

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<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/englweb/>).

Diplomarbeit **LIQUIDLABS** - Unterwasser Forschungsstation

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom - Ingenieurs unter der Leitung von

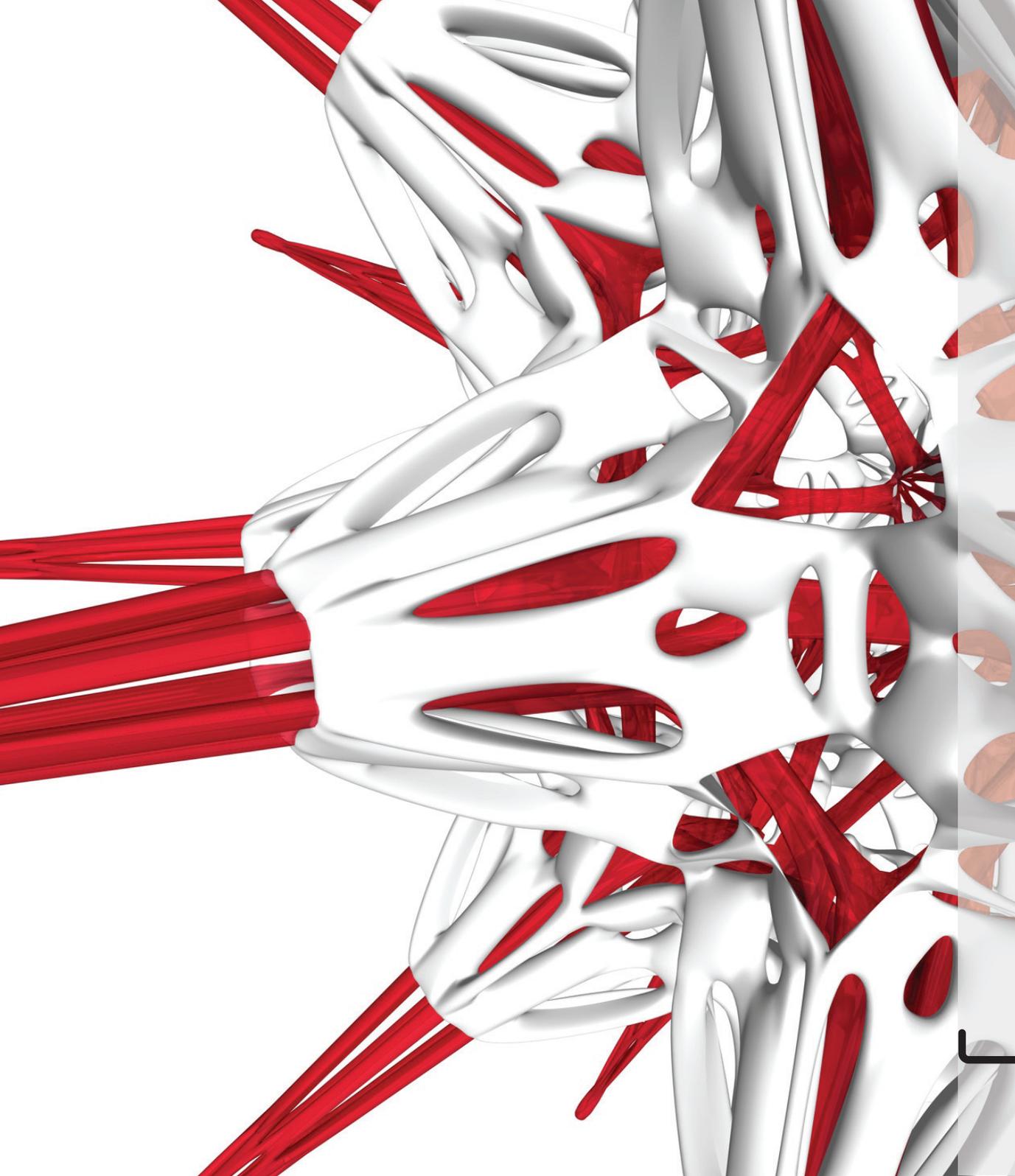
Ao.Univ.Prof.Arch. Dipl.Ing Dr. techn. Manfred Berthold  
E253-4 Abteilung Hochbau und Entwerfen

Eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Raumplanung und Architektur

Julia Martin  
0226548  
Hernstorferstraße 1/35  
A-1140 Wien

Wien, den 01.11.2011





**LIQUIDLABS**  
unterwasser forschungsstation

Inhaltsverzeichnis		05.6_Faltstruktur III	39
	Seite	05.7_MergedModels	40
00_Vorwort	5	05.8_Verdrängungsmodell	41
01_Die Geschichte des Tauchens	6-11	05.9_Gipsschleifenmodell I	42
01.1_Zeittafel	6	05.10_Gipsschleifenmodell II	42
01.2_Tauchstationen	8	05.11_Tensegrity	43
01.3_Projekte in Planung	10	05.12_Sinkmodelle	44
02_Physikalische und physiologische Grundlagen	12-19	06_Digitale Entwicklung	45-53
02.1_Physikalische Eigenschaften des Wassers	12	06.1_Inspiration	46
02.2_Physikalische Eigenschaften von Gasen	14	06.2_Digitalisierte Zellstrukturen	48
02.3_Physiologische Auswirkungen	16	06.3_Entwicklung Entwurf	50
02.4_Grafik, Übersicht Größenverhältnisse	18	07_Entwurf	54-100
03_Optik und Akustik unter Wasser	20-22	07.1_Absinkschema	55
03.1_Optik unter Wasser	20	07.2_Besatzungsschema	56
03.2_Akustik unter Wasser	22	07.3_Technische Daten	56
04_Leben und Arbeiten unter Wasser	23-31	07.4_Ansichten	57
04.1_Leben in beengten Verhältnissen	23	07.5_Grundrisse	63
04.2_Psychische Besonderheiten	24	07.6_Schnitte	67
04.3_Forschung unter Wasser	26	07.7_Erschließungsdiagramm	71
04.4_Pfahlbauten Attersee	27	07.8_Innenraum	72
04.5_Arbeiten unter Wasser	29	07.9_Druckregulierung	76
04.6_Archäologisches Arbeiten unter Wasser	30	07.10_Flutungsschema	77
04.7_Arbeiten in Süß- und Salzwasser	31	07.11_Plugs	78
05_Modellstudien	32-44	07.12_robotic arms	80
05.1_Tintenstruktur	33	07.13_Geräte	81
05.2_Stoffstudien	34	07.14_Boje	82
05.3_Auftriebsmodell	36	07.15_Energiegewinnung	82
05.4_Faltstruktur I	37	07.16_Standkonstruktion	83
05.5_Faltstruktur II	38	07.17_Hüllkonstruktion Varianten	86
		07.18_Detail	96
		07.19_Material	97
		07.20_Perspektiven	99
		08_Bibliografie	101-104

## 00\_Vorwort

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden verschiedene Aspekte des Lebens und Arbeitens unter Wasser in Betracht gezogen.

Für den Entwurf dieser Unterwasserforschungsstation war es wichtig sich intensiv mit dem Medium Wasser und seinen physikalischen Eigenschaften auseinanderzusetzen.

Anders als an Land befindet man sich in einem abgeschlossenen Habitat das man nicht einfach so verlassen kann , was wiederum zu psychologischen und physiologischen Schwierigkeiten führt. Ähnlich wie beim Leben im Weltraum ist man hier einer extremen Umgebung ausgesetzt und muss sich seiner Umwelt anpassen. Weltweit gibt es nur eine Unterwasserforschungsstation, obwohl uns das Meer, auch aufgrund seiner Nähe, sicherlich viel zu bieten hätte.

Obwohl die Erde zum größten Teil mit Wasser bedeckt ist wurden bisher nur Bruchteile davon erforscht.

Mitte des 20. Jahrhunderts sprach man bereits von "Raumstationen im Weltinneren" man war neugierig was man in der Tiefe alles entdecken konnte. Da sich die Funde bisher jedoch auf Öl und Manganknollen beschränken blieb das Interesse finanzstarker Gruppen, in Bezug auf die Erforschung und den Bau weiterer Stationen, aus.

Liquidlabs bietet neue Möglichkeiten: von Forschungsexpeditionen für Archäologen / Biologen /Akustikforscher , Training für Astronauten, bis hin zu interessierten Privatpersonen. Aufgrund dessen ist "liquidlabs" multifunktional konzipiert, so, dass es unterschiedlichen Benutzergruppen alle Annehmlichkeiten bieten kann.

"Nicht nur aus Neugier sollten wir die Ozeane erforschen, unser Überleben könnte davon abhängen."

John F. Kennedy

# 01\_Die Geschichte des Tauchens

## 01.1\_Zeittafel

Die Anfänge des Tauchens begannen mit dem sogenannten Apnoe (Nichtatmung) Tauchen, dem Tauchen ohne Gerät, nur mit eigener Atemluft. Das Apnoetauchen ist die älteste und ursprünglichste Form des Tauchens.

In den Anfängen des Tauchens spielte die Nahrungsversorgung, tauchen nach Muscheln, Schwämmen und anderen Meerestieren, und der wirtschaftliche Aspekt eine große Rolle.

**4500 v. Chr.** gibt es erste Belege durch archäologische Funde, die die Existenz von Apnoetauchern in Ostasien, Indien und im Arabischen Meer belegen. Diese tauchten nach Perlen, Perlmutter, Schwämmen und Korallen.

In der japanischen Präfektur Mie tauchen bis zum heutigen Tag die so genannten Ama [Bild\_01] („Meerfrauen“) ohne Schnorchel und Pressluftgerät nach Awabi-Muscheln und Perlen.

**460 v. Chr.** Der Grieche Scyllias, führt erstmals Atemluft in einem umgedrehten Kessel mit sich, beim Bergen von Gütern versunkener Schiffe.

**350 v. Chr.** Aristoteles berichtet von Schwammtauchern, die Tauchglocken verwenden. Alexander der Große soll in seiner Jugend einen Tauchversuch in der neuartigen Konstruktion gemacht haben. Das Wissen um den Nutzen und die Funktion von Tauchglocken ging über mehrere Jahrhunderte verloren.

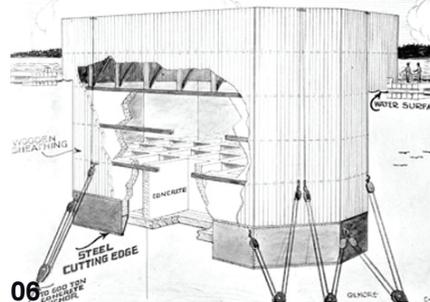
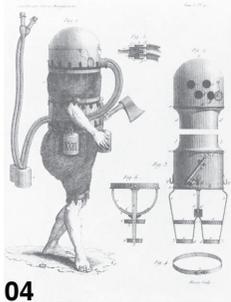
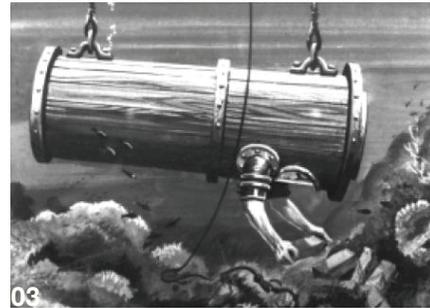
**250 v. Chr.** entdeckte Archimedes die für den Schiffbau und das Tauchen wichtigen Gesetze des Auftriebes. Er erkannte, dass die Auftriebskraft eines Körpers in einem Medium genau so groß ist, wie die Gewichtskraft des vom Körper verdrängten Mediums. Heute nennt man dieses Gesetz Archimedisches Prinzip.

**1500 n. Chr.** entwarf Leonardo da Vinci einen schweinsledernen Tauchanzug [Bild\_02] mit einer Lederkappe und handtellergroßen Glaslinsen als Maske, der die Versenkung der türkischen Kriegsflotte ermöglichen sollte. Zur Luftversorgung plante er einen Blasebalg mit 2 Schläuchen. Ein Nachbau aus dem Jahre 2003 bewies die grundsätzliche Funktionsfähigkeit der Konstruktion.

**1691** zeigte Edmund Halley der Öffentlichkeit eine Tauchglocke mit Luftversorgung. Zusätzlich zur Glocke wurden mit Luft gefüllte Fässer abgelassen. So konnte die Glocke mit Frischluft befüllt werden.

**1715** stellte der Brite John Lethbridge seine „Tauchtonne“ [Bild\_03] vor. Es han-

delte sich um einen geschlossenen Panzertauchanzug. Der Taucher befand sich in einer hölzernen Tonne so, dass nur die Gliedmaßen dem Wasserdruck ausgesetzt waren.



**1797** Mit einem schlauchversorgten Helmtauchanzug [Bild\_04] des Deutschen Heinrich Klingert gelingt es, in ca. 6m Tiefe, in der Oder bei Breslau, einen Baumstamm durchzusägen.

**1800** führte der aus der Ostseestadt Barth stammende Kapitän Peter Kreeft einen funktionierenden Helmtauchanzug [Bild\_05] in der Ostsee vor.

Ab **1840** kam es zu häufigen Einsätzen von Caissons [Bild\_06]. Diese Weiterentwicklung der Tauchglocke wird bis heute für die Konstruktion von Gebäuden genutzt. Ein druckfester Kasten wird über den Grund des zukünftigen Fundamentes gebracht, abgesenkt und anschließend mit Druckluft das Wasser herausgepresst. Danach können Arbeiter im Caisson am Boden des Gewässers das Fundament Ausschachten und anschließend den Bau errichten.

**1917** baute die deutsche Firma Neufeldt und Kuhnke die ersten funktionierenden Panzertauchanzüge [Bild\_07]. Ein Panzertauchanzug ist vergleichbar mit einem U-Boot eine druckfeste Konstruktion. Der Taucher befindet sich im Inneren des Anzuges unter Normaldruck. Die maximale Tauchtiefe ist durch die Druckfestig-

keit des Anzuges vorgegeben.

**1930** wurde der Kunststoff Neopren von den US-Amerikanern Collins und Carothers im Auftrag des Chemiekonzerns DuPont entwickelt. Moderne Tauchanzüge bestehen hauptsächlich aus diesem Material und erlauben einen längeren Aufenthalt in kälteren Gewässern.

**1933** konstruiert der Franzose Louis Ce Corlieu Schwimmflossen. Bisher konnten Taucher nur mit schweren Schuhen aufrecht auf dem Grund laufen.

Zwischen **1942/43** entwickelten Georges Comminhes und Emile Gagnan auf Anregung des bekannten französischen Meeresforschers Jacques-Yves Cousteau die „Aqualung“. Die Aqualung [Bild\_08] war der erste Lungenautomat. Der Lungenautomat gibt die Luft genau mit Umgebungsdruck an den Taucher ab.

**1960** erreichte die Trieste [Bild\_09], als erstes U Boot das Challengertief, eine der tiefsten Stellen des Weltmeeres. Insassen waren der Schweizer Jaques Piccard und der Amerikaner Don Walsh.

**1959-1963** wurde das „Dekometer“ [Bild\_10] eingeführt. Es handelte sich um einen Rechner, der aus Tauchzeit und Tiefe die Dekompressionszeit ermittelte.

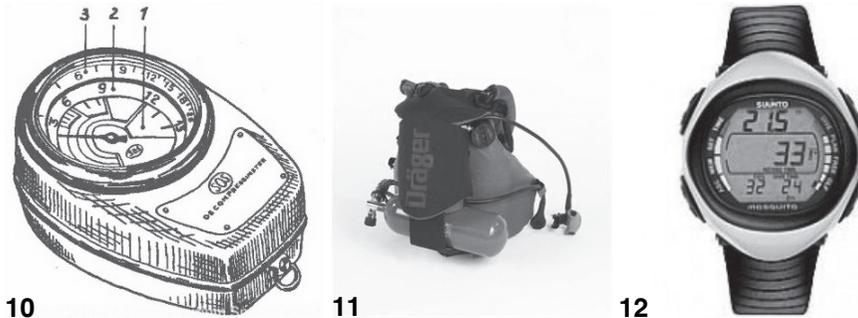
Zwischen **1962 und 1970** betrieben Frankreich und die USA erste Unterwasserstationen zur Erforschung der Langzeiteinwirkung des Druckes auf den menschlichen Körper.

In den **1960ern** wurden an der State University of New York erste frühe Versuche der Flüssigkeitsatmung durchgeführt. Als Versuchstiere wurden Mäuse genutzt.

Ab **1968** wurde das aufgrund mehrerer tödlicher Unfälle umstrittene elektronisch geregelte Kreislaufgerät [Bild\_11] eingeführt. Ursprünglich wurde mit reiner Sauerstoffzufuhr gearbeitet. Da reiner Sauerstoff ab 7m Tiefe giftig ist, werden derartige Geräte inzwischen meist mit Pressluft betrieben und gelten als zuverlässig.

**1971** stellte der Hersteller Scubapro die erste Tarierweste vor. Auftriebskontrollwesten gehören heute zur Grundausstattung jedes Tauchers.

In den **1980ern** wurden die ersten zuverlässigen Tauchcomputer [Bild\_12] vorgestellt. Die elektronische Rechentechnik erlaubt, die Stickstoffsättigung des Körpers präziser zu berechnen. Beim modernen Tauchen werden die klassischen Tabellen nur noch in der Grundausbildung eingesetzt.



In den **1990ern** führten sinkende Preise und die Sicherheit moderner Technik zu einem Boom des Sporttauchens.

Seit **1990** wird u.A. an der Berliner Charité an der Flüssigkeitsbeatmung geforscht. Perfluorocarbon soll als Atemgasersatz dienen.

Seit einigen Jahren testet COMEX auch neuartige Atemgasgemische. Ziel ist, das teure Helium durch preiswertere Gase wie Wasserstoff zu ersetzen.

- 07\_ Panzertauchanzug Neufeldt Kuhnke
- 08\_ Aqualung
- 09\_ Trieste
- 10\_ Dekometer
- 11\_ elektronisches Kreislaufgerät
- 12\_ Tauchcomputer
- 13\_ Sealab I
- 14\_ Sealab II
- 15\_ Sealab III
- 16\_ Precontinent II
- 17\_ Precontinent III
- 18\_ Helgoland
- 19\_ Tektite I und II
- 20\_ Hydrolab
- 21\_ MarineLab

## 01.2\_Tauchstationen

**1960–2008:** Existieren nacheinander rund 56 Forschungs-Habitate verschiedener Nationen im Meer. Es gab viel zu untersuchen: Die Einwirkung des Druckes, die Gassättigung und die geringe Lichtintensität der Tiefe auf den menschlichen Körper und die Psyche. Man testete Materialien, Ausrüstungsteile der Off-Shore-Industrie und versuchte komplexe Ökosysteme tauchend zu erforschen und gewann so neue Erkenntnisse über die Zoologie und die Unterwasserfauna.

Die Stationen verblieben während des Forschungsauftrages in der festgelegten Tiefe, die Versorgung war über Schiffe oder von Land sichergestellt.

Nachdem in Druckkammern viele der bis dahin nur „nass“ durchgeführten technischen und physiologischen Experimente nachvollziehbar wurden, verloren Unterwasserstationen ihre Bedeutung. Teure Infrastrukturen zur Versorgung der Habitate, Wetterabhängigkeit und Sicherheitsaspekte bei Experimenten in großer Tiefe gaben den Ausschlag, dass Forschungsprojekte an Labors vergeben wurden, deren Druckkammern die geforderten Verhältnisse künstlich herstellen können.

Nachfolgend sollen einige dieser Stationen vorgestellt werden:

### Experimente unter dem Namen Genesis 1956:

**1964-MAN-IN-THE-SEA-Projekt** (Bahamas) unter dem US-Amerikaner Edwin Link und Dr. George Bond. Robert Stenuit und John Lindbergh leben im Zelt zwei Tage auf 130 Meter. Sie nutzten ein Helium-Atemgasgemisch dieses verursachte Kommunikationsprobleme. Anschließend gab es eine trockene Dekompression.

### Sealab (USA): jeweils in Form eines liegenden Zylinders

**Sealab I** [Bild\_13] 1964 (Bermudas): Station mit fünf Mann Besatzung auf 60 Meter Tiefe. Zur fünfköpfigen Besatzung gehörte der Astronaut Scott Carpenter. Eine spezielle „Gaszelle“ sorgte für störungsfreie Kommunikation.

**Sealab II** [Bild\_14] 1965 (La Jolla, Kalifornien): drei verschiedene Besatzungen auf 60 Meter unter der Leitung von Scott Carpenter. Erstmals waren Wissenschaftler zur Forschung in der Station. Tauchgänge gingen bis auf 100 Meter. Tauchrekord von Carpenter mit 29 Tagen auf 60 Metern. Botendienste zur Oberfläche wurde durch einen zahmen Delphin getätigt.

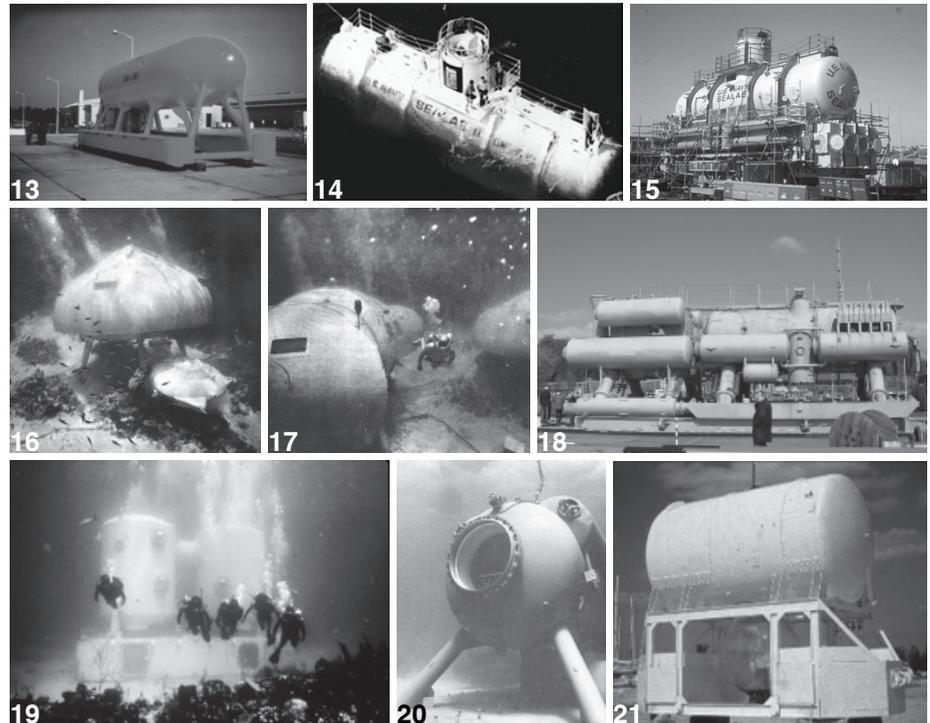
**Sealab III** [Bild\_15] 1969 (San Clement, Kalifornien): Lag bei 180 Meter; es gab einen tödlichen Unfall bei der Erprobung eines Kreislaufgeräts durch fehlenden Atemkalk. Dadurch kam es zum vorzeitigen Abbruch.

**Projekte Conself/ Precontinent I-III (Frankreich, Unterwasserhäuser von Jacques-Yves Cousteau).**

**Precontinent I** 1962 (Marseille): Cousteaus Taucher arbeiteten und forschten zwei Wochen in 10 Meter Tiefe im Zelt-Haus Diogenes, analog den ersten Ed Link-Experimenten.

**Precontinent II** [Bild\_16] 1963 (Shaab Rumi vor Port Sudan): Haus in Seesternform mit Unterwassergarage für U-Boot auf 10 Meter Tiefe. Weiteres in 27 Meter Tiefe gelegenes zweistöckiges Haus, als stehender Zylinder. Vermutlich war es die erste Unterwassersiedlung.

**Precontinent III** [Bild\_17] 1965 (Cap Ferrat, Monaco): zweistöckiges Kugelförmiges Haus von rund 6 Metern Durchmesser für sechs Personen mit Atemgas-



gemisch. Kompression und Dekompression trocken in und mitsamt Station im Hafen. Gesamtdauer 130 Tage auf 110 Meter.

**Weitere , teils Private Tauchstationen**

**Helgoland** [Bild\_18] 1968-1979 (Deutschland), weltweit erste Kaltwasserstation. Form eines liegenden Zylinders in 23 Meter Tiefe. Hoher Aufwand und schnelle Verschlammung der Station. Diverse Zulieferungen erfolgten über eine Versorgungsboje.

**Tektite I und II** [Bild\_19] 1969 und 1970 (Jungferinseln, USA): zwei stehende, zweistöckige Zylinder auf 15 Meter Tiefe. Schwerpunkt: wissenschaftliche Unterwasserforschung im Korallenriff.

**Hydrolab** [Bild\_20] 1970-1985 (Bahamas, ab 1977 Virgin Islands), NOAA

**MarineLab** [Bild\_21] früher MEDUSA (Midshipman Engineered And Designed Undersea Systems Apparatus), 1984 (Key Largo, Florida) fungierte als Labor.

**Jules Undersea Lodge** [Bild\_22] (Key Largo, Florida), war früher ein Labor und wurde später zum Hotel umgenutzt. Die Station gilt als das weltweit erste Unterwasserhotel und steht in 10 Meter Tiefe. Der Innendruck der Station beträgt 1 bar. Die Station ist mit zwei Schlafzimmern (7 m²), einem Nassraum (18m²), Duschen, einem Gemeinschaftsraum mit Küche (13m²) ausgestattet.

**Divescope** [Bild\_23] (Neukaledonien), durchsichtige stationäre Taucherglocke.

**Abyss** [Bild\_24] 2007 bzw. Progetto Abissi 2007 (Ponza, Italien), für eine Fernscheidung.

**AQUARIUS LABS** [Bild\_25] 1986 bis heute; Das letzte noch aktive UW-Labor AQUARIUS LABS gehört der University of North Carolina, die es gemeinsam mit der NOAA in 20 m Tiefe 4,5 km vor Key Largo, Florida, für Forscher bereit hält. Unter anderem bildet die Nasa dort Astronauten weiter. Es stand ab 1986 vor den U.S. Virgin Islands, ehe es nach Überholung von 1992 bis heute in die Florida Keys verlegt wurde.

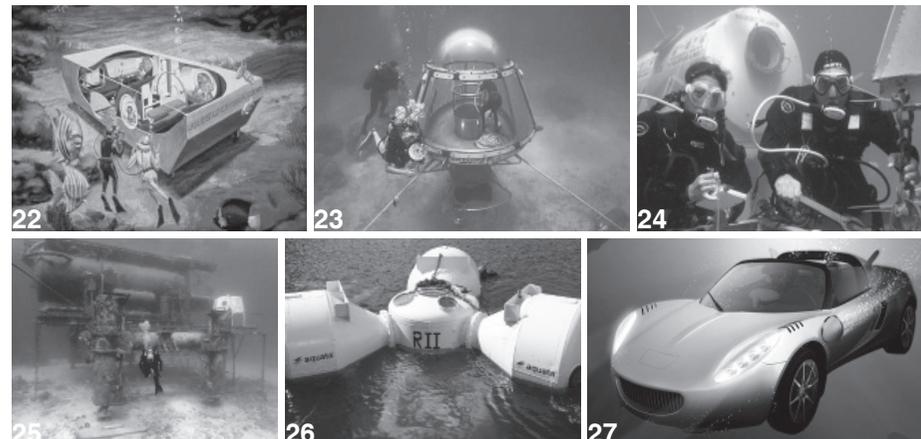
**Conrad Maldives Rangali Island** 2007, Eines der Restaurants im Resort “Conrad Maldives Rangali Island” ist vollverglast und befindet sich 4m unter der Wasseroberfläche.

**Habitate R I, R II und R III** [Bild\_26] ab August 2008: im Wildschütz bei Torgau / Deutschland. Bergwitzsee, Privatbau von Volker Buder.

**Red Sea Star**, Eilat Israel 1997

Unterwasserrestaurant in 5 m Tiefe. Die Gäste sind keinem Druckwechsel ausgesetzt, sondern betreten die Anlage über einen Korridor von der Wasseroberfläche.

„**sQuba**“ [Bild\_27] von Rinspeed, das erste Auto, das den Unterwasser-Flug bis zu zehn Metern Tiefe beherrscht, in der das Fahrzeug in einen dauerhaften Schwebestand gelangt. Das unterscheidet den „sQuba“ von militärischen Vehikeln, die zwar abtauchen können, dann aber behäbig über den Grund rumpeln. Drei Motoren sind im Heck untergebracht. Einer sorgt für Vortrieb zu Lande, zwei treiben die Propeller für die Unterwasserfahrt an. Unterstützt werden sie durch zwei leistungsstarke Seabob-Jetantriebe im Bug, die durch spezielle Drehlamellen von HS Genion „atmen“.



## 01.3\_Projekte in Planung

Ideen den Meeresboden bewohnbar zu machen scheitern meist am Interesse finanzstarker Gruppen. Forschungseinrichtungen werden wie im vorhergehenden Kapitel beschrieben, an Land in Druckkammern betrieben, wobei hier nicht alle Forschungseinrichtungen berücksichtigt werden wie z.B. die Biologie oder die Archäologie.

Urlaub in einem Unterwasserhabitat anstatt in einem Resort mit angeschlossener Tauchbasis zu machen, könnte auch interessant für Taucher und Wasser sportbegeisterte sein.

Nachfolgend sollen einige dieser Projekte vorgestellt werden:

„**Sea Orbiter**“ [Bild\_28] Der französische Architekt Jaques Rougerie hat dieses Schiff entworfen es soll 52m hoch werden und dabei zu zwei Dritteln unter der Wasseroberfläche liegen. Der Seaorbiter soll still in der Strömung treiben und so ermöglichen unbekannte Teile des Ozeans zu erkunden.

In Teilen der Station wird der Luftdruck dem Wasserdruck angepasst. Die Kosten werden auf ca 40 Millionen Euro geschätzt. Als möglicher Zeitpunkt für den Stapellauf wird 2012 angegeben.

**Trilobis 65 Floating Home** [Bild\_29] Eine Studie eines schwimmenden Hauses mit Unterwasser- Wohnraum. Eine Kombination aus Motor- und Hausboot mit der Idee dort eingesetzt zu werden, wo man aus den Panoramafenstern der Halbkugel unter Wasser Riffe beobachten kann.

**Poseidon Resort Fidji** [Bild\_30] Die Anlage wird sich in einer Tiefe von 13m befinden und über Aufzüge erreichbar sein. 24 Zimmer ein großes Restaurant sowie Bar/Lounge, Bibliothek, Konferenzraum, Hochzeitskapelle, Unterwasser Spa und die sogenannte Nautilus Suite.

Die Anlage besteht aus 24 Kapselmodulen die durch einen Tunnel miteinander verbunden sind. Die Fertigstellung ist für Ende 2010 geplant aber verzögerte sich schon mehrmals.

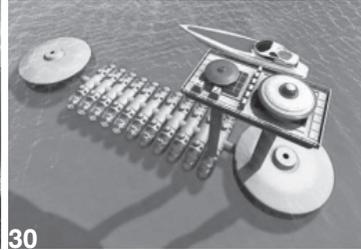
**Ocean Base** Die Ocean Technology Foundation plant eine Station die von einer Art Ölplattform über Aufzüge erreichbar sein wird. Eine kleinere Station wird auf 61m angebracht, die Meeresgrundbasis soll auf 165m montiert werden. Die Anlage soll unter 1 bar Innendruck stehen. Eine Schleuse erlaubt auch Exkursionen.



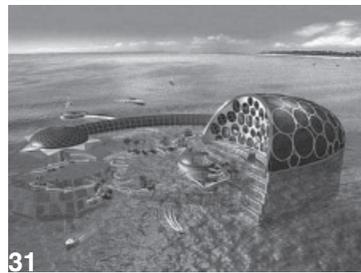
28



29



30



31

**Hydropolis** [Bild\_31] sollte das erste mehrräumige Unterwasserhotel der Welt werden. Geplant sind über 220 Zimmer (Gesamtfläche ca 75 000 m<sup>2</sup> ) in einer Tiefe von 20 m. Ein Plexiglas Tunnel soll das Hotel mit der Landstation verbinden. Baukosten ca 520 Millionen Euro.  
Projektstand: Unbekannt

22\_ Jules Undersea Lodge  
23\_ Divescope  
24\_ Abyss  
25\_ Aquarius Labs  
26\_ Habitate RI,RII,RIII  
27\_ sQuba

28-Sea Orbiter  
29- Tribolis Floating Home  
30- Poseidon Resort Fidji  
31- Hydropolis

**Druck** Der Druck wird in der Physik berechnet als Quotient aus einer Kraft und der Fläche, auf die diese Kraft wirkt. Luft und Wasser üben auch Druck aus, durch das Gewicht der Luft bzw. Wasserteilchen. Der Luftdruck auf Meereshöhe beträgt dabei rund 1 bar, im Wasser nimmt er pro 10 Meter Wassertiefe etwa um 1 bar zu. Physikalisch exakt ist dieser Druck erst bei 10,33 m erreicht. In 10 Metern Tiefe herrscht also ein Druck von etwa 2 bar, in 20 Metern sind es schon 3 bar Druck.

Für Tauchgänge in Meereshöhe kann man den absoluten Druck vereinfacht wie folgt berechnen.

$$\begin{array}{l} \text{Luftdruck in Meereshöhe (1bar)} \\ + \text{Wasserdruck (0,1 bar/mWS)} \\ = \text{Umgebungsdruck beim Tauchen} \end{array}$$

**Hydrostatischer Druck** ist der Druck, der sich innerhalb einer ruhenden Flüssigkeit unter dem Einfluss der Gravitationskraft einstellt. Es ist eine statische Größe, die ausschließlich von der Höhe des Flüssigkeitsspiegels über dem Messpunkt abhängt.

Der hydrostatische Druck berechnet sich nach dem Pascal'schen Gesetz (benannt nach Blaise Pascal):

$$p(h) = \rho * g * h$$

$p(h)$  - Hydrostatischer Druck als Funktion der Wasserhöhe;  $[p] = \text{Pa}$

$g$  - Schwerebeschleunigung;  $[g] = \text{m/s}^2$

$\rho$  - Dichte (für Wasser:  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ );  $[\rho] = \text{kg/m}^3$

$h$  - Höhe der Flüssigkeitssäule;  $[h] = \text{m}$

Zur vollständigen Beschreibung des Drucks einer ruhenden Flüssigkeit muss man zum hydrostatischen Druck noch den Umgebungsdruck addieren.

Zur Beschreibung des hydrostatischen Druckes wird zum Teil die nicht SI-konforme alte Maßeinheit „Meter Wassersäule“ (Abkürzung 1 m WS) verwendet.

**Hydrodynamischer Druck** Der Druck in strömenden Medien setzt sich aus einem statischen und einem dynamischen Anteil zusammen. Während beide Teile von der Dichte abhängen.

Der hydrodynamische Druck resultiert aus der kinetischen Energie an der Oberfläche eines Körpers in einer Strömung. Es ist nach Daniel Bernoulli die Veränderung des Oberflächendruckes gegenüber dem hydrostatischen Druckes.

Durch die Strömung entsteht in kleineren Querschnitten eine hydrodynamische

Verringerung des hydrostatischen Druckes, in größeren Querschnitten eine Erhöhung. Der hydrodynamische Druck ist dabei zwar nicht direkt messbar, wird aber zur Geschwindigkeitsmessung des Fluids verwendet.

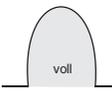
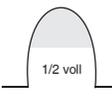
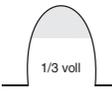
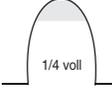
$$p = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2$$

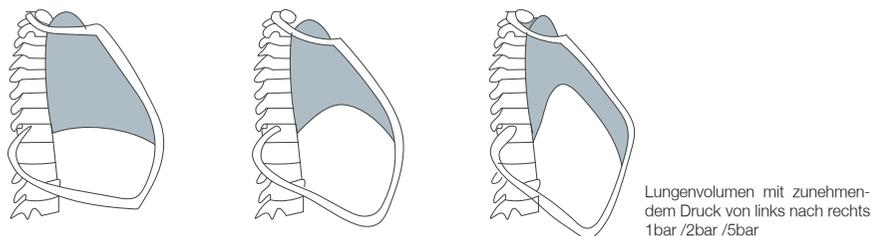
(p ist der dynamische Druck, ρ ist die Dichte des strömenden Fluids und v ist die Geschwindigkeit)

**Dichte** Die Dichte des Wassers beschreibt sich allein durch die Temperatur (bei +4 °C ist Wasser am dichtesten). Anders dagegen der Salzgehalt (die Salinität): Es ist durchaus ein Unterschied, ob man in Salzwasser oder in Süßwasser taucht. Salzwasser ist dichter als Süßwasser; somit ist in Salzwasser ein bestimmter Druck bereits bei geringerer Wassertiefe erreicht als in Süßwasser. Da alle gängigen Messinstrumente für die Tiefe auf dem Wasserdruck beruhen, müssen diese jeweils für den Betrieb in Meerwasser oder Süßwasser eingestellt werden.

### Beziehung von Druck/Volumen/Dichte

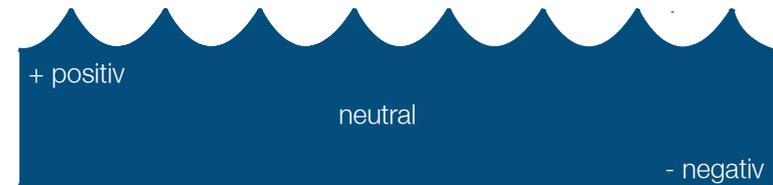
Der Druck im Salzwasser nimmt alle 10 Meter um 1 bar zu.

Tiefe	Druck	Luftvolumen	Abtauchen	Aufsteigen	
0 m	1 bar	voll	 x 1	x 4	
10 m	2 bar	1/2 voll	 x 2	x 2	(1 bar Wasser- + 1 bar Luftdruck)
20 m	3 bar	1/3 voll	 x 3	x 1 1/3	
30 m	4 bar	1/4 voll	 x 4	x 1	



**Auftrieb eines Objektes** Der statische Auftrieb eines von Wasser umgebenen Körpers wirkt der Gewichtskraft, dem Abtrieb, entgegen und entspricht der Gewichtskraft des verdrängten Wassers (Archimedisches Prinzip). Wenn die Auftriebskraft kleiner ist als die Gewichtskraft, sinkt der Gegenstand, ist sie größer, steigt er auf. Befindet sich also ein Körper in einem Fluid (Gas oder Flüssigkeit), so erfährt der Körper einen Auftrieb (Gewichtsverminderung), die dem Betrag des Gewichts der von ihm verdrängten Fluidmenge entspricht.

- positiv    verdrängt grössere Wassermenge als Eigengewicht     schwimmt
- negativ    verdrängt kleinere Wassermenge als Eigengewicht     sinkt
- neutral    gleichgrosse Wassermenge wie Eigengewicht     schwebt unter Wasser



Neutraler Auftrieb = schwerelos = kontrollierter Abstand vom Grund

**Salzwasser** Der Gefrierpunkt des Meerwassers liegt bei -1,9 °C bei einem durchschnittlichen Salzgehalt von 3,5 %. Die Salze werden permanent aus den Steinen und Gesteinsschichten des Festlandes durch Regen und Schmelzwasser ausgewaschen. Durch Verdunstung wird die ursprünglich verdünnte Salzlösung weiter konzentriert, und es entsteht salziges Meerwasser.

Dieser Effekt würde den Salzgehalt der Meere langsam, aber kontinuierlich steigen lassen, wenn nicht gleichzeitig Salz dem Meer wieder entzogen würde. Dies geschieht z.B. durch die Austrocknung von Meeren, wodurch das Salz wieder auf dem Festland abgelagert wird. Des Weiteren wird Meerwasser in den Poren der Sedimente auf dem Meeresboden eingeschlossen und so das Salz dem Wasser entzogen.

**Wassertemperatur** Die Wassertemperatur ändert sich mit der Tiefe. Ein abrupter Übergang zu kälteren Wasser heißt (thermische) Sprungschicht (diese kann bis zu 10 und mehr Grad Differenz betragen).

- Manchmal kann man die Sprungschicht optisch wahrnehmen.
- Sprungschichten können im Salz- wie im Süßwasser vorkommen.

## 02.2\_Physikalische Eigenschaften von Gasen

**Partialdruck** Als Partialdruck eines Gases bezeichnet man den Teildruck eines Gases, der proportional seiner Konzentration am Gesamtdruck ausgeübt wird.

Die normale Atemluft ist ein Gemisch verschiedener Gase, sie enthält 78 % N<sub>2</sub>, 21 % O<sub>2</sub> und einen geringen Anteil an anderen Gasen. Physiologisch wirksam ist nur der Sauerstoffanteil, Stickstoff ist an der Oberfläche bezüglich des Organismus neutral, d. h. er löst keine Stoffwechselreaktionen aus.

Das Daltonsche Gesetz besagt: Der Gesamtdruck eines Gases setzt sich zusammen aus den Partialdrücken der in diesem Gas vorhandenen Einzelgase. Beispielsweise herrscht in 40 m Tiefe ein Druck von 5 bar, und bei einem Sauerstoffanteil von 21 % in der Atemluft bedeutet dies einen Partialdruck dieses Gases von 1,05 bar, das entspricht dem Atmen von reinem Sauerstoff an der Oberfläche.

Der für unser lebensnotwendige Sauerstoff lagert sich an das Hämoglobin an. Unter anderen Druckverhältnissen jedoch können die eingeatmeten Gase zu toxischen Wirkungen führen, denn ab ca 20m Tiefe lagert sich auch das N<sub>2</sub> an das Hämoglobin (Sauerstofftransportprotein) an. Es besteht die Gefahr der Stickstoffnarkose („Tiefenrausch“). Beispielsweise treten erste Schädigungen des Lungengewebes auf, wenn man Sauerstoff mit einem Partialdruck von 1,6 bar länger als 45 Minuten einatmet.

**Eigenschaften von komprimierten Gasen** Nach dem Gesetz von Boyle-Mariotte ist bei Gasen das Produkt aus Volumen und Druck konstant. Das bedeutet, dass sich die beiden Parameter Druck und Volumen umgekehrt proportional zueinander verhalten: Verdoppelt man den Druck einer gegebenen Gasmenge, so verringert sich ihr Volumen auf die Hälfte.

Umgekehrt proportional = verdoppelt sich der Gesamtdruck, halbiert sich das Luftvolumen. Das heißt, verdreifacht sich der Druck, verringert sich das Volumen auf 1/3.

Da in der Tiefe der Druck erhöht ist, das Lungenvolumen aber stets gleich bleibt, braucht der Taucher mehr Luft, um seine Lunge zu füllen (in 10 m Tiefe doppelt so viel wie an Land auf Meereshöhe).

Wird das Volumen des luftgefüllten Hohlraumes durch Kompression vermindert, erhöht sich die Luftdichte, da diese in einem kleineren Raum hinein- und zusam-

mengepresst (komprimiert) wird.

Um Volumen eines luftgefüllten Hohlraumes bei zunehmenden Druck beizubehalten, muss dem Hohlraum Luft hinzugefügt werden = Druckausgleich.

Die beim Abstieg komprimierte Luft, wird sich beim Aufstieg wieder ausdehnen. Das heisst, der Druck nimmt ab und das Volumen zu.

Je höher der Gasdruck, desto größer wird auch die Viskosität des Atemgases, was ein „zäheres“ Strömen des Gases und damit einen Anstieg des Atemwiderstandes bewirkt. Dies kann zu einer Erschöpfung der Atemmuskulatur und damit zu Atemproblemen führen.

**Lösung in Flüssigkeiten** Je höher der Gasdruck ist, desto mehr Gasmoleküle werden in einer Flüssigkeit gelöst.

Die Folge für den Taucher ist, dass in der Tiefe, wenn er also Luft unter höherem Druck atmet, besonders der darin enthaltene Stickstoff sich im Blut, im Muskelgewebe, im Fett und in den Knochen anreichert.

Wird der Druck dann beim Auftauchen wieder verringert, so sinkt auch die Lösungsfähigkeit des menschlichen Körpers für dieses Gas, es wird langsam wieder abgegeben und über die Lunge ausgeatmet, auch noch Stunden nach dem Tauchgang.

Es ist wichtig den Stickstoffgehalt des Körpers abhängig von Tauchtiefe und –zeit zu berücksichtigen. Ist nämlich zu viel Stickstoff im Blut gelöst und erfolgt die Druckentlastung (das Auftauchen) zu schnell, so kann das überschüssige Gas nicht vollständig über die Lunge abgegeben werden, und es bilden sich mikroskopisch kleine Bläschen im Blut. Wenn diese sich miteinander zu größeren Bläschen verbinden, führt dies zu Embolien und damit zu einem lebensbedrohlichen Zustand, der Dekompressionserkrankung genannt wird.

Um dem Körper Zeit zur Stickstoffentsättigung zu geben und um die Bildung von Bläschen zu verhindern, muss man ab einem bestimmten Sättigungsgrad beim Auftauchen eine oder mehrere Pausen, sog. Dekompressionsstopps, einlegen, in denen die Tiefe konstant ist.

**Temperatur** Der Druck einer fest umschlossenen Gasmenge steigt bei Erwärmung und fällt bei Abkühlung (Gesetz von Gay-Lussac). Im Umkehrschluss kann man daraus folgern: Die Temperatur einer fest umschlossenen Gasmenge erhöht sich bei steigendem Druck und fällt bei sinkendem Druck.

Da eine Pressluftflasche für das Gerätetauchen typischerweise einen anfänglichen Druck von 200 bar aufweist, aber selbst in 40 m Wassertiefe nur 5 bar herrschen, wird die Atemluft bei Entnahme aus der Flasche stark entlastet und kühlt also ab.

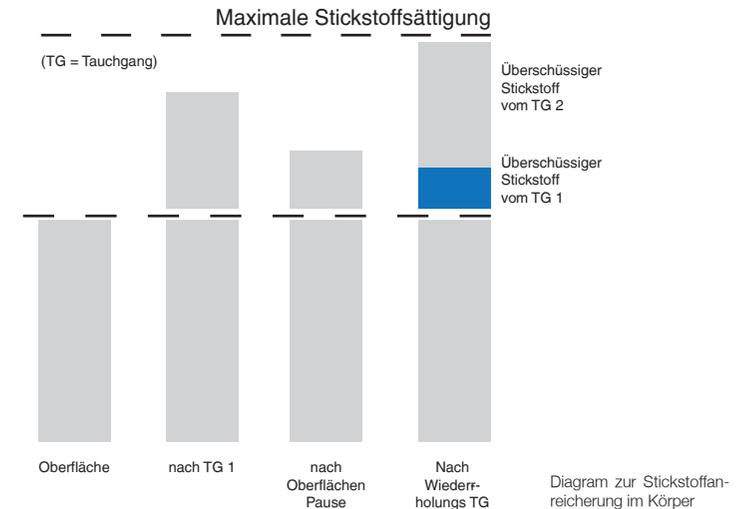
Dies begünstigt das Vereisen des Lungenautomaten, besonders beim Tauchen in kühlen und kalten Gewässern, was zur unkontrollierten Abgabe von Luft führen kann, oder im schlimmsten Fall zur Blockierung jeglicher Luftzufuhr.

**Wärmeleitfähigkeit** Die Wärmeleitfähigkeit von Gasen nimmt mit ihrer Dichte zu. In der Tiefe atmet der Taucher komprimierte, also dichtere Luft, die in der Lunge erwärmt wird, so dass er allein durch das Atmen mehr Wärme verliert als über Wasser. Zusätzlich ist die eingeatmete Luft durch die kurz vorher erfolgte Druckentlastung bei Entnahme aus dem unter hohem Druck stehenden Behälter, vergleichsweise kalt. Dieser Effekt wird durch keine der üblichen Ausrüstungen von Sporttauchern ausgeglichen.

**Trimix** 1930 forschte der US-amerikanische Marine-Offizier Charles Momsen an Problemen der Dekompression und der Stickstoffnarkose. Er testete verschiedene Atemgasgemische und ersetzte das Stickstoff der Atemluft wegen seiner schädlichen Wirkung teilweise durch das Inertgas Helium. Bis zum heutigen Tage wird bei Tieftauchgängen Trimix, eine Mischung aus Stickstoff, Helium und Sauerstoff, eingesetzt.

**Nitrox** ist ein Gasgemisch das mit zusätzlichem Sauerstoff angereichert ist. Statt der natürlich vorkommenden 21 % Sauerstoff enthält Nitrox 32 % bis 40 %. Der Vorteil besteht darin das weniger Stickstoff eingeatmet und im Körper absorbiert wird dadurch kann der Taucher länger unter Wasser bleiben. Allerdings darf er dann nicht mehr so tief tauchen wie mit normaler Luft, denn ab einem bestimmten Druck wirkt der Sauerstoff giftig.

**Tauchtabellen** Tauchtabellen legen max. sichere Zeit- und Tiefengrenzwerte fest, die nicht nur auf der Stickstoffmenge basieren, die man während eines Tauchgangs absorbiert, sondern auch die Stickstoffmenge der vorangegangenen Tauchgänge berücksichtigt. Dies daher, weil es mehrere Stunden dauert, bis der überschüssige Stickstoff den Körper wieder verlässt. Wenn man den Tauchgangs- Planer verwendet und nicht innerhalb von 6 Stunden taucht, sollte der überschüssige Stickstoff abgebaut sein. Ein Tauchgang, der innerhalb von 6 Stunden nach dem vorgehendem erfolgt ist ein Wiederholungstauchgang.



## 02.3\_Physiologische Auswirkungen

**Immersionseffekt** Unter Immersion versteht man das Eintauchen eines Organismus in ein flüssiges Medium. Meistens handelt es sich dabei um Wasser aber nicht zwangsläufig. Es gibt auch Taucheinsätze in Öl (z.B. auf Tankern) oder in Säuren bzw Laugen etc..

Die Immersionseffekte haben erhebliche Auswirkungen auf das Verhalten des Organismus unter erhöhtem Umgebungsdruck und sind im Kontext dieser Arbeit für das Tauchen sowie für das Schwimmen von Bedeutung, da sie grundlegend für das Verständnis insbesondere der tauchmedizinischen Problematik sind.

Nach dem Archimedischen Prinzip reduzieren sich bei der Immersion die Auswirkungen der Erdanziehungskraft auf den Organismus im Wasser. Das hat unter anderem zur Folge, dass im Körper eine Umverteilung des Blutes stattfindet.

**Tauchreflex** Der Tauchreflex ist ein Mechanismus, der den menschlichen Organismus besser an das Wasser anpasst, sobald er untertaucht. Sobald Rezeptoren im Gesicht dem Gehirn Wasser oder Kälte melden, sinkt reflexartig die Herzfrequenz, der Kreislauf schaltet in einen Spar-Modus. Außerdem wird der Kehlkopfingang verschlossen und die Atemmuskulatur wird gehemmt.

So kann kein Wasser in die Lunge gelangen. Vor allem bei Babys kann man diesen Reflex noch sehr ausgeprägt beobachten, er lässt aber zwischen dem sechsten und dem achten Monat nach.

**Auswirkungen von Gasen auf den Organismus.** Wie schon erwähnt, kommt es bereits in geringen Tauchtiefen durch den erhöhten Druck, der auf den Taucher einwirkt, zu Veränderungen im physiologischen Geschehen des Organismus. Diese Veränderungen werden einerseits durch die eingeatmeten Gase verursacht, die sich in den Körpergeweben befinden und andererseits durch die Kompressibilität der Gasvolumina, die in den Körperhöhlräumen (Lunge, Mittelohr, Magen, Darm) vorhanden sind.

Auf die Atemgase in den Körpergeweben wird beim Tauchen mit zunehmender Tiefe ein erhöhter Druck ausgeübt. Mit zunehmenden Druck lösen sich Gase (z.B. Stickstoff und Sauerstoff) in Flüssigkeiten, d.h. sie lösen sich im Körperwasser und im Blut.

**Caissonskrankheit** Da diese Technik erfolgreich war, wurden und werden weltweit viele Brücken mit Caissons gebaut. Die Arbeiter mussten unter hohem Überdruck arbeiten. Die physiologischen Probleme des Druckes waren mangels praktischer Erfahrung nicht bekannt.

Sehr viele Bauarbeiter und auch Helmtaucher erkrankten nach dem Aufstieg an

einer bis dahin unbekanntem Krankheit. Viele starben. Taucher und Caisson-Arbeiter hatten keine hohe Lebenserwartung.

Das rätselhafte und oft tödliche Phänomen wurde als „Maladie de caisson“, „Kastenkrankheit“, „Taucherkrankheit“ und später als „Druckluftlähmung“ benannt. Die Krankheit wird heute als Dekompressionserkrankung bezeichnet.

**Dekompressionskrankheit** Kann immer dann auftreten, wenn Luft unter erhöhtem Druck geatmet wurde. Denn unter Druck absorbieren die Körpergewebe größere Mengen Stickstoff als an der Oberfläche. Lässt der Druck nach, kann er ausperlen und dabei Blasen bilden.

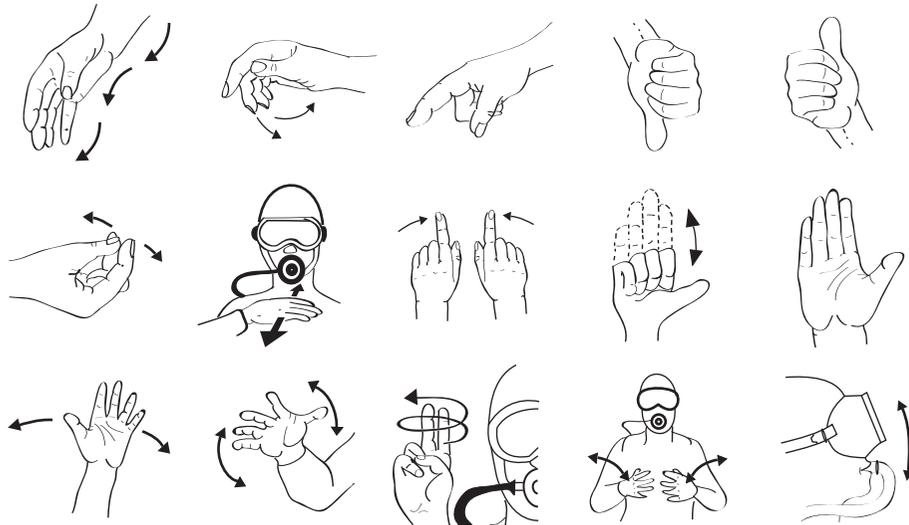
Je nachdem, wo sich diese Blasen bilden, können sie die unterschiedlichsten Symptome auslösen wie Taubheitsgefühle, Prickeln, Hautjucken, Gelenkschmerzen, Schwindel, Atemschwierigkeiten, Lähmungserscheinungen bis hin zu Bewusstlosigkeit und Tod.

Mit Tauchtabellen versucht man, die Stickstoffbelastung des Körpers so gering wie möglich zu halten. Behandelt wird die Dekompressionskrankheit dadurch, dass man den Patienten in einer Druckkammer wieder unter Druck setzt und diesen Druck dann extrem langsam abbaut.

**Tiefenrausch** Ab etwa 30 Metern droht der Tiefenrausch: gedämpfte Reaktionsfähigkeit, Euphorie oder Angstzustände, man fühlt sich wie betrunken und verliert die Orientierung. Unter Druck wirkt der Stickstoff, den man atmet, narkotisch. Im Gehirn bewirkt der Stickstoff zunächst eine rauschartige Euphorie, die dann in Bewusstlosigkeit übergeht.

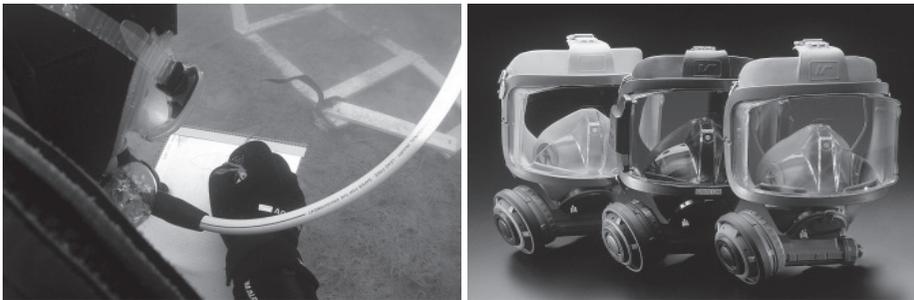
**Kommunikation** [siehe Abbildungen rechts] Die Kommunikation Unter Wasser kann sich durchaus schwierig gestalten. Gängige Kommunikationsmethoden sind:

- Handzeichen
- Tongebung (z.B. klopfen an der Flasche)
- Fingeralphabet (ein besonderer Teil der Gebärdensprache)
- Gebärdensprache (mit Einschränkungen wegen der beschränkten Mimik)
- Schreibtafeln
- UW-Sprechfunk („Buddyphone“ = nur für Vollgesichtsmasken)



oben: Internationale Tauchzeichen

unten: v.l.n.r. Schreiftafel/ Vollgesichtsmasken



wicht als beispielsweise ein Schwimmer in Badekleidung, aber auch ein erheblich größeres Volumen. Das Volumen der Ausrüstung wird durch ihr Gewicht im Normalfall nicht ausgeglichen, so dass zusätzliche Gewichte aus Blei dazu dienen, den Abtrieb zu erhöhen.

Um den Auftrieb unter Wasser steuern zu können, steht dem Taucher eine Blase zur Verfügung, deren Volumen nach Belieben mit Luft aus der Pressluftflasche reguliert werden kann, und die meistens die Form einer Tarierweste hat. Hiermit kann erreicht werden, dass ein Gleichgewicht zwischen Auf- und Abtrieb herrscht, der Taucher also auf konstanter Tiefe schwebt.

### kontrollierter Auftrieb, Tarierungskontrolle

- Ausatmen verringert Lungenvolumen
- negativer Auftrieb
- reduziert Auftrieb
- mehr Bleigewichte
- negativer Auftrieb
- reduziert Auftrieb
- Tarierungsjacket
- positiver/negativer Auftrieb
- regulierbar mit Luft im Jacket

Dichte des Wasser spielt auch eine Rolle für den Auftrieb: Salzwasser hat grössere Dichte als Süßwasser. Im Salzwasser hat man mehr Auftrieb als im Süßwasser. Daher wird im Salzwasser mehr Blei benötigt als im Süßwasser.

**Viskosität** Durch die innere Reibung (Viskosität) des Wassers erfordert die Bewegung unter Wasser deutlich mehr Kraftaufwand als die Fortbewegung an Land. Höherer Energieeinsatz bedeutet aber auch höheren Luftverbrauch, deshalb ist der Taucher bestrebt, sich möglichst effizient zu bewegen und unnötige Anstrengung zu vermeiden.

**Wärmeleitfähigkeit** Die Wärmeleitfähigkeit von Wasser ist wesentlich höher als die der Luft, so leitet es die Körperwärme ca. 20 mal schneller ab als die Luft, deshalb trägt man auch im relativ warmen Wasser einen Kälteschutzanzug, sprich Tauchanzug.

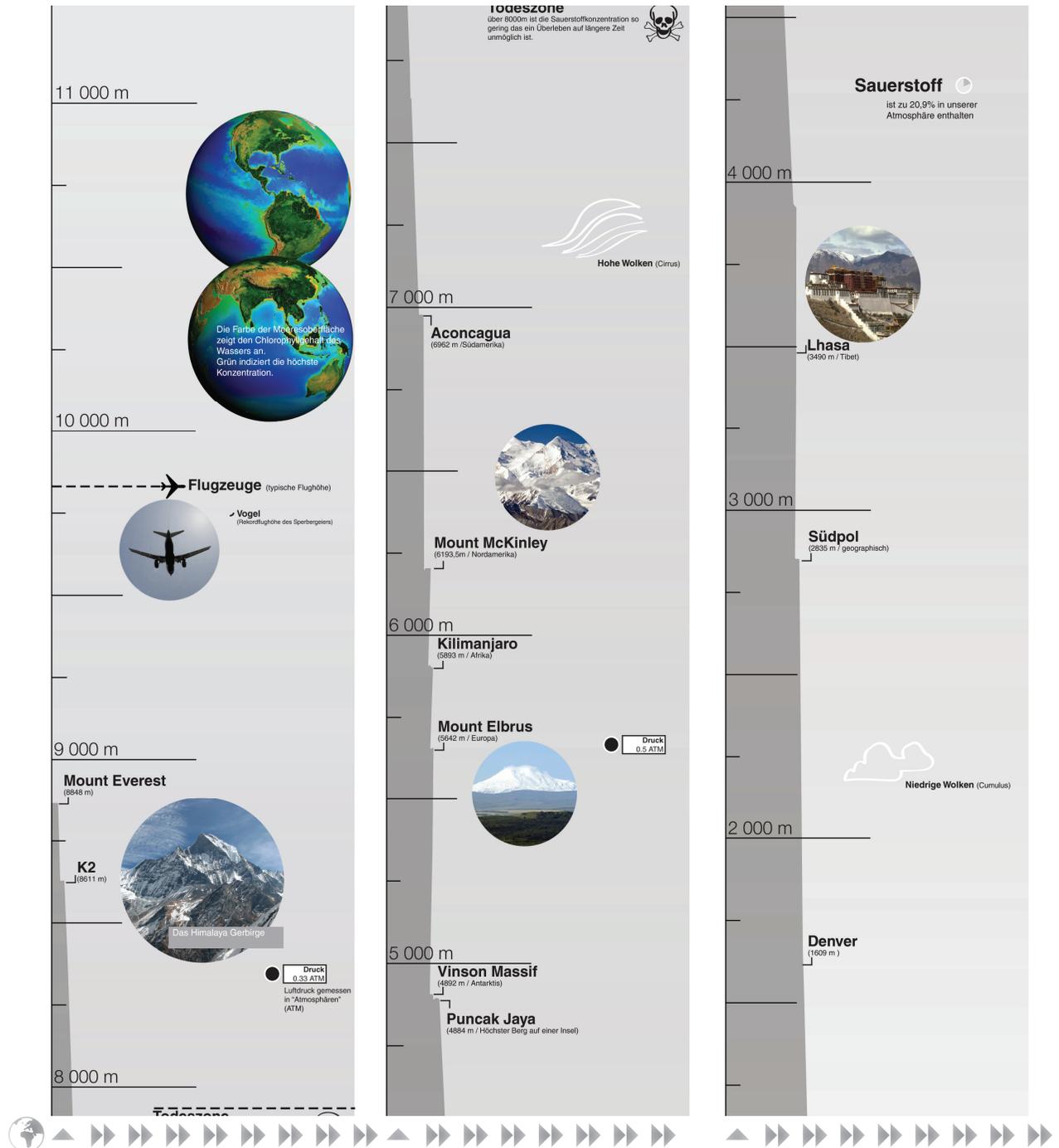
**Tarierung** Durch die mitgeführte Ausrüstung hat der Taucher ein größeres Ge-

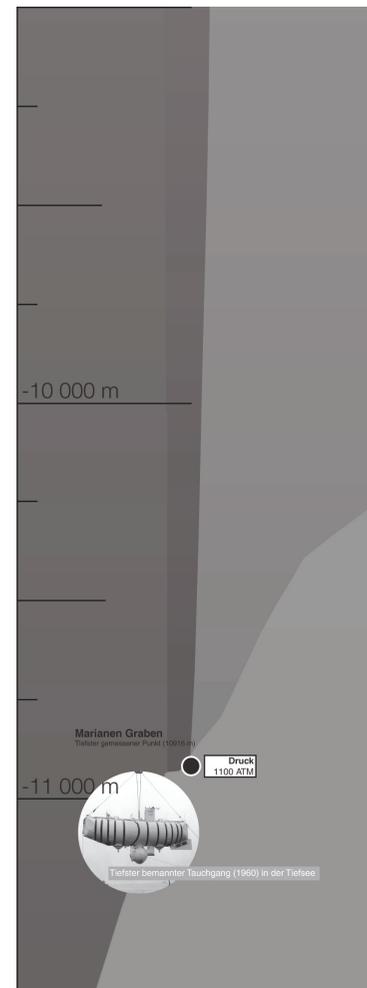
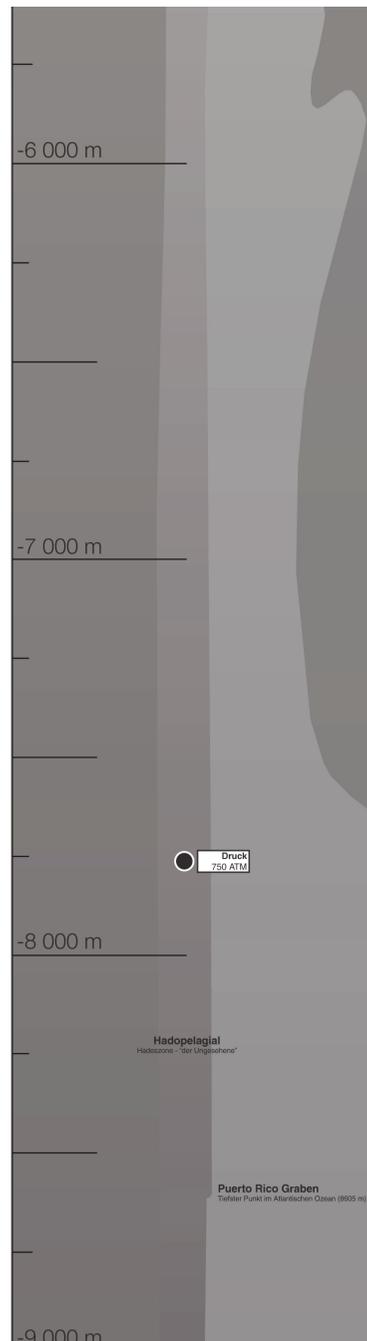
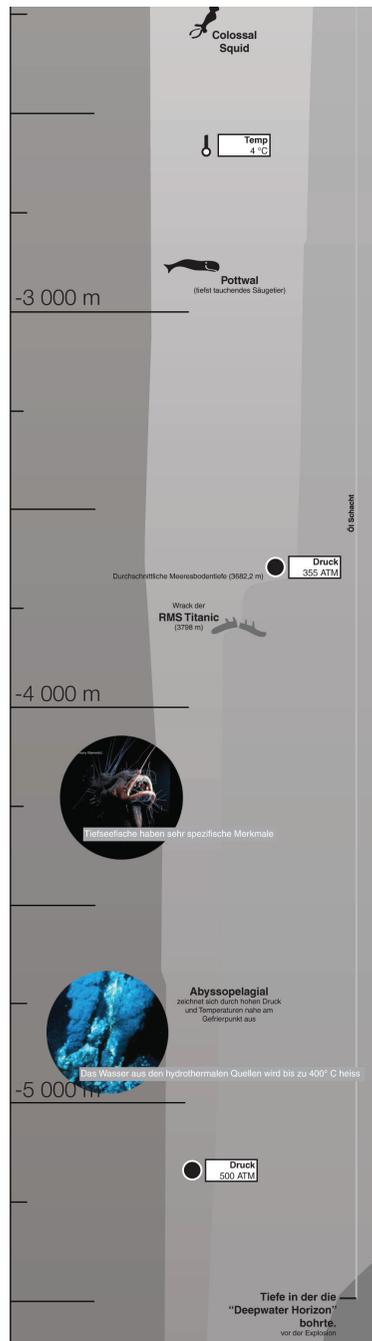
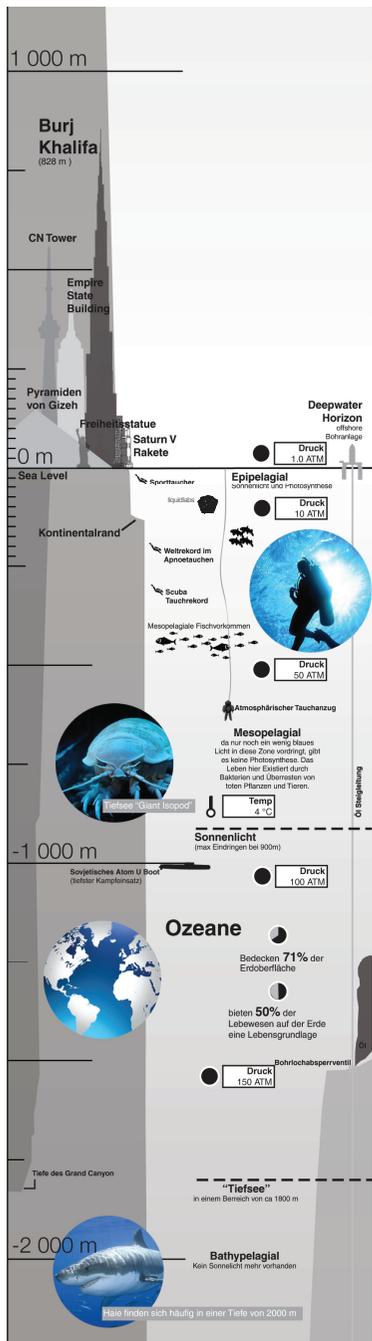
## 02.4\_Grafik, Übersicht Größenverhältnisse

Nachfolgende Grafik soll einen Überblick über die weltweit vorhandenen Größenverhältnisse geben. Die Grafik reicht von + 11 000m bis - 11 000m in die Tiefe des Meeres.

Während an Land vieles erschlossen ist, gibt es unter Wasser nur partielle Einblicke in das Leben das dort stattfindet.

Auch die Größenverhältnisse in unserem alltäglichen Mikrokosmos scheinen Erwähnenswert. Während es möglich ist an der Oberfläche Gebäude zu errichten mit einer Höhe von 818 Metern wie das Burj Khalifa Hochhaus, ist die gleiche "Höhe" unter Wasser nur erschwert zu erreichen.





**Farbabsorbtion** Einfallende Lichtwellen erfahren im Moment des Eintritts ins Wasser eine Reihe von Veränderungen.

Licht hat unter Wasser eine andere Ausbreitung als in der Luft, so ist die Geschwindigkeit des Lichts unter Wasser 225.000 km/s und nicht 300.000 km/s, wie in der Luft.

Unter Wasser unterliegt Licht verschiedenen Einflussfaktoren wie Absorption, Streuung, Lichtbrechung und Reflexion. Durch Absorption wird das Licht praktisch geschluckt, d.h. die Lichtenergie wird hauptsächlich in Wärme umgewandelt und dadurch in seiner Intensität geschwächt.

In Abhängigkeit von der Wellenlänge wird Licht von Wasser unterschiedlich stark absorbiert, und zwar umso stärker, je größer die Wellenlänge ist. Rotes Licht beispielsweise verliert pro Meter 50 % seiner Intensität. Die Farben werden durch Absorption so stark reduziert, dass man Rot ab 3 m, Orange ab 5 m, Gelb ab 8 m, Violett ab 18 m, Grün ab 35 m und Blau ab 60 m nicht mehr erkennen kann [Siehe Abbildung].

Das besonders kurzwellige Violett bildet eine Ausnahme, da es besonders stark gestreut wird (dispersion). Die Streuung von Licht in (sauberem) Wasser nimmt ab, wenn die Wellenlänge zunimmt; Blau und Violett werden also am stärksten gestreut. Wenn das Wasser zusätzlich durch Schwebstoffe (z. B. Plankton) getrübt ist, verstärkt sich der Effekt der Streuung, und die Farbe Grün dringt am tiefsten vor, da sie durch die kombinierte Wirkung von Lichtstreuung und Absorption am wenigsten beeinträchtigt wird.

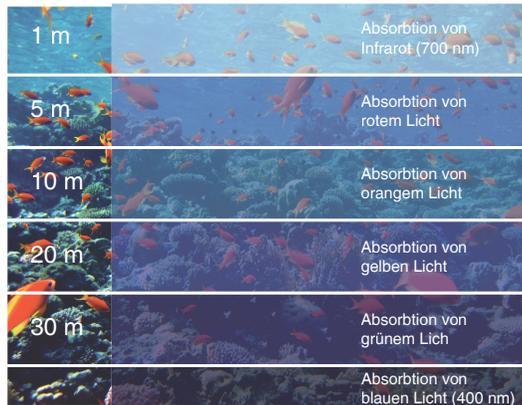
Die Absorption unter Wasser ist bei langwelligem Licht am stärksten, was bereits ab wenigen Metern Tauchtiefe durch eine Ausblauung bemerkbar ist. Ab 60 Metern herrscht Dunkelheit, da auch das blaue kurzwellige Licht nicht so weit durch das Wasser dringen kann. Dieser Vorgang wird als Extinktion bezeichnet.

Dies bewirkt, dass Kontraste unter Wasser abnehmen. Zum anderen hat dies zur Folge, dass die wahrgenommenen Farben von der tatsächlichen Farbgebung abweichen; diese Abweichung ist abhängig von der Tauchtiefe.

Die gleiche Lichtabsorption geschieht nicht nur von oben nach unten, sondern auch quer zur Wasseroberfläche, was dazu führt, dass die Sichtweite unter Wasser grundsätzlich auf maximal 60 Meter beschränkt ist. Meist jedoch ist die Sichtweite geringer.

Wird eine Taucherlampe eingesetzt, so halbiert sich die Sichtweite. Das von der Lampe ausgestrahlte Licht muss zuerst durch das Wasser das angestrahlte Ob-

jekt erreichen. Dort wird es reflektiert und geht den gleichen Weg zurück zum Auge des Tauchers. Es legt also die gleiche Strecke zweimal zurück. Das Wasser absorbiert das Licht auf dem Hin- und Rückweg.



**Lichtbrechung** Lichtwellen werden beim Übertritt von einem dünneren in ein dichteres Medium zum Lot hin gebrochen und beim Übertritt vom dichteren ins dünnere Medium vom Lot weg abgelenkt.

Dies passiert beim Tauchen, wenn von Gegenständen reflektiertes Licht mit einer Tauchmaske wahrgenommen wird. Dabei ergibt sich, dass Gegenstände unter Wasser dem Taucher ungefähr mit  $\frac{4}{3}$  ihrer tatsächlichen Größe erscheinen, zu dem scheint die Distanz zwischen Taucher und Gegenstand nur  $\frac{3}{4}$  des tatsächlichen Abstands zu betragen. Gegenstände erscheinen also größer und näher, als sie tatsächlich sind.

Manchmal lässt sich das Phänomen auch umgekehrt beobachten, wenn man nämlich in einem See mit relativ stiller Wasseroberfläche taucht. Schaut man aufwärts zur Wasseroberfläche, so kann man Einzelheiten am Ufer erkennen, allerdings optisch verzerrt und scheinbar in größerer Entfernung.

Der Blickwinkel, unter dem sich Gegenstände außerhalb des Wassers erkennen lassen, ist außerdem begrenzt; vergrößert er sich auf mehr als  $48,3^\circ$  zum Lot, tritt eine Totalreflexion auf, so dass dann die Objekte, die sich im Wasser befinden, an der Wasseroberfläche gespiegelt werden.

Die Brechzahl des Wassers ändert sich mit seiner Dichte, und die Dichte ist abhängig von Temperatur und Salinität. Mischt sich Wasser unterschiedlicher Dichte, so kann man Schlieren beobachten, ähnlich den optischen Effekten in der erhitzten Luft über einer Kerzenflamme. So lassen sich beispielsweise eine untermeerische Süßwasserquelle oder ein „Kaltwassersee“ erkennen.

**Unscharfes Sehen** Da das menschliche Auge an das Sehen in der Luft angepasst ist, kann die Augenlinse den größeren Brechungsindex von Wasser nicht ausgleichen. Deshalb ist ohne eine Brille ein scharfes Sehen unter Wasser unmöglich, was die Sichtweite deutlich einschränkt.

Durch eine Tauchermaske oder eine Schwimmbrille liegt auf dem Auge kein Wasser, sondern Luft. Es entsteht eine zusätzliche Brechungsstufe, durch die scharfes Sehen unter Wasser für das menschliche Auge erst möglich wird. Der Nachteil ist, dass alles größer und näher erscheint, als es wirklich ist.

**UW-Sehen bei den Moken** Vor der Küste Thailands und Burmas lebt ein uraltes Volk von Seenomaden, die Moken.

Die Kinder der Moken können oft besser tauchen als laufen, sie ahmen die Erwachsenen nach, suchen Muscheln und Seegurken und ergattern hin und wieder mal einen Fisch. Die Kinder bewegen sich unter Wasser ganz ohne Hilfsmittel (Tauchbrille).

Die Erklärung fand sie erst bei genauen Messungen mit einer Infrarotkamera unter Wasser:

Die Kinder der Moken können ihre Pupillen wesentlich enger zusammenziehen als „normale“ Kinder. Die Linse wird dabei von einer ovalen Form zu einer Kugel zusammengedrückt. So erreichen die Kinder eine Sehkraft, die ausreichen würde, um 30 Dioptrien Weitsichtigkeit auszugleichen, und gehen dabei bis an die Grenzen dessen, was mit den Augen möglich ist.

**Sichtweite unter Wasser** Die Sichtweite unter Wasser ist ein wichtiger Umwelteinfluss auf alle Arten von Unterwasseraktivitäten. Da Licht von Wasser stärker absorbiert wird als von der Luft, ist die Sichtweite im Wasser grundsätzlich geringer als über dem Wasser. Die maximale Sichtweite beläuft sich auf maximal 60m.

Auf die Fähigkeit sich zu orientieren, auf die Möglichkeiten von Naturbeobachtungen, auf das Gelingen der Unterwasserfotografie und auch auf das psychische Empfinden, kann die Sichtweite einen großen Einfluss haben.

Einen großen Einfluss auf die Sichtweite im Wasser hat die Fauna und Flora im Wasser. Ist das Wasser sehr nährstoffreich, so enthält es viel Plankton und Algen. Durch die von ihnen erzeugten Exkrememente und durch ihr Ableben entstehen Schwebeteilchen, die im Wasser treiben.

## 03.2\_Akustik unter Wasser

**Wasserschall** Wasserschall ist Schall, der im Wasser übertragen wird. Das zugehörige Fachgebiet der Akustik ist die Hydroakustik. Gelegentlich wird der Begriff Wasserschall auch als Synonym für die technische Anwendung der Hydroakustik gebraucht.

Besondere Bedeutung hat die technische Anwendung vor allem in Meerwasser zur Kommunikation, Navigation und Ortung, da sich elektromagnetische Wellen, wie Radiowellen und Licht dort nur schlecht ausbreiten können und Reichweiten von wenigen Metern bis maximal 100 m besitzen. Der hierbei verwendete Frequenzbereich umfasst etwa 10 Hz bis 1 MHz.

**Wasserschallphänomene** Die Schallgeschwindigkeit in Seewasser beträgt etwa 1480 m/s. Sie nimmt mit der Temperatur, dem Druck und dem Salzgehalt zu. Die Schallgeschwindigkeit ist unter Wasser 4,4-mal größer als in der Luft. Unter Wasser trifft ein Geräusch gleichzeitig auf beide Ohren dadurch scheint es, als käme das Geräusch aus allen Richtungen.

**Umgebungsgeräusch im Meer** Als Geräusch bezeichnet man alle nicht erwünschten beobachteten Schallereignisse im Gegensatz zu den erwarteten "Signalen". Dabei ist zwischen dem Eigengeräusch (self noise) zu unterscheiden und dem Umgebungsgeräusch.

Das Umgebungsgeräusch kann einmal aufgeteilt werden in natürliche Schallquellen oder solche, die auf die Tätigkeit oder Einrichtungen des Menschen zurückzuführen (man made noise) sind.

Die Natur macht vom Wasserschall Gebrauch so, dass es zu Nutzungskonflikten kommt. Nach heutiger Kenntnis betrifft dies insbesondere Meeressäuger. Sie sind ganz entschieden auf das Gehör als wichtigsten Sinn angewiesen. Das Geräusch unter Wasser wird auf der nördlichen Halbkugel inzwischen dauerhaft durch ein diffuses Geräusch von den Schiffen im Frequenzbereich zwischen 100 und 300 Hz geprägt, sofern es nicht durch sehr kräftiges natürliches Geräusch von der Meeresoberfläche bei Stürmen übertönt wird.

Die lautesten Geräusche im Meer sind neben Seebeben, unterseeischen Vulkanen und kalbenden Eisbergen, seismische Hochenergie-Sonare (sogenannte Air Guns, auch Schallbomben genannt), die zur Suche von Erdöl und Erdgas im Meeresboden verwendet werden. Sie sind extrem laut (bis 270 dB) und werden im Abstand von wenigen Sekunden erzeugt.

**Raumfahrt- Analogie** Die US-Raumfahrtbehörde Nasa beteiligte sich bereits am Bau einer Station, denn das Erforschen der Ozeane und des Weltalls haben viel gemeinsam. Wie Astronauten, arbeiten Aquanauten während ihrer Stunden im Wasser mit verringerter Schwerkraft. Vor allem sind sie konfrontiert mit einer feindlichen Umgebung, in der menschliches und technisches Versagen tödlich enden kann.

Noch heute trainiert die Nasa ihre Teams oft im Unterwasserhabitat „Aquarius“, nirgendwo sonst ist die psychologische und physiologische Isolation ähnlich groß wie im All.

Das Gefühl kollegialer Nähe zwischen Ozean- und Raumfahrern erreichte einen Höhepunkt im August 1965, als der US-Astronaut Gordon Cooper per Funk Kontakt mit seinem ehemaligen Kollegen Scott Carpenter aufnahm. Cooper kreiste damals in der Raumkapsel „Gemini 5“ gut 240 Kilometer über der Erde, während Carpenter, mittlerweile zum Aquanauten geworden, 62 Meter unter Wasser vor der Küste Kaliforniens im „Sealab II“ saß. Anders als ihre Kollegen im All erschlossen sich die Aquanauten allerdings eine Welt, die das genaue Gegenteil von steril und leer war.

**Wohnen** Tatsächlich weiß man heute, dass sich Wohnen unter Wasser charakteristisch auswirkt. Weil mehr Druck auf den Stimmbändern lastet, wird das Timbre des Aquanauten höher, je tiefer er sich im Meer befindet. Wunden heilen schneller, das Essen schmeckt fader. Und es ist unmöglich zu pfeifen.

Je nach Länge des Aufenthalts ergeben sich auch lange Dekompressionszeiten, die die Aquanauten in Isolation absitzen müssen. Bei der „Aquarius“ z.B. wurde der Druck am Ende des Aufenthalts nach unten gefahren, um die Aquanauten zu dekomprimieren. Ein Prozess, der etwa bei der „Aquarius“ 17 Stunden beansprucht, die Dauer steigt jedoch desto höher der Sättigungsgrad ist.

**Isolation** Das Leben in einem Unterwasserhabitat bringt es mit sich das man nicht einfach mal schnell „vor die Tür“ gehen kann sobald es zu Konflikten kommt. Man ist in einem Mikrokosmos isoliert. Anders als im All wird jedoch die Unterwasserwelt als Abwechslungsreicher beschrieben und so als ablenkender gegenüber der Isolationsproblematik.

**Freiraum** Der Begriff Freiraum gründet, für einen Menschen, prinzipiell in der Möglichkeit, seine Identität wahrzunehmen und zu entwickeln. Der Freiraum soll

sowohl den Rahmen der eigenen Kreativität aufzeigen als auch anregen, über die Grenzen des Freiraums zu reflektieren. Freiräume an sich haben klare Bedingungen und stehen in Bezug zueinander. Die Aktivität im Freiraum kann geistiger und materieller Natur sein.

**Arbeiten in der Gruppe** Das Leben in einem Unterwasserhabitat bringt ähnlich wie in einer Raumstation Gruppendynamiken zustande. Man arbeitet unter Wasser nie allein, sondern immer in 2er Teams (Buddysystem). Individuelle Bedürfnisse müssen hier evtl. zu Gunsten der Gruppe zurückgestellt werden, was wiederum zu Konflikten führen kann.

Um zu Vermeiden das es zu Konflikten kommt, kann man von vorneherein in der Planung einige Dinge berücksichtigen.

- die Gruppengröße
- passende Buddyteams
- die wichtigsten Dinge zur Erreichung der Missionsziele bereits an Land planen - die Dauer der Exkursion festlegen
- Bestimmung eines Teamleaders

**Krisenmanagement** Krisen bestehen im Allgemeinen aus einer Ansammlung kritischer Situationen. Kritisch bedeutet hierbei, dass es sich um für den weiteren Verlauf des Gesamtprozesses entscheidende Phasen handelt. Kritische Situationen können dabei geplant sein, vorhersehbar sein oder völlig unerwartet eintreten.

Aus einer Krise kann sich eine lebensbedrohliche Situation entwickeln, dies wiederum kann zu Unfällen mit tödlichem Ausgang führen oder zu Stresszuständen. Deshalb ist es wichtig für die Crew alle auftretenden Eventualitäten zu bedenken und eventuellen Krisen vorzubeugen.

## 04.2\_Psychische Besonderheiten

**Psychologische Belastung** Die einmalige Vielfalt der Unterwasserwelt bietet immer wieder neue und unbekanntere Erlebnisse. Diese Welt unter Wasser kann sich uns als friedlich, bizarr, wohligh, entspannend, romantisch, aber auch als abenteuerlich, aufregend und beängstigend darstellen.

Das Gefühl der Schwerelosigkeit und des Schwebens ist eine Empfindungsebene, die normalerweise Wohlbefinden herbeiführt. Die Umgebungsbedingungen bieten aber auch die Möglichkeit, Nervenkitzel zu erleben, Risikobereitschaft und Leistungsmotivation zu befriedigen und die Grenzen der eigenen körperlichen und emotionalen Belastbarkeit auszutesten.

Da sich unsere Rezeptoren und Organe im Lauf der menschlichen Entwicklung weitgehend dem Leben an der Luft angepaßt haben, fällt es uns im Wasser schwerer, bedrohliche Situationen zu erkennen und zu bewerten. Uns fehlen die geeigneten Rezeptoren unter Wasser, um Reize der Umwelt genügend wahrnehmen zu können. Der Mensch muß hier die Technik zu Hilfe nehmen und auch sein Verhalten den physikalischen Gesetzmäßigkeiten anpassen.

Nachfolgend sollen Verschiedene Faktoren aufgeführt werden die zur psychologischen Belastung führen können:

**Angstauslösende Faktoren**, die auftreten können:

- veränderte Wahrnehmung,
- veränderte Körperlage,
- veränderter Atemablauf,
- unterentwickelter Orientierungssinn für hoch/tief,
- ungewohnte Kleidung und technische Gerätschaften (bei Anfängern)
- Kälte.

Durch die Anpassung unserer Sinne an das Leben über Wasser nehmen wir die Informationen unter Wasser nur ungenau oder fehlerhaft wahr.

Faktoren sind:

- Ohne Maske sehen wir Unschärf
- Mit Maske erscheint alles ein Drittel größer und ein Viertel näher
- die Lichtabsorption

Um auf das Wahrgenommene richtig zu reagieren, müssen erst alle ankommenden Informationen in übergeordneten Hirnzentren umgerechnet und neu bewertet werden.

Über Wasser geschehen diese Vorgänge unbewußt. Unter Wasser gibt es diese

Automatismen oder Reflexe nicht. Daher fällt es dem Menschen z.B. schwer, in 40 Metern Tiefe, simpelste mathematische Aufgaben richtig zu lösen.

### **Persönlichkeitsbedingte Angstauslöser**

- Einsamkeit,
- Ausweglosigkeit und Engegefühl,
- Abhängigkeit von technischen Apparaten

### **Angstauslösende Bedingungen**

Zu diesen Bedingungen zählen:

- Reizüberflutung,
- widersprüchliche Informationen
- Informationsdefizite
- Umweltbedingungen

Nicht nur durch erhöhte elektrische Nervenaktivität und durch negative Gefühlsempfindungen kann Angst ausgelöst werden, auch Sauerstoffmangel oder eine Kohlendioxid-Erhöhung im Blut bewirken chemische Reaktionen, die angstauslösend sein können. Somit ist Angst nicht nur ein Zustand negativer Gefühlsempfindungen, sondern auch verbunden mit Veränderungen des Eingeweidesystems (Aktivierung des Nervus Sympathikus).

Gerade diese Veränderungen (beschleunigter Puls, beschleunigte Atmung bis hin zur Hyperventilation, Einschränkung des Gesichtsfeldes, Muskelzittern) verstärken bereits bestehende Angst.

**Panik** Angst kann der Vorbote einer Panik sein, wobei beide Begriffe nicht miteinander zu verwechseln sind. So äußert sich Angst meist durch rationale Körperreaktionen wie erhöhte Herzfrequenz, Verkrampftheit oder Zittern. In einer solchen Situation ist man aber immer noch in der Lage, vernünftige Entscheidungen über Vermeidungshandlungen zu treffen.

Anders ist es bei einer Panik, die nur Flucht oder Lähmung als Wege des unbewußt gesteuerten Handelns kennt. „Beim Tauchen entsteht Panik meistens durch eingebildeten oder durch tatsächlich vorhandenen Luftmangel. Die Reaktion ist fast immer die Flucht zur Oberfläche“

### **Situationen die Panik hervorrufen**

- Einatmen von Wasser,
- Überatmung,
- landorientiertes Unterbewußtsein
- Tauchtiefen

Beim Tauchen begeben wir uns in ein für uns ungewohntes Element. Zur nötigen Umstellung der lebensnotwendigen Körperfunktionen wie der Atmung, dem Sehen und der Wärmeregulation, kommt die psychische Angleichung an die andersartige Umwelt.

Streßsituationen werden unter Wasser meist durch Angst oder gar Panik, weniger durch körperliche Anspannung ausgelöst.

### **Persönlichkeitseigenschaften**

- erhöhte Risikobereitschaft,
- gesteigerte Leistungsmotivation,
- Unfälleartyp
- gestörtes Selbstbewußtsein.

**Reduzierung von Stress** In einem abgeschlossenen Habitat ist das Vermeiden von Stress und anderen Störenden Faktoren von größter Wichtigkeit um das Unfallrisiko zu minimieren und allen Beteiligten ein möglichst produktives und angenehmes Arbeitsumfeld zu bieten. Nachfolgend sind einige Punkte zusammengefaßt:

- persönlicher Freiraum
- Rückzugsmöglichkeiten
- ungestörte Schlafmöglichkeit (Wach-/Schlaf Zyklus)
- Erholungsmöglichkeit
- Abwechslung
- keine Langeweile (Aufgaben)
- Licht
- Temperatur
- Luftfeuchtigkeit und Druck
- Geruch
- Geräusche und Lärm
- Kommunikation mit der Außenwelt

## 04.3\_Forschung unter Wasser

Es gibt diverse Forschungsrichtungen die maritim arbeiten z.B. die Biologie, die Archäologie, die Akustikforschung und auch Astronauten der Nasa, nachfolgend sollen jedoch nur die Meeresbiologie, das Programm Nasa Neemo und die Unterwasserarchäologie näher erläutert werden. Momentan erfolgen diese Forschungen meist Bootsgestützt, mit Ausnahme von Nasa Neemo, was jedoch Nachteile aufweist, da es durch Motorengeräusche und Aufwirbelung von Sedimenten zur Störung der Umwelt kommt.

**Meeresbiologie** Die Meeresbiologie ist ein Teilgebiet der Biologie bzw. der Meereskunde. Sie stellt zugleich auch ein spezielles Gebiet der Ökologie dar und befasst sich mit den Lebewesen und Lebensvorgängen in maritimen Lebensräumen, also in den Ozeanen und Meeren.

Kennzeichnend für marine Lebensräume sind in erster Linie die Faktoren Wasser und seine Eigenschaften, Salzgehalt (Salinität), Temperatur (tiefen- und klimaabhängig) sowie Licht- und Strömungsverhältnisse.

Die Feldforschung in der Meeresbiologie wird momentan noch mit Forschungsschiffen durchgeführt. Auch die Fischerei liefert mit ihren Beifängen Material für wissenschaftliche Untersuchungen. Die oberen Wasserzonen des Meeres können auch durch Tauchgänge erschlossen werden. Für direkte Beobachtungen in tieferen Meeresschichten werden U-Boote und Tauchroboter eingesetzt.

Nicht einmal alle Fischarten sind heute komplett erfasst. Man vermutet ein Gesamtartenvorkommen zwischen einer und 10 Millionen Spezies. D.h. nicht einmal ein Zehntel ist bisher wirklich erfasst.

**Unterwasserarchäologie** Die Unterwasserarchäologie beschäftigt sich mit allen archäologischen Quellen, die unter Wasserbedeckung erhalten geblieben sind. Diese Quellen finden sich auf dem Grund von Meeren und Seen, Brunnen, aber auch in Mooren.

Die besondere Bedeutung dieses noch nicht sehr alten Zweiges der Archäologie ergibt sich aus der besonders guten Konservierung organischer Materialien wie Holz oder Textilien durch das Medium Wasser. Die Aussage- und Informationskraft unter Wasser geborgener Gegenstände ist deshalb sehr hoch und betrifft naturgemäß auch alle Relikte maritimer Art, so, dass sich seefahrtsgeschichtliche Einblicke ergeben.

Eine Erschließung der Unterwasserquellen ist nicht nur durch Tauchgänge

möglich, sondern auch durch das Trockenlegen des Gewässergrundes mit Hilfe von Spundwänden.

Bis zum Aufkommen des Tauchsports wurden in der Regel Gelegenheitsfunde von Berufstauchern gemacht, die sie selbst nutzten oder an Museen oder Sammler verkauften.

Der wissenschaftliche Wert der Funde war, da die Stücke aus dem Zusammenhang gerissen wurden und die Bergung auch oft sehr rabiät erfolgte, zumeist nicht mehr vorhanden.

Mit dem Aufkommen des Tauchsports kam es vielerorts, besonders im Mittelmeer, zu regelrechten Plünderungen von Wracks im Flachwasser. Ab den 1950er Jahren begann sich langsam die Erkenntnis durchzusetzen, dass mit modernen Schwimmtauchergeräten unter Wasser ernsthafte archäologische Arbeit möglich war, teilweise sogar besser als an Land.

Um nicht binnen kürzester Zeit zu zerfallen, müssen gerade Materialien wie Holz, nach der Bergung im Wasser verwahrt werden und anschließend einem aufwändigen Konservierungsprozess unterzogen werden.

In vielen Fällen ist daher ein vorrangiges Ziel einer Ausgrabung insbesondere an Schiffswracks nicht die vollständige Bergung, sondern die Vermessung und Sicherung von Einzelfundstücken, während man das eigentliche Wrack an Ort und Stelle belässt, um später weitere Untersuchungen am Fundort zu ermöglichen.

**Nasa Neemo** NASA Extreme Environment Mission Operations, ist ein Projekt der NASA, in dem Experimente zum Leben auf einer Raumstation in einem Unterwasserlabor (Aquarius) der NOAA durchgeführt werden.

Die Aquarius bietet dabei eine ähnliche Umgebung, wie sie die Internationale Raumstation (ISS) zur Verfügung stellt.

Aquarius ist bisher die weltweit einzige wissenschaftliche Unterwasserforschungseinrichtung dieser Art.

Die Besatzung der Aquarius besteht aus vier NASA-Astronauten und zwei Technikern des NURC, die für den technischen Betrieb der Aquarius zuständig sind.

Die Besatzung bleibt bis zu 18 Tagen in dem Habitat.

Zwei weitere Mitarbeiter bilden die Wachmannschaft auf Key Largo. Ihre Aufgabe ist die Koordinierung der Aufgaben und Abläufe in dem Habitat.

Die Funktion der Wachmannschaft entspricht der Funktion des Mission Control Center der NASA.

## 04.4 \_Pfählbauten Attersee

**Projektzeitraum** 20.09.2011 - 25.09.2011

Das Projekt ermöglichte mir das Arbeiten unter Wasser anhand eines konkreten Projektes in Zusammenarbeit mit Archäologen und Biologen.

**Projekt** Aufgrund der akuten Gefährdung der Pfahlbaustationen Kammer und Seewalchen I/II soll eine lagegenaue seeseitige Abgrenzung erfolgen. Ziel ist es, die bisher nicht exakt lokalisierbare Ausdehnung der Stationen zu ertauhen beziehungsweise mittels eines Sidescan Sonars auch zu vermessen. Auf Basis dieser Daten sollen weitere Schritte für den Schutz und Erhalt dieser einzigartigen subaquatischen Fundstellen möglich gemacht werden.



**Das Phänomen der Pfählbauten** beginnt etwa am Ende des 5. Jahrtausends v. Chr. In dieser Zeit erschließen sich die ersten Siedler, in den weniger begünstigten Siedlungsräumen rund um die Alpen sesshaft zu werden, und es vollzieht sich auch abseits der fruchtbaren Flusstäler der langsame Wandel von einer Kultur der umherziehenden Jäger und Sammler zu einer bäuerlichen Gesellschaft. Bereits im Laufe des 4. Jahrtausends v. Chr. hat sich die Idee, direkt an die Ufer der Seen oder sogar in das Wasser zu bauen im gesamten vor alpinen Bereich ausgebreitet.

**Dörfer im See** In den frühen Tagen der Pfahlbauforschung stellte man sich ausgedehnte Plattformen im See vor, auf denen die Dörfer errichtet wurden. In dieser Zeit - inspiriert durch zeitgenössische Beispiele aus Polynesien - entstand

das auch heute noch weit verbreitete Bild von idyllischen, aber wehrhaften Orten inmitten der Seen. Bald aber stritten sich die Archäologen, ob die Siedlungen nicht viel eher auf dem Trockenen standen und im Laufe der Jahre unter Wasser gelangten. Bedenkt man jedoch, dass sich das Phänomen der Pfählbauten, also die Eigenheit, Siedlungen in Feuchtbodengebieten oder in Seen zu erbauen, über einen Zeitraum von ca. 3500 Jahren und über unterschiedlichste Lebensräume erstreckt, wird es wohl unterschiedlichste Konstruktionsweisen gegeben haben. Wenn gleich man heute weiß das die Großzahl der Siedlungen am Seeufer - man spricht heute in der Urgeschichte von Seeufersiedlungen statt Pfählbauten - gestanden hat, gab es auch im Wasser errichteten Bauwerke.

**Fischerhütten und Ballungsräume** Auch die Größe der Siedlungen variiert stark. Beginnend bei möglicherweise nur saisonal aufgesuchten Fischerhütten und kleinen Weilern erreichten manche Ortschaften in ihren Blütezeiten eine Einwohnerzahl von mehreren hundert Bewohnern. An den dicht bebauten Seeufern lag zeitweise ein Dorf neben dem anderen, so, dass man durchaus von größeren Ballungszentren sprechen kann.

**Haus mit Feuchtraum** Warum die Menschen damals diese eher ungünstigen Bauplätze gewählt hatten ist nur schwer zu beurteilen. Regelmäßige Überflutungen, ein tendenziell feuchteres Klima und Insektenplagen machten das Wohnen am See nicht unbedingt besonders komfortabel. Andererseits fanden die Siedler auf den weichen Seeufern leicht bebaubare Areale vor, die nicht erst gerodet werden mussten. Umgekehrt konnten die für Bauholz abgeholzten Gebiete im Landesinneren als Anbauflächen genutzt werden.

**Fischfang und Transport** Die Nähe zum Wasser wurde sicherlich mit Absicht gesucht. Das Fangen von Fischen ist in Zeiten, in denen das Jagdglück ausbleibt und der Ackerbau keine ausreichenden Erträge abwirft, eine wichtige und einigermaßen verlässliche Nahrungsmittelquelle. Aber auch ein Bedürfnis nach geschützten Lagen zum Land und freien Transportwegen auf dem Wasser könnte Ausschlag gebend für die Ortswahl der Menschen gewesen sein.



Pfähle freigelegt durch Aushubarbeiten



Keramikscherbe mit Gravierung



Erhaltene Pfähle



Keramikscherben



Pfahl umgeben von Keramikscherben



Pfähle freigelegt durch Taucher



Einmessen von Fundstücken mit Messrahmen



## 04.5\_Arbeiten unter Wasser

**Berufstauchen** Berufstaucher gibt es in verschiedenen Bereichen, zb. als Polizei und Feuerwehrttaucher, Rettungstaucher, Forschungstaucher, Militärttaucher, berufsspezifische Taucher.

Die Arbeiten die unter Wasser durchgeführt werden variieren je nach Aufgabenfeld.

Allen Zweigen gemeinsam ist, dass der Berufstaucher Tätigkeiten ausführt, die sich im Grunde nicht von vergleichbaren Arbeiten an Land unterscheiden.

Durch das Vorherrschen extremer Bedingungen, unter Druck, ohne Luft, in völliger Dunkelheit und bei extremen Wassertemperaturen, ist die Ausbildung dementsprechend spezifisch für das Arbeiten unter Wasser.

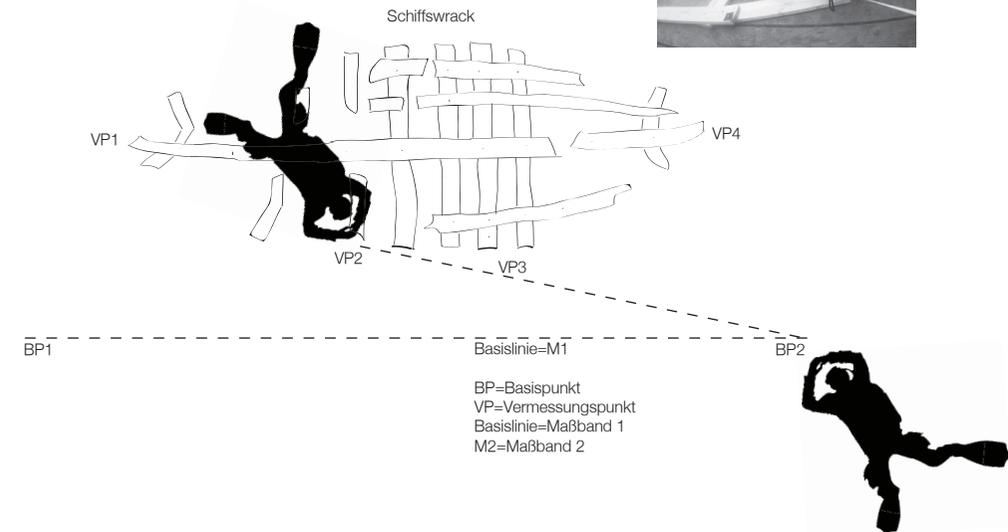
**NAS Kurs Wien** (NAS - Nautical Archeology Society / Deguwa) 9-11.5.2010

Der Kurs versteht sich als Einführungskurs in den Denkmalschutz und die Unterwasserarcheologie und wurde von mir selbst absolviert.

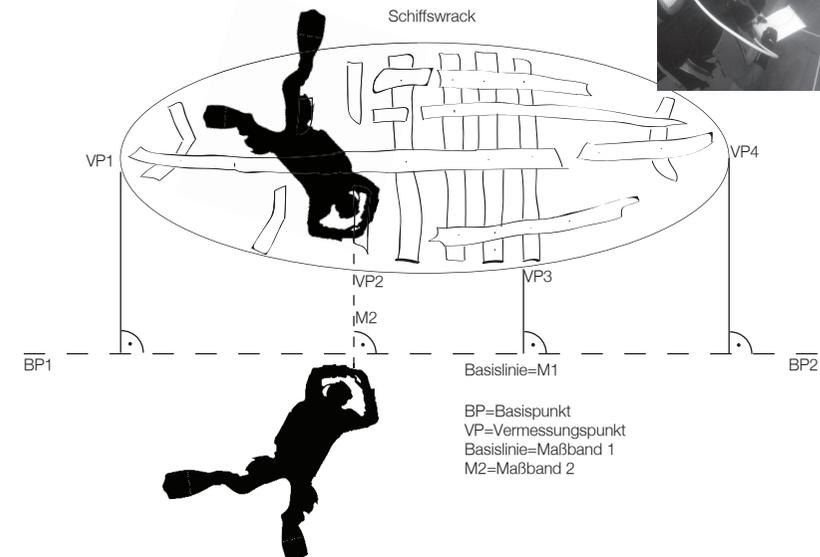
Gelehrt wird unter anderem die Geschichte der Unterwasserarchäologie, Gesetzgebung und Denkmalschutz, Positionsbestimmung einer Fundstelle, Suchmethoden, Vermessungstechniken, Dokumentation und die Altersbestimmung von Funden und Konservierung.



## Trilaterations Vermessung



## Orthogonal Vermessung



## 04.6\_Archäologisches Arbeiten unter Wasser

**Archäologisches Arbeiten unter Wasser** bedeutet heute meistens, Informationen über unsere Vergangenheit zu retten bevor sie zerstört werden. Archäologie in Binnengewässern wird vor allem durch die Verfügbarkeit von Luft und durch die Wassertemperaturen begrenzt, während bei der maritimen Archäologie auch die Tauchtiefe einen erschwerenden Faktor darstellt. Diese natürlichen Beschränkungen der Forschung unter Wasser erfordert von den Archäologen einen hohen Grad der Spezialisierung und Verantwortungsbewusstsein sowie geeignete Vorkehrungen im Hinblick auf die Sicherheit der Taucher.

**Suchen und Finden** In der Regel findet als erster Schritt eine Absuche durch Taucher statt, bei der die Situation beurteilt wird. Die Entnahme von Bohrproben ermöglicht einen Einblick in den Aufbau der Schichten im Boden. Eine große Hilfestellung ist die Luftbildarchäologie, um Anhaltspunkte über die Lage von Siedlungsplätzen, deren Verlauf und über mögliche Zerstörungen zu liefern. Geophysikalische Methoden werden herangezogen, um die Seegrundtopographie zu erfassen und so Aufschlüsse über Landschaftsentwicklungen und Uferlinienverlagerungen zu liefern. Für die Identifizierung und Abgrenzung von Fundstellen müssen diese vermessen werden, wofür heute meistens GPS-Systeme verwendet werden. Für genauere Vermessungen kann auch von Land aus über Totalstationen (auf Bojen und Messstangen) gemessen werden, bzw. werden einfache Methoden mit Maßbändern und Messlinien gewählt.

**Bewusstes Beprobieren** Durch die Entnahme von Holzproben können Pfahlfelder untersucht und datiert werden. Bevor eine Probe entnommen wird, wird sie unter Wasser genau beschrieben, vermessen und unverwechselbar gekennzeichnet. Bei den Grabungen selber müssen, um klare Sichtverhältnisse unter Wasser zu schaffen und Sedimentteilchen zu entfernen, Strömungs- und Saugrohr („Unterwasserstaubsauger“) eingesetzt werden. Zusätzlich wird der gesamte Arbeitsprozess durch Fotografie und Video festgehalten. Durch die Fülle an organischen Funden, welche die Archäologie unter Wasser zu Tage bringt, entsteht in Folge eine enge Zusammenarbeit mit Nachbardisziplinen wie z.B. der Dendrochronologie, der Archäobotanik oder der Archäozoologie.

**Eine typische Handbewegung** ein äußerst differenziertes Arbeiten unter Wasser ist durch leichte und gezielte Bewegungen mit der Hand möglich. Dadurch werden minimale Strömungen erzeugt, die eine Freilegung und Bearbeitung von äußerst fein strukturierten Objekten, wie beispielsweise organischen Geflechten, erlauben. Als Hilfsmittel lassen sich wie auch bei traditionellen Landgrabungen

Bürsten und kleine Spatel verwenden.

**Zeichnen unter Wasser** Da eine archäologische Grabung einen massiven Eingriff in Struktur und Natur einer Fundstelle darstellt, ja diese sogar vollständig zerstören kann, muss diese Methode sehr verantwortungsbewusst eingesetzt werden. Wie auch bei Landgrabungen werden für eine gezielte und systematische Arbeit die Grabungsflächen in kleine überschaubare Einheiten gegliedert, die zusammengesetzt ein Gesamtbild ergeben. Die Dokumentation unter Wasser stellt, abgesehen von der Notwendigkeit einiger Übung beim Zeichnen mit Taucherhandschuhen keine Schwierigkeiten dar. Wasserfestes Spezialpapier und Kunststoffboards ermöglichen eine zufriedenstellende Genauigkeit.



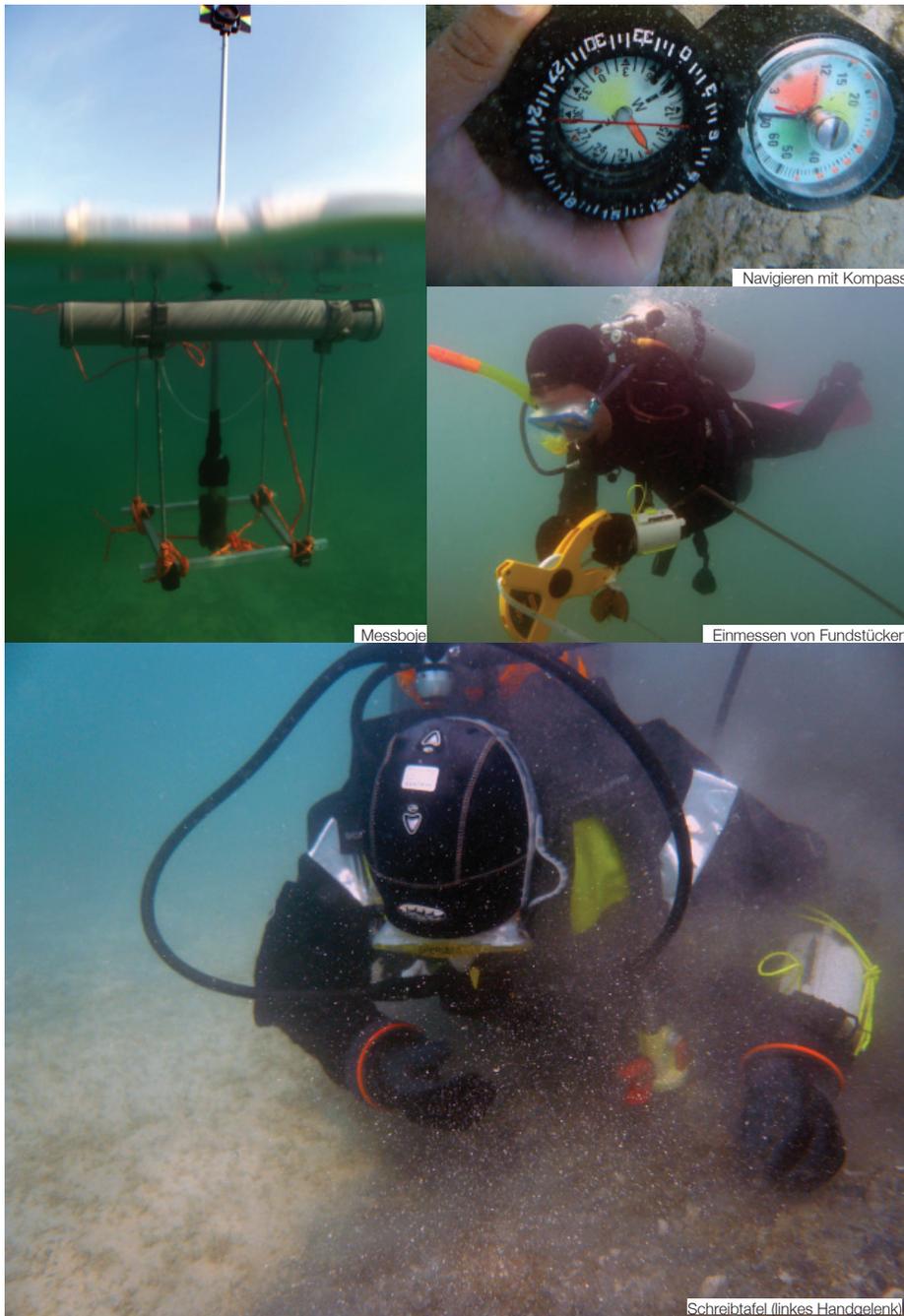
Grabungsarbeit unter Wasser

## 04.7\_Arbeiten in Süß und Salzwasser

Es gibt keine grundsätzlichen Unterschiede zwischen Unterwasserarchäologie im Süß und Salzwasser. Beide bestehen aus der strikten Anwendung archäologischer Untersuchungsmethoden, nur unter Wasser. Eine der Definitionen der Unterwasserarchäologie besagt, sie sei „Archäologie, die in einer überfluteten bzw. Unterwasser-Umgebung angewandt wird. Sie umfasst archäologische Prospektion, Dokumentation und Ausgrabung in Meeren, Seen, Flüssen, Strömen, Marschen und Brunnen genauso wie in Wasserbehältern, Kanälen und anderen von Menschen geschaffene Gewässern. „ Natürlich können einige der Technologien, die von der Unterwasserarchäologie genutzt werden, nur in großen Tiefen der Ozeane oder großen Seen eingesetzt werden, während andere besonders für seichte Gewässer geeignet sind. Doch die Vorgangsweise ist dieselbe.

Größere Unterschiede gibt es zwischen verschiedenen archäologischen Fundstellen / Objekten / Funden, die typischerweise oder doch wenigstens häufiger in Süß - oder Salzwasserfundstellen vorkommen. Eine geläufige Assoziation zu einem Meeres- Unterwasserfund ist ein Schiffswrack, und hier denken die Menschen meist an spanische Galleonen, beladen mit königlichen Schätzen und in einem Wirbelsturm gesunken, oder antike griechische, römische oder phönizische Handelsschiffe voller Amphoren, mit Kanonen bestückte Kriegsschiffe oder ein Luxusliner, der tragischerweise auf seiner Jungfernfahrt gesunken ist. Im Gegensatz zu diesen Relikten am Meeresgrund sind die im Süßwasser gefundenen Schiffe kleiner und bescheidener. Aber von einem technischen Standpunkt aus sind einfache prähistorische Einbäume als erste Schiffe überhaupt oder jene kleine Barken mit flachem Boden, die einst die Inlandsverbindungen im römischen Reich sicherstellten oder die Sonnenboote der Alten Ägypter, die den Pharao am Nil oder auf seiner Jenseits reise trugen, genauso wichtig.

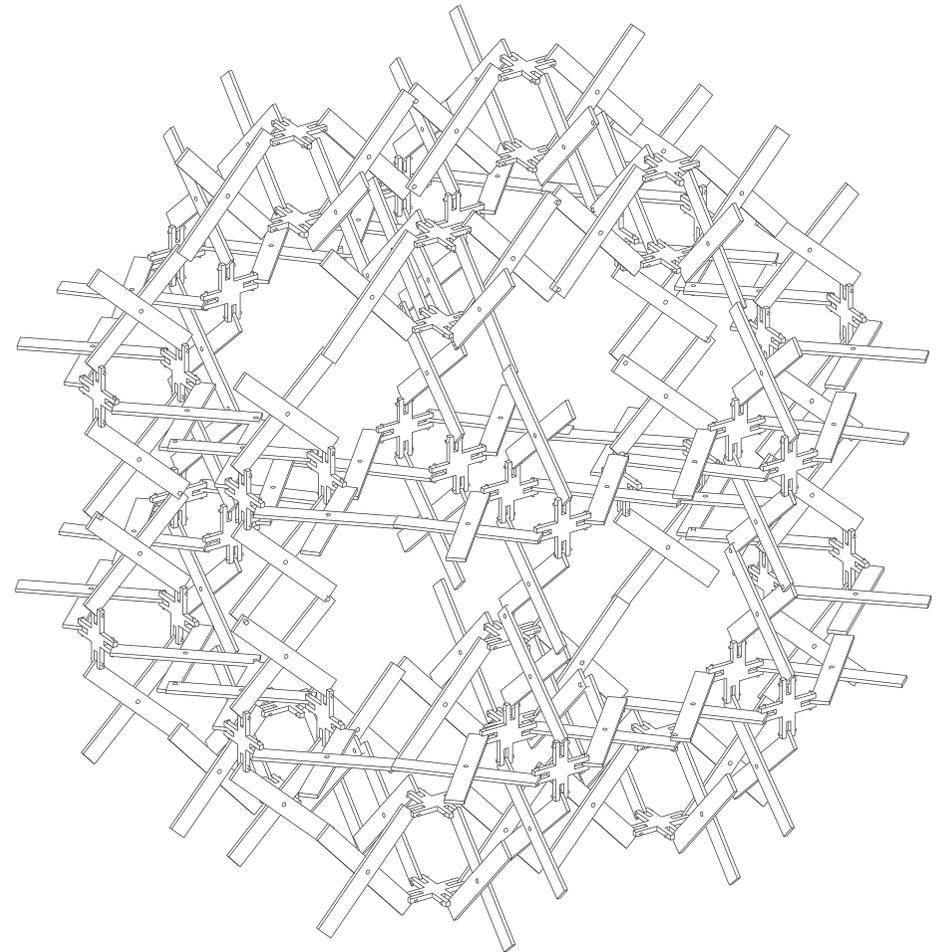
Ein weiterer Unterschied besteht in den Baumaterialien überfluteter alter Architektur. Wo auf der einen Seite Archäologen an den Meeresküsten die Überreste aus Stein erbauter Fischbecken oder Werften, Häfen und Molen untersuchen, sind im Süßwasser hölzerne Gebäudereste häufig besser erhalten als im Salzwasser. Die Verteilung hölzerner Überreste auf unterschiedliche Zeiten ist auch verschieden. Abgesehen von modernen Gebäuden sind sehr alte Funde in den Meeren selten (z.B. das Uluburun Schiffswrack aus der Bronzezeit oder die mesolithischen Feuchtbodensiedlungen an der Ostsee). Viele Meeresfunde sind mittelalterlich oder jünger. Andererseits stammt eine erstaunlich große Zahl von Süßwasserfundstellen aus der Jungsteinzeit und Bronzezeit.



## 05\_Modellstudien

Nachfolgende Modellstudien behandeln verschiedene Strukturen und deren Reaktion mit dem Medium Wasser. Zunächst wurden freie, scheinbar willkürlich entwickelnde Strukturen untersucht, wie Tinte oder die Entfaltung eines Stoffes unter Wasser. Darauf folgten diverse Untersuchungen konstruktiver Elemente in Hinblick auf Entfaltung und Expansion. Ebenso wurde das Sinkverhalten verschiedener Konstruktionen untersucht.

All diese Modellstudien dienen dem besserem Verständniss für das Medium Wasser und finden teilweise auch im Entwurf Berücksichtigung.



## 05.1\_Tintenstruktur

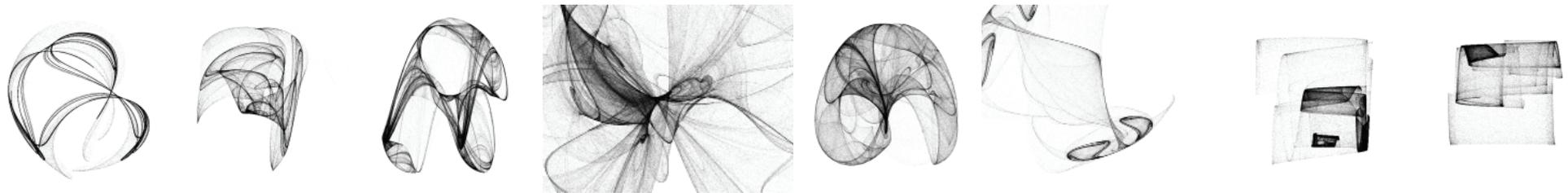
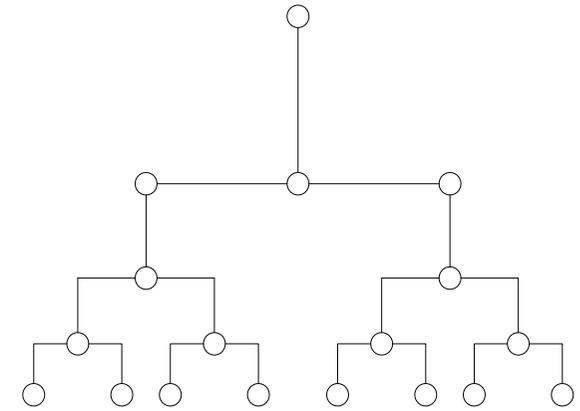
**Tintenstruktur** Als Grundidee steht die Beschäftigung mit Tintenstrukturen und deren Entfaltung im Wasser. Immer wieder in meiner Studienzeit beschäftigte ich mich mit derartigen Strukturen und deren translation in andere Medien.

Exemplarisch ist eine Aufnahme aus vielen Versuchen als Beispiel für die Vielfältigkeit und Unbestimmtheit von Tinte ausgewählt worden.

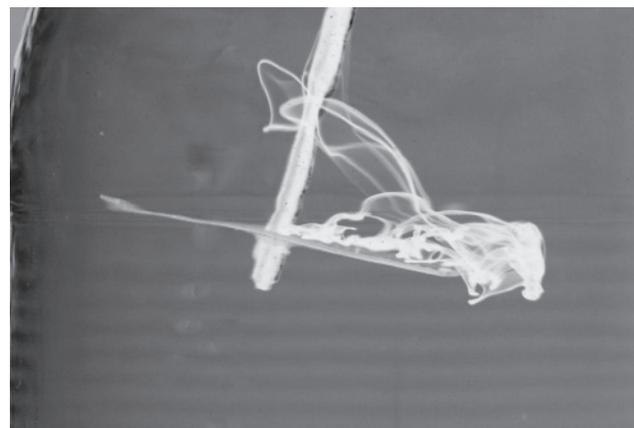
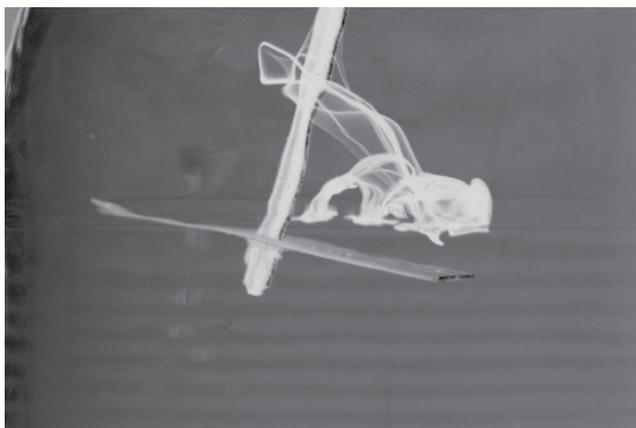
Nimmt man ein Glas destilliertes Wasser und bietet eine absolut erschütterungsfreie Umgebung teilt sich die Tinte wie in nebenstehender Abbildung dargestellt. Sind in dem Wasser jedoch Partikel, entfaltet sie sich scheinbar willkürlich bis hin zur Entropie. Dennoch ist es eine äußerst ästhetische Struktur auch wenn scheinbar Willkür hinter Ihrer Formentwicklung steht.

Das ausgesuchte Beispiel [2] zeigt Tinte die auf ein kleines Kunststoffplättchen trifft und davon hinunterstürzt. Im Vordergrund der Untersuchung stehen das Absinken und die Veränderung von Strukturen, das Auftreffen auf ein neues Medium und wiederum eine Veränderung der Grundstruktur, die scheinbar nicht Faßbar ist.

Abbildung 1 zeigt eine digitale Übersetzung.



01

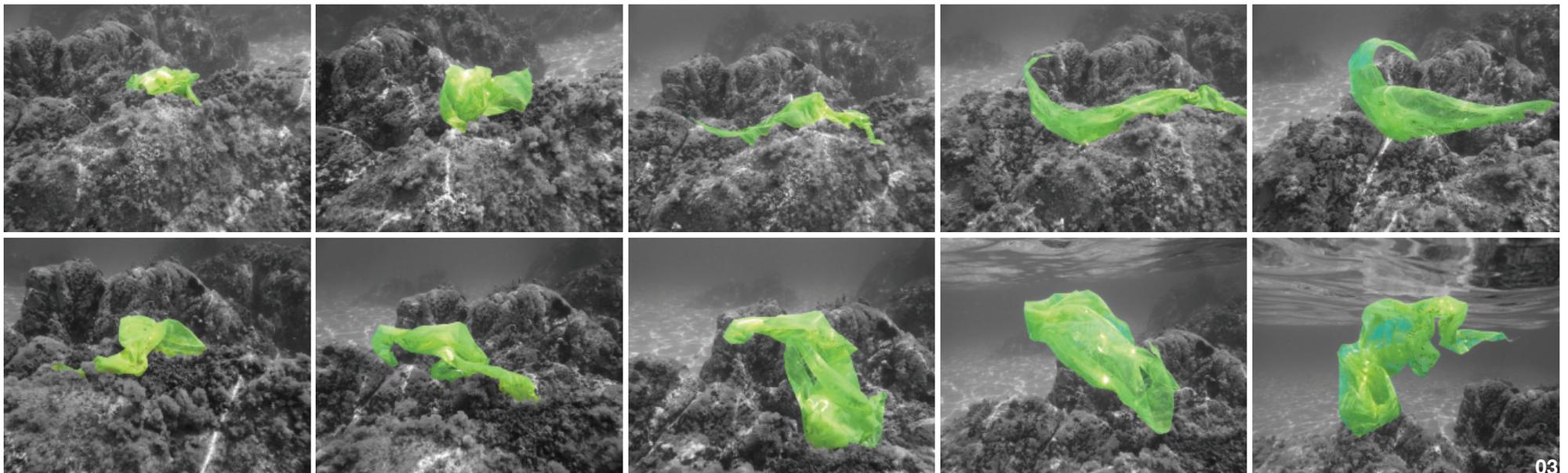


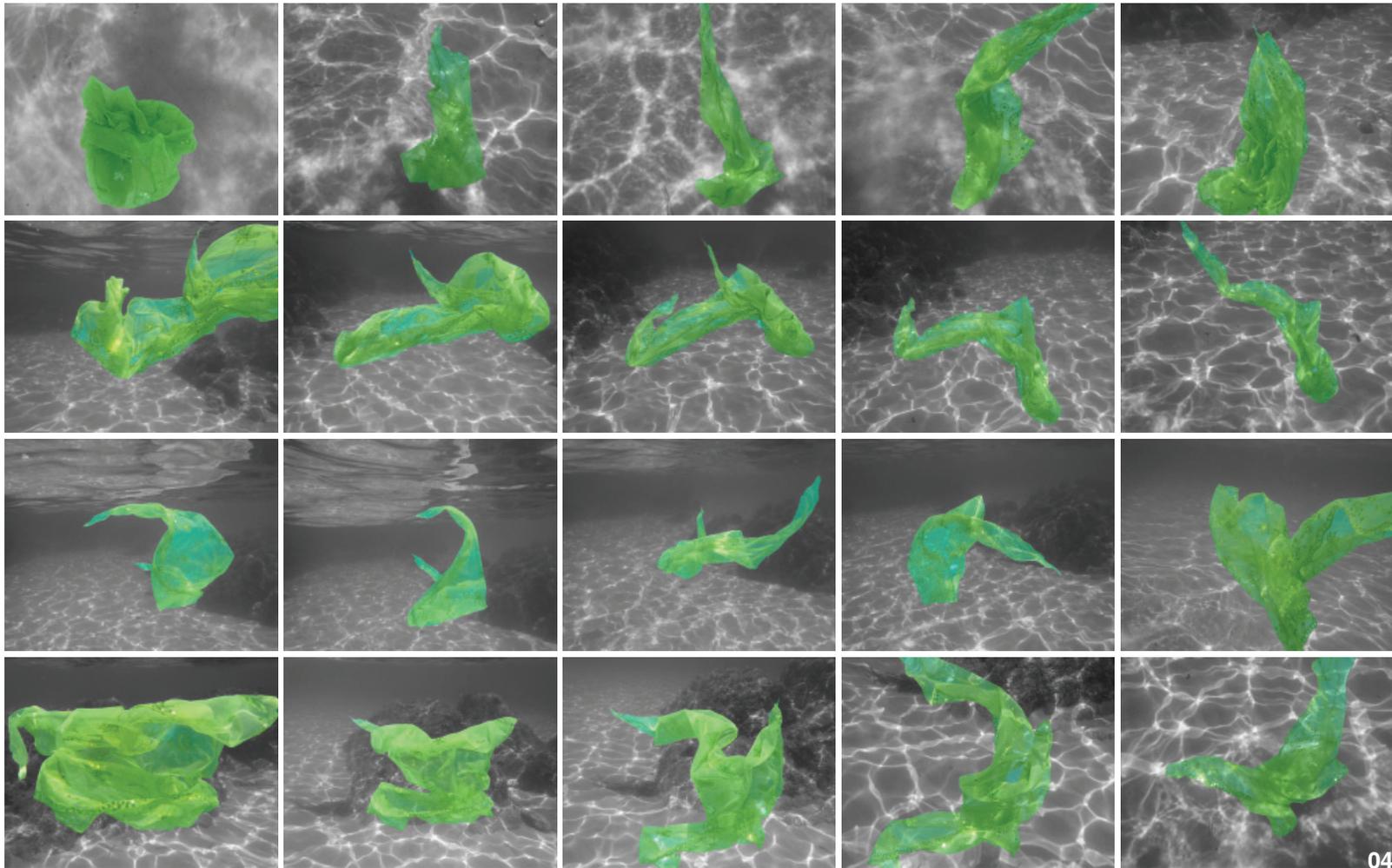
02  
33

## 05.2\_Stoffstudien

**Stoffstudien** Folgende Studie [03] zeigt ein Stück Stoff das sich unter Wasser durch Strömung bewegt. Durch das Anstoßen und das Wegbewegen von dem Felsen im Hintergrund entstehen manigfaltige Formen die aber in einer gewissen Linearität zueinander gehören. Durch Die Viskosität des Wassers wird der Stoff sozusagen in den Wellenbewegungen hin und her getragen und eröffnet so die Möglichkeiten unendlich vieler Formen die sich der Umgebung anschmiegen.

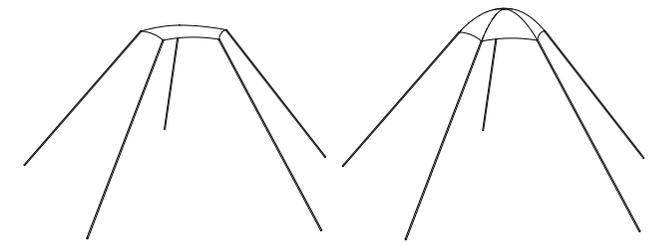
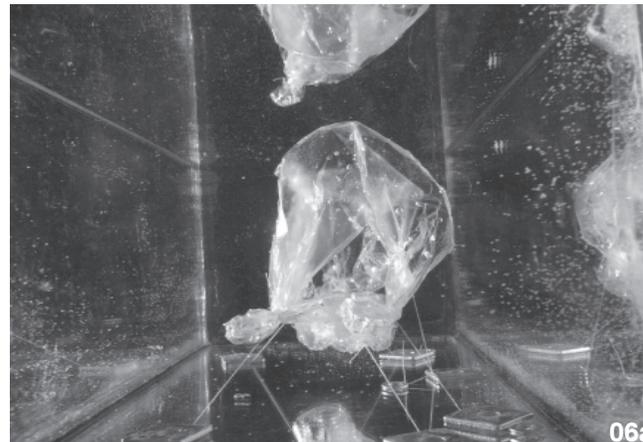
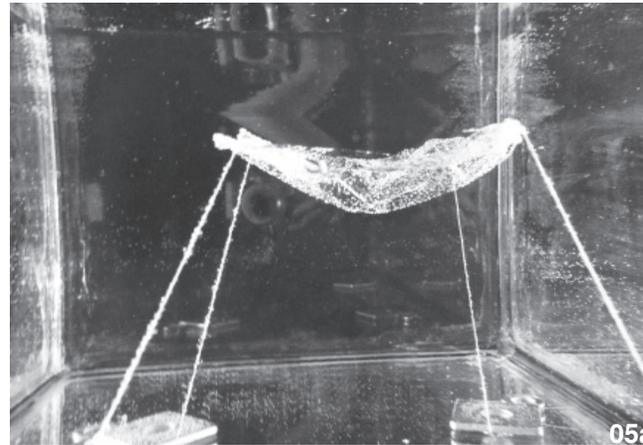
Die Umseitigen Abbildungen [04] zeigen offenere Bewegungen. Der Stoff wurde hier einfach auf den Grund gelegt und konnte sich so frei Entfalten. Durch die Bewegung verändert er kontinuierlich die Form.





## 05.3\_Auftriebsmodell

**Auftriebsmodell** Folgende Modelle zeigen Studien zum Auftrieb. Abbildung [05] zeigt ein Modell das dem bionischen Prinzip der Unterwasserspinnne nachempfunden ist. Eine Folie wird von 4 Abspannungen am Aquariumboden gehalten. Das Stehen der Konstruktion wird allein durch kleine Bläßchen, die am Material anhaften, ermöglicht. Wenn man nun Luft unter diese Folie bläst spannt sich die Konstruktion auf [05b] und bildet ein kuppelförmiges Gebilde. In der Natur (Unterwasserspinnne) passiert das als Atemluftreservoir der Spinne. Abbildung [06] zeigt eine Rundum geschlossene Hülle nur mit Öffnungen zur Seite. Setzt man die Folie zunächst aufs Wasser, schwimmt sie [06c]. Befestigt man nun Gewichte an der Folie und Flutet die Struktur geht sie unter als forminstabiles Gebilde. Wenn man jedoch der Form etwas Luft zuführt entsteht daraus eine formstabile, austarierte Struktur [06a].



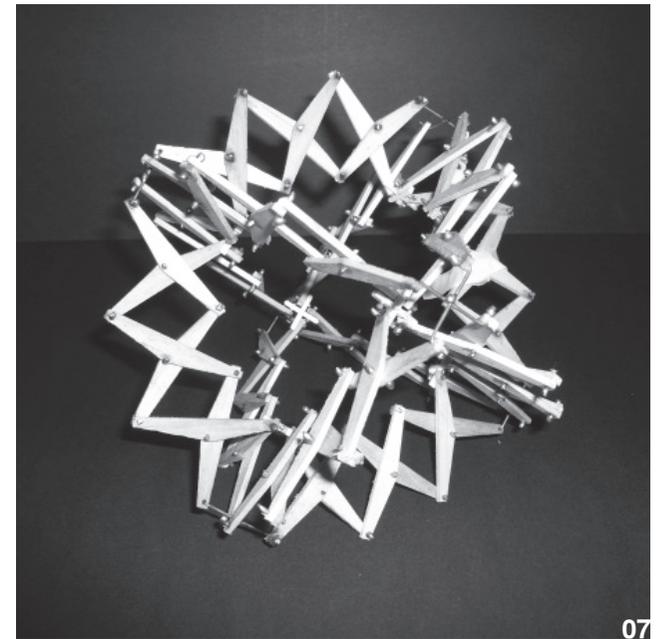
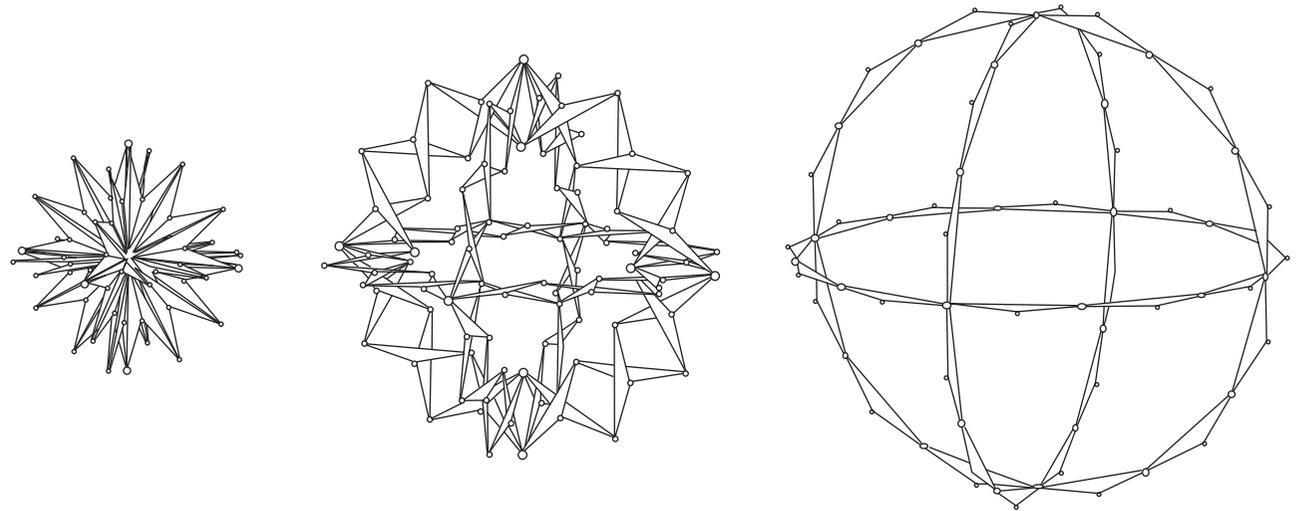
Netz ohne Luft

Netz mit Luft



## 05.4\_Faltstruktur I

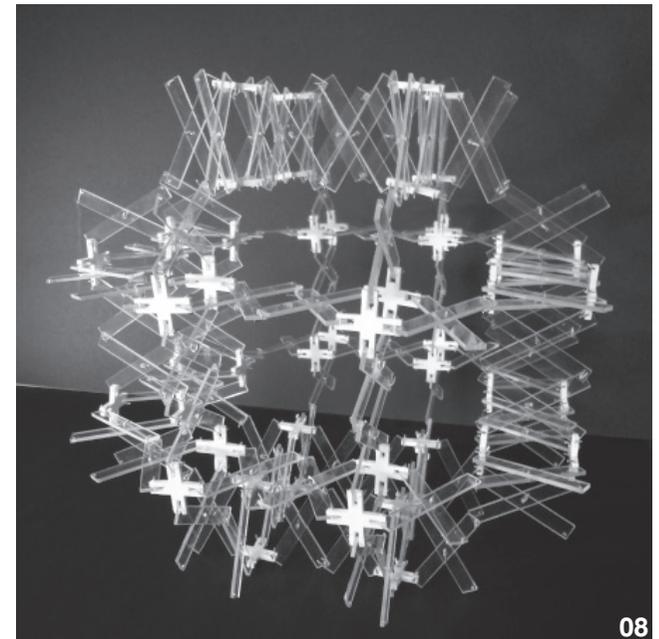
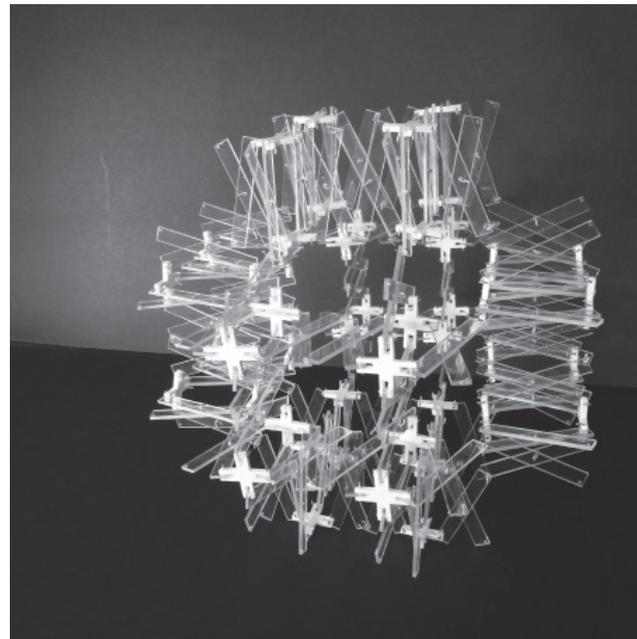
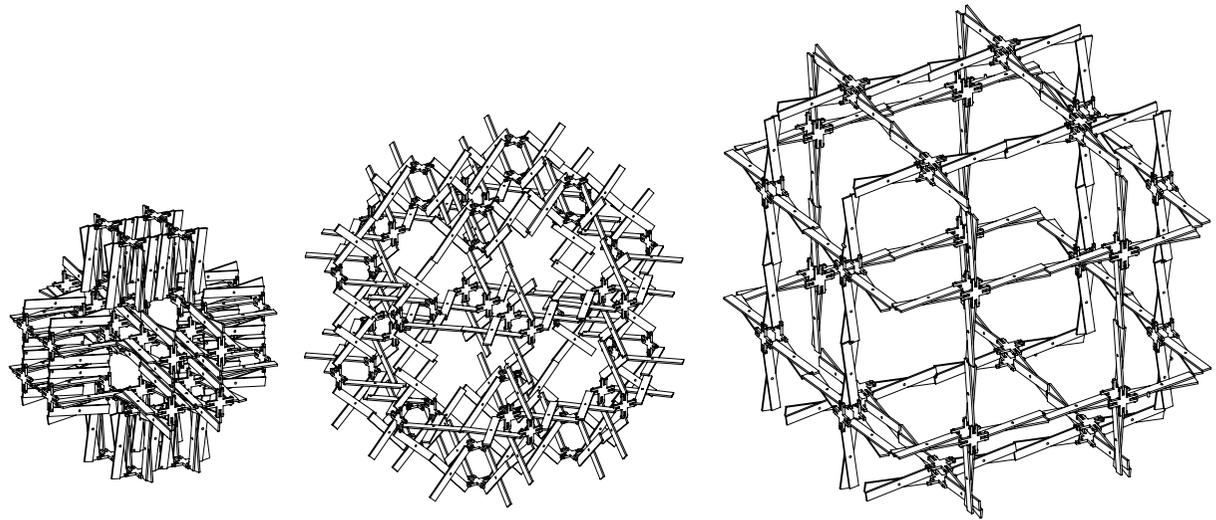
**Faltstruktur I** Folgende Faltstruktur ist dem Hobermanprinzip nachempfunden. Die Kugel besitzt viele Schergelenke und kann so komprimiert werden. Siehe schematische Abbildung [07]. Durch Fliehkräfte (z.B. das Werfen und Rollen auf dem Boden) strecken sich die Gelenke und die Kugel entfaltet sich. Eine andere Entfaltungsmöglichkeit ist es, vom Innerem der Kugel Druck auszuüben (z.B. durch einen Pneu in der Mitte). Das Volumen im Inneren vervielfacht sich und der Querschnitt der Hüllkonstruktion minimiert sich. Tests unter Wasser zeigten, dass eine Entfaltung nur von 2 Punkten abhängig ist. Dem Fixpunkt an der Unterseite, an dem ein Gewicht angebracht ist um die Struktur am Boden zu halten, und im optimalsten Falle ein Punkt auf der gegenüberliegenden Seite an dem ein Schwimmer angebracht wird.



## 05.5\_Faltstruktur II

**Faltstruktur II** Folgende Struktur ist, in freier Interpretation, ebenfalls dem Hobermanprinzip nachempfunden. Abbildung [08]

Die Grundgeometrie sind 7 aneinander gebrachte Kuben (wobei der Mittlere hier keine Rolle spielt). Durch die Streckung der Gelenke entsteht ein Kubus. Im Gegensatz zur Kugelförmigen Struktur kann man dieses komplexere Gebilde nur durch Zug an mehreren Stellen entfalten. Das heißt also unter Wasser bräuchte man nicht nur die Auftriebskräfte sondern auch Zugkräfte zur Seite. Das hängt zusammen mit der Ecklösung der Kuben. Die oberen Kanten können nicht verbunden werden und so gibt es hier keine Kraftübertragung. Allerdings bleibt das Prinzip des Inneren Drucks gleich, durch eine innere Kraft entfaltet sich das Objekt ebenfalls.



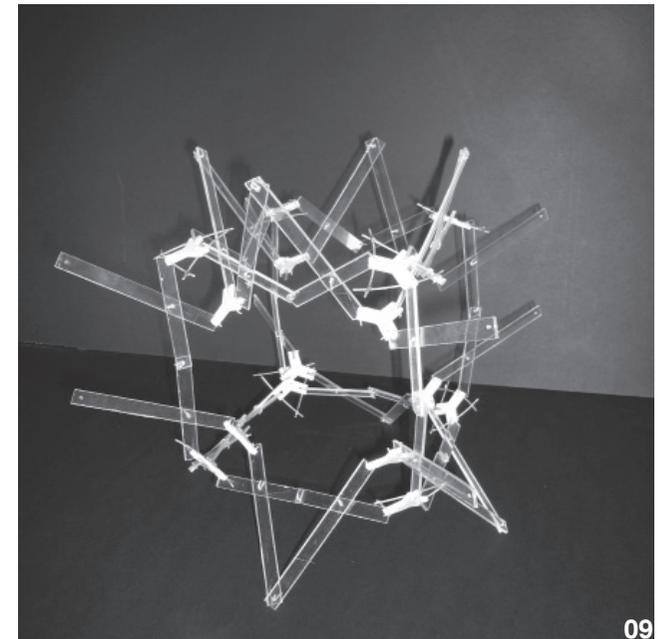
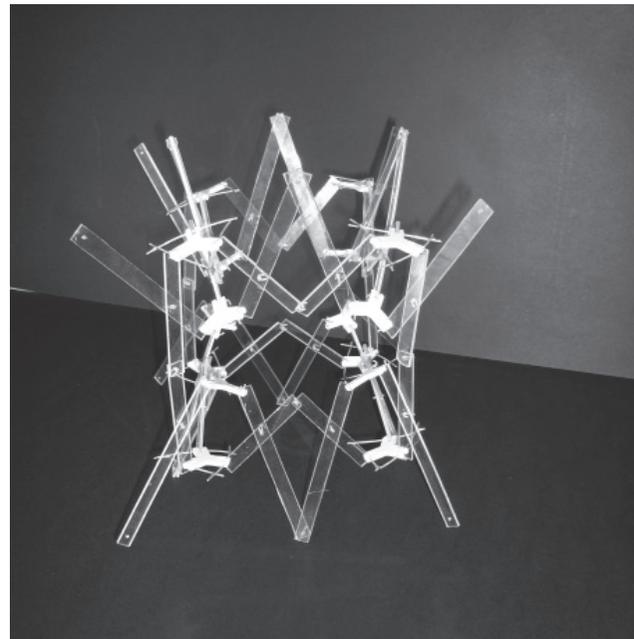
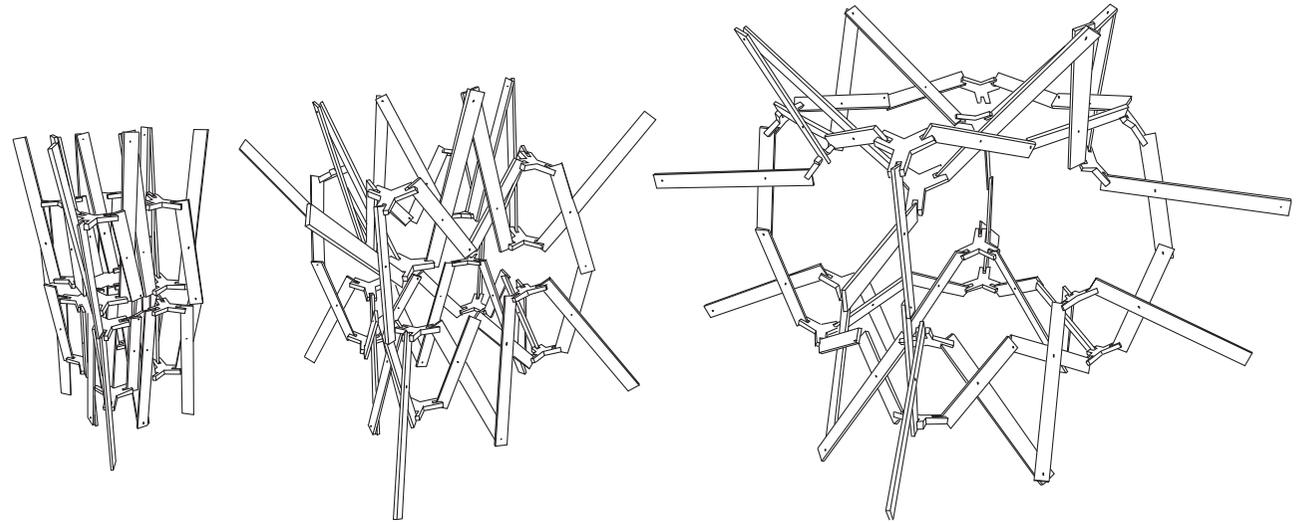
## 05.6\_Faltstruktur III

**Faltstruktur III** Diese Struktur erfüllt nicht die gleichen Prinzipien wie die beiden Vorhergehenden.

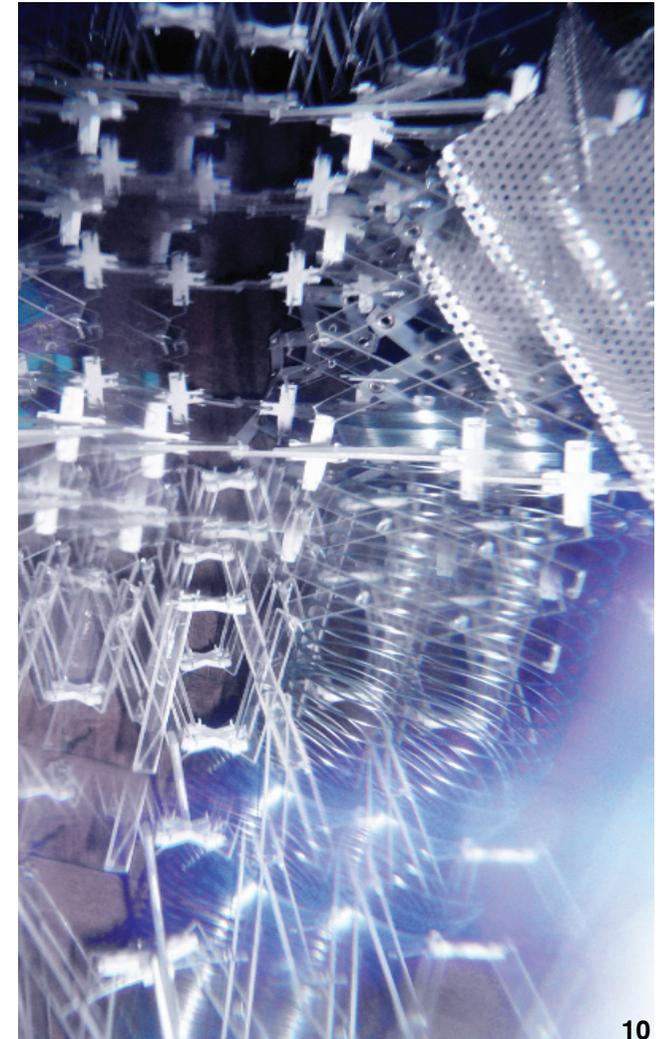
Die Grundformation ist auch hier ein Kubus, jedoch sind die Eckverbindungen als Dreieck ausgebildet. Das bedeutet das, dass Material elastisch sein muss um die Bewegung bewerkstelligen zu können. Auch die Gelenke sind hier unterschiedlich lang ausgebildet um eine Entfaltung zu ermöglichen. Abbildung [09]

Unterwasser ergibt sich eine ähnliche Komplikation wie bei Faltstruktur II. Die Zugkräfte müssen von der Seite kommen oder die Druckkräfte von Innen.

Durch die Starrheit des Material entstehen hohe Spannungen an den Reibungspunkten der Gelenke. Wäre das Material jedoch weicher, würde das Modell nicht mehr auffaltbar sein.



## 05.7\_MergedModels



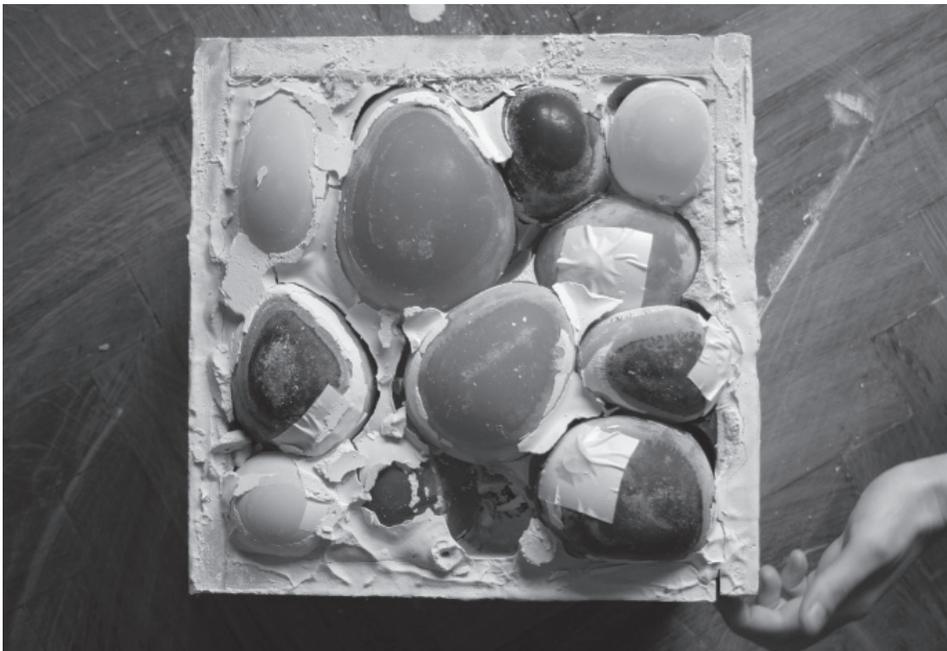
10

**MergedModels** Aus den vorhergehenden Modellstudien ergaben sich diese Collagen. Sie sollen eine Anregung dafür sein, was geometrisch möglich ist und wie man unter Wasser mit Expansion arbeiten kann, auch wenn es dem natürlichen Prinzip widerspricht. Nimmt man eine leere PET Flasche (Verschraubt) auf 20 m Tiefe, schrumpelt die Flasche zusammen, steigt man wieder mit ihr auf, werden die Gase in der Flasche nicht mehr komprimiert und sie entfaltet sich. Das Gleiche passiert mit der Lunge eines Tauchers, würde er die Luft anhalten. Das natürliche Prinzip der Entfaltung findet man am deutlichsten bei Kugelfischen, diese "blasen" sich bei Gefahr auf um größer zu erscheinen und so ihren Gegner zu vertreiben. Wobei das Aufblasen hier in einer speziellen "Wasserdruckkammer" im Körper des Kugelfisches stattfinden.

## 05.8\_Verdrängungsmodell

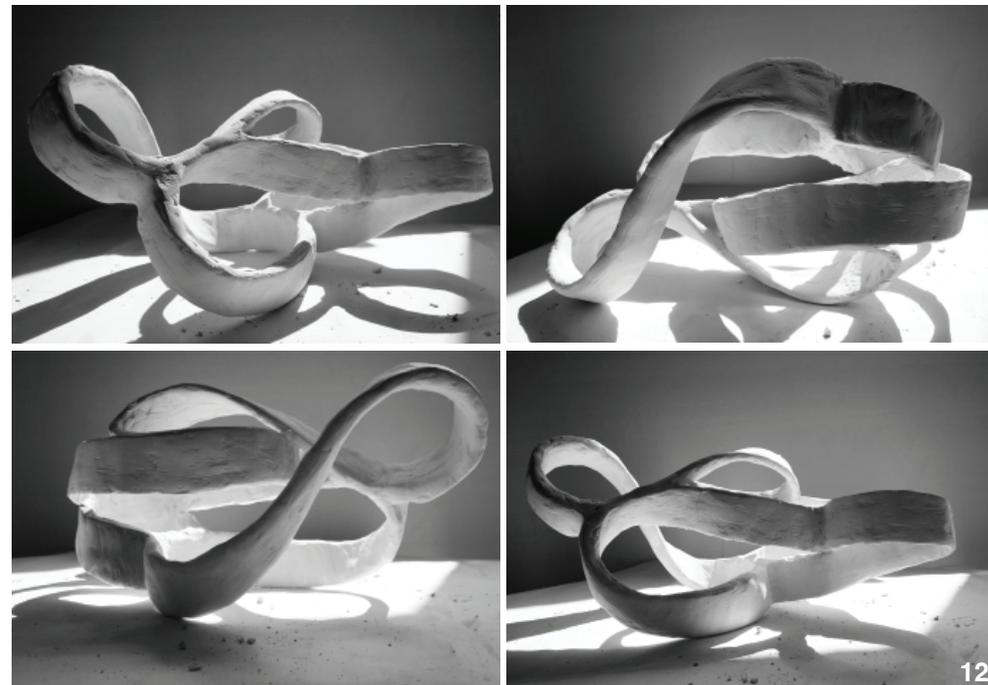
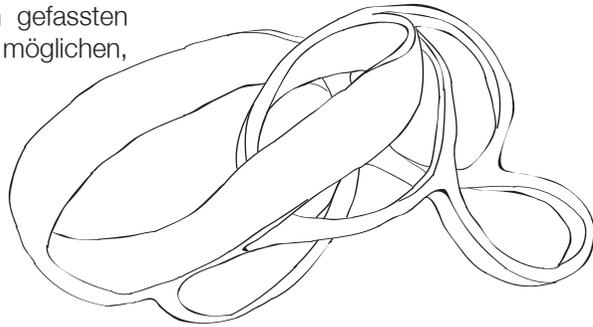
**Verdrängungsmodell** Auftrieb und Verdrängung sind entscheidende Faktoren beim Bauen unter Wasser. Folgende Abbildung zeigt ein Modell, dass sich mit Verdrängungsmechanismen beschäftigt (Abbildung [11]). Luftballons verschiedener Größen werden mit Wasser/Luft gefüllt und in ein Behältnis mit feuchtem Gips gefüllt. Gips hat natürlich eine andere Viskosität als Wasser aber um das Verhalten der einzelnen Liquide zu untersuchen und die Verdrängungsmechanismen zu studieren muss das Medium fixiert werden.

Die Ballons, die mit Luft gefüllt sind steigen natürlich auf, und die mit Wasser gefüllten drängen sich nach unten. Einige Ballons wurden nur zur Hälfte mit Wasser gefüllt- sie waren also austariert. Dadurch ergibt sich eine etwa gleichmäßige Durchmischung. Durch den Auftrieb liegen die Ballons nicht lose nebeneinander sondern drängen sich Fest aneinander, was dazu führt das die einzelnen Hohlräume miteinander verbunden sind. Ebenso die abtriebigen Wasserballons schaffen Verbindungsräume. Der statische Auftrieb eines von Wasser umgebenen Körpers wirkt der Gewichtskraft, dem Abtrieb, entgegen und entspricht der Gewichtskraft des verdrängten Wassers (Archimedisches Prinzip). Wenn die Auftriebskraft kleiner ist als die Gewichtskraft, sinkt der Gegenstand, ist sie größer, steigt er auf.



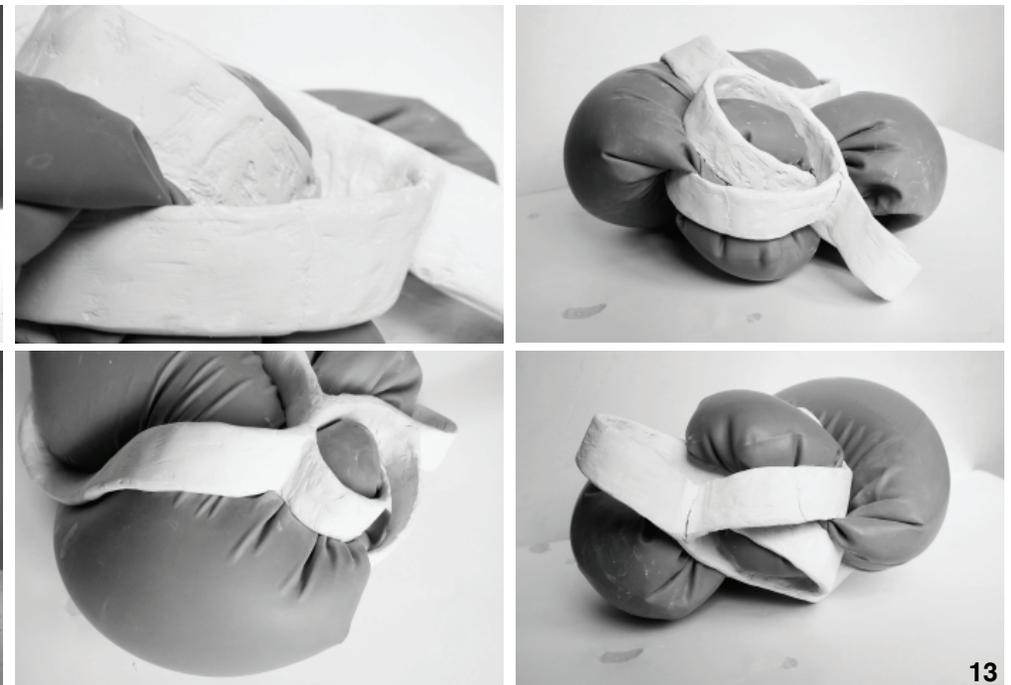
## 05.9\_Gipsschleifenmodell I

**Gipsschleifenmodell I** Das Modell der Gipsschleife ist eine abstrakte Weiterentwicklung der Tintenstudie und des Verdrängungsmodells. Mehrere Bänder werden hierzu aneinander gelegt und zur Stabilisierung eingegipst. Die Form ist frei entwickelt und soll einen gefassten Zustand, von Abermillionen möglichen, Symbolisieren. Abbildung [12]



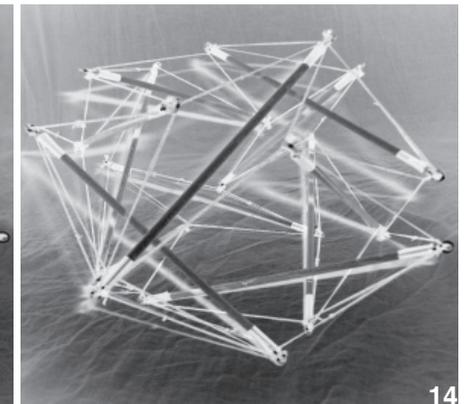
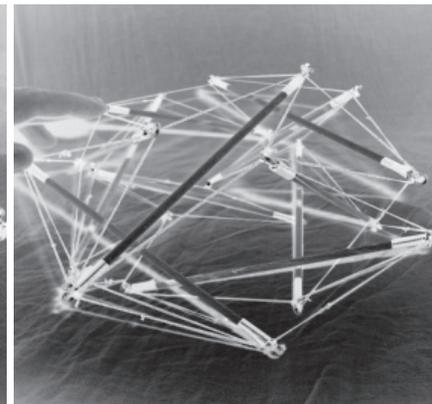
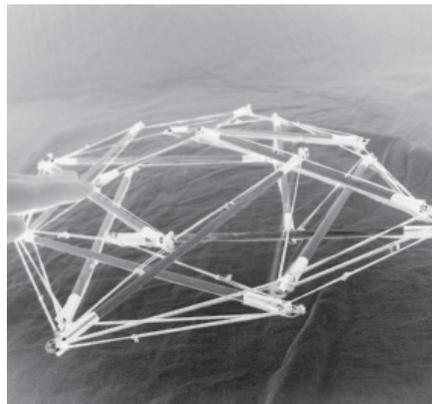
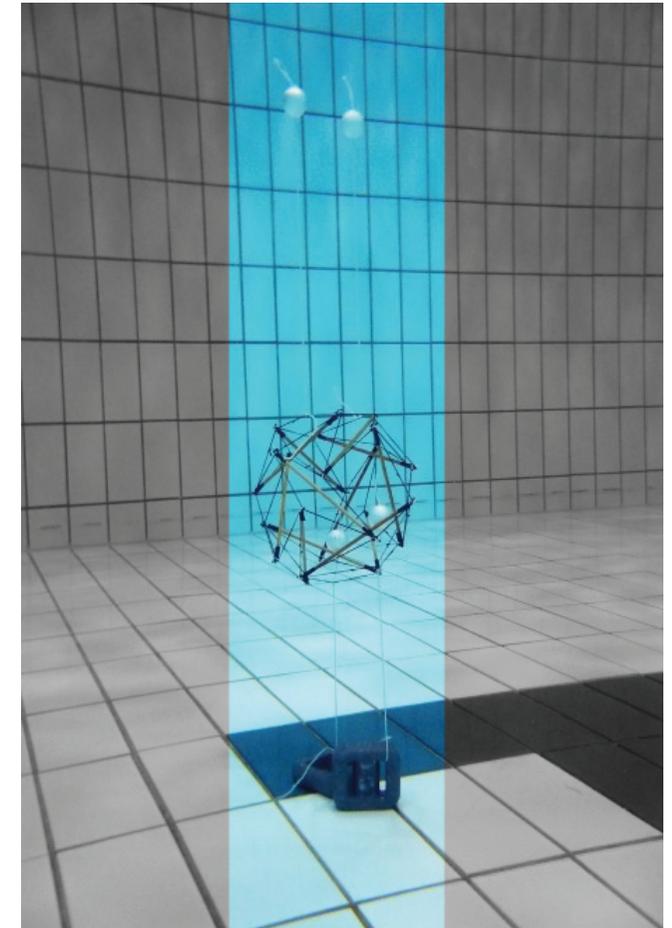
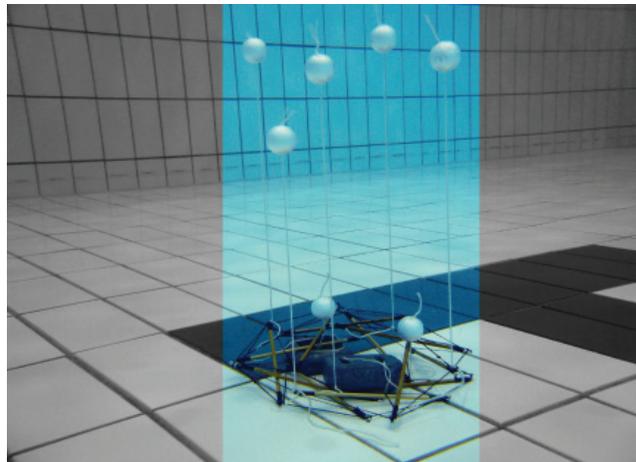
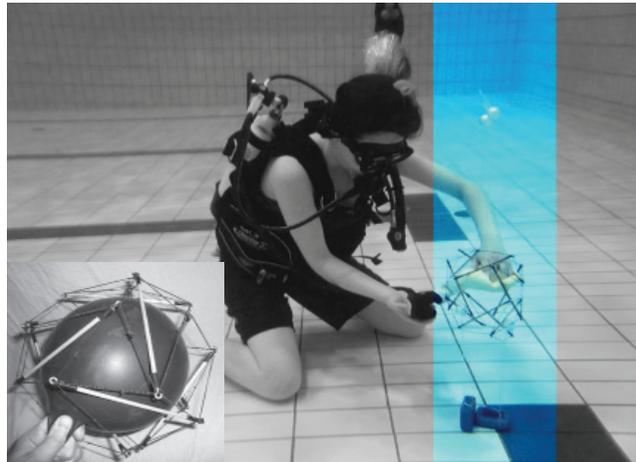
## 05.10\_Gipsschleifenmodell II

**Gipsschleifenmodell II** Ausgangsbasis für das Modell ist Gipsschleifenmodell I. In das Modell wird eine Hülle gelegt und diese dann aufgepumpt und anschließend mit Gips ausgefüllt. Durch die Erhärtung des Gipses wird die Hülle stabil. Die Räume jedoch sind begrenzt durch die Größe und Elastizität des Hüllmaterials. Überall wo die Schleife Öffnungen freigibt, expandieren die Pneus, der Größe der Öffnung entsprechend. Abbildung [13]



## 05.11\_Tensegrity

**Tensegrity** Folgendes Modell ist eine Tensegrity Struktur. Das Tragwerkssystem stabilisiert sich selbst durch Zug und Druck. Die Druckstäbe sind massiv und starr wogegen die Zugseile elastisch sind. Es ist möglich eine Tensegrity- Struktur starr auszubilden, wenn man die Zugseile aus einem nichtelastischen Material ausbildet unter, Berücksichtigung der Grundgeometrie des Objekts. Wählt man die Verbindungen elastisch wie im vorliegenden Objekt, ist die Konstruktion beweglich. Vorliegendes Objekt hat einen Oktaeder als Grundform. Durch die Symmetrie und Elastizität ist es zusammenfaltbar, Siehe Abbildung [14]. Im Folgenden wurde versucht das Modell unter Wasser so auszutari-eren das es die Entfaltung langsam vollzieht. Das heißt durch Anbringen von Schwimmern im oberen Segment und Bleigewichten im unteren Segment. Addiert man nun Schwimmer wird die Struktur langgezogen. Verringert man die Schwimmer bleibt das Modell im Ursprungszustand, da das Holz (Druckstäbe) für einen normalen Auftrieb sorgt. Bringt man nun eine kugelsymmetrische Hüllstruktur im Inneren an und bläst diese mit Luft auf, wird die Konstruktion durch den Auftrieb enorm Auseinandergezogen. Füllt man die Hülle jedoch mit Wasser, expandiert die Konstruktion symmetrisch und es werden mehr Schwimmer für den Auftrieb benötigt.



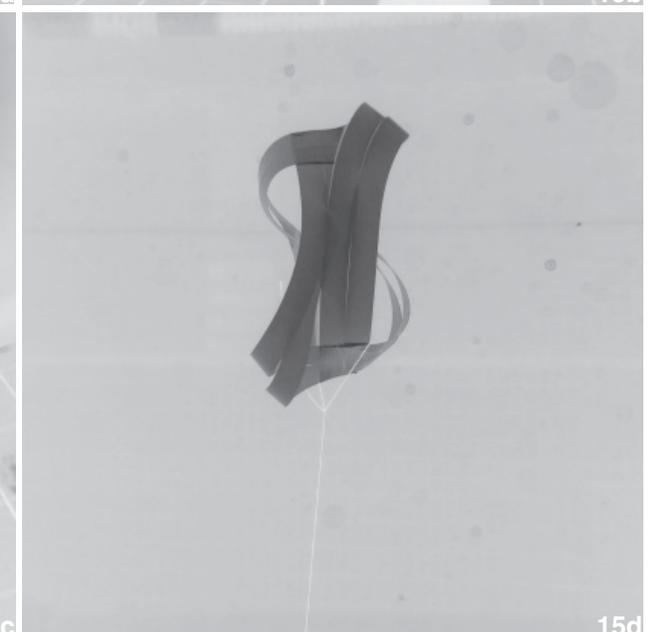
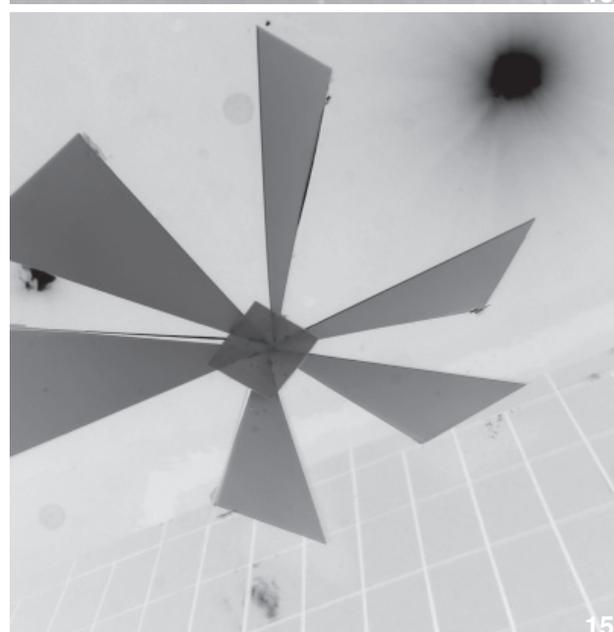
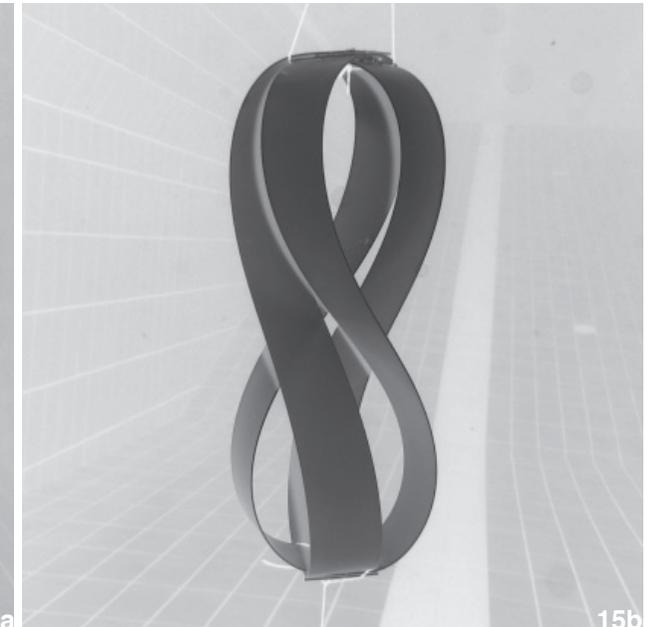
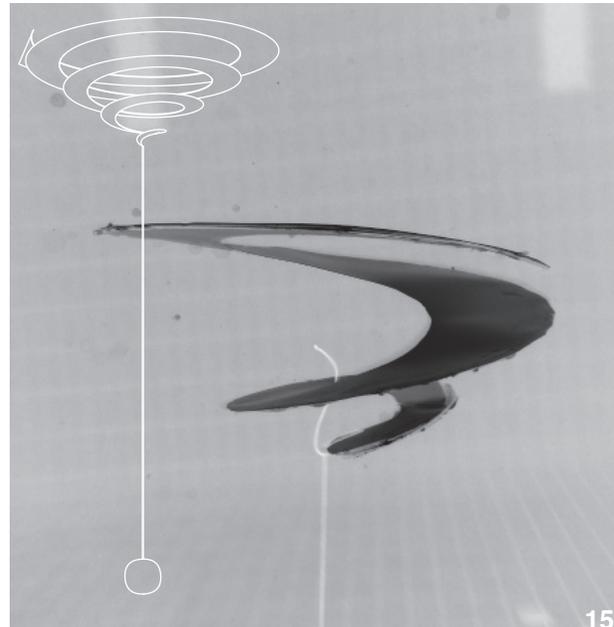
## 05.12\_Sinkmodelle

**Sinkmodelle** Nachfolgend werden einige Strukturen an deren Sinkverhalten untersucht.

Die Spirale, Abbildung [15a], zeigt ein sehr gutes Sinkverhalten und bleibt trotz Strömung in Ihrer Sinklinie. Durch die Änderung des Ziehgewichts kann man die Sinkgeschwindigkeit bestimmen, oder gegebenenfalls durch Addition von Schwimmern verlangsamen. Beim Aufsteigen weist die Spirale ebenfalls gute Eigenschaften auf, da sie sich so elegant wie sie sich runtergeschraubt hat, auch wieder hinaufziehen lässt. Die Doppelhelixstruktur, Abbildung [15b], weist weniger gute Sinkeigenschaften auf. Durch die geringe Tragfläche fällt das Modell sehr schnell auf den Grund und wird von der Strömung schnell erfasst und driftet ab.

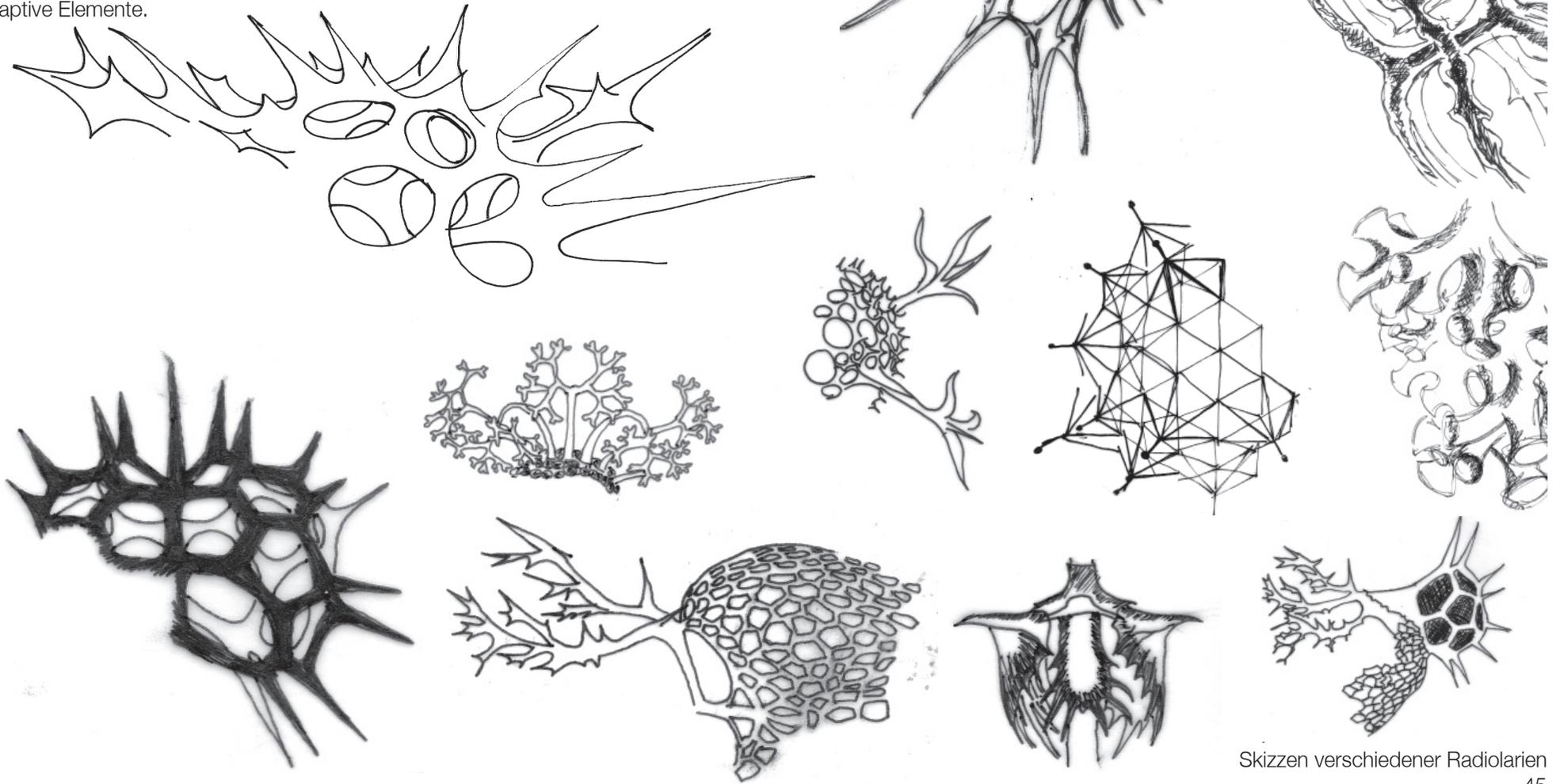
Der Propeller, Abbildung [15c], weist sehr gute Sinkeigenschaften auf, allerdings kommt es hier ebenfalls zu Strömungsproblematiken. Und wenn man das Modell wieder hinauszieht kommt es zu einer schweren Belastung der Rotorblätter, so stark, dass diese zu brechen drohen.

Die Struktur in Abbildung [15d] weist aufgrund ihrer Asymmetrie eine schräge Sinklinie auf. Das heißt das Modell driftet von vorneherein. Es ist desweiteren auch sehr anfällig für Strömungen, wenn es außer Drift gerät hört die Rotation ebenfalls auf. Dadurch hat diese Geometrie auch kein Aufstiegsverhalten da es in einer geraden Linie, also dem direkten Aufstieg nach oben, nicht rotationsfähig ist.



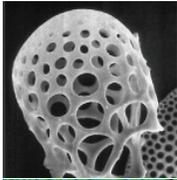
## 06\_Digitale Entwicklung

In diesem Kapitel wird nachfolgend die digitale Entwicklung des Modells dokumentiert. Anfänglich steht die Beschäftigung mit Zellstrukturen im Vordergrund und entwickelt sich hin zu mobilen Strukturen, fix Verankerten Stationen und Bewegungssimulationen. Die Inspiration für die Entwicklung der verschiedenen Modelle sind aus der Natur entnommen. Meist handelt es sich um Struktursymbiosen oder adaptive Elemente.



Skizzen verschiedener Radiolarien

## 06.1\_Inspiration



Mineralisierte Skelette von Radiolarien und Kieselalgen zeigen einen gestaffelten Aufbau von Material, entlang eines zellulären Innengerüsts, als Reaktion auf die extremen Umweltbedingungen.

Die enormen Belastungen durch den Druck auf allen Seiten des Organismus haben diese Semi-Kugelformen ausgebildet. Diese Organismen wurden von dem Biologen Ernst Haeckel im Jahre 1906 untersucht und durch den Ingenieur Frei Otto in den 1960er Jahren wieder aufgegriffen um zu veranschaulichen, wie die Radiolariengeometrie mit Materialität gekoppelt werden kann.



Hirnkorallen haben ihren Namen von ihrer labyrinthartig gerillten Oberfläche. Diese Oberfläche ist ein hartes Skelett aus Kalziumcarbonat, welches durch Polypen die auf der Koralle leben, aus dem Meer extrahiert wird.

Die Rillen dienen dem Schutz der Polypen und ihrer winzigen Tentakel, während die Kämme den Lebensraum für die Alge stellen. Die Polypen und die Alge haben eine symbiotische Beziehung, in der sie Nahrung für einander in der Form von Photosynthese und Abfallrecycling stellen.



Die portugiesische Man-of-war ist kein eigenständiges Individuum, sondern eine Kolonie von vier stark modifizierten Individuen (Polypen). Das Segel, die Tentakel, der Magen und der reproduktive Apparat enthalten alle unterschiedliche DNA aber arbeiten dennoch voneinander abhängig. Die Galeere ist organisch, ihr Körper allerdings provisorisch. Die Polypen sind einzeln nicht mehr lebensfähig, und auf den Zusammenschluss mit anderen Polypen angewiesen.



Oktopusse sind bekannt für Ihre Fähigkeit ihre Farbe der Umgebung anzupassen bis hin zu komplexen bunten Farbmustern. Der mimic Oktopus jedoch ahmt nicht nur visuelle Charakteristiken seiner Umwelt nach, sondern auch Verhaltensmerkmale anderer Arten in seiner Umgebung. Er kann schwimmen und sich verrenken wie ein Plattfisch, kann sich bewegen wie eine Seeschlange oder einen Lionfish imitieren.

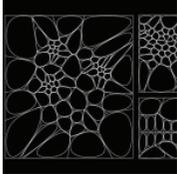


Die Löcherkrake ist ein Tiefseebewohner. Das weibliche Tier wird bis zu 2m lang und 10 kg schwer. Das Männchen hingegen nur 3 cm lang und 1/4 g schwer. Junge Weibchen verwenden einen interessanten Verteidigungsmechanismus: sie benutzen abgerissene Arme der Man-of-war Galeere zur Abwehr, die sie mit ihren Tentakeln halten. Erst später wird ihre "Decke" zur Verteidigung genutzt. Im Englischen bezeichnet man sie deshalb auch als Blanket octopus.

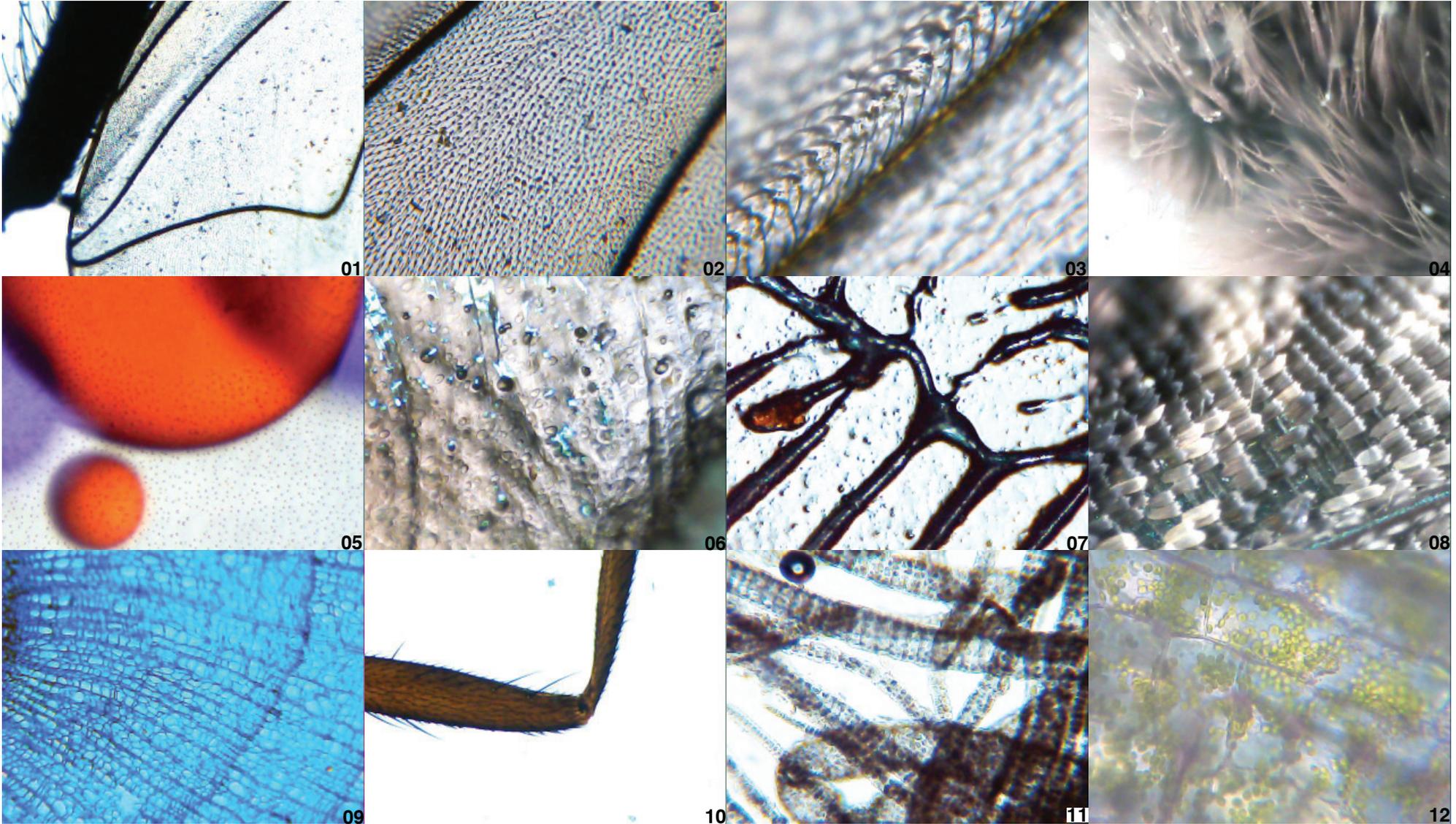


Die "Blood comb" Qualle besteht aus zwei verflochtenen Individuen. Die Qualle selbst ist transparent, die biolumineszenten Bakterien jedoch, die auf den Waben leben, erzeugen ein kaleidoskopisches Farbspektrum.

Die Feinde der Qualle leben in geringeren Tiefen. Durch das Interferenzmuster der Bakterien und die Bewegung Ihrer Kämme funktioniert dieser "stealth"-Tarnmechanismus. Beide Arten profitieren und haben einen einzigen zusammengehörenden Organismus entwickelt.



Mit einem Voronoi-Diagramm wird eine Zerlegung des Raumes in Regionen bezeichnet, die durch eine vorgegebene Menge an Punkten des Raumes, hier als Zentren bezeichnet, bestimmt werden. Jede Region wird durch genau ein Zentrum bestimmt und umfasst alle Punkte des Raumes, die in Bezug zur euklidischen Metrik näher an dem Zentrum der Region liegen, als an jedem anderen Zentrum. Aus allen Punkten, die mehr als ein nächstgelegenes Zentrum besitzen und somit die Grenzen der Regionen bilden, entsteht das Voronoi-Diagramm.



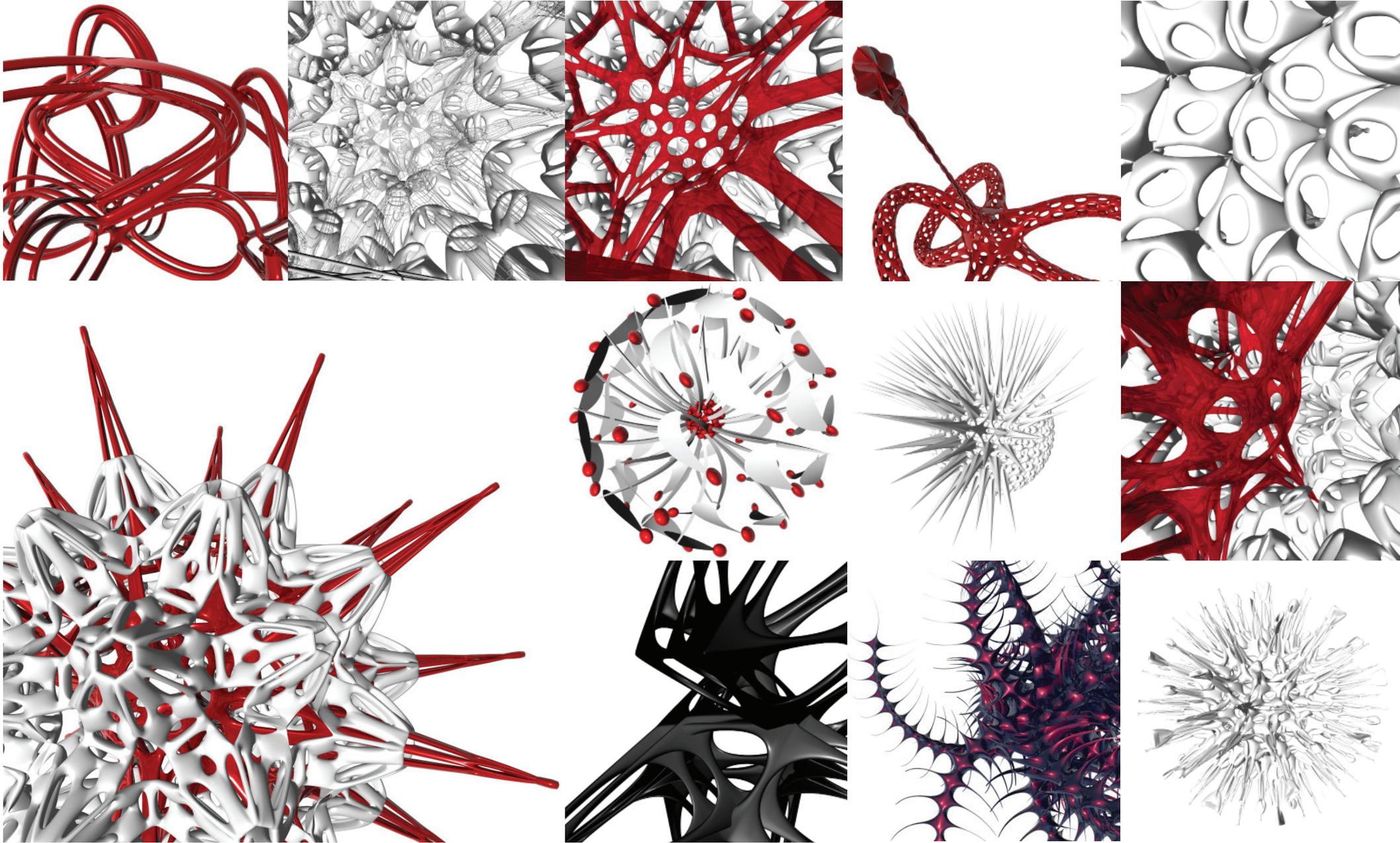
01\_ Bienen Flügel  
 02\_ Bienen Flügel Vergrößerung  
 03\_ Bienen Flügel Ausschnitt  
 04\_ Biene Härchen am Körper  
 05\_ Öl einer Mathmos Scheibe

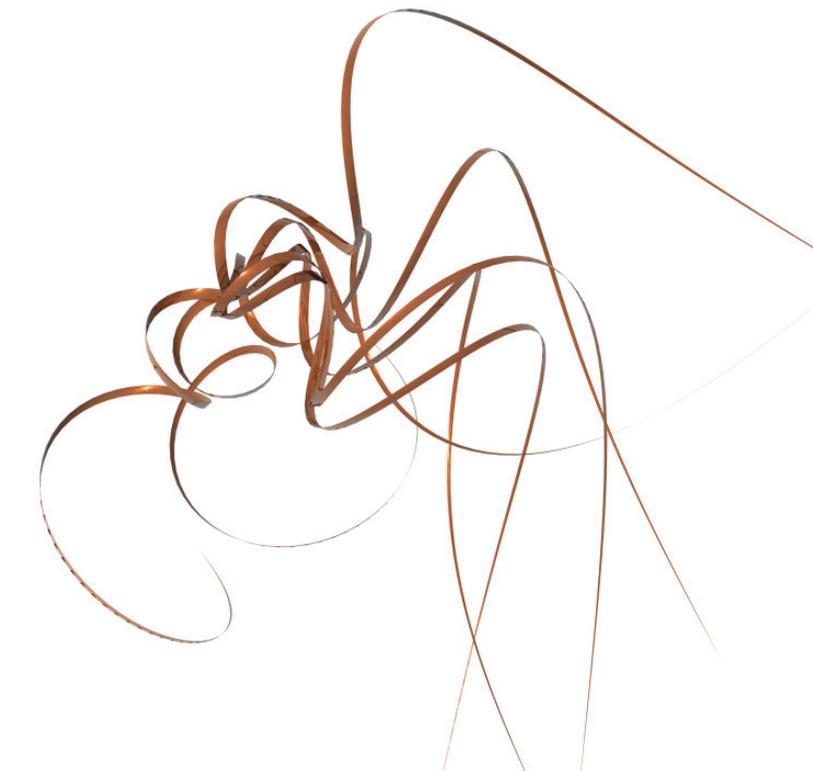
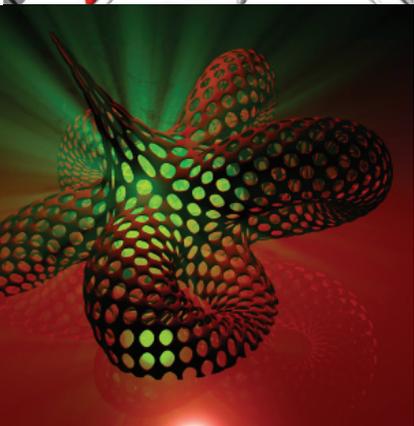
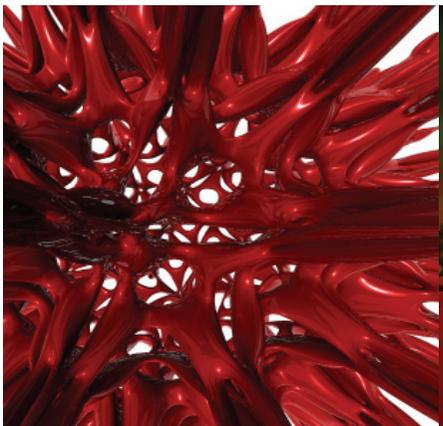
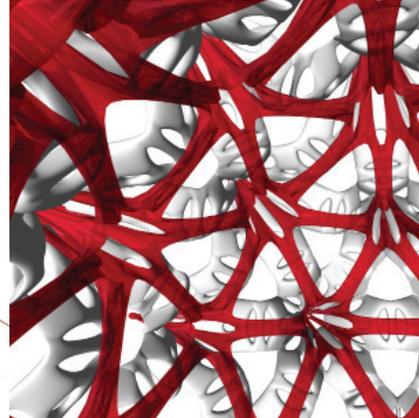
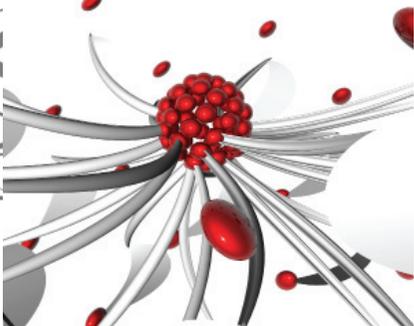
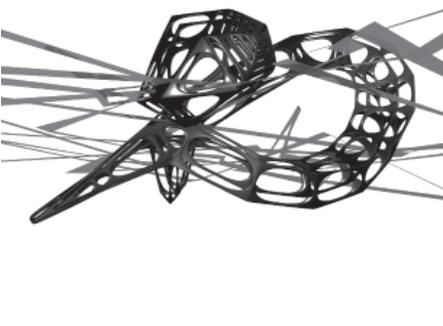
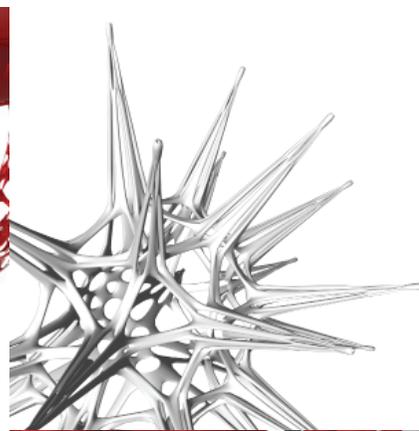
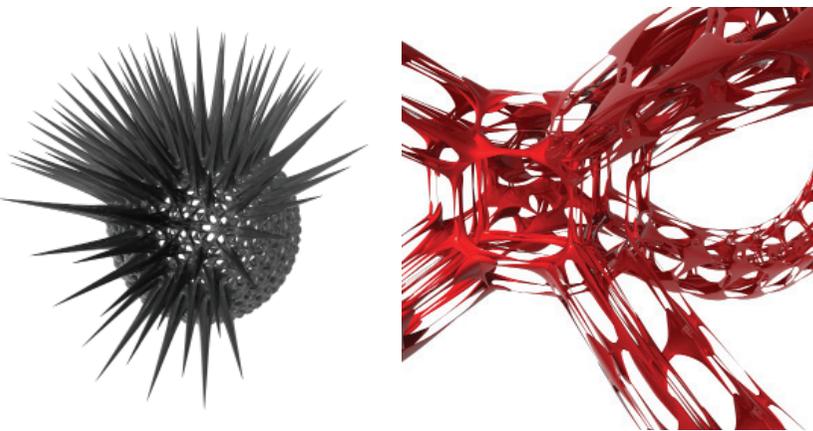
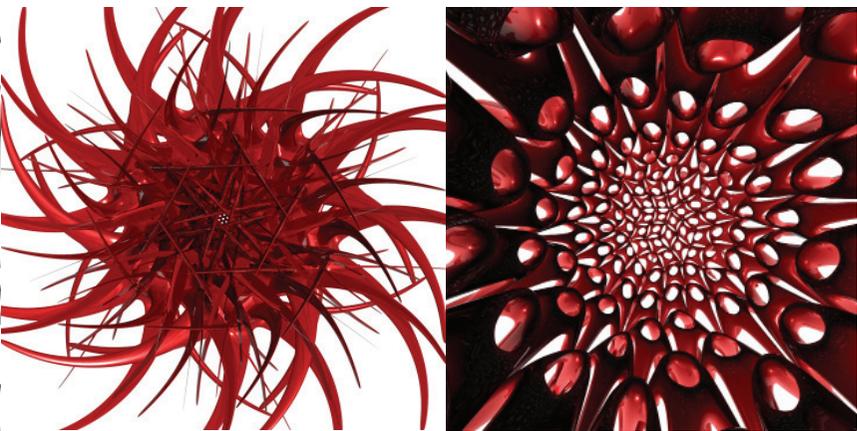
06\_ Gummibärchen  
 07\_ Fettiger Fingerabdruck  
 08\_ Schmetterlingsflügel  
 09\_ Stängel einer Wasserpflanze  
 10\_ Bein einer Hausfliege

11\_ Fadenalgen  
 12\_ Chloroplasten einer Wasserpflanze

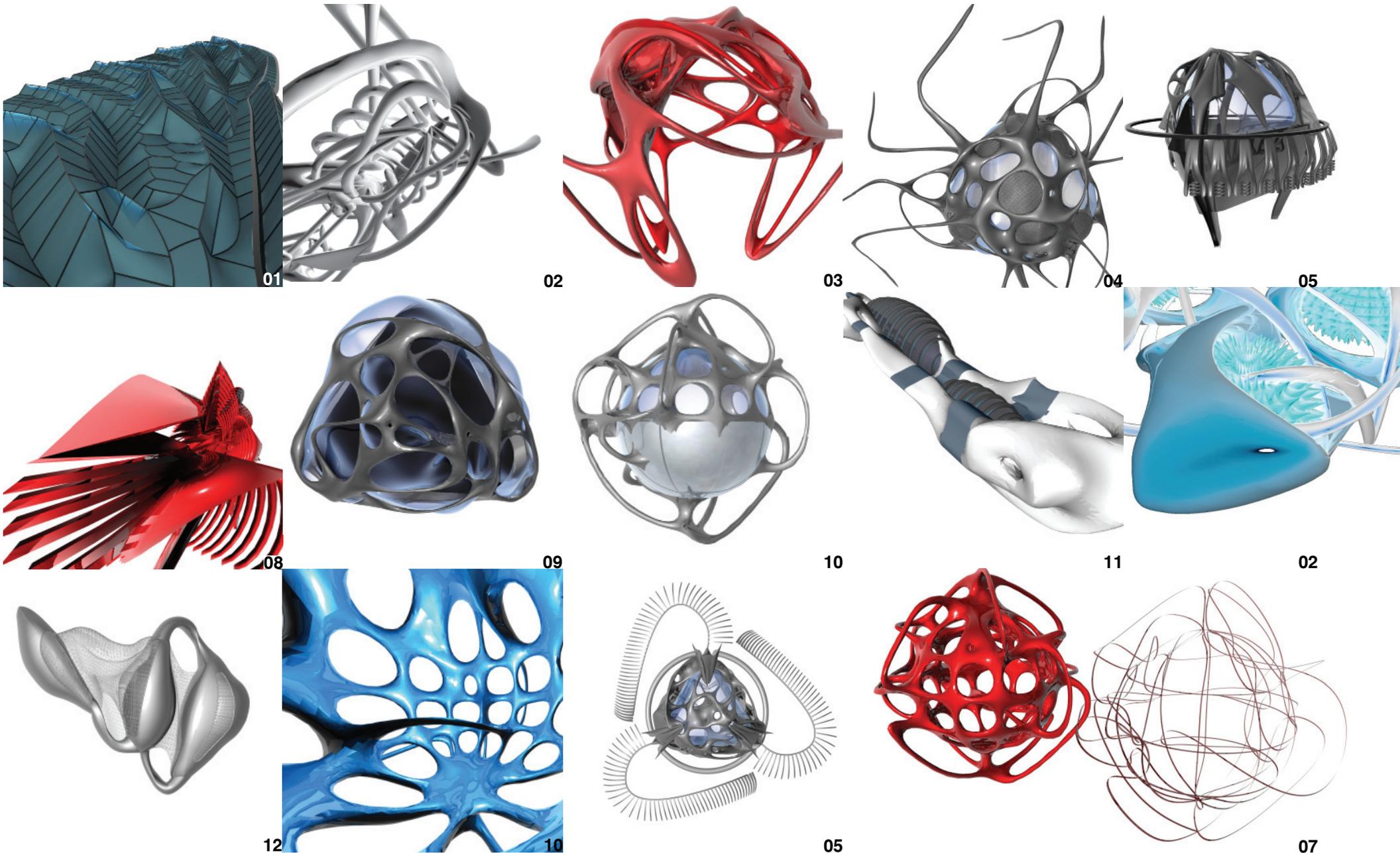
mikroskopische Aufnahmen verschiedener Strukturen  
 zur Untersuchung von Formen /Funktionen

## 06.2 Digitalisierte Zellstrukturen





## 06.3 Entwicklung Entwurf

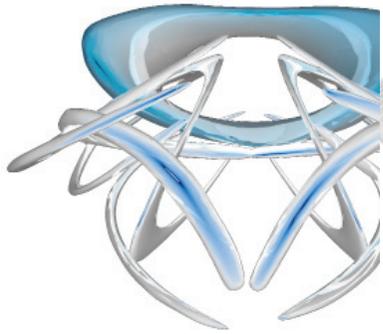


01\_ Libellenflügel visualisierung  
 02\_ offene Struktur  
 03\_ offene dynamische Struktur  
 04\_ Rotationsfähige Station  
 05\_ Station mit Energiegewinnung

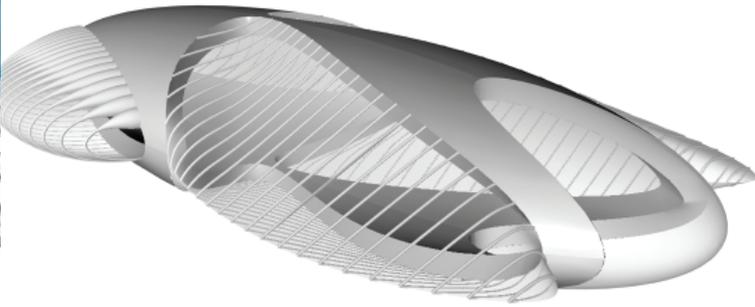
06\_ fahrbare Station  
 07\_ Körperentwicklung  
 08\_ bewegliche Struktur  
 09\_ geschlossene Station asymmetrisch  
 10\_ Kugelförmige Station

11\_ Knochenartige fixe, Station  
 12\_ Fixe Cell Station  
 13\_ öffenbare Station  
 14\_ Asymmetrische Station mit Armen  
 15\_ Offene Struktur mit Oberflächenstruktur

16\_ Rotationskörper  
 17\_ Talkbubble  
 18\_ semi geschlossene Station  
 19\_ geschlossene Struktur



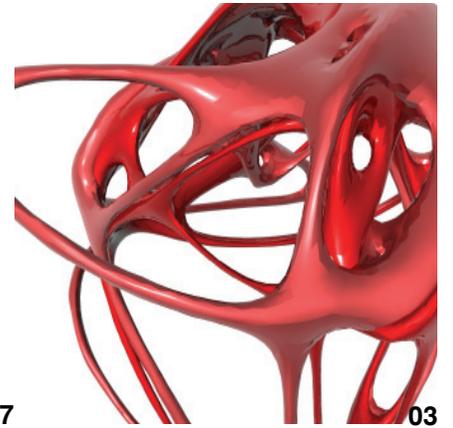
02



06



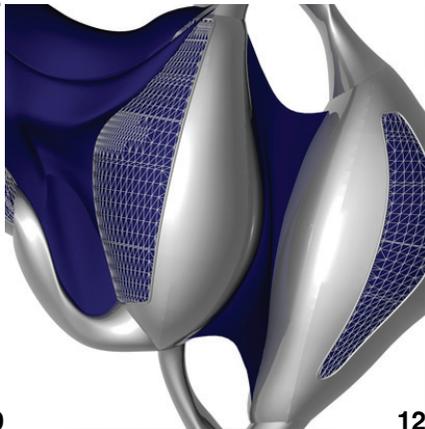
07



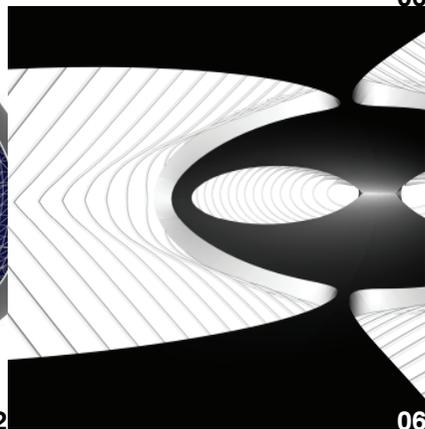
03



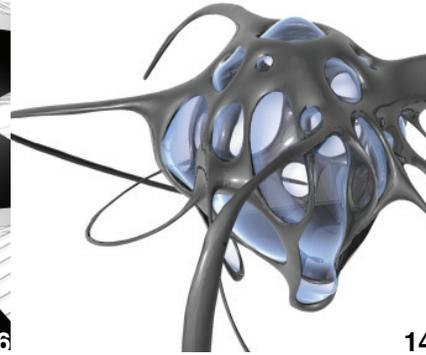
09



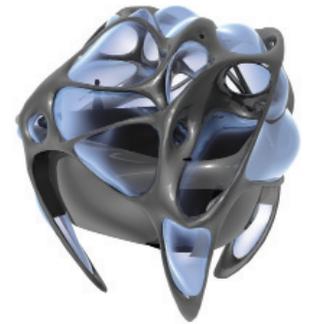
12



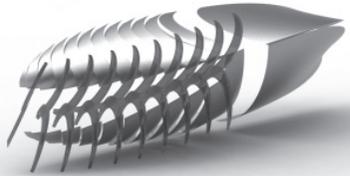
06



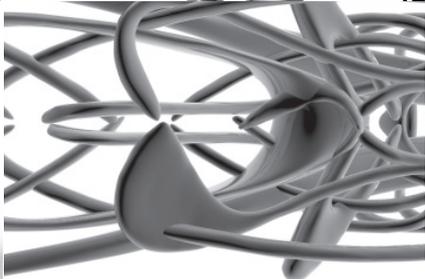
14



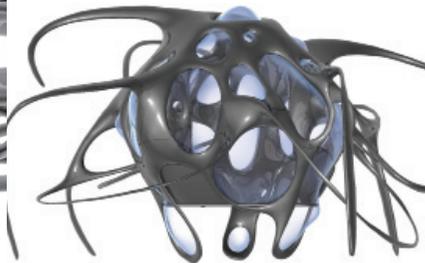
09



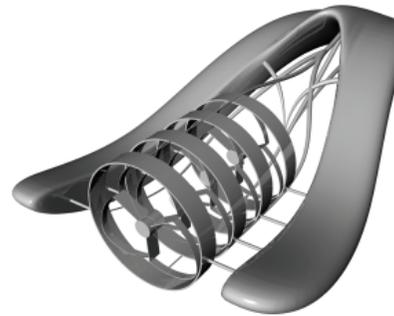
13



02



14

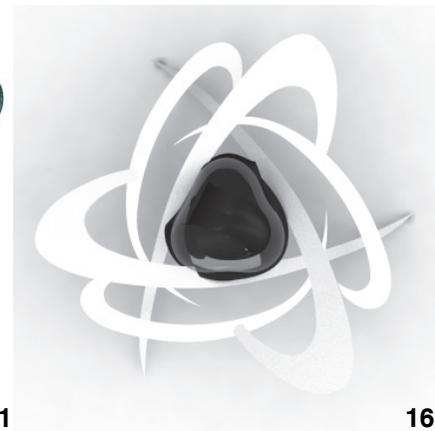
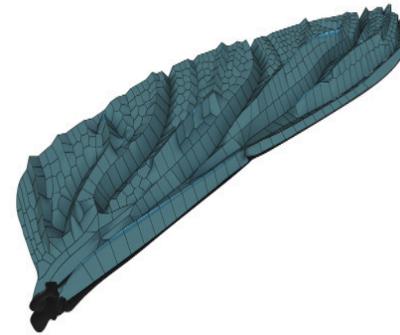
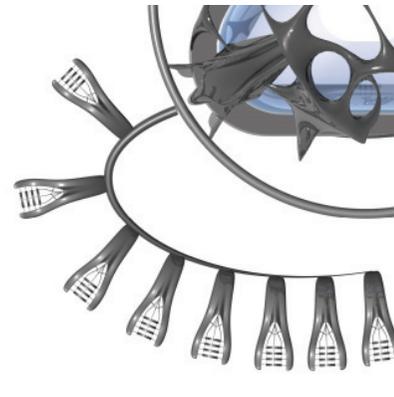
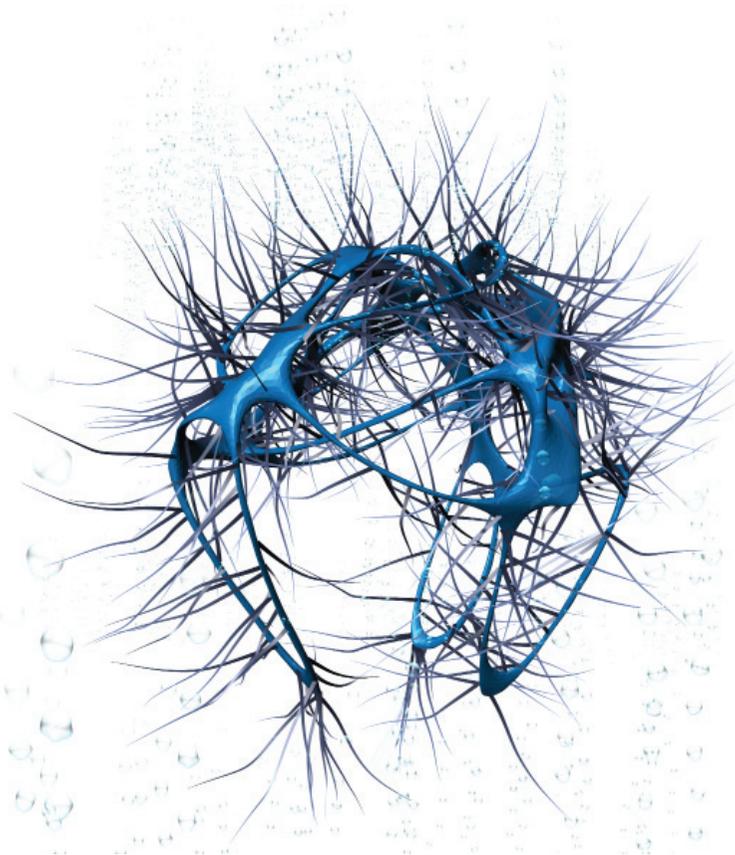


05



14

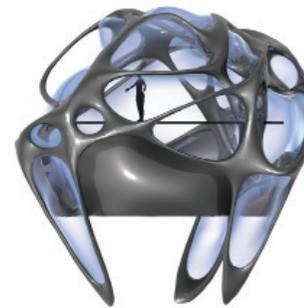
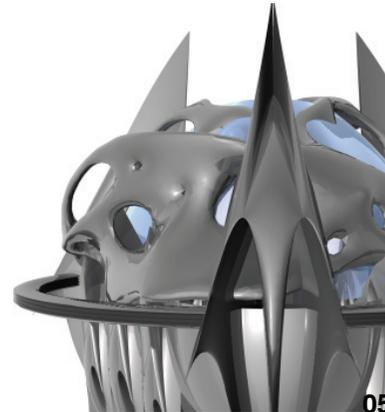
# 06.3 Entwicklung Entwurf



05

01

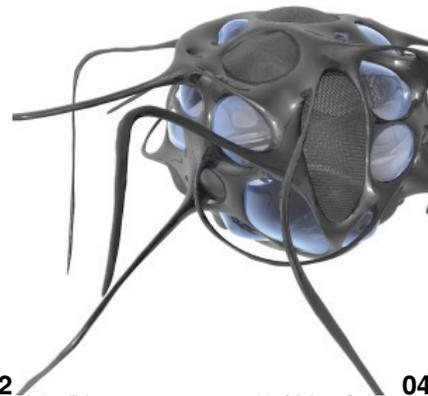
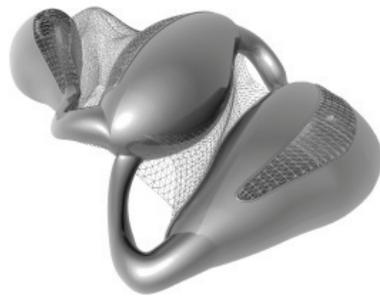
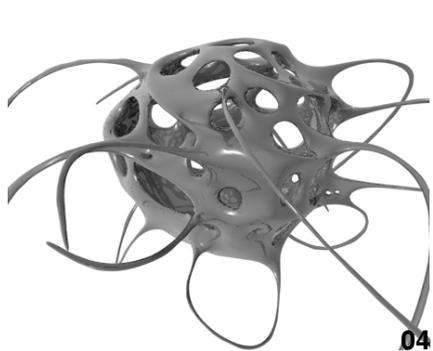
16



15

05

09



04

12

04

04

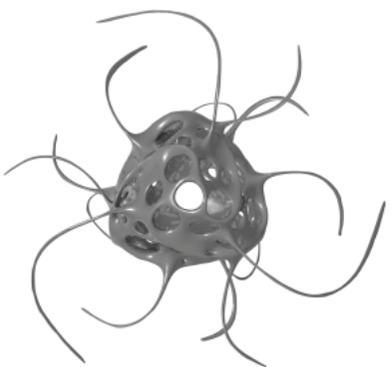
52

01\_ Libellenflügel visualisierung  
02\_ offene Struktur  
03\_ offene dynamische Struktur  
04\_ Rotationsfähige Station  
05\_ Station mit Energiegewinnung

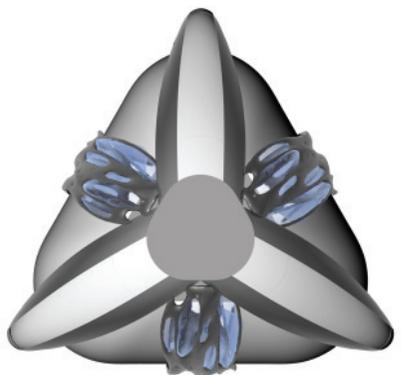
06\_ fahrbare Station  
07\_ Körperentwicklung  
08\_ bewegliche Struktur  
09\_ geschlossene Station asymmetrisch  
10\_ Kugelförmige Station

11\_ Knochenartige fixe, Station  
12\_ Fixe Cell Station  
13\_ öffentbare Station  
14\_ Asymetrische Station mit Armen  
15\_ Offene Struktur mit Oberflächenstruktur

16\_ Rotationskörper  
17\_ Talkbubble  
18\_ semi geschlossene Station  
19\_ geschlossene Struktur



04



18



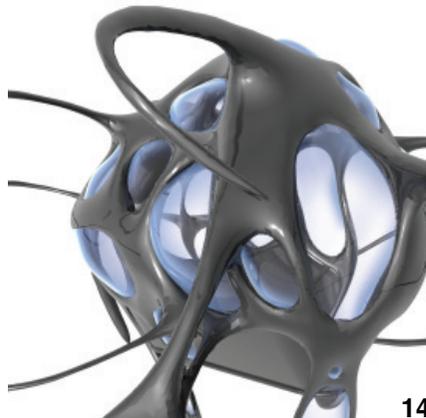
19



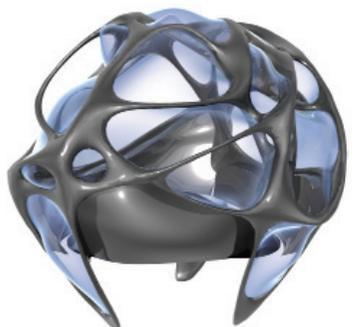
19



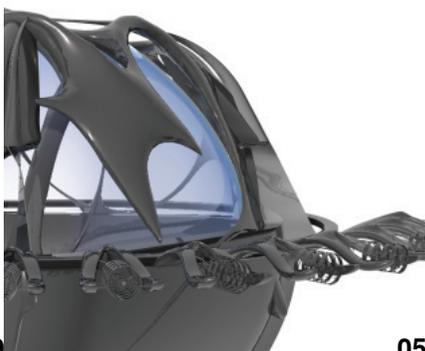
17



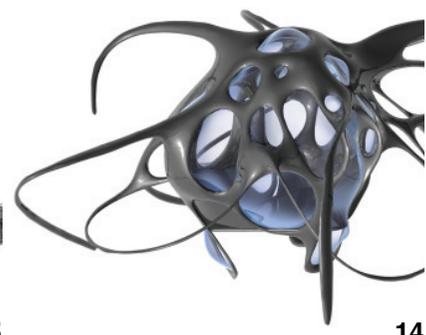
14



09



05



14



18

## 07\_Entwurf

Die Station Liquidlabs wurde nach dem natürlichen Prinzip von Radiolarien entwickelt. Radiolarien haben unter extremen Bedingungen eine Skelettstruktur entwickelt, die sie gegen Druck extrem stabil macht.

Liquidlabs besitzt keinen aktiven Antrieb wie z.B. ein Uboot um sich so minimal-invasiv in der Umwelt zu integrieren. Zusätzlich wurde auf den Antrieb verzichtet um Störungen, z.B. durch Vibration, an Arbeitsgeräten zu vermeiden und das Forschungsfeld von Biologen nicht durch Umwelteinflüsse zu beeinträchtigen. Es sollen so verschiedenen Nutzer durch Liquidlabs angesprochen werden: Biologen, Archäologen, Astronauten, Akustikforscher, interessierte Privatpersonen und weitere.

Wenn eine Forschergruppe (bis max. 6 Personen) zu einer Mission aufbricht, wird der Landungspunkt per GPS ermittelt. Je nach Missionsziel werden die Plugs (Geräte an der Station) ausgewählt, sollte hier im Laufe der Mission weitere benötigt werden, können diese problemlos per Schiff angeliefert und unter Wasser nachträglich montiert werden.

Die Station wird per „Moonpool“ Schiff oder Lastenzepellin angeliefert. Per Sonar wird daraufhin der Landungsgrund und dessen Beschaffenheit analysiert. Je nach Beschaffenheit des Untergrunds (sedimentös) werden noch Vakuumenteller an der Standkonstruktion befestigt.

Die Besatzung kann nun die Station betreten und im Kontrollraum Platz nehmen. Durch den Kontakt mit Wasser werden durch Sensorik die Drehlamellen im unteren Bereich geöffnet und die Station langsam geflutet. Dadurch beginnt die langsame Rotation nach unten. Für diesen Prozess ist eine gleichmäßige Lastverteilung wichtig und muss beim Beladen der Station beachtet werden. Die Hüllkonstruktion ist doppelwandig ausgeführt. Die Hülle kann prinzipiell mitgefutet werden (z.B. bei zu geringer Last), sollte allerdings nur zur Kühlung mit Tiefenwasser eingesetzt werden.

Während des Herunterschraubens steigt der Innendruck äquivalent zur Tiefe. Die Station wurde rotierend konzipiert um so eine höhere Stabilität im Wasser zu erreichen und sie unempfindlich gegen Seitenströmungen zu machen, zusätzlich kommt es durch die Bewegung zu Energiegewinn. Die Rotationsgeschwindigkeit wird durch die Flutung reguliert.

Sobald die Station am Grund angelangt ist wird sie, (je nach Beschaffenheit des Untergrunds) mit Sandheringen oder den Vakuumentellern verankert. Um einen un-

regelmäßigen Untergrund auszugleichen wurden die Standbeine gelenkig konzipiert.

Wenn die Station verankert ist, erreicht auch der Innendruck das geforderte Maß. Die Schleuse kann daraufhin geöffnet werden und die Besatzung mit der Arbeit beginnen.

Die Ausrüstung befindet sich im Nassbereich und Teambesprechungen sind im Kontrollraum oder im Wohnbereich möglich.

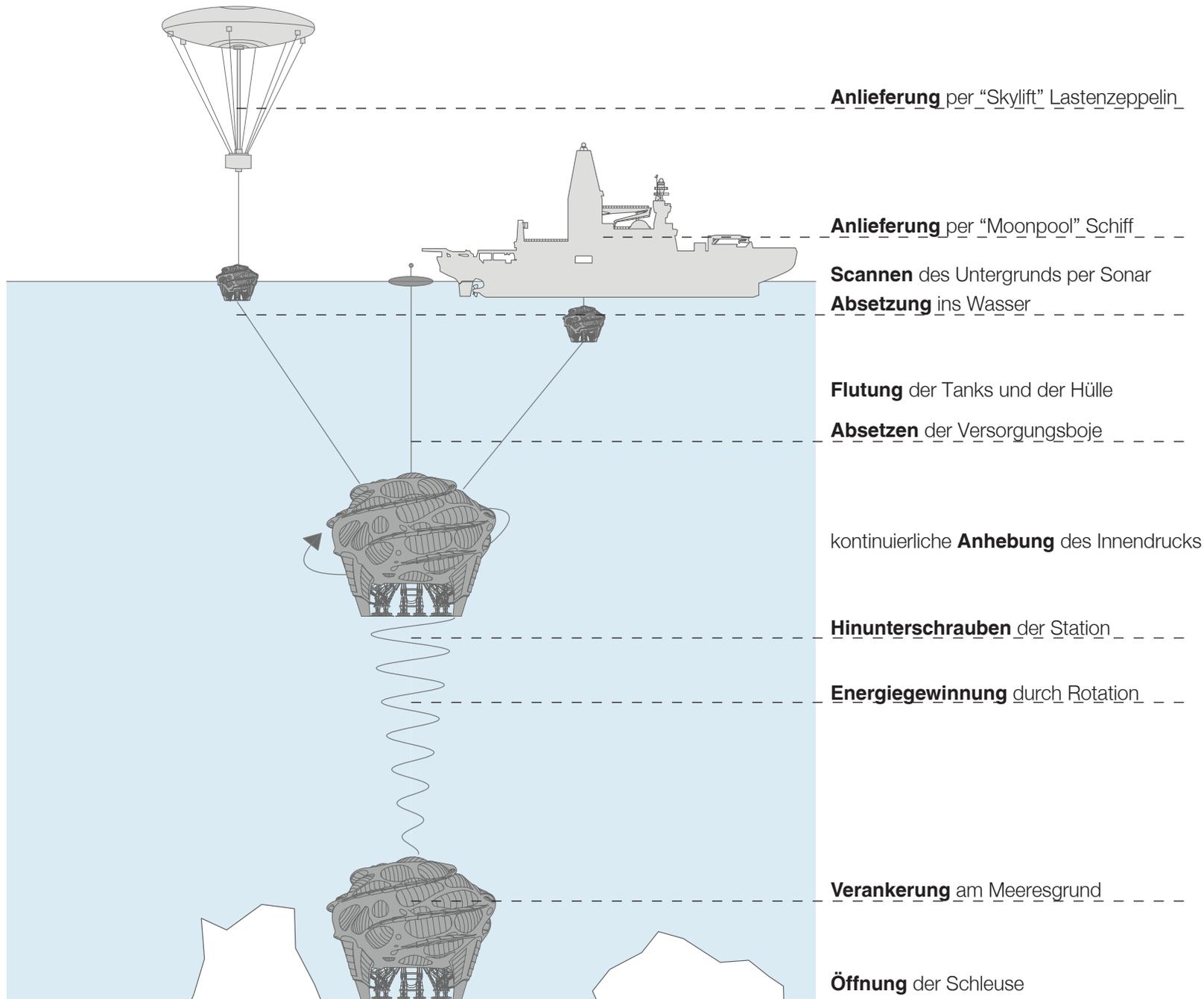
Werden Arbeiten im Außenbereich erledigt helfen die „robotik arms“ bei der Erledigung. Diese Arme können mit diversen Arbeitsgeräten bestückt werden und ein Auswechseln ist durch Manschetten auch unter Wasser möglich. Nach einem Arbeitstauchgang hilft ein Stausystem in Form eines Robotergreifarms beim Heben und Verstauen der Fundstücke.

Ist die Arbeit abgeschlossen, hat die Besatzung die Möglichkeit die Schlafkojen zu benutzen, die so konzipiert sind, dass jedes Besatzungsmitglied die maximale Privatsphäre erhält um so Konfliktsituationen vorzubeugen. Oder man geht zur Teambesprechung in den Kontrollbereich oder Wohnbereich. Unterhaltungsmöglichkeiten in Form von Internet/Fernsehempfang werden durch eine Versorgungsboje gewährleistet.

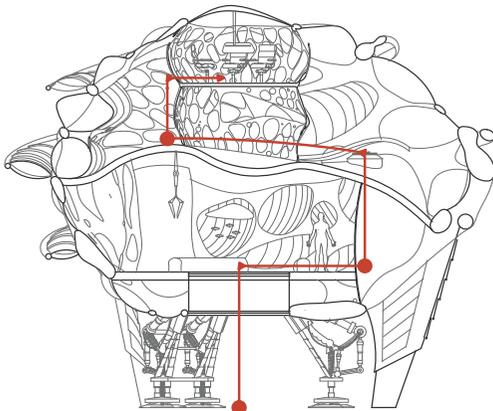
In der Station werden Luft und Süßwasser mitgeführt. Überschreitet die Besatzung die vorgesehene Missionsdauer und somit die Ressourcen, kann man mittels dieser Boje weitere Ressourcen zuführen. Süßwasser kann zusätzlich durch eine Osmoseanlage gewonnen werden.

Ist die Mission abgeschlossen kann die Besatzung sich entscheiden ob sie unter Wasser oder an Land an einem Dock dekomprimieren will. Unter Wasser besteht die Möglichkeit mittels ROV noch weiter zu forschen und Forschungsergebnisse einzuarbeiten. Der Innendruck wird während dieser Phase langsam zurückgedreht. Die Dauer der Phase hängt vom Sättigungsgrad der Besatzung ab und kann von einigen Tagen bis zu mehreren Wochen dauern.

Ist dieser Prozess abgeschlossen, werden die Hülle und die Flutungstanks wieder entflutet und die Station schraubt sich langsam nach oben. An der Oberfläche wird die Station wieder von einem Schiff oder Zeppelin abgeholt.



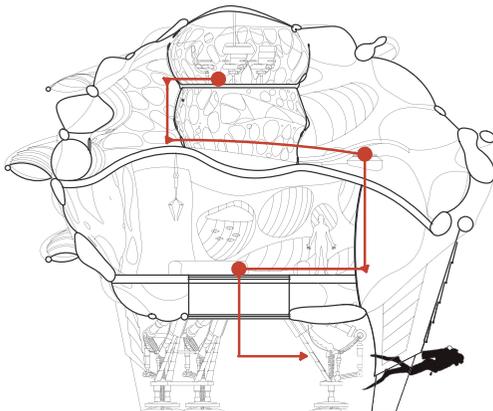
## 07.2\_Besatzungsschema



**An Land** betritt die Besatzung die Station über eine Leiter durch die untere Schleuse. Daraufhin begeben sich die Personen in den Kontrollraum um das Absinken kontrolliert zu beginnen. Die Schleusen werden geschlossen und die Flutung eingeleitet.

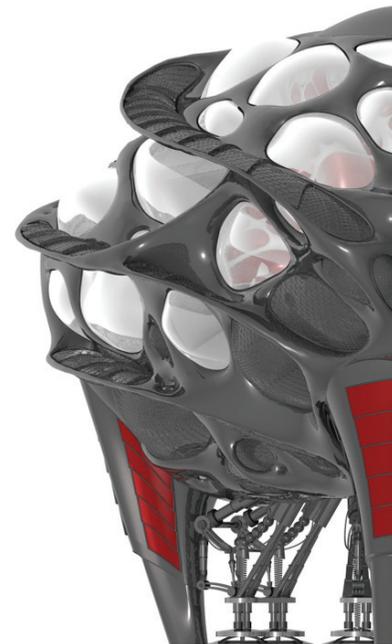


**Der Kontrollraum** bietet Platz für 6 Personen. Die Konsole in der Mitte verfügt über 6 Einzelmonitore und Steuerungselemente. Die Konsole kann bei Bedarf durch eine Hydraulik nach oben gezogen werden. Der Raum kann ebenfalls zur barrierefreien Kommunikation genutzt werden.



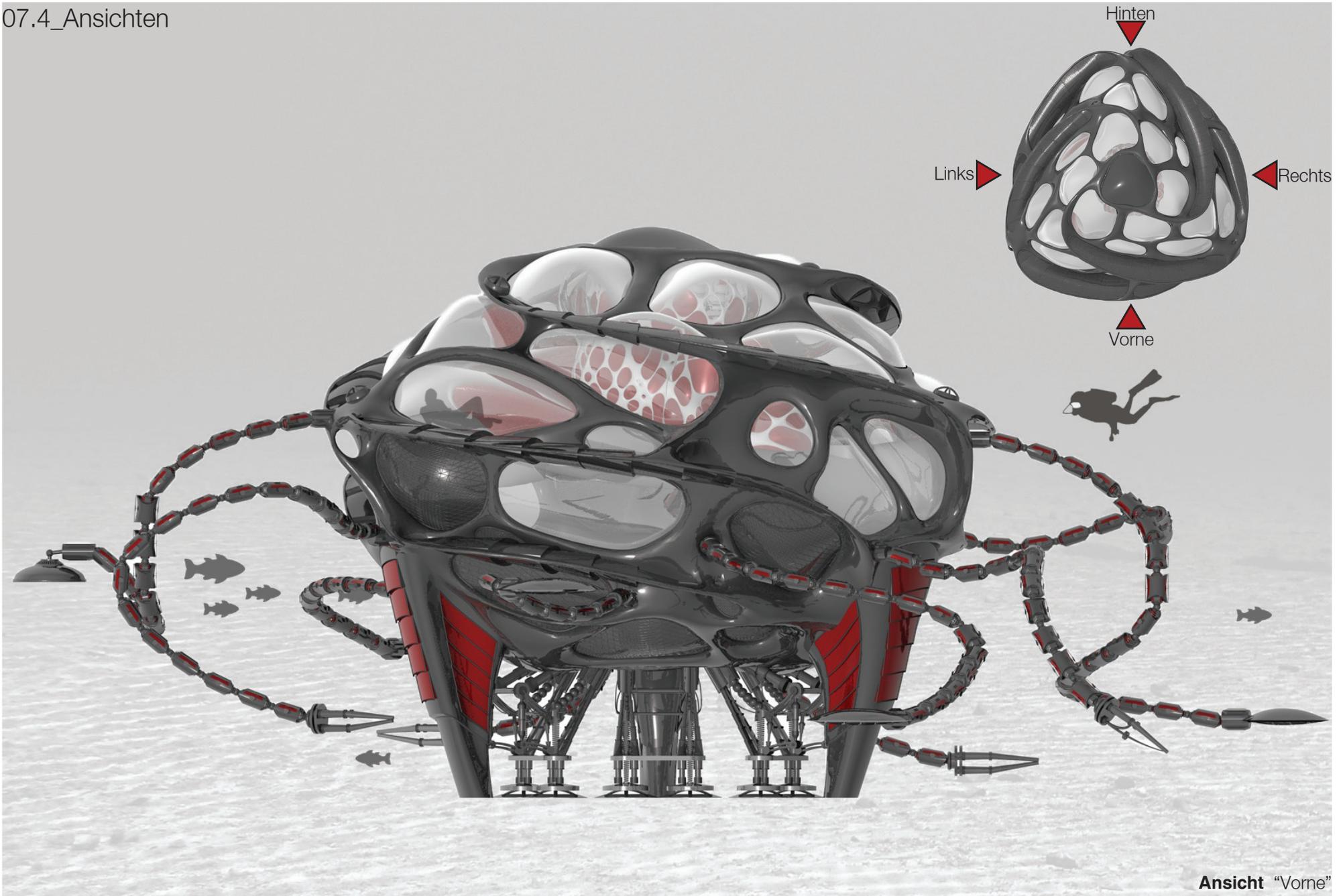
**Unter Wasser** kann der Kontrollraum verlassen werden und die Besatzung kann erste Taucharbeiten erledigen. Der Innendruck der Station hat sein Niveau erreicht und die Schleusen können geöffnet werden.

## 07.3\_Technische Daten

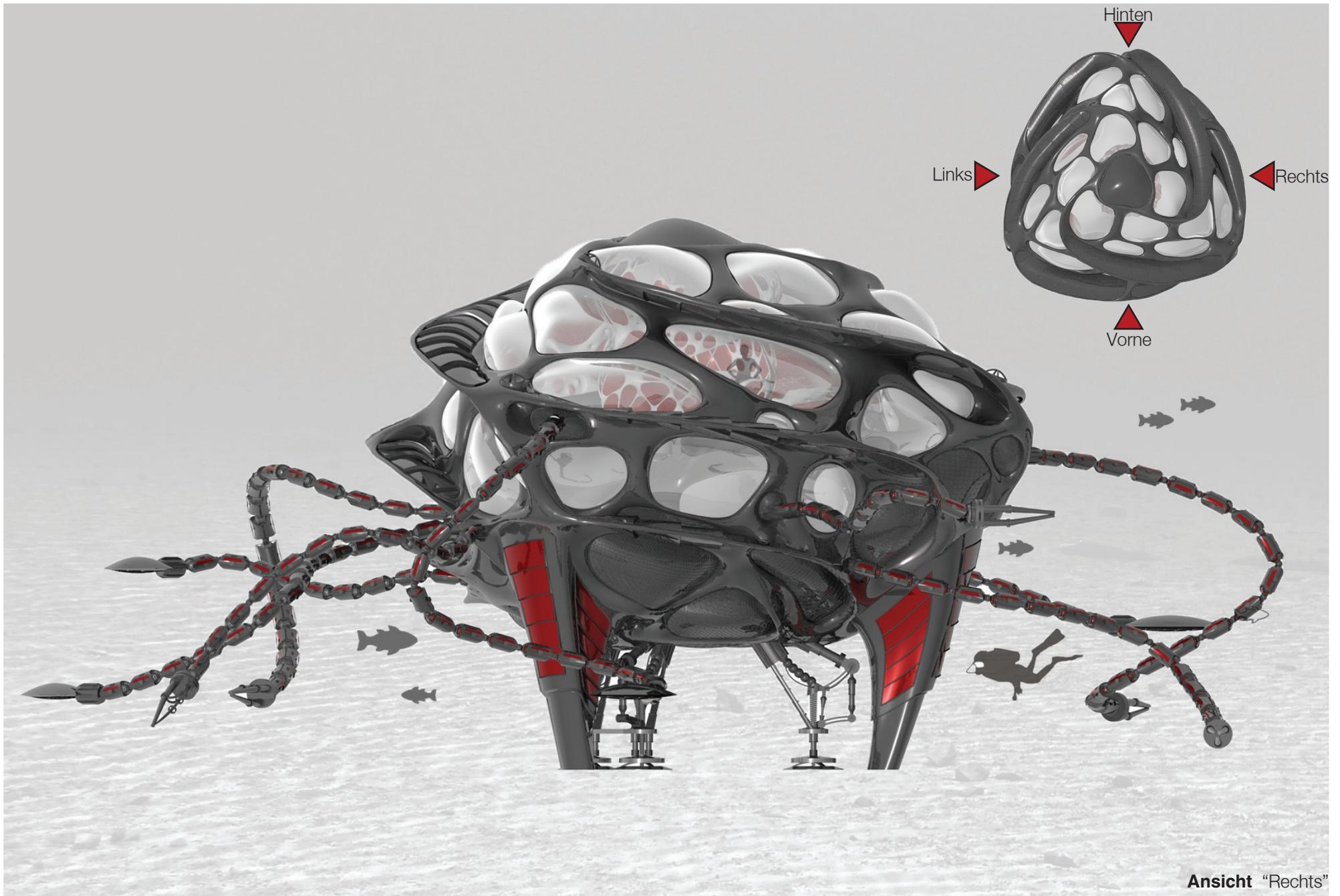


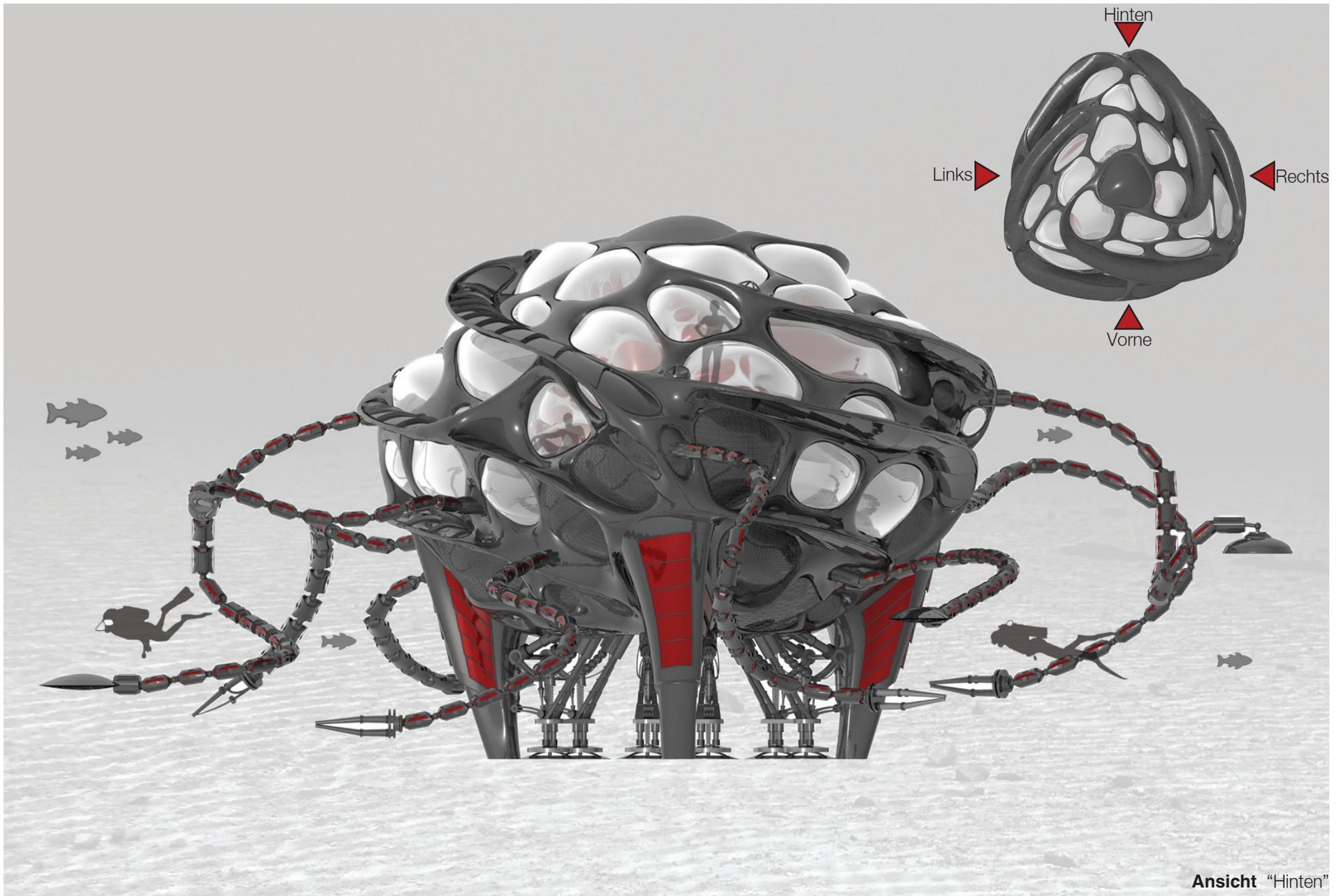
**Name:** liquidlabs  
**Prinzip:** Überdruckstation  
**Besatzung:** 6 Personen  
**Tauchtiefe:** bis 60m  
**Tauchzeit:** variabel  
**Innendruck:** 1-7 bar  
**Luft:** bis 20 m Druckluft, ab 30m Trimix  
**Gewicht:** ca. 450 t  
**Höhe:** 11,60 m  
**max. Seitenlänge:** 14 m  
**Gesamtvolumen:** 498 m<sup>3</sup>  
**Öffnungsflächen:** 150 m<sup>2</sup>  
**max. Flutungsvolumen:** 112 m<sup>3</sup>  
**Süßwasserspeicher:** 24 m<sup>3</sup>  
**Abwasserspeicher:** 12 m<sup>3</sup>  
**Energiegewinnung:** ca. 25 kW  
**Plugs:** bis zu 10 Stück  
**Kontrollraum:** 7,6 m<sup>2</sup>  
**Wohnfläche:** 97,77 m<sup>2</sup>  
**Naßraum:** 45,75 m<sup>2</sup>  
**Technikraum:** 42,2 m<sup>2</sup>

07.4\_Ansichten

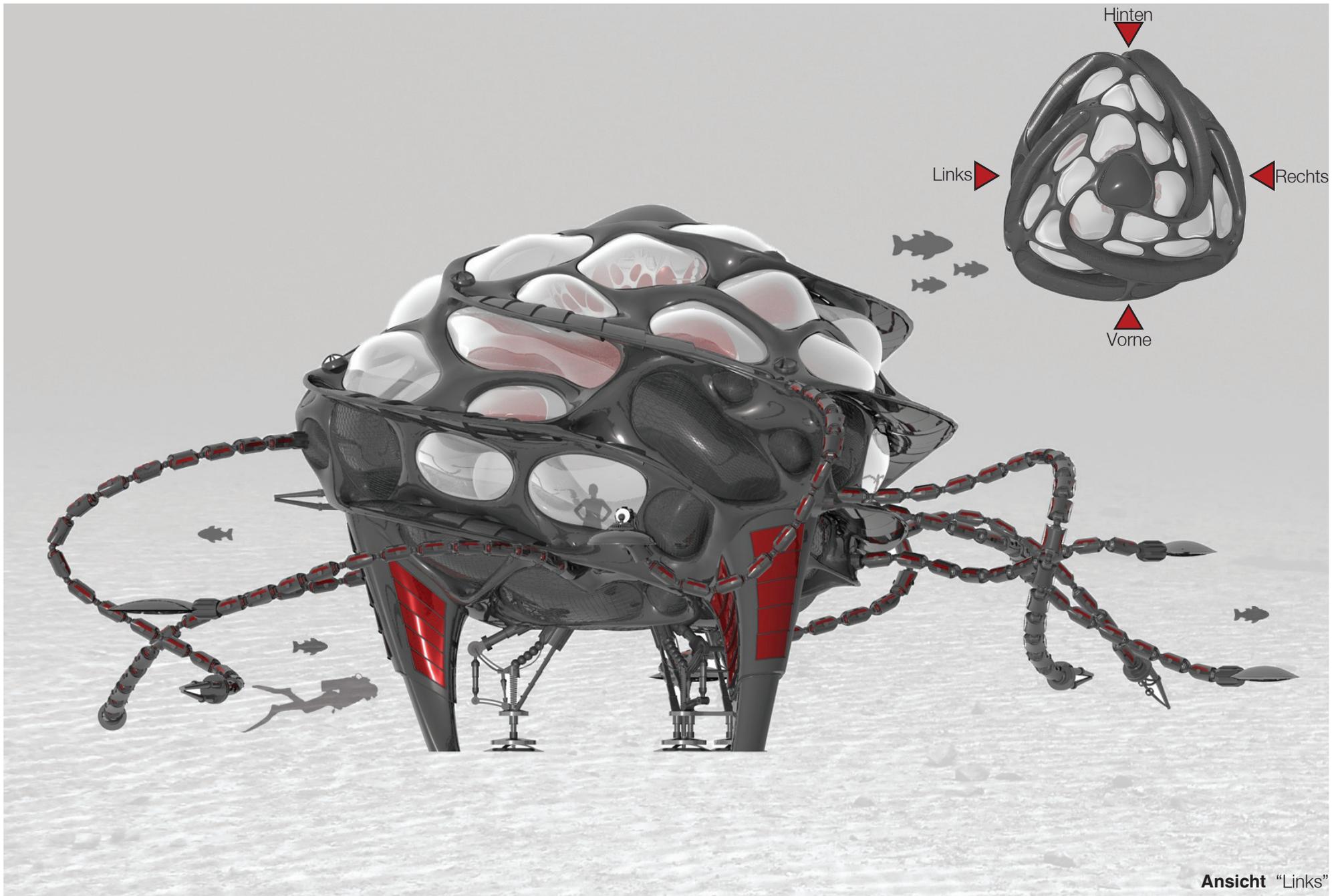


Ansicht "Vorne"

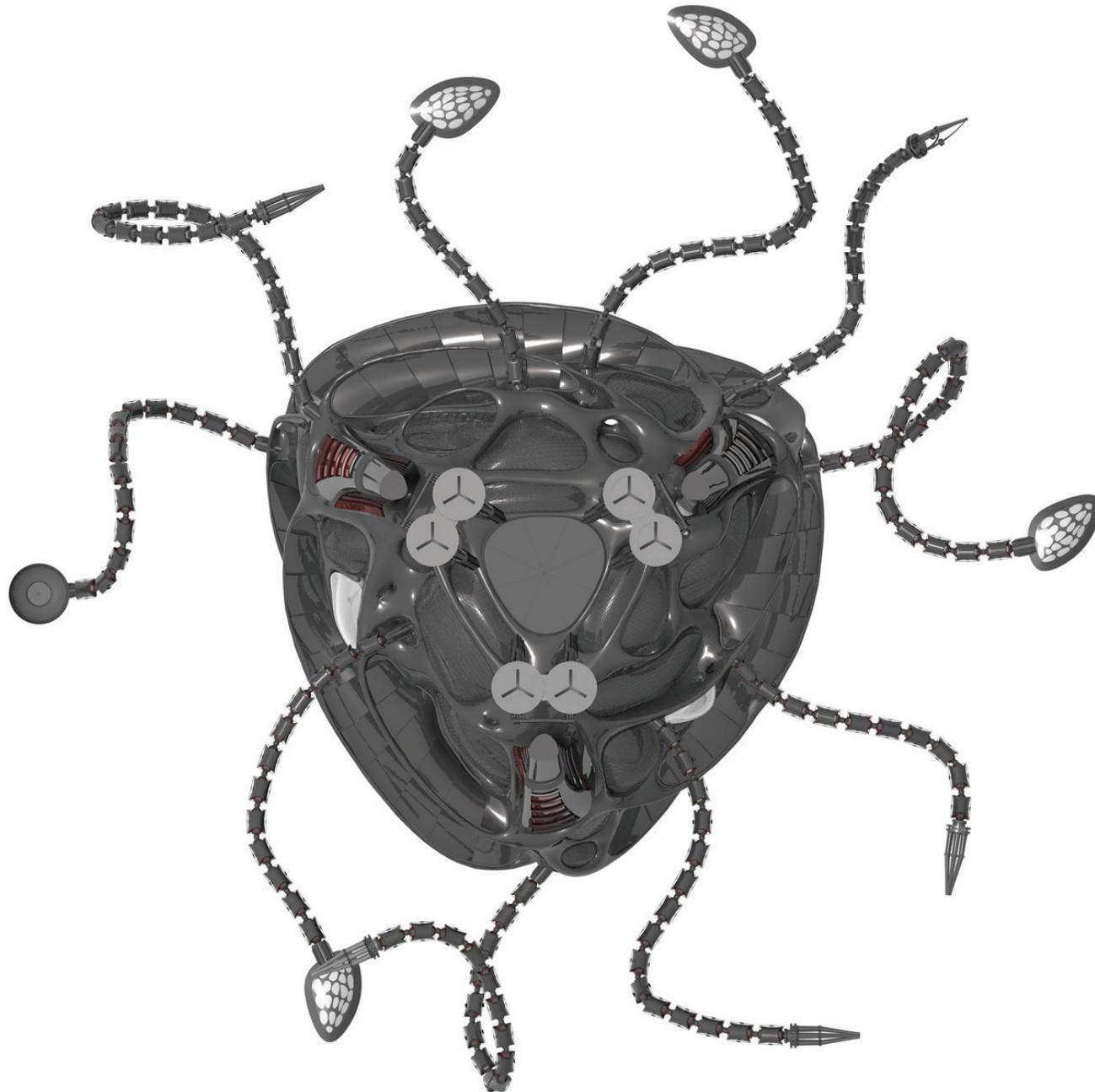




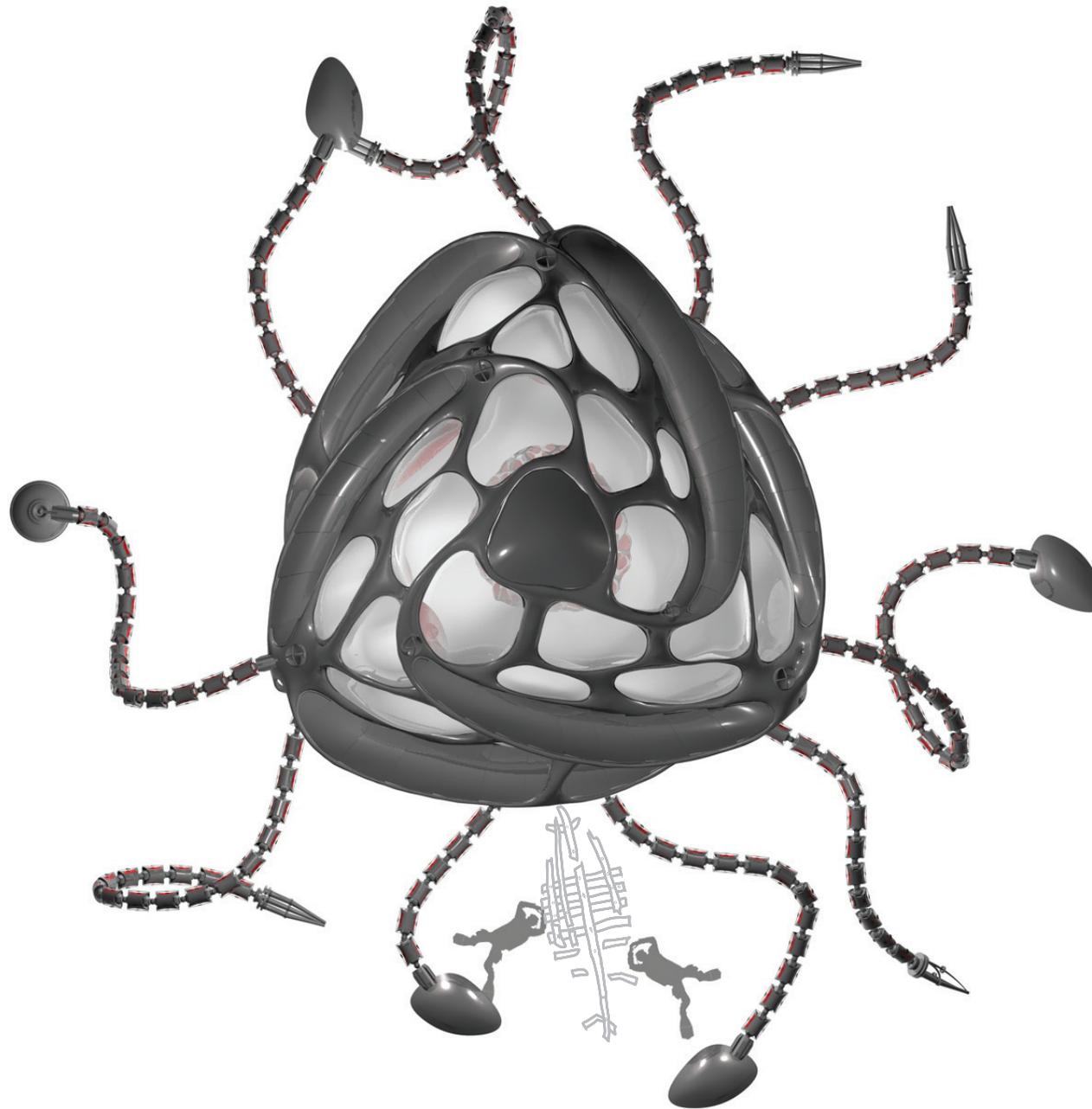
Ansicht "Hinten"



Ansicht "Links"



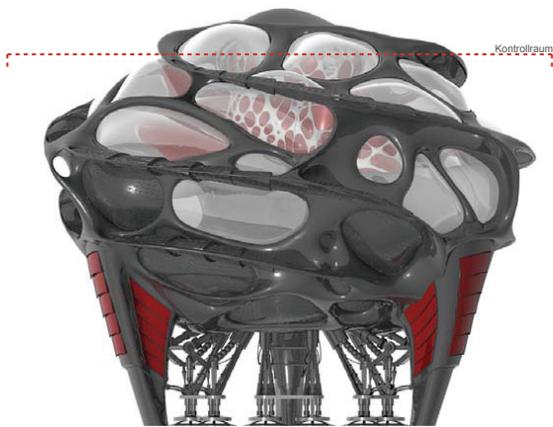
**Ansicht** "Unten"



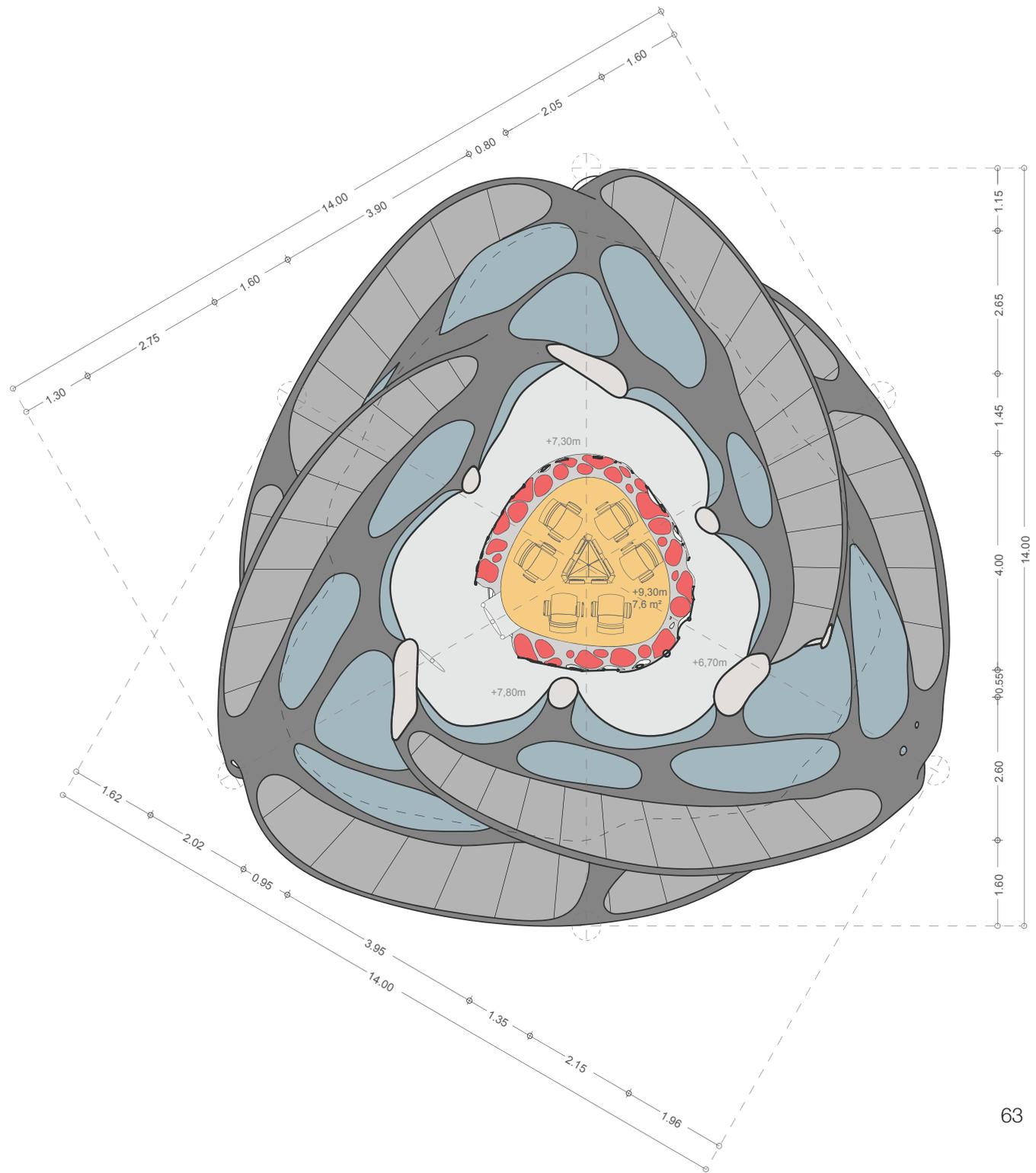
Ansicht "Oben"

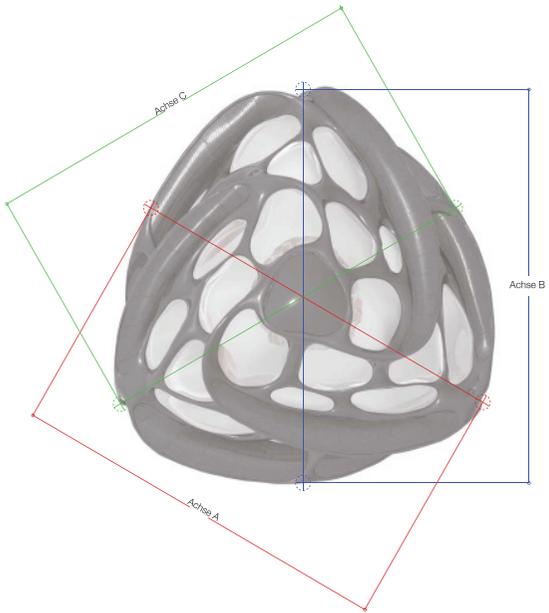
## 07.5\_ Grundrisse

- Hüllstruktur
- Öffnungsflächen
- Seitenflächen
- Schnittflächen
- Boden
- Stauraum
- Schlafkojen
- Wohnflächen
- Innenwände
- Leuchtfolien
- Schleuse
- Ebene
- Technik
- Kontrollraum
- Flutungstanks
- Süßwasser

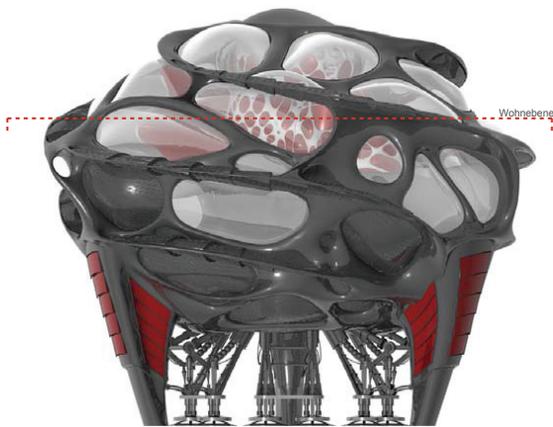


**Grundriss** Kontrollebene +10,20m

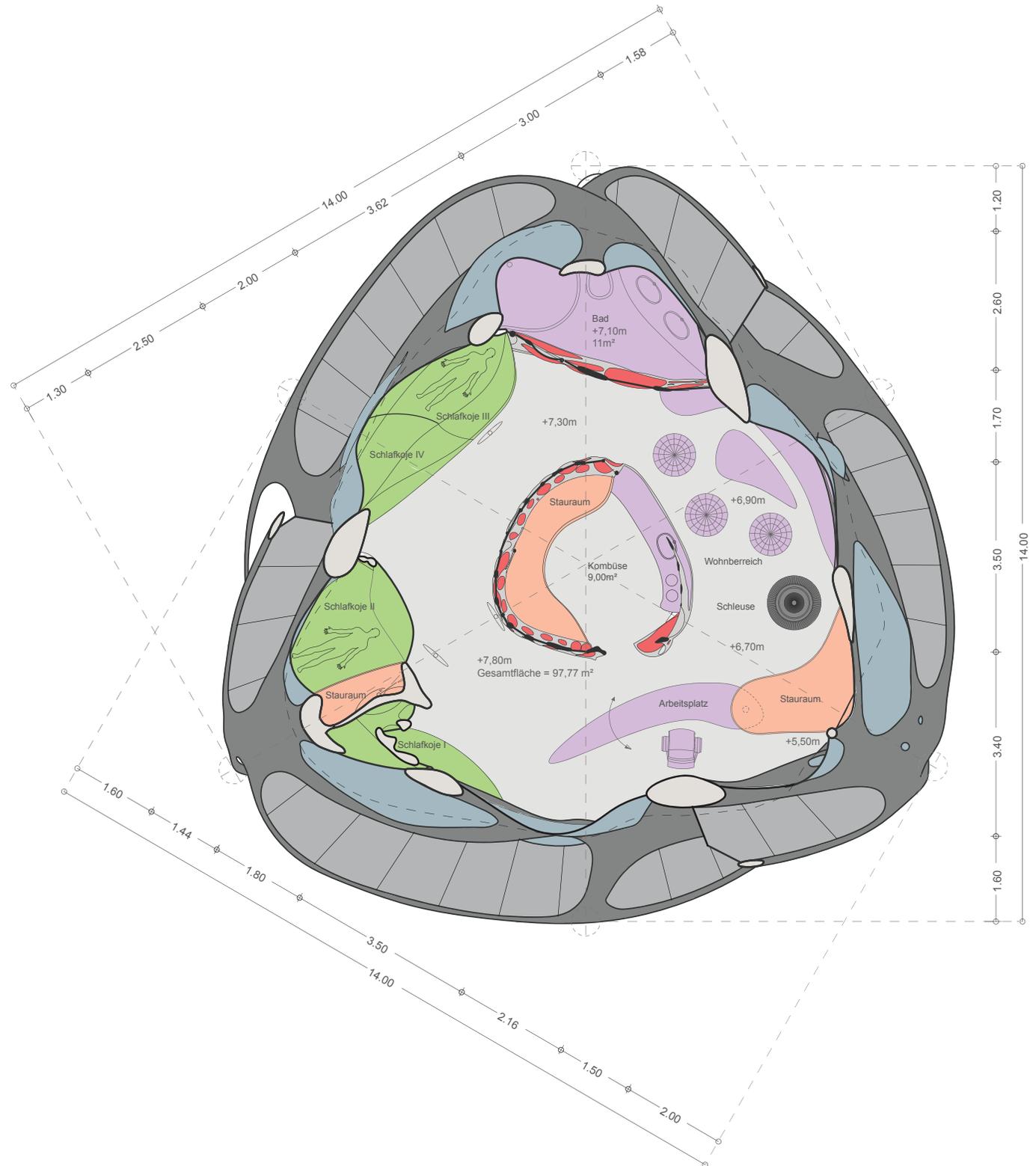




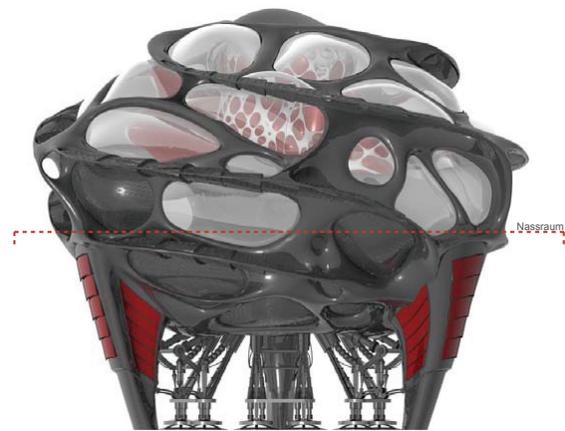
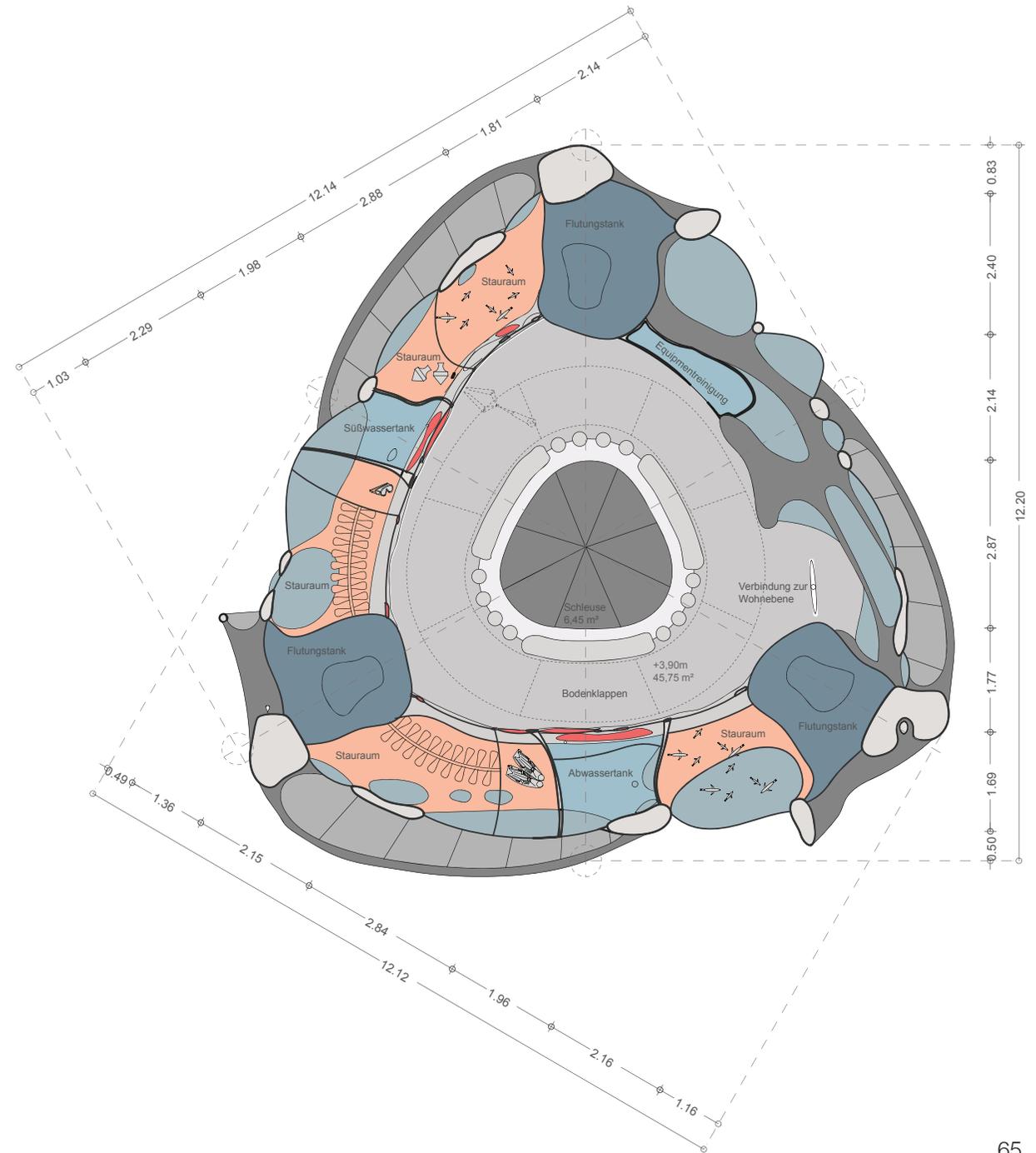
Achseinmaß



Grundriss Wohnenebene +8,80m



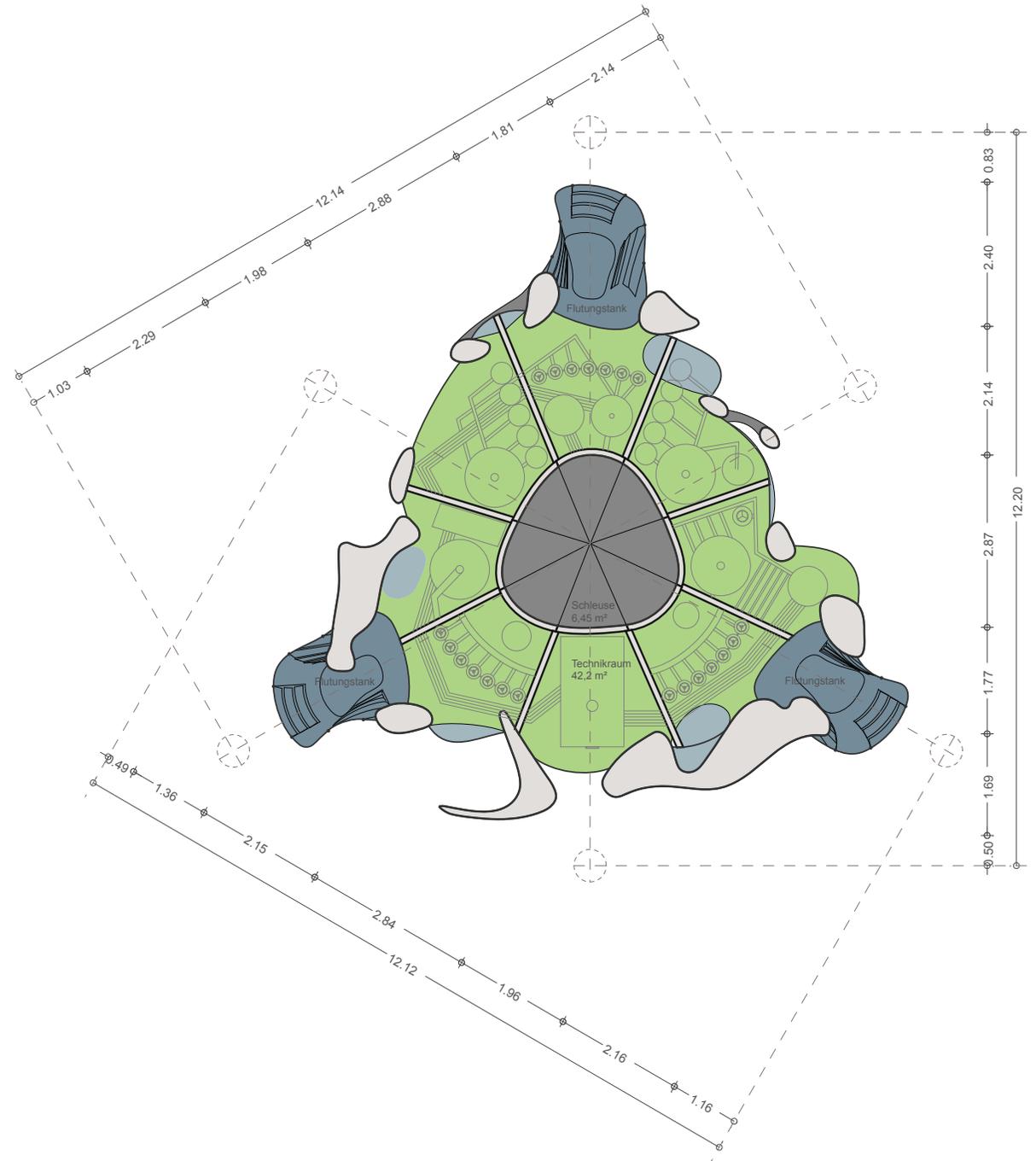
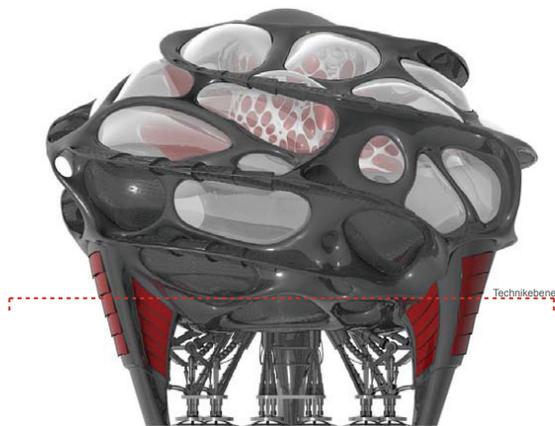
- Hüllstruktur
- Öffnungsflächen
- Seitenflächen
- Schnittflächen
- Boden
- Stauraum
- Schlafkojen
- Wohnflächen
- Innenwände
- Leuchtfolien
- Schleuse
- Technikebene
- Kontrollraum
- Flutungstanks
- Süßwasser



**Grundriss** Nassraum +5,50m

**Raum für:**

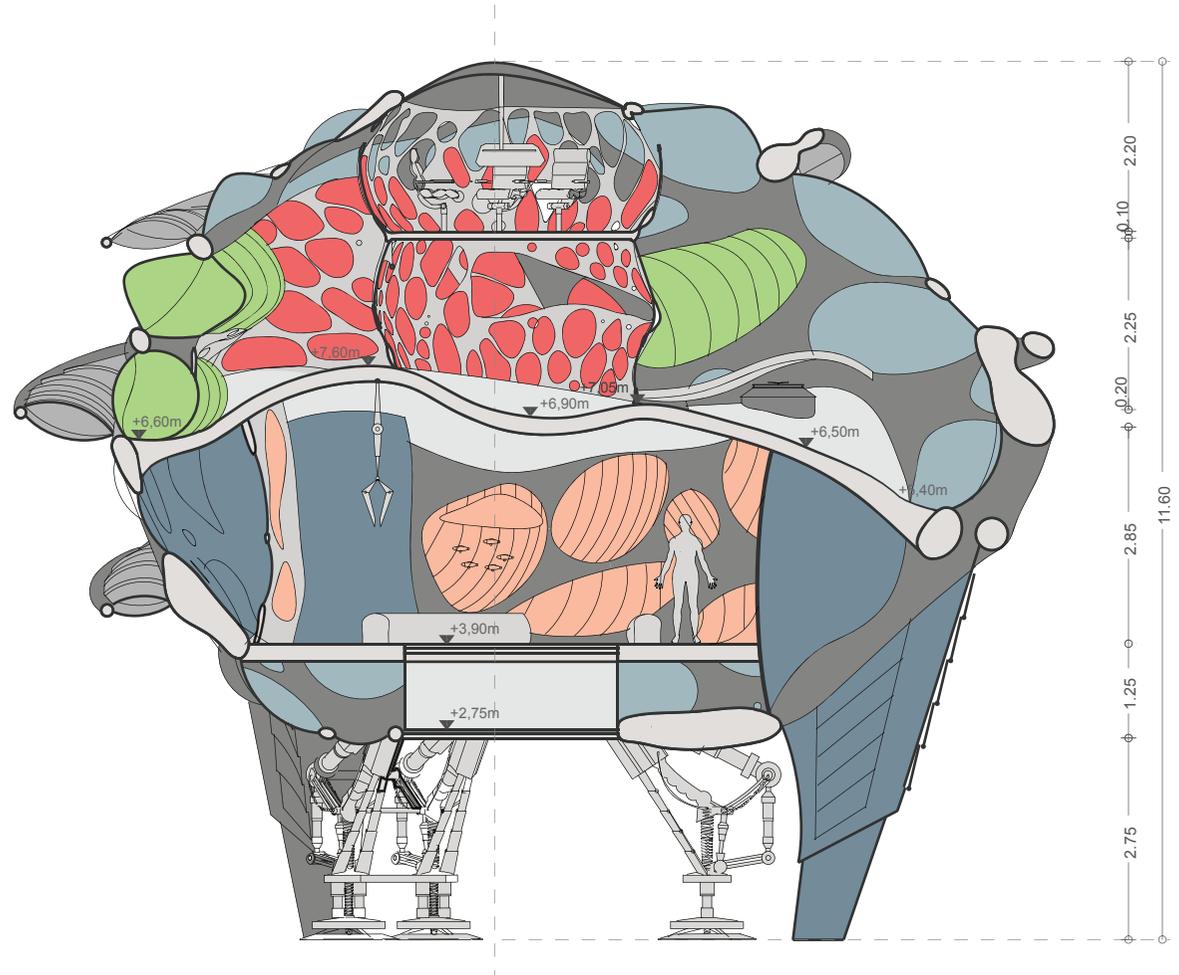
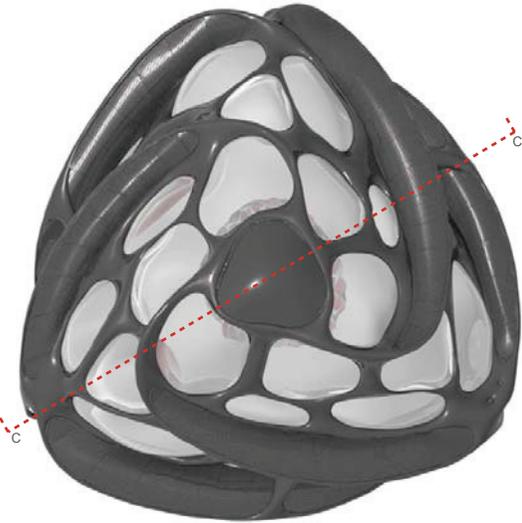
- Luftaufbereitung
- Lufttanks
- Wasseraufbereitung
- Salzwasserentsalzungsanlage
- Energieaggregate
- Pumpen
- Abwasseranlage
- Notaggregat
- Notausstieg
- Wärmetauscher



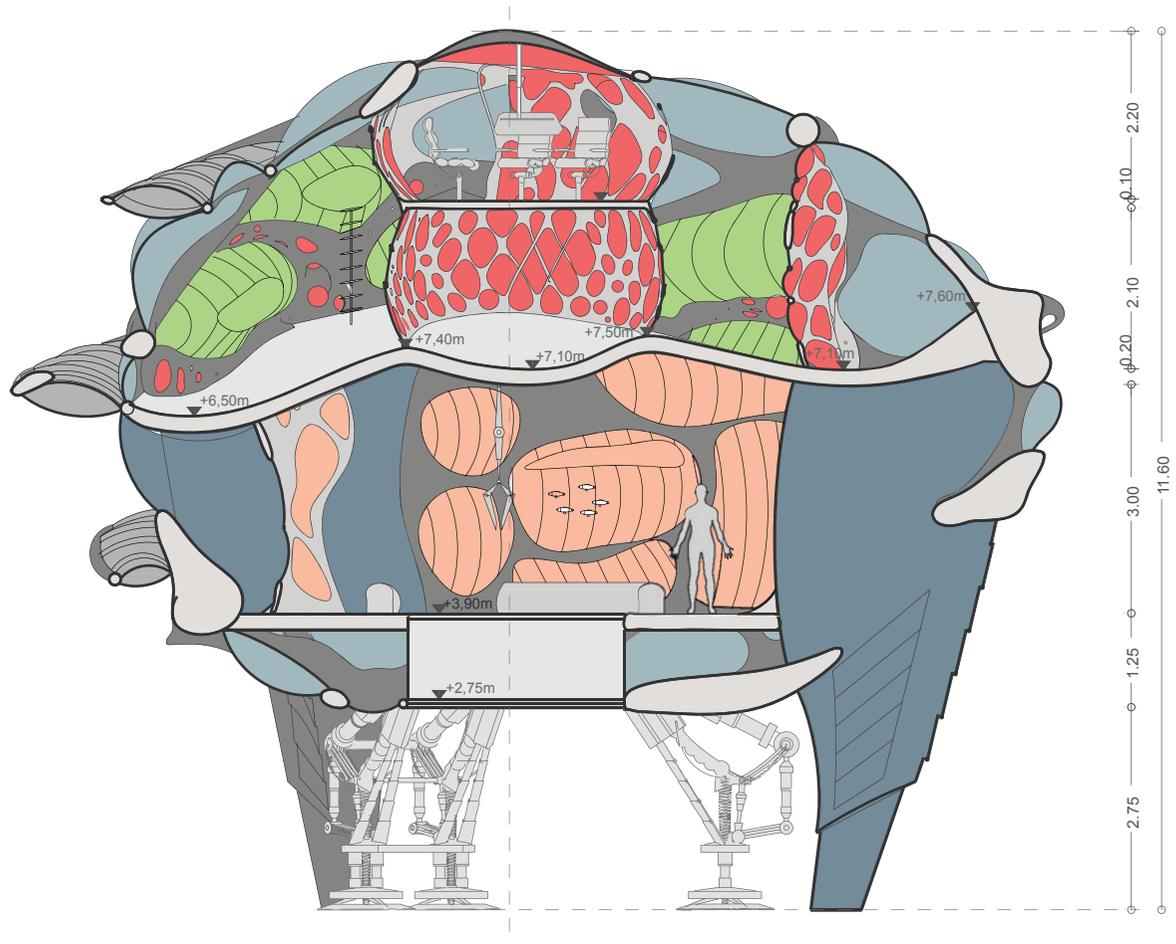
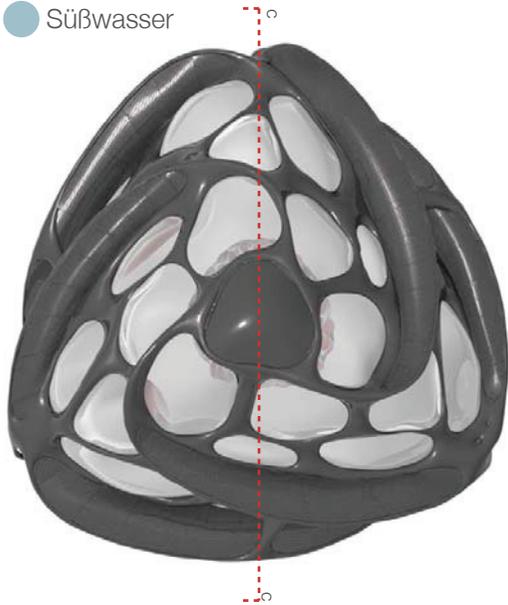
**Grundriss** Technikebene +3,60m

## 07.6\_ Schnitte

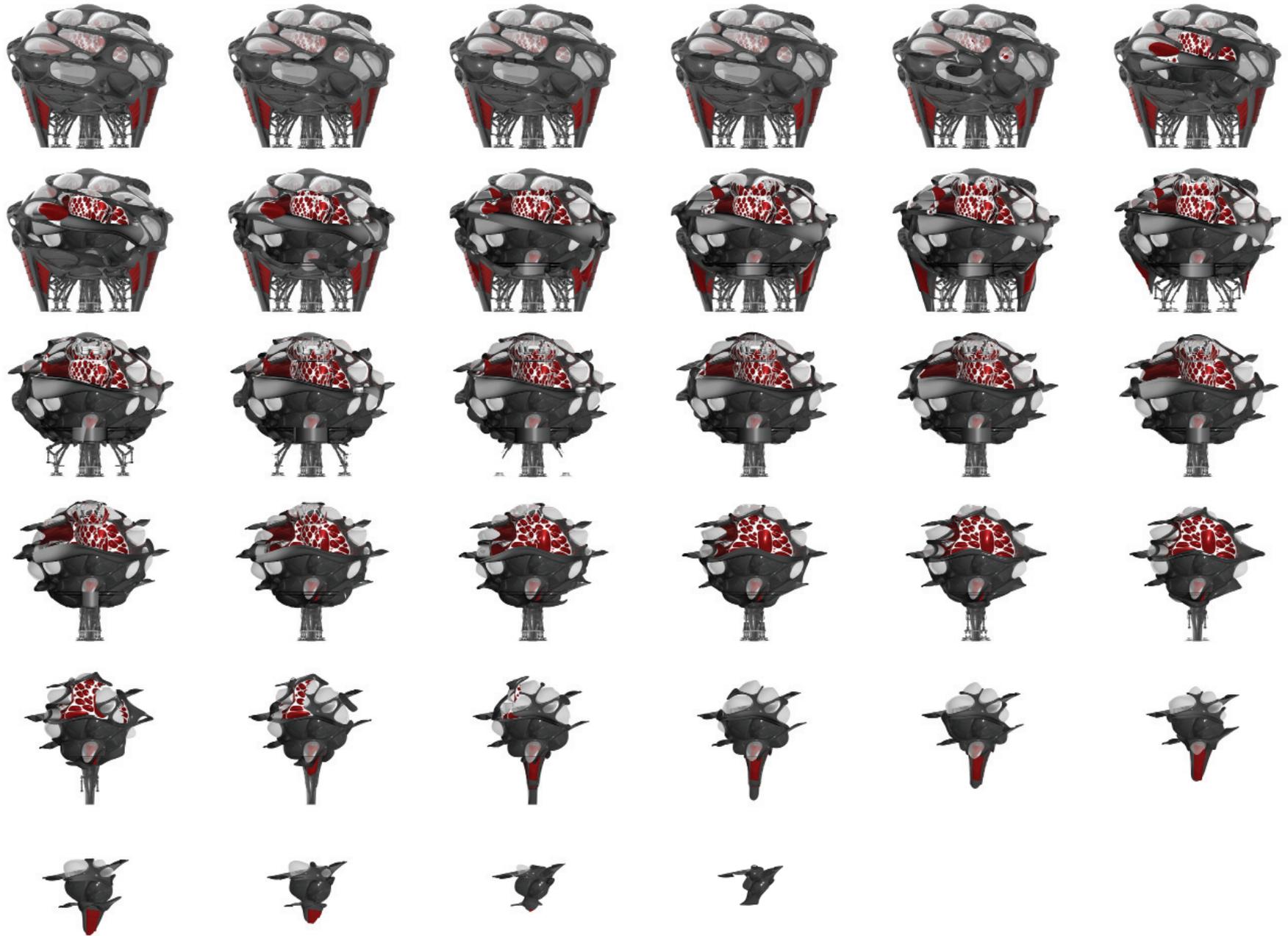
- Hüllstruktur
- Öffnungsflächen
- Seitenflächen
- Schnittflächen
- Boden
- Stauraum
- Schlafkojen
- Wohnflächen
- Innenwände
- Leuchtfolien
- Schleuse
- Ebene
- Technik
- Kontrollraum
- Flutungstanks
- Süßwasser



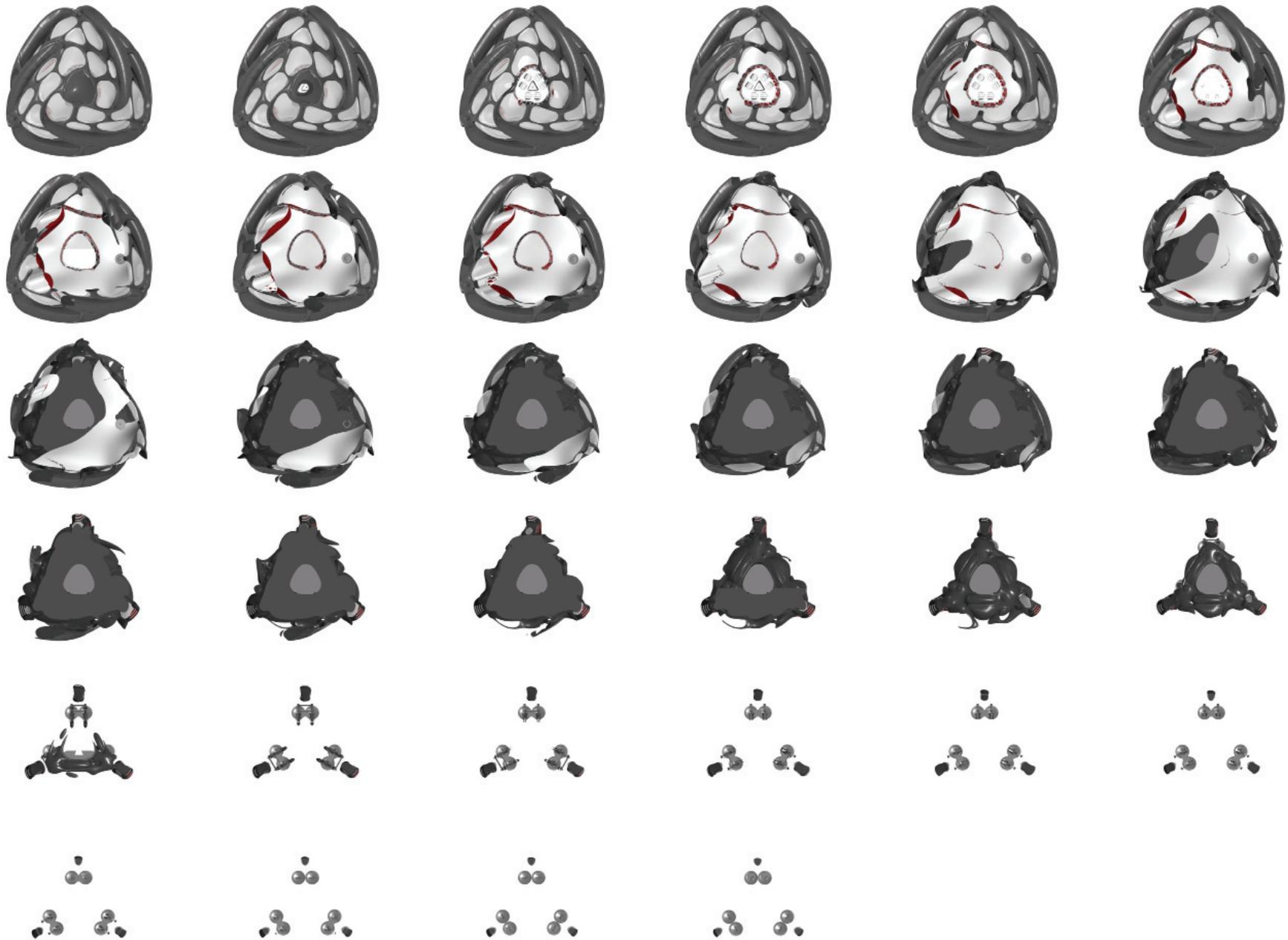
- Hüllstruktur
- Öffnungsflächen
- Seitenflächen
- Schnittflächen
- Boden
- Stauraum
- Schlafkojen
- Wohnflächen
- Innenwände
- Leuchtfolien
- Schleuse
- Ebene
- Technik
- Kontrollraum
- Flutungstanks
- Süßwasser



**Schnitt Achse C**



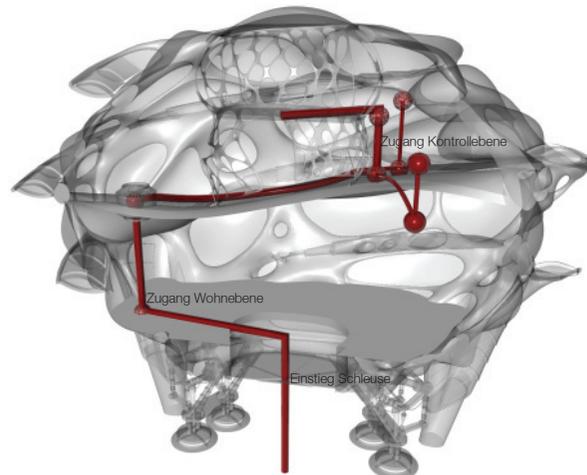
**Schnittabwicklung** von vorne nach hinten



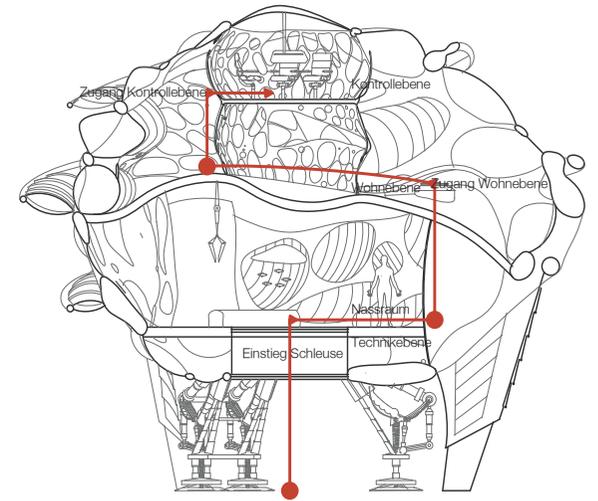
**Schnittabwicklung** von oben nach unten

# 07.7\_ Erschließungsdiagramm

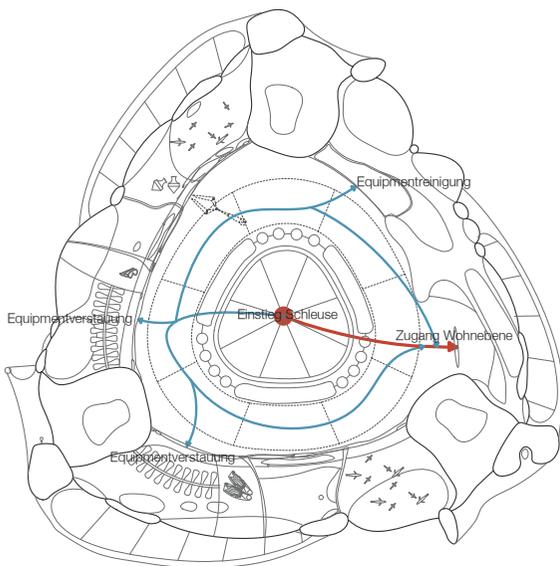
- **Erschließung Hauptwege**
- **Erschließung Nebenwege**



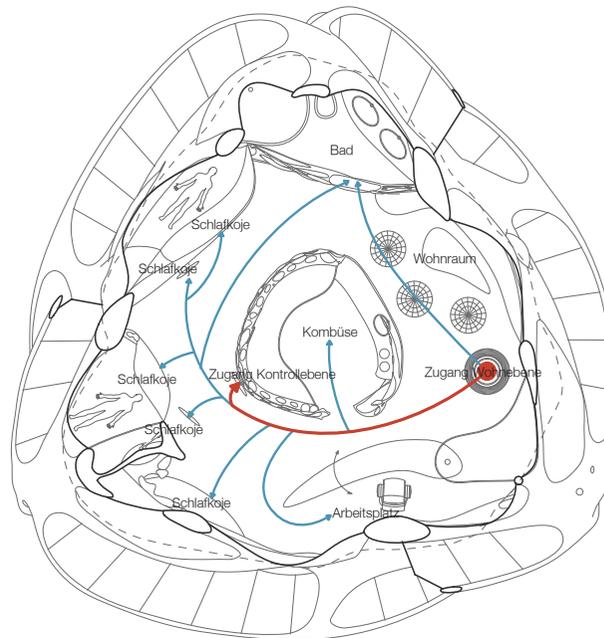
**Erschließung Perspektive**



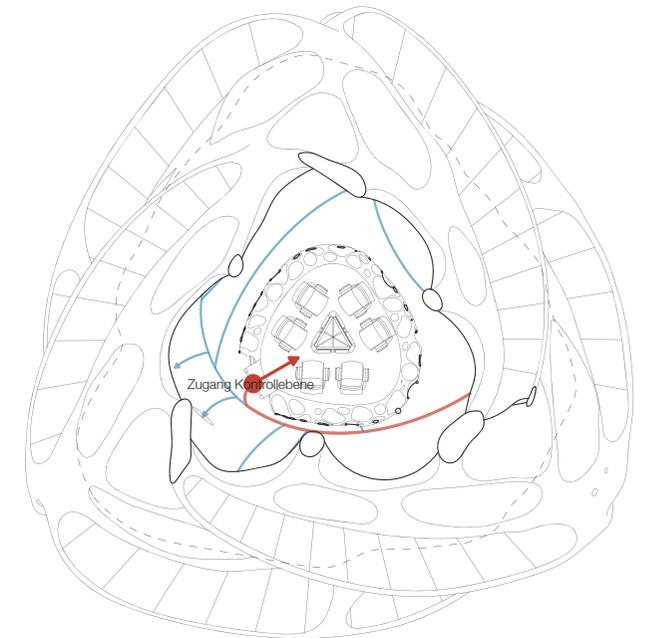
**Erschließung Vertikal**



**Erschließung Nassraum**

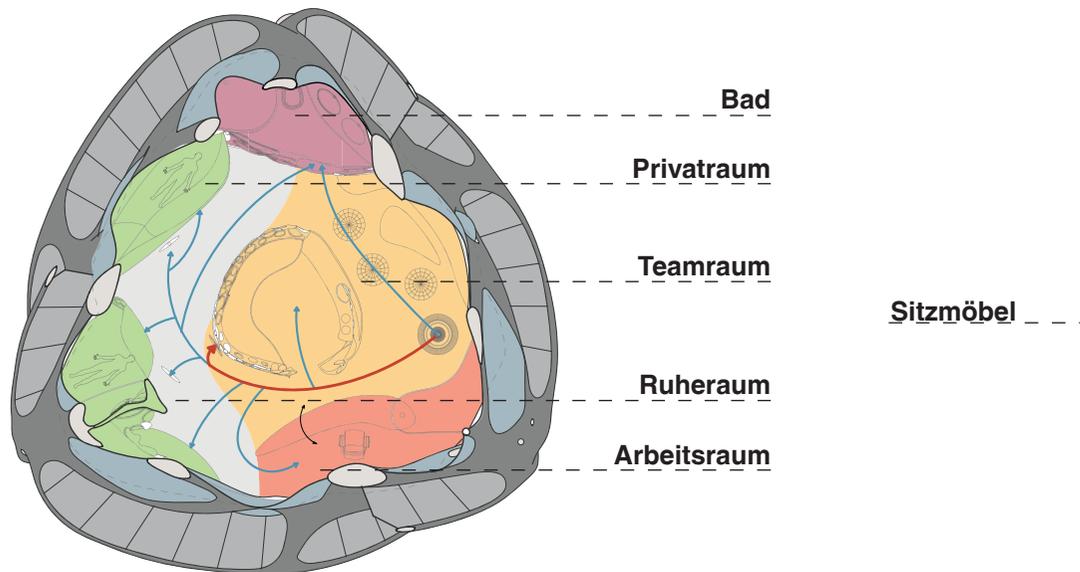


**Erschließung Wohnebene**



**Erschließung Kontrollraum**

## 07.8\_Innenraum



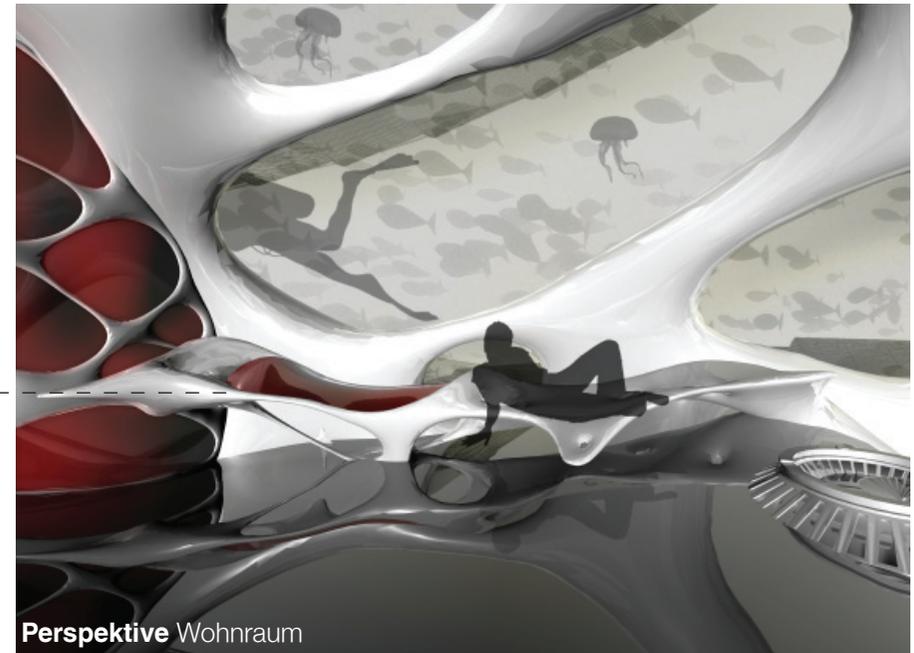
**Bad** , im Bad sorgen großzügige Fensterflächen für einen aussergewöhnlichen Ausblick. Zur Wahrung der Intimsphäre, für den Fall das ein Teil des Teams sich im Außenbereich befindet sind diese Gläser abtönbar.

**Privatraum** , abgeschlossene Schlafkojen ermöglichen der Besatzung einen privaten Rückzugsraum um Konfliktsituationen zu vermeiden. Die Kojen sind mit persönlichen Stauraum und Unterhaltungsmöglichkeiten ausgestattet, ebenfalls hat jede Koje einen Bezug zum Außenraum. Es gibt 4 Einzelkojen und 1 Koje mit absenkbarer Trennwand.

**Teamraum** zu dem gemeinschaftlich genutzten Flächen gehören das Bad, der Wohnraum, die Kombüse und der Kontrollraum. Die Kombüse ist minimal ausgestattet da frische Nahrungsmittel nur am Anfang genutzt werden können. Der Wohnraum dient zur Teambesprechung oder Unterhaltung. Die hängenden Sitzmöbel können an die Decke gezogen werden um so Platz zu schaffen für Bewegung oder Erprobung von Arbeitsschritten.

**Ruheraum** die Ruhezone trennt den Wohnraum von den privaten Räumen , diese Zone soll gewährleisten das die Störung der privaten Räume so gering wie Möglich ausfällt da die Arbeit unter Wasser sehr fordernd ist und Ausgeruhtheit ein wichtiges Sicherheitskriterium ist.

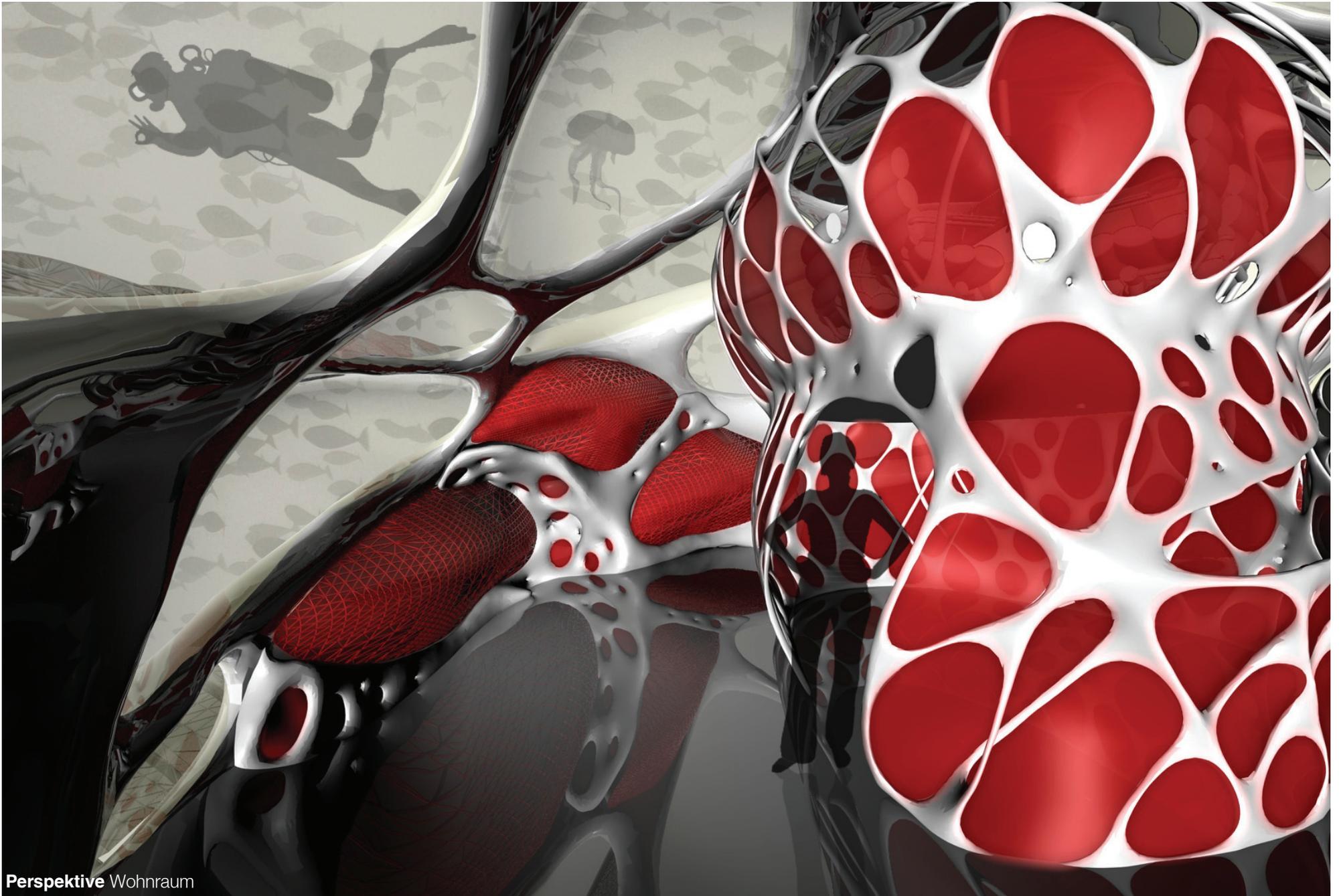
**Arbeitsraum** der Arbeitsbereich gliedert sich in einerseits Stauraum für zb. zu analysierende Fundstücke und Arbeitsgeräte und einem Arbeitstisch für ca. 2 Personen. Um mehr Platz zu schaffen ist die Platte justierbar und lässt sich in Richtung Außenhülle schieben.

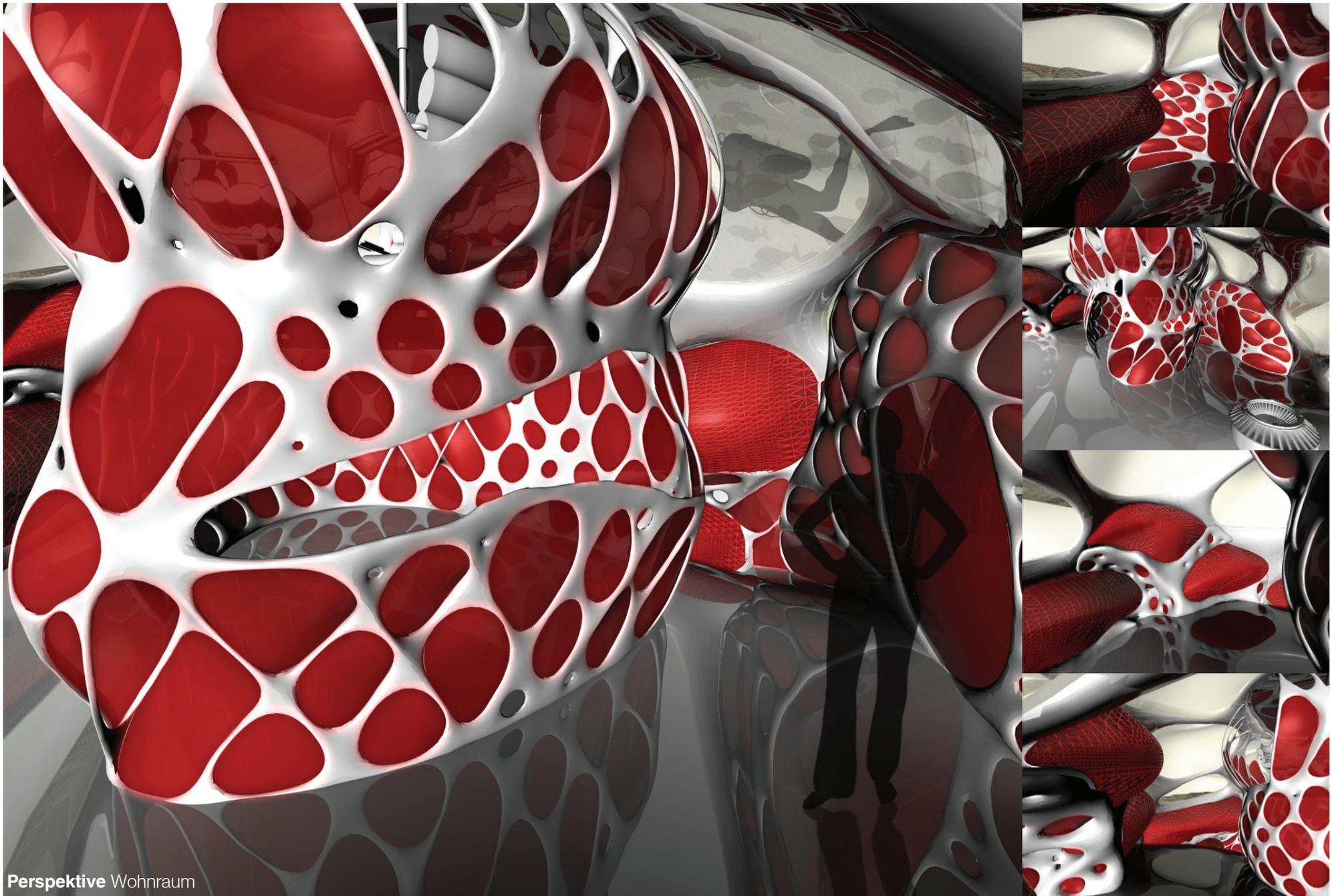


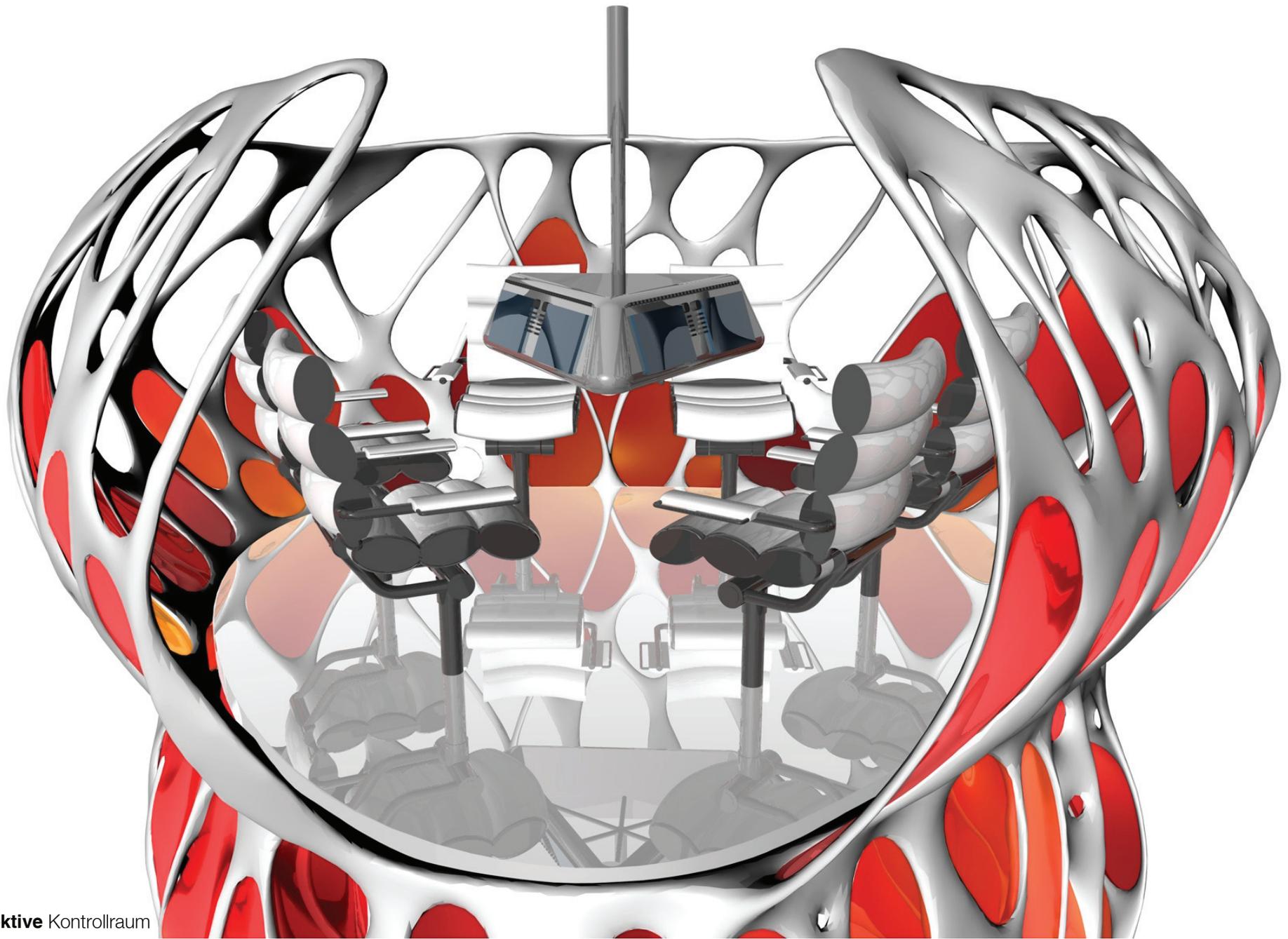
Perspektive Wohnraum



Perspektive Sicht vom Kontrollraum zu den Kojen



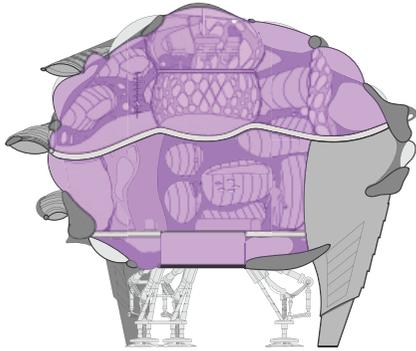




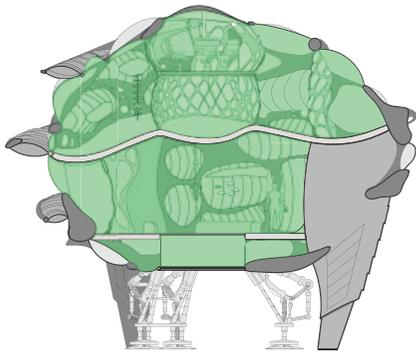
**Perspektive** Kontrollraum

## 07.9\_ Druckregulierung

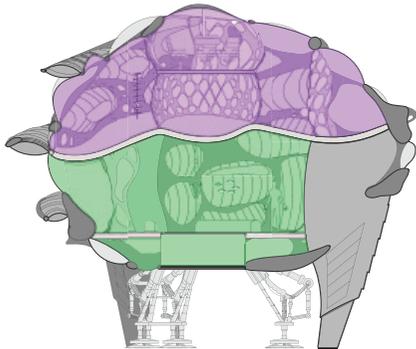
- Station Überdruck
- Station Normaldruck



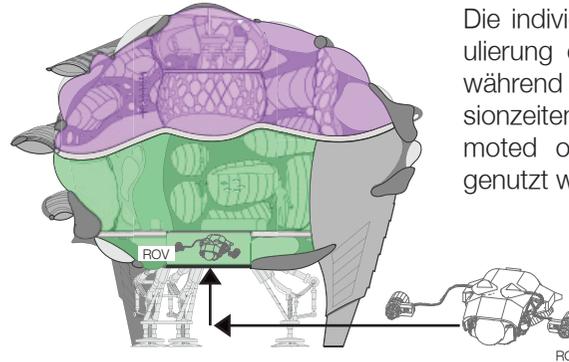
**Normaldruck** herrscht in der Station an Land, vor dem Abtauchen



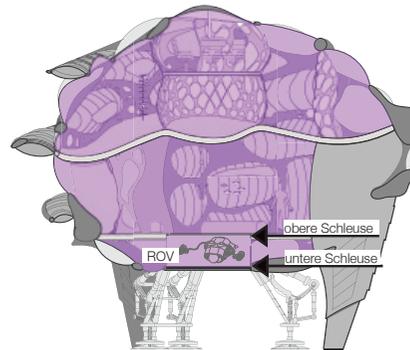
Sobald die Station verankert ist, wird der Druck erhöht, somit herrscht **Überdruck** in der Station und das erlaubt das Öffnen der Schleuse.



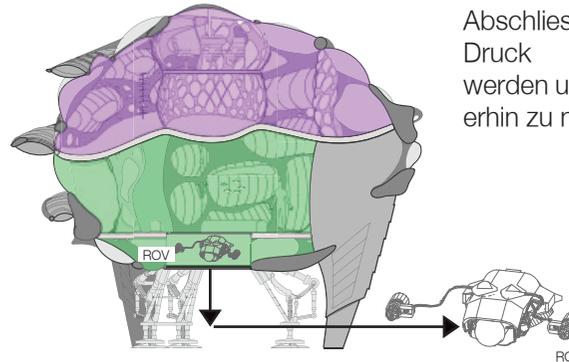
Vor dem Auftauchen müssen die Taucher dekomprimieren, hierzu lässt sich der Druck individuell zwischen den Ebenen anpassen.



Die individuelle Druckregulierung erlaubt es, dass während der Dekompressionzeiten das ROV (remotely operated vehicle) genutzt werden kann.



Zwecks Reparatur/Bestückung des ROVs, oder der Sichtung von geborgenen Fundstücken wird die untere Schleuse geschlossen und der Innendruck kann ohne Gefährdung der Taucher auf den Druck der Wohnenebene gebracht werden.



Abschliessend kann der Druck wieder erhöht werden um das ROV weiterhin zu nutzen.

**Die Dekompression** der Mannschaft kann ebenfalls an Land erfolgen, hierzu wird die Station zuerst geborgen und dann der Innendruck angemessen an die Sättigungszeit angeglichen.

**Die Dekompressionsdauer** hängt vom Sättigungsgrad der Mannschaft ab und kann einige Stunden bis zu Wochen betragen.

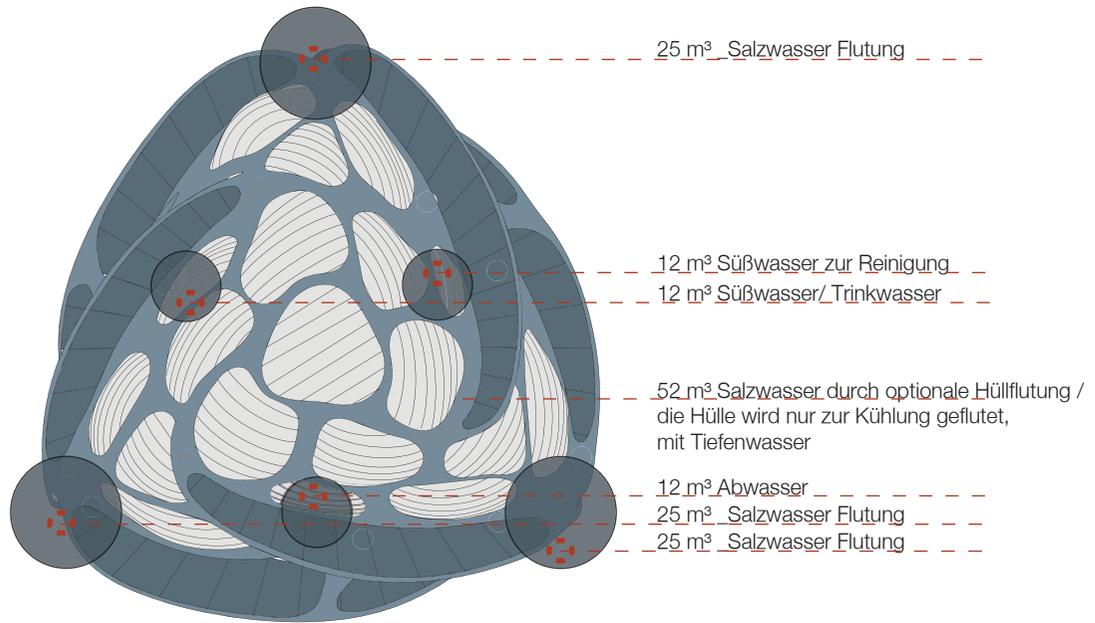
Muss nun ein Teammitglied die Station frühzeitig verlassen besteht die Möglichkeit der Dekompression über Masken. Diese schränken jedoch die Bewegungsfreiheit ein. Das einzelne Verlassen der Station erfolgt über ein Mini-Uboot. Normales Auftauchen wäre auch möglich aber aus Gründen der Sicherheit ist es nicht zu empfehlen.

# 07.10\_ Flutungsschema

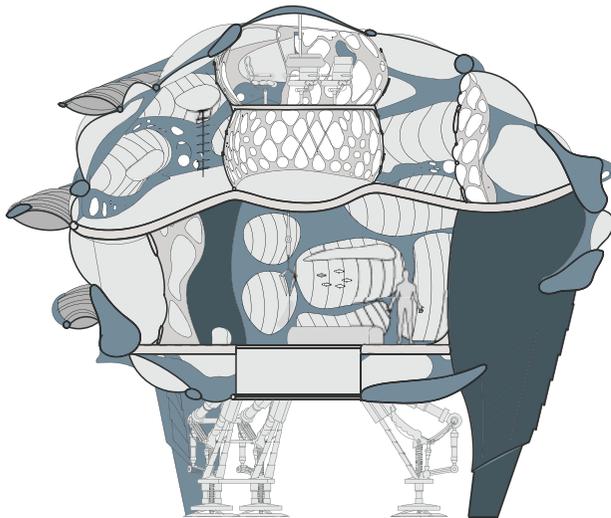
max. Flutungsvolumen: 112 m³



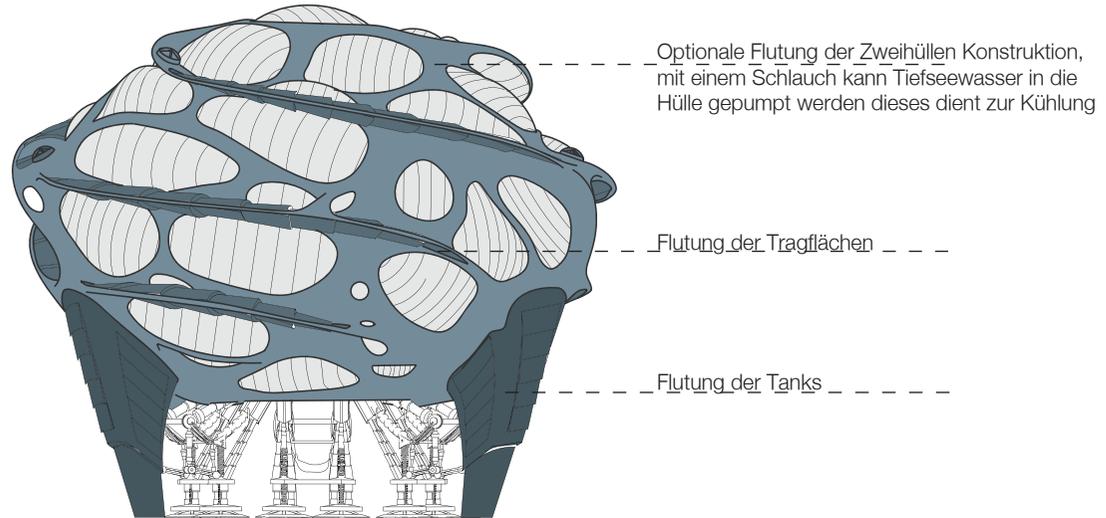
Flutung Perspektive



Flutung Gewichtsverteilung



Flutung Schnitt



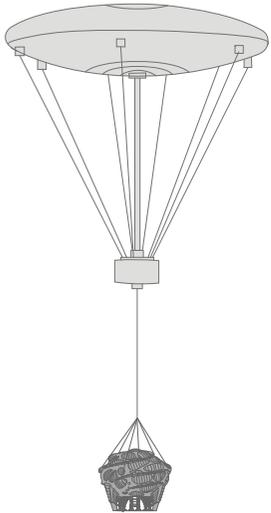
Flutung Ansicht

## 07.11\_Plugs

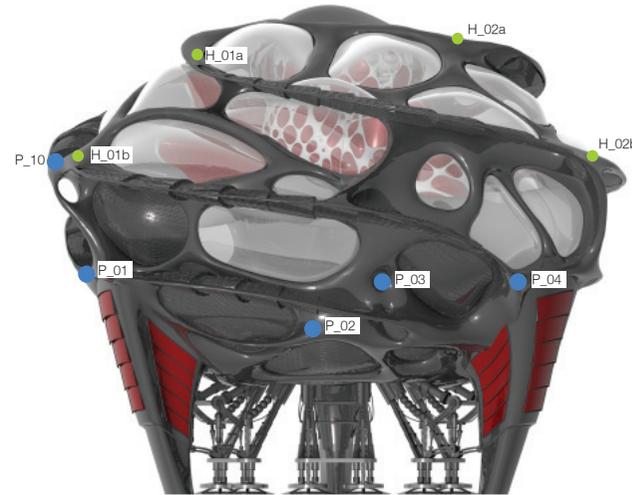
**H\_01a - H\_03b** Halterungspunkte

**P\_01 - P\_10** Plugposition

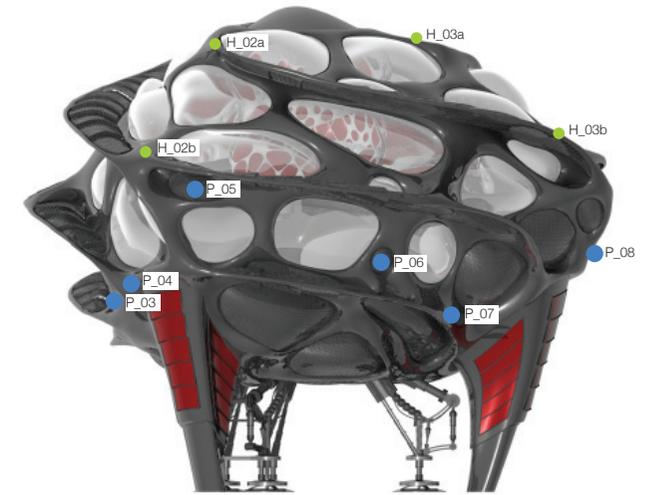
**A\_01 - A\_10** robotic arms



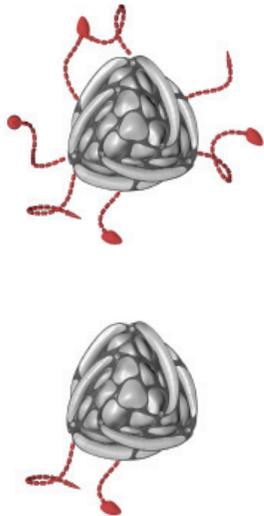
**Die Halterungspunkte** dienen dem Transport der Station. Zb. der Aufhängung an den Lastenzepelin oder das Heben mit einem Lastenkran. Oder auch der Abspannung der Station unter Wasser wenn diese im Tarierungsstand gehalten wird.



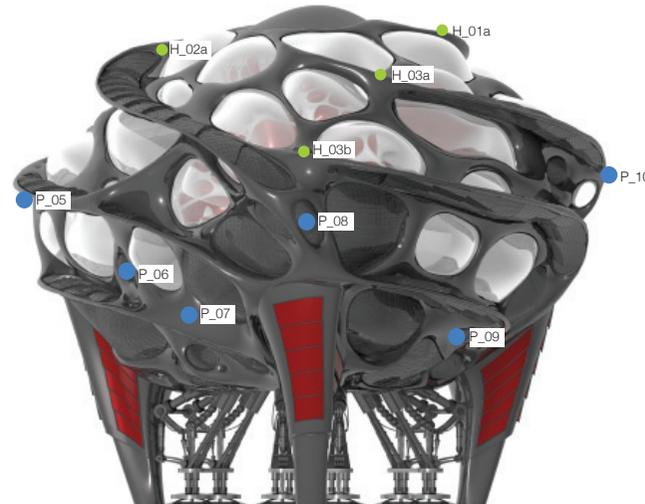
**Ansicht** Plugs vorne



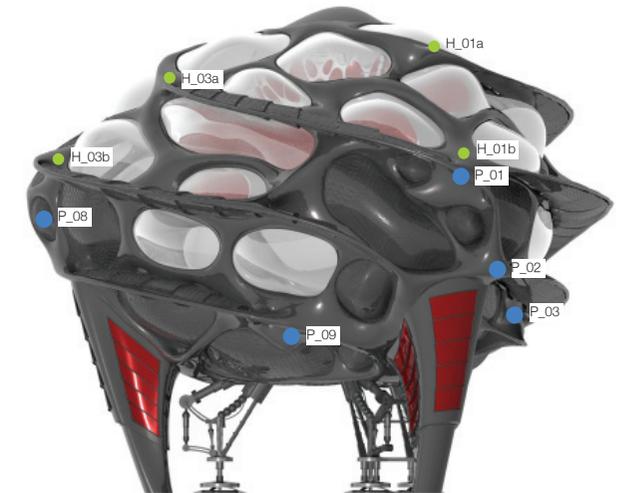
**Ansicht** Plugs rechts



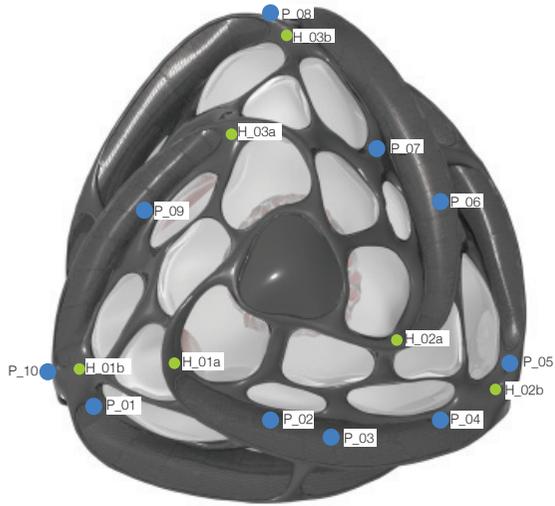
**Die Plugs** sind an der Station angebracht und ermöglichen so eine variable Anzahl von "robotic arms". Zwischen 1-10 Arme können an der Station angebracht werden. Der Wechsel kann auch unter Wasser durchgeführt werden. Die Punkte sind so gewählt das sie den kompletten Umkreis der Station erfassen.



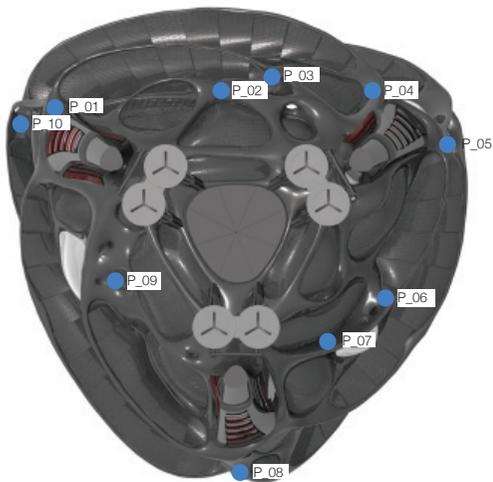
**Ansicht** Plugs hinten



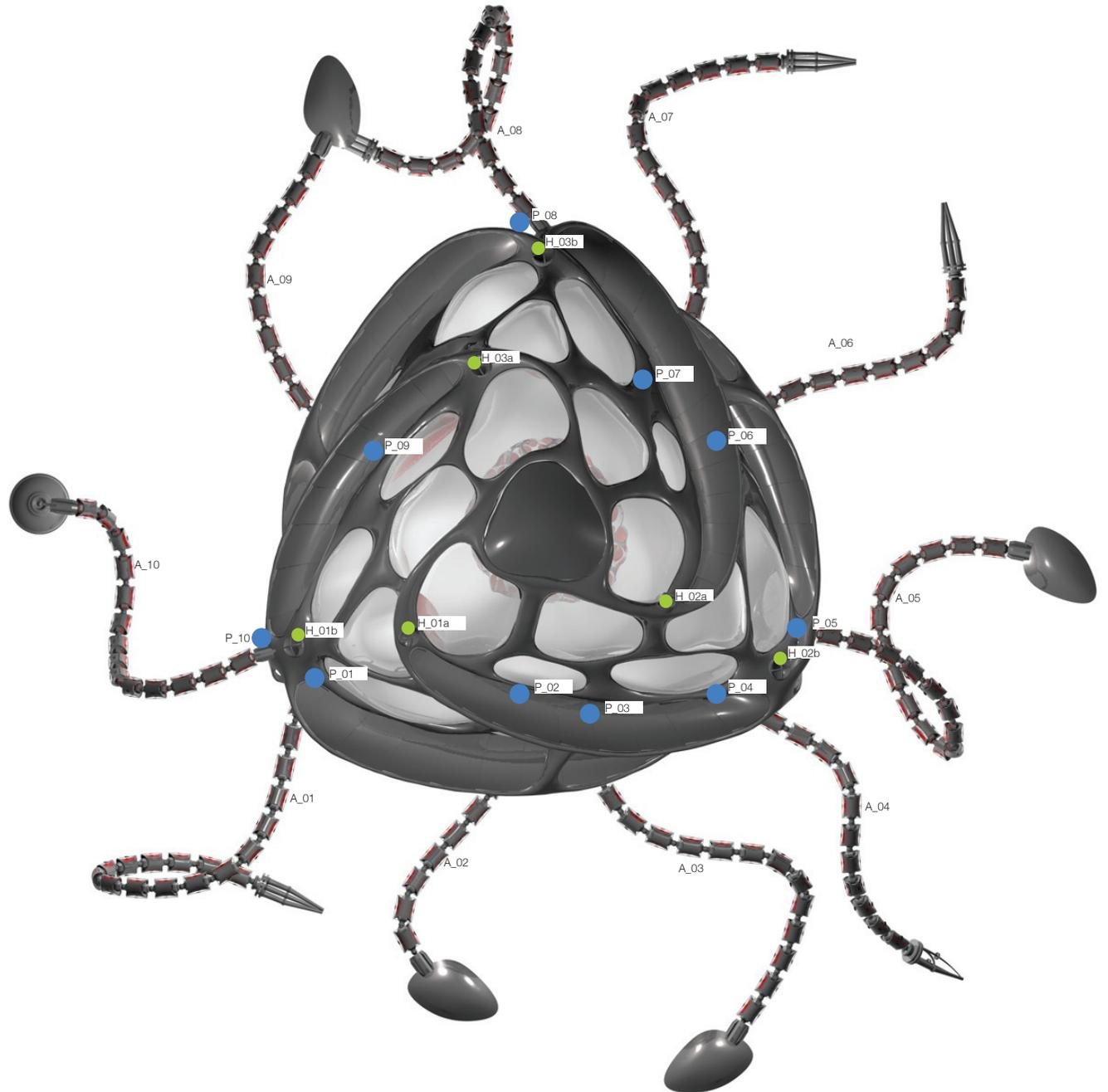
**Ansicht** Plugs links



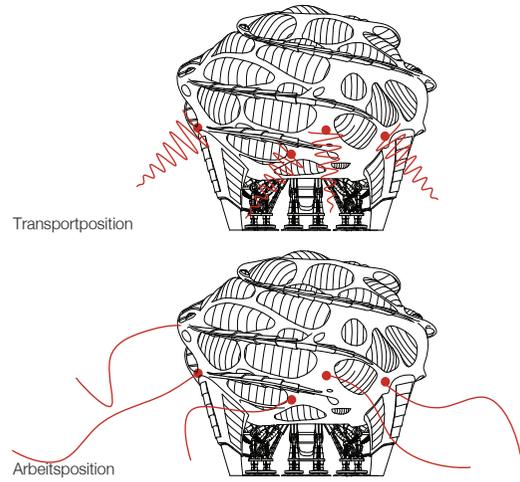
**Ansicht** Plugs oben



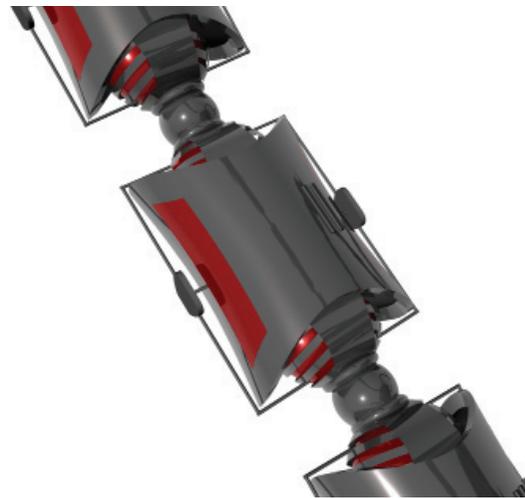
**Ansicht** Plugs unten



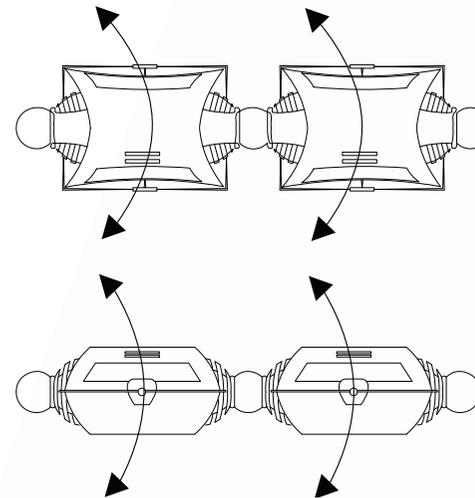
# 07.12\_robotic arms



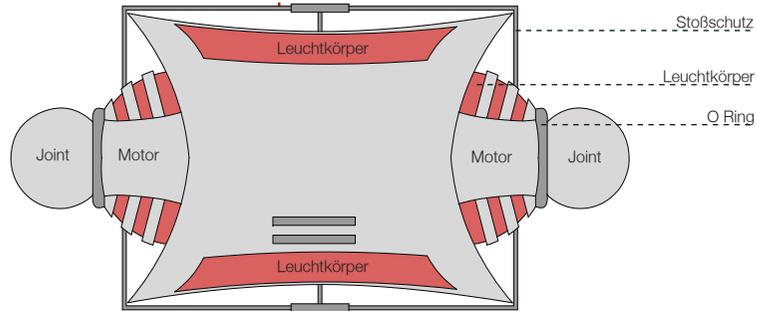
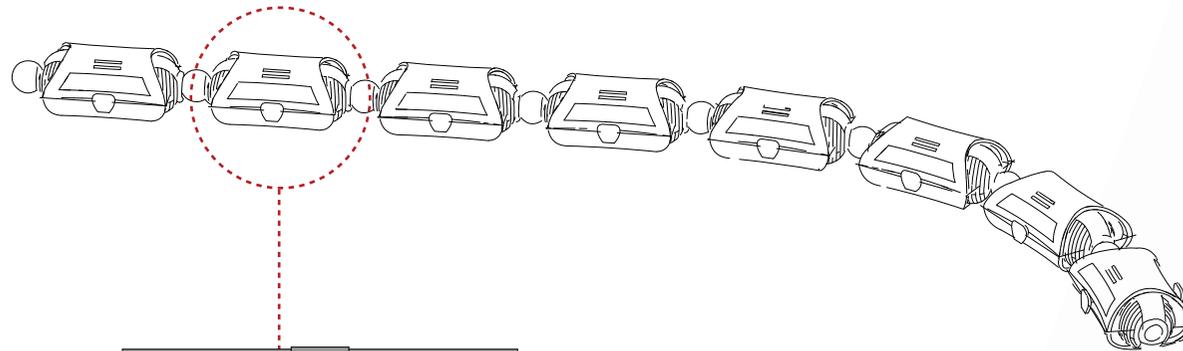
robotic arms Transportschema



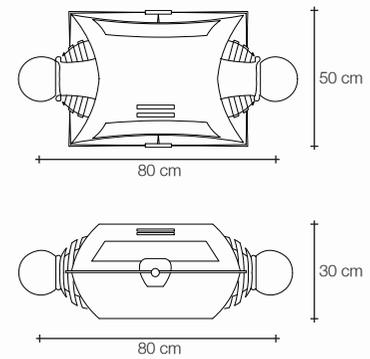
robotic arms Einzelkörper



robotic arms Rotation

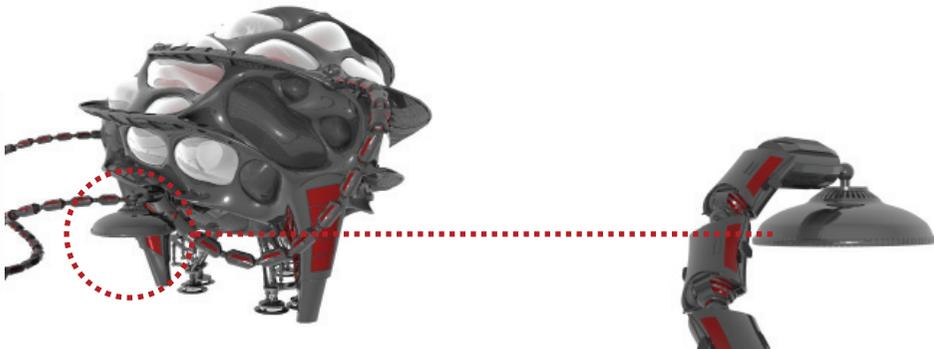


robotic arms Aufbauschema

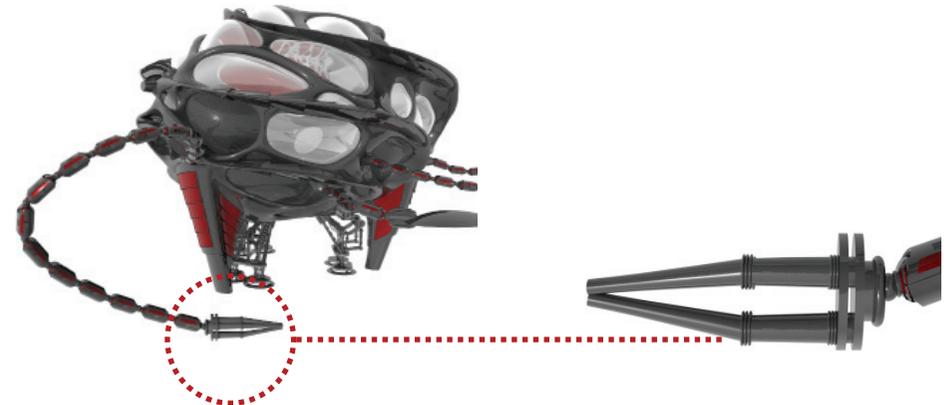


robotic arms Zusammenschluss

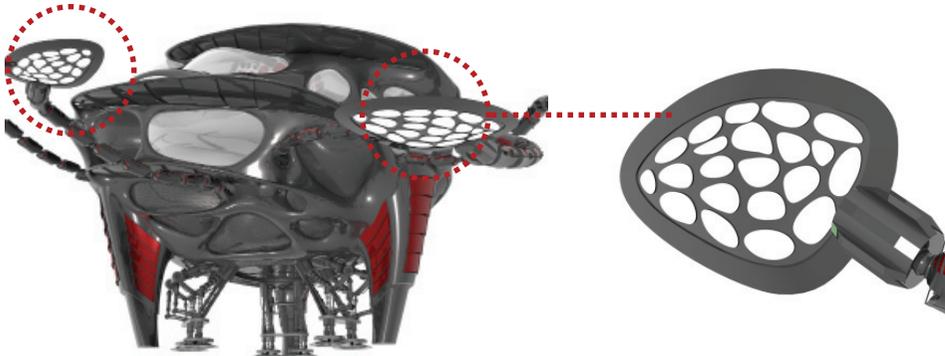
## 07.13\_Geräte



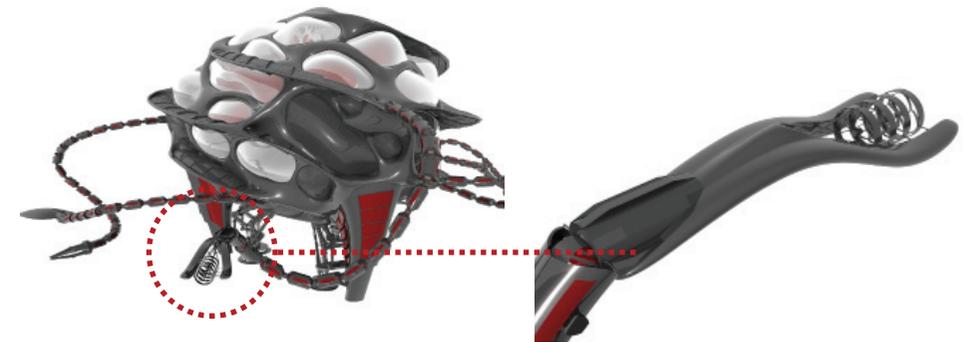
**Talkbubble** - ermöglicht eine barrierefreie Kommunikation unter Wasser



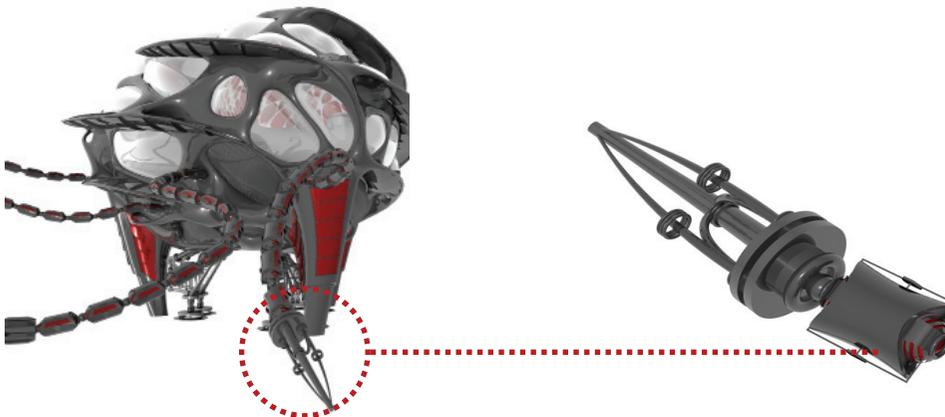
**Greifarme** zum Bewegen oder versetzen größerer Objekte



**Lampen** zur Beleuchtung von Fundstellen



**Turbinen** zur Energiegewinnung wenn der Arm nicht zum Arbeiten genutzt wird



**Unter Wasser "Staubsauger"** zum Entfernen von größeren Mengen losen Bodens

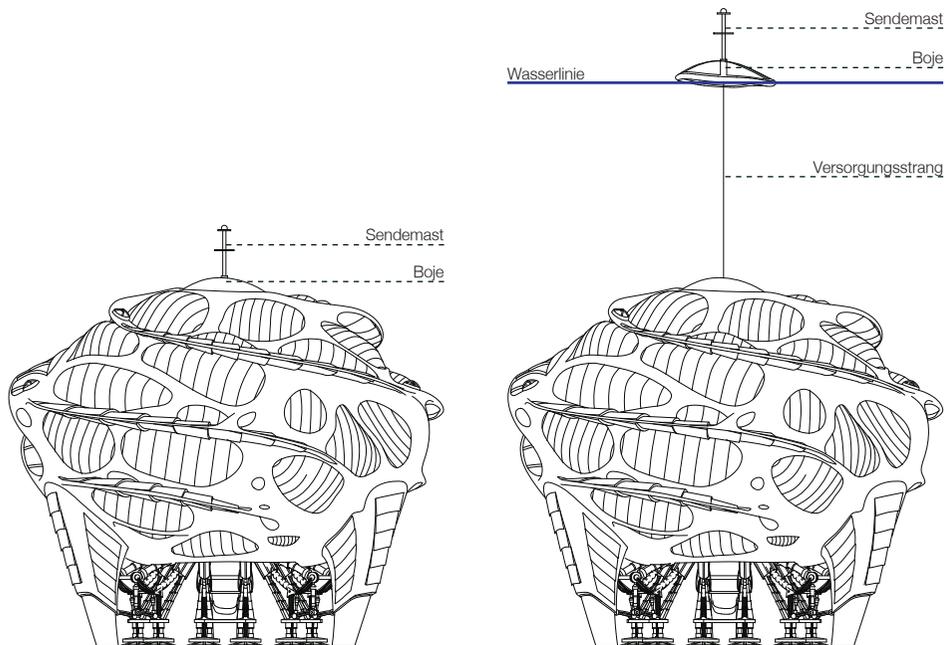


**ROV** Unter Wasser Roboter

**Die Geräte** können beliebig adaptiert werden. Zusätzlich zu den visualisierten Geräten sind zb. noch folgende Geräte sinnvoll für das Arbeiten unter Wasser:

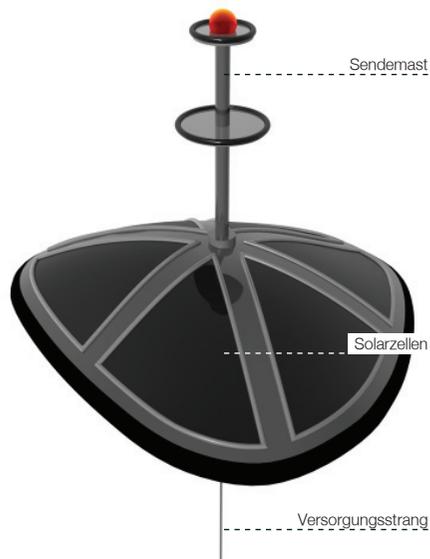
- Sägen
- Schweißgeräte
- Lasermessgeräte
- Fanggeräte (Biologie)
- und weitere

## 07.14\_Boje



**Boje** Position an Land

**Boje** Position im Wasser



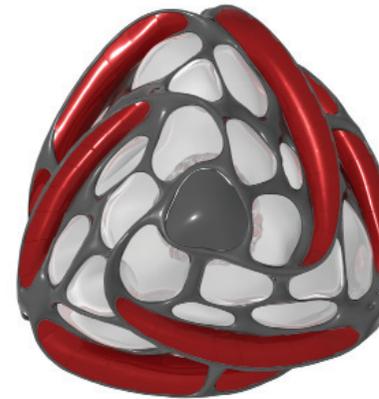
**Die Boje** verbindet die Station mit der Oberfläche. Sie ermöglicht die Kommunikation mit der Außenwelt sowie den Empfang von Internet/Fernsehdaten.

Ist die Station an Land, sitzt die Boje fix auf der Station auf. Wird sie ins Wasser gesetzt, löst sich die Boje von der Station ab.

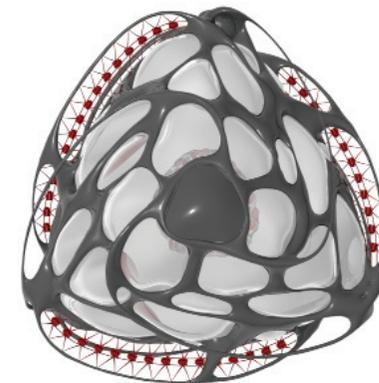
Durch einen Versorgungsstrang kann die Station zusätzlich per Schiff mit Luft/Wasser beliefert werden für den Fall, dass es nötig sein sollte.

Zusätzlich ist die Oberfläche mit Solarzellen bestückt um Energie zu gewinnen.

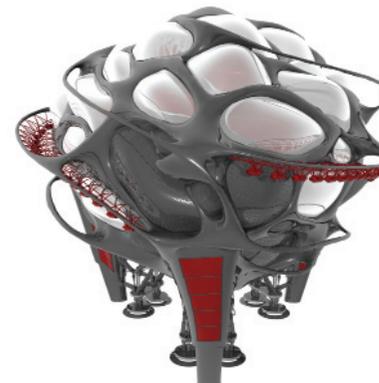
## 07.15\_Energiegewinnung



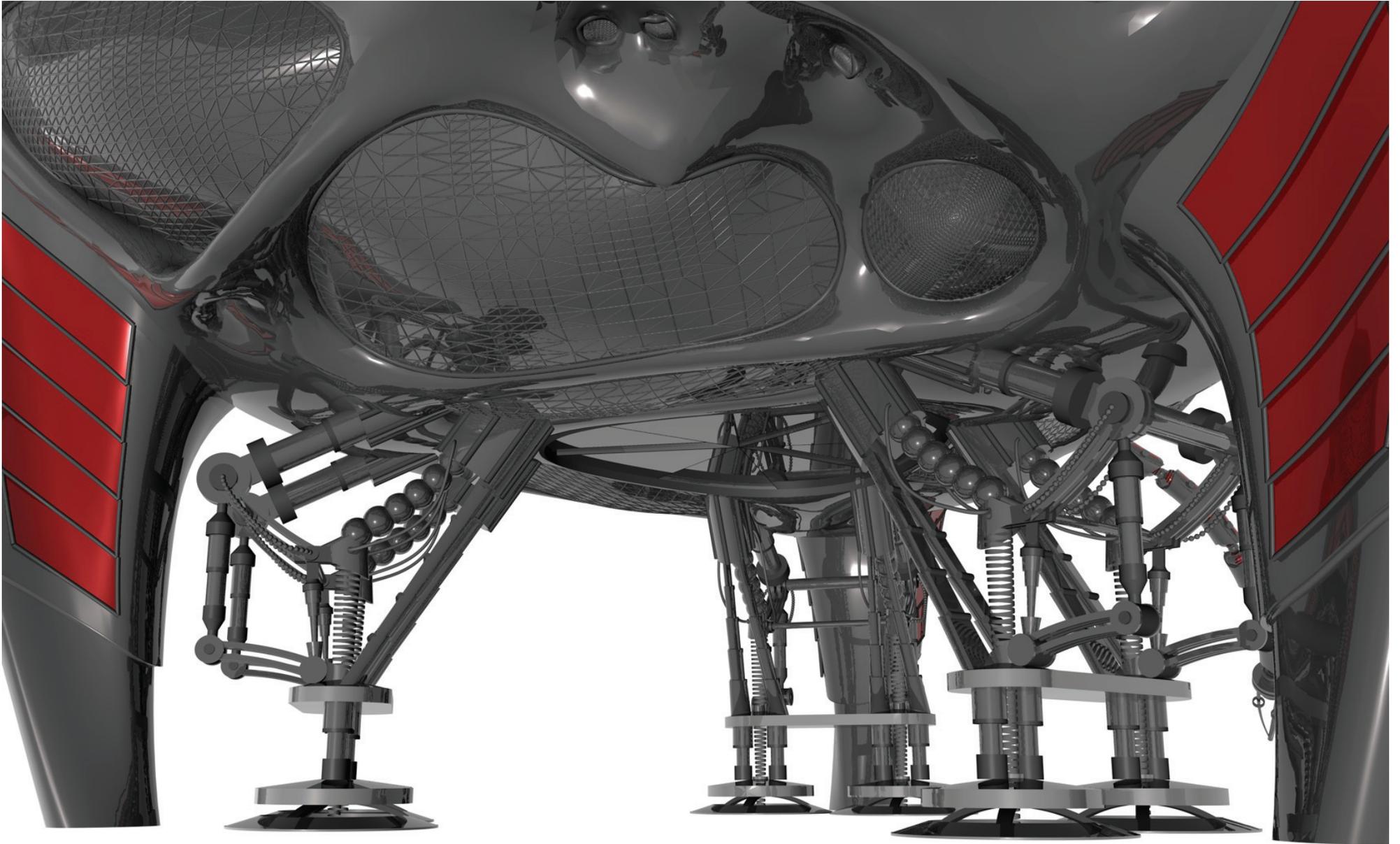
**Die Gleitflächen** dienen der Energiegewinnung. Pro Seite gibt es 3 Gleitflächen wovon nur die Mittlere der Energiegewinnung durch Wasserkraft dient. Die obere und untere dient rein der Sinkstabilität.

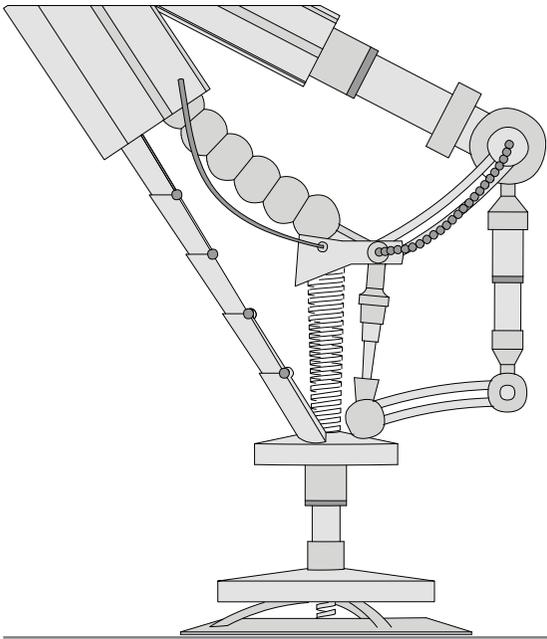


**15 Turbinen** pro Seite sind in die Gleitkonstruktion eingefasst. Während des Absinkvorgangs, wird so mehr Energie gewonnen, wenn sie zur Flutung und Steuerung benötigt wird. Im Ruhezustand sorgt die natürliche Strömung für die Energiezufuhr.



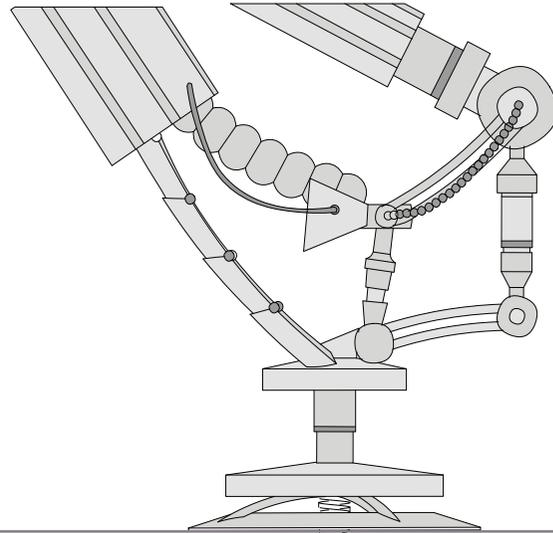
**Perspektive** Turbinen





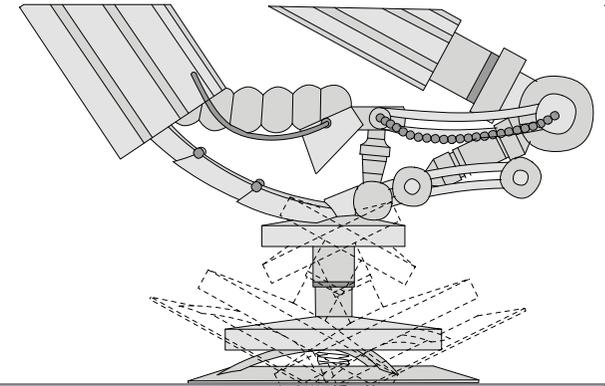
2,80 m

durch Hydrauliken und Gelenke kann der Standfuß an Geländeunebenheiten angepasst werden und in der Größe Angepasst werden.



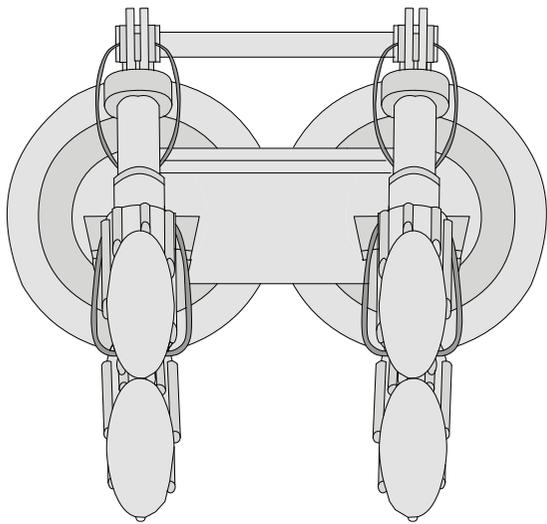
2,25 m

durch die Schwenkung des Fußes kann der Sandhering auch seitlich eingebracht werden



1,60 m

**technische Füße** Ansicht Seite



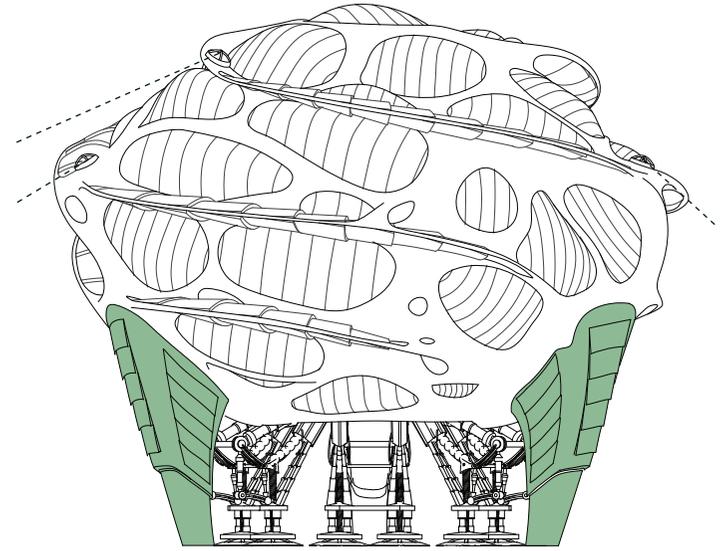
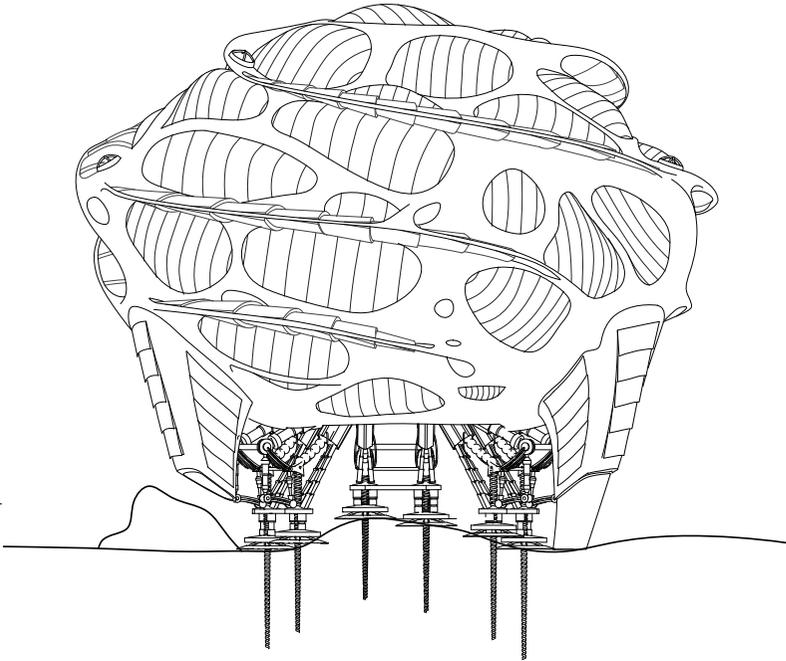
2,40 m

2,60 m

**technische Füße** Ansicht Oben

### Standkonstruktion

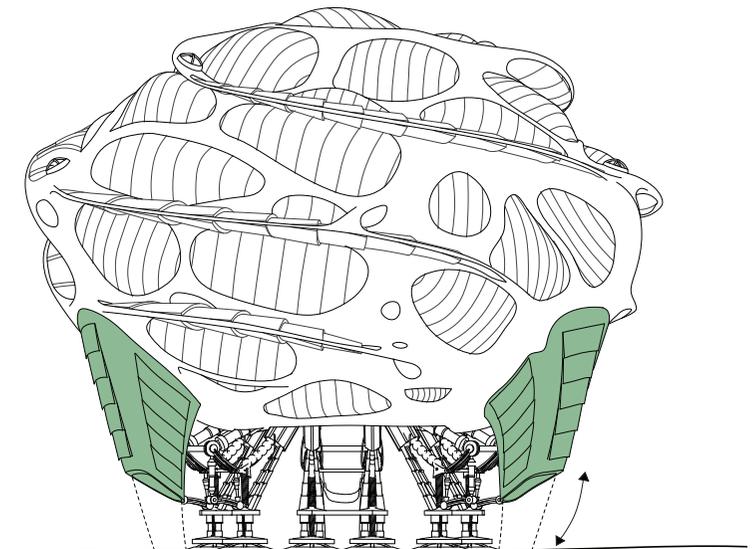
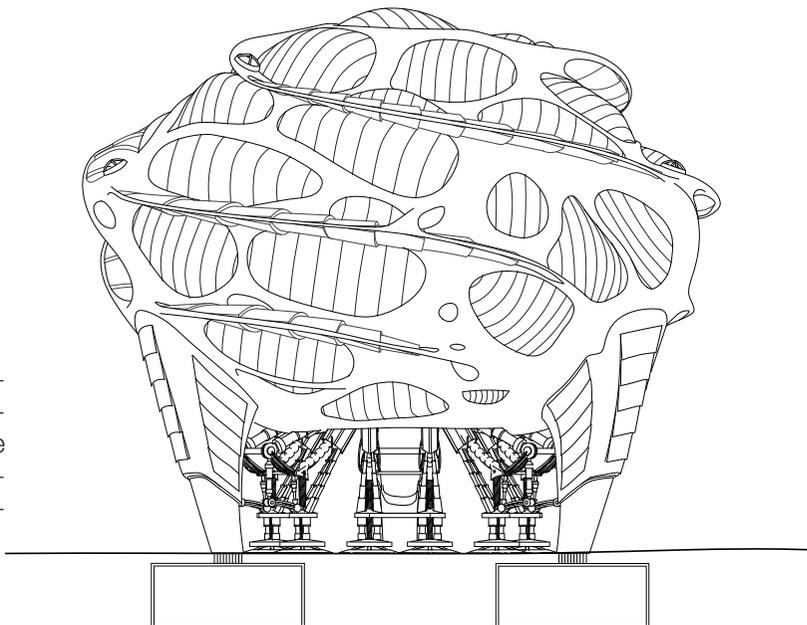
Angleichung an den Untergrund



**Standfüße** bei geradem Boden oder in Tarierungsposition

### Standfüße

bei sehr weichem Untergrund werden Vakuumenteller an die Standfüße angebracht, diese saugen sich an und verankern so die Station

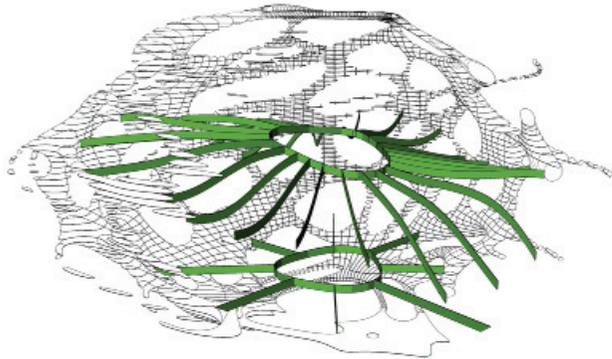


**Standfüße** Position im Wasser bei ungleichem Gelände

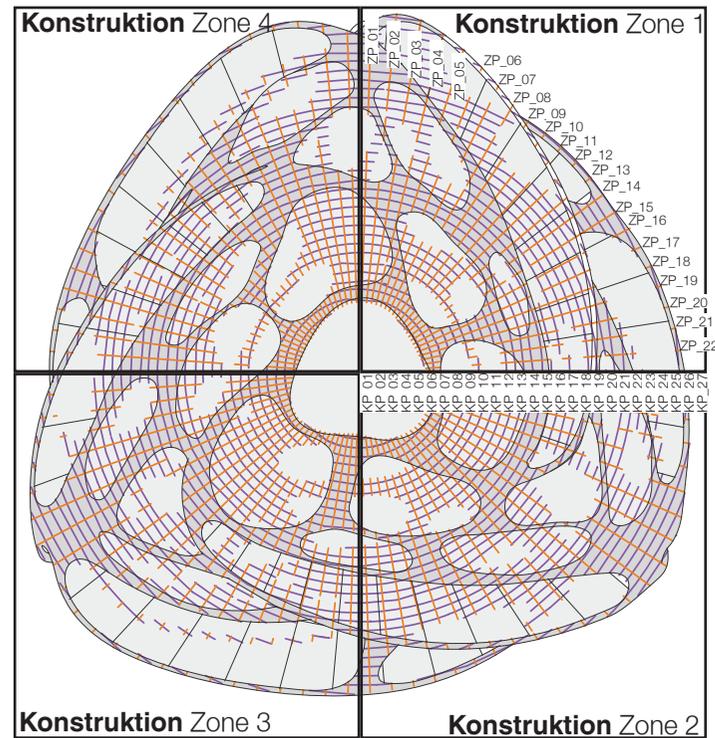
# 07.17\_Hüllkonstruktion Varianten

## 07.17\_Variante 1

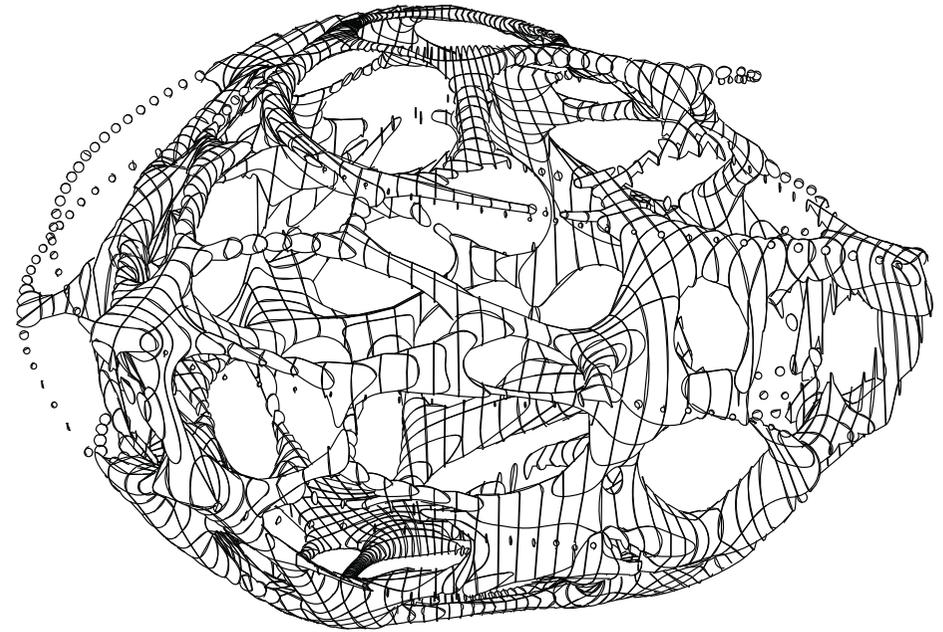
- Spanden Zentrisch (ZP)
- Spanden Kreisförmig (KP)



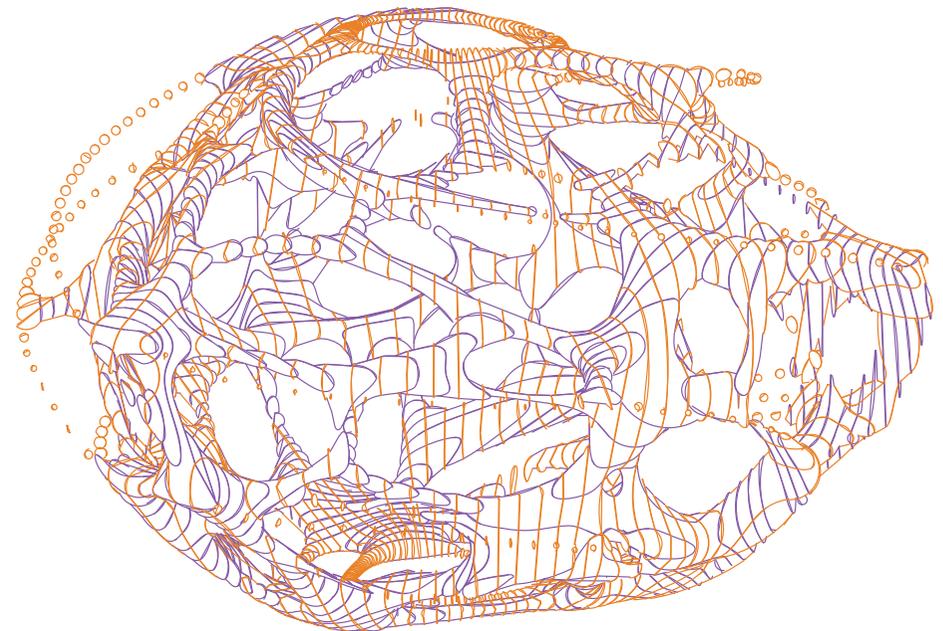
Träger Mittel und Technische Ebene



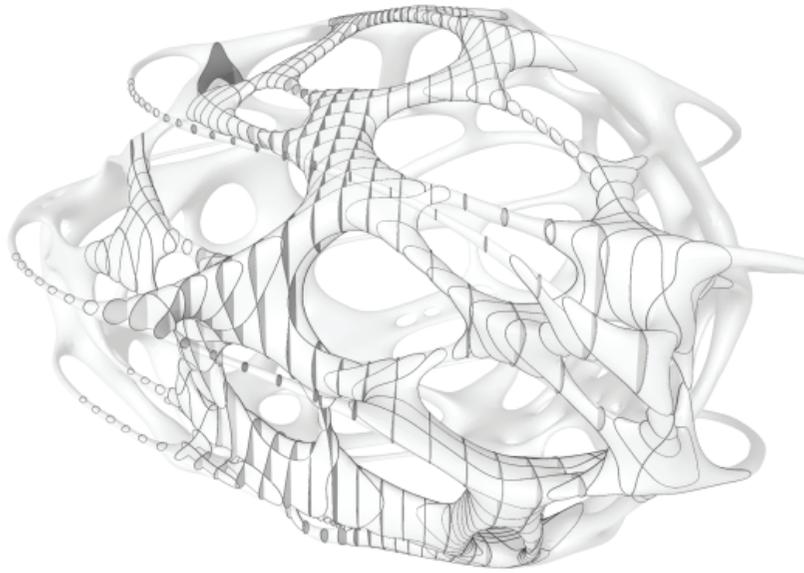
Konstruktionsschema  
Ansicht von oben



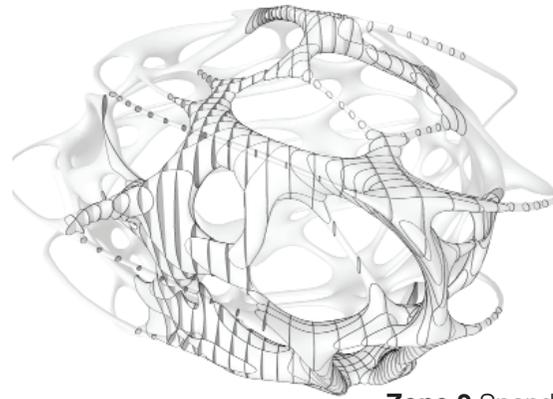
Konstruktion Perspektive



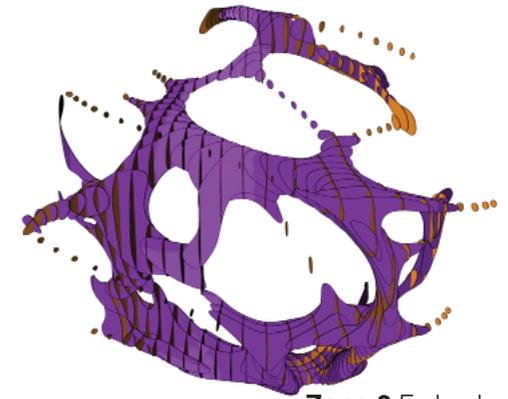
Konstruktion Perspektive Farbschema



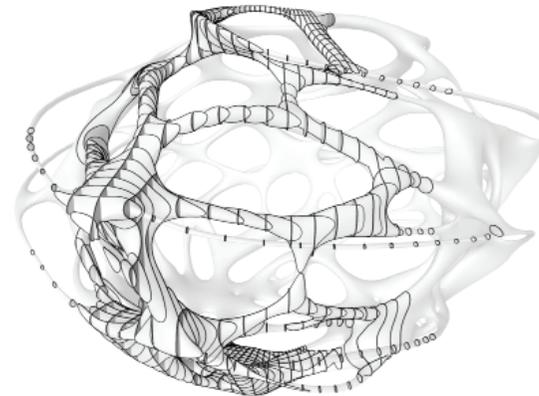
Zone 1 Spanden



Zone 2 Spanden



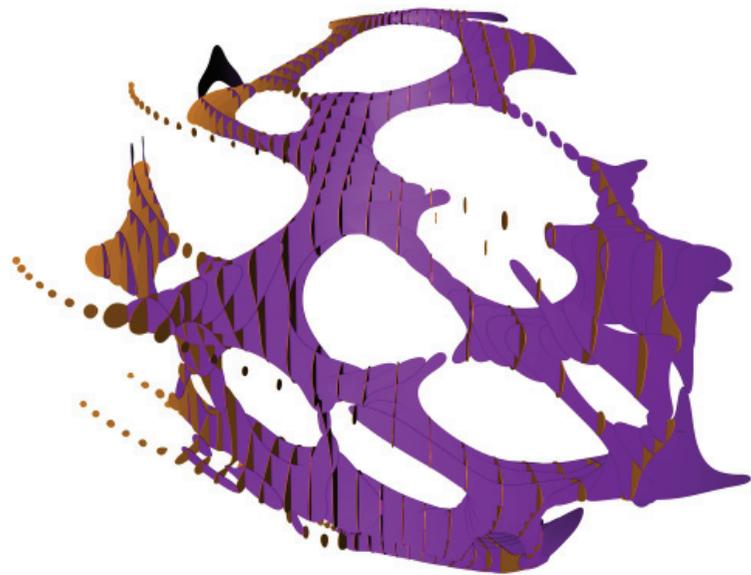
Zone 2 Farbschema



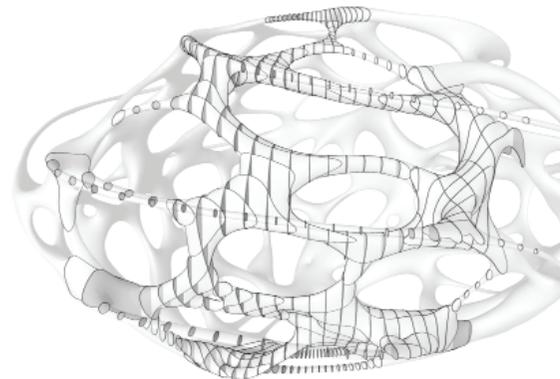
Zone 3 Spanden



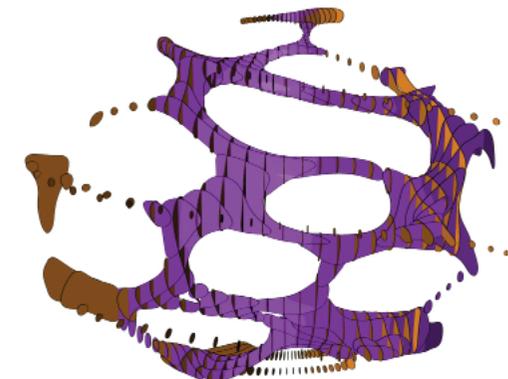
Zone 3 Farbschema



Zone 1 Farbschema

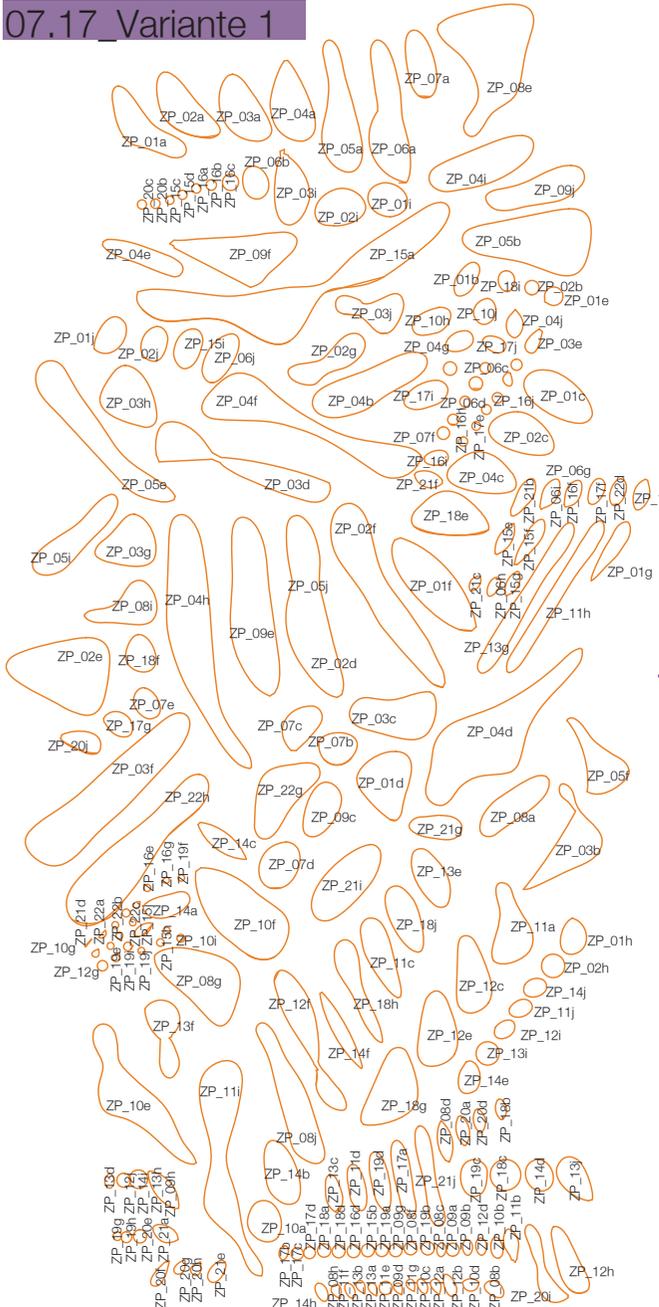


Zone 4 Spanden

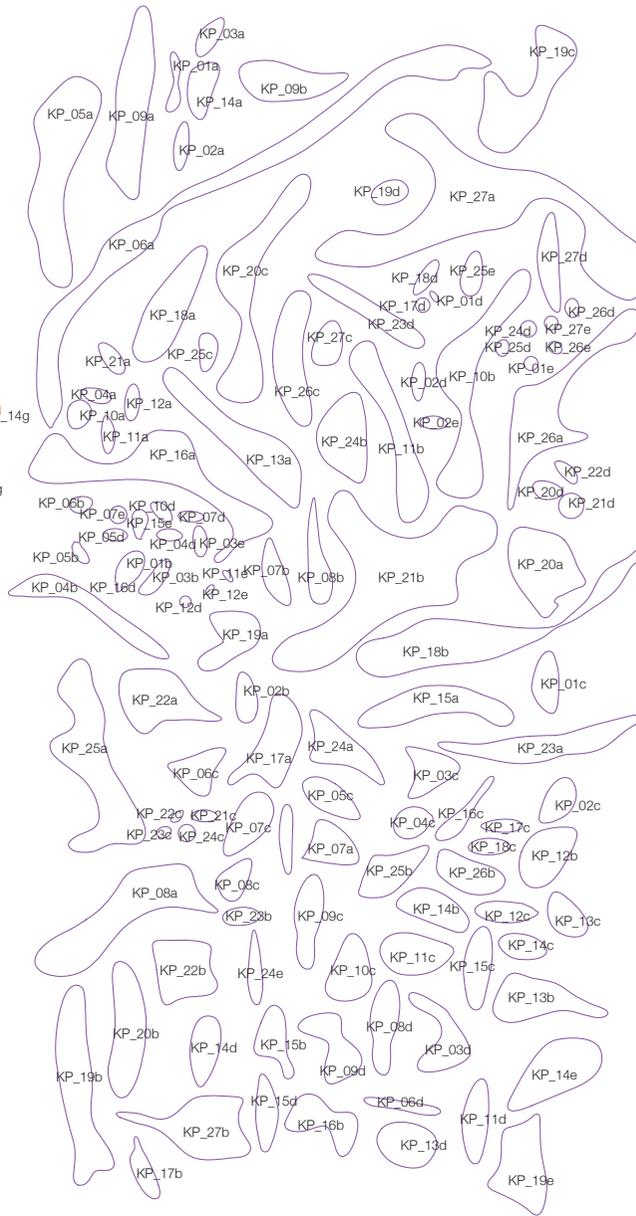


Zone 4 Farbschema

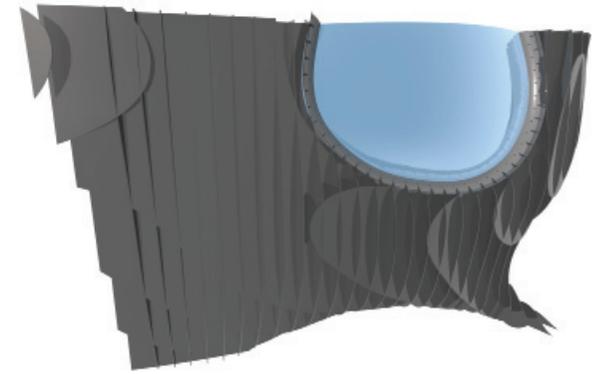
07.17\_Variante 1



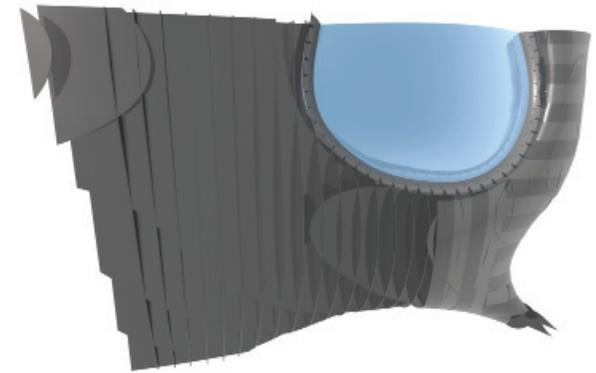
CNC\_Plan Zone1 zentrische Spanden siehe S.86



CNC\_Plan Zone1 kreisförmige Spanden, abgerollt



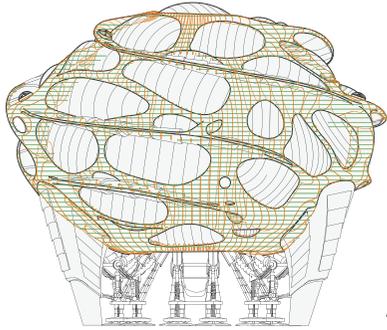
Ausschnitt Spanden/Fenster Detail



Ausschnitt Hüllegerichtung

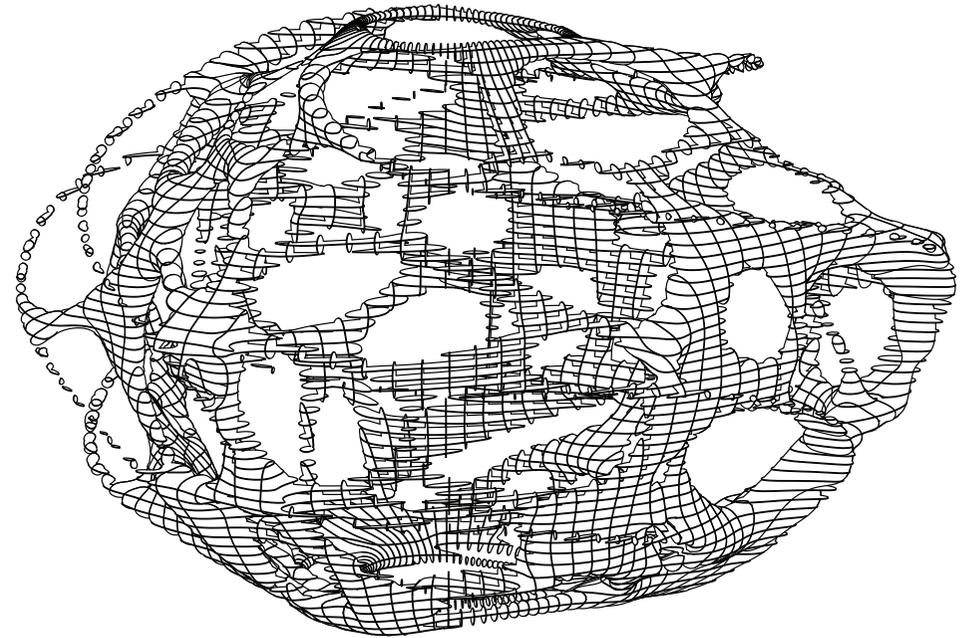
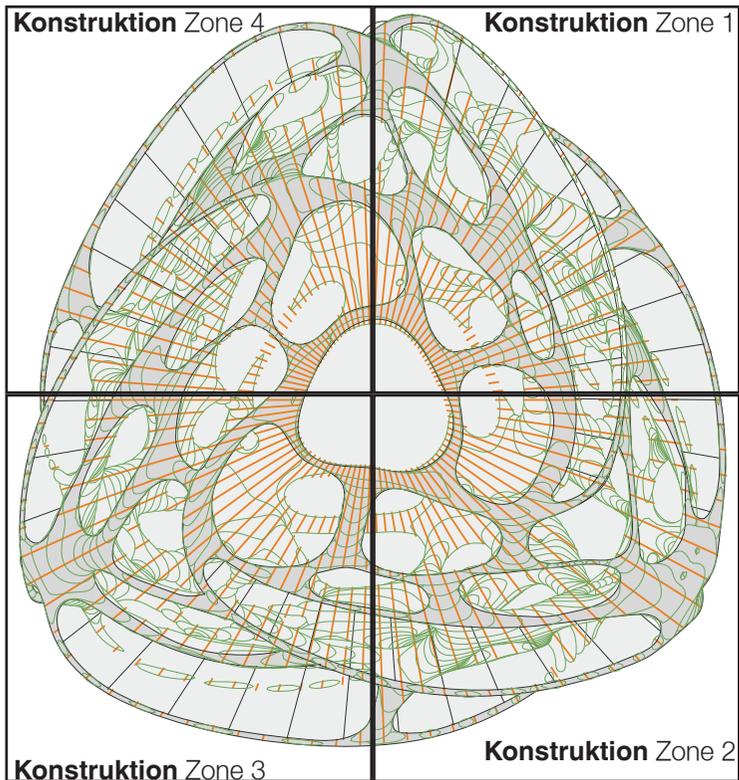
## 07.17\_Variante 2

- Spanden Zentrisch
- Spanden Horizontal

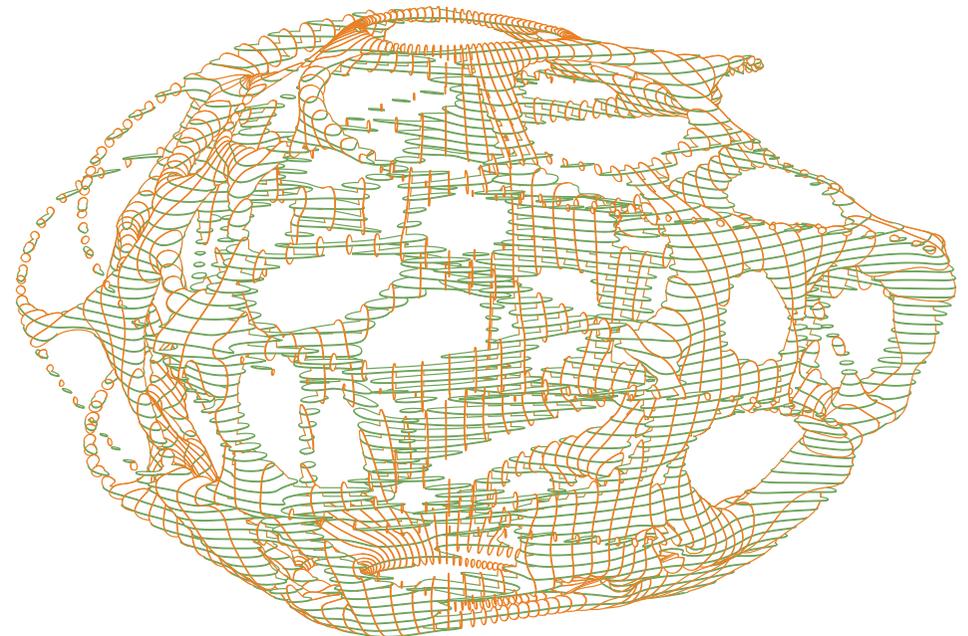


**Konstruktionsschema**  
Ansicht von vorne

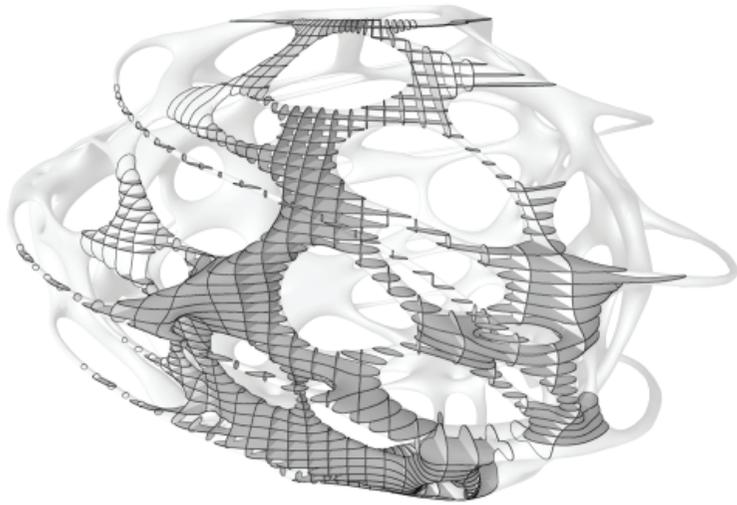
**Konstruktionsschema** Ansicht von oben



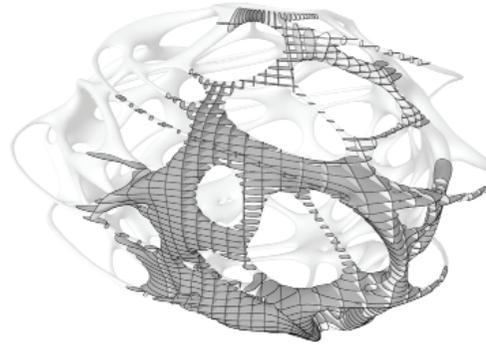
**Konstruktion** Perspektive



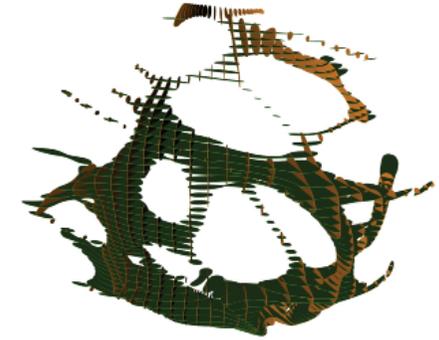
**Konstruktion** Perspektive Farbschema



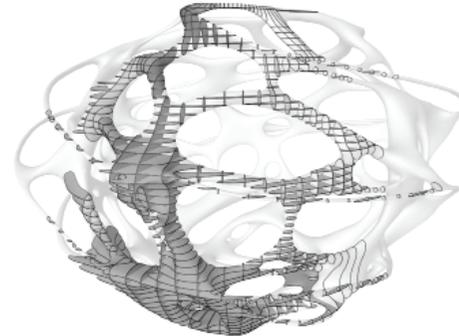
Zone 1 Spanden



Zone 2 Spanden



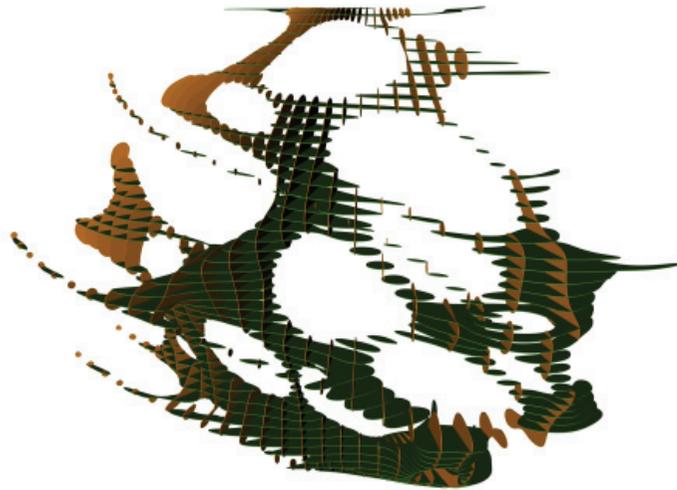
Zone 2 Farbschema



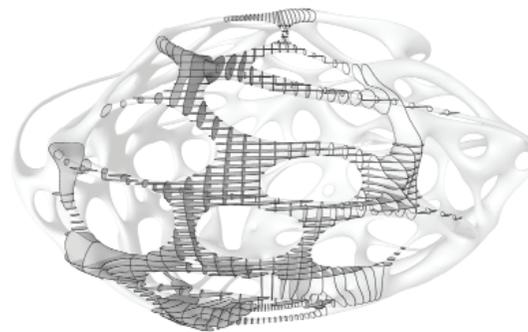
Zone 3 Spanden



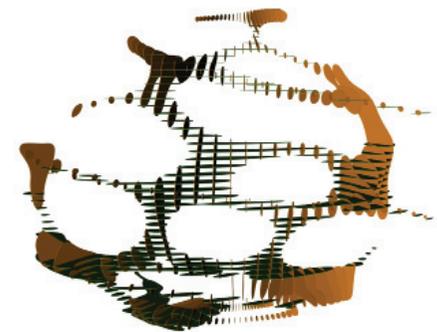
Zone 3 Farbschema



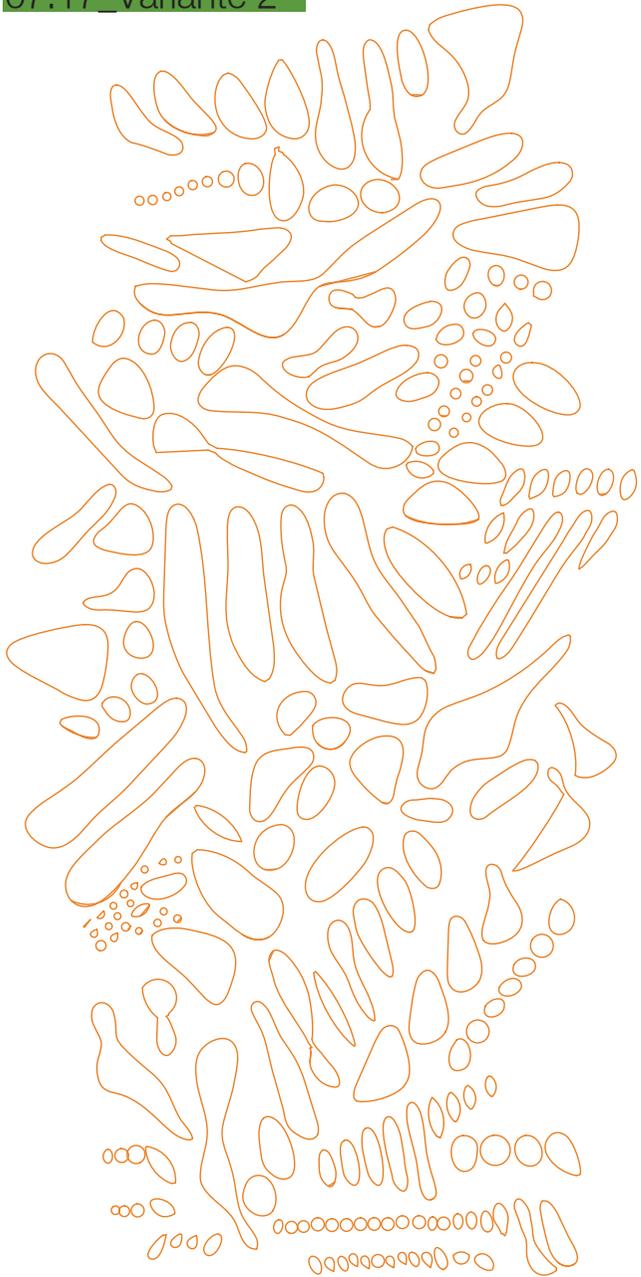
Zone 1 Farbschema



Zone 4 Spanden



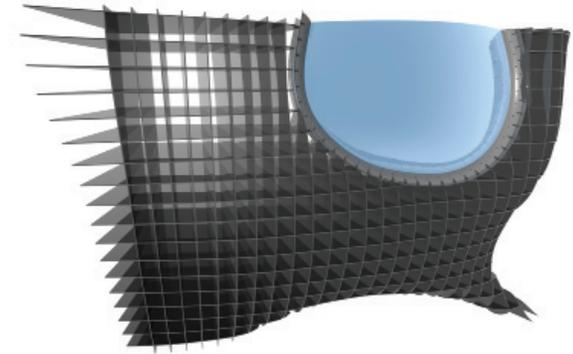
Zone 4 Farbschema



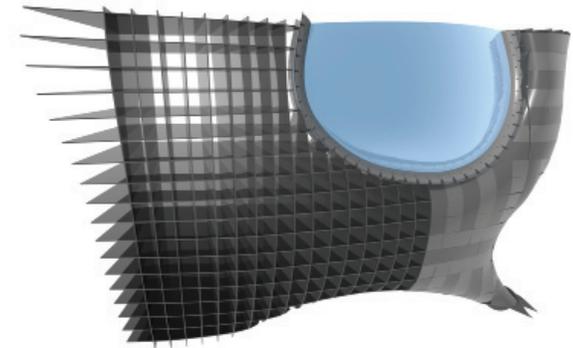
CNC\_Plan Zone1 zentrische Spanden



CNC\_Plan Zone1 horizontale Spanden



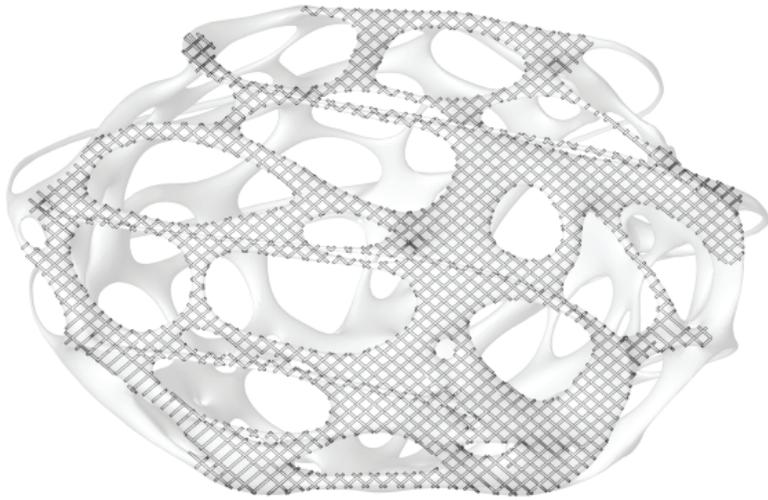
Ausschnitt Spanden/Fenster Detail



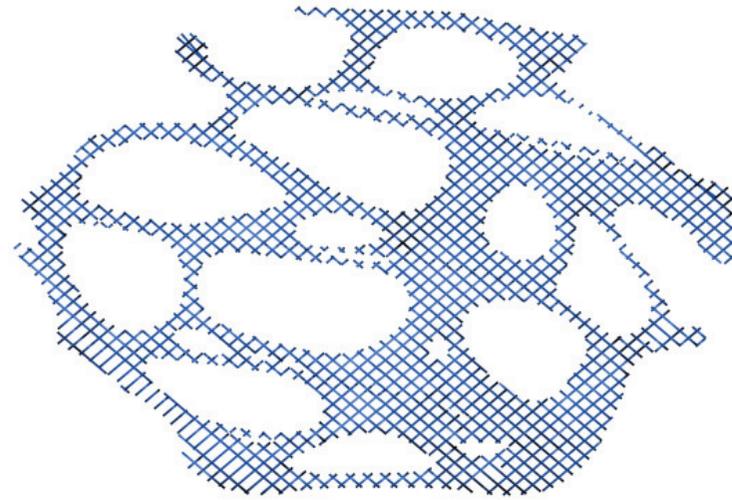
Ausschnitt Hülllegerichtung

07.17\_Variante 3

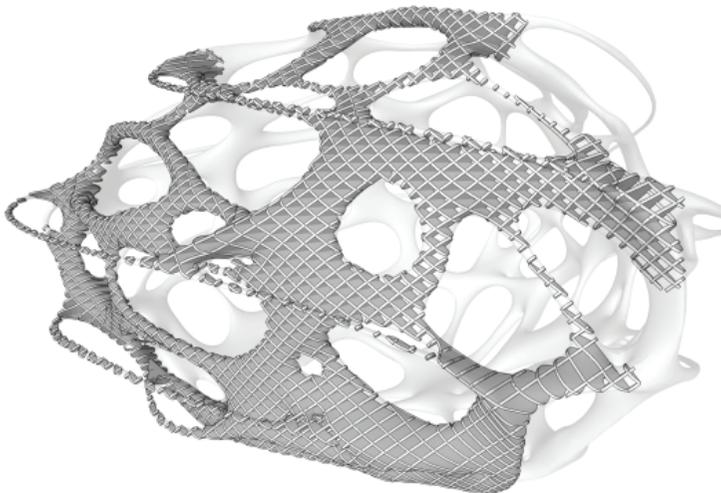
● Spanden 45°



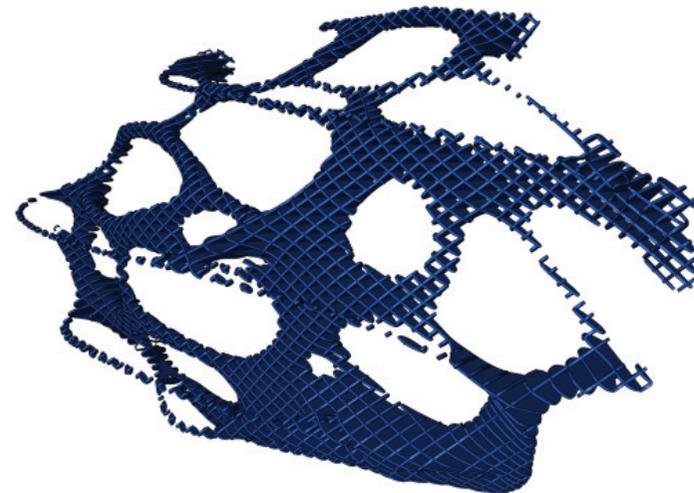
**Konstruktion** Ansicht Vorne



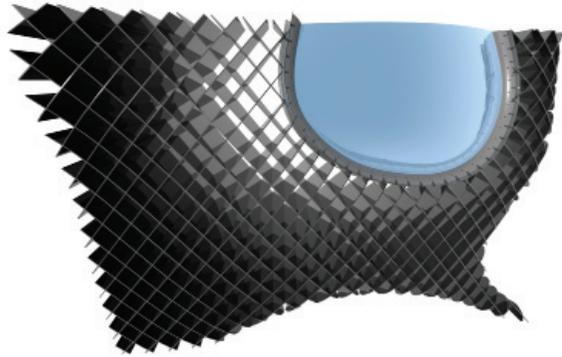
**Konstruktion** Ansicht Vorne Farbschema



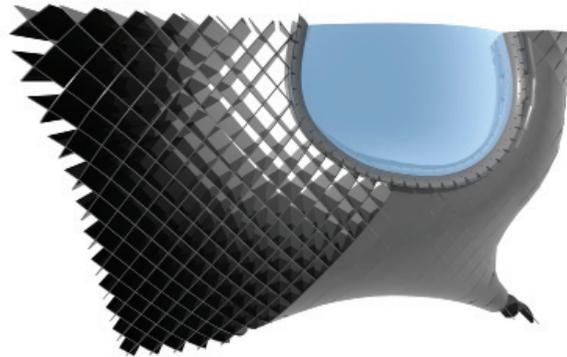
**Konstruktion** Perspektive



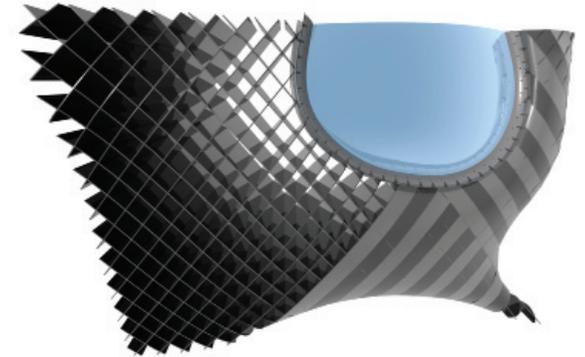
**Konstruktion** Perspektive Farbschema



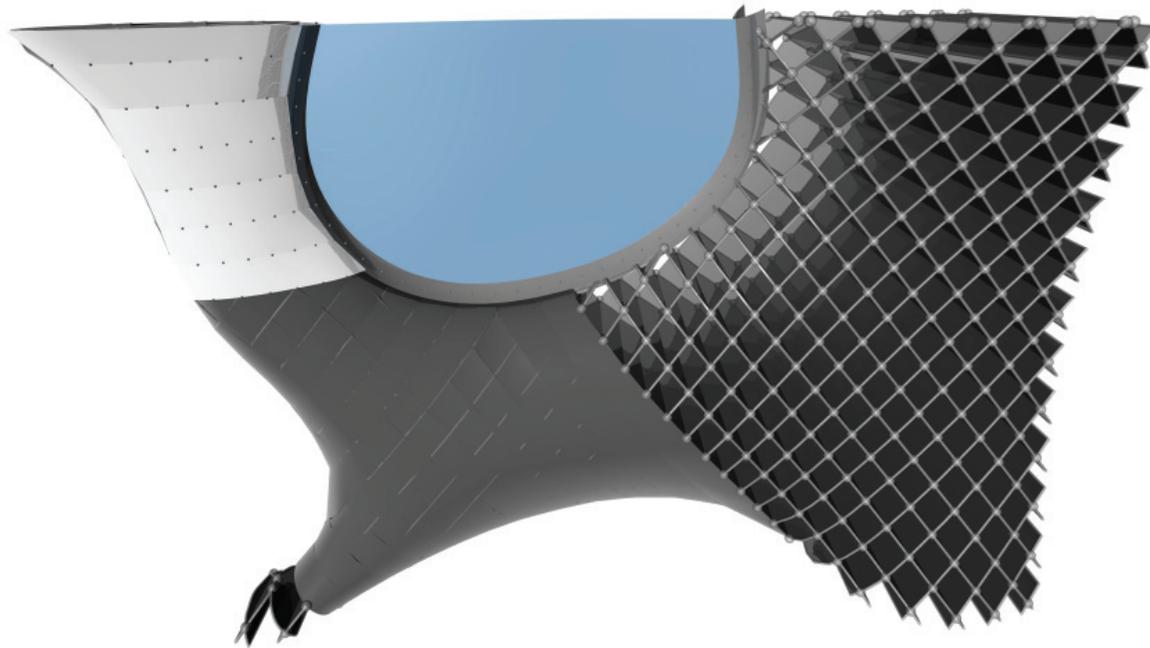
**Spanden 45°** mit Fenster



**Spanden 45°** mit Hülle



**Spanden 45°** Hüllschichten



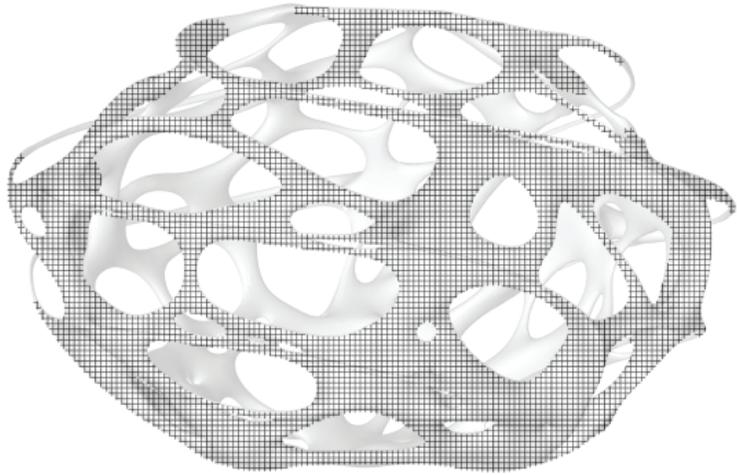
**Innenseite** Spanden 45° mit Hülle



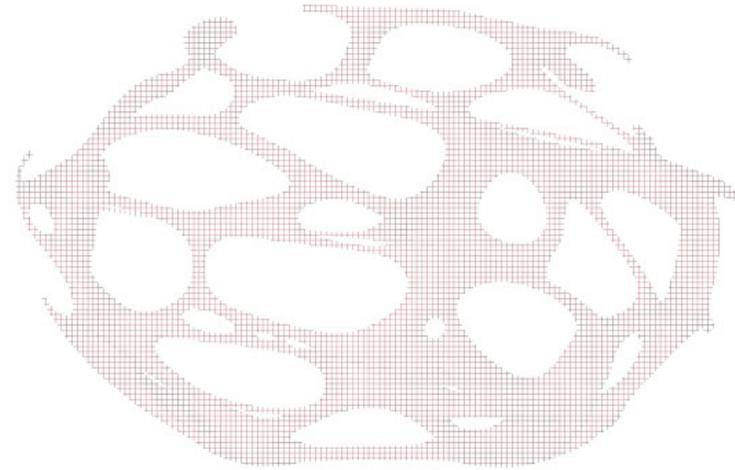
**Spanden 45°** Perspektive schräg oben  
93

07.17\_Variante 4

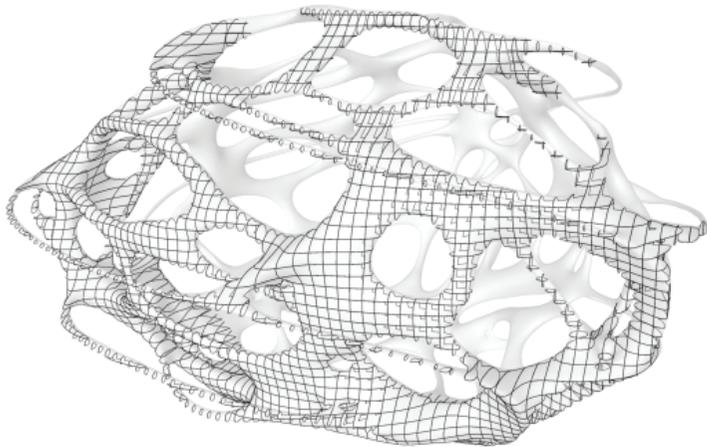
● **Spanden** horizontal und vertikal



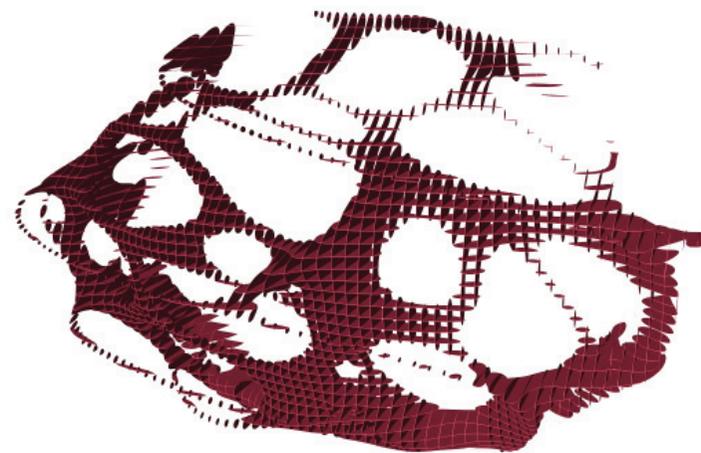
**Konstruktion** Ansicht Vorne



**Konstruktion** Ansicht Vorne Farbschema

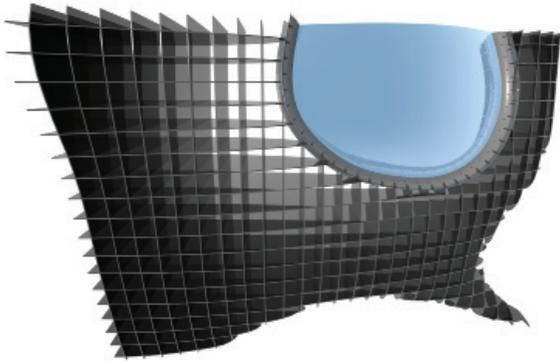


**Konstruktion** Perspektive

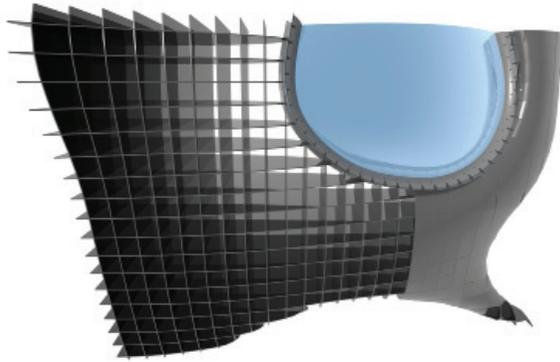


**Konstruktion** Perspektive Farbschema

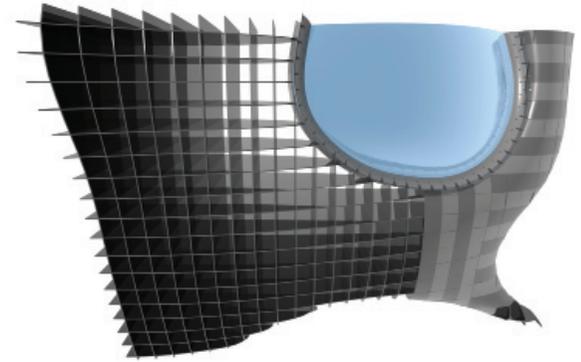
07.17\_Variante 4



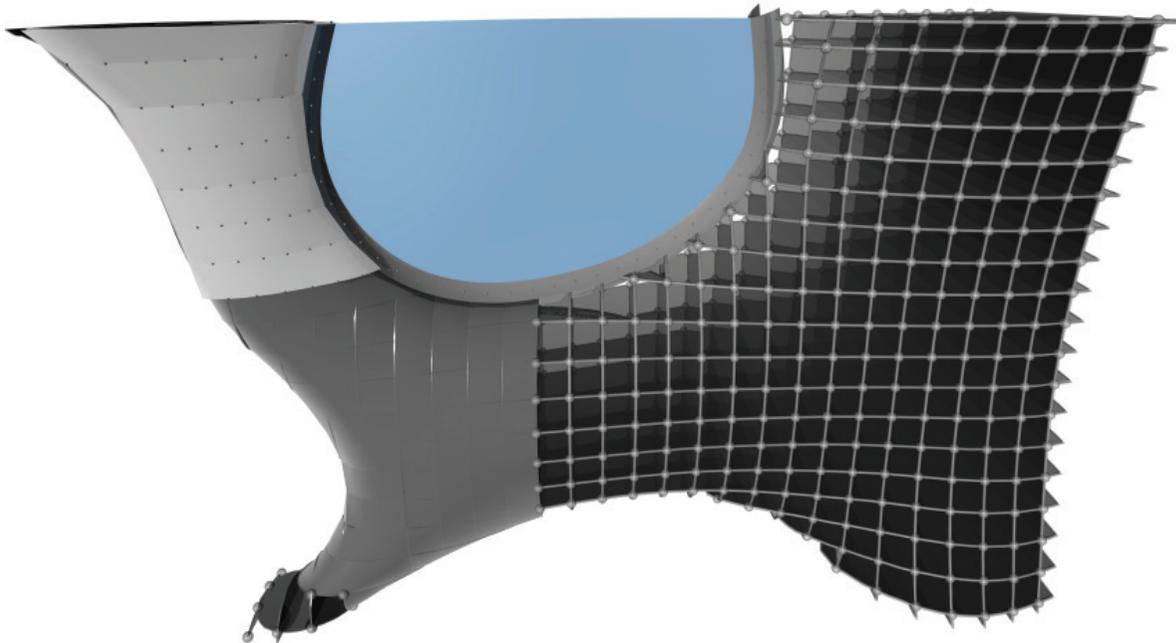
Spanden h/v mit Fenster



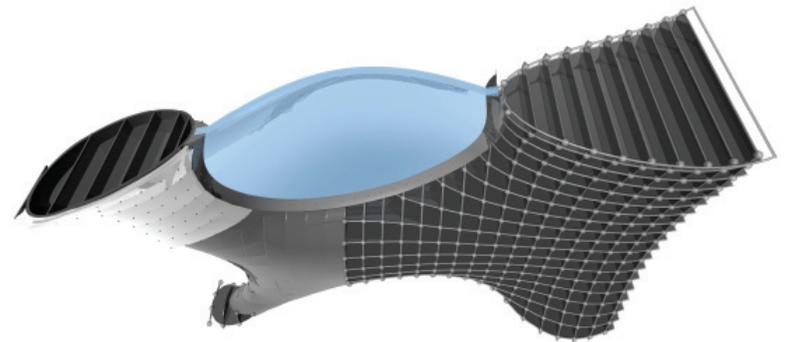
Spanden h/v mit Hülle



Spanden h/v Hüllschichten

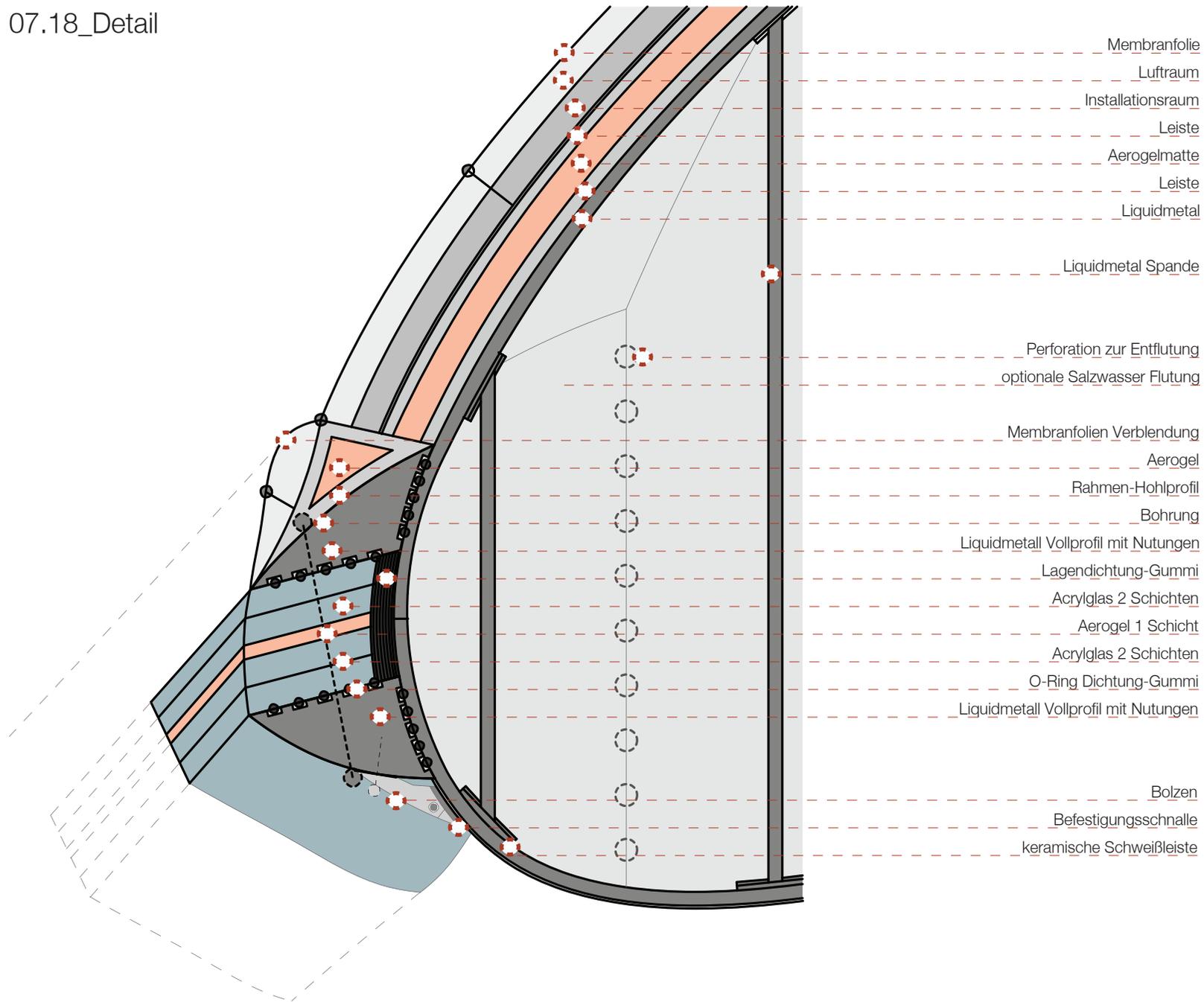


Innenseite Spanden h/v mit Hülle



Spanden h/v Perspektive schräg oben  
95

07.18\_Detail



## 07.19\_Material

**Aerogel (mikroporöser Dämmstoff)** Aerogele werden seit etwa 1940 hergestellt. Bei der Herstellung Aerogel wird eine Flüssigkeit geliert und das Gel anschließend getrocknet. Durch dieses "Sol-Gel-Verfahren" entstehen die Nanoporen.

Die Eigenschaften des Aerogels werden entscheidend durch die Auswahl der Ausgangsstoffe beeinflusst. Es wird vorwiegend aus Silikaten hergestellt.

Ein Aerogel ist ein extrem leichter, hochporöser Dämmstoff. Er ist extrem hitzebeständig (bis ca. 2000°C) und verändert seine gute Dämmeigenschaft auch bei Druckunterschieden nur geringfügig.

Die hohe optische Transparenz, zusammen mit einer Brechzahl von etwa 1,007 bis 1,24, macht Aerogele auch in optischer Hinsicht interessant.

Diese Dämmung wurde gewählt da sie eine zusätzliche Isolierung der Fenster ermöglicht und bei geringster möglicher Dicke eine Wärmeisolation bietet.

**SLIMLIGHT-Leuchtfolien** EL-Folien sind so genannte Lambertstrahler. Sie geben ein schmalbandiges Licht ab, beinahe monochromatisch. Diese Folien wurden ursprünglich für militärische Zwecke und für die Flugzeugindustrie entwickelt. Seit mehr als 5 Jahren wird die Leuchtfolie im Bühnentechnischen Bereich eingesetzt.

Die EL-Folie ist stufenlos dimmbar und die Einschaltverzögerungen liegen unter 100 ms. Die Leuchtfolie hat eine Stärke von 0,8mm. Es ist das dünnste Leuchtmittel der Welt.

Da Licht unter Wasser ausgefiltert wird, soll über die Leuchtpaneel im Innenraum ein möglichst breites Farbspektrum dargeboten werden. So kann sich die Besatzung die Farbe aussuchen.

**Coelan** Bodenbeschichtung ist eine kunststoffhaltige Bodenbeschichtung die Abrieb- und Verschleißfestigkeit, Rutschhemmung und Beständigkeit gegen aggressive Komponenten bietet.

**Liquidmetal** ist ein Markenname für amorphe Metall-Legierungen, die von der Firma Liquidmetal Technologies entwickelt wurden. Durch ihre nicht-kristalline Struktur sind die verwendeten Zirkonium-Legierungen widerstandsfähiger und elastischer als Legierungen aus Titan oder Aluminium, die in den gleichen Bereichen eingesetzt werden. Die Technologie findet im militärischen und industriellen Bereich vielfach Anwendung.

Liquidmetal ist korrosionsbeständig und verformungsbeständig.

**Biokeramik** eine Biokeramik ist ein Produkt, das aus einer Kombination von speziell ausgesuchten Keramik- und Mineraloxiden wie Quarz-Oxid, Aluminium-Oxid, Silizium-Oxid, etc. gewonnen wird.

Verwendet werden unter anderem auch pyroelektrische Mineralien, die in der Lage sind, aufgenommene Wärme in elektrische Ladungen umzuwandeln. Diese Mischung aus unterschiedlichen Mineralien wird auf eine Temperatur von rund 1600° erhitzt und verschmolzen. Diese Biokeramik aus unterschiedlichen Mineralien ist nun in der Lage, Fern-Infrarot-Strahlen auszusenden und negative Ionen zu produzieren. Zudem ist sie in der Lage, vom menschlichen Körper abgegebene Infrarot Wärme

aufzunehmen und gleichmäßig wieder abzugeben. Aufgrund der Wellenlänge im Fern-Infrarotbereich erwärmen sie den menschlichen Körper, ohne dabei die Umgebungstemperatur zu erhöhen. Die Biokeramiken sollen für den Innenbereich eingesetzt werden. für die Hüllstruktur der Kombüse des Bades und der Schalfkojen.

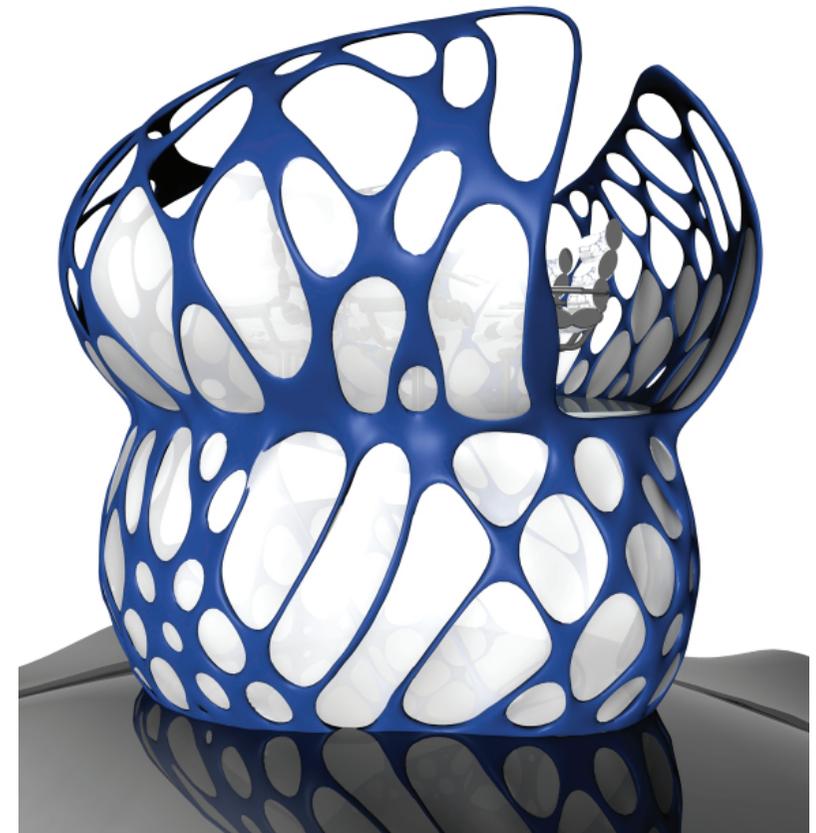
**Akustikabsorber**, das sind transparente und transluzente Folien mit Mikroperforation, die Reflexionsschall und Nachhallzeit senken.

Die Folien werden mit Abstandshaltern und Federn aus Edelstahl individuell an der Decke befestigt.

**drapilux-Stoffe** Diese Stoffe verfügen über eine ausgeprägte schalldämmende Wirkung und sind bioaktiv, diese werden zur Bedeckung der Schlafkojen benutzt.

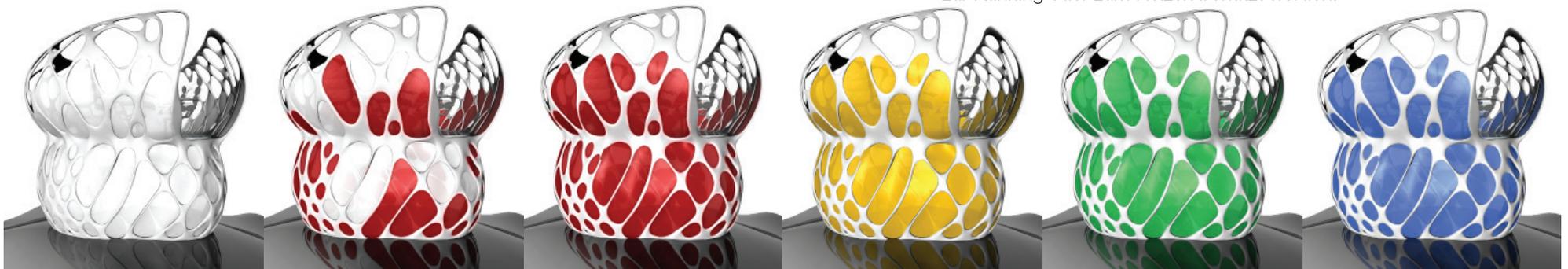
**Atmungsaktive Membranfolien Platilon M** Membranfolien besitzen eine geschlossene Polymerstruktur und weisen keinerlei Mikroporen auf. Durch die hydrophile Eigenschaft wird Feuchtigkeit von der Folie aufgenommen, Wasserdampfmoleküle durch die Folie transportiert und diese nach außen an die Umgebung mit niedrigeren Konditionen abgegeben.

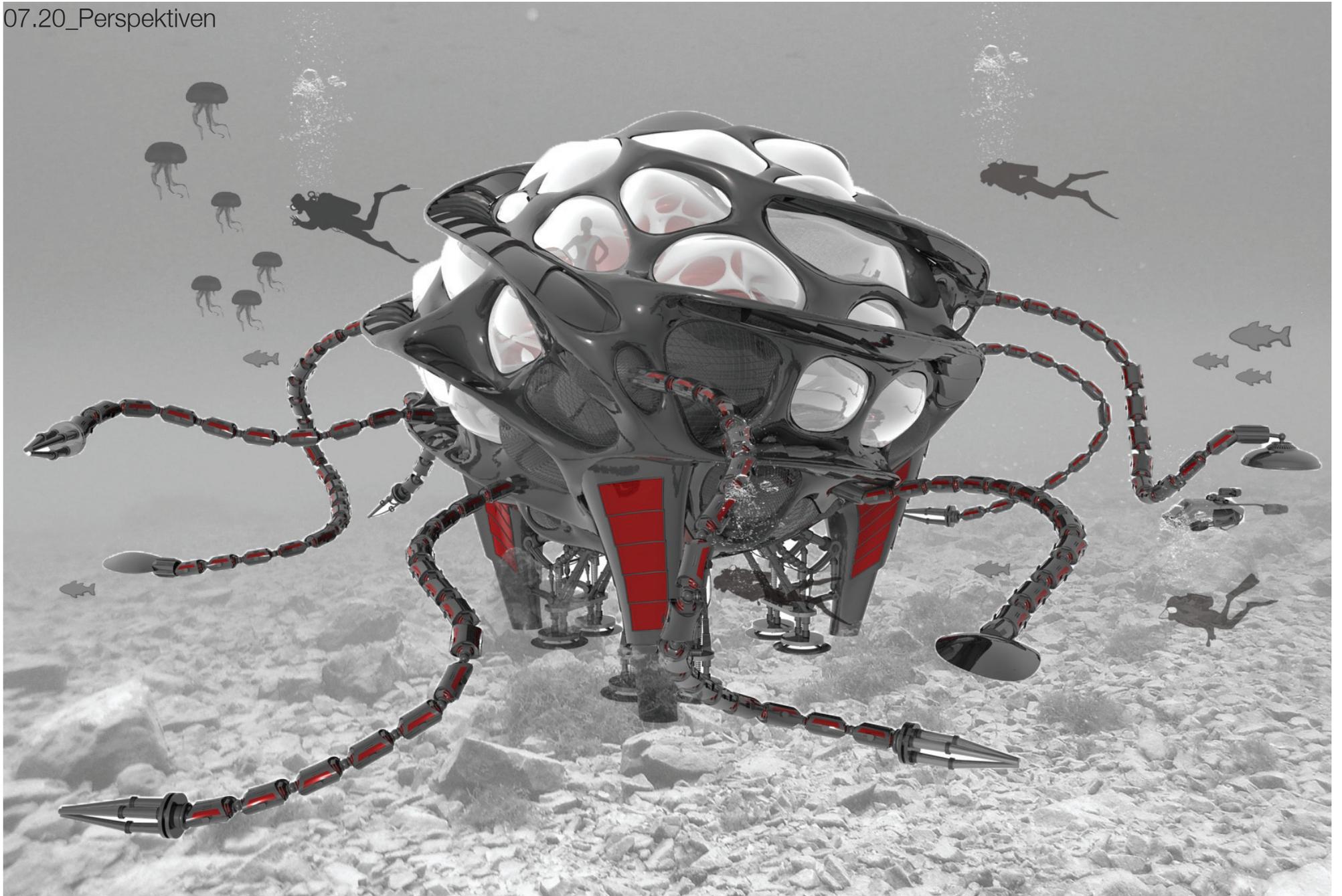
Weitere Eigenschaften sind die hohe chemische und mechanische Beständigkeit und die hohe Flexibilität und Elastizität (bis -40°C). Der Innenraum ist mit diesem Material bekleidet.



Die **Bioneramische** Struktur in der Mitte ist ein natürlicher Wärmetauscher, zusätzlich kann durch kleine Kanäle im Inneren Wasser zur Kühlung oder zum Heizen benutzt werden.

**Leuchtfolien** die Panele können angesteuert werden und so Ihre Farbe verändern , je nach Bedarf.







## 08\_Bibliografie

### Literatur

Gierschner, Norbert

Wege in die Tiefe. Aus der Geschichte des Tauchens  
Zeittafeln  
Berlin 2004

Jung, Michael

Das Handbuch zur Tauchgeschichte  
Naglschmid  
Stuttgart 1999

Amanda Bowens

Underwater archaeology - the NAS guide to principles  
and practice.  
Malden 2009

George F. Bass

Beneath the seven seas - adventures with the Institute  
of Nautical Archaeology.  
Thames&Hudson  
London 2005

Gabriele Hoffmann

Schätze unter Wasser.  
Europa Verlag  
Hamburg 2001

Gilliam, Bret/Crea, John/von Maier, Robert

Tieftauchen  
blue point Verlag  
München 1988

Krech/Crutchfield

Grundlagen der Psychologie  
Bechtermünz Verlag  
Augsburg 1997

Zimbardo, Philip G.

Psychologie  
Springer-Verlag  
Berlin/Heidelberg 1992

Nachtigall, Werner

Bau-Bionik: Natur, Analogien, Technik  
Springer-Verlag  
Berlin 2004

Peter C. Wainwright / Stephen M. Reilly

Ecological Morphology: Integrative Organismal Biology  
Univ of Chicago  
1994

Ulrich Gabler

Submarine Design. Entwurf, Konstruktion und Bau  
von Unterseebooten.  
Bernard & Graefe  
1999

Ruth Slavid

Extreme Architecture: Bulding for Challenging Envi-  
ronments: Building for Challenging Environments  
Laurence King Publishers  
2009

Charles D. Brown

Elements of Spacecraft Design  
American Institute of Aeronautics and Astronautics  
2003

Thomas Heeger

Quallen – Gefährliche Schönheiten  
S. Hirzel Verlag  
Stuttgart 1998

Div. Autoren

Bionik – Patente der Natur  
PRO FUTURA Verlag  
München 1991

Lars Spuybroek

The Architecture of Variation  
Thames & Hudson  
London 2009

Felix Flesche, Christian Burchard

Water House  
Prestel Verlag  
München 2004

Helmut Pottmann, Andreas Asperl, Michael Hofer,

Axel Kilian  
Architectural Geometry  
Bentley Institute Press  
2007

Sophia Vyzoviti

Folding Architecture  
BIS Publisher  
2004

Michael Hensel, Achim Menges, Michael Weinstock

Techniques and Technologies in Morphogenetic  
Design  
Wiley-Academy  
2006

Gregor Rehder, Holger von Neuhoff, Stephanie von

Neuhoff  
Expedition Tiefsee  
Franckh-Kosmos Verlag  
Stuttgart 2006

Richard Horden

Micro Architecture  
Thames & Hudson  
London 2009

Michael Hensel, Achim Menges, Michael Weinstock  
Emergence: Morphogenetic Design Strategies  
Wiley-Academy  
2004

Mike Silver  
Programming Cultures  
Wiley-Academy  
2006

Kurt G. Blüchel  
Bionik – Wie wir die geheimen Baupläne der Natur  
nutzen können  
C.Bertelsmann Verlag  
2005

Paolo Tumminelli  
Boat Design  
teNeues Verlag  
2005

Matilda McQuaid  
Extreme Textiles  
Thames & Hudson  
2005

Lars Spuybroek  
NOX Bauten und Projekte  
DVA  
München 2004

Matila Ghyka  
The Geometry of Art and Life  
Dover Publication  
New York 1977

Ernst Haeckel  
Kunstformen aus dem Meer  
Prestel Verlag  
Berlin 1862

Ernst Haeckel  
Kunstformen der Natur  
Marix Verlag  
Wiesbaden 2004

France Bourély  
Unsichtbare Welten  
Gerstenberg Verlag  
Hildesheim 2002

Claire Nouvian  
The Deep – Leben in der Tiefsee  
Knesebeck Verlag  
München 2006

Richard Jones  
Nanowelten – Die fabelhafte Welt des Mikrokosmos  
Frederking & Thaler  
München 2009

György Doczi  
Die Kraft der Grenzen  
Dianus-Trikont Verlag  
München 1987

### **Zeitschriften**

Robert D. Ballard  
Abenteuer Ozean. Unterwasserexpeditionen lüften die  
letzten Geheimnisse der Weltmeere.  
-National Geographic.  
Hamburg 2001.

Div. Autoren  
Formfindungen  
ARCH+ Verlag  
2002

Div. Autoren  
Structural Ecologies  
AADCU Publication  
2008

## Internetlinks

### Bionik:

<http://www.biokon.net/>  
[http://www.brown.edu/Departments/EEB/brainerd\\_lab/publications.php?Beth=Brainerd](http://www.brown.edu/Departments/EEB/brainerd_lab/publications.php?Beth=Brainerd)  
<http://www.hansthiele.de/galerie/sonst/w-spinne.htm>  
<http://www.bionik-zentrum.de>  
<http://www.evologics.de/en/products/glider/index.html>  
[www.festo.com](http://www.festo.com)

### Lebewesen unter Wasser

#### Quallen:

<http://www.siphonophores.org/>  
<http://jellieszone.com/>  
<http://www.ebel-k.de/html/schwimmtiere.html>

#### Pufferfish:

<http://www.starfish.ch/Korallenriff/Physiologie.html>  
<http://www.kugelfischwelt.de/der-kugelfisch/die-schwimmweise-der-kugelfische.html>  
<http://www.fishbase.org/search.php>  
[http://www.gma.org/fogm/Sphaeroides\\_maculatus.htm](http://www.gma.org/fogm/Sphaeroides_maculatus.htm)  
[http://www.brown.edu/Departments/EEB/brainerd\\_lab/pdf/Brainerd-1994-jmorph.pdf](http://www.brown.edu/Departments/EEB/brainerd_lab/pdf/Brainerd-1994-jmorph.pdf)  
<http://www.kugelfischwelt.de/literatur/wissenschaftliche-fachzeitschriften.html>  
[census of marine life:  
http://www.coml.org/](http://www.coml.org/)

#### Riffe:

<http://www.artificialreef.com/>

### Unterwasserfahrzeuge/stationen:

[http://www.geekologie.com/2008/07/dolphin\\_submarineboat\\_thing\\_co.php](http://www.geekologie.com/2008/07/dolphin_submarineboat_thing_co.php)  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Alvin\\_%28DSV-2%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Alvin_%28DSV-2%29)  
<http://www.planeterde.de/geotechnologien/aus-der->

[praxis/an-der-langen-leine/  
http://www.geekologie.com/2009/09/chinese\\_farm-er\\_builds\\_himself.php](http://www.geekologie.com/2009/09/chinese_farm-er_builds_himself.php)  
<http://www.hydropolis.com/>  
<http://www.g-o.de/dossier-detail-287-8.html>  
<http://webcoist.com/2010/08/30/underwater-cities-12-sci-fi-visions-real-design-ideas/>  
[http://www.ifremer.fr/flotte/systemes\\_sm/engins/nautile/nautile.htm](http://www.ifremer.fr/flotte/systemes_sm/engins/nautile/nautile.htm)  
[http://www.geekologie.com/2009/05/not\\_a\\_plane\\_winged\\_submarine\\_i.php](http://www.geekologie.com/2009/05/not_a_plane_winged_submarine_i.php)  
<http://www.seabreacher.com>  
[http://www.geekologie.com/2009/10/yeah\\_but\\_can\\_it\\_fly\\_amphibious.php](http://www.geekologie.com/2009/10/yeah_but_can_it_fly_amphibious.php)  
<http://www.datensklaven.de/?p=2443>  
<http://thebuilderblog.wordpress.com/page/2/>  
<http://www.bali.name/idee.htm>  
<http://www.untertage-kalender.de/freshnews.html>  
<http://www.sub-find.com/trilobis65.htm>  
<http://www.seabase1.org/>  
<http://www.rinspeed.de/pages/cars/squba/prd-squba-fotos.htm>  
<http://www.deepflight.com>  
<http://www.tuvie.com/search/future+submarine+design>  
<http://www.rqriley.com/aquasub.html>  
<http://www.cnn.com/2010/TECH/innovation/07/01/concept.yacht.designs/index.html>  
<http://www.sea-space.de>

#### Utopien:

<http://www.paleofuture.com/blog/2007/4/9/under-sea-cities-1954.html>

#### Jaques Rougerie:

<http://www.geo.de/GEO/technik/50212.html>  
<http://www.rougerie.com/>  
<http://www.seaorbiter.com/accueil>

#### Schiffe:

<http://www.schiffspotter.de/Dokumente/Forschun->

[gsschiffe/Forschungsschiffe.htm](http://www.gsschiffe/Forschungsschiffe.htm)  
<http://www.swath.com/concept.htm>  
[http://www.wsv.de/wsa-ko/archiv/abgeschlossene\\_massnahmen/taucherglockenschiff\\_carl\\_straat/index.html](http://www.wsv.de/wsa-ko/archiv/abgeschlossene_massnahmen/taucherglockenschiff_carl_straat/index.html)

#### Hoberman:

<http://www.freepatentsonline.com/6834465.html>  
<http://www.hoberman.com>

#### Physikalisches:

[http://www.unimeter.net/interim/2\\_DichteFL\\_A.htm](http://www.unimeter.net/interim/2_DichteFL_A.htm)  
<http://www.physik.uni-wuerzburg.de/video2/alpha/FluidDynamik/>  
<http://www.tu-chemnitz.de/mb/StroemMech/>  
<http://www.kbismarck.com/u-boot/uphysik-grundlagen.htm>  
<http://www.tauchbuch.com/physikalisches.html>

#### Allgemein:

<http://www.wikipedia.org/>

#### Meeresforschung:

<http://www.awi.de/de/>  
<http://mar.hs-bremerhaven.de/index.php?cat=22>  
---Labors für Maritime Technologien  
<http://www.uni-konstanz.de/sfb454/>  
<http://www.unterwasserarchaeologie.de/>  
<http://www.hydra-institute.com>  
<http://eu.oceana.org>

#### Arbeiten:

<http://www.aquaworker.de/>  
<http://www.supsalv.org/nedu/library.htm>

#### Unterwassergeräte (beobachtung):

<http://www.unterwassertechnik-kordian.de>

#### Bohrinseln:

<http://www.vmtubes.com/jsp/epctrl.jsp?con=vmtube000963&cat=vmtubes000181&mod=vmtubes00006>

1&pri=vmtubes

Unterwasserarchäologie:

<http://www.ecomuseodecavalleria.com/en/>

Geschichte:

[http://www.modell-u-boote.de/originale/museum\\_rns/museum.html](http://www.modell-u-boote.de/originale/museum_rns/museum.html)

<http://www.oseh.umich.edu/articles/history.pdf>

<http://www.gierschner.de/>

<http://www.deutsches-museum.de/sammlungen/ausgewaehlte-objekte/meisterwerke-iii/tauchboot/>

<http://www.200bar.de/technik/tauchgeschichte.php>

Meer allg.:

<http://www.mare.de/>

<http://www.ozeane.de/>

<http://www.lighthouse-foundation.org/>

<http://www.aldebaran.org/html/index.html>

<http://www.underwater-festival.com>

<http://www.noaa.gov/>

<http://www.underwaterpromotion.com/>

<http://www.oceantechnology.org/>

<http://www.awi.de/de/>

<http://www.neptunecanada.ca/>

<http://seasteading.org/>

Navy:

<http://www.onr.navy.mil/>

<http://www.nurc.nato.int/>

Hubschrauber:

[http://www.german-helicopter.com/statdispl/type\\_report/sd\\_mi26.html](http://www.german-helicopter.com/statdispl/type_report/sd_mi26.html)

Existierende Unterwasserstationen:

<http://aquarius.uncw.edu/>

<http://oceanexplorer.noaa.gov/technology/diving/aquarius/aquarius.html>

Energie Unterwasser:

<http://webecoist.com/2008/11/09/hydroelectric-wave-tidal-power/>

[http://wirtschaft.t-online.de/gezeitenkraftwerk-irischer-versorger-nutzt-kraft-des-mondes/id\\_14683690/index](http://wirtschaft.t-online.de/gezeitenkraftwerk-irischer-versorger-nutzt-kraft-des-mondes/id_14683690/index)

Leben unter Wasser:

[http://www.underwasserwelt.de/html/unterwasserstationen\\_-\\_leben\\_u.html](http://www.underwasserwelt.de/html/unterwasserstationen_-_leben_u.html)

[http://architect.com/features/article.php?id=77867\\_0\\_23\\_0\\_C](http://architect.com/features/article.php?id=77867_0_23_0_C)

[http://www.scubaportal.net/diving/index.php?option=com\\_content&task=view&id=262&Itemid=1](http://www.scubaportal.net/diving/index.php?option=com_content&task=view&id=262&Itemid=1)

[http://www.scubaportal.net/diving/index.php?option=com\\_content&task=view&id=262&Itemid=1](http://www.scubaportal.net/diving/index.php?option=com_content&task=view&id=262&Itemid=1)

Unterwasser allg.:

<http://thefortuno.com/underwater-river-in-mexico/>

Anderes:

<http://spacecollective.org/>

Lokalisierung:

<http://www.seamarshall.com/>

Psychologie:

[http://www.taucher.net/redaktion/53/Diversers\\_Inside\\_-\\_Part\\_3\\_Angst\\_und\\_Stress\\_-\\_der\\_Fluch\\_des-Tauchens\\_\\_11.html](http://www.taucher.net/redaktion/53/Diversers_Inside_-_Part_3_Angst_und_Stress_-_der_Fluch_des-Tauchens__11.html)

Medizinisches:

[http://vmrz0100.vm.ruhr-uni-bochum.de/spomedial/content/e866/e2442/e10003/e10010/e10132/e10194/index\\_ger.html](http://vmrz0100.vm.ruhr-uni-bochum.de/spomedial/content/e866/e2442/e10003/e10010/e10132/e10194/index_ger.html)

Space:

<http://www.jpl.nasa.gov/>

[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/NEEMO/\(neemo program\)](http://www.nasa.gov/mission_pages/NEEMO/(neemo program))

<http://quest.nasa.gov/projects/space/aquarius/2003/june.html>

<http://www.nasa.gov/>

Skylifter:

<http://skylifter.com.au/>



