbeiten, das weniger von den Auswirkungen durch Wind, Wellen und Strömung betroffen ist.<sup>6</sup>

#### TENSION-LEG-PLATFORM (TLP) •

In Gebieten mit einer Meerestiefe zwischen 300 und 1500 Meter kommen schwimmende Plattformen zum Einsatz, die durch an den Ecken der Konstruktion gruppierte Stahlseile am Meeresboden gehalten werden. Der Vorteil einer solchen Abspannung liegt in der hohen axialen Steifigkeit. Nahezu alle vertikalen Bewegungen der Plattform werden eliminiert, was eine Produktion an Deck ermöglicht.<sup>7</sup>

#### SEMI-SUBMERSIBLE-PLATFORM •

Entweder kommen Schiffe mit gefluteten Ballasttanks oder spezielle Halbtaucher-Plattformen zum Einsatz. In beiden Fällen liegt der größte Teil des Auftriebskörpers weit unterhalb der Wasserlinie. Diese Eigenschaft führt selbst bei starkem Wellengang zu einer sehr guten Stabilität und somit zu einer ruhigen Lage im Wasser, da die an der Wasseroberfläche vorhandenen Wellenbewegungen bereits in geringer Tiefe stark abnehmen.<sup>8</sup>

---

<sup>6</sup>Vgl. Wikipedia: Spar (platform)

<sup>7</sup>Vgl. Wikipedia: Tension-leg platform

<sup>8</sup>Vgl. Wikipedia: Halbtaucherplattform

Erfahrungen mit schwimmenden Konstruktionen haben bereits gezeigt, dass das dynamische Verhalten - hervorgerufen durch den Wellengang und die stetige Strömung - mittels Dämpfen ausgeglichen werden kann. Es werden zwischen Fundament am Meeresgrund und der Befestigung des Ankerkabels am Baukörper Elemente

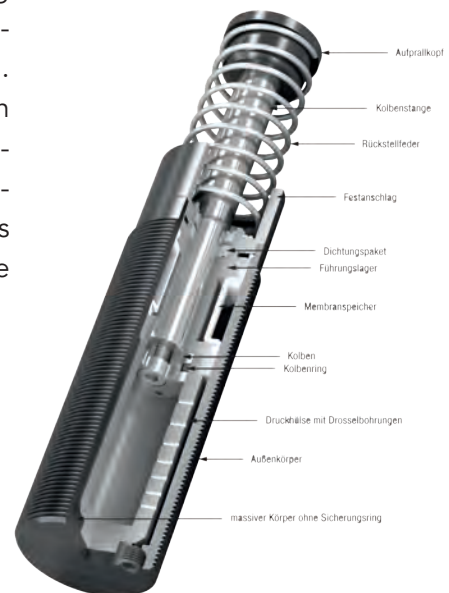


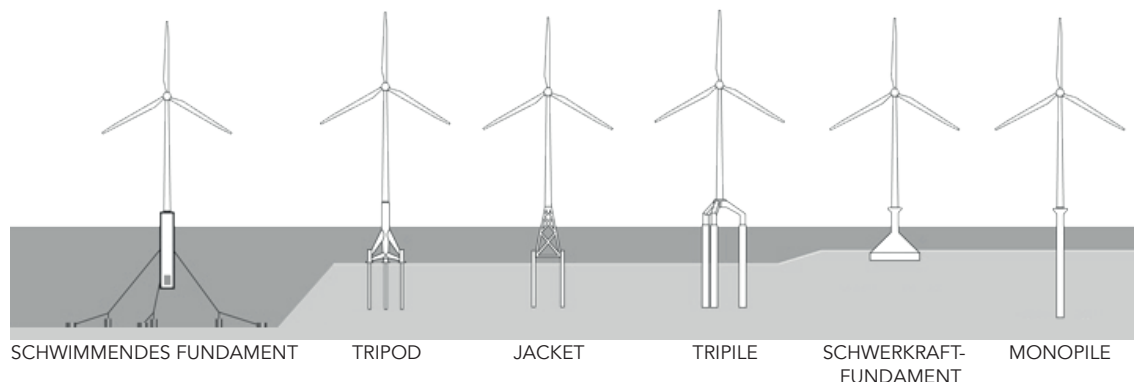
Abb. 50: ACE Stoßdämpfer GmbH

## FLACHGRÜNDUNG

Die Bauwerkslasten werden, wie es bei Bauwerken an Land bekannt ist, direkt unterhalb in den Boden geleitet. Man unterscheidet dabei eine Ausführung mit oder ohne Schürzen zur Verhinderung von Frostschäden am frostexponierten Rand des Fundaments.<sup>9</sup>

## BUCKET-FUNDAMENT

Ein nach unten geöffneter Stahlzylinder wird auf den Meeresboden gesetzt und anschließend leergepumpt. Der oben auflastende hydrostatische Druck presst dabei das Fundament in den Meeresgrund und das Bodenmaterial im Inneren des Zylinders stützt das Fundament und verankert es gleichzeitig mit dem Grund. Abgesehen von Sedimentböden ist diese Gründungsart kaum einsetzbar, allerdings liegt ihr Vorteil in der raschen und leichten Entfernung. Indem Luft in den Zylinder gepumpt wird, hebt er sich mühelos wieder aus dem Meeresboden.<sup>10</sup>



<sup>9</sup>Vgl. Wikipedia: Flachgründung

<sup>10</sup>Vgl. Wikipedia: Bucket-Fundament

Abb. 51: Stiftung Offshore Windpark

## BOHRPLATTFORM

Da eine Bohrplattform ähnlich meiner Entwurfsarbeit ein künstlich angelegtes Konstrukt im offenen Meer ist, mache ich mir einige der bereits bestehenden Lösungsansätze einer solchen Anlage in konstruktiven wie auch konzeptionellen Belangen zu Nutze. Besonders die Verankerung und die konstruktive Resistenz gegenüber der einwirkenden hydraulischen Kräfte haben hierbei eine hohe Relevanz.

Meist werden Bohrplattformen zum Niederbringen von Bohrungen auf der Suche nach Erdöl oder Erdgas errichtet und dienen neben ihrer Hauptfunktion oft auch als Wetterstationen, um mit ihren Messwerten die meist nur spärlich vorhandenen Daten über die Ozeane für die Wetterberechnung zu unterstützen. Am Rand der Antarktis finden Bohrsinseln auch in der Forschung Einsatz: Im Bereich der geologischen Klimaforschung und der paläontologischen Geologie werden sowohl untermeerische als auch „untereisische“ Bohrungen durchgeführt. Seismographen zur Erdbebenvorsorge und -erforschung werden ebenfalls an solchen Stationen im Meer angebracht. Fünf verschiedene Bauarten werden dabei unterschieden:

#### FESTE PLATTFORM •

(engl.: Fixed Platform oder Submersible Rig)

Diese Art der Bohrplattform ist durch einen festen Sockel aus Stahl oder Beton mit dem Meeresboden verbunden. Turmplattform (engl.: Compliant Tower) nennt man die feste Plattform, wenn sie auf einem oder mehreren stählernen Gerüstbeinen ruht. Mit Hilfe von Schleppern werden sie ins Zielgebiet gezogen und dort abgesenkt.<sup>1</sup>

#### MOBILE PLATTFORM •

(Hubbohrinsel, engl.: Jack-up rig)

Durch ihre absenkbaren Gerüstbeine ist diese Plattform vertikal beweglich. Die Aufnahme von Ballastwasser und das Anheben der Plattform über die Meeresoberfläche erzeugen einen ausreichend großen Druck, um eine feste Verankerung im Meeresgrund zu erzeugen. Wie feste Plattformen werden auch die mobilen von Schleppern bewegt und an neue Standorte gezogen. Der Einsatz ist bis zu einer Wassertiefe von 130 Meter möglich.<sup>2</sup>

#### HALBTAUCHERBOHRINSEL •

(engl.: Semi-submersible rig)

Diese Bohrinself schwimmt auf sogenannten Pontons. Das sind geschlossene, luftgefüllte Schwimmkörper, die meist fest verankert als wasserstandsabhängige Träger eingesetzt werden und die Konstruktion somit transportfähig machen, aber durch ihren fehlenden Antrieb und durch ihre strömungsungünstige Form nur eingeschränkt fahrtauglich sind. Durch gefüllte Ballasttanks ist es diesem Bohrintertyp möglich, selbst unter besonders widrigen Wetterverhältnissen eine relativ ruhige Lage zu garantieren. Ihre Position halten Halbtaucherbohrinseln entweder durch weit ausgelegte Anker, oder durch einen GPS-basierten und Computer gesteuerten eigenen Antrieb. Diese Art der Bohrinself schwimmt und ist somit eine der mobilsten. Sie kann zudem in großen Wassertiefen bis zu 3500 Meter eingesetzt werden.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup>Vgl. Wikipedia: Bohrplattform

<sup>2</sup>Vgl. Wikipedia: Hubbohrinsel

<sup>3</sup>Vgl. Wikipedia: Halbtaucher



- TLP

(Abkürzung aus dem Englischen: Tension leg platform)

Diese Bauform ist mit jener der Halbtaucherinsel verwandt. Bei TLPs wird die Konstruktion jedoch durch vertikal verlaufende Stahltrossen, die unter starker Spannung stehen, über dem Bohrloch gehalten.<sup>4</sup>

- BOHRSCHIFF

In sehr großen Wassertiefen von über 3000 bis zu über 10 000 Meter und an Positionen, an denen normale Bohrinseln nicht befestigt werden können, werden meist Bohrschiffe eingesetzt, die sich durch ihren Antrieb - meist schwenkbare Stahlruder oder Propellergondeln - auf Position halten. Diese Bohrschiffe finden zudem häufig im Bereich der Forschung Einsatz.<sup>5</sup>



FESTE PLATTFORMEN

TURM-  
PLATTFORM

TENSION LEG PLATFORM

HALBTAUCHER  
BOHRINSEL

PRODUK-  
TIONSLAGER

FERTIGUNGS-  
PLATTFORM

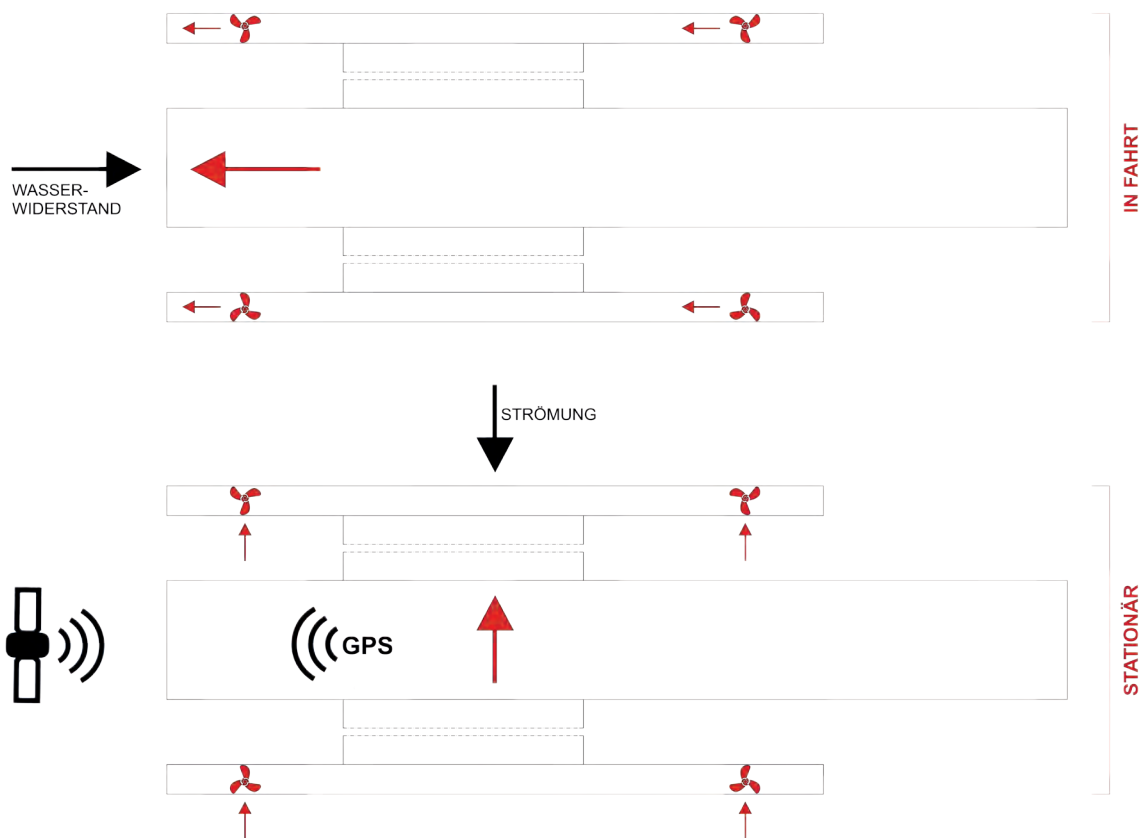
Vgl. Wikipedia: Bohrplattform <sup>4</sup>

Vgl. Wikipedia: Bohrschiff <sup>5</sup>

Abb. 52: Wikipedia: Bohrplattform

## WAS HEISST DAS FÜR DIE POSITIONSHALTUNG DER FORSCHUNGSSTATION?

Da eine Verankerung im Meeresboden mit jeglichem Gründungsprinzip ein komplexes dynamisches Verhalten zur Folge hat und zudem mit einem extrem hohen Kostenaufwand verbunden ist, wäre es sinnvoll, zur Gänze auf eine Gründung zu verzichten. Das Antriebssystem, das auch für die Fortbewegung (zwischen den Forschungsarbeiten und Filtrationsprozessen an einem bestimmten Ort) des gesamten Komplexes dient, kann auch dazu dienen, diesen in stationärem Betrieb in Position zu halten. Die an die beiden Enden der Schwimmkörper angebrachten Turbinen haben neben dem Antrieb zur Fortbewegung der Forschungsstation die Aufgabe, die Filtrationskörper entgegen der Strömungsbewegung auszurichten. Mit einem Lokalisierungssystem (GPS und Kompass) werden die Position und die Ausrichtung der Forschungsstation ermittelt. Diese Daten werden zur Korrektur beziehungsweise Anpassung der Positionierung entgegen der Strömungsrichtung an das Antriebssystem der Station weitergegeben. Die Turbinen passen in Folge ihre Ausrichtung und Rotationsgeschwindigkeit an die gegebenen Bedingungen an.



# WASSERDRUCK

## HYDROSTATISCHER DRUCK

# 11

Auch der hydrostatische Druck unterhalb des Meeresspiegels kann zu baulich nötigen Maßnahmen führen. Da dieser innerhalb eines ruhenden Fluids wirkende und durch die Gravitation beeinflusste Druck bei zunehmender Tiefe ansteigt (viel schneller als dieser mit zunehmender Höhe in der Luft ansteigt), muss auch die Druckbeanspruchbarkeit der Konstruktion mit zunehmender Tiefe steigen. Nach dem Pascal'schen Gesetz lässt sich der hydrostatische Druck für Flüssigkeiten mit konstanter Dichte im homogenen Schwerfeld berechnen. International gilt dabei die physikalische SI-Einheit Pascal ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ ), während in Deutschland und Österreich der hydrostatische Druck meist in Bar angegeben

$$p(h) = p \cdot g \cdot h + p_o$$

**p** = Dichte (für Wasser:  $p \approx 1.000 \text{ kg/m}^3$ )

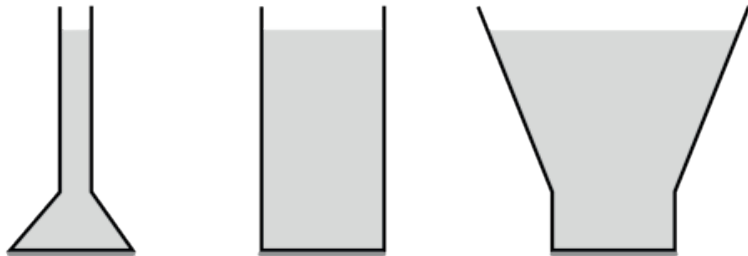
**g** = Erdbeschleunigung ( $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$ )

**h** = Höhe des **Fluidspiegels** über dem betrachteten Punkt

**p<sub>o</sub>** = **Luftdruck** auf Flüssigkeitsoberfläche

**p(h)** = **hydrostatischer Druck** (abhängig von Fluidspiegel-Höhe)

Anhand von drei unterschiedlichen Gefäßen lässt sich das Prinzip des Wasserdrucks gut veranschaulichen: Nicht die Form und somit die absolute Füllmenge eines Gefäßes sind entscheidend für den Druck an dessen Boden, sondern alleine die Höhe des Flüssigkeitsspiegels und dessen Dichte. Dieses Phänomen ist als Hydrostatisches Paradoxon bekannt.



Trotz unterschiedlicher Füllmengen ist der hydrostatische Druck am Boden in allen dieser Gefäße gleich groß.

Da die Dichte, die verantwortlich für die Intensität des Drucks auf den unter Wasser liegenden Teil der Konstruktion ist, abhängig von der Temperatur des Meerwassers ist, ist es somit nicht nur für die über dem Meeresspiegel liegenden Teile der Forschungsstation erforderlich, die klimatischen Bedingungen vor Ort zu kennen.<sup>1</sup>

---

Vgl. Wikipedia: Wasserdruck <sup>1</sup>  
Abb. 53: Wikipedia

## AUFTRIEB

# 12

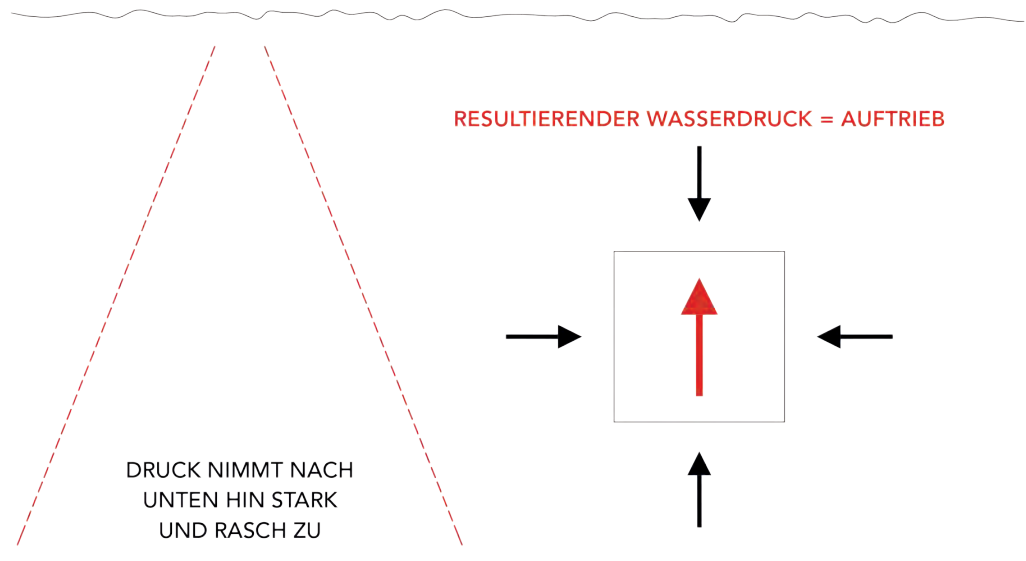
Der Auftrieb ist eine relevante Größe im Bezug auf die Konzipierung eines Baukörpers, der auf dem

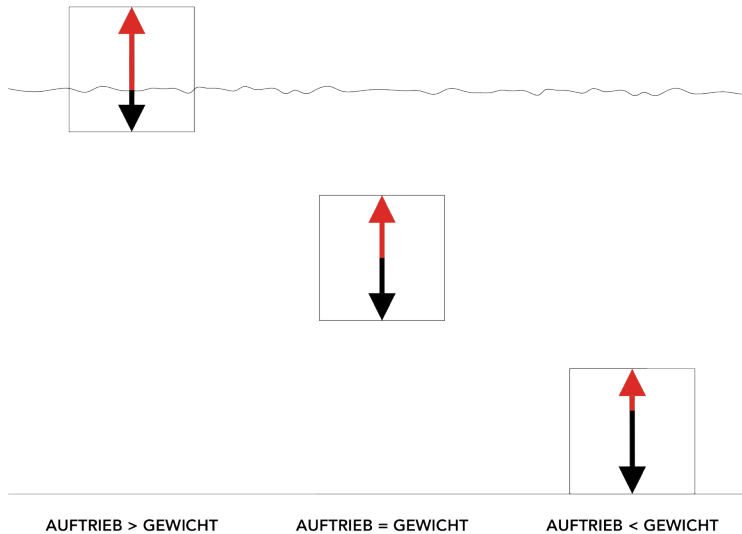
Meer treibt. Besonders im Fall der Plastik-filtrierenden Forschungsstation, die nicht nur über der Wasserlinie Raumvolumina und Konstruktionselemente aufweist, sondern auch über beachtlich tief reichende Filtrationskörper verfügt.

### **Auftrieb = Gewicht der verdrängten Wassermenge**

Die Kraft, die in Fluiden (Flüssigkeiten und Gasen) der Schwerkraft entgegengesetzt wirkt, bezeichnet man als statischen Auftrieb. Dieser wird durch die Verdrängung des umgebenden Mediums hervorgerufen. Ein Luftballon, der sich nur durch sehr hohe Krafteinwirkung in ein mit Wasser gefülltes Becken eintauchen lässt, veranschaulicht sehr gut das Prinzip des Auftriebs und welche hohen Kräfte erforderlich sind, um diesem entgegenzuwirken. Die Stärke des statischen Auftriebs ergibt sich aus dem archimedischen Prinzip und bewirkt, dass Schiffe schwimmen oder Heißluftballone schweben.

Die Ursache für den Auftrieb ist der erhöhte Druck auf die Unterseite des Körpers im Gegensatz zu jenem Druck, der auf die Oberseite wirkt. Wenn kein Fluid oder Gas an die Unterseite des Körpers gelangen kann, so gibt es keine Auftriebskraft.





Der statische Auftrieb entspricht der Gewichtskraft der gegebenen Verformung des Fluids. Auf den Körper, der in eine Flüssigkeit wie Wasser oder ein Gas wie Luft mit einer gewissen Dichte  $\rho$  getaucht ist, wirkt also eine Auftriebskraft  $F_A$  mit dem Betrag:

$$F_A = g \cdot \rho \cdot V$$

**$V$**  = das **vom Körper verdrängte Volumen** des Fluids

**$\rho \cdot V$**  = **Masse** des vom Körper verdrängten Fluids

**$g \cdot \rho \cdot V$**  = **Gewichtskraft der Masse** des vom Körper verdrängten Fluids

Dem hydrostatischen Paradoxon zufolge hängt der Druck, der auf den Körper wirkt, nur von der Tiefe und nicht von der Form des Fluids ab. Somit wirkt die statische Auftriebskraft unabhängig von der Menge des Fluids, in dem der Körper eingetaucht ist.



Ein Schiff beispielsweise schwimmt, weil der in das Wasser eingetauchte Teil des Rumpfes leichter ist, als das von ihm verdrängte Wasser und das Gesamtgewicht des Schiffes dem Gesamtgewicht des von ihm verdrängten Wassers entspricht. Da Schiffe durch die großen Lufträume an Bord eine geringere mittlere Dichte als Wasser haben, befinden sie sich in einem stabilen Gleichgewicht: Durch zu tiefes Eintauchen wird die Auftriebskraft erhöht und der Körper wird wieder nach oben gehoben, wird er zu weit empor gehoben, verringert sich der Auftrieb und die Schwerkraft lässt den Körper wieder eintauchen.<sup>1</sup>

#### AUFTRIEBSBERECHNUNG DER FORSCHUNGSSTATION

Wie viel Volumen (Luftraum) müssen die Auftriebskörper der Forschungsstation haben, um ausreichend Auftrieb zu gewährleisten?

**Einflussfläche:**  $30\text{m} \cdot 5\text{m} (1. \text{OG}) + 37\text{m} \cdot 5\text{m} (2. \text{OG}) = 335 \text{ m}^2$

**Normlast:** 300 kg

**Last pro Einflussfläche:**  $335 \text{ m}^2 \times 300 \text{ kg} = 100,5 \text{ t}$

→ 100,5 t Auftrieb wirken entgegen

→ 100,5 m<sup>3</sup> Wasser werden verdrängt

→ **100,5 m<sup>3</sup> Auftriebsvolumen erforderlich**

**Erforderliche Höhe der Auftriebskörper:**

$100,5 \text{ m}^3 / (5\text{m} \cdot 20\text{m}) = 1,005 \text{ m}$

---

Vgl. Wikipedia: Statischer Auftrieb <sup>1</sup>

## ENERGIEGEWINNUNGS- FORMEN MEERESENERGIE

# 13

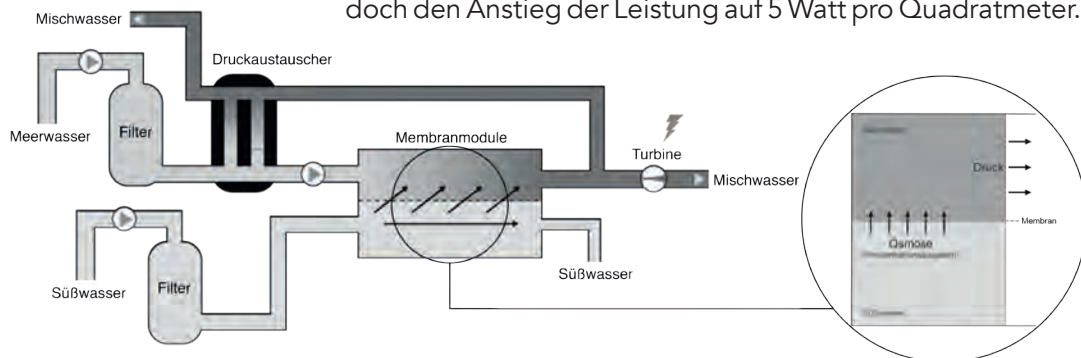
In den Wassermassen der Weltmeere sind verschiedene Formen von mechanischer, thermischer und physikalisch-chemischer Energie enthalten. Um diese Ressourcen zu nützen und daraus elektrische Energie zu gewinnen, wurden zahlreiche Systeme entwickelt, derer man sich bedienen kann, um einen energieautarken Betrieb der Plastik filtrierenden Forschungsstation zu garantieren. Folgende mögliche Verfahren

### OSMOSEKRAFTWERK

Bei dieser Art der Energiegewinnung macht man sich den Unterschied des Salzgehaltes zwischen Süßwasser und Meereswasser zunutze. Die treibende Kraft ist hierbei das höhere thermodynamische Potential des Süßwassers. Zwei Lösungen mit unterschiedlichem Salzgehalt tendieren dazu, ihre Konzentrationen anzunähern. Um Energie zu gewinnen, die wiederum zur Stromerzeugung eingesetzt werden kann, wird das physikalische Prinzip der Osmose genutzt. Das Salzwasser wird zunächst gefiltert und mit Hilfe eines Druckaustauschers unter Druck gesetzt, bevor es mit dem Süßwasser, das durch eine semipermeable Membran diffundiert, vermischt wird. In Folge fließt genau soviel Wasser durch eine Turbine, die dadurch Strom erzeugt, wie in der gleichen Zeit durch die Membran diffundiert.

Für dieses Verfahren wurden spezielle Membranen aus Polymeren entwickelt, denn es muss gewährleistet sein, dass diese die Salze effizient zurückhalten, jedoch gleichzeitig eine gute Wasserdurchlässigkeit aufweisen.

Flussmündungen (Süßwasser) in das Meer (Salzwasser), oder zwei Wasserläufe mit unterschiedlichen Salzkonzentrationen bieten eine perfekte Ausgangslage für ein Osmosekraftwerk. Auch Direktleitungen von stark salzhaltigen Abwässern in Flüsse sind möglich. Der dabei erzielbare Energiegewinn steigt mit der Höhe der Durchflussmenge und dem Unterschied des Salzgehaltes der verschiedenen Gewässer. Derzeit ist es möglich eine elektrische Leistung von 3 Watt pro Quadratmeter Membran zu erzielen. Für den wirtschaftlichen Betrieb eines solchen Kraftwerkes erhofft man sich jedoch den Anstieg der Leistung auf 5 Watt pro Quadratmeter.<sup>1</sup>

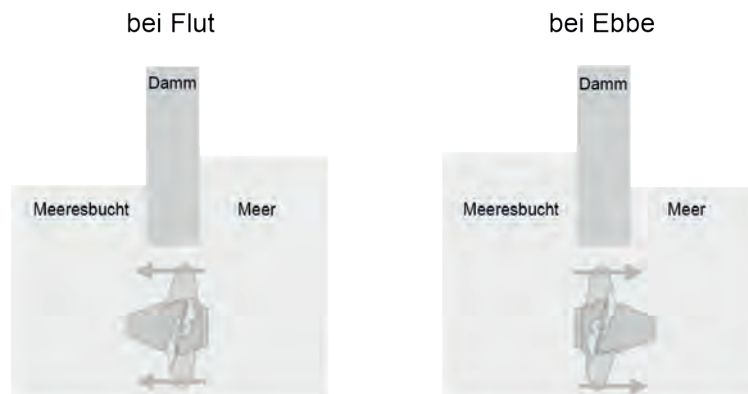


Vgl. Wikipedia: Osmosekraftwerk <sup>1</sup>  
Abb. 54: Wikipedia

#### OSMOSEKRAFTWERK

Das Gezeitenkraftwerk nutzt die potentielle und kinetische Energie aus dem Tidenhub des Meeres und wandelt sie in elektrischen Strom um. Ebbe und Flut sind die Folgen durch die Gezeitenkräfte von Mond und Sonne, wobei der stärkere Einfluss vom Mond ausgeht. Die Erdrotation bewirkt zudem, dass diese Gezeitenkräfte an einem festen Ort der Erdoberfläche zeitlich variieren. Besonders an den Küsten der Kontinente, ist dieses Phänomen zu beobachten.

Dieses Energiegewinnungsverfahren funktioniert nach dem Staudamm-Prinzip: Ein Deich dämmt Buchten oder Ästuarien (Flussmündungen), die einen besonders hohen Tidenhub (Differenz zwischen Hoch- und Niedrigwasserstand) aufweisen. Bei Flut füllt sich das Becken innerhalb der Dämmung und treibt dabei Turbinen an, die dadurch Energie gewinnen. Bei Ebbe entleert sich das Becken und gewinnt so auf die gleiche Art Energie.



Da Ebbe und Flut nur alle 12 Stunden und 24 Minuten auftreten, kann eine gleichmäßige Energieabgabe jedoch nicht gewährleistet werden. Außerdem sind die ökologischen Einwirkungen auf die Fauna und Flora innerhalb des Deiches zu stark (die Phasen des 12-Stunden-Zykluses werden verschoben), um den Bau eines Gezeitenkraftwerkes zu rechtfertigen.<sup>2</sup>

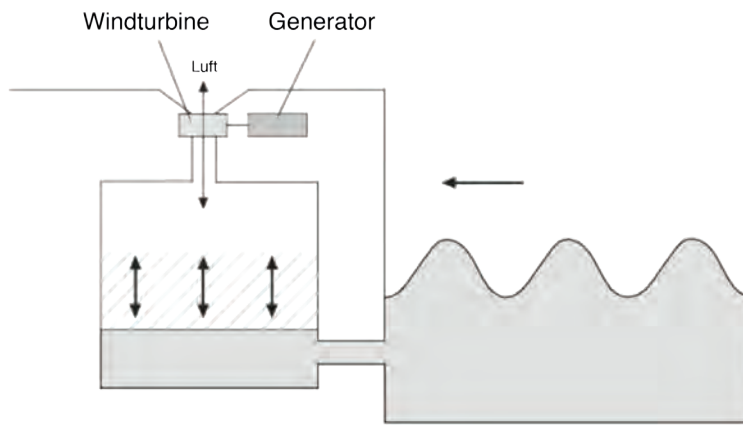
Vgl. Wikipedia: Gezeitenkraftwerk <sup>2</sup>  
Abb. 55: Wikipedia

## WELLENKRAFTWERK

Wellenenergie ist das Vermögen von Wellen, Arbeit zu leisten. Diese Energie der kontinuierlichen Wellenbewegung kann zur Gewinnung elektrischen Stroms genutzt werden. Es wurden bereits verschiedenen Konzepte, die auf diesem Funktionsprinzip basieren, entwickelt:

### Pneumatische Kammern

Jede Welle drückt das Meerwasser in kaminartige Betonröhren und zieht es bei einem Wellental wieder heraus. Durch die Auf- und Abwärtsbewegung des Wassers wird die Luft in den Röhren abwechselnd komprimiert bzw. angesaugt. Dadurch entsteht im Auslass durch den schnellen Luftstrom ein Antrieb für die am oberen Ende der Röhren angebrachten Turbinen. Durch Kurzzeitspeicher versucht man die Unstetigkeit der Energieabgabe, die mit der Intensität der Wellen schwankt, zu relativieren. Auch der parallele, räumlich getrennte Betrieb von mehreren dieser Anlagen kann die Schwankungsbreite der Energieausschüttung dezimieren.<sup>3</sup>



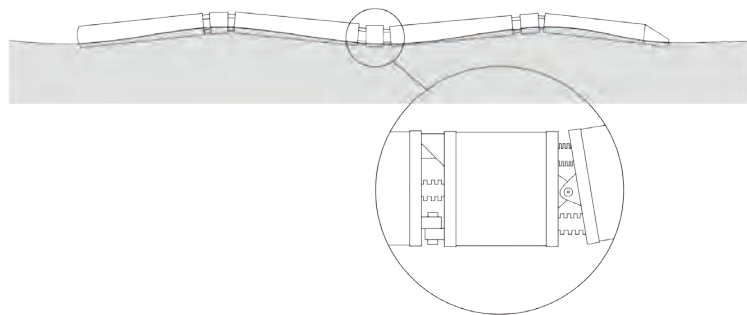
<sup>3</sup> Vgl. Wikipedia: Wellenkraftwerk  
Abb. 56: Wikipedia

## Auftriebskörper

An der Meeresoberfläche schwimmende Elemente werden mit Gelenken verbunden, in denen sich Hydraulikzylinder befinden. Durch die welleninduzierte vertikale und horizontale Knick- oder Pendelbewegung der einzelnen Module wird an den Gelenken ein hoher Druck erzeugt. Die Arbeitsflüssigkeit wird dadurch durch Röhren mit integrierten Turbinen und Generatoren in die Ausgleichszylinder gedrückt. Die Schwimmkörper aus einem gummiartigen Material zu konzipieren würde die für die Herstellung nötige Energie im Vergleich zu jenen Modellen aus Stahl erheblich reduzieren, wie der schon realisierte Auftriebskörper „Anaconda“ gezeigt hat.

Zusätzlich könnte Energie durch die Befestigung des Auftriebskörpers an zum Beispiel einer Offshore-Windanlage gewonnen werden. Die Bewegung eines gespannten Seiles und somit die dadurch entstehende mechanische Energie kann hier durch die Auf- und Abwärtsbewegung des Auftriebskörpers gewonnen werden. Sie wird an einen Generator übertragen und dort in elektrische Energie umgewandelt.

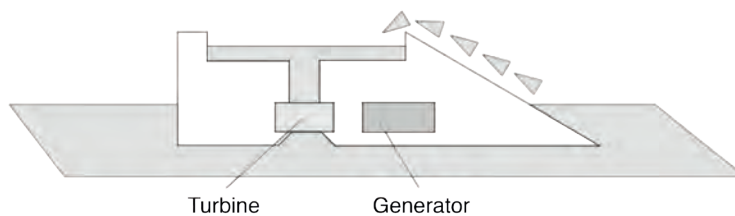
Dieses Energiegewinnungssystem weist bei relativ geringen Herstellungskosten einen vergleichsweise hohen Wirkungsgrad auf. <sup>4</sup>



Vgl. Wikipedia: Wellenkraftwerk <sup>4</sup>

## Rampe

Durch zwei V-förmig angeordnete Barrieren werden die Wellen und somit das Meerwasser zur Mitte hin konzentriert. Die Wellen werden dadurch verstärkt und laufen eine Rampe hinauf, um dort das Wasser über Turbinen, die einen Generator antreiben, wieder ins Meer zurückfließen zu lassen. Dieses Kraftwerk ist durch seine schwimmende Konstruktion nicht an die Nähe von Küsten gebunden.<sup>5</sup>



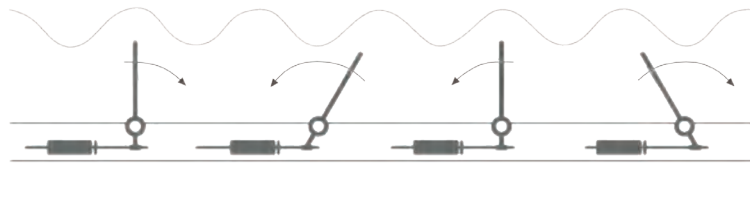
<sup>5</sup>Vgl. Wikipedia: Wellenkraftwerk  
Abb. 57: Wikipedia



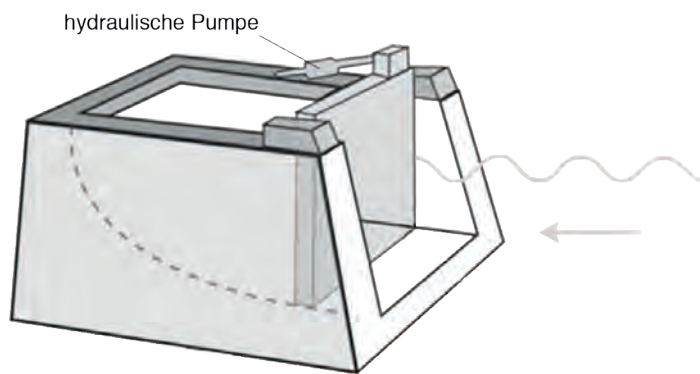
## Bewegliche Platten

Auf absenkbaaren Metallplattformen werden vertikal bewegliche Metalplatten befestigt, die sich durch die Bewegung des Wassers hin und her bewegen. Ein Hydrauliksystem erzeugt in Folge in einem geschlossenen Hydraulikmotor ein Drehmoment. Dadurch wird schließlich in einem Generator elektrische Energie erzeugt. Dieses Prinzip machte man sich auch beim Entwurf des Übersee-Autotransporters „Orcelle“ zunutze: Annähernd waagrecht am Rumpf angeordnete Platten werden vom Wellengang jeweils um eine quer zur Fahrtrichtung liegende Achse bewegt und erzeugen so Energie. Auch der „Oyster“ (Aquamarine Power), oder der „Wave Roller“ machen sich dieses Prinzip zunutze: Eine schwimmende Klappe, die in Küstennähe am Meeresboden verankert wird, treibt durch seine Hin- und Her-Bewegung zwei hydraulische Kolben an, die wiederum das Wasser durch eine Rohrleitung an Land pumpen. Dort treibt das unter hohem Druck stehende Wasser schließlich eine Turbine an.

Diese Form der Energiegewinnung beschränkt sich zur Zeit jedoch auf Wassertiefen von 8 bis 20 Meter. Am Meeresboden verankert, ist von dieser Anlage über dem Meeresspiegel bis auf die Markierungszeichen nichts zu sehen.<sup>6</sup>



Vgl. Wikipedia: Wellenkraftwerk <sup>6</sup>  
Abb. 58: Energystream



Bewegliches Tor

Ein ganz ähnliches Prinzip wurde beim japanischen Wellenkraftwerk „Pendulor“ angewendet: Die am Ufer anbrandenden Wellen stoßen ein Tor auf und befördern das Meerwasser in einen dahinterliegenden Behälter. Beim Abfließen des Wassers wird das Tor erneut in gegengesetzte Richtung bewegt. Über eine Hydraulik werden diese Bewegungen in elektrische Energie umgewandelt.<sup>7</sup>

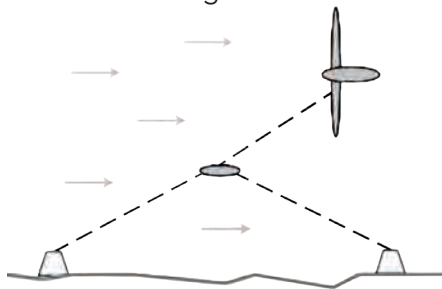
---

<sup>7</sup> Vgl. Wikipedia: Wellenkraftwerk  
Abb. 59: Control

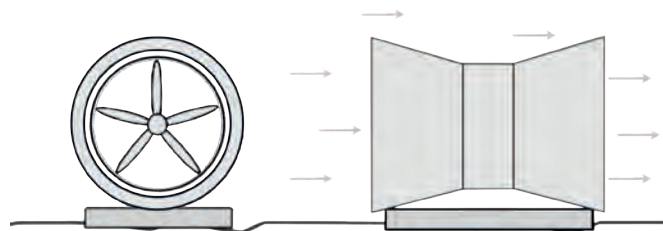
## MEERESSTRÖMUNGSKRAFTWERK

Aus der natürlichen Kraft der Meeresströmung wird durch den Antrieb einer Turbine, die der Strömung frei ausgesetzt ist, Energie gewonnen. Dieses Prinzip funktioniert wie eine moderne Windturbine, nur dass sich der Rotor unter der Wasseroberfläche bewegt. Ein Generator wandelt, wie auch bei der Windkraftanlage, die Strömungsenergie in Elektrizität um.<sup>8</sup> Man unterscheidet vorwiegend zwischen zwei verschiedenen Techniken, um die Meeresströmung als Energielieferant zu nutzen:

Kabelgebundene  
Meeresströmungsturbine



Meerboden-Strömungsturbine



Vgl. Wikipedia: Meeresströmungskraftwerk<sup>8</sup>

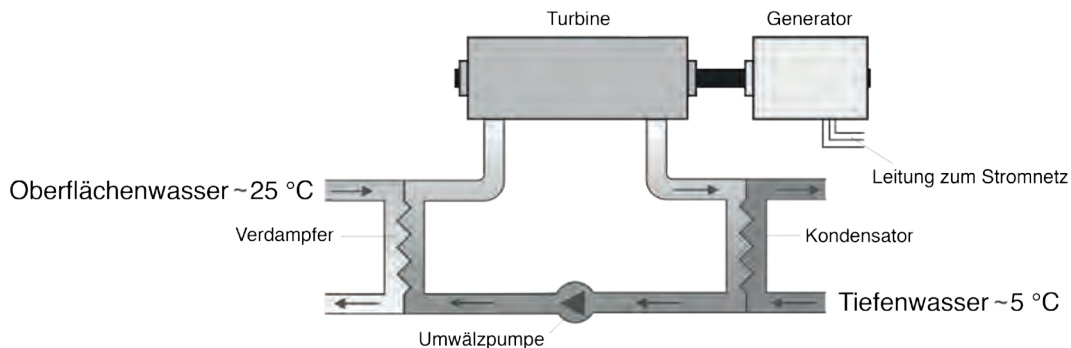
Abb. 60, 61: Wikipedia

## MEERESWÄRMEKRAFTWERK

Der Temperaturunterschied zwischen warmen Wassermassen in den oberen Meeresschichten und kalten in den unteren Schichten wird bei einem Meereswärmekraftwerk genutzt, um daraus elektrische Energie zu erzeugen.

Wenn der Temperaturunterschied der oberen Wasserschichten des Meeres (0 bis 50 Meter) und der unteren Schichten (600 bis 1000 Meter) mehr als 20 °C beträgt, kann ein Kreislauf in Gang gesetzt werden, dessen Energie in einem Generator dann in elektrische Energie umgewandelt werden kann.

Dieser Energiegewinnungstyp konnte sich jedoch in der Praxis nicht durchsetzen. Die kommerzielle Anwendung fand aufgrund der gewaltigen Größe der technischen Anlage im Verhältnis zu seiner Energieausbeute nicht statt. Dass diese Anlage ständig Energie produzieren könnte und nicht von der Tageszeit oder anderen veränderlichen Faktoren abhängig ist, spielt dabei auch keine Rolle mehr.<sup>9</sup>



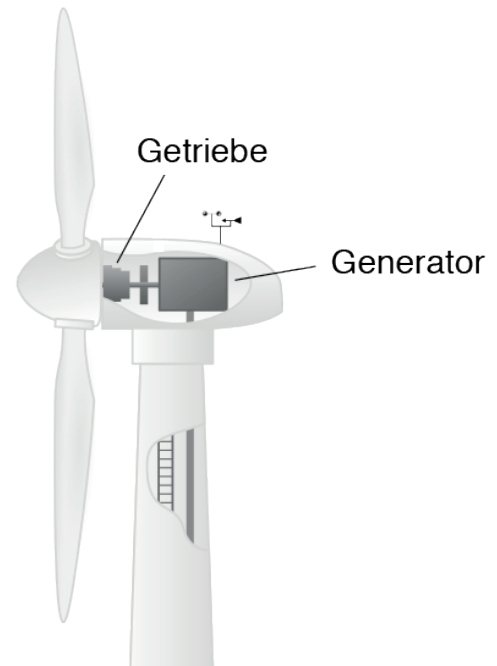
<sup>9</sup>Vgl. Wikipedia: Meereswärmekraftwerk  
Abb. 62: Wikipedia

Da die Meeresströmungen sehr kontinuierlich fließen und sich daher sehr genau vorhersagen lassen, ist die Qualität eines Standortes sehr gut einschätzbar. Diese Turbinen kommen zudem mit sehr niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten aus und stellen somit durch die langsame Bewegung der Rotorblätter eine äußerst geringe Gefahr für Meereslebewesen dar. Das Problem der Korrosion wäre zudem bei sich unter der Meeresoberfläche befindlichen Turbinen aufgrund der geringen Luftzufuhr erheblich dezimiert. Einige Probleme, die nicht ignoriert werden dürfen, stellt diese Form der Energiegewinnung allerdings auch dar: Aufgrund fehlender Massenfertigung ist die Erzeugung einer solchen Anlage noch relativ teuer. Außerdem müssen die Baumaterialien unterwassertauglich und gegen Salzangriff gerüstet werden, sowie die Fundamente gegen die Bildung von Kolken (kleine wassergefüllte Vertiefungen am Grund strömender Gewässer) geschützt sein. Die Wartung der Anlage gestaltet sich natürlich unter Wasser weit schwieriger als über dem Meeresspiegel. Zudem kann die Tatsache, dass die Strömung direkt vor der Turbine schneller ist, als direkt hinter ihr, sowie der durch die Turbinen verursachte Lärm, Auswirkungen auf das Verhalten von Meereslebewesen haben.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Vgl. Wikipedia: Meeresströmungskraftwerk





## WINDENERGIE

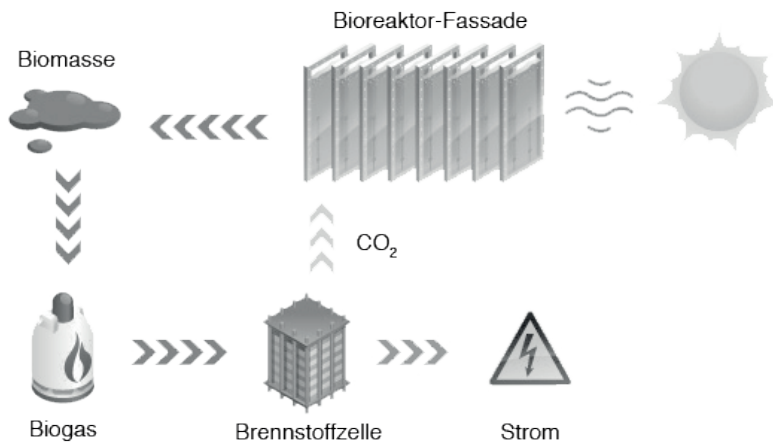
Die bewegten Luftmassen in der Atmosphäre, sprich die kinetische Energie von Wind, wird durch Windkraftanlagen zur Gewinnung von elektrischer Energie genutzt. Durch die Bewegung der Luft werden Rotorblätter angetrieben. Diese Bewegungsenergie wird vom Generator in elektrische Energie umgewandelt. Da in allen Klimazonen an allen Landstandorten (Küsten, Binnenland, Gebirge, usw.), sowie auch auf See mit diesen Windkraftanlagen Energie gewonnen werden kann, unterscheidet man nur zwischen zwei verschiedenen Nutzungsprinzipien: Von Onshore spricht man, wenn die Windenergie an Land genutzt wird, während die Nutzung auf See als Offshore bezeichnet wird. Durch die Wetterbeobachtung (Windstärke, Windrichtung, usw.) können genaue Prognosen erstellt werden und somit der perfekte Standort im Vorhinein ermittelt werden. Aufgrund ihrer weltweiten Einsatzmöglichkeit, den niedrigen Stromerzeugungskosten, sowie des technologischen Entwicklungsstandes gilt dieses regenerative Energiegewinnungsverfahren bislang als eines der vielversprechendsten.<sup>11</sup>

Vgl. Wikipedia: Windenergie <sup>11</sup>

Abb. 63: Enhanced Wiki

## BIOMASSE

In Hamburg entstand durch BIQ das erste Haus weltweit, das sich über Photobiokollektoren selbst mit Energie versorgt. Die sogenannte Bioreaktorfassade dient als lebende Haut der Energiegewinnung. Durch die Sonneneinstrahlung und Zugabe von CO<sub>2</sub> und flüssigen Nährstoffen (Stickstoff, Phosphor) produzieren Mikroalgen mithilfe der Photosynthese Biomasse und Wärme. Diese Mikroalgen werden in Form von Biomasse in speziell entwickelten Fassaden-Paneelen kultiviert. Mit Hilfe der Sonnenenergie wandelt Chlorophyll, der Farbstoff der den Blättern einer Pflanze die grüne Farbe verleiht, Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in Traubenzucker und Sauerstoff. Für die Pflanze sind diese Stoffe lediglich Abfallprodukte - für den Menschen jedoch sichern sie die Lebensgrundlage. Die Anzucht der Algen kann durch Aquakultur geschehen. In offenen Becken wird versucht das hohe Wachstumspotential dieser Pflanzen bestmöglich auszuschöpfen.<sup>12</sup>



<sup>12</sup> Vgl. BIQ - Das Algenhaus  
Abb. 64: BIQ - Das Algenhaus

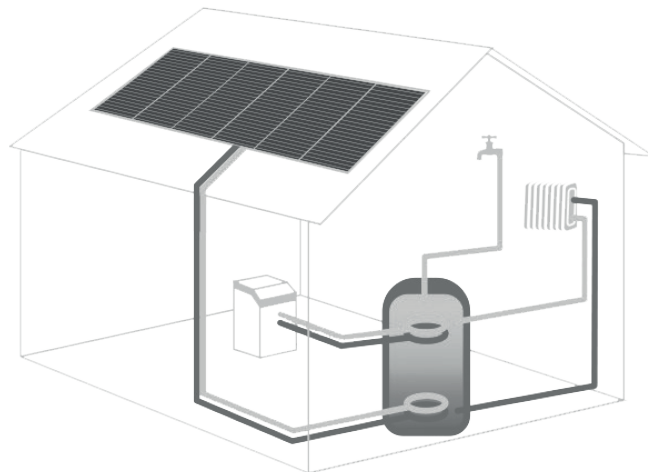


## SONNENENERGIE

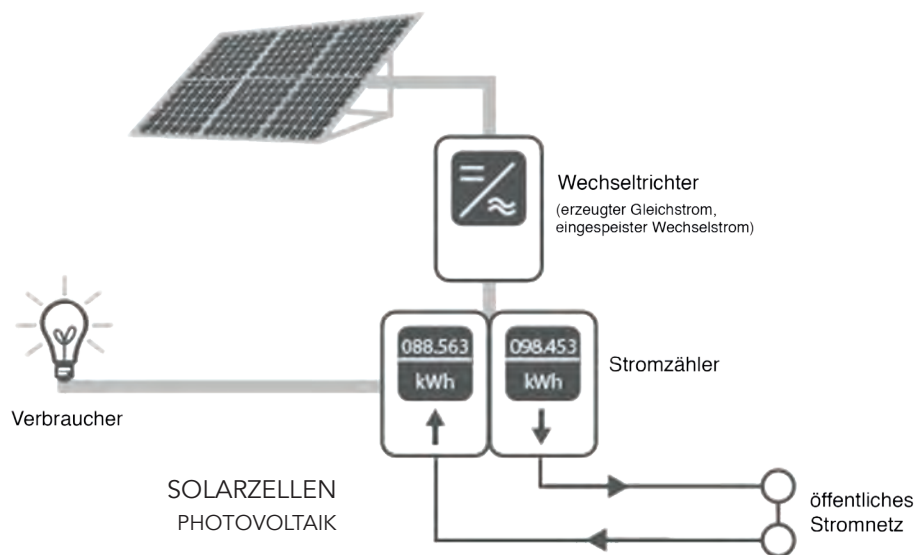
Die Energie der Sonnenstrahlung kann durch unterschiedliche Technologien als elektrischer Strom, Wärme oder chemische Energie genutzt werden. Folgende Systeme wurden dazu entwickelt.

### SONNENKOLLEKTOREN

Sonnenkollektoren sammeln die im Sonnenlicht enthaltene Energie, die im weiteren Schritt zum Heizen, Kühlen, Warmwasseraufbereiten, usw. eingesetzt wird. Der thermische Solarkollektor heizt als Bestandteil einer thermischen Solaranlage meist ein Übertragungsmedium (Heizwasser in einem Boiler) auf. Als Luftkollektoren bezeichnet man Solarkollektoren, die direkt die Luft zur Nutzung erwärmen.<sup>13</sup>



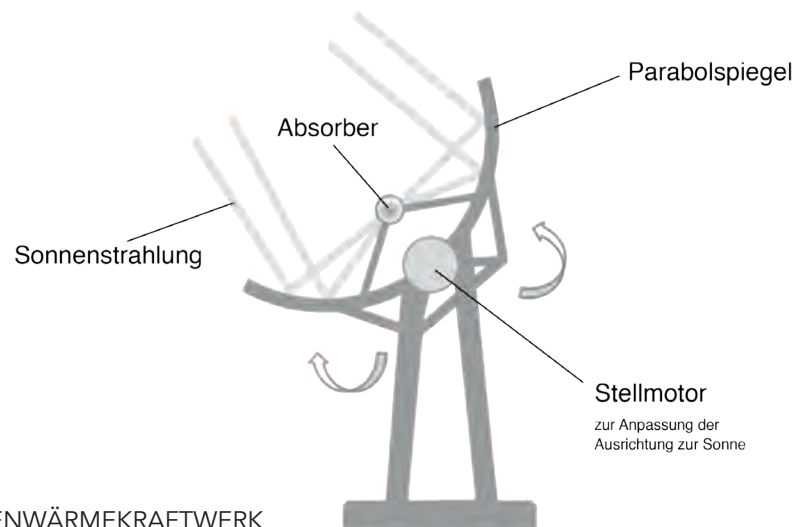
Vgl. Wikipedia: Sonnenkollektoren<sup>13</sup>  
Abb. 65: Käuferportal - Solaranlage



Anders als Solarkollektoren wandeln die Solarzellen die Strahlungsenergie der Sonne direkt in elektrische Energie um. Das wichtigste Halbleitermaterial dieser kristallinen Module ist dabei Silizium.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Vgl. Wikipedia: Solarzellen

Abb. 66: Käuferportal - Solaranlage

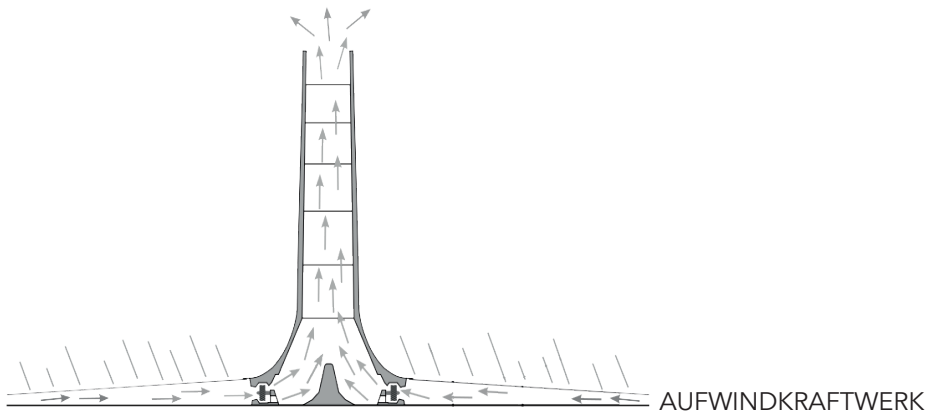


## SONNENWÄRMEKRAFTWERK

Es gibt einige verschiedene Techniken, um die Energie der Sonne in einem Sonnenwärmekraftwerk zu nutzen. Grundsätzlich wird aber bei jedem dieser Verfahren die Wärme der Sonne über Absorber als primäre Energiequelle genutzt. Parabolrinnen werden sehr häufig als Kollektoren eingesetzt. Diese gewölbten Spiegel bündeln das Sonnenlicht auf Absorberrohre, in denen die konzentrierte Sonnenstrahlung in Wärme umgewandelt und an ein zirkulierendes Wärmeträgermedium abgegeben wird.<sup>15</sup>

Vgl. Wikipedia: Sonnenwärmekraftwerk <sup>15</sup>

Abb. 67: Paradigma



Die Sonne scheint auf eine große, transparente Fläche aus Glas oder Kunststoff und erwärmt dadurch die darunterliegende Luft. Diese erwärmte Luft strömt in Folge zu einem Kamin in der Mitte der Anlage und zieht weitere erwärmte Luft nach sich. Die dadurch entstehende Thermik (Aufwind) kann mechanisch genutzt werden: Turbinen am unteren Ende der Turmröhre werden in Bewegung gesetzt und wandeln dadurch die mechanische Energie in elektrische um.<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Vgl. Wikipedia: Aufwindkraftwerk  
Abb. 68: Wikipedia

## ENERGIE AUS PLASTIKMÜLL

### PLASMAVERGASUNG

Da die im Kunststoff enthaltene Energie einen wertvollen Beitrag für die Energieversorgung einer Forschungsstation leisten könnte, liegt es doch auf der Hand diese Energie in eine elektrisch nutzbare zu transformieren. Eine Plasmavergasungsanlage und die anschließende Einspeisung der gewonnenen Wärmeenergie in eine Dampfturbine können diese erforderliche Transformation übernehmen.

#### **Was ist Plasmavergasung?**

Die Bearbeitung von Abfall aller Art sowie die Zersetzung dieses Mülls in Abgase und Asche, mithilfe von bis zu 17.000 °C heißem Plasma, wird als Plasmavergasung bezeichnet. Während organische Bestandteile vollständig zerfallen und verbrennen, versintern mineralische und metallische Bestandteile zu einer glasartigen Asche.<sup>1</sup>

#### **Funktionsweise der Plasmavergasung**

Zwei Elektroden (im Normalfall in Form von zwei sich gegenüberliegenden Metallplatten) werden unter Spannung gesetzt, damit ein sehr großes elektrisches Feld und somit große Kraft freigesetzt wird, um die negativ geladenen Elektroden

---

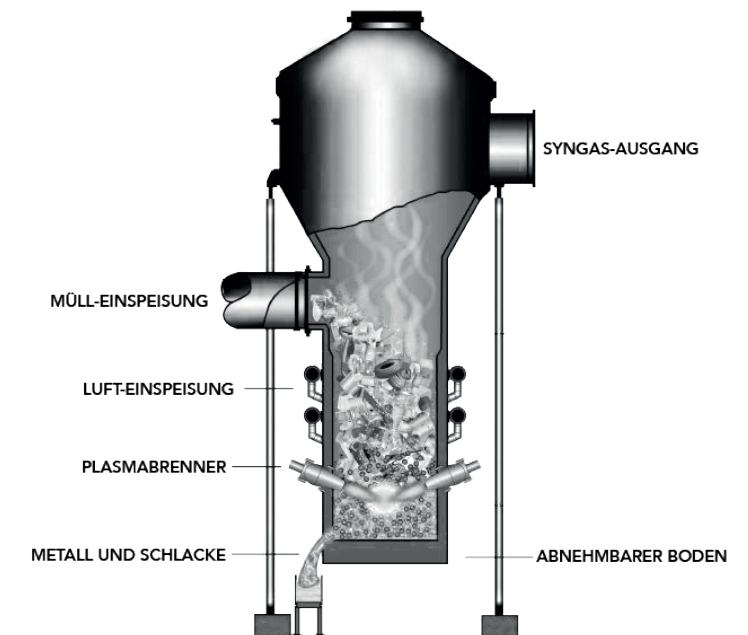
Vgl. Wikipedia: Plasmavergasung <sup>1</sup>

auf eine der beiden Elektroden Seiten zu bewegen. Anschließend wird Luft eingeblasen, die im elektrischen Feld zu einem Plasma ionisiert wird. Das passiert, indem sich der Protonkern von den Elektronen trennt und diese sich aufgrund der elektrischen Kraft, die auf sie wirkt (elektrisches Feld mal die Ladung der Teilchen), auf die positiv geladene Seite bewegen. Kommt das Plasma nun in Kontakt mit dem Müll, verbinden sich der Protonkern und die Elektroden wieder. Es kommt also zu einer Rekombination der Sauerstoff- und Stickstoffatome. Die elektrische Energie, die am Anfang vom elektrischen Feld in die Teilung gesteckt wurde, wird dabei nun in kinetische Energie der Müll-Atome verwandelt. Diese kinetische Energie ist gleichzeitig thermische Energie, die zu einem erheblichen Temperaturanstieg führt. Dieser ist notwendig, um selbst sehr reaktionsträge Verbindungen mit der für die Verbrennung notwendigen Aktivierungsenergie zu versorgen. Im Zuge der Verbrennung reagiert der Müll mit dem Sauerstoff und wird dadurch in verschiedene Gase verwandelt. Zum Beispiel wird Kohlenstoffdioxid erzeugt, was einfach nachzuvollziehen ist:



## Erzeugung elektrischer Energie

Das durch die Plasmavergasung entstandene und aus H-, C- und O-Atomen bestehende Syngas - hauptsächlich in der Form von  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  - wird abgeleitet und zu einem Wärmetauscher geführt. Ähnlich dem Funktionsprinzip eines Radiators erhitzt dieses Gas den Wärmetauscher und dieser in Folge das ihn umgebende Wasser, welches schließlich verdampft und dadurch Turbinen antreibt. Diese Turbinen produzieren nun elektrische Energie, um das Energiegewinnungsverfahren und einen Teil des Energiebedarfs der Forschungsstation zu sichern. Nach diesem Vorgang kühlt der Dampf ab, wechselt den Aggregatzustand und



mit Julian Hörschläger (Techn. Physiker) erarbeitet <sup>2</sup>  
Abb. 69: KS-net AG

### **Nachteile der Plasmavergasung**

Zum Erzeugen des Plasmas ist eine große Menge elektrischer Energie notwendig. Alleine der Betrieb der Vergasungsanlage würde demnach schon einen enormen Anteil der durch den Plastikmüll gewonnenen Energie wieder selbst verschlingen. Zudem entstehen im Zuge des Verfahrens Gase, wie zum Beispiel das erwähnte Kohlendioxid, das der Umwelt Schaden zuführen kann.

### **Lösung**

#### **...für großen Energieaufwand:**

Da sich der aus dem ozeanischen Wasser gefilterte Plastikmüll aufgrund der durch Salzwasser zerstörten Molekularstruktur nicht mehr sinnvoll recyceln lässt und die Deponierung mit der Zeit ein relativ großes Raumvolumen in Anspruch nehmen würde, müsste dieser in gewissen Zeitabständen immer wieder an Land gebracht und dort gelagert werden. Dieser Umstand bringt jedoch nicht nur einen hohen logistischen Aufwand mit sich, sondern auch einen finanziellen. Welches Land ist nun verantwortlich für den Müll und muss sich dessen annehmen? Da der Plastikmüll selbst Energie enthält und sinnvollerweise als materielle Substanz vernichtet werden soll, da die Deponierung an Land einerseits einen Kosten-



aufwand bedeutet und andererseits das Umweltproblem dadurch nicht vollständig behoben ist, bietet sich die Gewinnung der darin enthaltenen Energie und die Transformation dieser in elektrisch nutzbare als sinnvoller Lösungsansatz an. Der Zyklus aus Verbrennung und Wertschöpfung ist durch den Plastikmüll energieautark möglich.

**...für umweltschädliche Gase:**

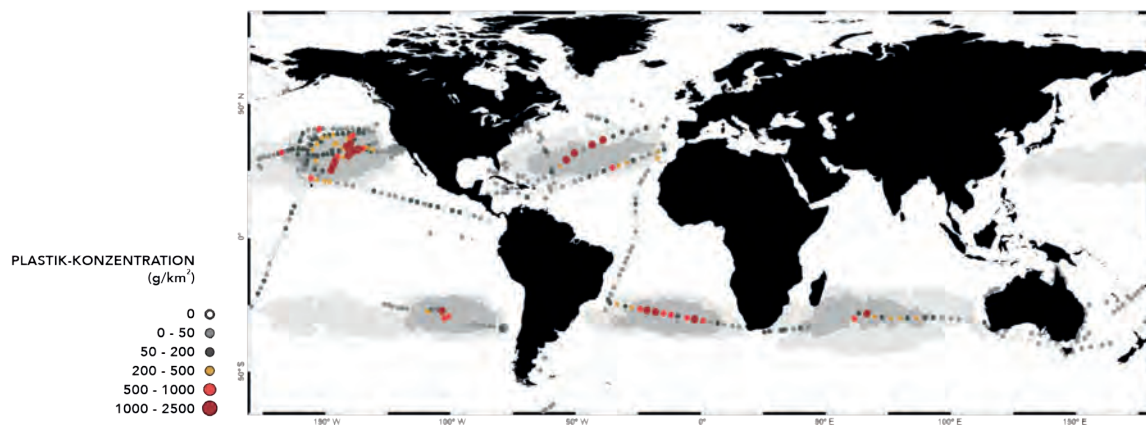
Gerade im Zuge dieses Projektes spielt die Entweichung von Kohlendioxid in die Atmosphäre eine tragende Rolle. Durch die Reduktion eines globalen Umweltproblems darf nicht ein anderes gefördert werden. Das Konzept der ozeanischen Müllbeseitigung muss eine Problemlösung für diesen Nebeneffekt des Vergasungsverfahrens beinhalten. Da Kohlenstoffdioxid Algen als Grundnahrungsmittel dient, kann dieses gasförmige Nebenprodukt speziellen Algenkulturen zugeführt werden. Dies verhindert nicht nur den Ausstoß des CO<sub>2</sub>-Gases in die Atmosphäre, sondern ermöglicht, dass das generell schon schnelle Wachstumsverhalten der Algen noch mehr angeregt wird. Diese können im Zuge dessen umso effizienter als Biomasse in die Verbrennungsanlage eingespeist werden und somit zur Erhöhung des elektrischen Energieertrags durch das Plasmavergasungsverfahren beitragen.

## GEWÄHLTES ENERGIEGEWINNUNGSSYSTEM

Um das Umweltproblem durch den Plastikmüll dauerhaft zu beheben und gleichzeitig die darin enthaltenen Ressourcen bestmöglich zu nutzen, bietet sich kein System besser an, als die Verbrennung der Kunststoff-Fragmente. Der zusätzliche Energieertrag durch sich selbst regenerierende Algenkulturen transformiert nebenbei auch noch das Umweltproblem durch das anfallende Kohlenstoffdioxid in einen ökonomisch sinnvollen Zusammenhang. Es ist nun zu ermitteln, wie hoch der Energieertrag durch die Plasmavergasung von Kunststoff-Fragmenten und Biomasse sowie der Energiebedarf der Forschungsstation sind, um in weiterer Folge zu untersuchen, wie viel Prozent des Energiebedarfs durch die gewählten Energiegewinnungsformen gedeckt werden können und ob es eines weiteren Systems zur zusätzlichen Energiegewinnung bedarf.

## ENERGIEERTRAG AUS PLASTIKMÜLL

Weil die Konzentration der Plastikpartikel an jeder Stelle der Meere unterschiedlich hoch ist, variiert auch der mögliche Energieertrag aus dem herausgefilterten Müll. Da sich die schwimmende Forschungsstation allerdings nur in stark verschmutzten Gebieten aufhalten wird, ist die Annahme einer relativ hohen Konzentration der Plastikteilchen durchaus realistisch. Einer Studie der PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences) zufolge ist die Konzentration an den stärkst verschmutzten Gebieten der Meere mit einem Wert von 1.000 - 2.500 g/km<sup>2</sup> zu verzeichnen.<sup>1</sup>



Vgl. PNAS, Andrés Cózar u.a. (2014): Plastic debris in the open ocean <sup>1</sup>

Abb. 70: PNAS, Andrés Cózar

Da höchst wahrscheinlich nicht immer der maximal mögliche Ertrag aus den Meeren gefiltert werden kann, gehe ich in meinen Berechnungen von einem nicht all zu hohen und realistischen Konzentrationswert von 1.000 g/km<sup>2</sup> aus. Neben dem Plastikanteil in den Meeren ist die Strömungsgeschwindigkeit eine relevante Größe für die Berechnung des möglichen Energieertrags. Die Oberflächenströmungen, die Meereswirbel bilden, weisen allerdings wesentliche Unterschiede in ihrer Strömungsintensität auf. Für die Berechnung gehe ich von einem Mittel der relevanten Strömungswerte aus. Diese liegen zwischen 1 m/s und 2 m/s.<sup>2</sup> Die Größe der gesamten angeströmten Fläche der Filtration ist zudem entscheidend, sowie der Heizwert von Kunststoffen, die eine geringere Dichte als Wasser aufweisen. Auch hier gehe ich wieder von einem Mittelwert von 6 kWh/kg aus.<sup>3</sup>

|                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| Plastikanteil:                 | 1.000 g/km <sup>2</sup> |
| Strömungsgeschwindigkeit:      | 1,5 m/s                 |
| Angeströmte Filtrationsfläche: | 4.500 m <sup>2</sup>    |
| Heizwert (Kunststoff):         | 6 kWh/kg                |

---

<sup>2</sup>Vgl. SEOS: Meeresströmungen - Die großen Meereswirbel

<sup>3</sup>Vgl. Bauforum Stahl (2002): Heizwert Tabelle

**Volumenstrom** = Strömungsgeschwindigkeit x angeströmte Filtrationsfläche

→  $1,5 \text{ m/s} \cdot 4.500 \text{ m}^2 = \mathbf{6.750 \text{ m}^3/\text{s}}$

**Konzentration** = Plastikanteil (in g) / relevante Tiefe (Volumen) des Meeres, in der Plastik vorkommt

$1.000 \text{ g} / (1 \text{ km}^2 \cdot 0,03 \text{ km} \cdot 109 \text{ m}^3/\text{km}^3) = 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ g/m}^3 = \mathbf{0,000033 \text{ g/m}^3}$

→

**Massenstrom (der Teilchen)** = Volumenstrom x Konzentration

$6.750 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 0,000033 \text{ g/m}^3 = 0,22275 \text{ g/s}$

→  $0,22275 \text{ g/s} / 1.000 \text{ g/kg} = \mathbf{0,00022275 \text{ kg/s}}$

**Leistung** = Massenstrom x Heizwert

→  $0,00022275 \text{ kg/s} \cdot 6 \text{ kWh/kg} = 0,0013362 \text{ kWh/s}$

$0,0013362 \text{ kWh/s} \cdot 60 \cdot 60 \text{ s/h} = \mathbf{4,81032 \text{ kW}}$

## ENERGIEBEDARF DER FORSCHUNGSSTATION

Ein Bau, der mit verschiedensten Laboren ausgestattet ist, weist eine Sondernutzung auf und unterliegt somit auch speziellen Anforderungen im Bereich der Lüftung und Klimatisierung. Der hohe Energiebedarf liegt allerdings nicht nur darin, sondern auch an dem enormen Stromverbrauch durch Geräte und Beleuchtung. Die Ausstattung und der Einsatzzweck von Laborgebäuden ist vielfältig und die Bandbreite für spezifische Energiebedarfswerte daher relativ groß. In meiner Berechnung gehe ich von den Verbrauchswerten eines Forschungszentrums in Jülich (Deutschland) aus, das sich nach einer Sanierung des Gebäudeenergiekonzepts im Jahre 2002 durch vergleichsweise geringe Energiebedarfswerte auszeichnet



Forschungszentrum Jülich (Deutschland)

| Bedarfwerte                                                     |                           |                         |                           |                         |                           |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
|                                                                 |                           | vor Sanierung           |                           | nach Sanierung          |                           |
|                                                                 |                           | Nutz-<br>energie<br>MWh | Primär-<br>energie<br>MWh | Nutz-<br>energie<br>MWh | Primär-<br>energie<br>MWh |
| Strom                                                           | Beleuchtung               | 72                      | 216                       | 43                      | 130                       |
|                                                                 | Ventilatoren              | 373                     | 1.119                     | 112                     | 336                       |
| Wärme                                                           | Raumheizung               | 350                     | 385                       | 140                     | 154                       |
|                                                                 | Luftaufbereitung          | 1.298                   | 1.428                     | 220                     | 242                       |
| Kälte                                                           | Raumkühlung               | 0                       | 0                         | 119                     | 131                       |
|                                                                 | Zentrale Luftaufbereitung | 383                     | 421                       | 45                      | 50                        |
| Summe                                                           |                           | 2.476                   | 3.569                     | 679                     | 1.043                     |
| Stromverbrauch für<br>Gerätebetrieb in Labor-<br>und Büroräumen |                           | 344                     | 1.031                     | 344                     | 1.031                     |

Energie-Bedarfwerte des Forschungszentrums in Jülich  
Verbrauchsdatenerhebung von 2003 bis 2005

Die Nutzenergie nach der Sanierung ist hierbei entscheidend, um zu kalkulieren, wie viel Energie auf der schwimmende Forschungsstation tatsächlich verbraucht wird und wie hoch der Anteil ist, der durch die Energiegewinnung aus dem Plastikmüll abgedeckt werden kann.

Summe der Nutzenergie = 1.023 MWh

Da das Forschungszentrum in Jülich eine deutlich größere Nutzfläche und damit einhergehend auch einen deutlich höheren Energieverbrauch hat, ist es sinnvoll, die Summe der Nutzenergie anhand des Flächen- und Einrichtungsvergleiches durch drei zu teilen, um dem Energiebedarf der gesamten Ausstattung der schwimmenden Forschungsstation gerecht zu werden.

→ Nutzenergie pro Jahr = 341 MWh

$\text{Nutzenergie} / (365 \cdot 24) = 0,03893 \text{ MW} = 38,93 \text{ kW}$

#### **Anteil der Deckung des Energiebedarfs durch Plastikmüll (pro Tag):**

Energieertrag aus Plastikmüll: 4,81 kW

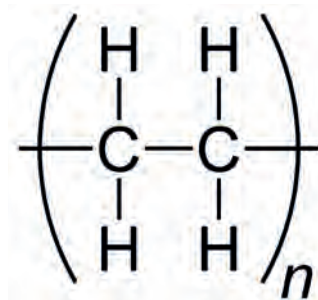
Energiebedarf der Forschungsstation: 38,93 kW

→ Deckung des Energiebedarfs durch Plastikmüll: **12,36 %**



## ZUSÄTZLICHER ENERGIEERTRAG AUS ALGENKULTUR

Damit das bei der Plasmavergasung entstehende Kohlenstoffdioxid nicht in die Atmosphäre entweichen kann, wird, wie schon erwähnt, eine eigens dafür angelegte Algenkultur damit gespeist. Diese gedeiht in Verbindung mit der Sonnenenergie und stellt eine zusätzliche Energie-



Strukturformel von Polyethylen

quelle dar: Als Biomasse werden die Algen in die Plasmavergasung eingespeist und werden somit zum essentiellen Bestandteil des energieautarken Kreislaufs der Forschungsstation. Die folgende Berechnung soll dazu dienen, die Fläche zu dimensionieren, die benötigt wird, um die Algenmenge aufzunehmen, die auch tatsächlich das gesamte anfallende  $\text{CO}_2$  aufnehmen kann.

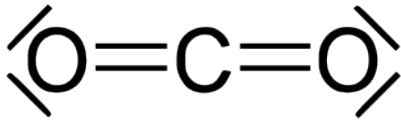
**Gewicht eines  $\text{CH}_2$ -Teilchens** ( $n_{\text{CH}_2}$ ) =  $12 + 2 = 14 \text{ u/Teilchen}$

12 ..... 6 Protonen + 6 Neutronen eines C-Atoms  
 2 ..... je 1 Proton gehört zu einem der 2 H-Atome  
 u/Teilchen .... atomare Masseneinheit

**Umrechnung von atomarer Masseneinheit auf kg/Teilchen:**

$14 \text{ u/Teilchen} \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg/u} = 23,24 \cdot 10^{-27} \text{ kg/Teilchen}$

Abb. 73: Wikipedia



Strukturformel von Kohlenstoffdioxid

**Teilchenstrom** (Teilchen pro Zeiteinheit) = Massenstrom (Plastik) / Gewicht eines Teilchens

$$\longrightarrow 0,00022275 \text{ kg/s} / (23,24 \cdot 10^{-27} \text{ kg/Teilchen}) = 9,58477 \cdot 10^{21} \text{ Teilchen/s}$$

$$9,58477 \cdot 10^{21} \text{ Teilchen/s} \cdot 3.600 \text{ s/h} = \mathbf{3,45052 \cdot 10^{25} \text{ Teilchen/h}}$$

**Gewicht eines CO<sub>2</sub>-Teilchens** ( $n\text{CO}_2$ ) = 12 + 32 = **44 u/Teilchen**

12 ..... 6 Protonen + 6 Neutronen eines C-Atoms

32 ..... je 8 Protonen + 8 Neutronen gehören zu einem der 2 O-Atome

u/Teilchen .... atomare Masseneinheit

**Umrechnung von atomarer Masseneinheit auf kg/Teilchen:**

$$44 \text{ u/Teilchen} \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg/Teilchen} = \mathbf{73,04 \cdot 10^{-27} \text{ kg/Teilchen}}$$

**Massenstrom** (CO<sub>2</sub>) = Teilchenstrom (CH<sub>2</sub>) x Gewicht eines CO<sub>2</sub>-Moleküls

$$\longrightarrow 3,45052 \cdot 10^{25} \text{ Teilchen/h} \cdot 73,04 \cdot 10^{-27} \text{ kg/Teilchen} = 2,52026 \text{ kg/h}$$

$$2,52026 \text{ kg/h} \cdot 1.000 \text{ g/kg} = 2.520,26 \text{ g/h}$$

$$2.520,26 \text{ g/h} \cdot 24 \text{ h/Tag} = \mathbf{60.486,2 \text{ g/Tag}}$$

Pro Tag werden durch die Plasmavergasung also 60.486,2 g CO<sub>2</sub> freigesetzt. Wenn man von einem realistischen Mittelwert, der sich auf die Bedingungen vor Ort bezieht, ausgeht, können pro Quadratmeter und Tag 20 Gramm Algen wachsen. Dies entspricht rund 37 Gramm photosynthetisch absorbiertem CO<sub>2</sub>.<sup>4</sup>

$$60.486,2 \text{ g/Tag} / 37 \text{ g/m}^2\text{/Tag} = \mathbf{1.634,76 \text{ m}^2}$$

Eine Fläche von 1.634,76 m<sup>2</sup> wird demnach benötigt, um eine Algenkultur anzulegen, die das gesamte anfallende CO<sub>2</sub> aufnehmen kann. Multipliziert man diese Fläche mit dem Gewicht der Algen pro Quadratmeter, erhält man das Gesamtgewicht der täglich produzierten Algenmasse:

$$20 \text{ g/m}^2\text{.Tag} \times 1.634,76 \text{ m}^2 = \mathbf{32.695,2 \text{ g/Tag}}$$

Multiplizieren man das Gesamtgewicht der Algen mit dem Heizwert von Algen erhält man den Energieertrag durch die pro Tag anfallende Biomasse:

$$32.695,2 \text{ g/Tag} \times 23 \text{ kJ/g} = \mathbf{751.990 \text{ kJ/Tag}}$$

23 kJ/g ..... Heizwert von Algen

---

Vgl. Technische Universität Hamburg, biotechnologie (2012) <sup>4</sup>

Umformungen, um den Energieertrag aus der Biomasse in Watt, also Leistung pro Zeiteinheit (J/s), als Vergleichswert zu ermitteln:

$$751.990 \text{ kJ/Tag} \cdot 1000 \text{ J/kJ} = 751.990.000 \text{ J/Tag}$$

$$751.990.000 \text{ J/Tag} / 24 / 60 \text{ s/Tag} = 522.215 \text{ J/s} = 522.215 \text{ W} = 522,2 \text{ kW}$$

**Anteil der Deckung des Energiebedarfs durch Biomasse (pro Tag) bei einer Algen-Fläche von 1.634,76 m<sup>2</sup>**

Energieertrag aus Biomasse: 522,2 kW

Energiebedarf der Forschungsstation: 38,93 kW

—→ Deckung des Energiebedarfs durch Biomasse: **1.341,4 %**

Die Fläche der angelegten Algenkultur und der somit erzielte Energieertrag durch deren Verbrennung könnten den Berechnungen zufolge weit geringer ausfallen. Demnach wären aber zu wenige Algen vorhanden, um das gesamte Kohlenstoffdioxid aufzunehmen, das bei der Plasmavergasung anfällt. Ein Zwischenspeicher kann dieses Problem beheben: Dieser nimmt das überschüssige CO<sub>2</sub> auf und gibt es bei Bedarf (z.B. geringe Kunststoffmüll-Ausbeute) an die Algenkulturen ab.

---

alle Berechnungen: mit Julian Hörschläger (Techn. Physiker) erarbeitet



## NAHRUNGS- GEWINNUNG

# 14

Um nicht nur für eine energetische Autarkie zu sorgen, soll auf

der schwimmenden Forschungsstation durch Aquaponik-Anlagen auch ein Großteil des Nahrungsbedarfs der Crew gedeckt werden. Neben einer Vorratskammer für lang haltbare und energiereiche Basisprodukte (Mehl, Reis, Nudeln, etc.), die in gewissen Abständen mittels eines Versorgungsschiffes angeliefert werden, gedeihen Gemüse, Obst und Fische in speziellen Aquaponiksystemen.

### ALGENKULTUR

Die sinnvoll geplante und kontrollierte Aufzucht von aquatischen, also im Wasser lebenden Organismen, wird als Aquakultur bezeichnet. Eine Aufzucht nach diesem Prinzip, die allerdings ausschließlich im Meer stattfindet, wird auch als Marikultur bezeichnet. Insbesondere widmet man sich der Aufzucht von Fischen, Muscheln, Krebsen und Algen.<sup>1</sup>

### HYDROKULTUR

Anders als bei der kommerziellen Pflanzenhaltung gedeihen die Pflanzen in Hydrokultur, die oft auch als Hydroponik bezeichnet wird, in einem anorganischen Substrat, anstatt in einem Boden mit organischen Bestandteilen zu wurzeln. Die Pflanzen ernähren sich dabei von einer wässrigen Lösung anorganischer Nährsalze, wie zum Beispiel die Knopsche Nährlösung.<sup>2</sup>

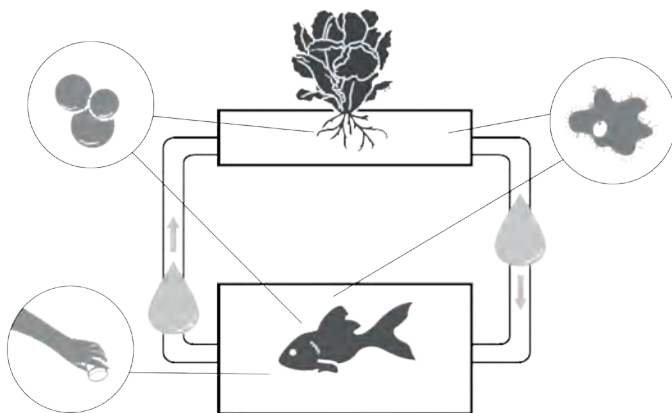
---

<sup>1</sup> Vgl. Wikipedia: Aquakultur

<sup>2</sup> Vgl. Wikipedia: Hydrokultur

## AQUAPONIK

Das Verfahren der Aquaponik verbindet die Techniken der Aufzucht von Fischen in Aquakultur und der Kultivierung von Nutzpflanzen in Hydrokultur. Behälter, in denen die marinen Nutztiere leben, sowie sogenannte „Growbeds“ (mit einem Substrat wie Blähton oder Kies gefüllte Behälter) zur Aufzucht der Nutzpflanzen sind Teil des geschlossenen Wasser- und Nährstoffkreislaufes.<sup>3</sup>



Fische werden gefüttert und produzieren Ammoniak reiche Abfälle. Zu viel Abfallstoff ist giftig für die Fische, aber sie können hohen Nitraten standhalten.



Das Kiesbett am Grund des Fischtanks, sowie das Substrat der Pflanzenbehälter ist mit einem Biofilm aus nitrifizierenden Bakterien besetzt. Diese Bakterien wandeln Ammonium und Ammoniak der Fischeausscheidungen über das Zwischenprodukt Nitrit in Nitrat um.



Die Pflanzen nehmen die Nitratre in Folge als Nährstoffe auf. Auch die Pflanzenwurzeln helfen, das Wasser für die Fische zu filtern. Es handelt sich hierbei um eine technische Anwendung des Stickstoffkreislaufes.



Das Wasser im System wird durch die Pflanzen gefiltert und enthält alle Nährstoffe, die die Nutztiere benötigen.



Während einer Trockenperiode tritt Sauerstoff durch eine Luftpumpe in das System ein. Dieser Sauerstoff ist für das Pflanzenwachstum und das Überleben der Fische essentiell.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Vgl. Wikipedia: Aquaponik

<sup>4</sup> Vgl. Aquaponicsystems (2009): What is Aquaponics?

Abb. 75: Aquaponicsystems-Blog

Im Unterschied zur herkömmlichen Aquaponik muss das Wasser in diesem Kreislauf nicht ausgetauscht, oder zusätzlich gefiltert werden. Durch den biologischen Reinigungsprozess steht es der Nutztierhaltung immer in benötigter Qualität zur Verfügung. Die ökologische Problematik der Überdüngung natürlicher Gewässer durch die Entsorgung von Abwässern ist somit nicht gegeben. Es ist lediglich nötig Frischwasser zuzuführen, um die Verluste durch Verdunstung und der Entnahme von Biomasse aus dem System auszugleichen.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup>Vgl. Wikipedia: Aquaponik





## TRINKWASSER- GEWINNUNG

# 15

Auch die Gewinnung von Trinkwasser spielt eine entscheidende Rolle, um auf hoher See, weit entfernt von jeglichem Festland, nicht auf externe Versorgung angewiesen zu sein. Der Einsatz folgender Methoden zur Trinkwassergewinnung wären denkbar:

### REGENWASSER SAMMELN UND FILTERN

Meist wird das Regenwasser über das Hausdach und die Dachrinne in einer unterirdischen Zisterne, einer Regentonne oder einem oberirdischen Wassertank gesammelt. Unabhängig vom gewählten Sammelsystem ist es nötig, einen Filter zu integrieren, der das Regenwasser von Blättern, Vogelkot, Insekten, Ästen usw. befreit.

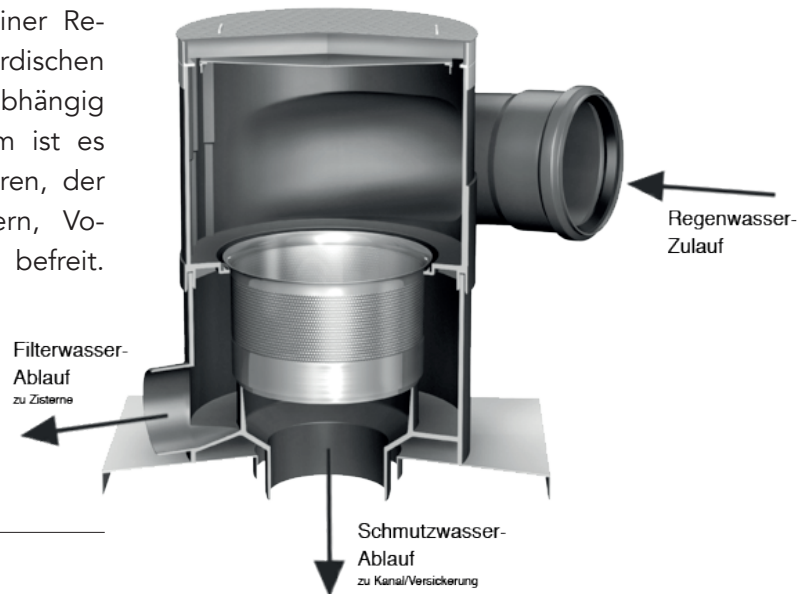
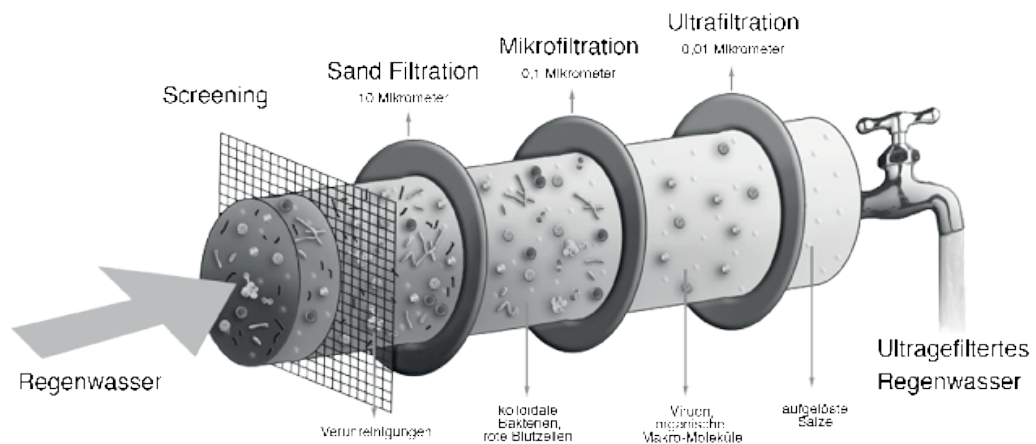


Abb. 76: abw - anders bauen & wohnen

Dieser Grad der Filterung ermöglicht nun den Einsatz des Regenwassers zur Gartenbewässerung, sowie für die Toilettenspülung und Waschmaschine. Damit das vorgefilterte Wasser aber auch als Trinkwasser und für die Körperhygiene eingesetzt werden kann, muss eine weitere Filteranlage angeschlossen werden. Eine sogenannte Ultrafiltration besteht in der Regel aus drei einander folgenden Filtern, durch die das Regenwasser mit 2,5 bis 3 Bar geschossen wird. Die kleinste Einheit filtert durch 20 Nanometer große Poren sogar alle letzten im Regenwasser vorhandenen Bakterien und Viren. Um wirklich alle Bakterien mit absoluter Sicherheit abzutöten, kann man zusätzlich eine UV-C Anlage installieren, die mit ultraviolettem Licht die letzten Krankheitserreger beseitigt.<sup>1</sup>



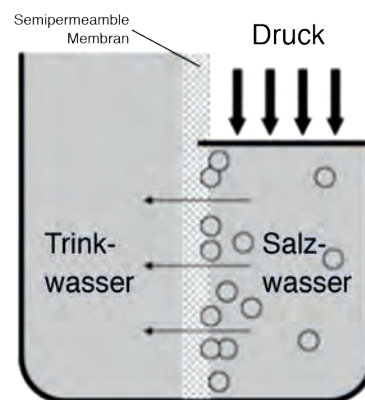
Vgl. Helpster, Artikel von Manuela Träger: Regenwasser zu Trinkwasser aufbereiten - so gelingt's<sup>1</sup>  
Abb. 77: ONG - Water for life Africa

## SALZWASSER FILTERN

Um Meerwasser trinkbar zu machen, muss man dessen Salzgehalt erheblich verringern. Dies kann auf verschiedenen Prozessen beruhen, die Salze, aber auch Mineralien aus dem Wasser entfernen.

### Umkehrosmose

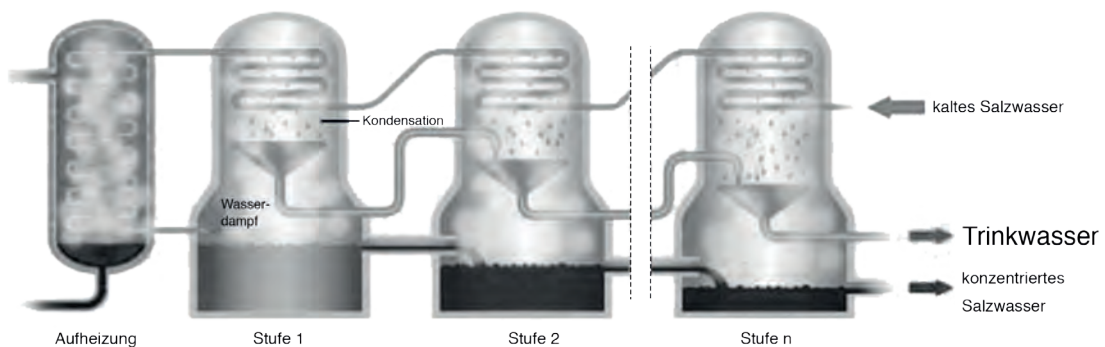
Osmose ist der natürliche Vorgang, den man beispielsweise in der Pflanzenwelt vorfindet: Wurzelzellen ziehen Feuchtigkeit aus dem Boden. Auf diesem Prinzip basiert auch die Umkehrosmose. Werden zwei unterschiedlich konzentrierte Lösungen - in diesem Fall Salzwasser und Süßwasser - durch eine Zellmembran getrennt, so bewegen sich nach dem Prinzip der Braunschen Molekularbewegung Flüssigkeitsmoleküle zur weniger konzentrierten Lösung. Zusätzlich zum natürlich entstehenden osmotischen Druck wird auf der belasteten Seite zusätzlicher Druck erzeugt, um möglichst reines Wasser zu gewinnen.<sup>2</sup>



<sup>2</sup>Vgl. ROS - Reserve Osmosis Systems, Ökologische Wasseraufbereitung  
Abb. 78: Volkspartei Königsbrunn

### Mehrstufige Entspannungsverdampfung

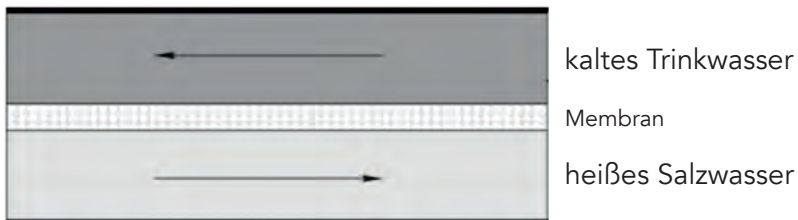
Bei diesem thermischen Verfahren wird das zugeführte Meerwasser auf eine Temperatur von 115 °C erhitzt und verdampft in nachgeschalteten Entspannungsstufen unter Vakuum. Der dadurch entstehende Wasserdampf schlägt sich als Kondensat an mit Kühlflüssigkeit gefüllten Rohrleitungen nieder und wird als salzfreies Wasser abgezogen.<sup>3</sup>



Vgl. Wikipedia: Mehrstufige Entspannungsverdampfung <sup>3</sup>  
Abb. 79: Spektrum

## Membrandestillation

Eine mikroporöse Membran, die Wasserdampf durchlässt, flüssiges Wasser jedoch zurückhält, trennt warmes Salzwasser von einer kalten Fläche. Durch den Temperaturunterschied und den dadurch entstehenden Wasserdampfpartialdruck wandern Wassermoleküle von der warmen auf die kalte Seite der Membran und werden dort gesammelt.<sup>4</sup>



<sup>4</sup>Vgl. Wikipedia: Membrandestillation  
Abb. 80: Wikipedia



## ENTWURFSKONZEPT

Um den Bedürfnissen einer ozeanischen Forschungsstation gerecht zu werden, ist es zunächst erforderlich, die notwendigen Funktionsbereiche und deren konkreten Flächenbedarf zu ermitteln.

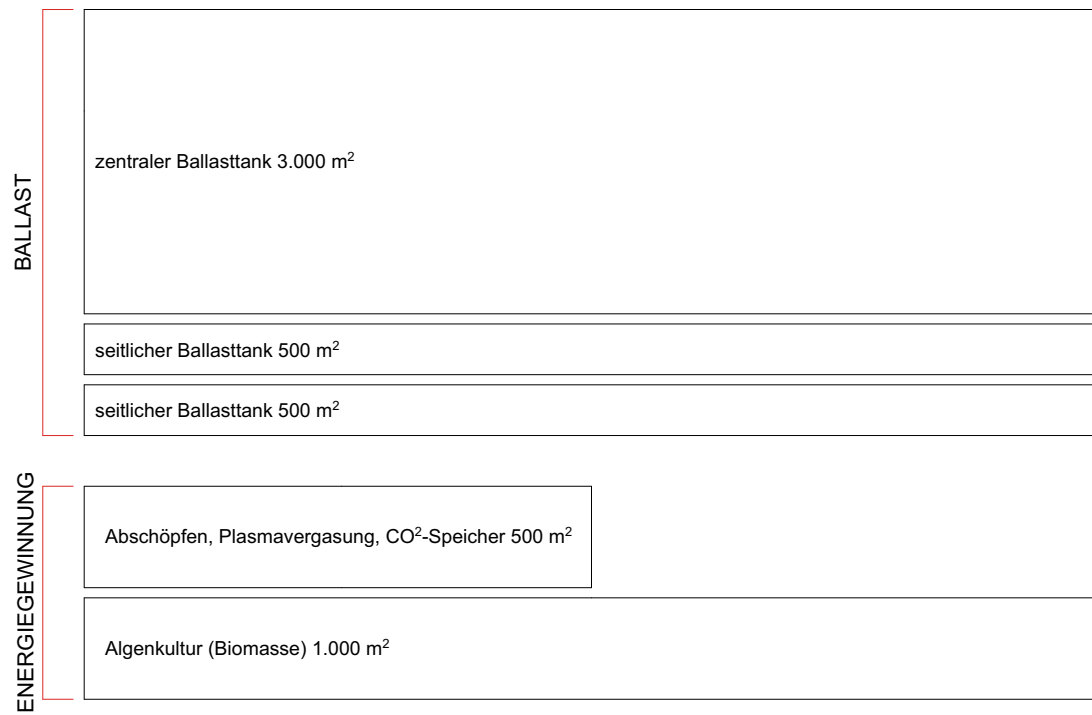
# 16

### FUNKTIONS UND FLÄCHENBEDARF

ABGELEITET VON KONVENTIONELLEN FORSCHUNGSSCHIFFEN

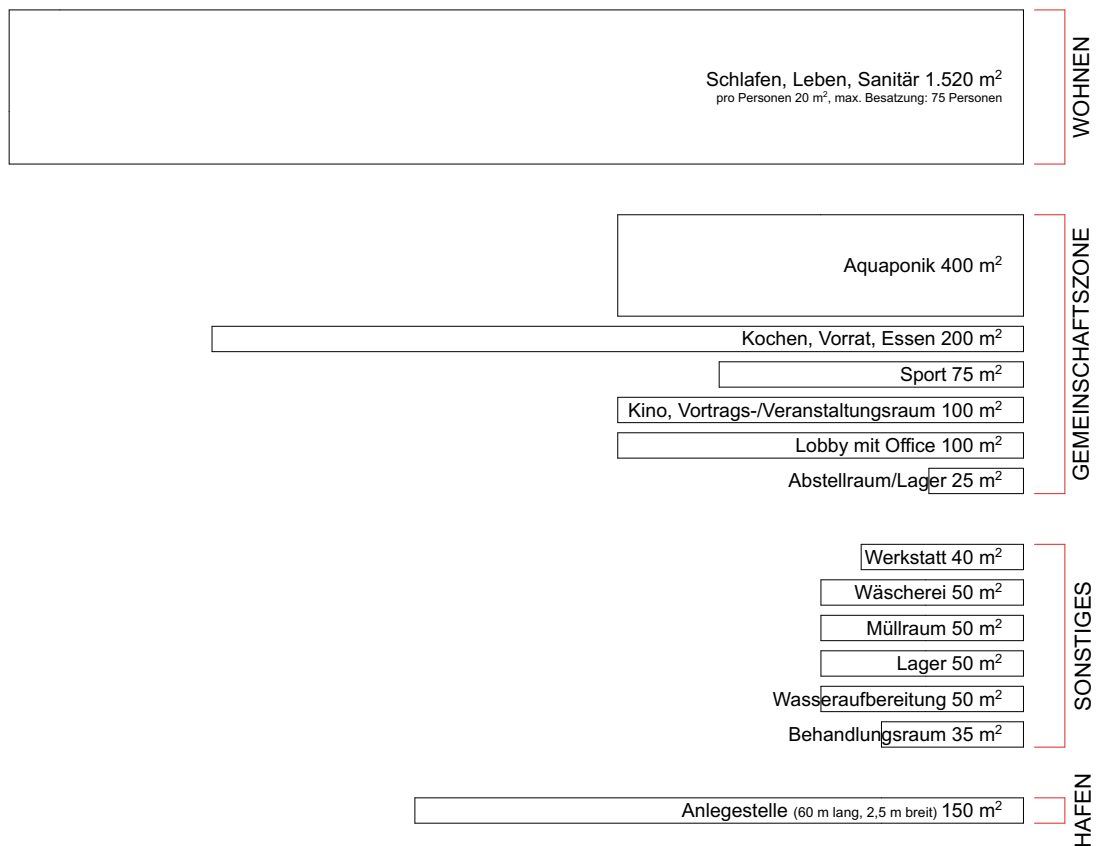


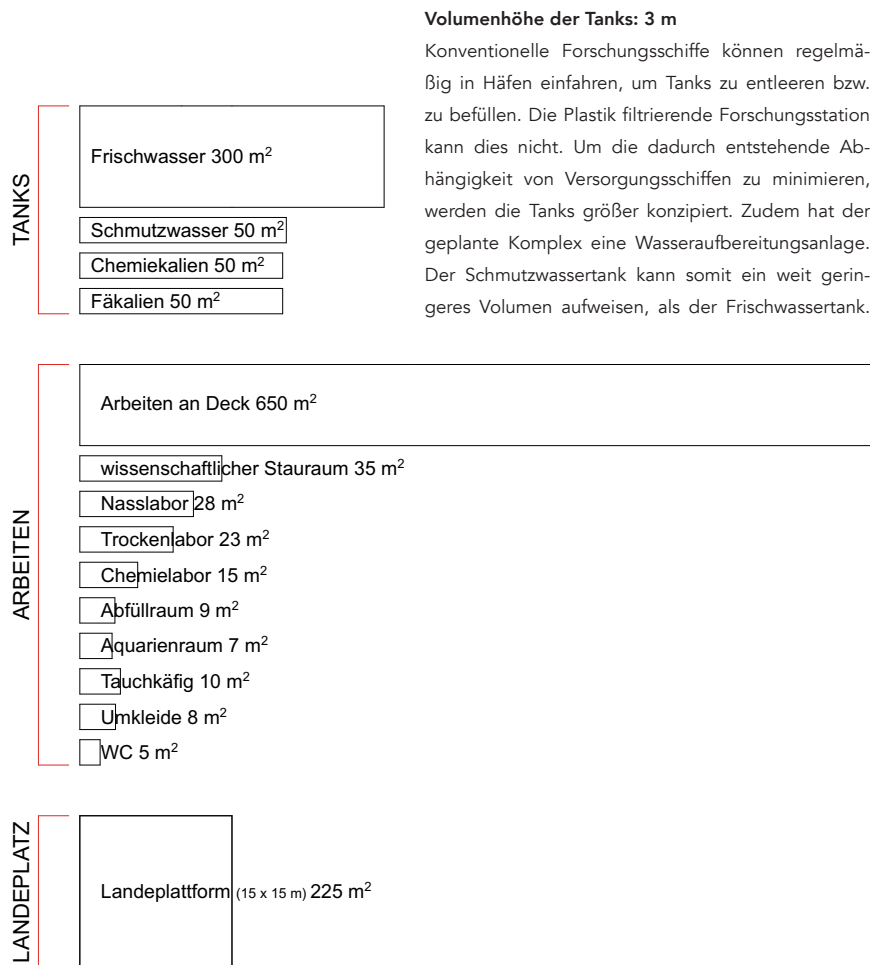




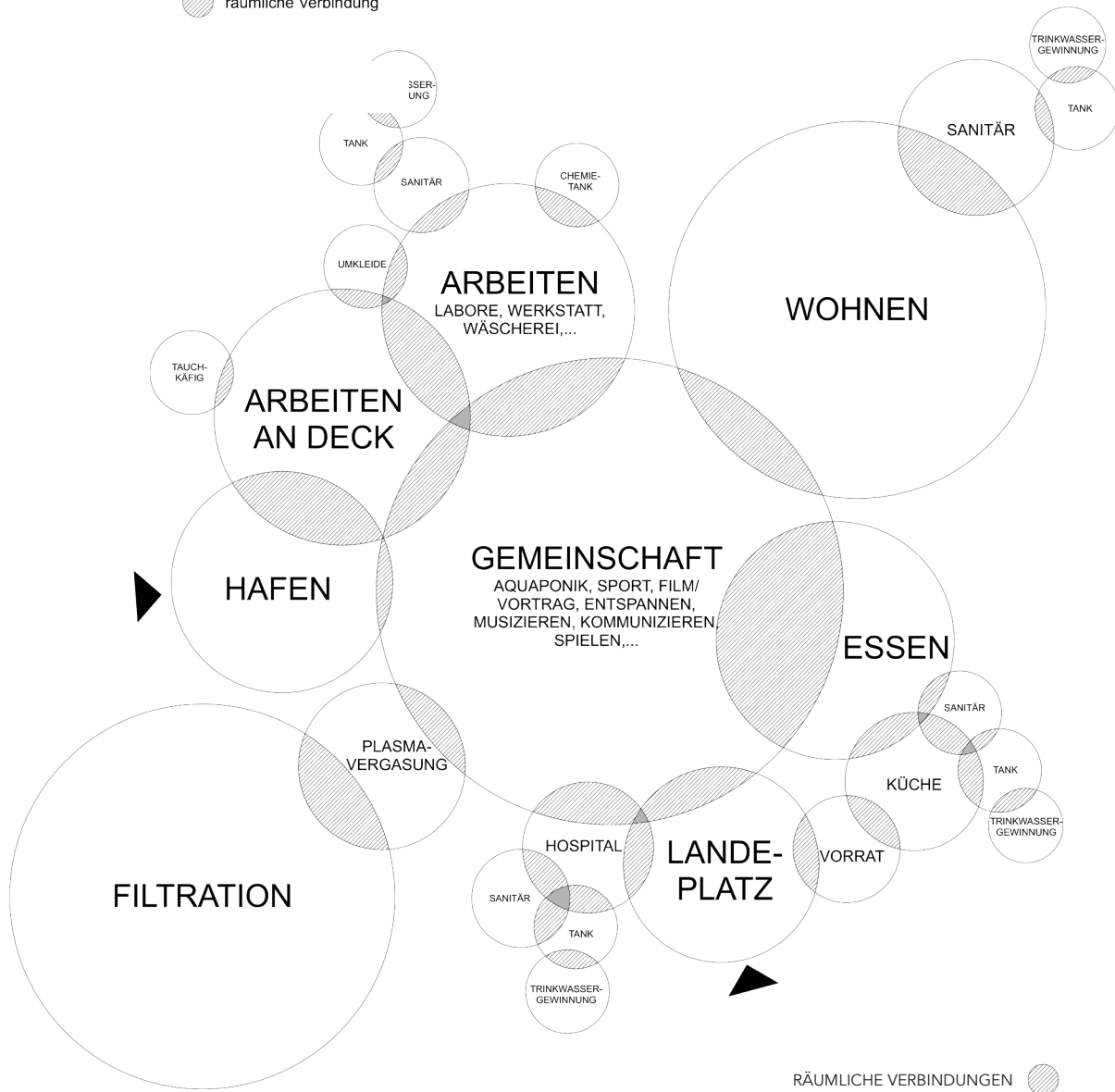
# FUNKTIONEN UND FLÄCHENBEDARF

ABGELEITET VON KONVENTIONELLEN FORSCHUNGSSCHIFFEN





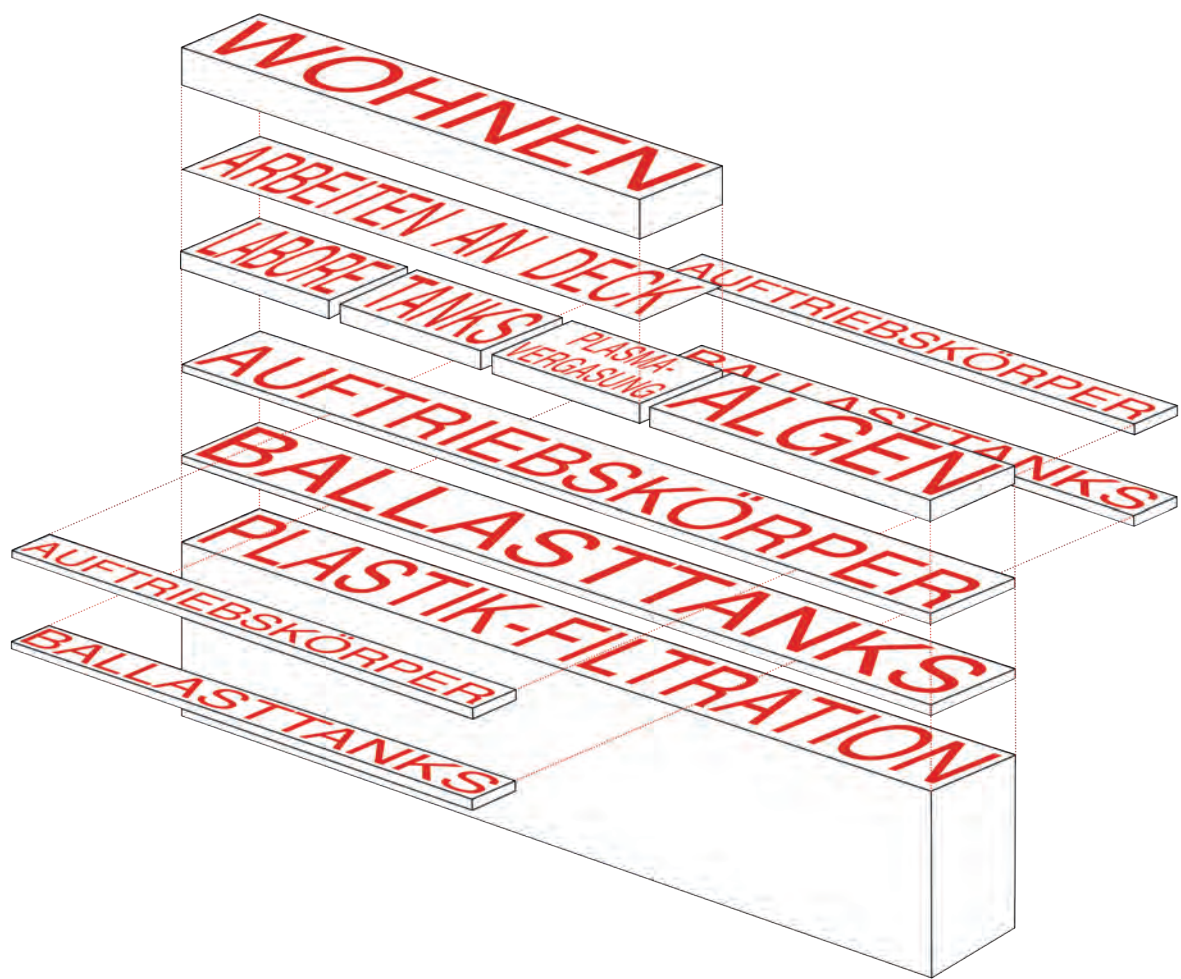
raumliche verbindung



## RAUMKONZEPT

### BEZIEHUNGEN UND RELATIONEN

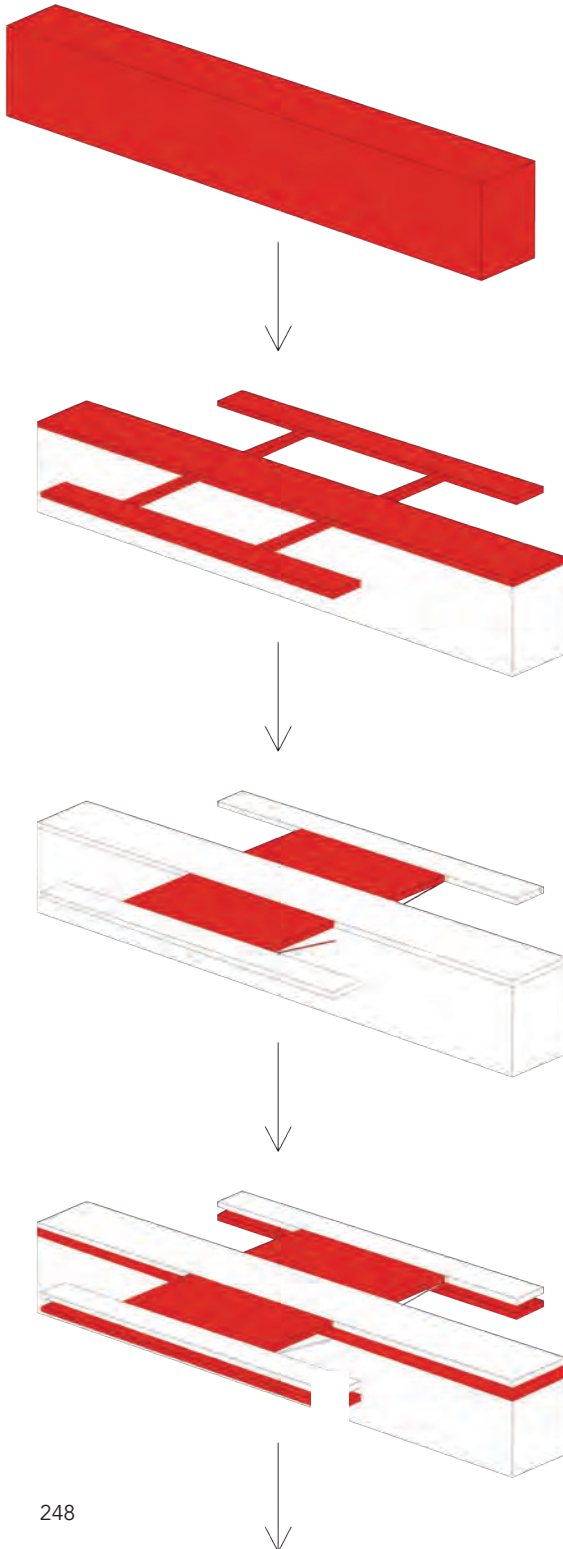
Die differenzierten Funktionsbereiche der Plastik filternden Forschungsstation stehen in verschieden starken Verbindungen zueinander. Manchen bedarf es einer räumlichen Aneinanderreihung, eines fließenden Überganges, oder gar einer räumlichen Überschneidung. Diese Grafik soll helfen, um sich dieser räumlichen Beziehungen bewusst zu werden.



## RAUMPROGRAMM

Die verschiedenen Funktionen unterliegen abgesehen von ihrer Beziehung zueinander auch gewissen weiteren räumlichen Voraussetzungen. Die Positionierung innerhalb des gesamten Komplexes ist ein äußerst entscheidender Faktor, besonders für die Filtrations- und Auftriebskörper, sowie die Ballasttanks.

## FORMFINDUNG DES BAUKÖRPERS



### FILTRATIONSKÖRPER

dessen Dimensionen werden definiert durch...

...Wirtschaftlichkeit:  $l = 150 \text{ m}$

...Plastikvorkommen:  $h = 35 \text{ m}$

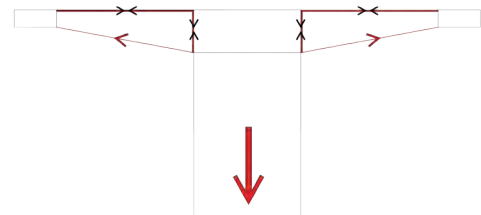
...Filtrationsverfahren:  $b = 20 \text{ m}$

### AUFTRIEBSKÖRPER

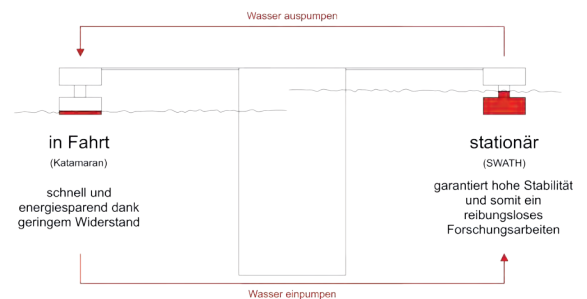
Die seitlichen Stabilisatoren müssen so schmal wie möglich konzipiert werden, um nach dem Prinzip eines Trimarans den Widerstand in Fahrt gering zu halten.

### AUSSTEIFENDE VERBINDUNGSSTEGE UND ZUGSTAB

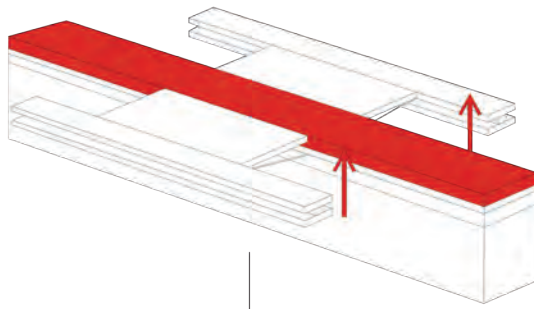
um stark belastete Angriffspunkte zu vermeiden



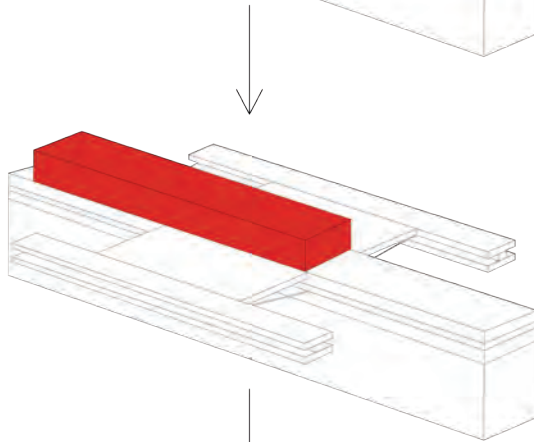
### BALLASTTANKS



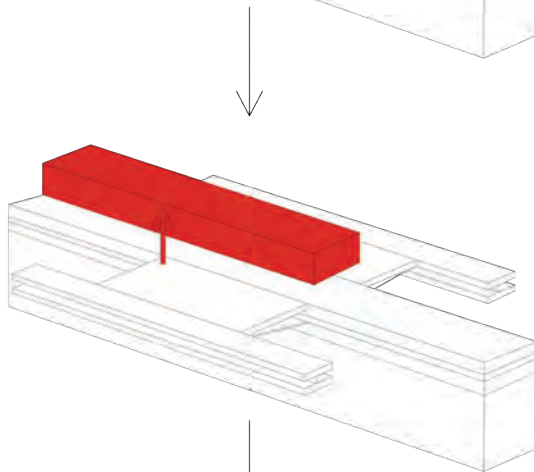




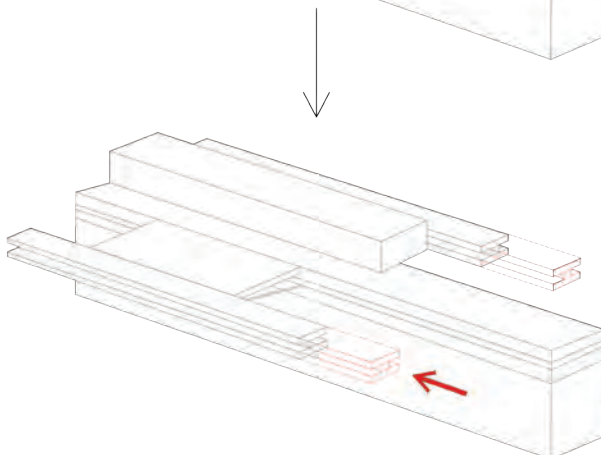
**ANHEBEN DER SEITLICHEN KONSTRUKTION**  
um nach dem Trimaran-Prinzip den Wasserwiderstand in Fahrt zu verringern  
UND NUTZUNG DES DADURCH ENTSTANDENEN ZWISCHENRAUMES



**AUFBAU**  
um Wohn- und Lebensraum zu schaffen



**AUFBAU ANHEBEN**  
um darunter Raum für das wissenschaftliche  
Arbeiten an Deck zu schaffen



**SCHWIMMKÖRPER DEZENTRIEREN**  
da der Schwerpunkt des gesamten Komplexes durch  
den Aufbau nicht mehr zentral liegt

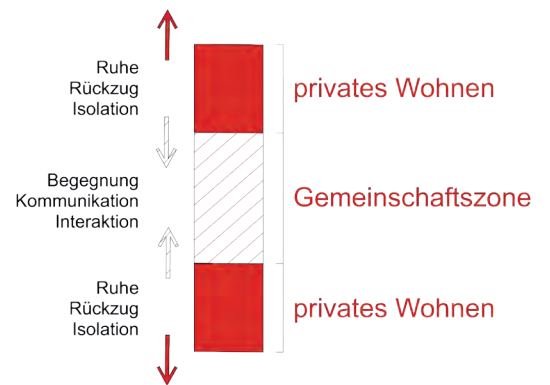
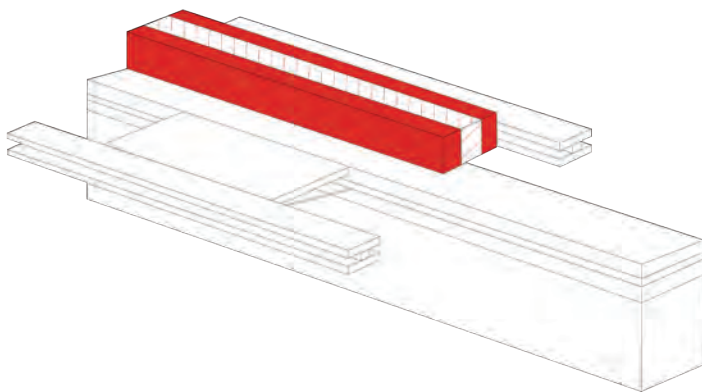
## RÄUMLICHE ORIENTIERUNG

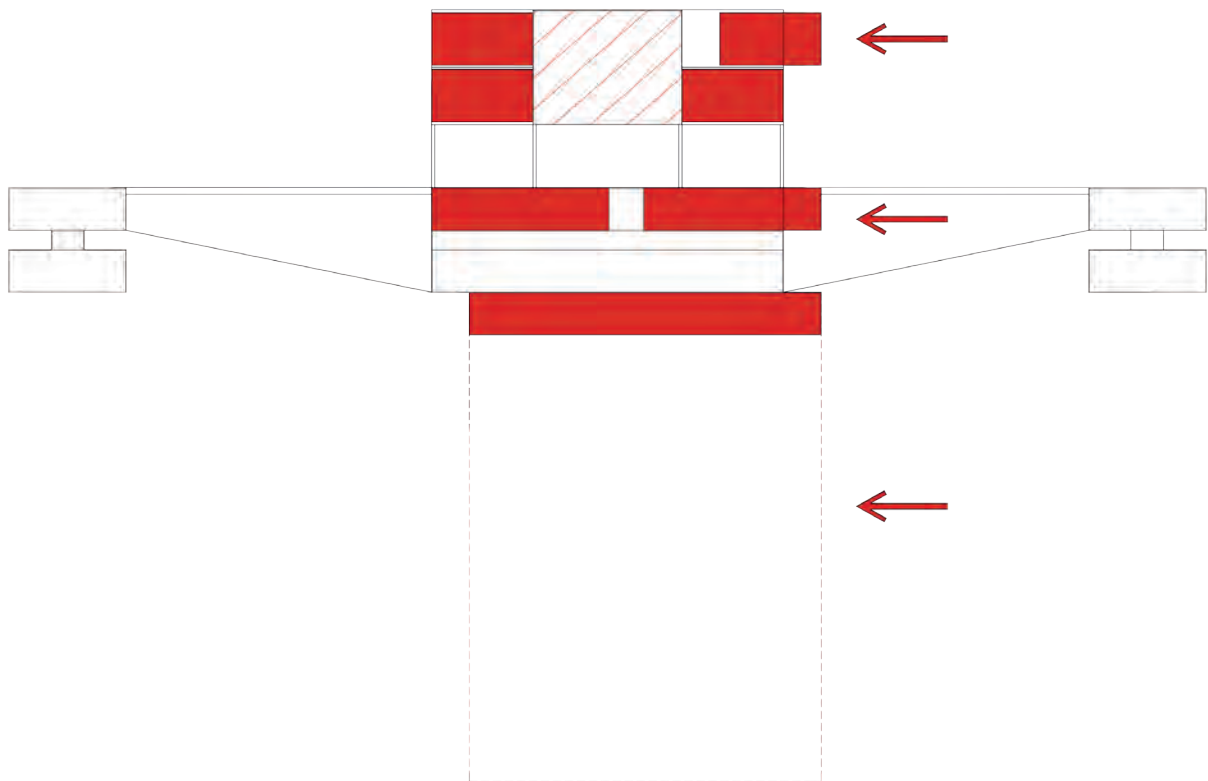
ANORDNUNG UND AUSRICHTUNG VON PRIVATEN UND GEMEINSCHAFTLICHEN ZONEN

➔ AUSWIRKUNG AUF MATERIALITÄT

Privat: geschlossen/opak = schall- und sichtgeschützt

Gemeinschaft: offen/transparent = interaktiv



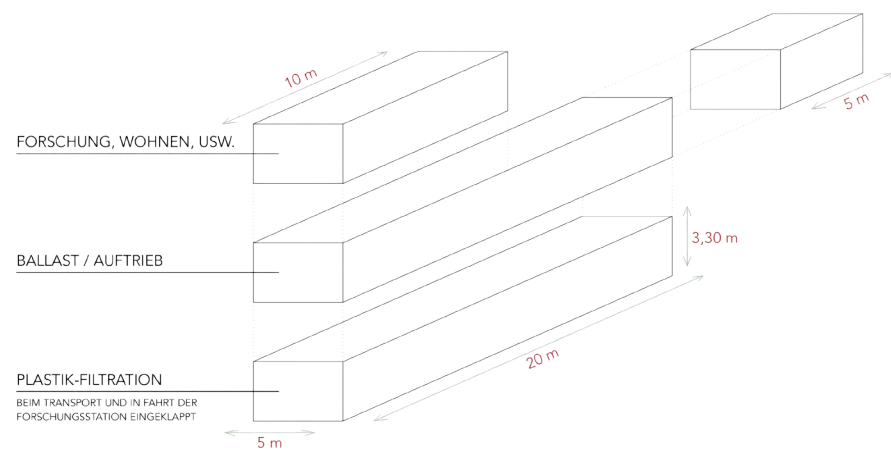


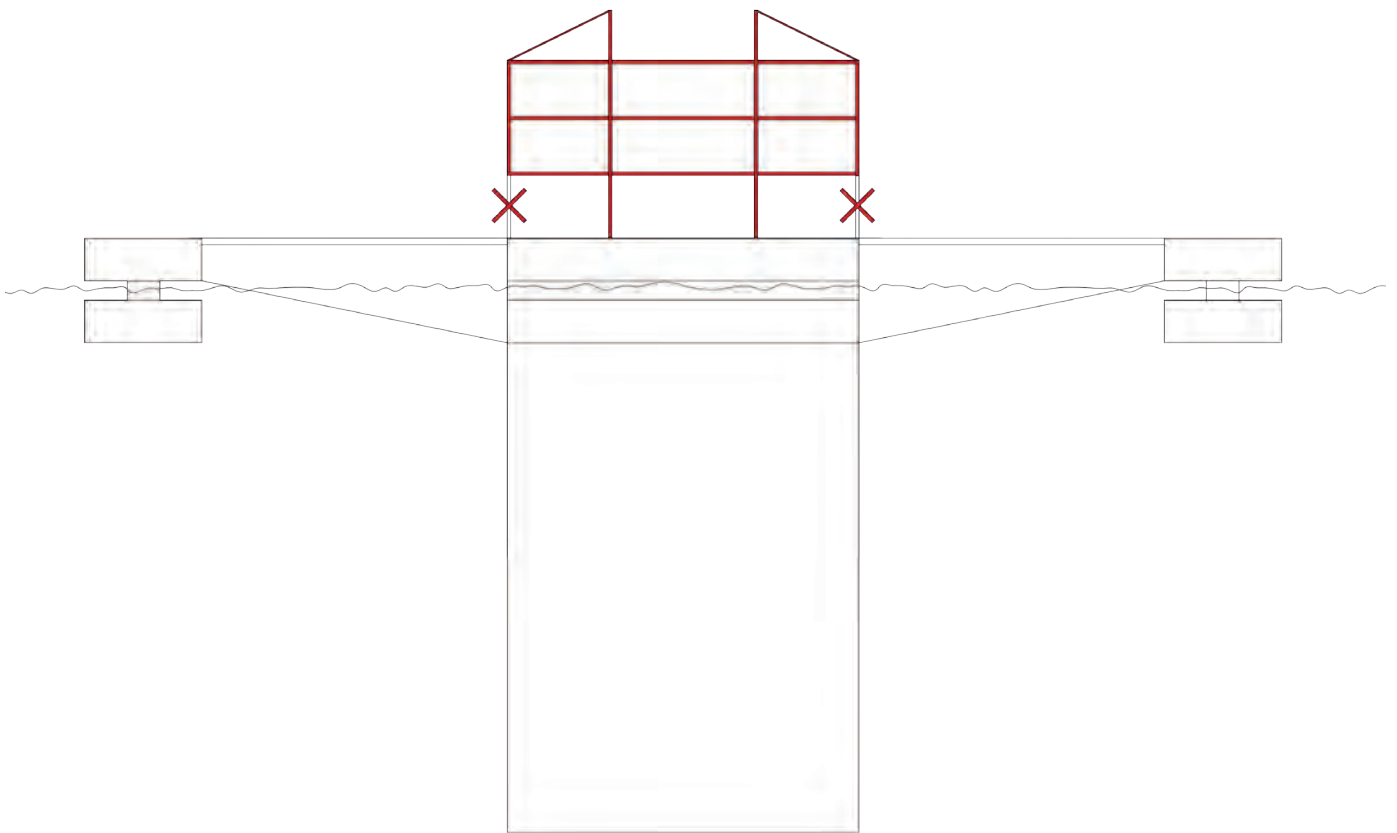
## KONSTRUKTIONSPRINZIP

### VORGEFERTIGTE MODULE

VOR ORT IN DIE KONSTRUKTION EINGESCHOBEN UND FIXIERT

- ermöglichen raschen Aufbau  
(auf hoher See kann die Witterung schnell zu Bauverzögerungen führen und somit zu einer enormen Steigerung des Kostenaufwands)
- bei Schäden müssen nicht vor Ort Reparaturarbeiten durchgeführt werden, stattdessen wird das schadhafte Modul einfach ausgetauscht
- die separaten Ballasttanks können mit unterschiedlichen Befüllungsgraden versehen werden und somit zum Ausgleich von einseitigen Belastungen durch äußerlichen Einfluss verhelfen
- Standardmaße und -systeme garantieren platzsparenden und somit kostengünstigeren Transport

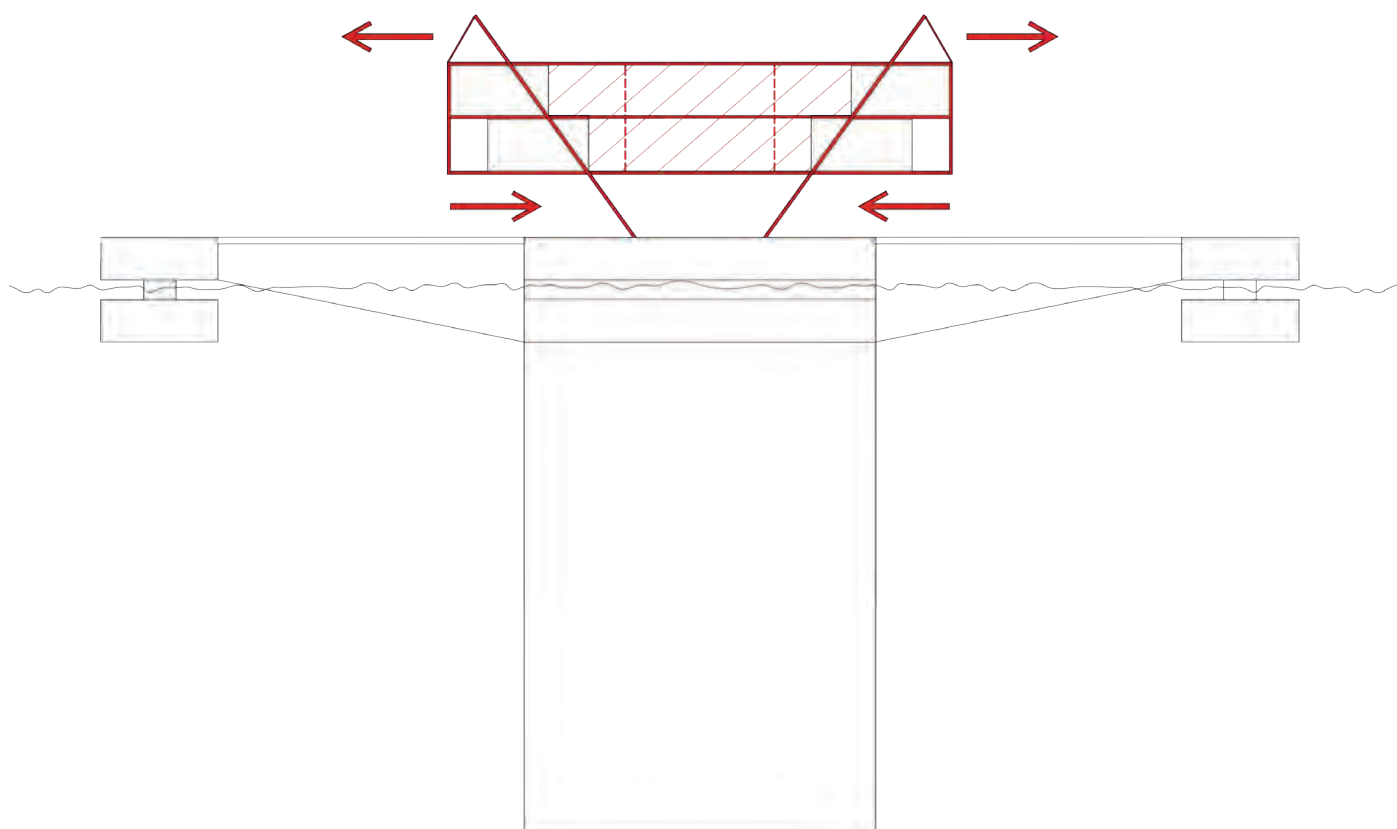




### ABGEHÄNGTE RAHMEN-KONSTRUKTION

IN DIE VORGEFERTIGTE MODULE EINGESCHOBEN WERDEN

- weitgehend stützenfreie Zone an Deck  
(notwendig für die Forschungsarbeiten)
- Träger zwischen Geschoßen können geringer dimensioniert werden
  - ➔ Materialeinsparung
  - ➔ Gewichtseinsparung und Kostensenkung





## OPTIMIERUNG VON ZENTRALER GEMEINSCHAFTSZONE UND EG-ZONE

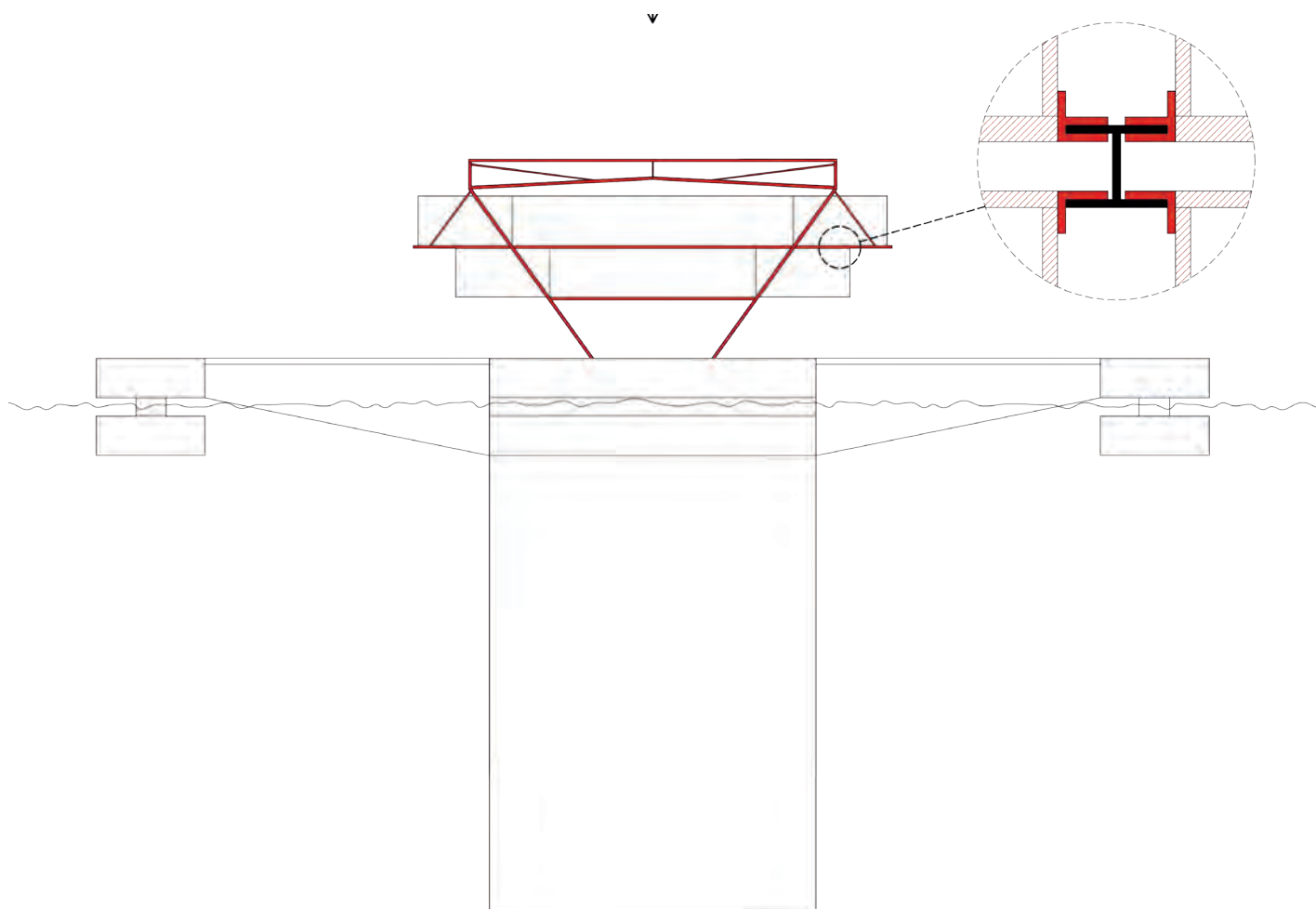
### **Gemeinschaftszone:**

Erweiterung des Raumes und Öffnung nach oben

→ natürliche Belichtung

### **EG-Zone:**

die Stützenfreiheit der seitlichen Zonen an Deck sind besonders Entscheidend für die Forschungsarbeiten. Um einen ungehinderten Zugang zum Wasser an beiden Seiten des Decks zu ermöglichen, werden die Stützen weiter ins Zentrum verlagert.



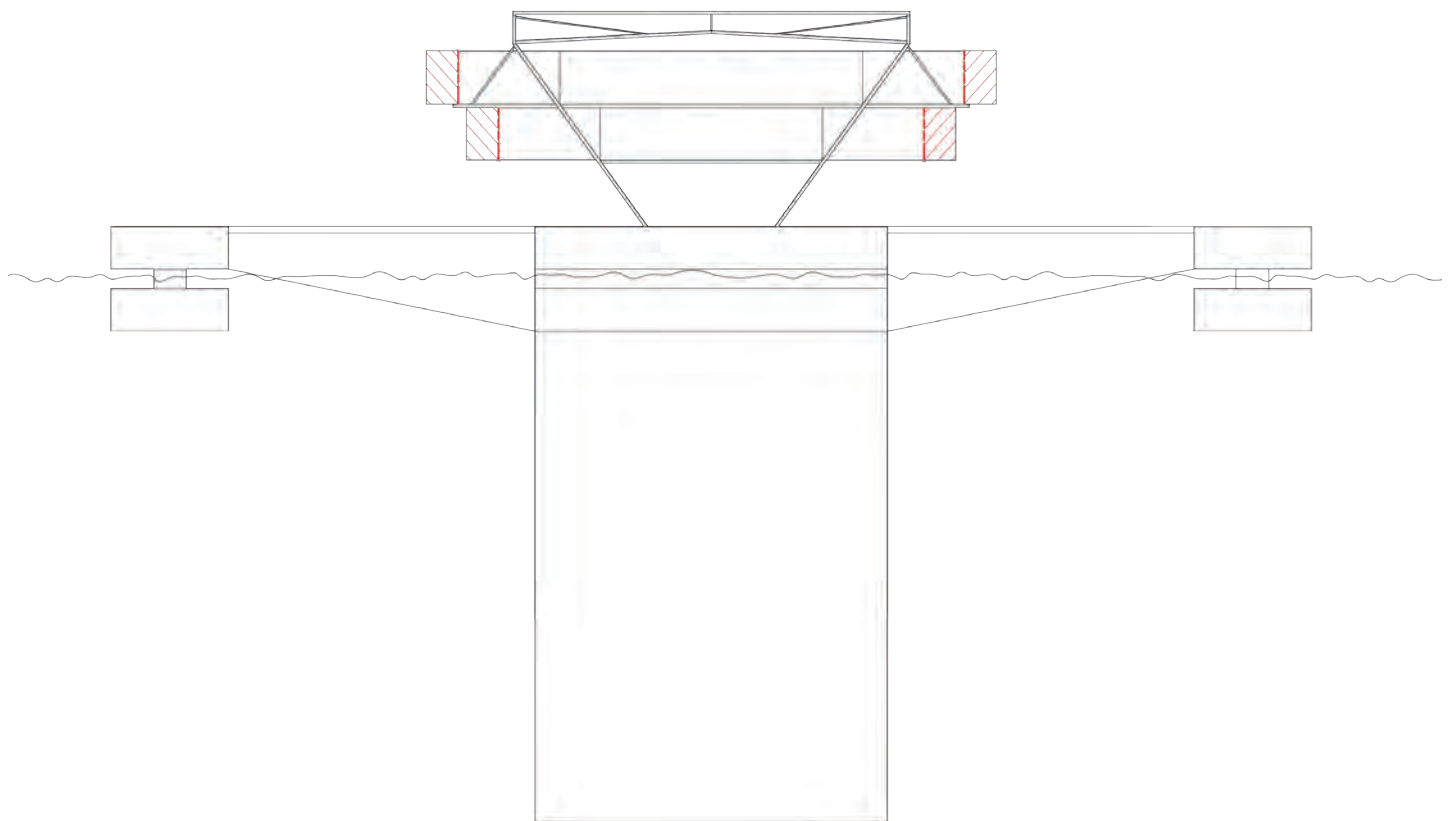
REDUKTION DER KONSTRUKTIONSELEMENTE  
AUF DAS NÖTIGE MINIMUM

**vorgefertigte Module werden in I-Träger eingeschoben**

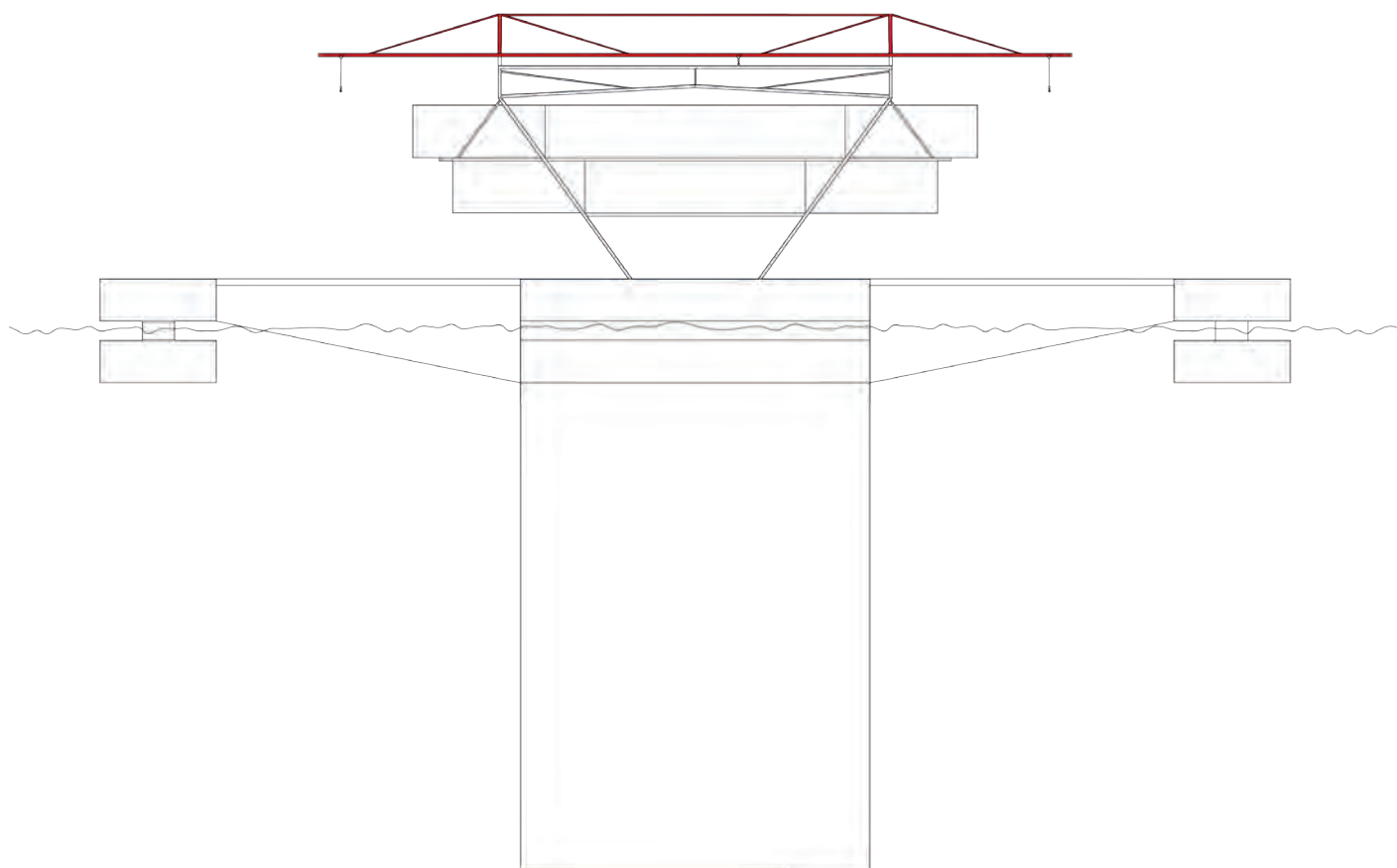
obere Boxen liegen auf Trägern

untere Boxen hängen daran

→ Rahmen um die einzelnen Module ist nicht mehr notwendig



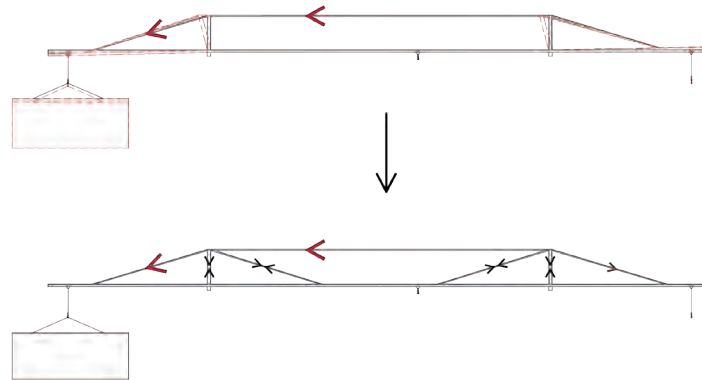
ERWEITERUNG DER PRIVATEN WOHNBEREICHE  
UM DIE MAXIMAL MÖGLICHE AUSKRAGUNGLÄNGE



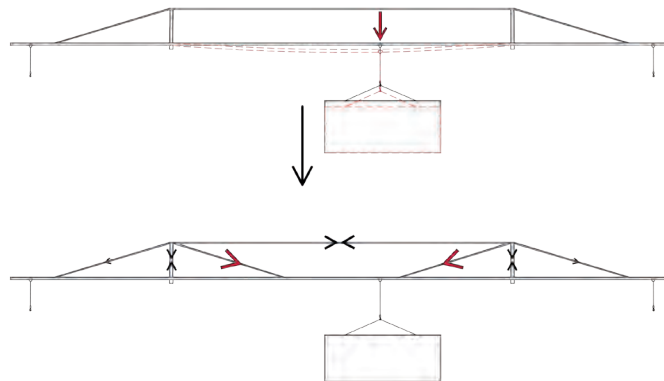
## LASTENKRAN

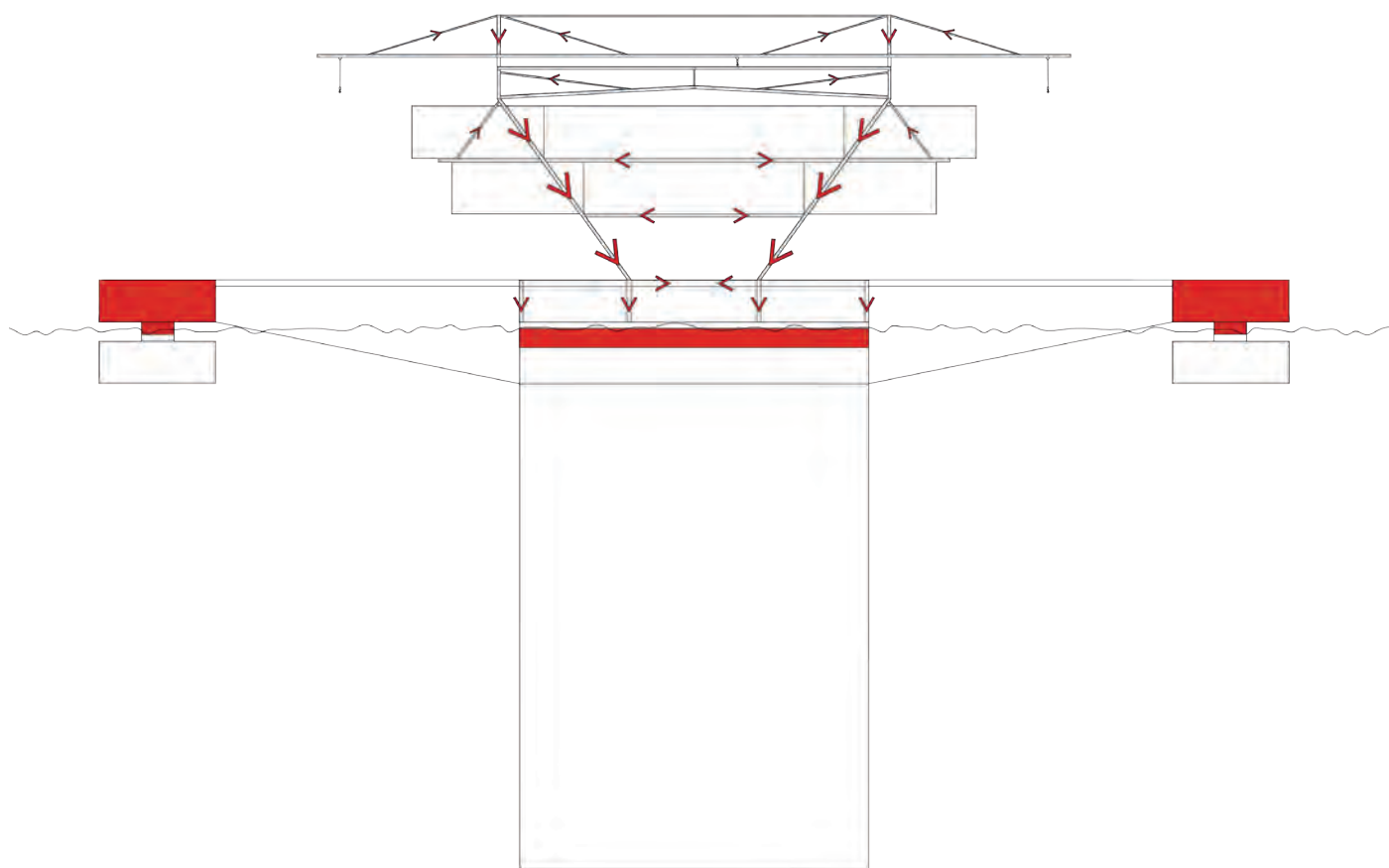
- hilft beim Aufbau der Konstruktion
- bringt die vorgefertigten Module in die gewünschte Position
- unterstützt bei Forschungsarbeiten im Betrieb der Station

Last auf äußerer Laufkatze:



Last auf innerer Laufkatze:



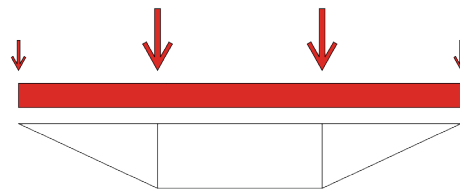




## LASTABTRAG

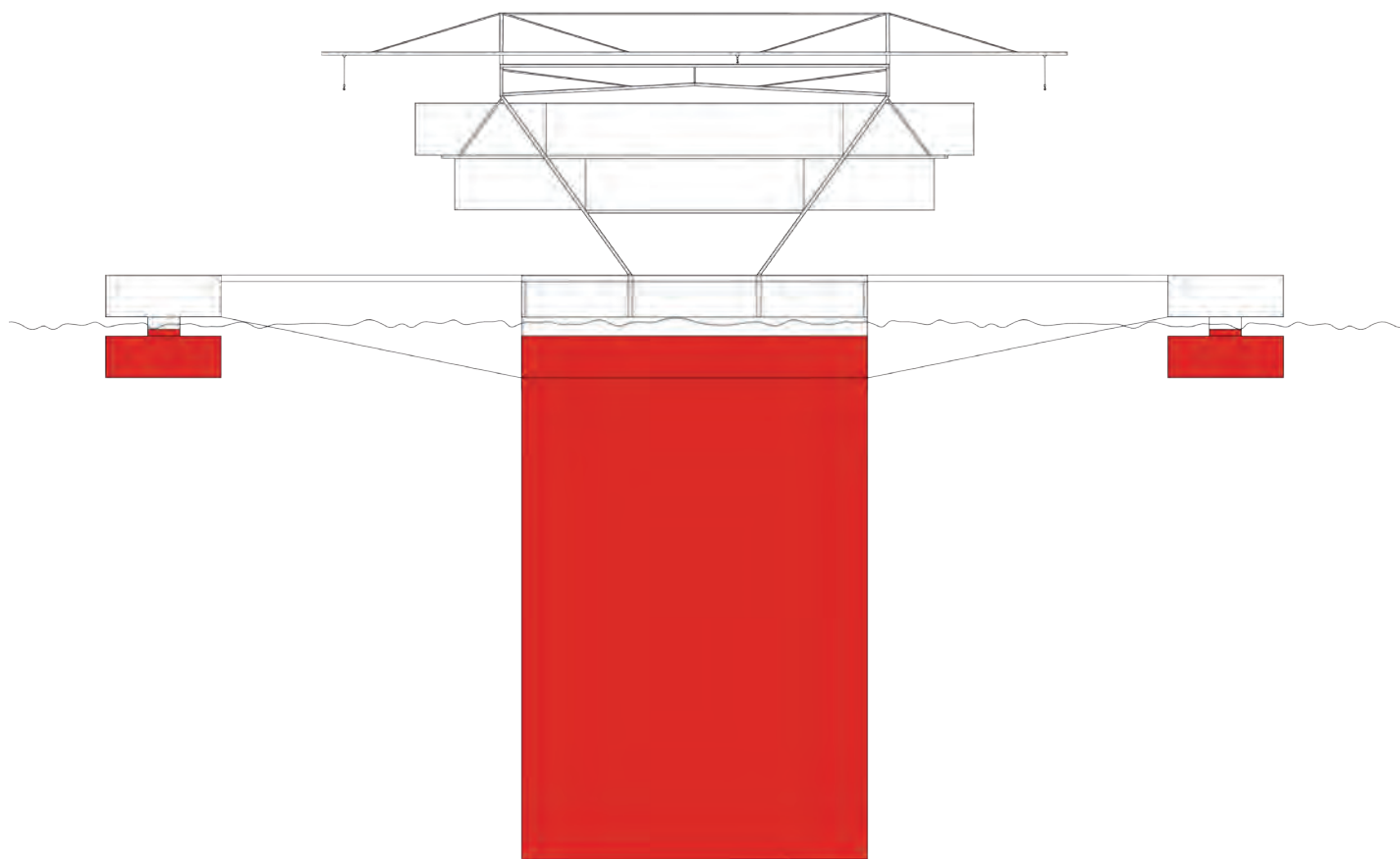
### **zentraler Auftriebskörper:**

nimmt wie ein Plattenfundament an Land alle Lasten auf



### **seitliche Auftriebskörper:**

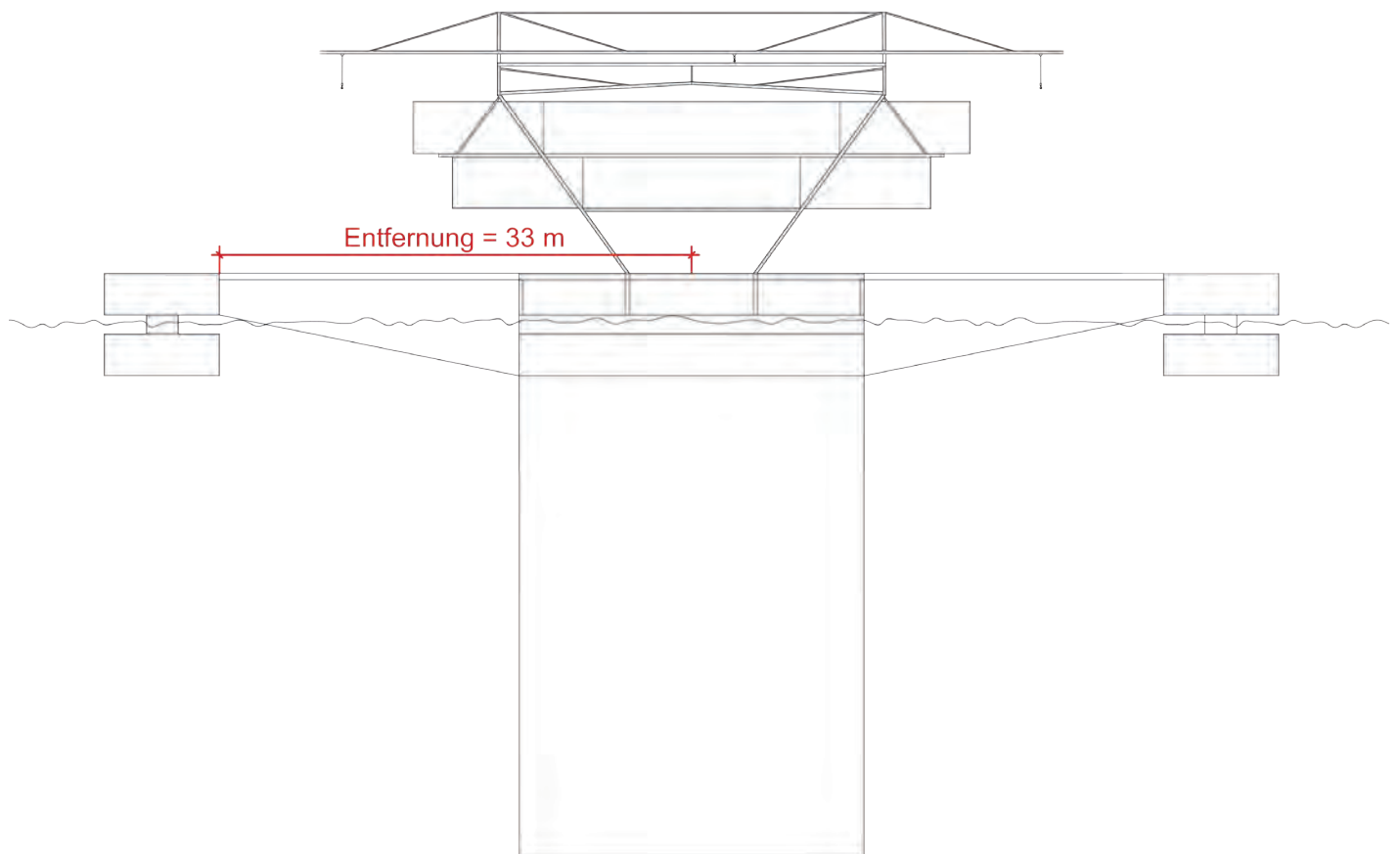
stabilisieren den gesamten Komplex gegen seitliches Eintauchen durch Kippen



## STABILISATOREN

### **Filtrationskörper und Ballasttanks**

sorgen wie der Kiel bei einem Schiff für Stabilität und Aufrichtung



## BEMESSUNG DER ENTFERNUNG ZWISCHEN HAUPTTRAKT UND SEITLICHEN SCHWIMMKÖRPERN

**Angeströmte Filterfläche (AF)** = 150 m x 35 m

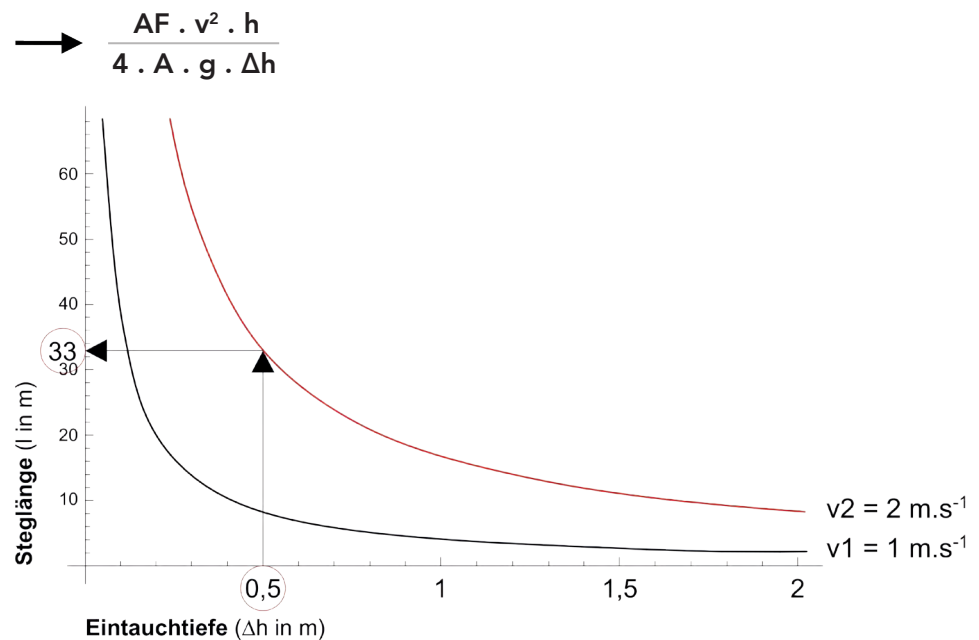
**Höhe des Filters (h)** = 35 m

**Grundfläche eines Schwimmkörpers (A)** = 115 m x 5 m

**Erdbeschleunigung (g)** = 9,81 m.s<sup>-1</sup>

**vorherrschende Strömungsgeschwindigkeit (v1)** = 1 m.s<sup>-1</sup>

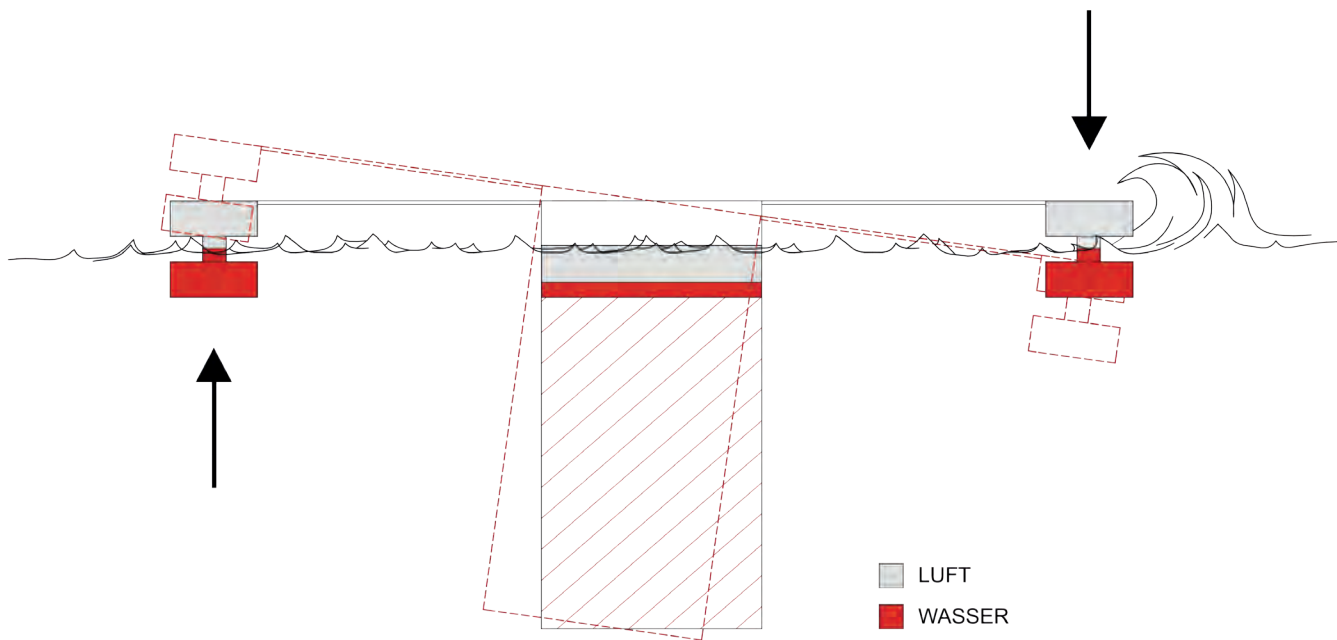
**maximale Strömungsgeschwindigkeit (v2)** = 2 m.s<sup>-1</sup>



- Egal wie hoch sich der Schwimmkörper hebt bzw. senkt, die Querschnittsfläche muss immer gleich groß bleiben.
- Die Nutzlast ist dabei irrelevant, solange die anderen Parameter eingehalten werden.

## SCHRÄGLAGE VERHINDERN

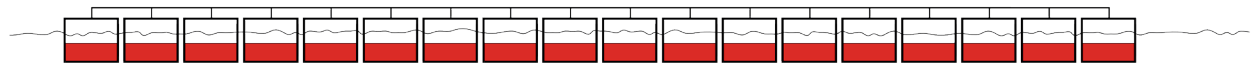
**LUFTKÖRPER** VERHINDERN EINE SCHRÄGLAGE DURCH SEITLICHES EINTAUCHEN



## BALLASTTANKS WIRKEN DEM UNERWÜNSCHTEN AUFTRIEB ENTGEGEN

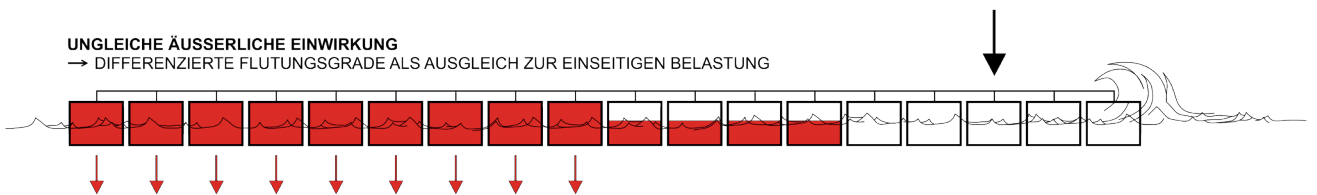
**RUHIGE SEELAGE**

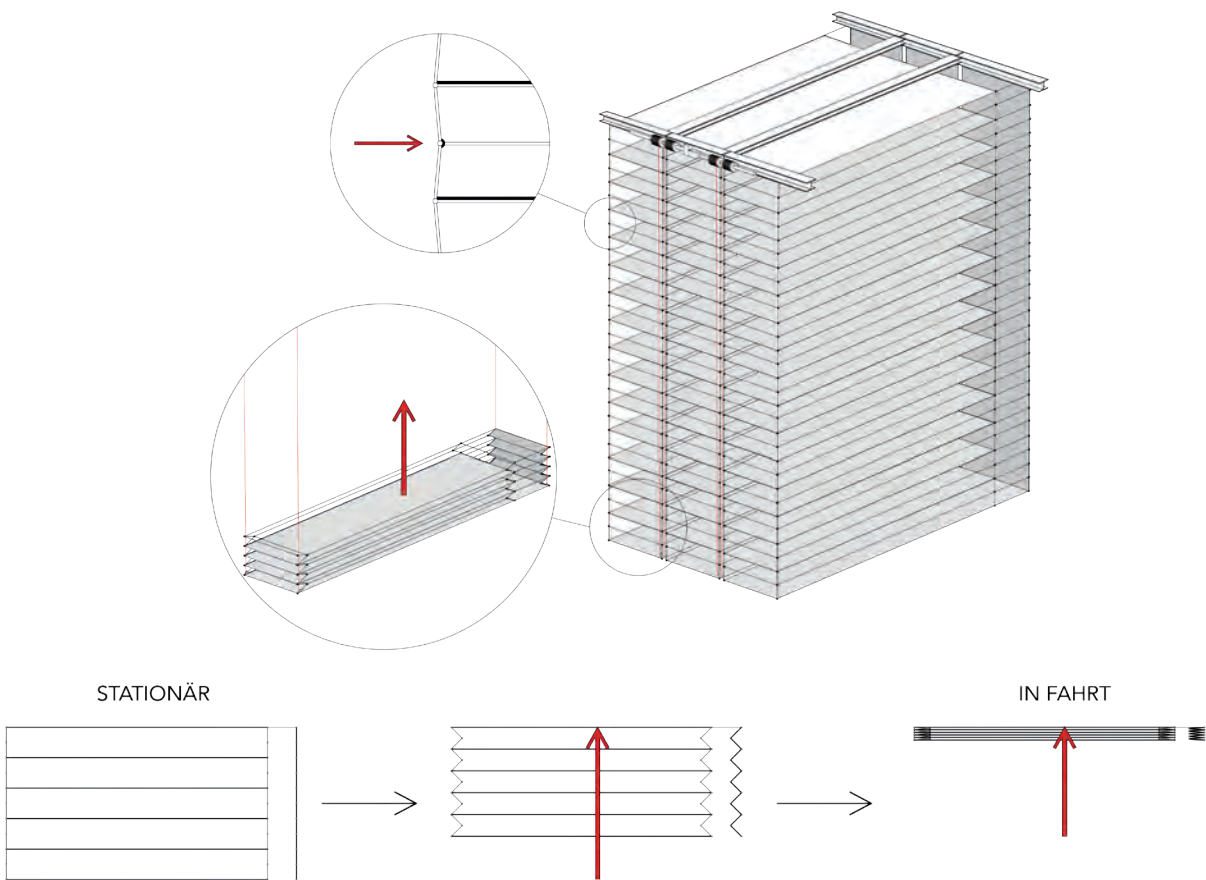
→ IDENTISCHE FLUTUNGSRADE



**UNGLEICHE ÄUSSERLICHE EINWIRKUNG**

→ DIFFERENZIERTE FLUTUNGSRADE ALS AUSGLEICH ZUR EINSEITIGEN BELASTUNG

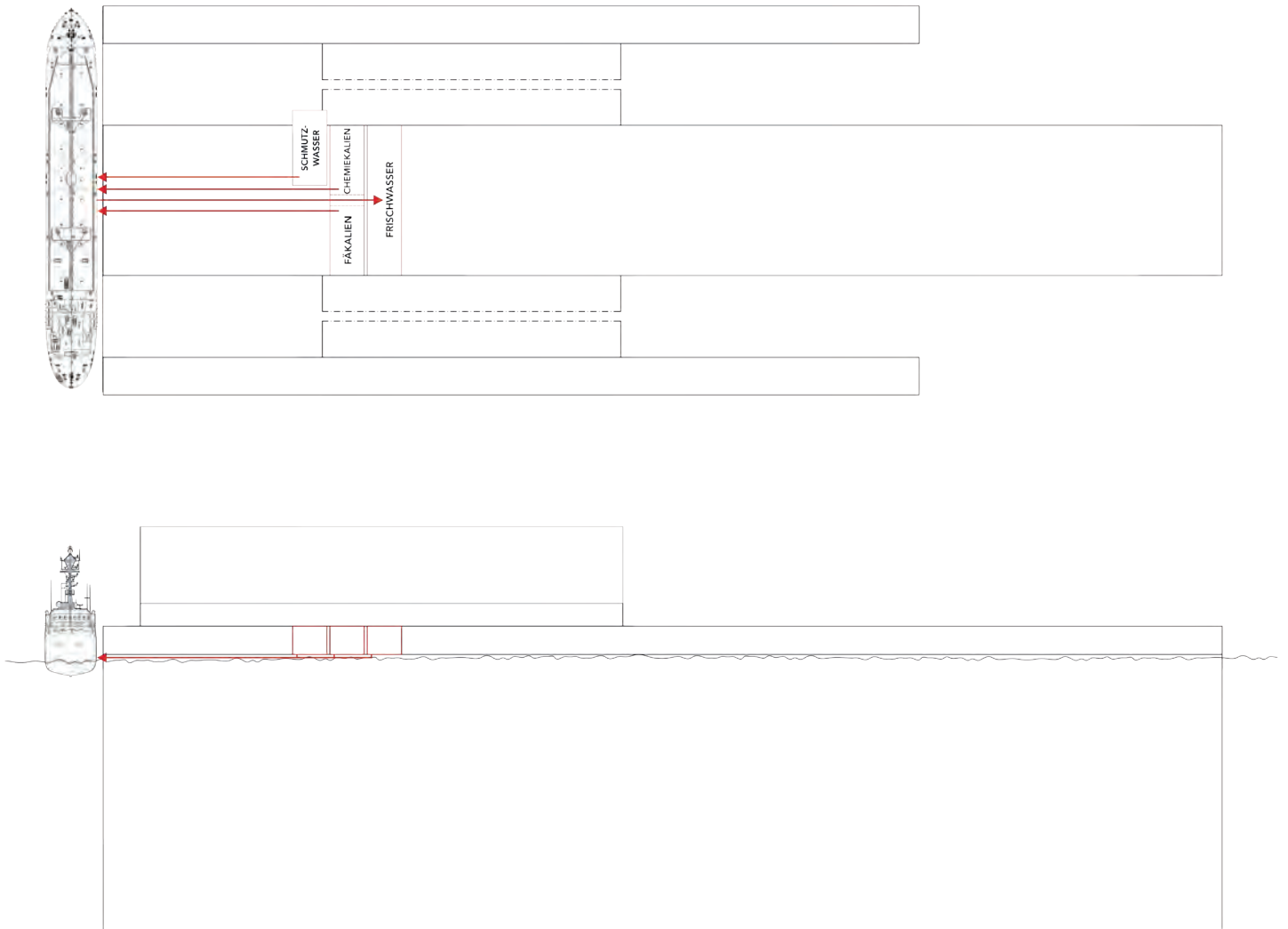






## KLAPPUNG DER FILTRATIONSELEMENTE

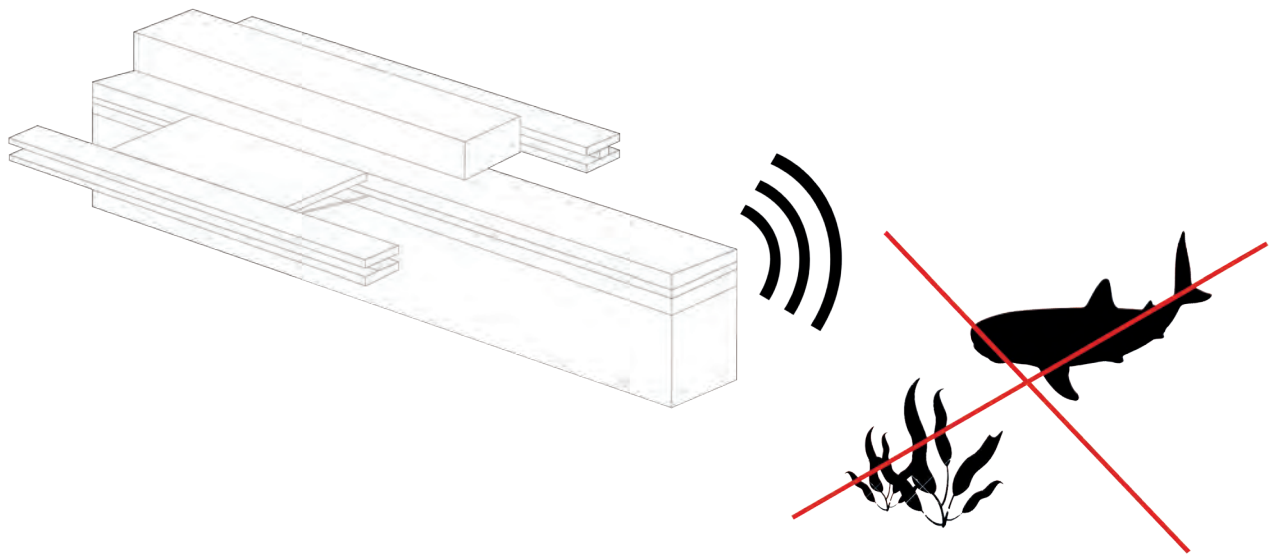
Um im fahrenden Zustand der Forschungsstation einen möglichst geringen Wasserwiderstand und somit einen geringen Energieverbrauch und eine höhere Fahrtgeschwindigkeit gewährleisten zu können, können die unter der Wasserlinie liegenden Filtrationskörper hochgezogen und dabei auf etwa ein Zehntel ihres Höhenvolumens reduziert werden. Dieses Prinzip erweist sich nicht nur im Betrieb der Plastik filtrierenden Station als äußerst hilfreich, sondern auch beim Transport der vorgefertigten Filtrationselemente. Durch das reduzierte Volumen wird der notwendige Einsatz von Frachtschiffen stark dezimiert. Im Falle von kleineren Reparaturarbeiten, bei denen es nicht nötig ist, das gesamte Modul auszutauschen, ist es zudem hilfreich, das betroffene Element hochzuziehen, und die Reparatur dadurch unmittelbar unter der Wasserlinie durchführen zu können.



## TANK- ENTLERUNG / BEFÜLLUNG

### PER SCHIFF

Da diese Forschungsstation anders als herkömmliche Forschungsschiffe nicht regelmäßig in einen Hafen einkehrt, ist es notwendig eine ungehinderte und problemarme Tankentleerung auf hoher See zu ermöglichen. Längsachsig verlaufen dazu Kanäle zwischen Hafen und Frischwasser-, Chemikalien- und Fäkalientank. Die verunreinigten Liquide werden mit Hilfe von Schiffen abtransportiert und fachgerecht an Land entsorgt. Falls es an Frischwasser mangeln sollte, weil nicht ausreichend aufbereitet werden konnte, wird dieser Tank durch den Schiffstank aufgefüllt.



## ULTRASCHALL

ZUR FERNHALTUNG VON TIEREN  
UND VERMEIDUNG VON ALGENBILDUNG

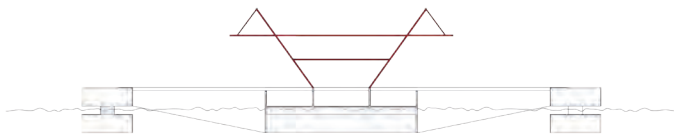
Dass in den Müllwirbeln der Ozeane aufgrund des geringen Nährstoffgehaltes kaum marine Lebewesen zu finden sind, kommt dem Filtrationsprozess zu Gute. Um dennoch jegliche Gefahr ausschließen zu können und zusätzlich eine Abwehr gegen Algenbildung an der Konstruktion sicherzustellen, werden Ultraschallwellen eingesetzt. Auf diese reagieren marine Organismen äußerst sensibel und bleiben deshalb der Schallquelle weitgehend fern. Im Gegensatz zu Beschichtungen gegen den Befall von Algen ist diese Methode zudem nachhaltig und umweltverträglich, da sie keine Stoffe an die Umwelt abgibt und nicht in regelmäßigen Abständen erneuert werden muss.

## KONSTRUKTIONS-ABLAUF

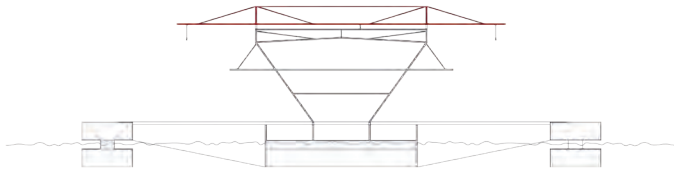
### SCHRITTE DES AUFBAUS VOR ORT AUKÖRPERS



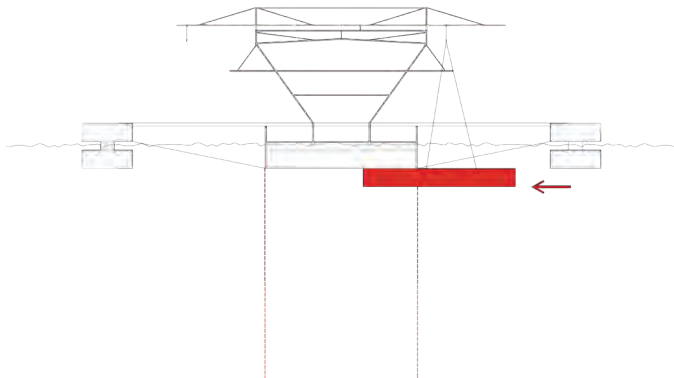
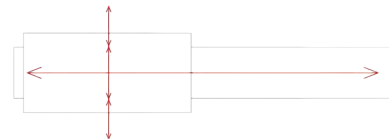
AUFTRIEBSKÖRPER UND BALLASTTANKS



PRIMÄRKONSTRUKTION



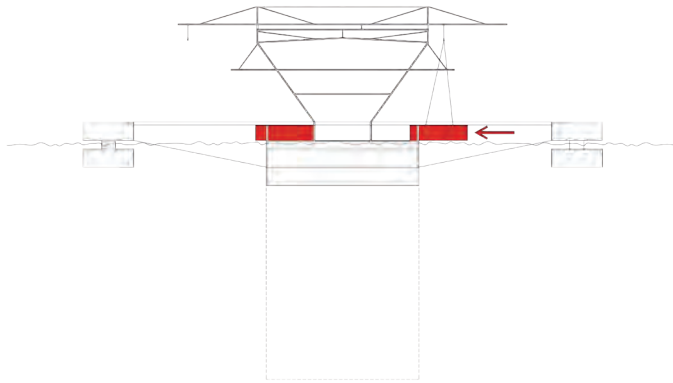
LASTENKRAN



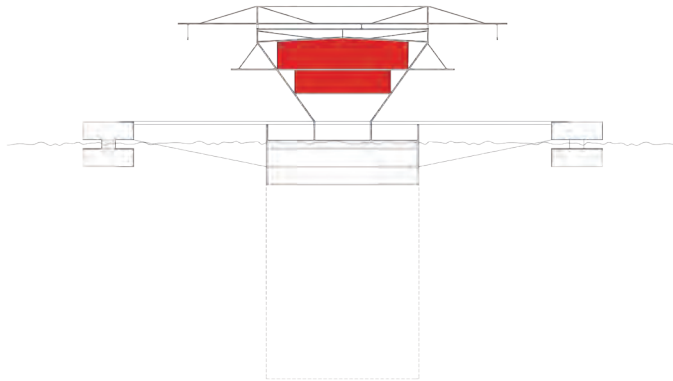
FILTRATIONS-MODULE

**kompakt:** für den Transport der vorgefertigten Module und in Fahrt der Plastik filtrierenden Forschungsstation, um möglichst geringen Wasserwiderstand zu gewährleisten

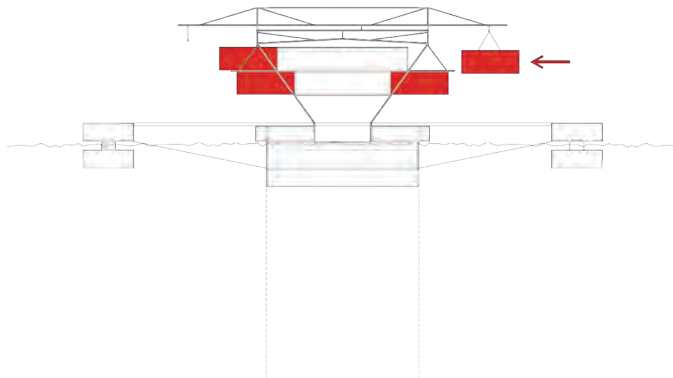
**ausgeklappt:** für den stationären Filtrationsbetrieb



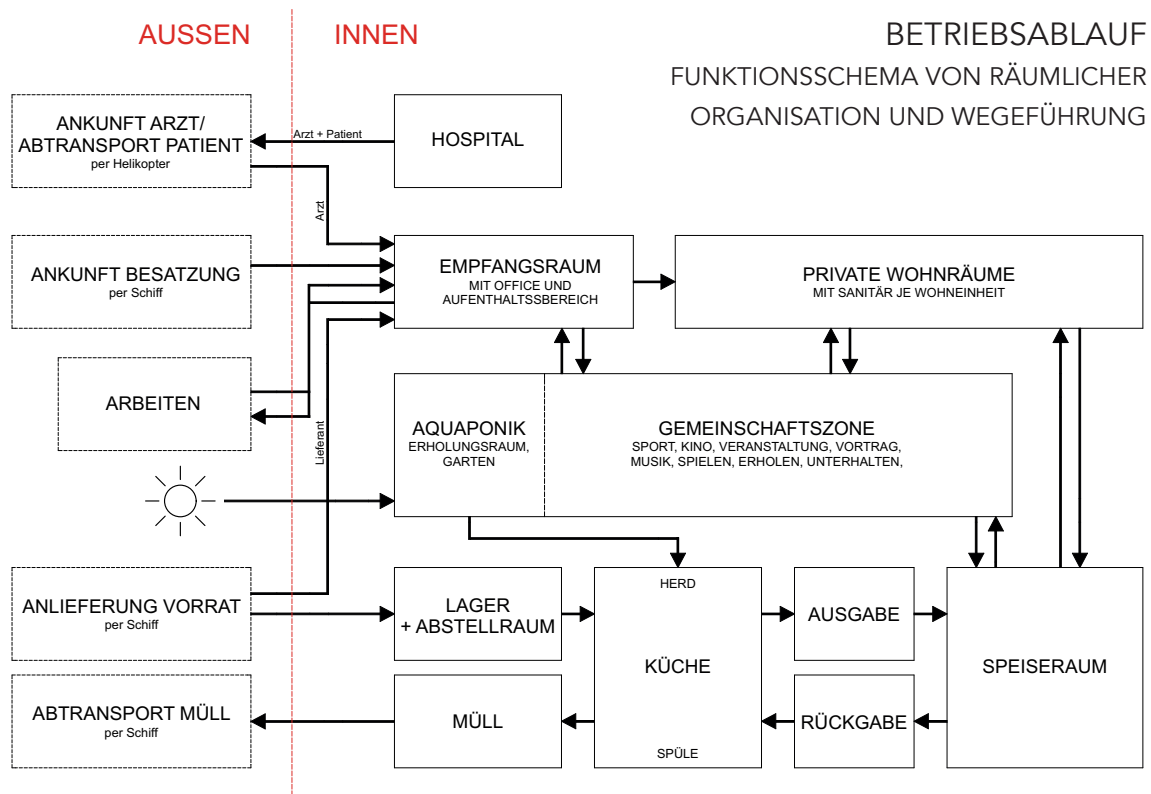
LABOR- UND TECHNIK-MODULE



ELEMENTE DER GEMEINSCHAFTSZONE

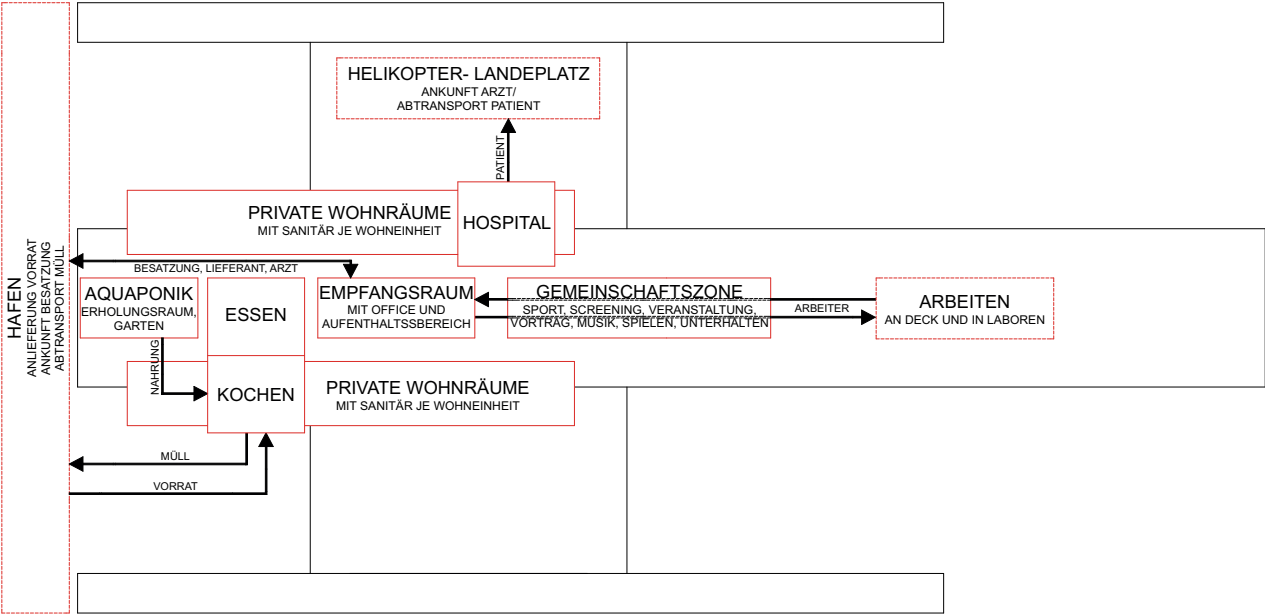


WOHN-MODULE





ORGANISATION IM GRUNDRISS  
UND DIE BEZIEHUNGEN ZWISCHEN INNEN UND AUSSEN



## ANZAHL UND AUFTEILUNG DER WOHN-MODULE

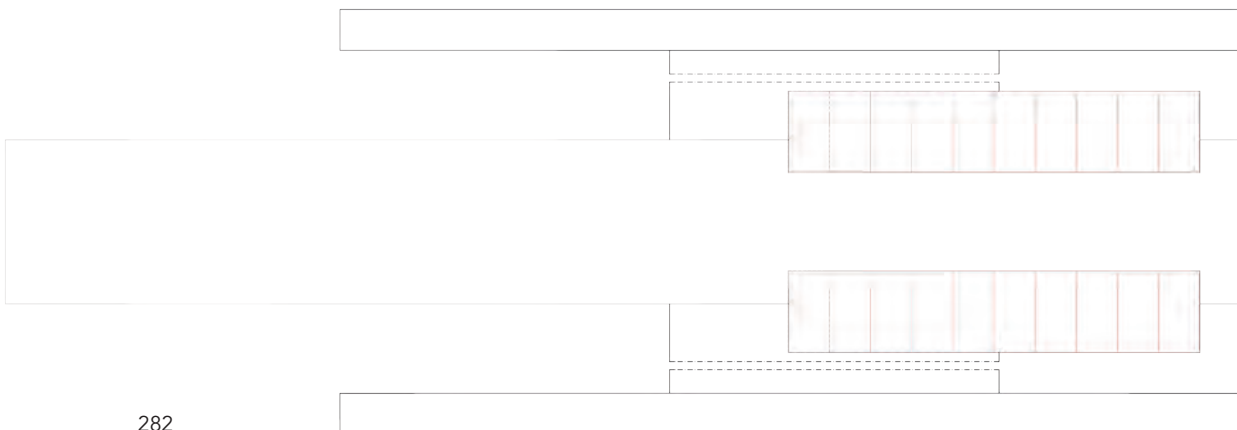
BESATZUNG INSGESAMT: **37 - 76 PERSONEN** (je nach Größe der Crew)

2 PERSONEN PRO WOHN-EINHEIT ENTSPRICHT EINEM BEDARF: 19 - **38 MODULE**

38 Module geteilt durch 4 (2 Ebenen zu je 2 Reihen) = 9,5 Module

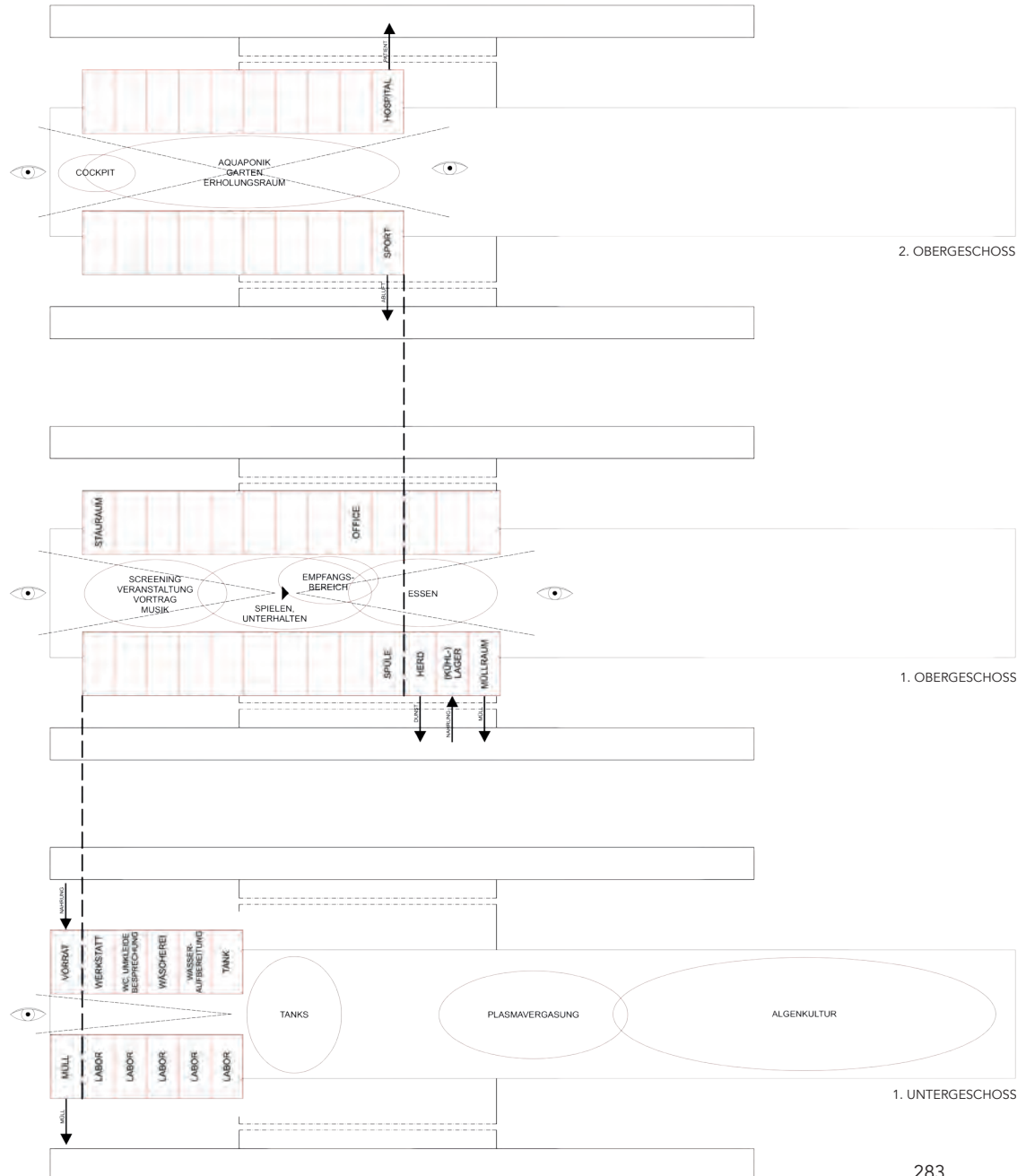
➔ **untere Reihe: 10 Module je Seite**

➔ **obere Reihe: 9 Module je Seite**



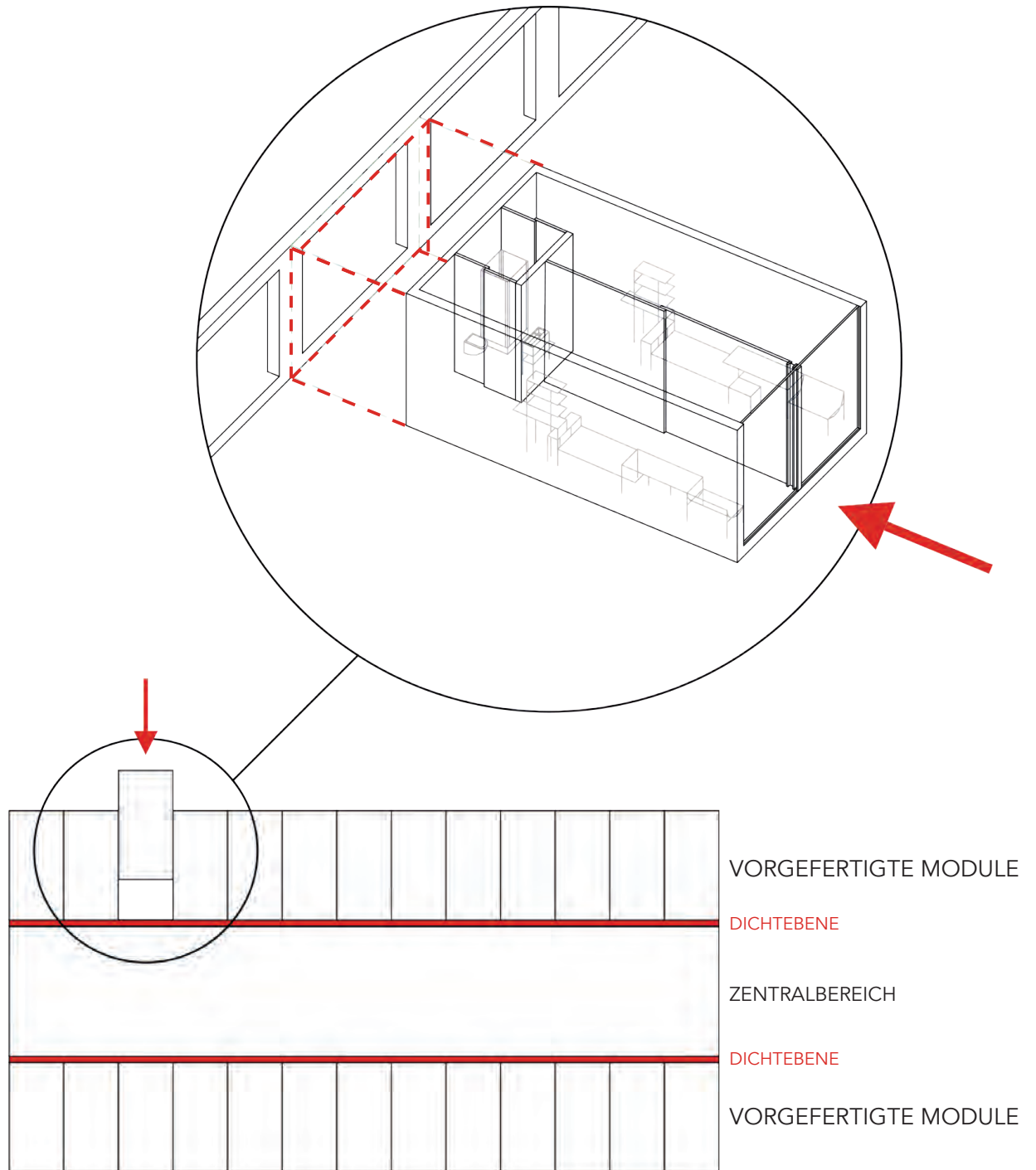
## KRONKRETISIERUNG DES GRUNDRISSSES

Um den Nutzen des Lastenkranes voll auszukosten, muss die Anordnung der verschiedenen Funktionen nicht nur einem horizontal funktionierendem Raumkonzept entsprechen, sondern darf auch in der Vertikalen keine Überschneidungen gewisser Funktionsbereiche aufweisen. Alle Module, denen es einer ungehinderten Verbindung zum Kran bedarf, müssen an ihrer Fassade nach oben hin frei zugänglich sein.



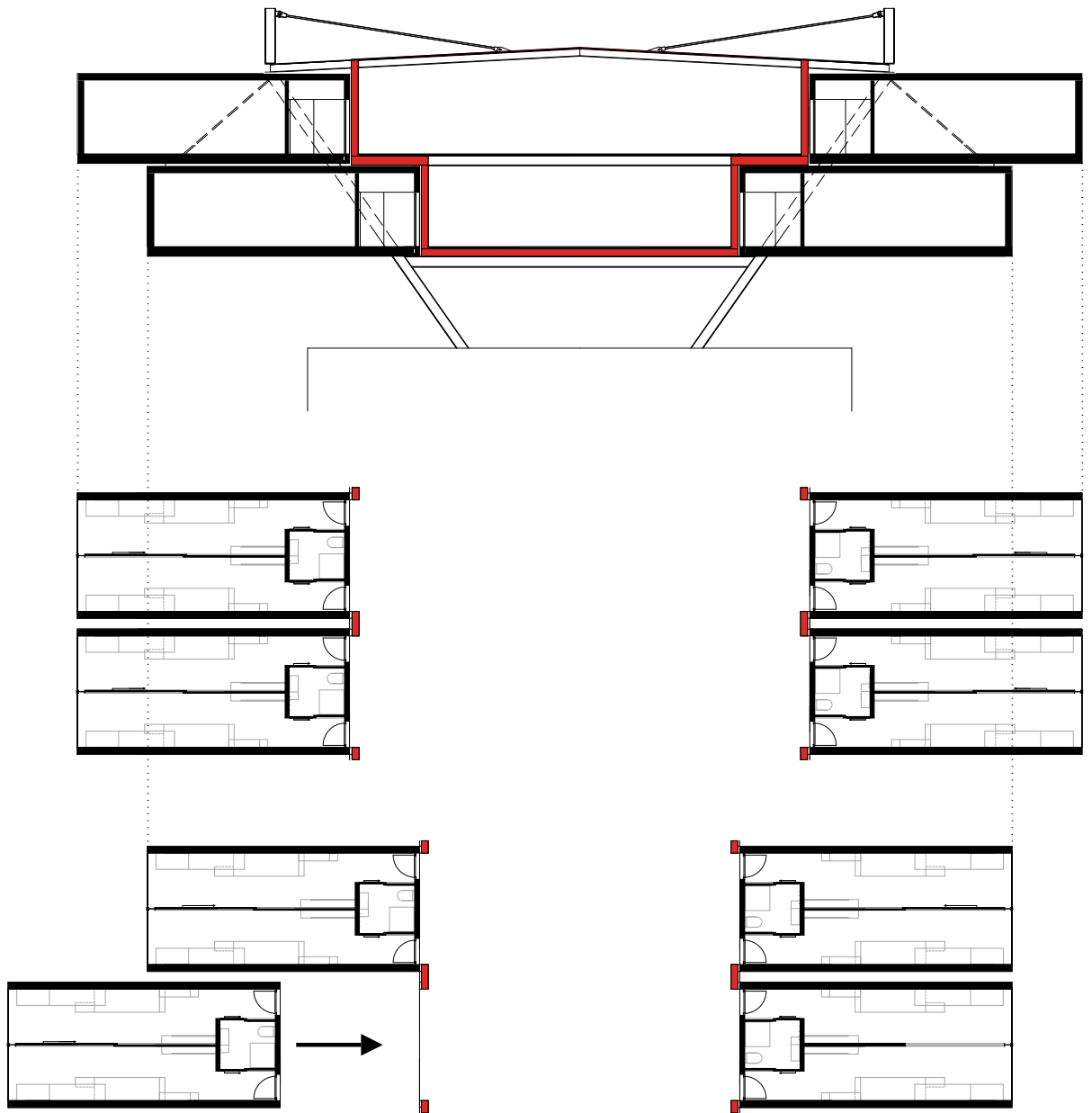
## VERBINDUNG DER FLEXIBLEN MODULE AN DEN STARREN ZENTRALBEREICH

Die an Land vorgefertigten Wohn-, Forschungs- und Servicemodule werden vor Ort an den starren Zentralbereich des gesamten Komplexes andockt. Ein magnetisches Dichtungsband hilft, um die Boxen leichter in ihre exakte Position zu lotsen und den Verbindungsrahmen in Folge gegen Witterungseinflüsse und das Meerwasser abzudichten.



## WÄRMEDÄMM-EBENE ZWISCHEN ZENTRALBEREICH UND MODULEN

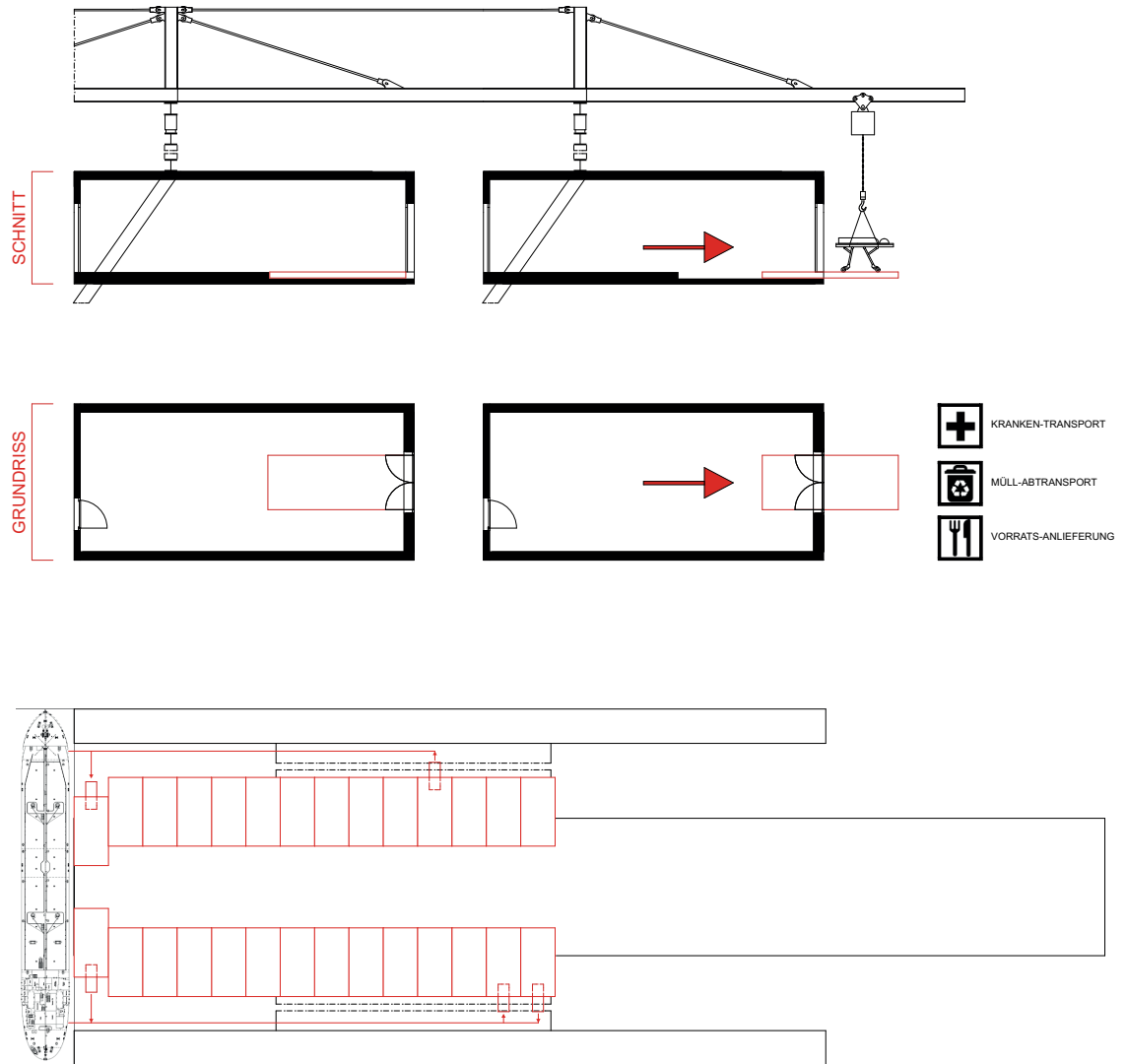
Auch die Wärmedämmung liegt wie ein Band (in der Grafik rot dargestellt) um den gesamten starren Zentralbereich, an den die vorgefertigten Module angedockt werden. Wärmebrücken werden so zur Gänze vorgebeugt.



## MODULERWEITERUNG

Um einen reibungslosen Betrieb garantieren zu können, muss jederzeit ein ungehinderter Zugang zu gewissen Modulen möglich sein, um die Anlieferung von Vorräten, den Abtransport von Kranken bzw. Verletzten, sowie den Abtransport von Müll nicht zu verzögern. Um sich auch hier an dem vielfältigen Nutzen des Kranes bedienen zu können, werden die speziellen Module mit Bodenflächen ausgestattet, die in den Außenbereich erweiterbar sind.



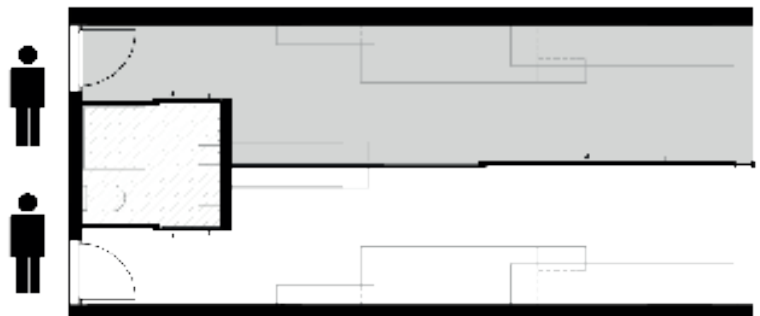


## SCHALTBARE WOHNHEINHEITEN

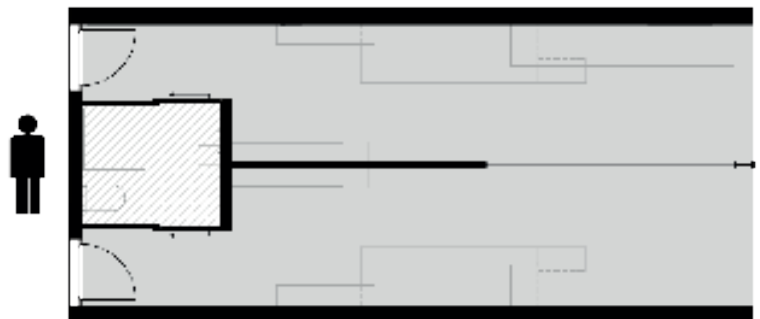
### ANPASSUNG AN BESATZUNGSGRÖSSE

Aufgrund der schwankenden Besatzungszahl - nicht jede Expedition erfordert die gleichen Anzahl an Fachkräften - variiert auch der Bedarf an Wohnräumen. Um die Fläche der Wohneinheiten nicht ungenützt zu lassen, kann man bei einer kleineren Crew den gesamten Raum eines Moduls, der eigentlich für zwei Personen gedacht ist, zu einem zusammenschalten. Ermöglicht wird dies durch eine schallgedämmte Schiebe-Trennwand, die entlang der Längsachse jedes Wohnmoduls verläuft. Die Ausstattung der einzelnen Wohnräume ist dabei so gestaltet, dass sich die Nutzung flexibel anpassen lässt.

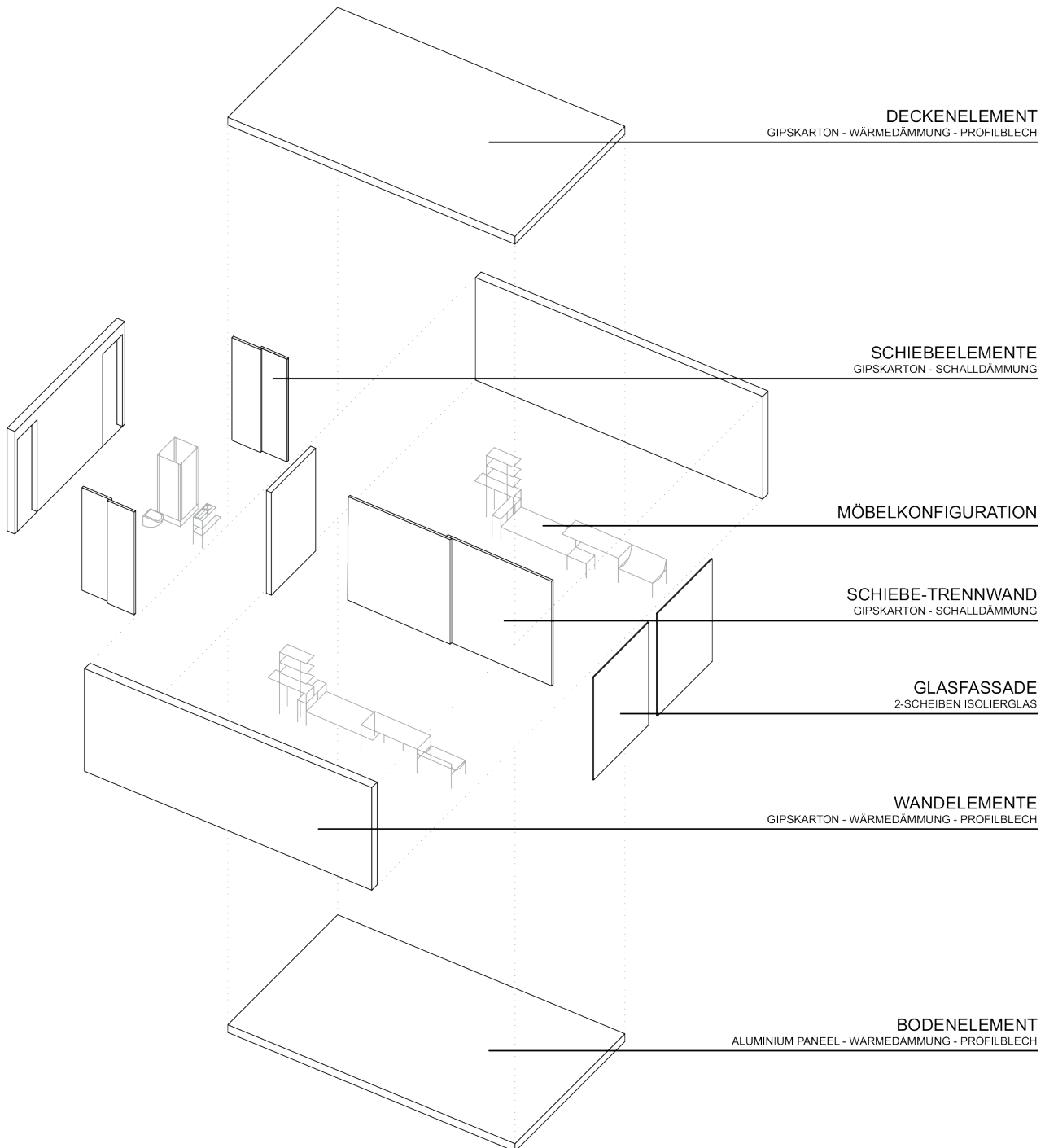
WOHNRAUM PRO PERSON: **17,8 m<sup>2</sup>**  
Sanitär: 3,6 m<sup>2</sup>



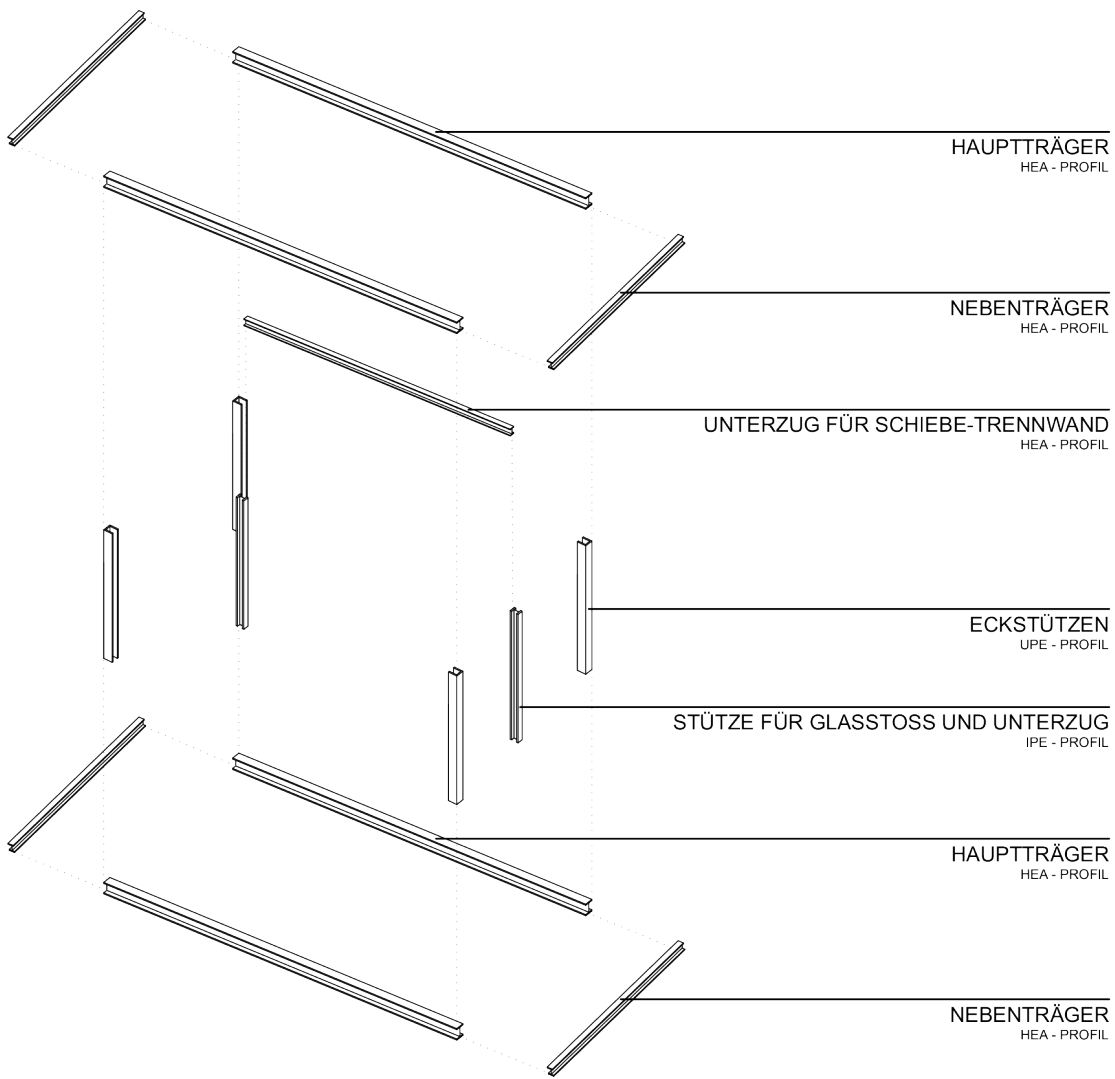
WOHNRAUM PRO PERSON: **35,6 m<sup>2</sup>**  
Sanitär: 3,6 m<sup>2</sup>



## RAUMELEMENTE EINER WOHNHEINHEIT

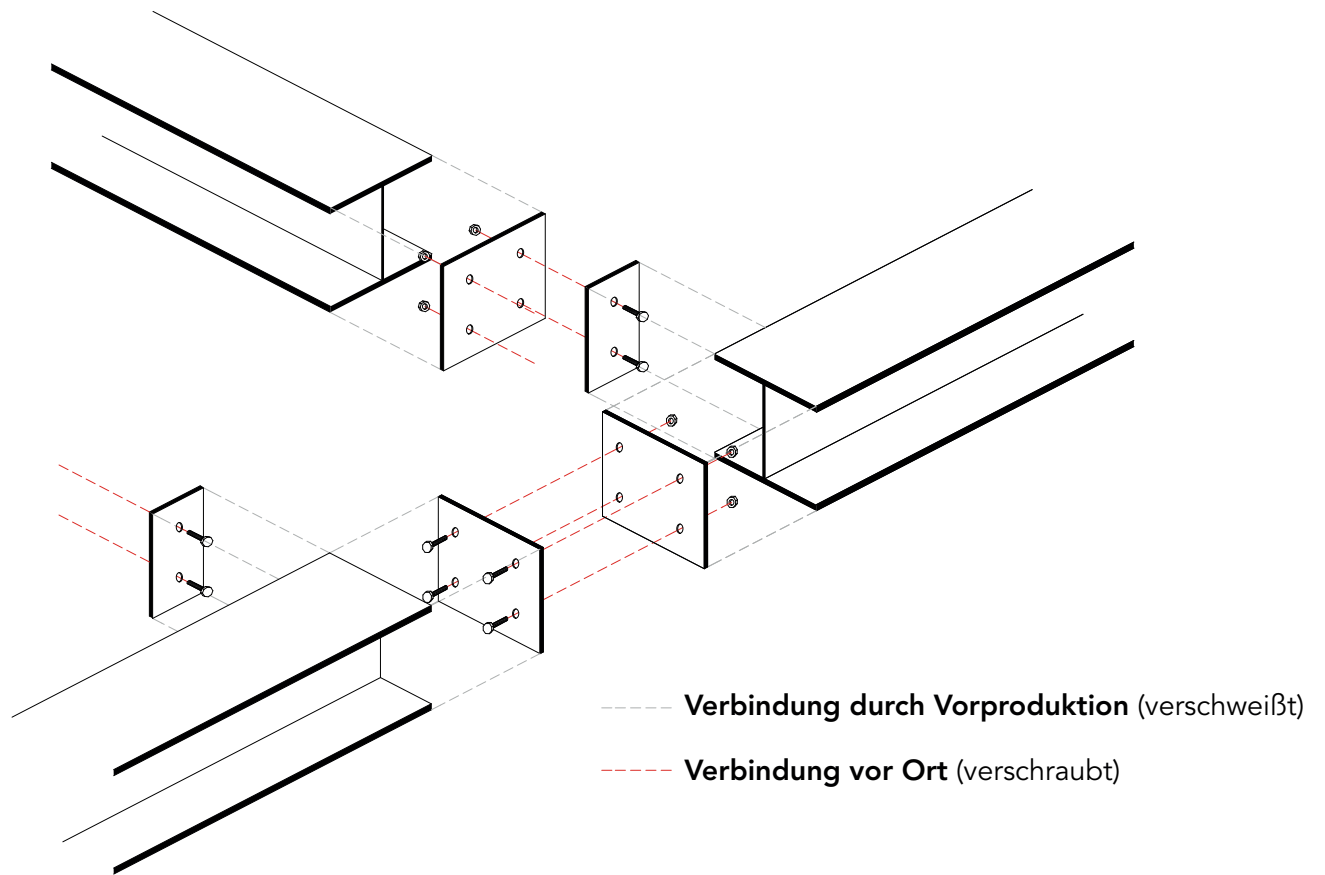


# KONSTRUKTIONSELEMENTE EINER WOHN-EINHEIT



## VERBINDUNGS-PRINZIP DER KONSTRUKTIONSELEMENTE

Die Träger und Stützen werden an Land zugeschnitten und mit Verbindungselementen ausgestattet, damit ein möglichst schneller und aufwandsarmer Bau vor Ort garantiert ist. Den Schraubverbindungen, die auf hoher See durchgeführt werden müssen, bedarf es weder spezielles Know-How, noch erheblichen Zeitaufwand. Durch den Einsatz von Schrauben, Muttern, Beilagscheiben, usw. aus verzinktem Metall ist die Konstruktion zudem in Folge äußerst wartungsarm. Die Gefahr, die von einem möglichen Korrosionsbefall ausgeht, ist gering.



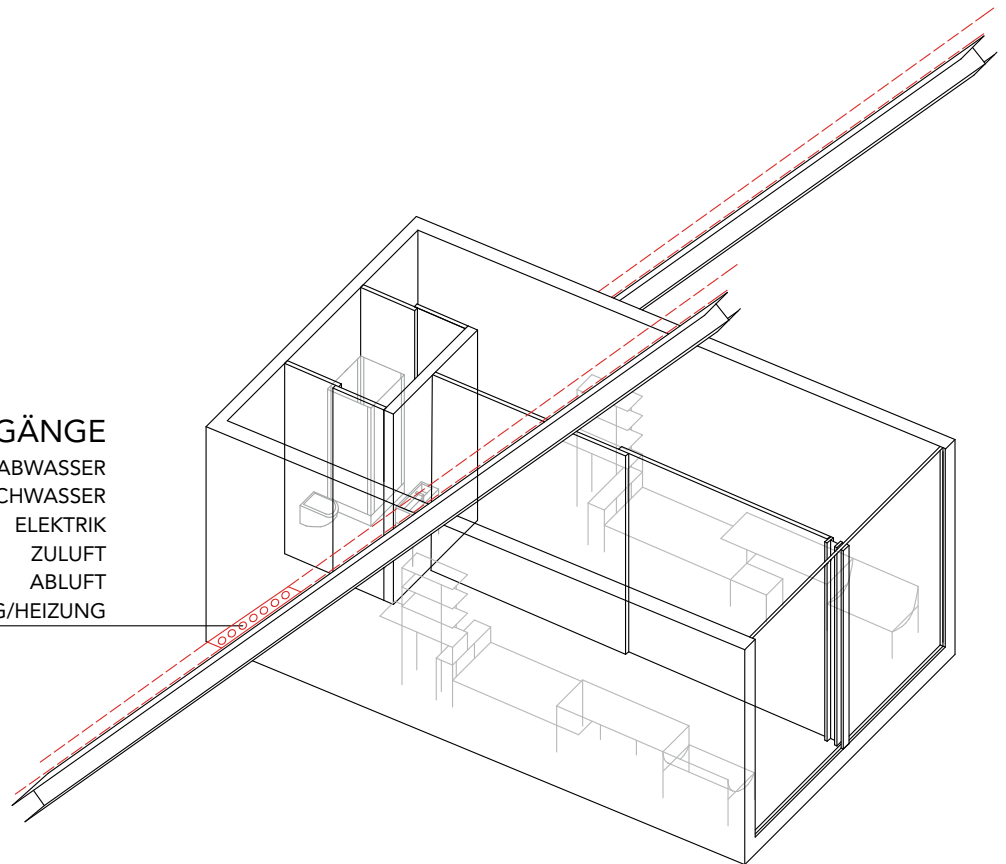
## HAUSTECHNIK UND ELEKTRIK

Alle Module werden mit Servicekanälen ausgestattet, die den Anschluss an die Versorgungseinrichtungen erheblich vereinfacht und dadurch Zeit, sowie Kosten einsparen kann. Die Verkabelung und Verlegung der Ab- und Zuwasserrohre wurde innerhalb der Module bereits an Land getätigt. Vor Ort müssen die Module nur noch an das bereits bestehende Installationseinrichtungen angeschlossen bzw. damit verbunden werden.



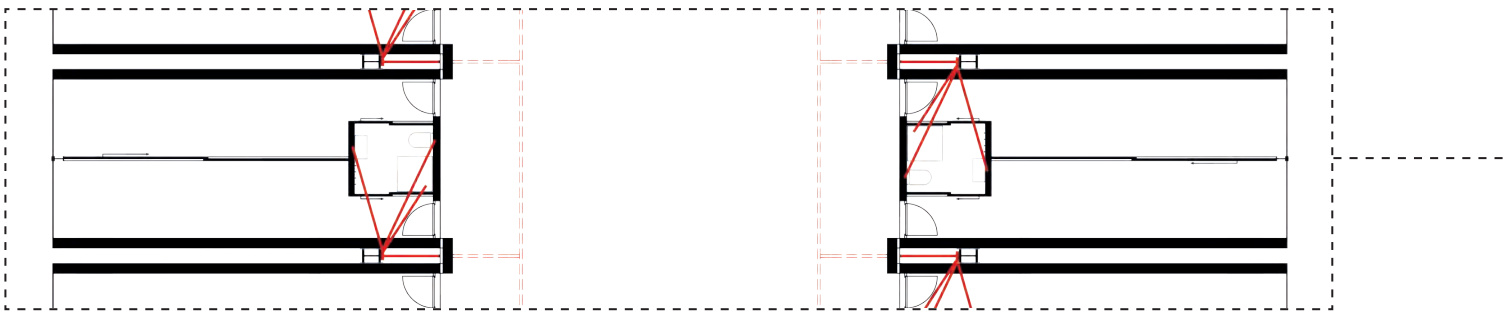
## AUS-/EINGÄNGE

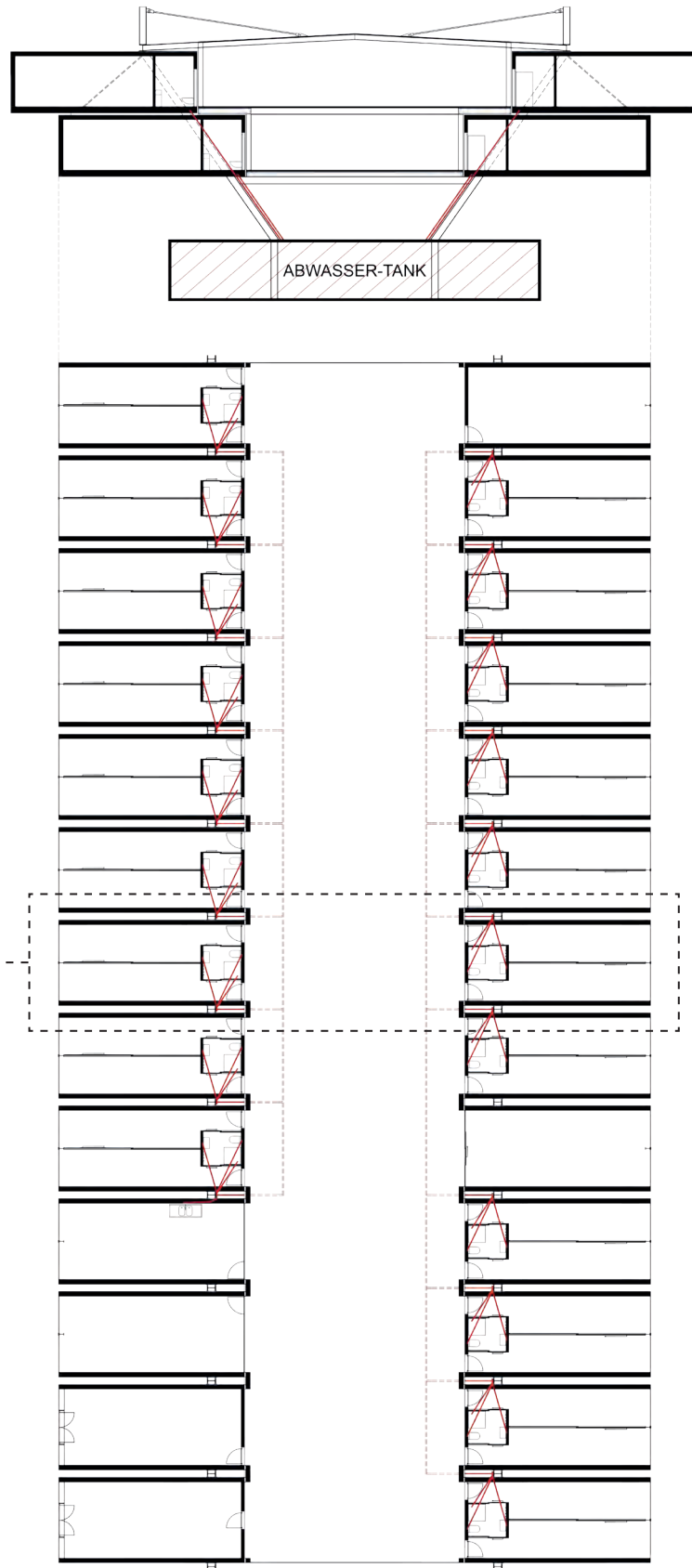
ABWASSER  
FRISCHWASSER  
ELEKTRIK  
ZULUFT  
ABLUFT  
KÜHLUNG/HEIZUNG



## VERLAUF DER ENTSORGUNGSLEITUNGEN

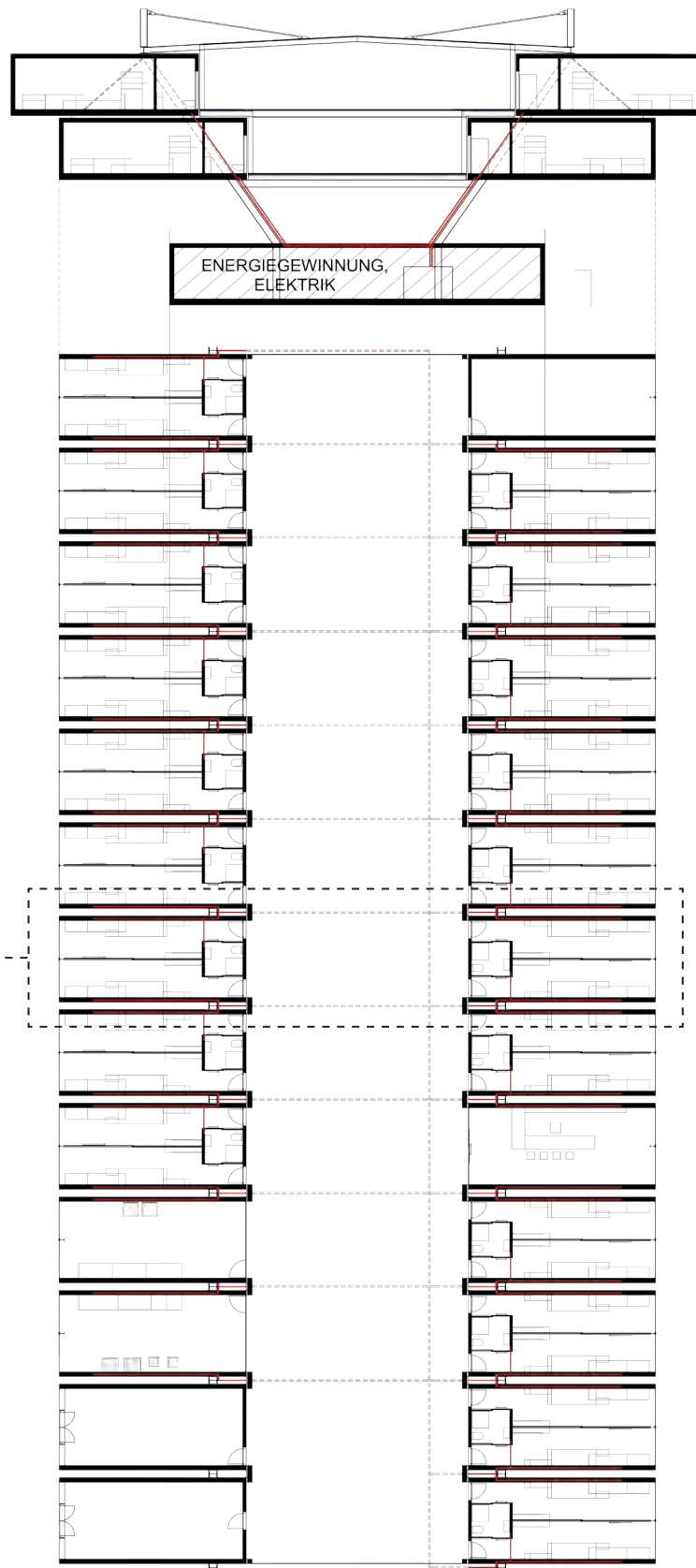
ABWASSER UND ZULAUF DES FRISCHWASSERS



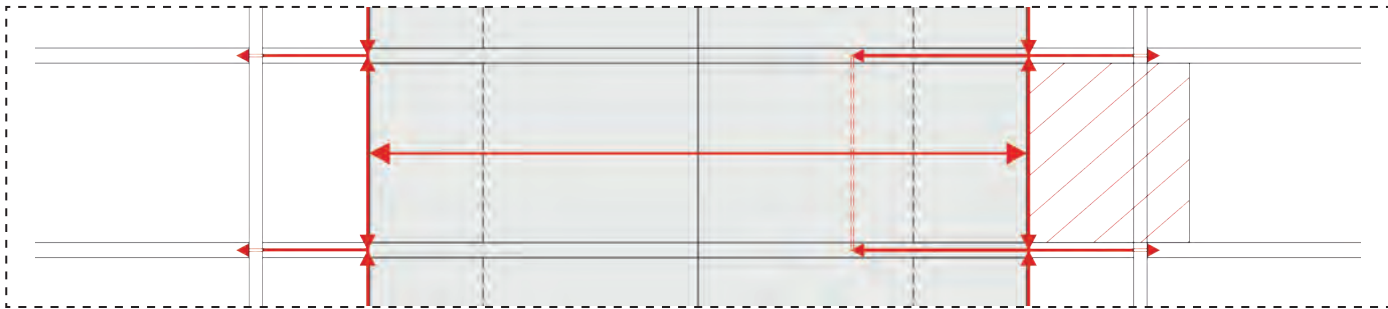


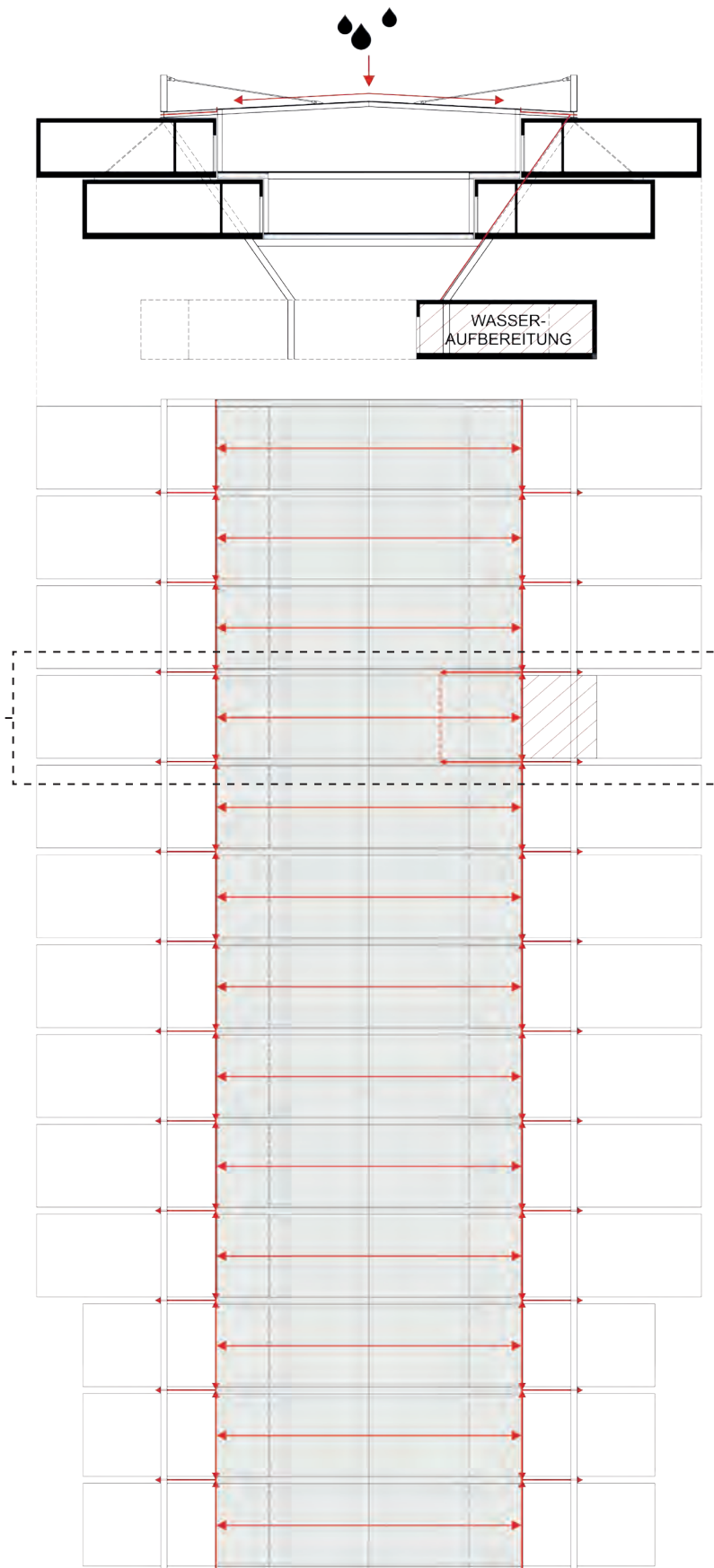
## VERLAUF DER ELEKTROLEITUNGEN





## ABLEITUNG VON REGEN- UND MEERWASSER



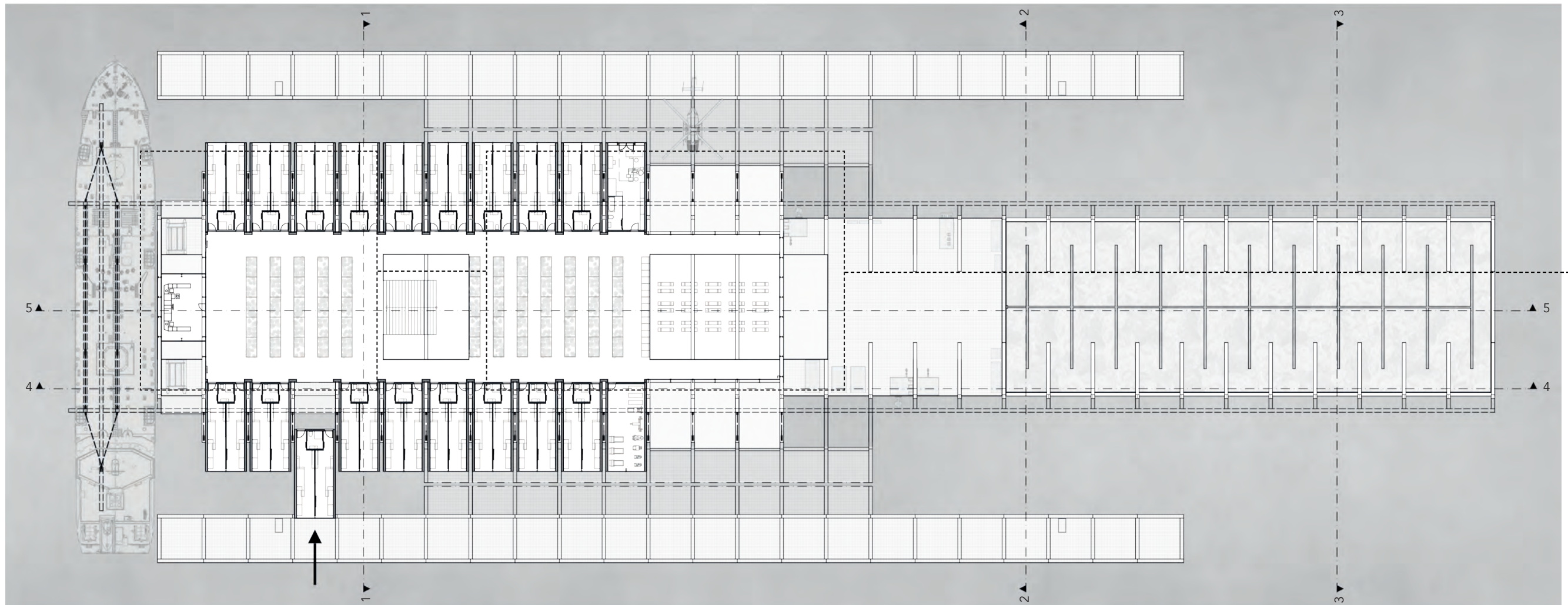






17

PLANGRAFIKEN  
UND DETAILS



## GRUNDRISS 2.OG

1:500

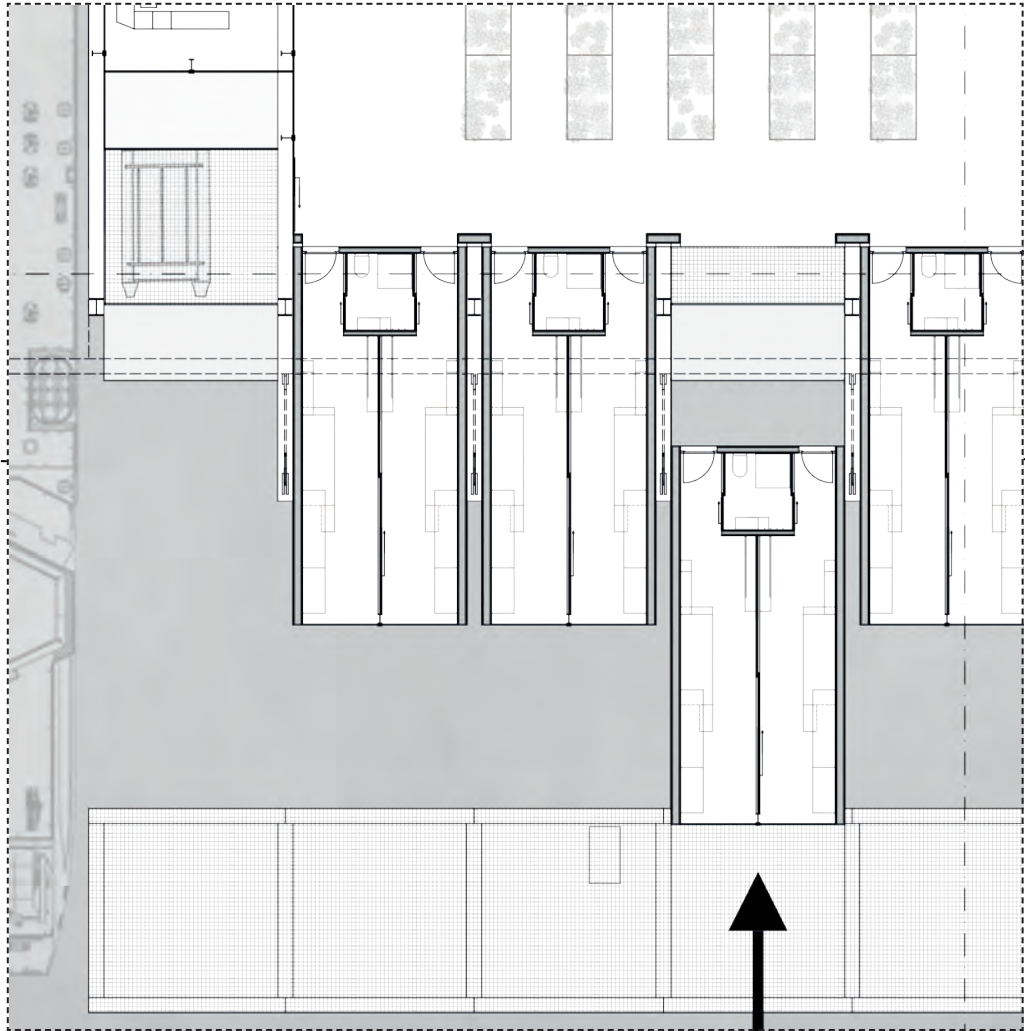
WOHNEN + SANITÄR

AQUAPONIK

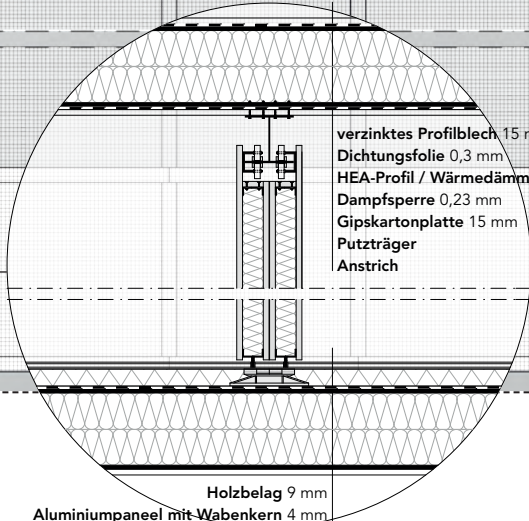
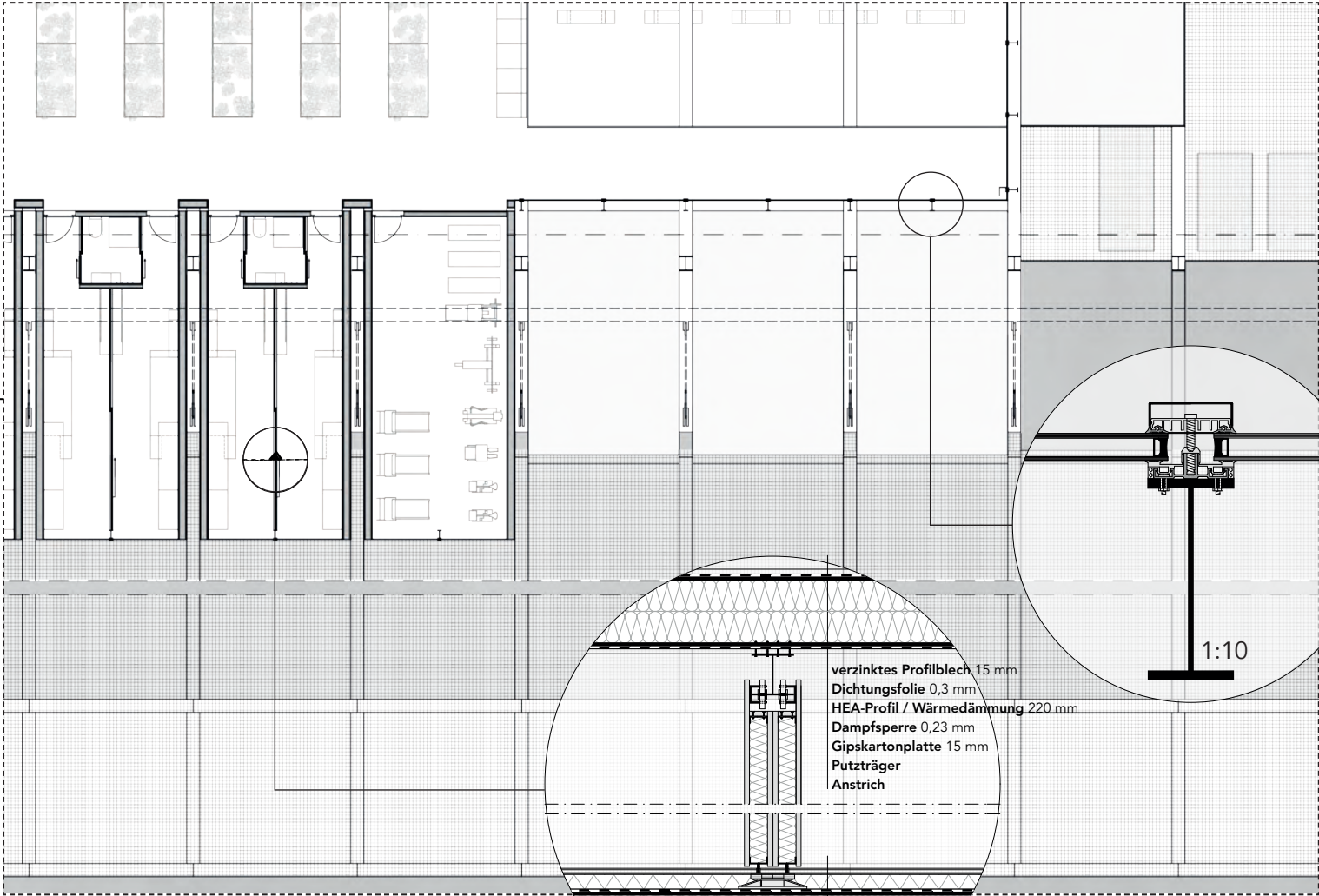
COCKPIT

ERHOLUNG, SPORT, HOSPITAL



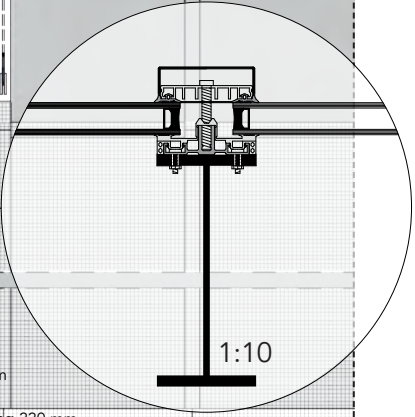


**DETAILLIERTERE AUSSCHNITTE** AUS GRUNDRISS 2.OG  
1:200



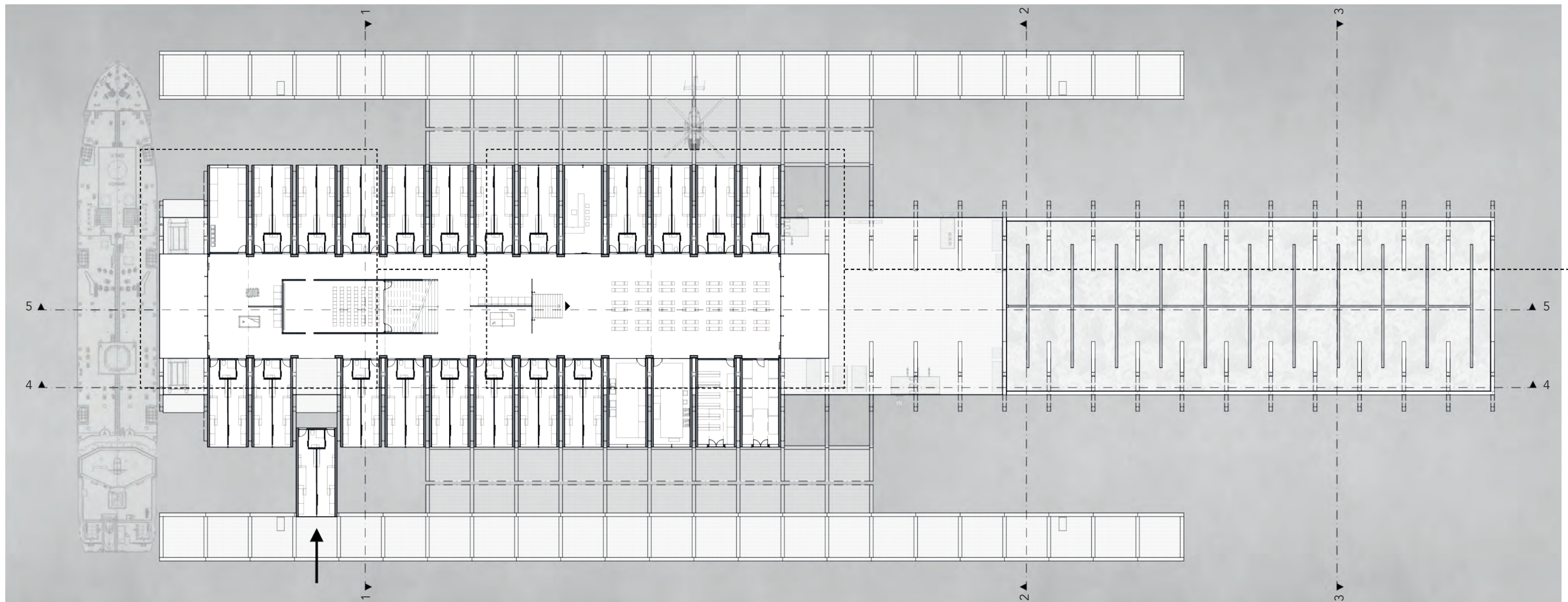
Holzbelag 9 mm  
Aluminiumpaneel mit Wabenkern 4 mm  
Trittschalldämmung / Abstandhalter 50 mm  
Dampfsperre 0,23 mm  
HEA-Profil / Wärmedämmung 220 mm  
verzinktes Profilblech 15 mm

1:20



verzinktes Profilblech 15 mm  
Dichtungsfolie 0,3 mm  
HEA-Profil / Wärmedämmung 220 mm  
Dampfsperre 0,23 mm  
Gipskartonplatte 15 mm  
Putzträger  
Anstrich

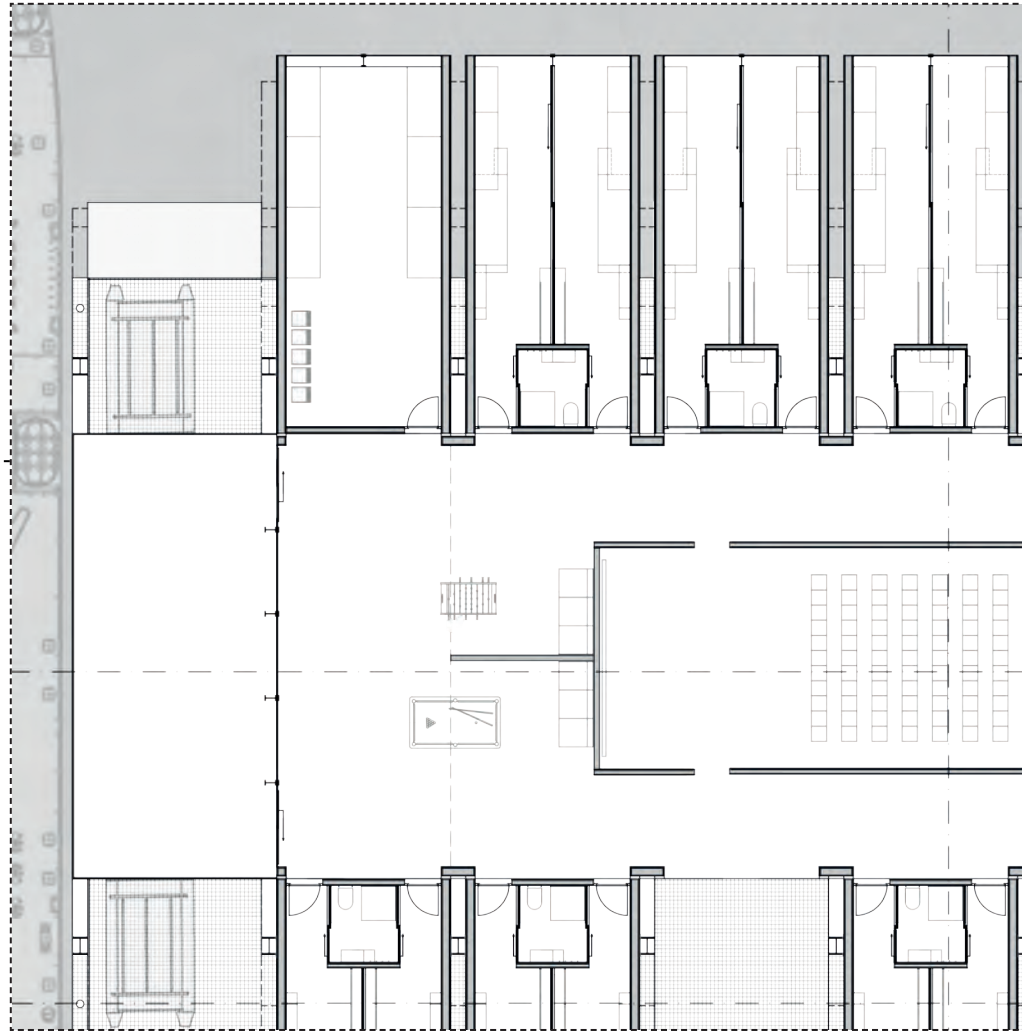
1:10



**GRUNDRISS 1.OG**  
1:500

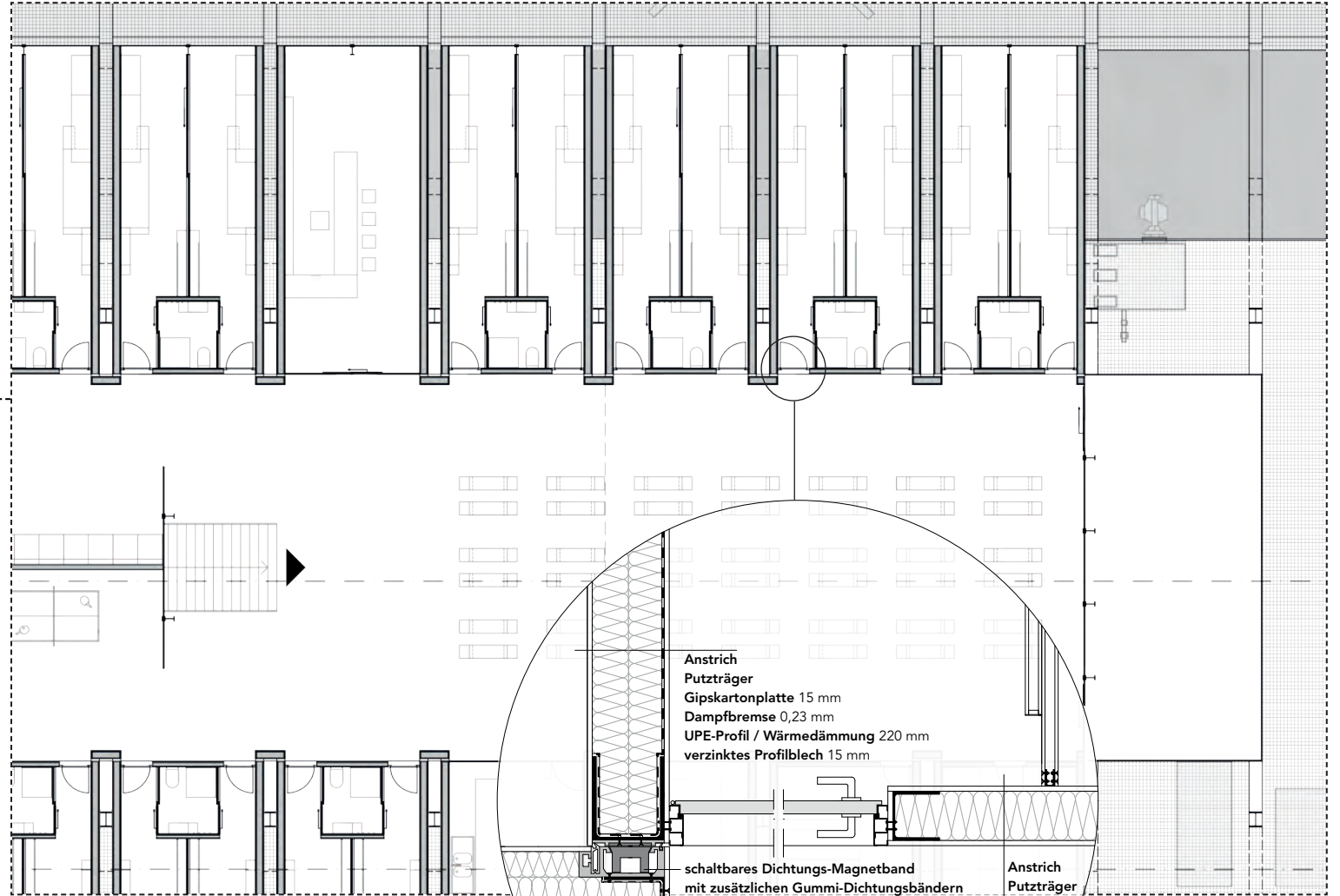
WOHNEN + SANITÄR  
ESSEN + KÜCHE  
GEMEINSCHAFT / FREIZEIT  
OFFICE, STAUHAUM, VORRAT, MÜLL





**DETAILLIERTERE AUSSCHNITTE** AUS GRUNDRISS 1.OG

1:200

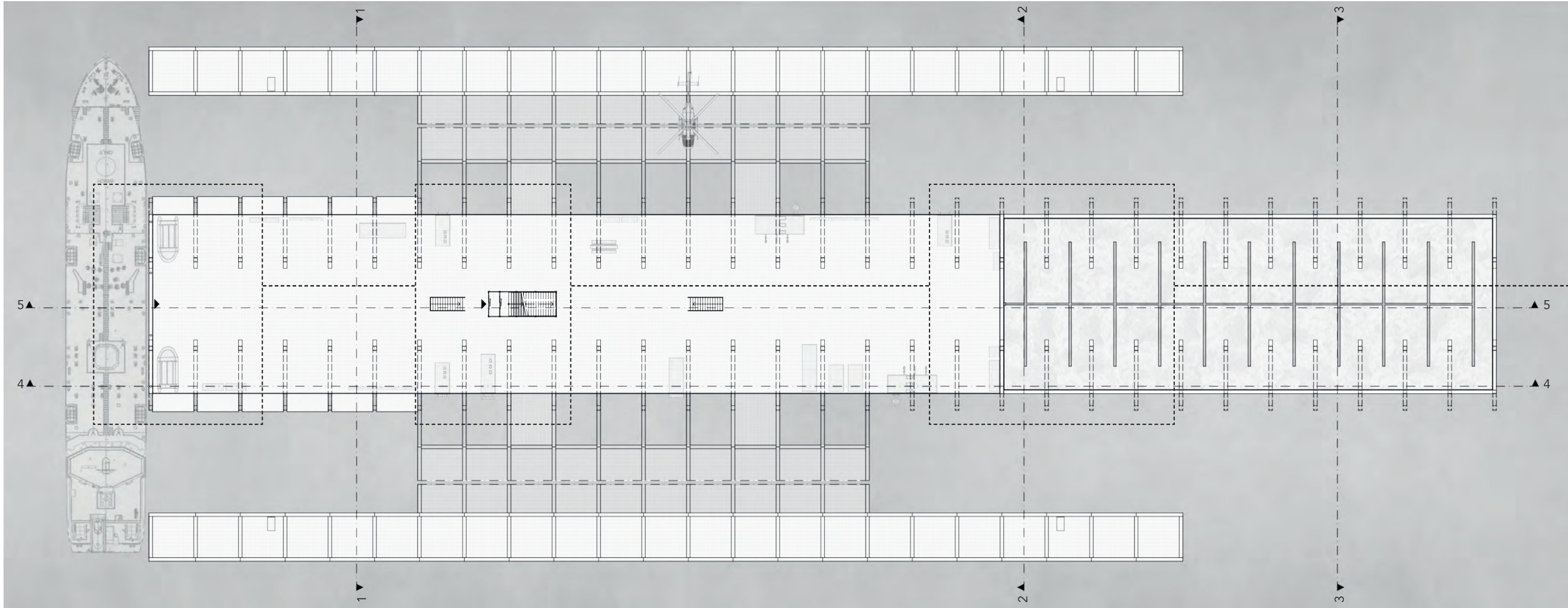


Anstrich  
Putzträger  
Gipskartonplatte 15 mm  
Dampfbremse 0,23 mm  
UPE-Profil / Wärmedämmung 220 mm  
verzinktes Profilblech 15 mm

schaltbares Dichtungs-Magnetband  
mit zusätzlichen Gummi-Dichtungsbändern  
- hilft bei Positionierung des Moduls  
- hält das Modul in Position  
- dient als kraft-, form- u. stoffschlüssige Dichtung  
- verschleißfrei

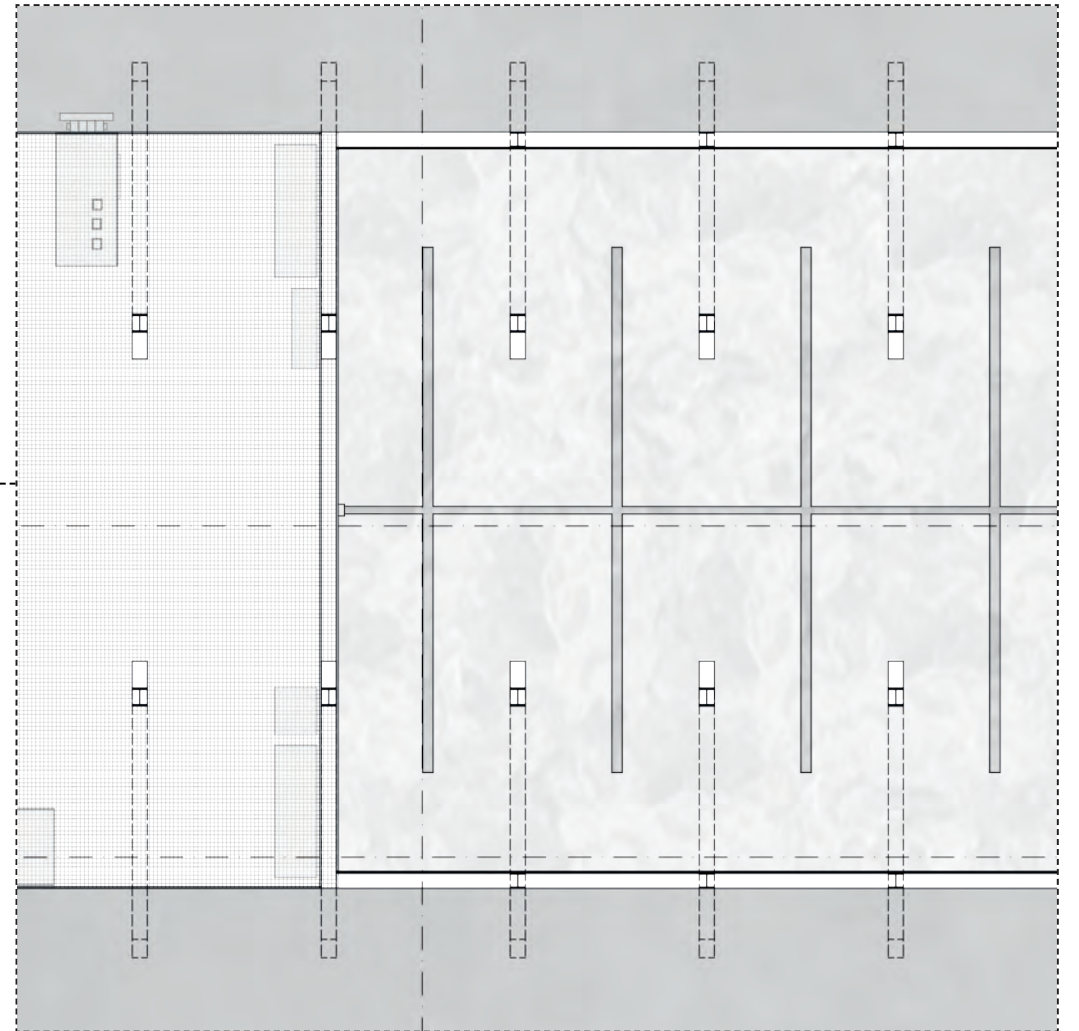
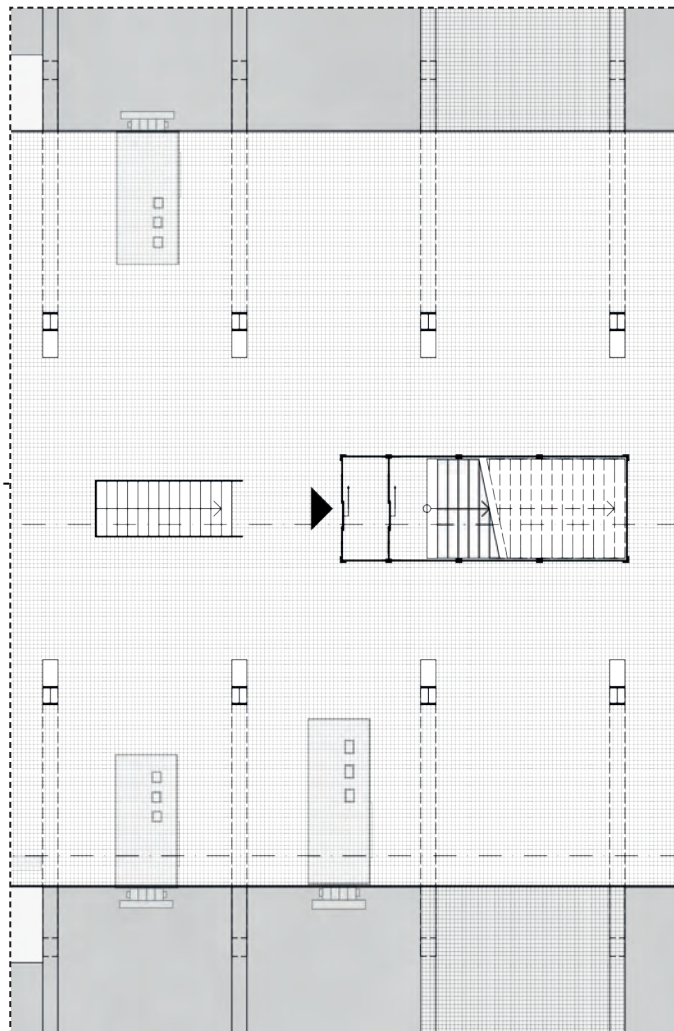
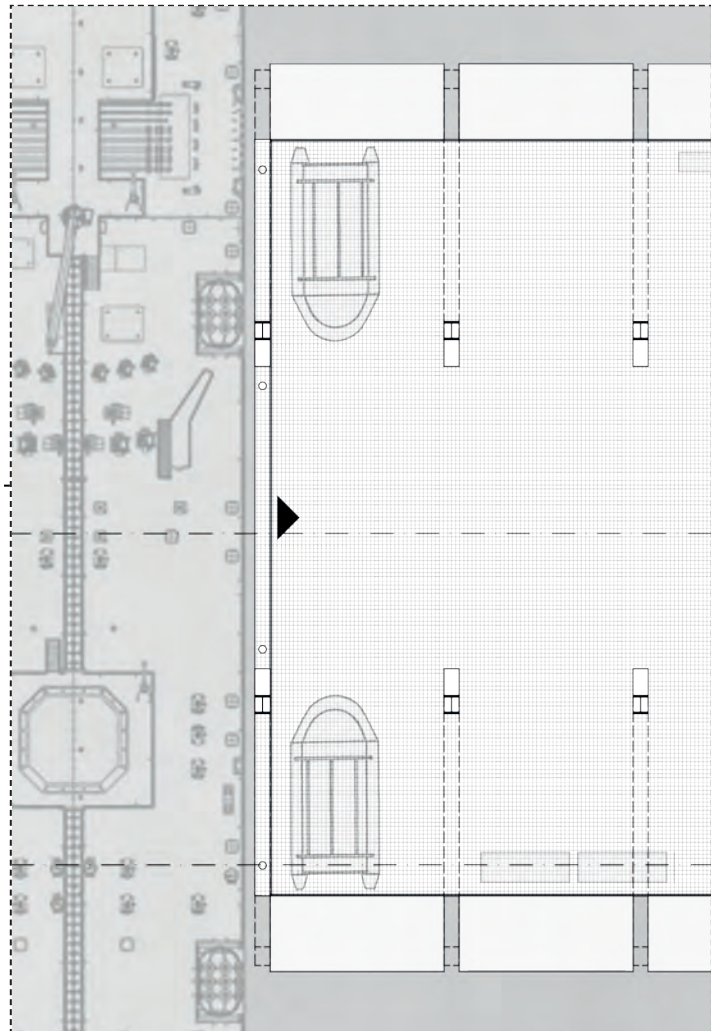
Anstrich  
Putzträger  
Gipskartonplatte 15 mm  
UPE-Profil / Schalldämmung 150 mm  
verzinktes Profilblech 15 mm

1:20

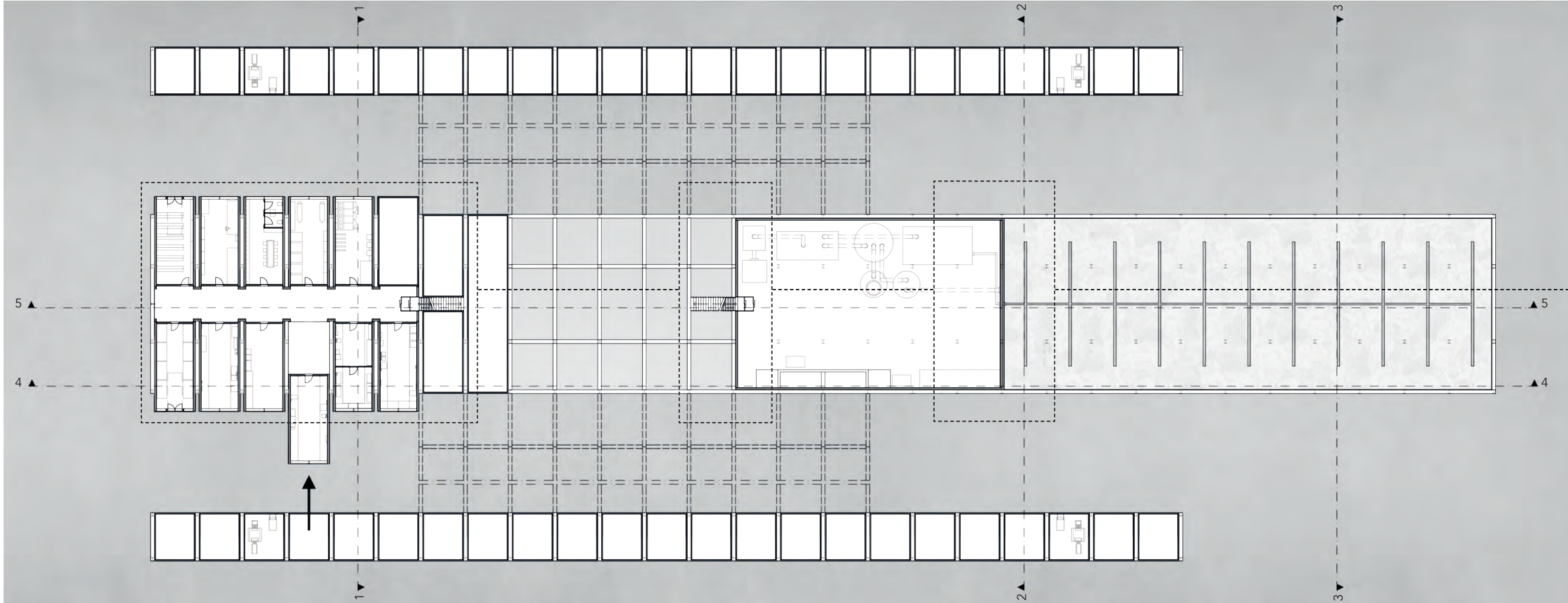


**GRUNDRISS EG**  
1:500  
FORSCHUNGSARBEIT AN DECK





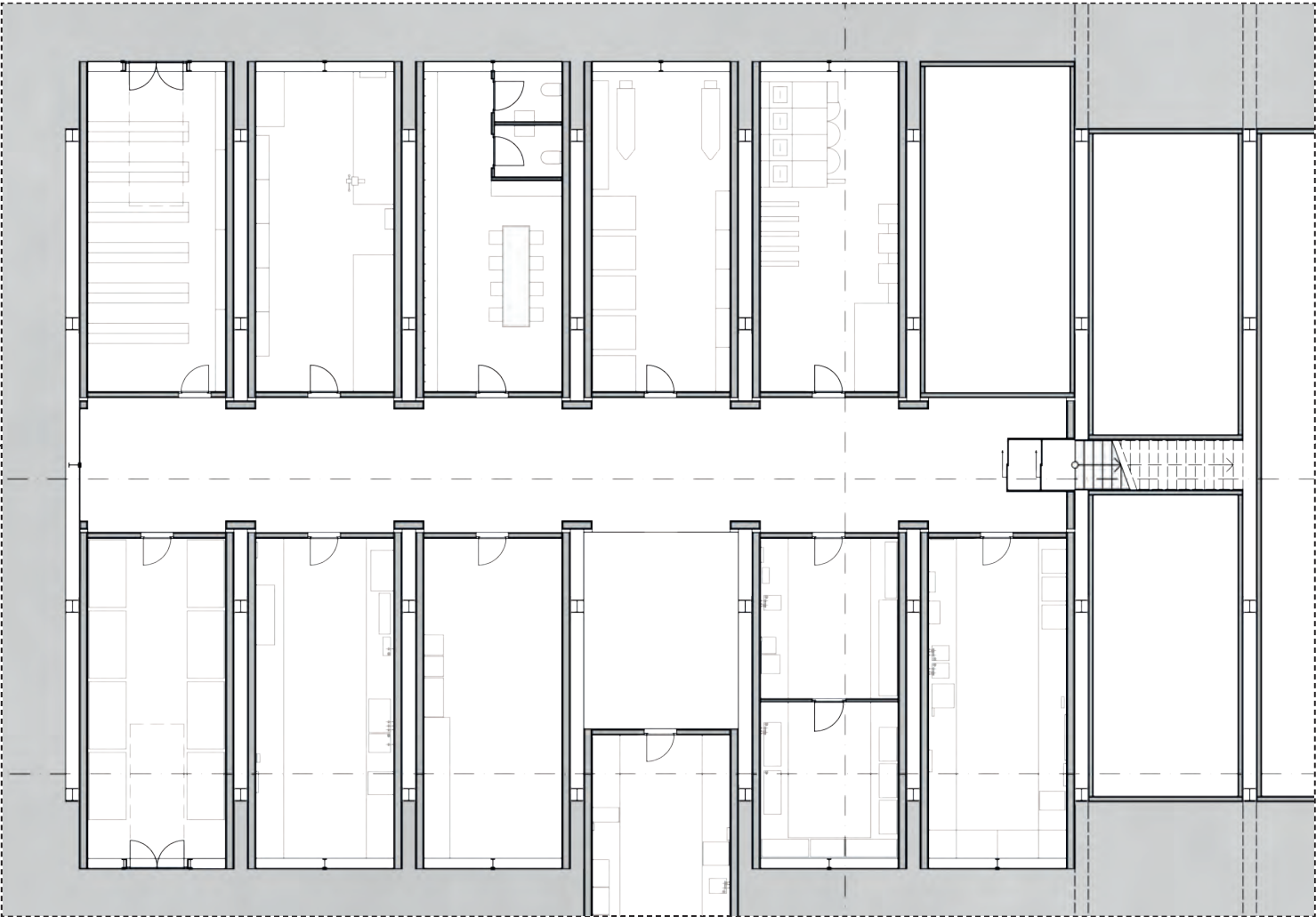
**DETAILLIERTERE AUSSCHNITTE** AUS GRUNDRISS EG  
1:200



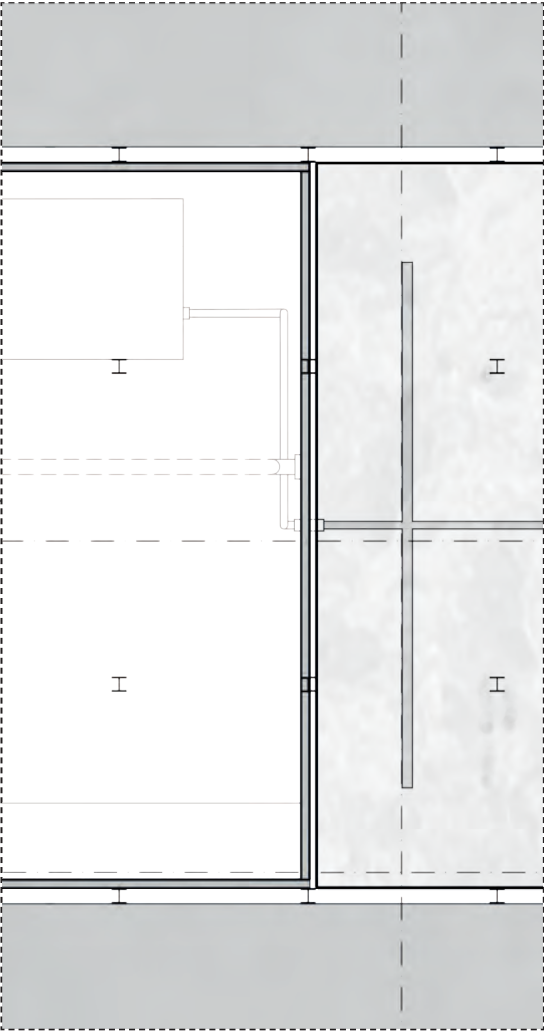
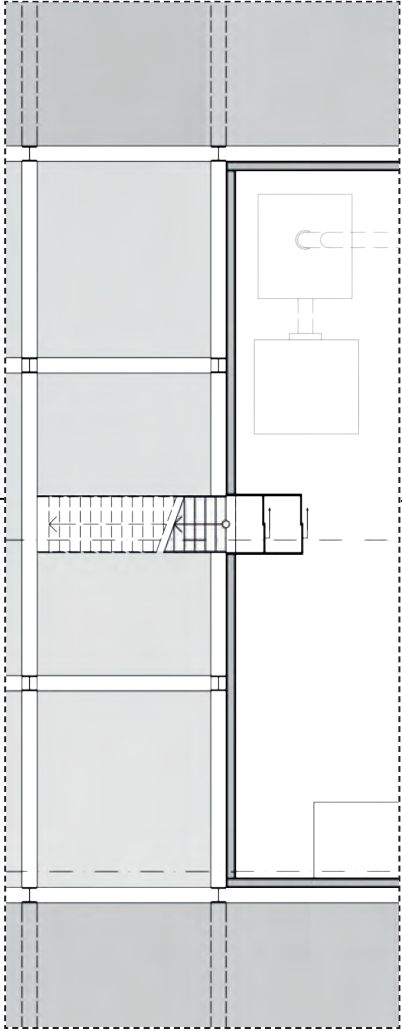
**GRUNDRISS 1.UG**  
1:500

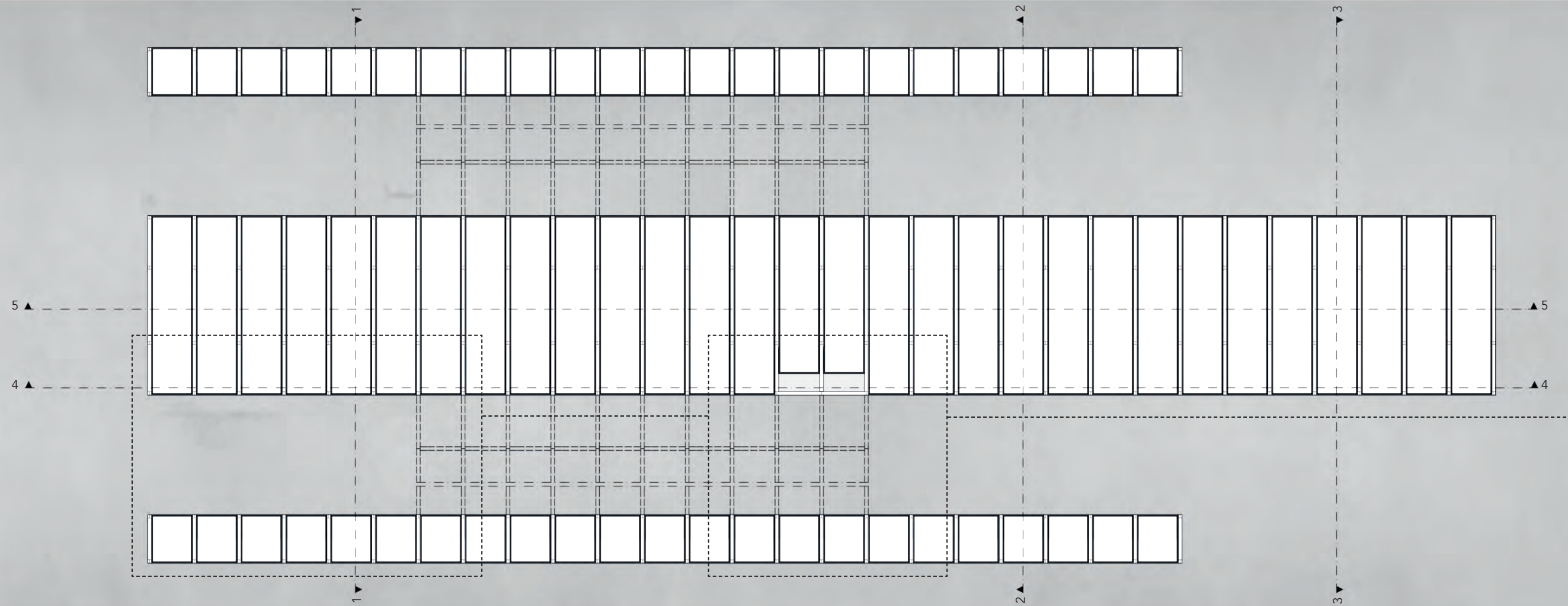
**FORSCHUNG**  
**PLASMAVERGASUNG**  
**ALGENKULTUR**  
TECHNIK, WÄSCHEREI, WERKSTATT, TANKS  
BESPRECHUNGSRaum, SANITÄR, VORRAT, MÜLL



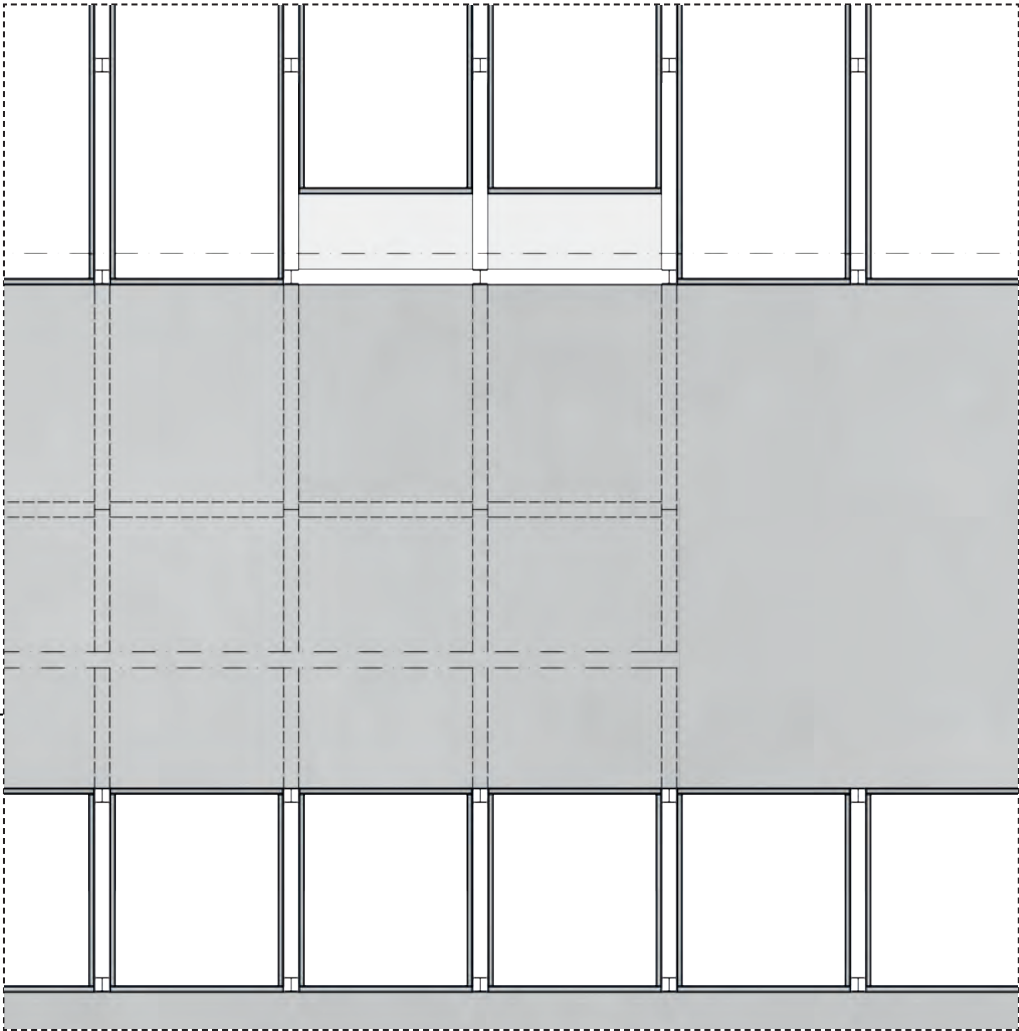
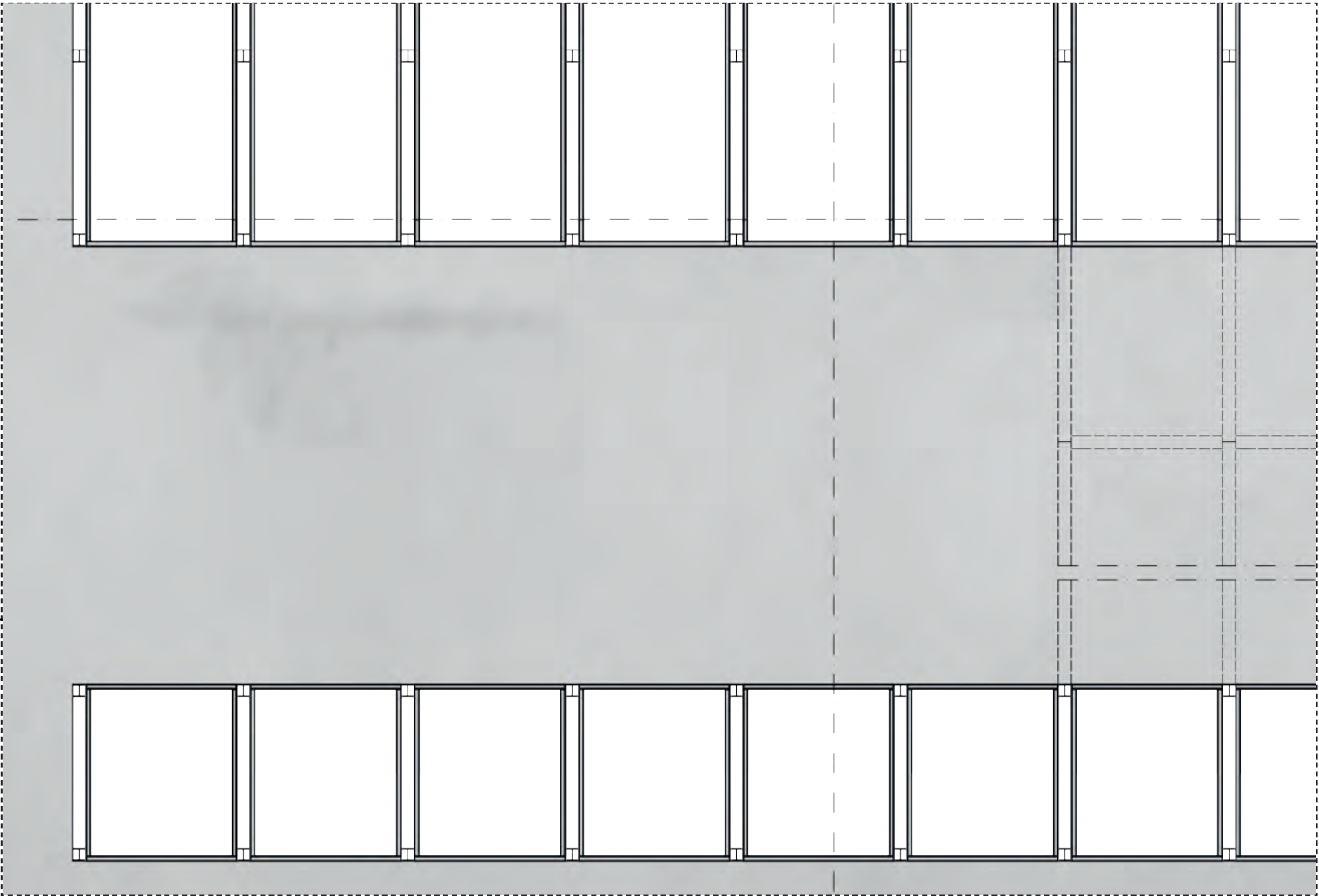


**DETAILIERTERE AUSSCHNITTE** AUS GRUNDRISS 1.UG  
1:200

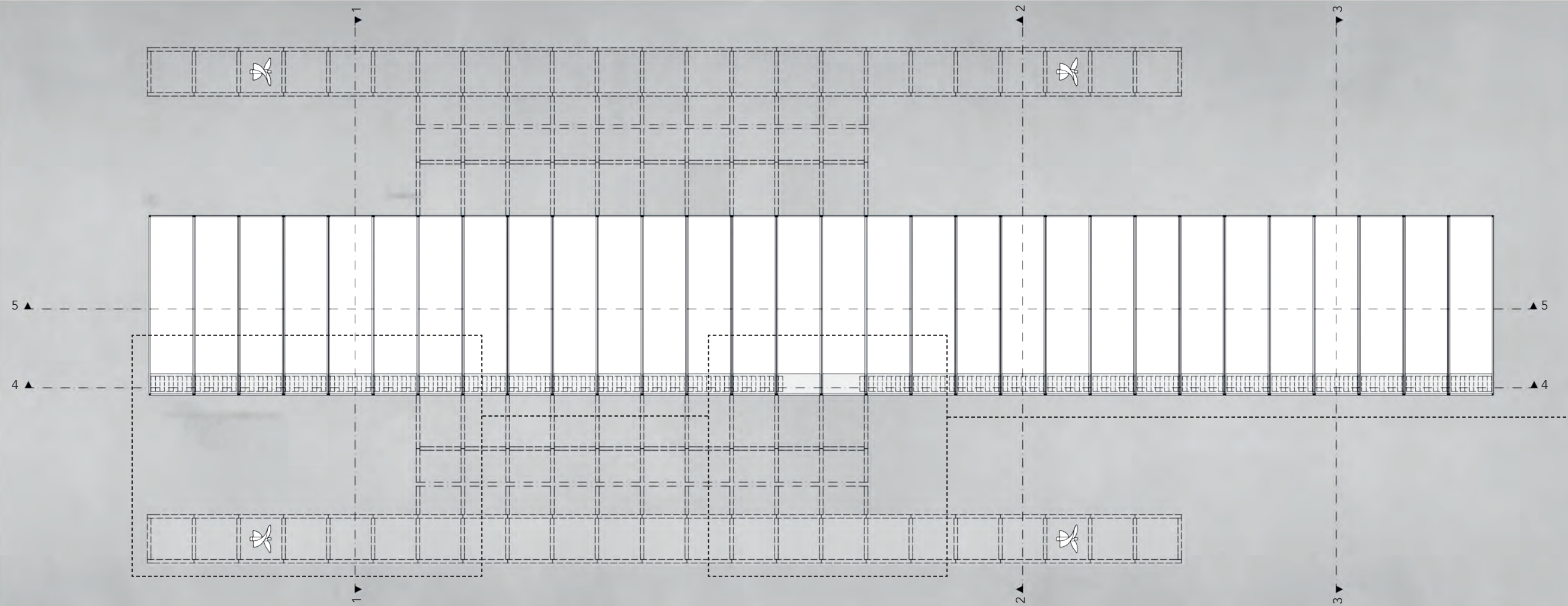




**GRUNDRISS 2.UG**  
1:500  
BALLASTTANKS / AUFTRIEBSKÖRPER

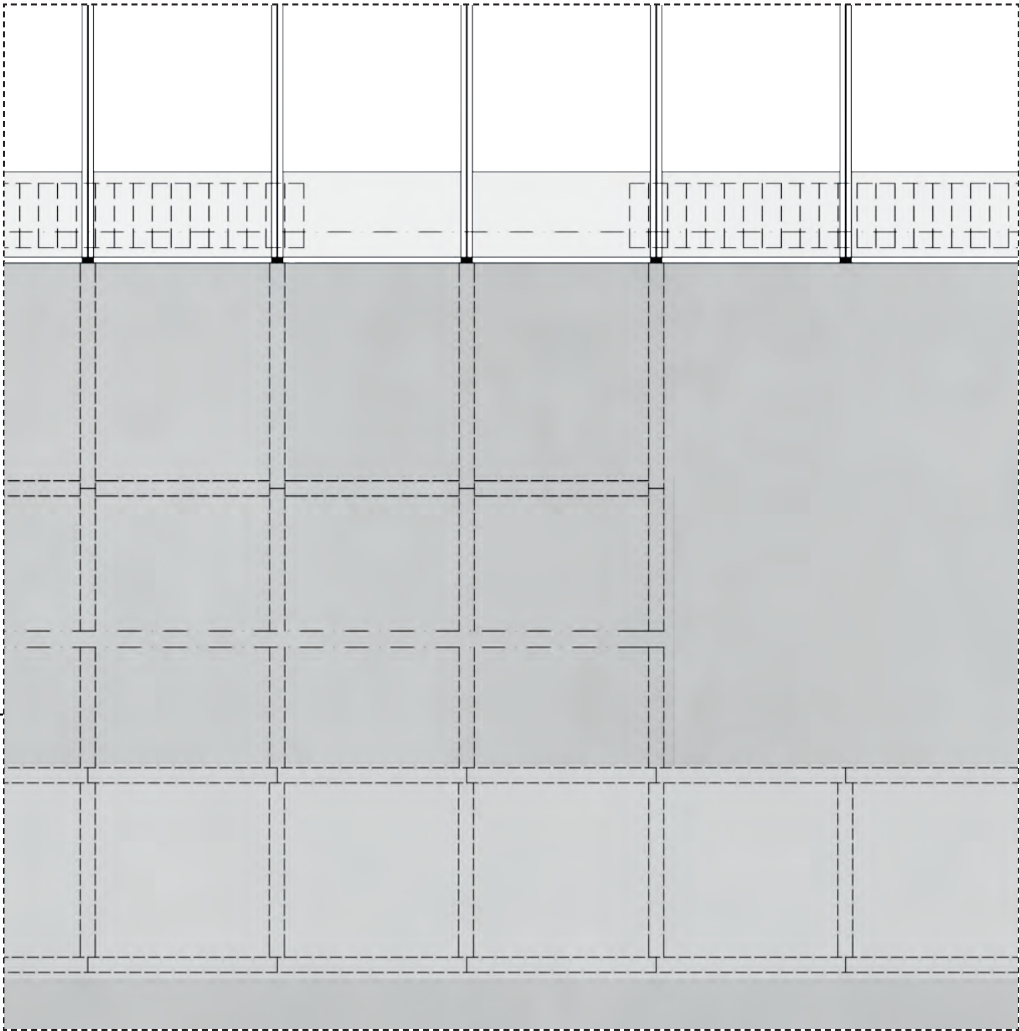
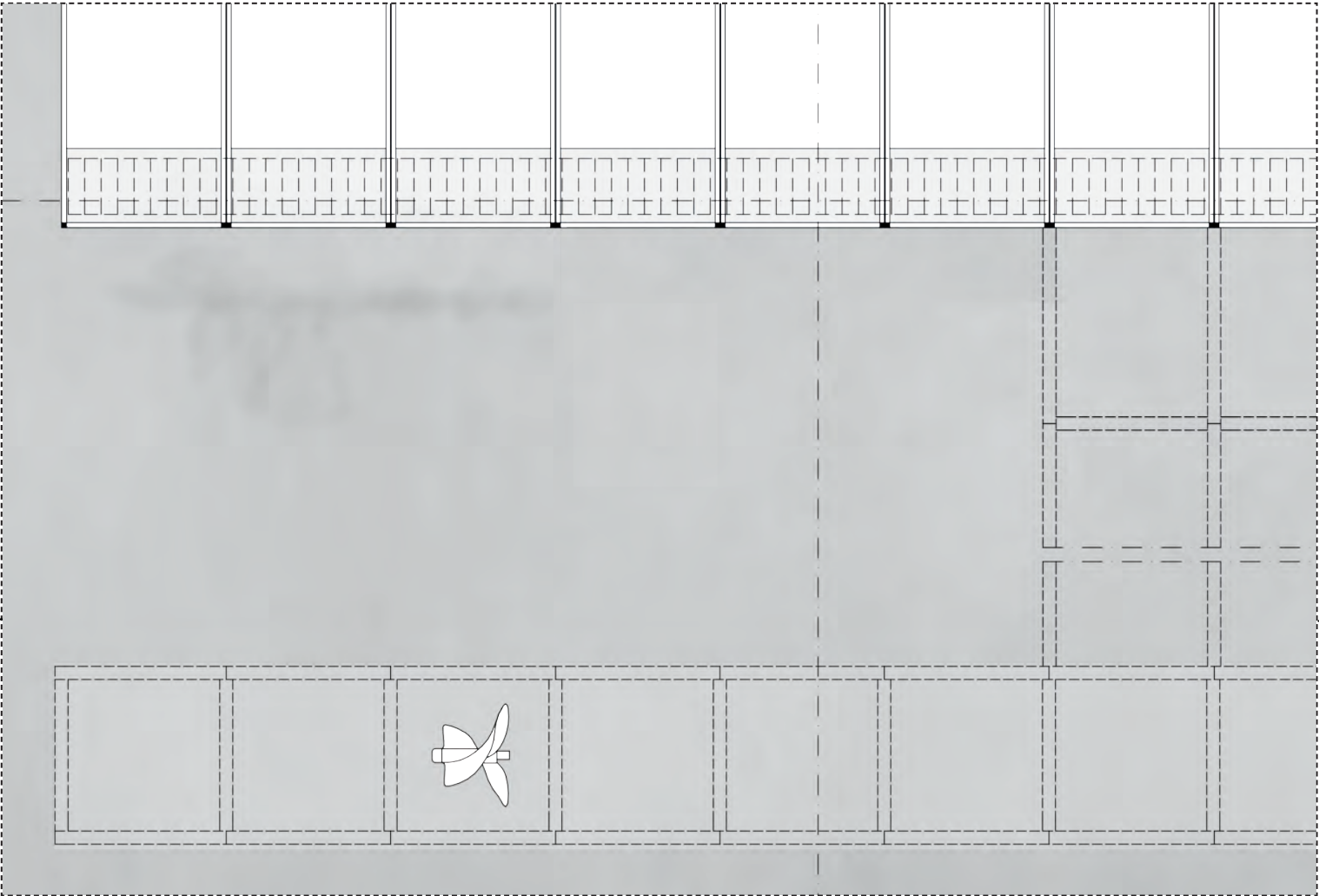


**DETAILIERTERE AUSSCHNITTE** AUS GRUNDRISS 2.UG  
1:200

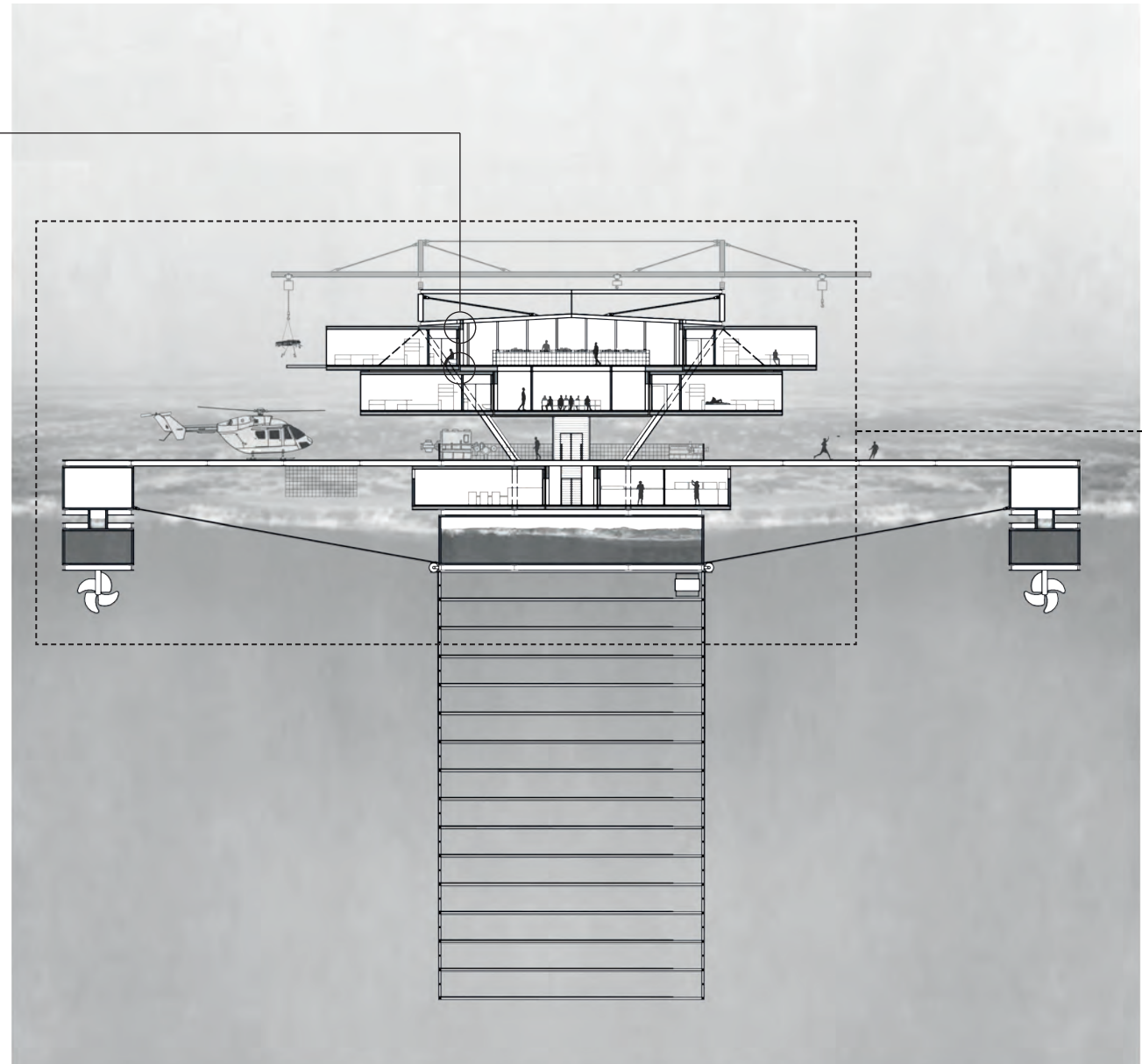
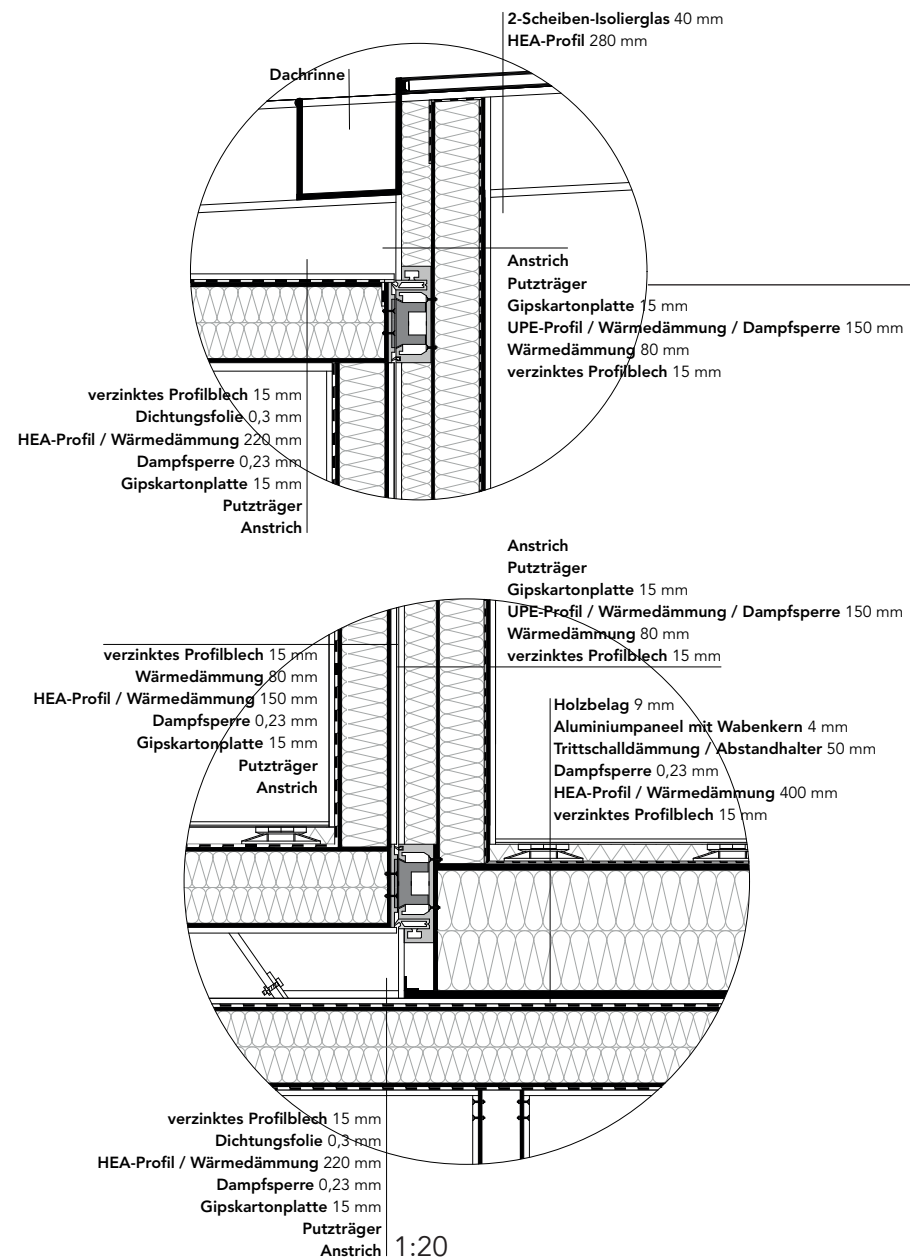


GRUNDRISS 3.UG  
1:500  
FILTRATION

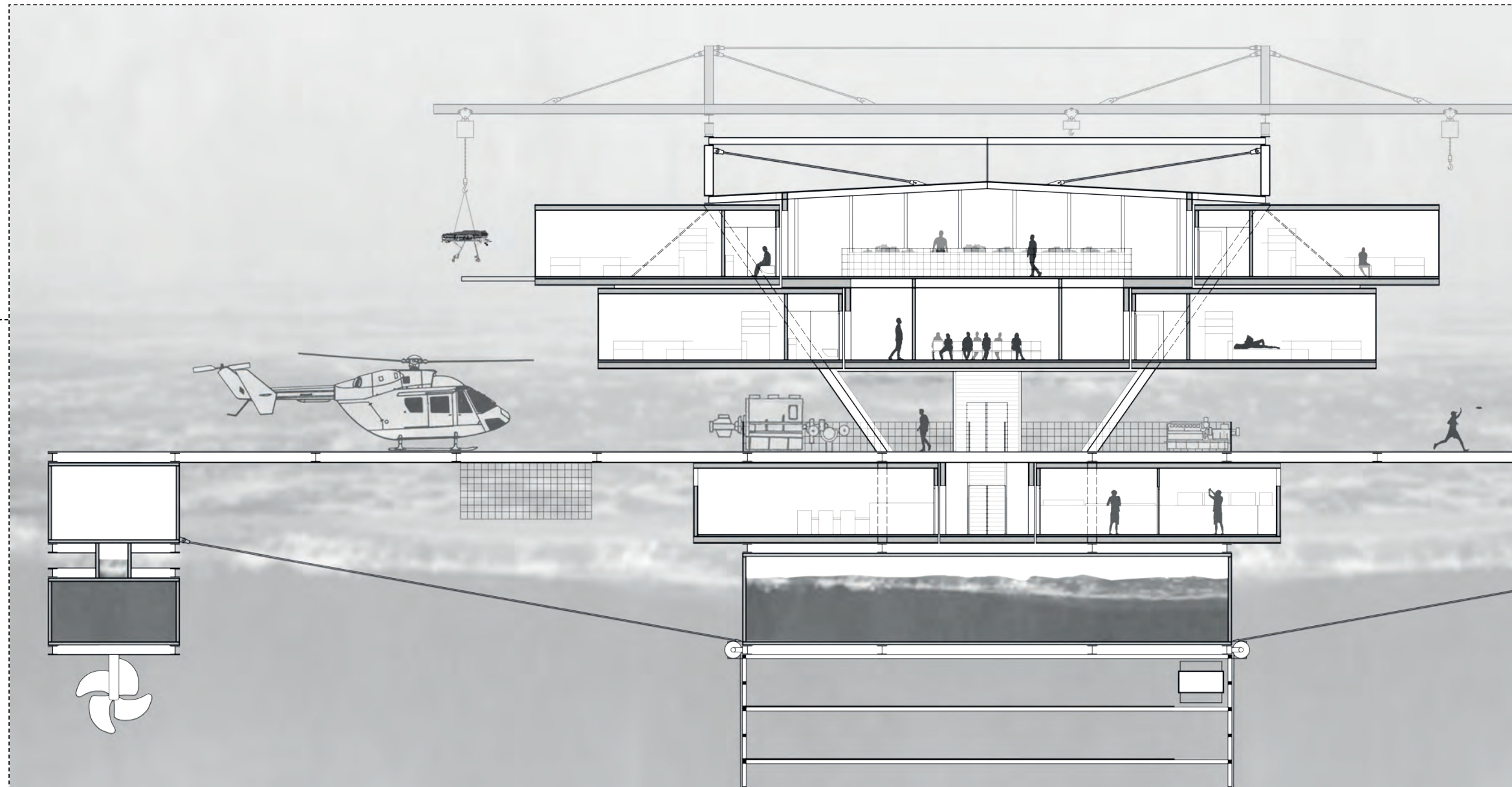




**DETAILIERTERE AUSSCHNITTE** AUS GRUNDRISS 3.UG  
1:200



SCHNITT 1  
1:500



**WOHNEN + SANITÄR**  
**AQUAPONIK**  
**COCKPIT**  
ERHOLUNG, SPORT, HOSPITAL

**WOHNEN + SANITÄR**  
**ESSEN + KÜCHE**  
**GEMEINSCHAFT / FREIZEIT**  
OFFICE, STAUHAUS, VORRAT, MÜLL

**FORSCHUNGSARBEIT AN DECK**

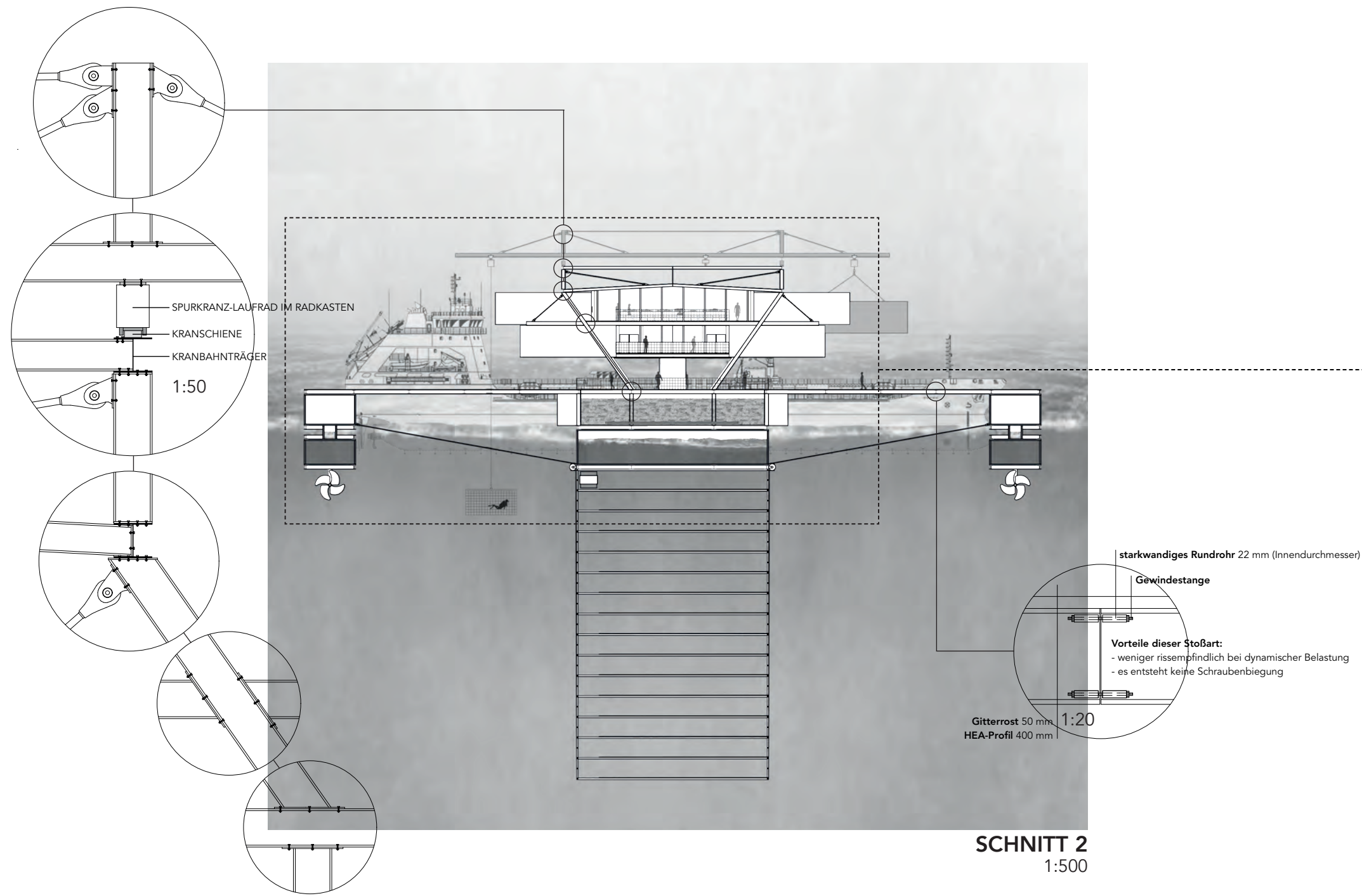
**FORSCHUNG**  
**PLASMAVERGASUNG**  
**ALGENKULTUR**  
TECHNIK, WÄSCHEREI, WERKSTATT, TANKS  
BESPRECHUNGSRAUM, SANITÄR, VORRAT, MÜLL

**BALLASTTANKS / AUFTRIEBSKÖRPER**

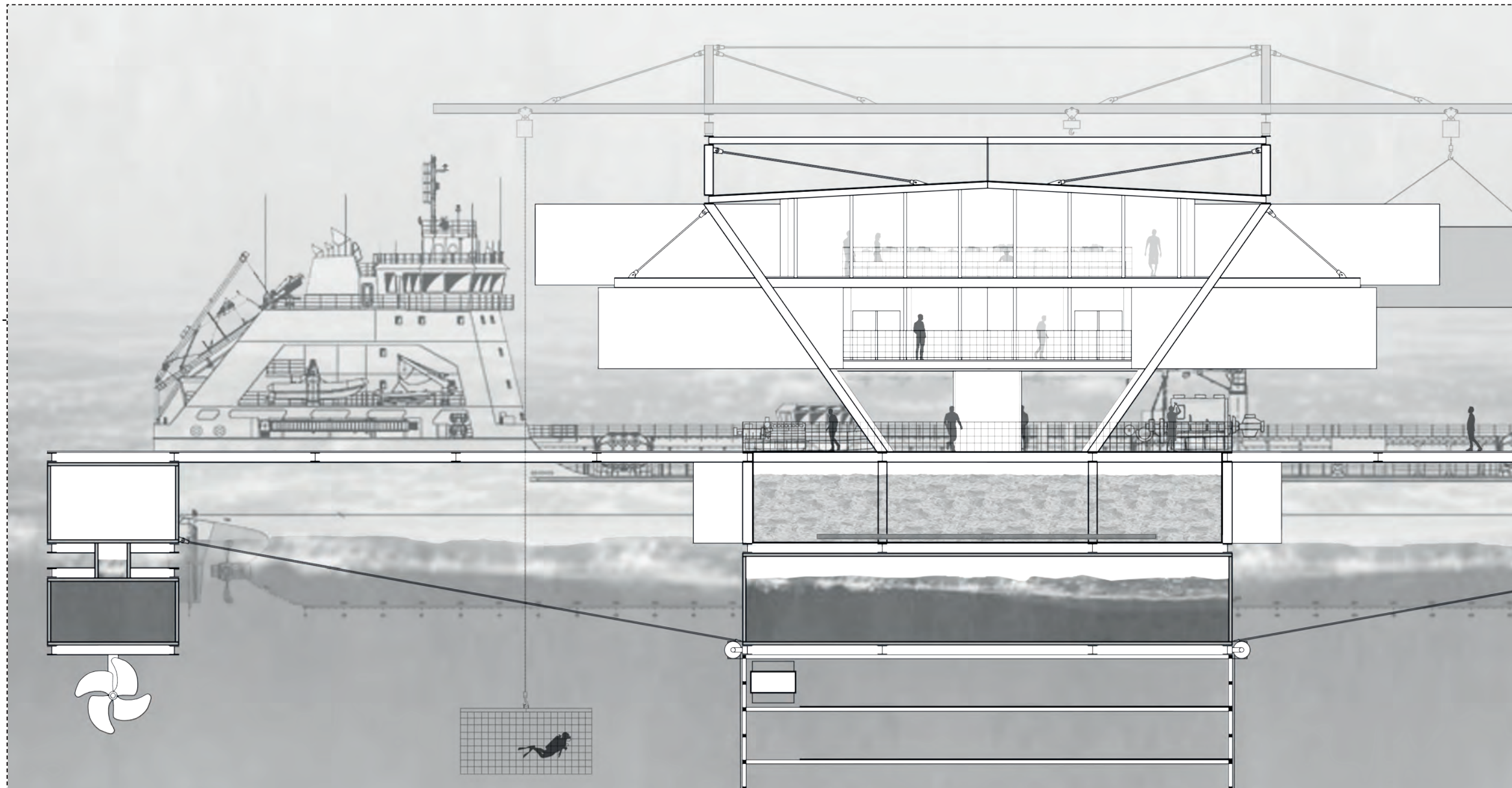
**FILTRATION**

**DETAILIERTERER AUSSCHNITT** AUS SCHNITT 1  
1:200









**WOHNEN + SANITÄR**  
**AQUAPONIK**  
**COCKPIT**  
ERHOLUNG, SPORT, HOSPITAL

**WOHNEN + SANITÄR**  
**ESSEN + KÜCHE**  
**GEMEINSCHAFT / FREIZEIT**  
OFFICE, STAUHAUM, VORRAT, MÜLL

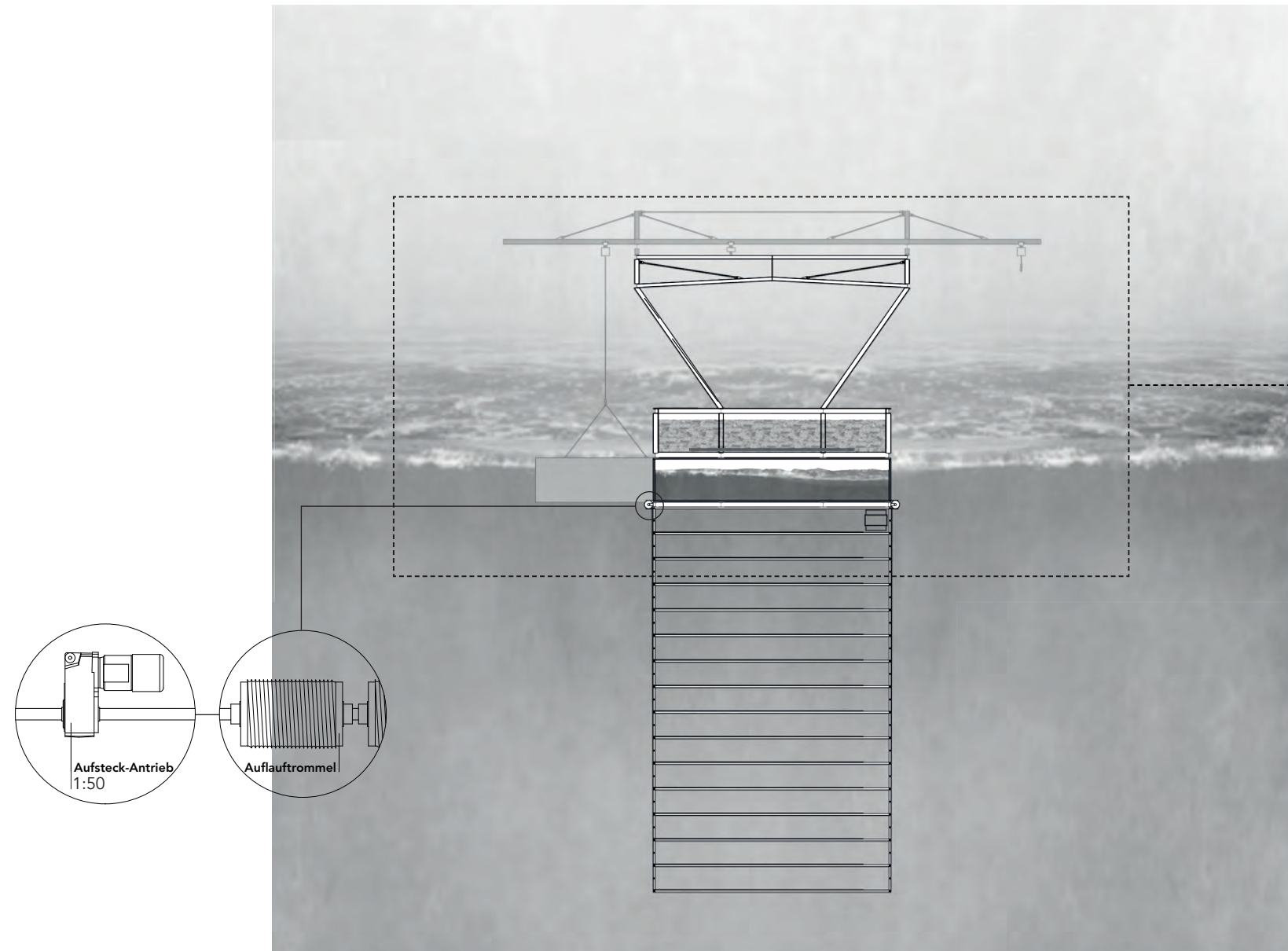
**FORSCHUNGSARBEIT AN DECK**

**FORSCHUNG**  
**PLASMAVERGASUNG**  
**ALGENKULTUR**  
TECHNIK, WÄSCHEREI, WERKSTATT, TANKS  
BESPRECHUNGSRAUM, SANITÄR, VORRAT, MÜLL

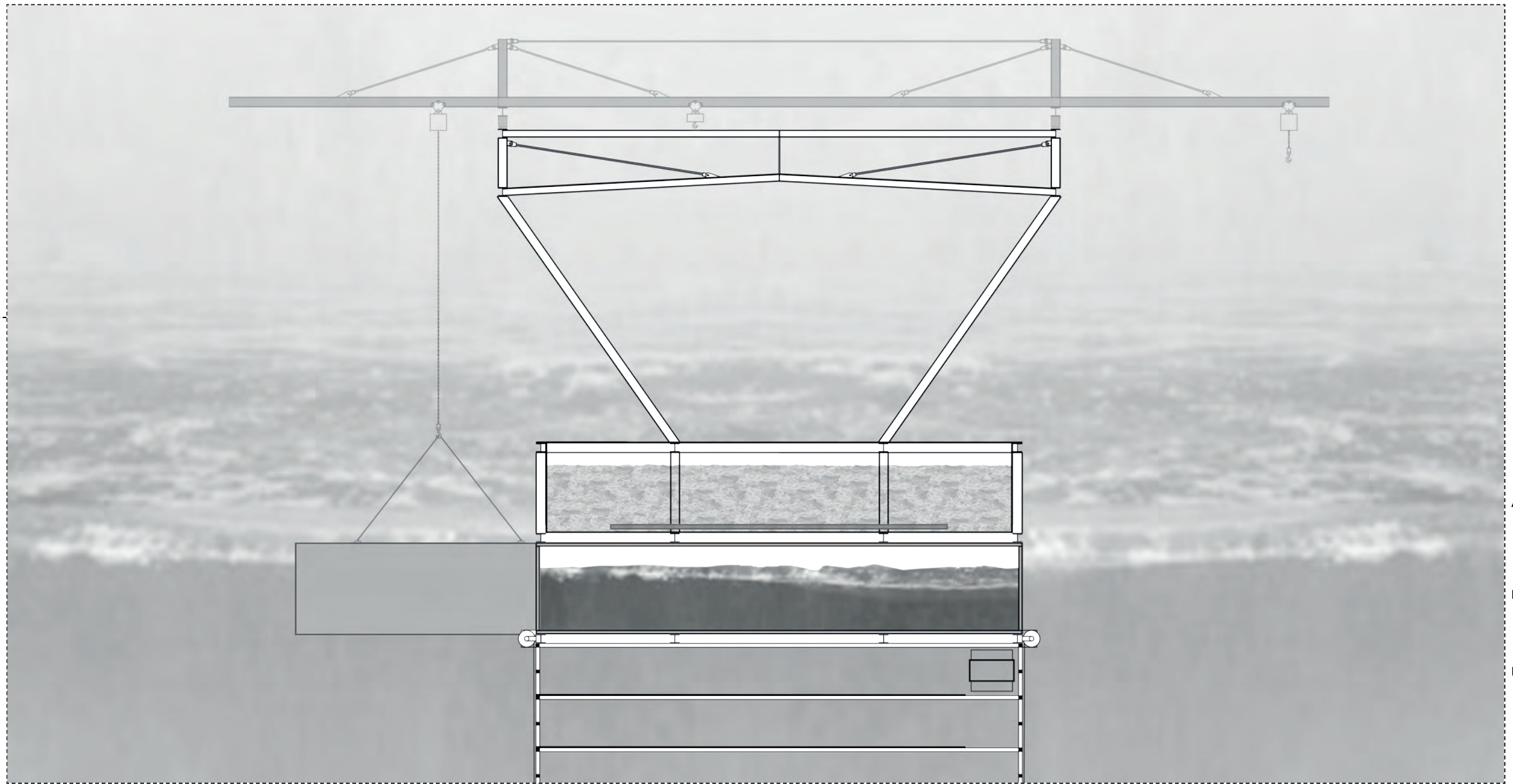
**BALLASTTANKS / AUFTRIEBSKÖRPER**

**FILTRATION**

**DETAILIERTERER AUSSCHNITT** AUS SCHNITT 2  
1:200



**SCHNITT 3**  
1:500



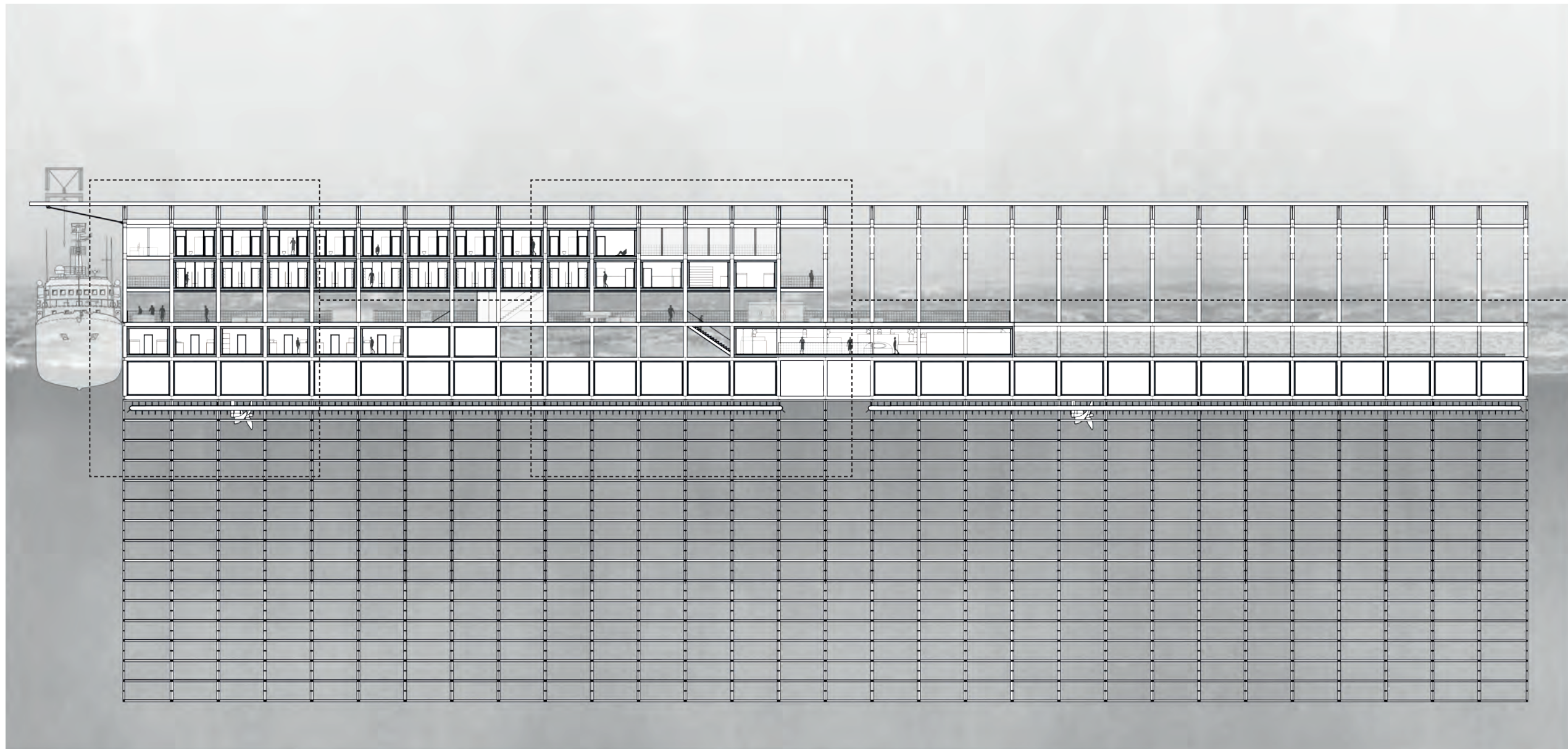
ALGENKULTUR

BALLASTTANKS / AUFTRIEBSKÖRPER

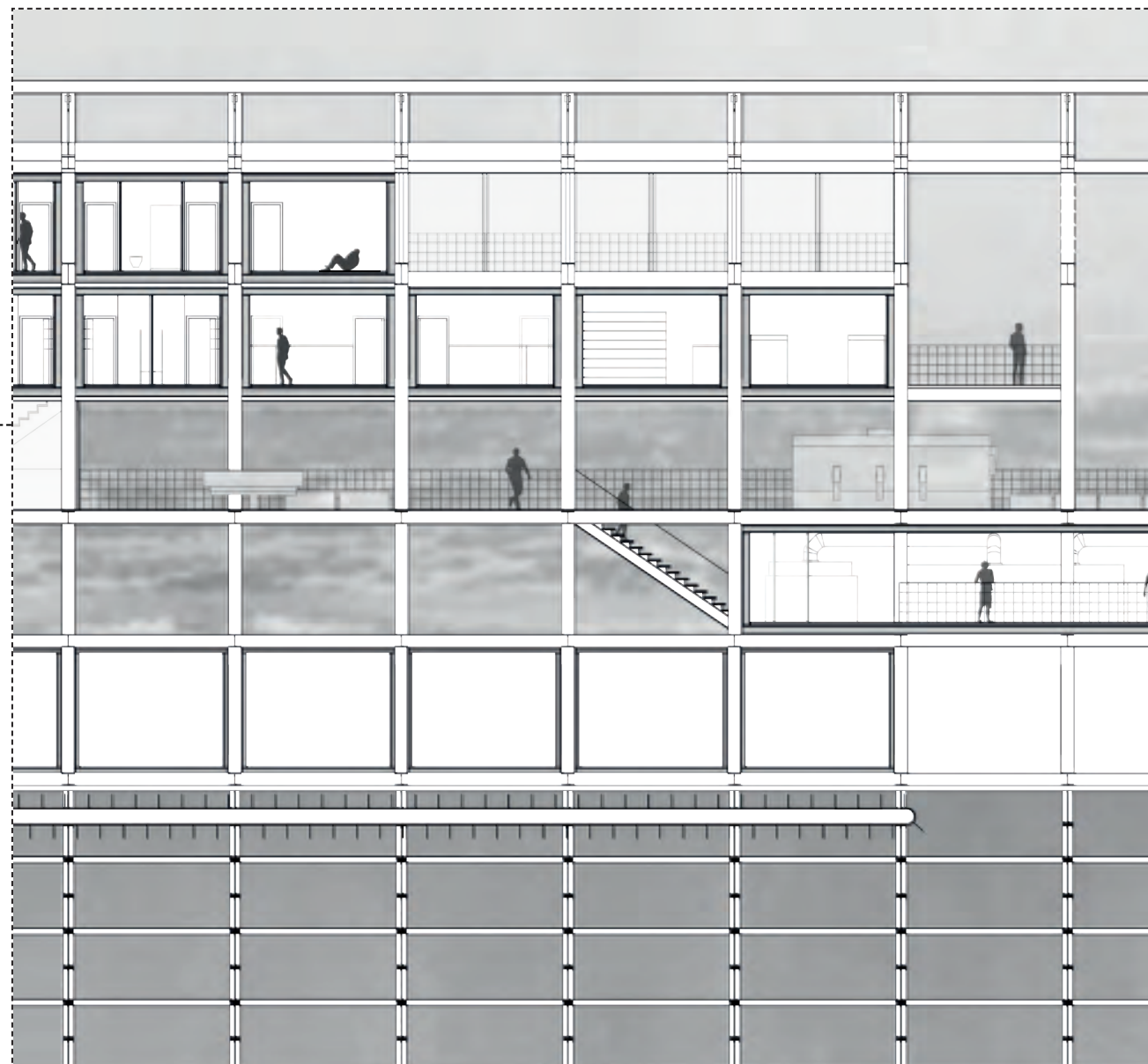
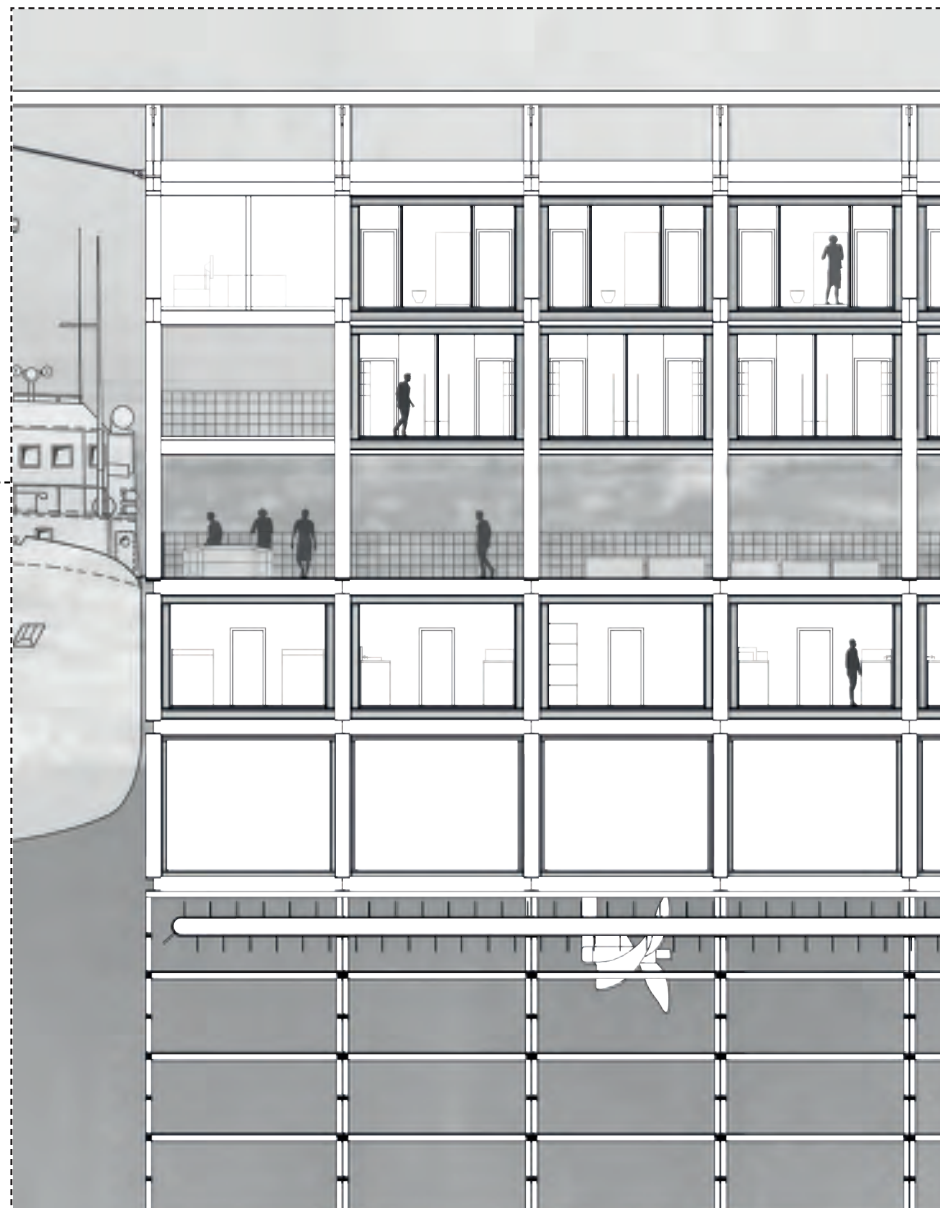
FILTRATION

**DETAILIERTERER AUSSCHNITT** AUS SCHNITT 3  
1:200





**SCHNITT 4**  
1:500



**WOHNEN + SANITÄR**  
**AQUAPONIK**  
**COCKPIT**  
 ERHOLUNG, SPORT, HOSPITAL

**WOHNEN + SANITÄR**  
**ESSEN + KÜCHE**  
**GEMEINSCHAFT / FREIZEIT**  
 OFFICE, STAUHAUS, VORRAT, MÜLL

**FORSCHUNGSARBEIT AN DECK**

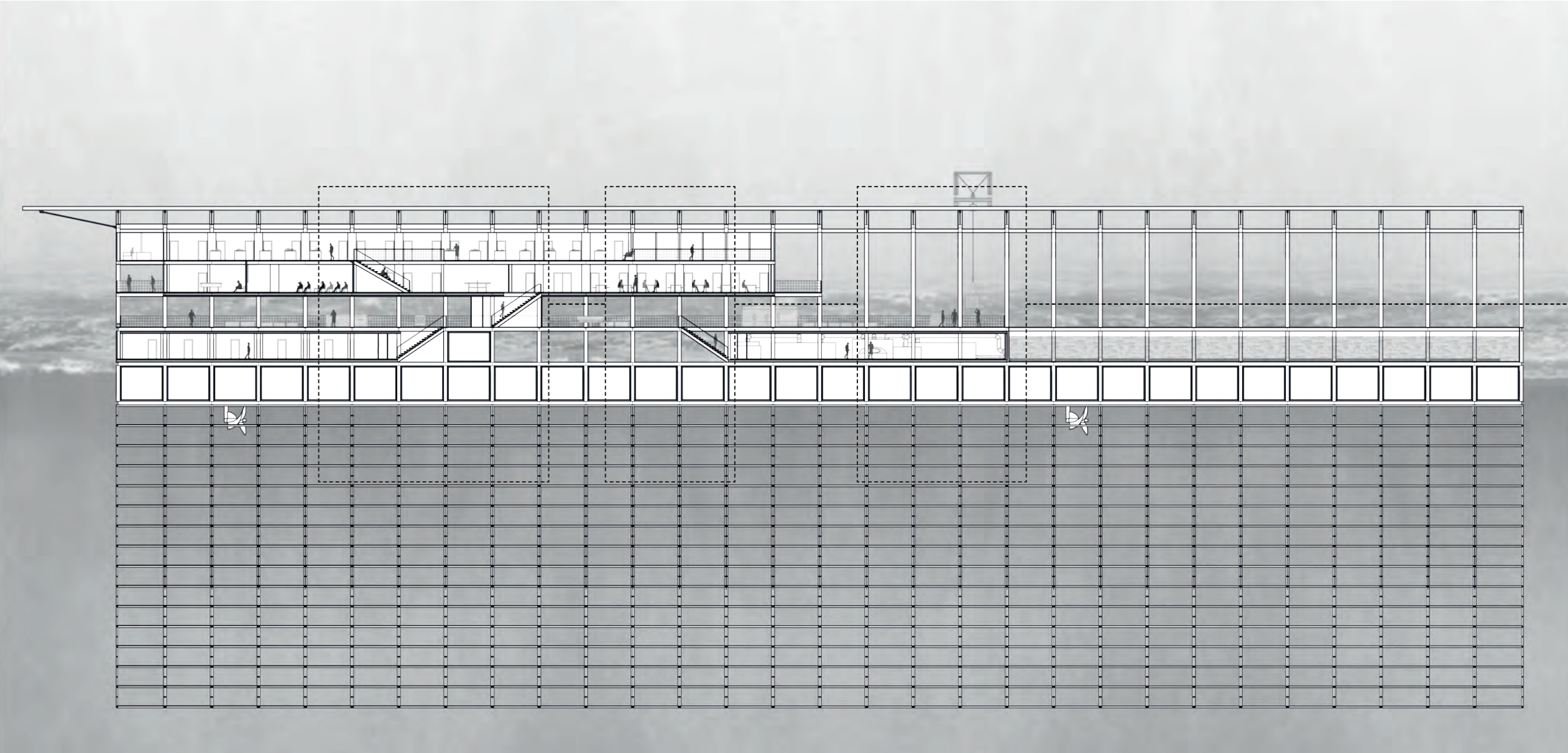
**FORSCHUNG**  
**PLASMAVERGASUNG**  
**ALGENKULTUR**  
 TECHNIK, WÄSCHEREI, WERKSTATT, TANKS  
 BESPRECHUNGSRAUM, SANITÄR, VORRAT, MÜLL

**BALLASTTANKS / AUFTRIEBSKÖRPER**

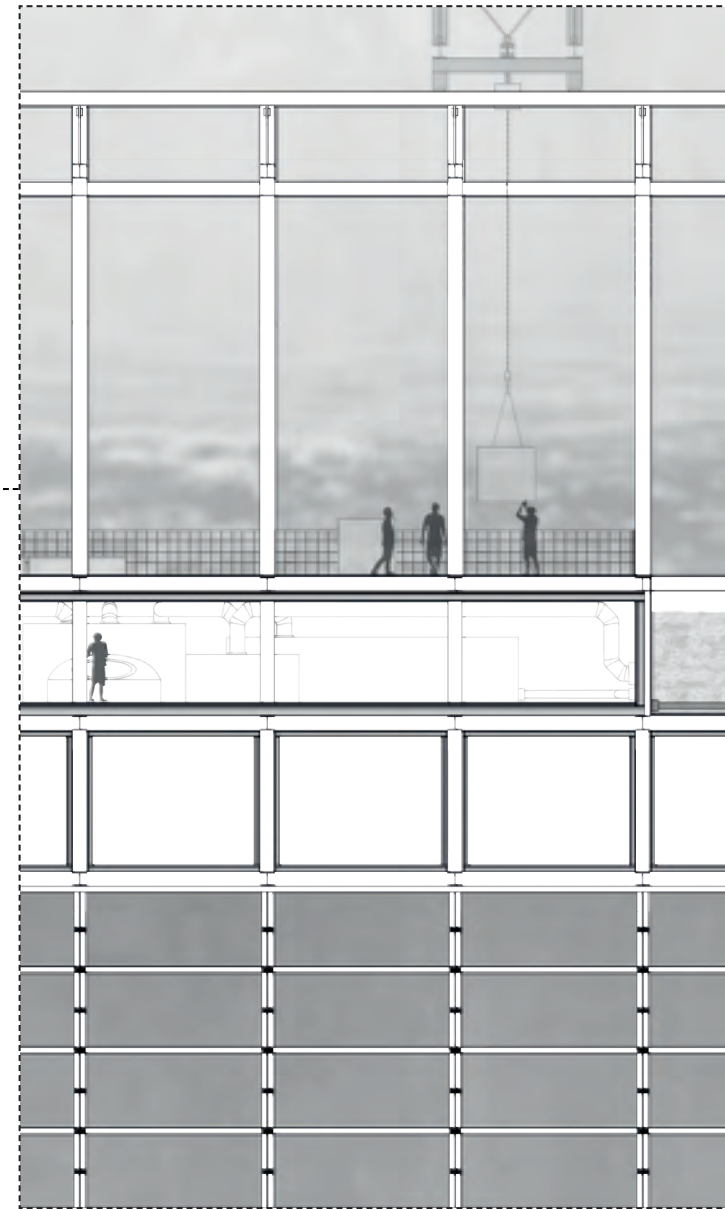
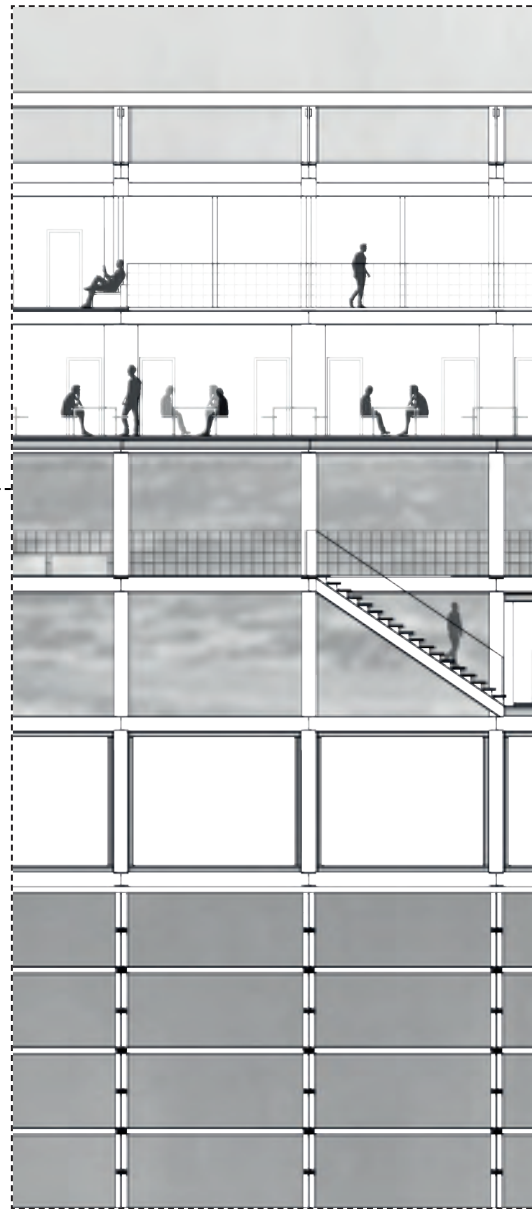
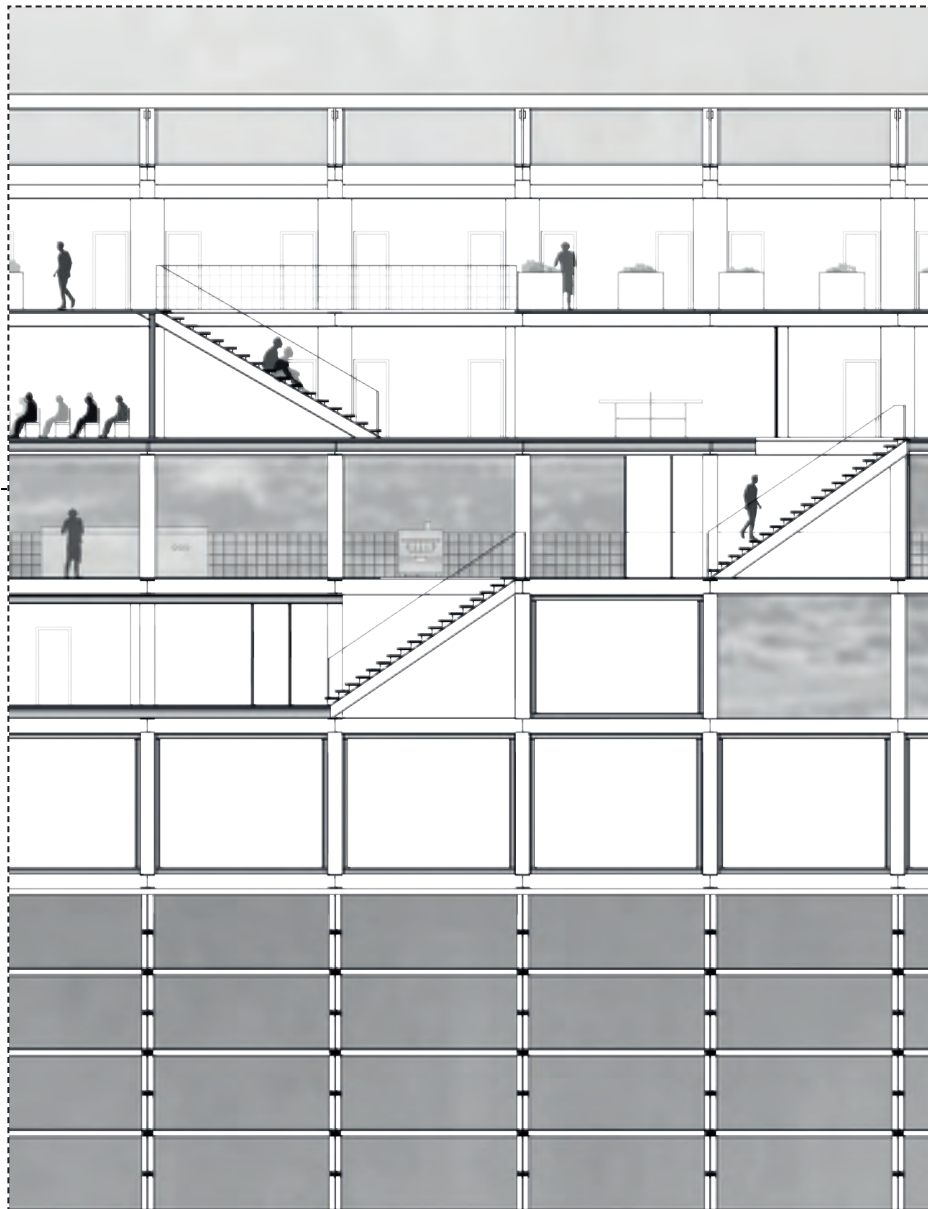
**FILTRATION**

**DETAILIERTERE AUSSCHNITTE** AUS SCHNITT 4  
 1:200





**SCHNITT 5**  
1:500



**WOHNEN + SANITÄR**  
**AQUAPONIK**  
**COCKPIT**  
ERHOLUNG, SPORT, HOSPITAL

**WOHNEN + SANITÄR**  
**ESSEN + KÜCHE**  
**GEMEINSCHAFT / FREIZEIT**  
OFFICE, STAUHAUS, VORRAT, MÜLL

**FORSCHUNGSARBEIT AN DECK**

**FORSCHUNG**  
**PLASMAVERGASUNG**  
**ALGENKULTUR**  
TECHNIK, WÄSCHEREI, WERKSTATT, TANKS  
BESPRECHUNGSRAUM, SANITÄR, VORRAT, MÜLL

**BALLASTTANKS / AUFTRIEBSKÖRPER**

**FILTRATION**

**DETAILIERTERE AUSSCHNITTE** AUS SCHNITT 5  
1:200

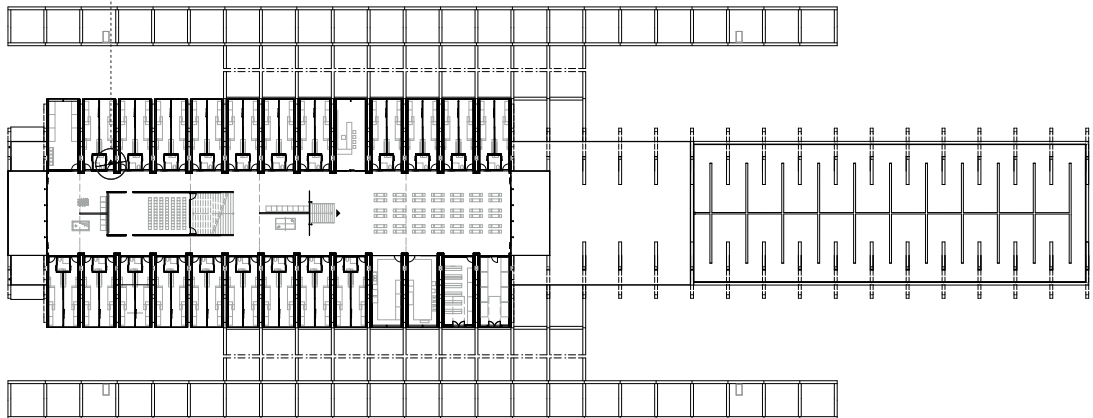




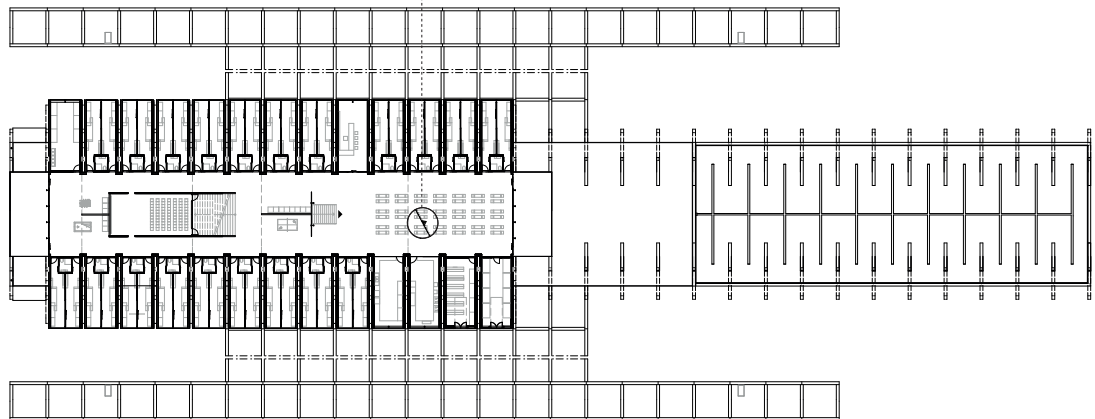
18

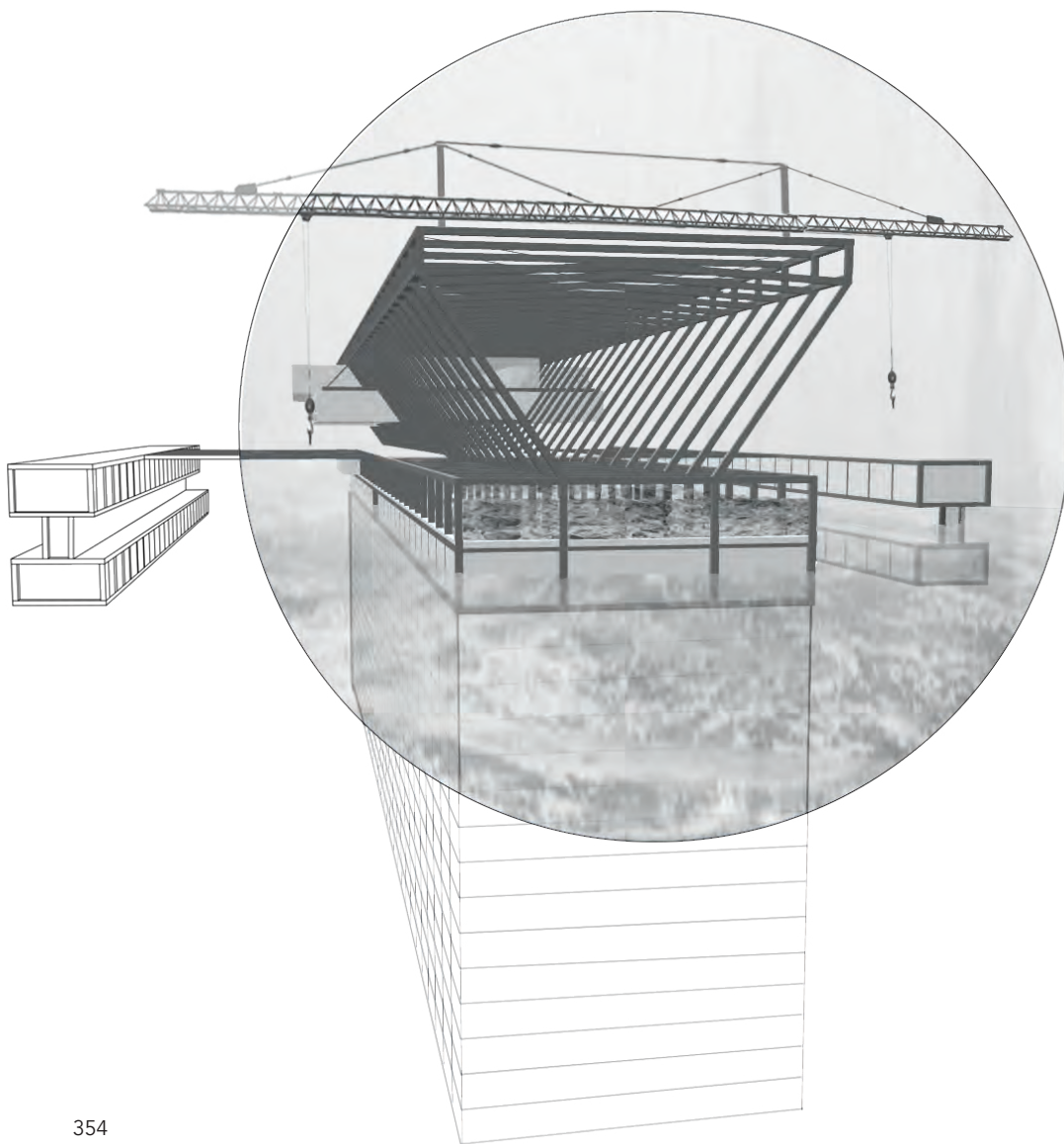
SCHAUBILDER

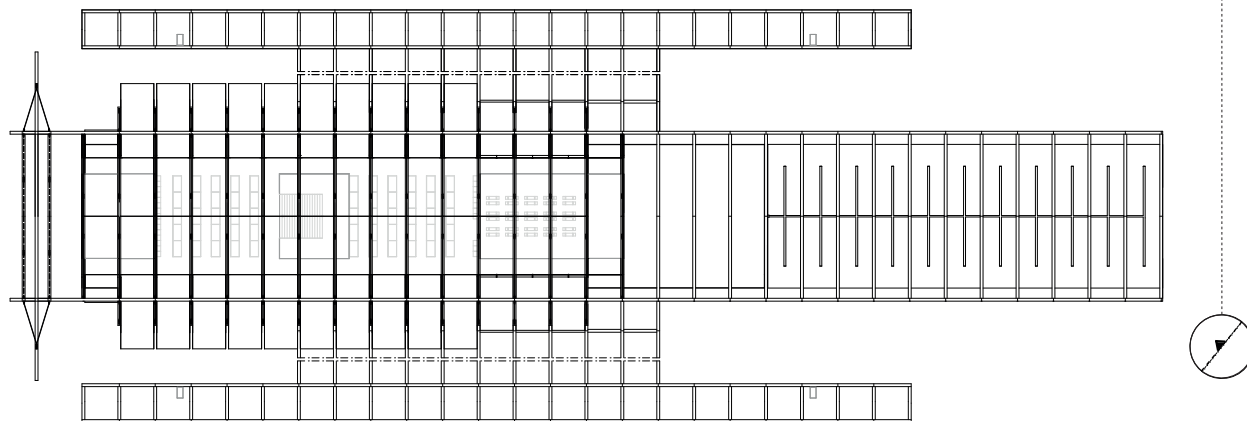


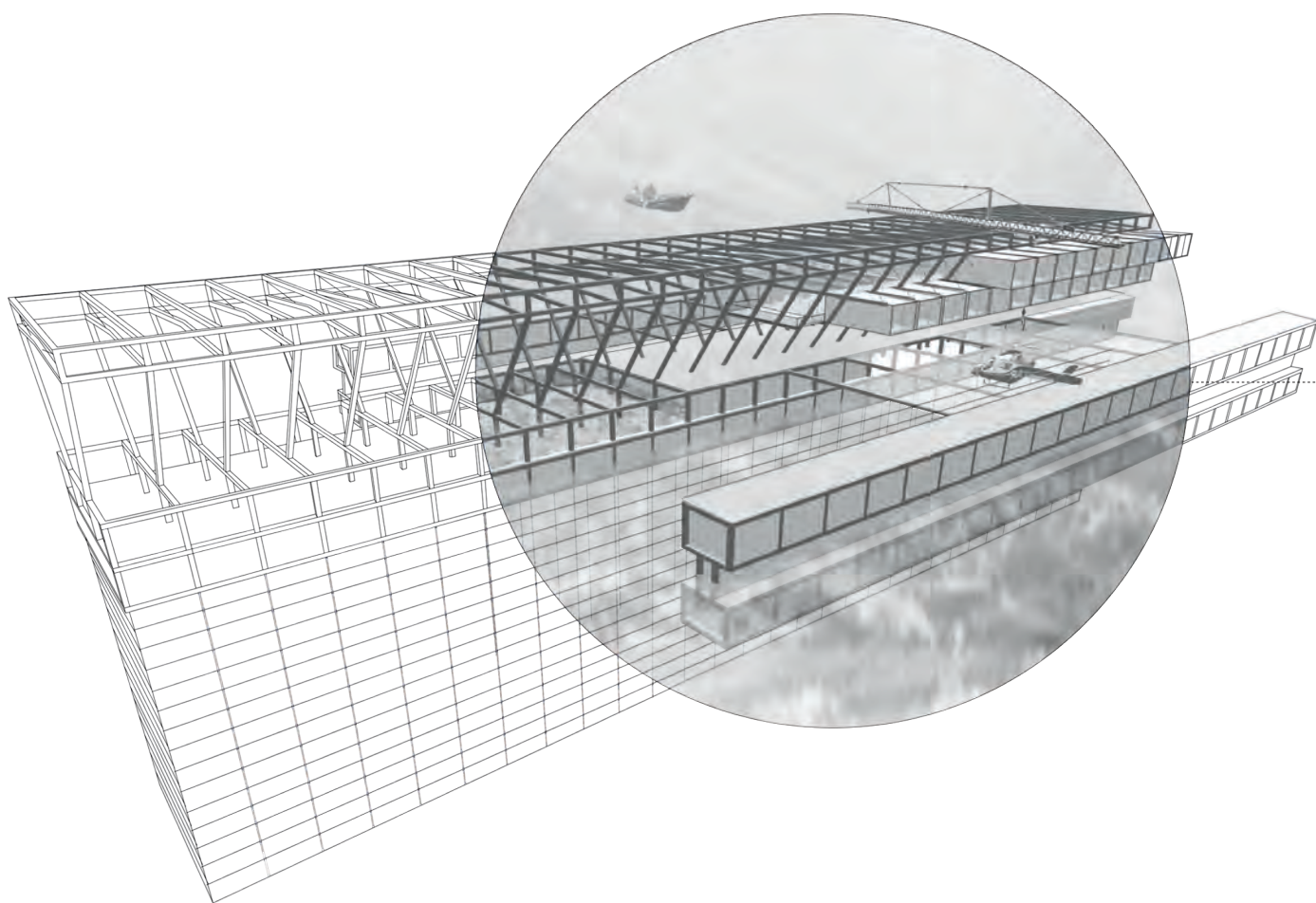




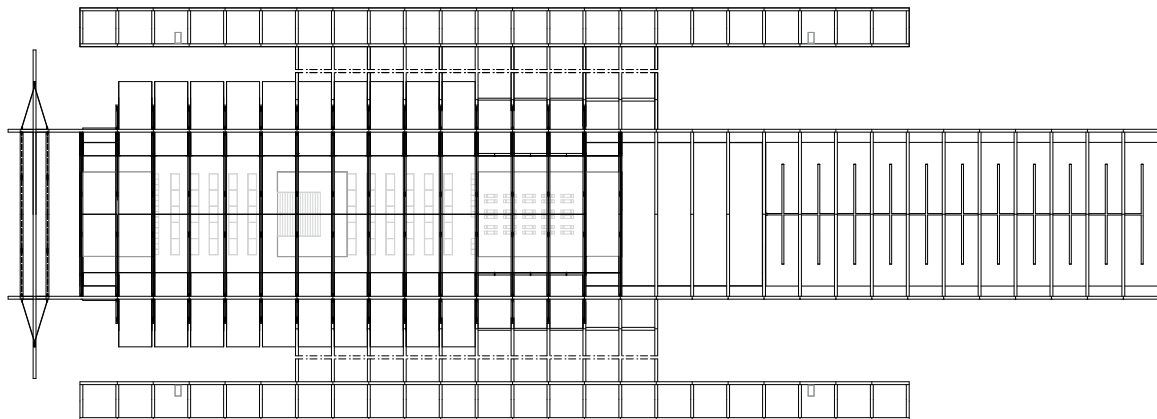












## EPILOG

Der Abfall in den Meeren stellt schon lange nicht mehr das eigentliche Problem dar, das es zu bekämpfen gilt. Es ist die Mentalität des achtlosen Wegwerfens, die das Ökosystem unseres Planeten an seine Grenzen bringt. Strategien, um den von uns Menschen eingetragenen Plastikmüll wieder aus den Meeren zu filtern sind zwar mittlerweile leider nötig, um die Folgeschäden einzudämmen, allerdings sind die nachhaltigen Lösungen weit elementarer: Verweigern, vermeiden, verwerten!

Aus einem achtsamen Umgang mit den Ressourcen unseres Planeten resultiert nicht nur ein intaktes Ökosystem. Auch das Fortschreiten des Klimawandels kann dadurch eingedämmt werden und somit

den Erhalt des Lebensraums zahlreicher Organismen sichern. Es ist mittlerweile höchst essentiell bereits an Land Lösungsansätze zu entwickeln, die eine effiziente Müllvermeidung garantieren: Geschlossene Stoffkreisläufe, Recycling und innovatives Produktdesign können dazu beitragen, die wertvollen Ressourcen unseres Planeten effektiv zu schonen und den Eintrag des Plastiks in die Ozeane drastisch einzudämmen. Der Umweltberater Alexander Protrykus glaubt an die Macht der Verbraucher: „Wenn sie ihren Kon-

Alle Bemühungen, die Meere vom Müll zu befreien sind aussichtslos, wenn es am Umdenken im Konsumverhalten der meisten Menschen scheitert.

sum verändern, beeinflusst das auch die Produktion.“<sup>1</sup> Ein achtsamer Umgang mit den Ressourcen und ein dementsprechender Lebensstil dürfen nicht mehr nur stetig gepredigt werden, sondern müssen sich als fragloser Teil in unsere lebensweltliche Praxis integrieren. Erst dann sind wir laut dem deutschen Soziologen und Sozialpsychologen Harald Welzer in einer nachhaltigen Moderne angekommen.<sup>2</sup> Es steht uns Menschen nicht zu, unseren Wohlstand auf der gnadenlosen Ausbeutung jedes noch so entlegenen Lebensraums der Erde zu gründen. Die Motivationsgründe unseres Ehrgeizes, unserer Zielstrebigkeit und unseres Dranges nach Wachstum müssen neu orientiert werden. Intelligente Lösungen sind gefragt, um die Wegwerfgesellschaft in eine Kreislaufwirtschaft zu transformieren. „Gewinnstreben kann und darf nicht über den Rechten der Umwelt stehen. [...] Eine Missachtung dieses ethischen Grundsatzes könnte irgendwann zu einem Bumerang für die Menschheit selbst werden“, warnt der deutsche Meteorologe und Klimaforscher Mojib Latif.<sup>3</sup> Hoher Material- und Energieeinsatz sollen weichen, um den Sehnsüchten und Wünschen wieder eine Stimme zu verleihen, denn „siesinddieeigentlichen Produktivkräfte des Zukünftigen.“<sup>4</sup>

Ohne eine dringend nötige Reduktion unserer Standards, werden wir Menschen die Leidtragenden unserer eigenen Gier.

---

Protrykus, Alexander in einem Interview mit Anja Krieger (2013), Deutschlandfunk: Die Entmüllung der Meere <sup>1</sup>

Vgl. Welzer, Harald (2015): Selbst Denken - Eine Anleitung zum Widerstand, S. 184 <sup>2</sup>

Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, S. 132 <sup>3</sup>

Welzer, Harald (2015): Selbst Denken - Eine Anleitung zum Widerstand, S. 139 <sup>4</sup>

# LITERATURVERZEICHNIS

## S.18-19: PROLOG

Oreskes, Naomi, Conway, Eric M. (2015): Vom Ende der Welt - Chronik eines angekündigten Untergangs, oekom, München

Doel, Ronald E. (2003): Constituting the Postwar Earth Sciences - The Military's Influence on the Environmental Sciences in the USA after 1945, in: Social Studies of Science, Band 33, Heft 5

Wikipedia: Anthropozän, <https://de.wikipedia.org/wiki/Anthropozän>, 12.8.2016

Elektronisches Archiv von Voraussagungen und Daten ab 2012 (2016): [https://www.columbia.edu/~mhs119/Temperature/T\\_moreFigs/](https://www.columbia.edu/~mhs119/Temperature/T_moreFigs/), 29.7.2016

Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, Herder, Freiburg

## S. 20-43: OZEANBEOBACHTUNG - DIE KOMPONENTEN DER MEERE

Rougerie, Jacques von Gaymard, Philotée zitiert (2015): Die Zukunft liegt im Ozean, arte, Future Mag, <http://sites.arte.tv/futuremag/de/die-zukunft-liegt-im-ozean-futuremag>, 13.8.2016

Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, Herder, Freiburg

Boyce, Daniel G. u.a. (2010): Global phytoplankton decline over the past century, Nature Magazin, Ausgabe 466

Video: Arte: Waste-Continents in the Oceans - Müllkontinente aus Plastik, <https://www.youtube.com/watch?v=66P4cCPTbRk>, 13.9.2016

Wissen.de: Welchen Einfluss haben die Meeresströmungen auf unser Klima?, <http://www.wissen.de/bildwb/welchen-einfluss-haben-die-meeresstroemungen-auf-unser-klima>, 16.9.2016

Broecker (1987): The biggest chill. Natural History Magazine, Ausgabe 97

Wikipedia: Friendly Floatees, [https://de.wikipedia.org/wiki/Friendly\\_Floatees](https://de.wikipedia.org/wiki/Friendly_Floatees), 16.9.2016

## **S. 44-77: PLASTIK IN DEN MEEREN**

Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, Herder, Freiburg

Video: Arte: Waste-Continents in the Oceans - Müllkontinente aus Plastik, <https://www.youtube.com/watch?v=66P4cCPTbRk>, 13.9.2016

Wie wir wollen, Artikel von Michael Bonvalot: Ich will die Weltmeere von Plastik befreien, <http://www.wie-wir-wollen.at/ich-will-die-weltmeere-von-plastikmuell-befreien/>, 12.8.2016

Video: Bayerischer Rundfunk: „Wie kommt Plastik ins Meer? – Faszination Wissen“, <https://www.youtube.com/watch?v=tHgpdHIZ17A>, 13.8.2016

Wikipedia: Reuse, <https://de.wikipedia.org/wiki/Reuse>, 23.9.2016

Video: Müll im Meer - Gefahren und Lösungen, Kim Detloff - Meeresschutzexperte bei NABU, <https://www.youtube.com/watch?v=PD9fDy6f9MU>, 13.8.2016

Pham, Christopher K. u. a. (2014): Marine Litter Distribution and Density in European Seas, from the Shelves to Deep Basins, PLOS one, <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0095839>, 21.9.2016

Pacific Garbage Screening, <http://pacific-garbage-screening.de/>, 8.9.2016

Deutschlandfunk: Die Entmüllung der Meere, [http://www.deutschlandfunk.de/manuskript-die-entmuel-lung-der-meere.740.de.html?dram:article\\_id=242535](http://www.deutschlandfunk.de/manuskript-die-entmuel-lung-der-meere.740.de.html?dram:article_id=242535), 21.9.2016

Wirtschafts Woche, Artikel von Lara Sogorski (8.5.2013): 19-Jähriger will Meere von Plastikmüll befreien, <http://www.wiwo.de/technologie/green/living/umwelt-19-jaehriger-will-meere-vom-plastikmuell-befrei-en/13545724.html>, 26.9.2017

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2006): Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer, WBGU, Berlin

Estacion Biologica Donana CSIC, [www.ebd.csic.es/website1/Principal.aspx](http://www.ebd.csic.es/website1/Principal.aspx), 30.9.2016

Wikipedia: Desoxyribonukleinsäure, <https://de.wikipedia.org/wiki/Desoxyribonukleins%C3%A4ure>, 30.9.2016

Planet Wissen, Artikel von Pia Grzesiak: Die Sinne der Fische, [http://www.planet-wissen.de/natur/tiere\\_im\\_wasser/fische/pwiediesinnerfische100.html](http://www.planet-wissen.de/natur/tiere_im_wasser/fische/pwiediesinnerfische100.html), 27.9.2017

Welt N24, Artikel von Daniel García Marco und Ivonne Marschall (06.08.2014): Die Zukunft von Miami Beach ist unsicher, <https://www.welt.de/wissenschaft/umwelt/article130947168/Die-Zukunft-von-Miami-Beach-ist-unsicher.html>, 30.9.2017

Oreskes, Naomi, Conway, Eric M. (2015): Vom Ende der Welt - Chronik eines angekündigten Untergangs, oekom, München

Spiegel Online, Artikel von Axel Bojanowski (17.4.2011): Prognose zu Klimaflüchtlingen bringt UNO in Bedrängnis, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/warnung-von-2005-prognose-zu-klimafluechtlingen-bringt-uno-in-bedraengnis-a-757556.html>, 30.9.2016

Heise, Telepolis, Artikel von Florian Rötzer (11.6.2009): Hunderte Millionen Klimaflüchtlinge bis 2050?, <https://www.heise.de/tp/features/Hunderte-Millionen-Klimafluechtlinge-bis-2050-3381522.html>, 30.9.2016

Welzer, Harald (2015): Selbst Denken - Eine Anleitung zum Widerstand, Fischer, Frankfurt am Main

Video: ORF 1, Helga Kromp-Kolb (30.11.2016): Quantensprung , <http://tv.orf.at/orf3/stories/2811650/>, 30.11.2016

## **S. 78-81 BEDINGUNGEN AUF HOHER SEE**

Google Maps, <https://www.google.at/maps>, 17.11.2016

ENSO-Lexikon: Meeresoberflächentemperatur, <http://www.enso.info/enso-lexikon/lexikon-m.html#meeresoberflaechentemperatur>, 27.8.2017

SEOS: Meeresströmungen - Die großen Meereswirbel, <http://www.seos-project.eu/modules/oceancurrents/oceancurrents-c02-p04.de.html>, 27.8.2017

Geoinfo: Meerestiefe, [meerestiefe\\_meeresgeo.geoinf.fu-berlin.de/inhalt/maps.php?js=1&sg=12](http://www.meerestiefe.meeresgeo.geoinf.fu-berlin.de/inhalt/maps.php?js=1&sg=12), 17.11.2016

Wheather 365: Temperatur, <https://www.weather365.net/seewetter/pazifik/pazifik-wetter/schritt-0/bodenkarten/temperatur.html>, 10.1.2017 und 28.8.2017

Wheather 365: Feuchtigkeit, <https://www.weather365.net/seewetter/pazifik/pazifik-wetter/schritt-0/bodenkarten/relative-luftfeuchtigkeit.html>, 10.1.2017 und 28.8.2017

Wheather 365: Niederschlag, <https://www.weather365.net/seewetter/pazifik/pazifik-wetter/schritt-0/bodenkarten/niederschlag-12.html>, 10.1.2017 und 28.8.2017

## **S. 82-104 PROJEKTE ZUR MARINEN MÜLLBEKÄMPFUNG**

Fishing for Litter, NABU: Müll fischen für saubere Meere, [https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabu-de/meeresschutz/flyer\\_fishingforlitter.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabu-de/meeresschutz/flyer_fishingforlitter.pdf), 17.5.2017

Deutschlandfunk: Die Entmüllung der Meere, [http://www.deutschlandfunk.de/manuskript-die-entmuel-lung-der-meere.740.de.html?dram:article\\_id=242535](http://www.deutschlandfunk.de/manuskript-die-entmuel-lung-der-meere.740.de.html?dram:article_id=242535), 21.9.2016

Wirtschafts Woche, Artikel von Lara Sogorski (8.5.2013): 19-Jähriger will Meere von Plastikmüll befreien, <http://www.wiwo.de/technologie/green/living/umwelt-19-jaehriger-will-meere-vom-plastikmuell-befreien/13545724.html>, 26.9.2017

Wie wir wollen, Artikel von Michael Bonvalot: Ich will die Weltmeere von Plastik befreien, <http://www.wie-wir-wollen.at/ich-will-die-weltmeere-von-plastikmuell-befreien/>, 12.8.2016

Süddeutsche Zeitung, Artikel von Sarah Zierul (20.8.2014): Forscher warnen vor Ozean Filtern, <http://www.sueddeutsche.de/wissen/umweltschutz-ozeanforscher-warner-vor-ozeansaeuberungs-projekt-1.2095367>, 18.5.2017

forum - Nachhaltig Wirtschaften, Das Entscheider-Magazin, Interview mit Marcella Hansch: Die Retterin der Meere, Ausgabe 04/2015

Pacific Garbage Screening, <http://pacific-garbage-screening.de/>, 8.9.2016

Welt N24 (3.1.2016): Lübecker Schiff soll Ozeane von Plastikmüll säubern, <https://www.welt.de/wissenschaft/article150548030/Luebecker-Schiff-soll-Ozeane-von-Plastikmuell-saeubern.html>, 19.5.2017

Project Kaisei - Mission zur Beseitigung des marinen Plastikmülls:  
Ambientaliqua, <http://ambientaliqua.blogspot.co.at/2011/05/proyecto-kaisei-salvar-kai.html>, 30.7.2017

Video: Arte: Waste-Continents in the Oceans - Müllkontinente aus Plastik, <https://www.youtube.com/watch?v=66P4cCPTbRk>, 13.9.2016

Video von UCLiGEM: Plastic Republic - UCL iGEM 2012 Fundraising video, <https://www.youtube.com/watch?v=EXkb1ewOmWk>, 30.7.2017

Page, Artikel von Daniel Schilling (30.7.2012): Formschön die Meere retten, <http://page-online.de/branche-karriere/formschoen-die-meere-retten/>, 30.7.2017

Umwelt Dialog (3.8.2012): Hightech - Drohne jagt Plastikmüll im Meer, [http://www.umweltdialog.de/de/politik/weltweit/archiv/2012-08-03\\_Hightech-Drohne\\_jagt\\_Plastikmuell\\_im\\_Meer.php](http://www.umweltdialog.de/de/politik/weltweit/archiv/2012-08-03_Hightech-Drohne_jagt_Plastikmuell_im_Meer.php), 19.5.2017

Wikipedia: Ölpest im Golf von Mexiko 2010 - Maßnahmen zur Säuberung, [https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%96lpest\\_im\\_Golf\\_von\\_Mexiko\\_2010#Dispersion\\_des\\_.C3.96ls](https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%96lpest_im_Golf_von_Mexiko_2010#Dispersion_des_.C3.96ls), 20.5.2017



Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, Herder, Freiburg

## **S. 116-139 FORSCHUNGSSCHIFF**

IBU - Universität Oldenburg, <http://www.macroplastics.de/index.php?page=wer-bloggt>, 20.5.2017

Rainer Crummenerl (2004): Was ist Was - Meereskunde, Band 32, Tessloff, Nürnberg, [https://books.google.at/books?id=EBRR0un4iEQC&pg=PA7&lpg=PA7&dq=ausr%C3%BCstung+eines+forschungsschiffes&source=bl&ots=NRNiKkxn\\_2&sig=8yJLFn8KNjipFvA0iBoByf13jCl&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwja4PjP6YXSAhWnQpoKHRu8D14Q6AEILDAD#v=onepage&q=ausr%C3%BCstung%20eines%20forschungsschiffes&f=false](https://books.google.at/books?id=EBRR0un4iEQC&pg=PA7&lpg=PA7&dq=ausr%C3%BCstung+eines+forschungsschiffes&source=bl&ots=NRNiKkxn_2&sig=8yJLFn8KNjipFvA0iBoByf13jCl&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwja4PjP6YXSAhWnQpoKHRu8D14Q6AEILDAD#v=onepage&q=ausr%C3%BCstung%20eines%20forschungsschiffes&f=false), 2.3.2017

Wikipedia: Forschungsschiff, <https://de.wikipedia.org/wiki/Forschungsschiff>, 2.3.2017

Portal deutsche Forschungsschiffe, <https://www.portal-forschungsschiffe.de/schiffe>, 2.3.2017

Geomar (2015): FS Poseidon - Handbuch für Nutzer, <http://www.geomar.de/fileadmin/content/zentrum/ze/fs/Poseidon-Handbuch/Poseidon-Handbuch.pdf>, 27.2.2017

## **S. 140-151 FORMFINDUNG DES BAUKÖRPERS**

Wikipedia: Katamaran, <https://de.wikipedia.org/wiki/Katamaran>, 20.7.2017

Wikipedia: Verdränger und Gleiter, [https://de.wikipedia.org/wiki/Verdr%C3%A4nger\\_und\\_Gleiter](https://de.wikipedia.org/wiki/Verdr%C3%A4nger_und_Gleiter), 20.7.2017

Wikipedia: Rückstellkraft, <https://de.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCckstellkraft>, 20.7.2017

Wikipedia: Dieselelektrischer Antrieb, [https://de.wikipedia.org/wiki/Dieselelektrischer\\_Antrieb](https://de.wikipedia.org/wiki/Dieselelektrischer_Antrieb), 20.7.2017

Wikipedia: Schiffstyp - Unterteilung, <https://de.wikipedia.org/wiki/Schiffstyp#Unterteilung>, 21.7.2017

Wikipedia: Schiff - Lebensdauer, <https://de.wikipedia.org/wiki/Schiff#Lebensdauer>, 21.7.2017

Wikipedia: Small Waterplane Area Twinn Hull, [https://de.wikipedia.org/wiki/Small\\_Waterplane\\_Area\\_Twin\\_Hull](https://de.wikipedia.org/wiki/Small_Waterplane_Area_Twin_Hull), 20.7.2017

Yacht Forum, <http://www.yachtforums.com/threads/2014-ft-lauderdale-international-boat-show-flibs.23799/page-2>, 20.7.2017

## **S. 152-173 AUFBAU DER PLASTIK FILTRIERENDEN FORSCHUNGSSATION**

Wikipedia: Trimaran, <https://de.wikipedia.org/wiki/Trimaran>, 23.7.2017

Wikipedia: Wellenanlage (Schiffbau), [https://de.wikipedia.org/wiki/Wellenanlage\\_\(Schiffbau\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Wellenanlage_(Schiffbau)), 23.7.2017

Wikipedia: Luftkissenfahrzeug, <https://de.wikipedia.org/wiki/Luftkissenfahrzeug>, 23.7.2017

Wikipedia: Schiffsmotor, <https://de.wikipedia.org/wiki/Schiffsmotor>, 23.7.2017

Wikipedia: Impeller, <https://de.wikipedia.org/wiki/Impeller>, 23.7.2017

Wikipedia: Kohlenstoffverstärkter Kunststoff, [https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstofffaserverst%C3%A4rkter\\_Kunststoff](https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstofffaserverst%C3%A4rkter_Kunststoff), Wikibooks: Tabellensammlung Chemie, [https://de.wikibooks.org/wiki/Tabellensammlung\\_Chemie/\\_Dichte\\_fester\\_Stoffe](https://de.wikibooks.org/wiki/Tabellensammlung_Chemie/_Dichte_fester_Stoffe), 23.7.2017

pro:Holz: Materialeigenschaften im Vergleich, <http://www.proholz.at/zuschnitt/40/materialeigenschaften-im-vergleich/>, 24.7.2017

Wikipedia: Korrosionsschutz, <https://de.wikipedia.org/wiki/Korrosionsschutz>, 24.7.2017

12seemeilen Logbuch: Opferanode für Boote, <http://www.12seemeilen.de/blog/opferanoden-fuer-boote/>, 24.7.2017

Wikipedia: Konversionsschicht, <https://de.wikipedia.org/wiki/Konversionsschicht>, 24.7.2017

pro:Holz: Oberflächenbehandlung von Holz, <http://www.proholz.at/zuschnitt/21/oberflaechenbehandlung-von-holz-im-aussenbereich/>, 23.7.2017

Spektrum, Lexikon der Biologie, <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/kunststoffe/37684>, 24.7.2017

Wikipedia: Fouling (Schiffbau), [https://de.wikipedia.org/wiki/Fouling\\_\(Schiffbau\)#Biozidfreie\\_Beschichtungen](https://de.wikipedia.org/wiki/Fouling_(Schiffbau)#Biozidfreie_Beschichtungen), 25.7.2017

Boot Düsseldorf, Revit Center - Ratgeber ungiftige Antifoulings, [https://www.boot.de/cgi-bin/md\\_boot/lib/pub/tt.cgi/Ratgeber\\_ungiftige\\_Antifoulings.html?oid=22639&lang=1&ticket=g\\_u\\_e\\_s\\_t](https://www.boot.de/cgi-bin/md_boot/lib/pub/tt.cgi/Ratgeber_ungiftige_Antifoulings.html?oid=22639&lang=1&ticket=g_u_e_s_t), 25.7.2017

Wikipedia: Kavitation, <https://de.wikipedia.org/wiki/Kavitation>, 26.7.2017

Shipsonic: Ultraschall Antifouling, <http://marina-duesseldorf.de/uploaded/Algen-Shipsonic%20.pdf>, 26.7.2017

## **S. 174-175 MÖGLICHKEITEN ZUR VERMEIDUNG VON TIEREN IM BEREICH DER FILTRATION**

Indirekte Zitate aus einem persönlichen Mailverkehr mit M.Sc.Rosanna Schöneich-Argent, Doktorandin für Geoökologie am ICBM (Institut für Chemie und Biologie des Meeres), Oldenburg, 1.2.2017

## **S. 176-185 METHODEN ZUR GRÜNDUNG BZW. VERANKERUNG**

Wikipedia: Offshore-Windpark, <https://de.wikipedia.org/wiki/Offshore-Windpark>, 12.1.2017

Wikipedia: Schwergewichtsgründungen, <https://de.wikipedia.org/wiki/Schwergewichtsgr%C3%BCndung>, 12.1.2017

Wikipedia: Monopile, <https://de.wikipedia.org/wiki/Monopile>, 12.1.2017

Wikipedia: Tripile, [https://de.wikipedia.org/wiki/Tripile\\_\(Gr%C3%BCndung\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Tripile_(Gr%C3%BCndung)), 12.1.2017

Wikipedia: Tripod, [https://de.wikipedia.org/wiki/Tripod\\_\(Gr%C3%BCndung\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Tripod_(Gr%C3%BCndung)), 12.1.2017

Wikipedia: Jackets, [https://de.wikipedia.org/wiki/Jacket\\_\(Gr%C3%BCndung\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Jacket_(Gr%C3%BCndung)), 12.1.2017

Wikipedia: Schwimmende Windkraftanlagen, [https://de.wikipedia.org/wiki/Schwimmende\\_Windkraftanlage](https://de.wikipedia.org/wiki/Schwimmende_Windkraftanlage), 13.1.2017

Wikipedia: Spar (platform), [https://en.wikipedia.org/wiki/Spar\\_\(platform\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Spar_(platform)), 13.1.2017

Wikipedia: Tension-leg platform, [https://en.wikipedia.org/wiki/Tension-leg\\_platform](https://en.wikipedia.org/wiki/Tension-leg_platform), 13.1.2017

Wikipedia: Halbtaucherplattform, <https://de.wikipedia.org/wiki/Halbtaucher>, 13.1.2017

Wikipedia: Flachgründung, <https://de.wikipedia.org/wiki/Flachgr%C3%BCndung>, 13.1.2017

Wikipedia: Bucket-Fundament, <https://de.wikipedia.org/wiki/Bucket-Fundament>, 13.1.2017

Wikipedia: Bohrplattform, <https://de.wikipedia.org/wiki/Bohrplattform>, 14.1.2017

Wikipedia: Hubbohrinsel, <https://de.wikipedia.org/wiki/Hubinsel>, 14.1.2017

Wikipedia: Halbtaucher, <https://de.wikipedia.org/wiki/Halbtaucher>, 14.1.2017

Wikipedia: Bohrschiff, <https://de.wikipedia.org/wiki/Bohrschiff>, 14.1.2017

## **S. 188-189 WASSERDRUCK**

Wikipedia: Wasserdruck, [https://de.wikipedia.org/wiki/Hydrostatischer\\_Druck](https://de.wikipedia.org/wiki/Hydrostatischer_Druck), 4.5.2017

## **S. 190-193 AUFTRIEB**

Wikipedia: Statischer Auftrieb, [https://de.wikipedia.org/wiki/Statischer\\_Auftrieb](https://de.wikipedia.org/wiki/Statischer_Auftrieb), 6.5.2017

Wikipedia: Archimedisches Prinzip, [https://de.wikipedia.org/wiki/Archimedisches\\_Prinzip](https://de.wikipedia.org/wiki/Archimedisches_Prinzip), 6.5.2017

## **S. 194-213 ENERGIEGEWINNUNGSFORMEN**

Wikipedia: Osmosekraftwerk, <https://de.wikipedia.org/wiki/Osmosekraftwerk>, 17.2.2017

Wikipedia: Gezeitenkraftwerk, <https://de.wikipedia.org/wiki/Gezeitenkraftwerk>, 17.2.2017

Wikipedia: Wellenkraftwerk, <https://de.wikipedia.org/wiki/Wellenkraftwerk>, 17.2.2017

Wikipedia: Meeresströmungskraftwerk, <https://de.wikipedia.org/wiki/Meeresstr%C3%B6mungskraftwerk>,  
18.2.2017

Wikipedia: Meereswärmekraftwerk, <https://de.wikipedia.org/wiki/Meeresw%C3%A4rmekraftwerk>,  
18.2.2017

Wikipedia: Windenergie, <https://de.wikipedia.org/wiki/Windenergie>, 19.2.2017

BIQ - Das Algenhaus, <http://www.biq-wilhelmsburg.de/das-projekt/die-idee.html>, 19.2.2017

Wikipedia: Sonnenkollektoren, <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenkollektor>, 20.2.2017

Wikipedia: Solarzellen, <https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle>, 20.2.2017

Wikipedia: Sonnenwärmekraftwerk, <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenw%C3%A4rmekraftwerk>,  
20.2.2017

Wikipedia: Aufwindkraftwerk, <https://de.wikipedia.org/wiki/Aufwindkraftwerk>, 20.2.2017

Wikipedia: Plasmavergasung, <https://de.wikipedia.org/wiki/Plasmavergasung>, 2.1.2017

Verfahren der Plasmavergasung mit Julian Hörschläger (Techn. Physiker) erarbeitet

## **S. 217-219 ENERGIEERTRAG AUS PLASTIKMÜLL**

PNAS, Andrés Cózar u.a. (2014): Plastic debris in the open ocean, Artikel Vol. 111, Nr. 28, 2.2.2017

SEOS: Meeresströmungen - Die großen Meereswirbel, <http://www.seos-project.eu/modules/oceancurrents/oceancurrents-c02-p04.de.html>, 16.10.2016

Bauforum Stahl (2002): Heizwert Tabelle, <https://www.bauforumstahl.de/upload/documents/brandschutz/kennwerte/Heizwertkunststoff.pdf>, 23.8.2017

## **S. 220-227 ENERGIEBEDARF DER FORSCHUNGSSTATION**

Wikipedia: Mol, <https://de.wikipedia.org/wiki/Mol>, 24.8.2017

Technische Universität Hamburg, biotechnologie (2012): <https://www.tuhh.de/~bt1hm/Research/ProductionOfAlgaeBiomass/thermodynamischeAnalyse.pdf>, 25.8.2017

alle Berechnungen mit Julian Hörschläger (Techn. Physiker) erarbeitet

## **S. 228-230 NAHRUNGSGEWINNUNG**

Wikipedia: Aquakultur, <https://de.wikipedia.org/wiki/Aquakultur>, 15.5.2017

Wikipedia: Hydrokultur, <https://de.wikipedia.org/wiki/Hydrokultur>, 15.5.2017

Wikipedia: Aquaponik, <https://de.wikipedia.org/wiki/Aquaponik>, 15.5.2017

Aquaponicsystems (2009): What is Aquaponics?, <http://blog.aquaponicssystems.com/2009/05/what-is-aquaponics.html>, 15.5.2017

## **S. 232-237 TRINKWASSERGEWINNUNG**

Helpster, Artikel von Manuela Träger: Regenwasser zu Trinkwasser aufbereiten - so gelingt's, [http://www.helpster.de/regenwasser-zu-trinkwasser-aufbereiten-so-gelingt-s\\_26803](http://www.helpster.de/regenwasser-zu-trinkwasser-aufbereiten-so-gelingt-s_26803), 6.6.2017

ROS - Reserve Osmosis Systems, Ökologische Wasseraufbereitung, <http://www.gesundheitswasser-osmose.de/src/umkehrosmose/trinkwasser,umkehrosmose.htm>, 8.6.2017

Wikipedia: Mehrstufige Entspannungsverdampfung, [https://de.wikipedia.org/wiki/Meerwasserentsalzung#Mehrstufige\\_Entspannungsverdampfung](https://de.wikipedia.org/wiki/Meerwasserentsalzung#Mehrstufige_Entspannungsverdampfung), 8.6.2017

Wikipedia: Membrandestillation, [https://en.wikipedia.org/wiki/Membrane\\_distillation](https://en.wikipedia.org/wiki/Membrane_distillation), 8.6.2017

## **S. 356-357 EPILOG**

Protrykus, Alexander in einem Interview mit Anja Krieger (2013), Deutschlandfunk: Die Entmüllung der Meere, [http://www.deutschlandfunk.de/manuskript-die-entmuellung-der-meere.740.de.html?dram:article\\_id=242535](http://www.deutschlandfunk.de/manuskript-die-entmuellung-der-meere.740.de.html?dram:article_id=242535), 21.9.2016

Welzer, Harald (2015): Selbst Denken - Eine Anleitung zum Widerstand, Fischer, Frankfurt am Main

Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, Herder, Freiburg

# BILDNACHWEIS

**Abb. 1:**

Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, Herder, Freiburg, S. 206

**Abb. 2:**

Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, Herder, Freiburg, S. 207

**Abb. 3:**

Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, Herder, Freiburg, S. 22

**Abb. 4:**

Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, Herder, Freiburg, S. 152

**Abb. 5:**

Mr. Monti's Science Site, <http://montis.weebly.com/unit-5---invertebrates-amphibians-and-reptiles-anatomy-part-1.html>, 29.7.2017

**Abb. 6:**

Gallileo, Flickr, Sparkle Motion, <http://at.galileo.tv/earth-nature/umweltschock-die-meisten-seevoegel-haben-plastikmuell-im-magen/>, 29.7.2017

**Abb. 7:**

Umwelt im Unterricht, aus Artikel: Wie kommt das Plastik ins Meer?, <http://www.umwelt-im-unterricht.de/medien/bilder/wie-kommt-das-plastik-ins-meer-sekgs/>, 29.7.2017

**Abb. 8:**

Global Citizen, Flickr, Stefan Leijon, <https://www.globalcitizen.org/en/content/take-3-for-the-sea/>, 29.7.2017



**Abb. 9:**

WWF Schweiz, <http://www.wwf.ch/de/hintergrundwissen/wasser/meere/bedrohungmeere/verschmutzung/>, 29.7.2017

**Abb. 10:**

Latif, Mojib (2014): Das Ende der Ozeane - Warum wir ohne die Meere nicht überleben werden, Herder, Freiburg, S. 255

**Abb. 11:**

Polar Sea 360°, NOAA, <http://www.polarsea360.com/de/episodes/09/>, 29.7.2017

**Abb. 12:**

Fishing for Litter, NABU: Müll fischen für saubere Meere, [https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabu-de/meeresschutz/flyer\\_fishingforlitter.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabu-de/meeresschutz/flyer_fishingforlitter.pdf), 29.7.2017

**Abb. 13:**

Eco Watch, <https://www.ecowatch.com/boyan-slats-ocean-cleanup-project-launches-historic-first-prototype-at-1891181918.html>, 30.7.2017

**Abb. 14:**

Pacific Garbage Screening, <http://pacific-garbage-screening.de/>, 30.7.2017

**Abb. 15:**

Wassersport, Frank Brodmerkel, OEEO, <http://www.svgwassersport.de/news/thema/One+Earth+-+One+Ocean>, 30.7.2017

**Abb. 16:**

Ambientaliqua, <http://ambientaliqua.blogspot.co.at/2011/05/proyecto-kaisei-salvar-kai.html>, 30.7.2017

**Abb. 17:**

iGEM, [http://2012.igem.org/Team:University\\_College\\_London/HumanPractice/CrowdFunding](http://2012.igem.org/Team:University_College_London/HumanPractice/CrowdFunding), 30.7.2017

**Abb. 18:**

Page, <http://page-online.de/branche-karriere/formschoen-die-meere-retten/>, 30.7.2017

**Abb. 19:**

SPP, Climate Engineering, DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft), <http://www.spp-climate-engineering.de/aktuelles.html>, 30.7.2017

**Abb. 20:**

Plastik schadet der Welt - Blog, [http://plastikschadetderwelt.blogspot.co.at/2015\\_02\\_01\\_archive.html](http://plastikschadetderwelt.blogspot.co.at/2015_02_01_archive.html), 30.7.2017

**Abb. 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28:**

Geomar (2015): FS Poseidon - Handbuch für Nutzer, <http://www.geomar.de/fileadmin/content/zentrum/ze/fs/Poseidon-Handbuch/Poseidon-Handbuch.pdf>, 27.2.2017

**Abb. 29:**

Diariodenautica, <http://www.diariodenautica.com/navatek-el-ferry-swath-jurassic-world>, 20.7.2017

**Abb. 30:**

The Seasteading Institute, Diskussion im Forum „Small Water Area Twin Hull SWATH“ (User: KatOnTri, 15.8.2015), <https://discuss.seasteading.org/t/small-water-area-twin-hull-swath/1004/15>, 20.7.2017

**Abb. 31:**

Wikipedia: Katamaran, <https://de.wikipedia.org/wiki/Katamaran>, 20.7.2017

**Abb. 32:**

Wikipedia: Katamaran, <https://de.wikipedia.org/wiki/Katamaran>, 20.7.2017

**Abb. 33:**

Wikipedia: Katamaran, <https://de.wikipedia.org/wiki/Katamaran>, 20.7.2017

**Abb. 34:**

Wikipedia: Small Water Area Twin Hull, [https://de.wikipedia.org/wiki/Small\\_Waterplane\\_Area\\_Twin\\_Hull](https://de.wikipedia.org/wiki/Small_Waterplane_Area_Twin_Hull), 20.7.2017

**Abb. 35:**

Wikipedia: Small Water Area Twin Hull, [https://de.wikipedia.org/wiki/Small\\_Waterplane\\_Area\\_Twin\\_Hull](https://de.wikipedia.org/wiki/Small_Waterplane_Area_Twin_Hull), 20.7.2017

**Abb. 36:**

Wikipedia: Small Water Area Twin Hull, [https://de.wikipedia.org/wiki/Small\\_Waterplane\\_Area\\_Twin\\_Hull](https://de.wikipedia.org/wiki/Small_Waterplane_Area_Twin_Hull),  
20.7.2017

**Abb. 37:**

Boote – Europas größtes Motorboot-Magazin, aus Artikel: Widerstandskämpfer, <http://www.boote-magazin.de/aktuell/reportagen/widerstandskaempfer/a24855.html>, 20.7.2017

**Abb. 38:**

Goodall Design, <http://www.goodalldesign.com.au/Catamaran/index.php/our-boats/goodall-viper>,  
21.7.2017

**Abb. 39:**

WoodenBoat Forum, <http://forum.woodenboat.com/showthread.php?139072-Lee-Boards>, 21.7.2017

**Abb. 40:**

Yacht Forum (User: discokachina, 1.11.2014), <http://www.yachtforums.com/threads/2014-ft-lauderdale-international-boat-show-flibs.23799/page-2>, 20.7.2017

**Abb. 41:**

Area, John Shuttleworth Yacht Designs, <https://www.area-arch.it/it/adastra/>, 23.7.2017

**Abb. 42:**

Westfalen Blog, <http://blog.westfalen.com/westfalen-statt-weltreise/>, 23.7.2017

**Abb. 43:**

Cash.Online Finanznachrichten, Artikel: Anziehender Welthandel gibt Schifffonds Auftrieb, vom: 9.8.2010,  
<https://www.cash-online.de/geschlossene-fonds/2010/feri-dfr-anziehender-welthandel-gibt-schiffs-fonds-auftrieb/32831>, 23.7.2017

**Abb. 44:**

Wikipedia: Wellenanlage (Schiffbau), [https://de.wikipedia.org/wiki/Wellenanlage\\_\(Schiffbau\)#/media/File:Wellenanlage.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Wellenanlage_(Schiffbau)#/media/File:Wellenanlage.svg), 23.7.2017

**Abb. 45:**

Firangi on India, Blogpost vom 2.7.2012, <https://firangionindia.wordpress.com/tag/coast-guard/>, 23.7.2017

**Abb. 46:**

Wikipedia: Luftkissenfahrzeug, [https://de.wikipedia.org/wiki/Luftkissenfahrzeug#/media/File:Hovercraft\\_-\\_scheme.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Luftkissenfahrzeug#/media/File:Hovercraft_-_scheme.svg), 23.7.2017

**Abb. 47:**

Emsbroek, <https://www.emsbroek.nl/diensten/diensten/kathodische-bescherming.php?pid=9&pid=9>, 24.7.2017

**Abb. 48:**

12seemeilen Logbuch: Opferanode für Boote, <http://www.12seemeilen.de/blog/opferanoden-fuer-boote/>, 24.7.2017

**Abb. 49:**

Boot Düsseldorf, Revit Center - Ratgeber ungiftige Antifoulings, [https://www.boot.de/cgi-bin/md\\_boot/lib/pub/tt.cgi/Ratgeber\\_ungiftige\\_Antifoulings.html?oid=22639&lang=1&ticket=g\\_u\\_e\\_s\\_t](https://www.boot.de/cgi-bin/md_boot/lib/pub/tt.cgi/Ratgeber_ungiftige_Antifoulings.html?oid=22639&lang=1&ticket=g_u_e_s_t), 25.7.2017

**Abb. 50:**

ACE Stoßdämpfer GmbH, <http://www.ace-ace.de/>, 27.5.2017

**Abb. 51:**

Stiftung Offshore Windenergie, <https://www.offshore-stiftung.de/gruendungsstrukturen>, 4.3.2017

**Abb. 52:**

Wikipedia: [https://de.wikipedia.org/wiki/Schwimmende\\_Windkraftanlage#/media/File:Types\\_of\\_offshore\\_oil\\_and\\_gas\\_structures.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Schwimmende_Windkraftanlage#/media/File:Types_of_offshore_oil_and_gas_structures.jpg), 4.3.2017

**Abb. 53:**

Wikipedia: Wasserdruck, [https://de.wikipedia.org/wiki/Hydrostatischer\\_Druck#/media/File:Hydrostatisches\\_Paradoxon4.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Hydrostatischer_Druck#/media/File:Hydrostatisches_Paradoxon4.svg), 4.5.2017

**Abb. 54:**

Wikipedia: Osmosekraftwerk, <https://de.wikipedia.org/wiki/Osmosekraftwerk>, 17.2.2017

**Abb. 55:**

Wikipedia: Gezeitenkraftwerk, <https://de.wikipedia.org/wiki/Gezeitenkraftwerk>, 17.2.2017

**Abb. 56:**

Wikipedia: Wellenkraftwerk - Pneumatische Kammern, <https://de.wikipedia.org/wiki/Wellenkraftwerk#/media/File:Wellenkraftwerk.JPG>, 17.2.2017

**Abb. 57:**

Wikipedia: Wellenkraftwerk - Rampe, <https://de.wikipedia.org/wiki/Wellenkraftwerk#/media/File:Wellenkraftwerk.JPG>, 17.2.2017

**Abb. 58:**

Energystream, <https://www.energystream-wavestone.com/2012/09/waveroller-houlomoteur-nouvelle-vague/>, 17.2.2017

**Abb. 59:**

Control, <http://www.controlglobal.com/assets/Media/0707/lessonsfig2.jpg>, 17.2.2017

**Abb. 60:**

Wikipedia: Meeresströmungskraftwerk, [https://de.wikipedia.org/wiki/Meeresstr%C3%B6mungskraftwerk#/media/File:Cable\\_Tethered\\_Turbine.png](https://de.wikipedia.org/wiki/Meeresstr%C3%B6mungskraftwerk#/media/File:Cable_Tethered_Turbine.png), 18.2.2017

**Abb. 61:**

Wikipedia: Meeresströmungskraftwerk, [https://de.wikipedia.org/wiki/Meeresstr%C3%B6mungskraftwerk#/media/File:Sea\\_Bed\\_Turbine.png](https://de.wikipedia.org/wiki/Meeresstr%C3%B6mungskraftwerk#/media/File:Sea_Bed_Turbine.png), 18.2.2017

**Abb. 62:**

Wikipedia: Meereswärmekraftwerk, [https://de.wikipedia.org/wiki/Meeresw%C3%A4rmekraftwerk#/media/File:Schema\\_geschlossenes\\_Ocean\\_Thermal\\_Gradient-Kraftwerk\\_OTEC.png](https://de.wikipedia.org/wiki/Meeresw%C3%A4rmekraftwerk#/media/File:Schema_geschlossenes_Ocean_Thermal_Gradient-Kraftwerk_OTEC.png), 18.2.2017 (leicht verändert und adaptiert)

**Abb. 63:**

Enhanced Wiki: Windkraftanlage, <http://enhancedwiki.altervista.org/de.php?title=Datei:Windkraftanlage.svg>, 19.2.2017

**Abb. 64:**

BIQ - Das Algenhaus, <http://www.biq-wilhelmsburg.de/energiekreislauf/energiekonzept.html>, 19.2.2017  
(leicht verändert und adaptiert)

**Abb. 65:**

Käuferportal - Solaranlage, <http://www.kaeufportal.de/energie/solaranlagen/solarkollektoren-preise/#0>, 20.2.2017

**Abb. 66:**

Käuferportal - Solaranlage, <http://www.kaeufportal.de/energie/solaranlagen/solarenergie/#0>, 20.2.2017

**Abb. 67:**

Paradigma, <http://www.paradigma.de/parabolrinnenkraftwerke>, 20.2.2017 (leicht verändert und adaptiert)

**Abb. 68:**

Wikipedia: Aufwindkraftwerk, [https://de.wikipedia.org/wiki/Aufwindkraftwerk#/media/File:Solar\\_updraft\\_tower.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Aufwindkraftwerk#/media/File:Solar_updraft_tower.svg), 20.2.2017

**Abb. 69:**

KS-net AG, <http://www.ks-net.ch/index.htm>, 4.3.2018

**Abb. 70:**

PNAS, Andrés Cózar u.a. (2014): Plastic debris in the open ocean, Artikel Vol. 111, Nr. 28, 2.2.2017

**Abb. 71:**

Heidelberg Bahnstadt (2011): Stromsparkonzept, [http://heidelberg-bahnstadt.de/files/documents/stromsparkonzept\\_sektorlabore.pdf](http://heidelberg-bahnstadt.de/files/documents/stromsparkonzept_sektorlabore.pdf), 24.8.2017

**Abb. 72:**

Heidelberg Bahnstadt (2011): Stromsparkonzept, [http://heidelberg-bahnstadt.de/files/documents/stromsparkonzept\\_sektorlabore.pdf](http://heidelberg-bahnstadt.de/files/documents/stromsparkonzept_sektorlabore.pdf), 24.8.2017

**Abb. 73:**

Wikipedia: Polyethylen, [https://de.wikipedia.org/wiki/Polyethylen#/media/File:Polyethylene\\_repeat\\_unit.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Polyethylen#/media/File:Polyethylene_repeat_unit.svg), 24.8.2017

**Abb. 74:**

Wikipedia: Kohlenstoffdioxid, <https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoffdioxid>, 25.8.2017

**Abb. 75:**

Aquaponicsystems (2009): What is Aquaponics?, <http://blog.aquaponicssystems.com/2009/05/what-is-aquaponics.html>, 15.5.2017

**Abb. 76:**

abw - anders bauen & wohnen, Wassertechnik, <http://www.abwshop.de/WISY-Regenfilter-Wirbel-Fein-Filter-WFF-300-92152.html>, 6.6.2017

**Abb. 77:**

ONG - Water for life Africa, <http://ong-waterforlifeafrica.org/en/water-treatment.php>, 6.6.2017

**Abb. 78:**

Volkspartei Königsbrunn: Neubau eines Wasserwerkes samt Wasseraufbereitung, <http://koenigsbrunn.vp-noe.at/startseite/news-detail/article/neubau-eines-wasserwerkes-samt-wasseraufbereitung.html>, 8.6.2017

**Abb. 79:**

Spektrum, Artikel von Fischetti und Linsmeier (2008): Handikap in der Wüste, <http://www.spektrum.de/news/handikap-in-der-wueste/952460>, 8.6.2017

**Abb. 80:**

Wikipedia: Membrandestillation, [https://en.wikipedia.org/wiki/Membrane\\_distillation](https://en.wikipedia.org/wiki/Membrane_distillation), 8.6.2017