

Diplomarbeit Industrial Design
zur Erreichung des akademischen Grades Mag. art.

Manfred Fitsch

Thema
Tauchermaske für professionelle und
sportliche Anwendung

Universität für künstlerische und
industrielle Gestaltung Linz

Betreuung
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Axel Thallemer

Linz, 2005

Inhaltsangabe

1. Einleitung
2. Geschichtliche Entwicklung des Tauchens
 - 2.1 Apnoe-Tauchen
 - 2.2 Oberflächenversorgtes Tauchen
 - 2.2.1 Tauchglocke
 - 2.2.2 Tauchertonne
 - 2.2.3 Taucherhelme
 - 2.2.4 Sättigungstauchen
 - 2.3 Atmosphärisches Tauchen
 - 2.3.1 Unterwasserboot
 - 2.3.2 Tauchkugeln
 - 2.3.3 Panzertauchanzüge
 - 2.3.4 ROV - Remotely Operated Vehicles
 - 2.4 Autonomes Tauchen
 - 2.4.1 Kreislaufgeräte
 - 2.4.2 Atemregler
3. Marktanalyse – Tauchermasken
 - 3.1 Schwimmbrillen
 - 3.2 Taucherhalbmasken
 - 3.2.1 Einglasmasken
 - 3.2.2 Zweiglasmasken
 - 3.2.3 Drei-, Vier-, Sechsglasmasken
 - 3.3 Vollgesichtsmasken
 - 3.3.1 Vollgesichtsmasken mit gemeinsamen Innenraum
 - 3.3.2 Gemeinsamer Innenraum von Mund + Nase, separater Raum für Augen
 - 3.3.3 Gemeinsamer Innenraum von Augen + Nase, separater Raum für Mund
 - 3.4 Taucherhelme
4. Mensch im Medium Wasser
 - 4.1 Mensch und Wasser
 - 4.2 Sehen unter Wasser
 - 4.3 Hören unter Wasser
 - 4.4 Wärmeverlust unter Wasser
 - 4.5 Erhöhter Druck unter Wasser
 - 4.6 Atmen unter Wasser
5. Zielgruppe
6. Produktanforderungen
7. Konzept
 - 7.1 Erweiterbares System
 - 7.1.1 Systemkern Vollgesichtsmaske
 - 7.1.2 Systemerweiterung Kommunikationseinheit
 - 7.1.3 Systemerweiterung Datenvisier
 - 7.2 Einsatzfelder der Systemkomponenten
 - 7.3 Konzeptrelevante Ausrüstung
 - 7.3.1 Kreislaufgeräte
 - 7.3.2 Bailout-Systeme
 - 7.4 Ergonomie
 - 7.4.1 Kopf und Schädel
 - 7.4.2 Gesichts- und Blickfeld
 - 7.4.3 Dichtlinien der Tauchermaske am Kopf
 - 7.4.4 Kopfgrößenvergleich
 - 7.5 Gestalterischer Ansatz
 - 7.5.1 Maskenphänomen
 - 7.5.2 Vollgesichtsmaske – neue Ästhetik
 - 7.5.3 Kommunikationseinheit
 - 7.5.4 Datenvisier

7.6 Skizzen und Entwürfe

7.7 Technologien

7.7.1 Tauchcomputer

7.7.2 OLED-Display

7.7.3 Akustisches Tracking

7.7.4 Datenübertragung unter Wasser

7.7.5 Mikrodisplay

7.7.6 Stereophonie

8. Produktbeschreibung

8.1 Vollgesichtsmaske

8.2 Kommunikationseinheit

8.3 Datenvisier

9. Produktfotos

10. Fußnoten

11. Abbildungsverzeichnis

12. Quellenverzeichnis

1. Einleitung

Schon immer hat mich das Thema Tauchen fasziniert. Das Gefühl der Schwerelosigkeit, das Schweben in einem anderen Medium und die Stille – all dies sind und waren Gründe, mich genauer mit dieser Materie zu beschäftigen. Durch meine Bekanntschaft mit Rettungstauchern konnte ich Einblicke in die Problematik bei Taucheinsätzen gewinnen und somit einen anderen Aspekt des Tauchens kennen lernen. Dies veranlasste mich im Rahmen meiner Diplomarbeit über neue Konzepte und Gestaltungsansätze nachzudenken.

Für die Gestaltung einer Vollgesichtsmaske für den professionellen und sportlichen Einsatz habe ich zuerst eine ausführliche Recherche durchgeführt.

Vor allem die Kapitel 2, 3 und 4 zeigen die Ergebnisse meiner Recherche. Dabei werden im Kapitel 2 interessante Bereiche der geschichtlichen Entwicklung des Tauchens behandelt, die nicht unmittelbar für das Projekt von Bedeutung sind. Sie sollen jedoch einen Gesamtüberblick bieten und vor allem als Zusatzinformationen dienen.

Das Kapitel 3 liefert ebenfalls einen Überblick über die am Markt befindlichen Tauchermasken und deren verschiedenen Bauformen. Hier werden die unterschiedlichen Maskentypen und deren Einsatzfelder näher erläutert. Die in diesem Kapitel angeführten Bilder sind nicht im Abbildungsverzeichnis inkludiert, da diese über Produktname und Hersteller ausreichend belegt sind.

Die physikalischen und physiologischen Einflussfaktoren sind in Kapitel 4 zusammengefasst. Sie sind Voraussetzung, um überhaupt einen neuen Gestaltungsansatz erarbeiten und erfassen zu können.

Auf die Zielgruppe wird ab Kapitel 5 genauer eingegangen. Es werden die verschiedenen Bereiche des professionellen und sportlichen Tauchens erläutert und einander gegenübergestellt. Im Kapitel 6 sind die Anforderungen an das zu gestaltende Produkt beschrieben.

Das Kapitel 7 umfasst den konzeptionellen und gestalterischen Teil des Projekts. Neben dem System und deren Einsatzfelder werden die relevanten Ausrüstungen sowie die ergonomisch wichtigen Maße aufgezeigt. Der Abschnitt „Gestalterischer Ansatz“ beschreibt die formale Entwicklung und die daraus begründete Umsetzung im Modell. Mit den für das Produkt erforderlichen Technologien schließt dieses Kapitel ab.

Zusammenfassend wird im Kapitel 8 auf die Funktion, Herstellung und die verwendbaren Materialien eingegangen. Das Kapitel 9 beinhaltet die Produktfotos.

2. Geschichtliche Entwicklung des Tauchens

Der Wunsch die Meere zu erforschen hat vier verschiedene Methoden des Tauchens hervorgebracht, wobei das Tauchgerät wie wir es heute kennen und nutzen, die späteste Entwicklung darstellt.

Um sich einen Überblick über die Geschichte des Tauchens zu verschaffen, möchte ich die geschichtliche Entwicklung des Tauchens anhand folgender vier verschiedenen Tauchmethoden erläutern.

2.1 Apnoe Tauchen

Tauchen durch Luft anhalten

Das Wort „Apnoe“ stammt aus dem Altgriechischen und bedeutet „ohne Atem“. Obwohl sich der Mensch gut an ein Leben an Land angepasst hat, haben Menschen bereits seit Jahrtausenden versucht durch Luft anhalten die Unterwasserwelt zu erkunden und zu erforschen. Anfangs zur Nahrungsbeschaffung durch Fischfang, später aber auch zum Perlenfischen und sammeln von Muscheln. Die Völker an den Meeren benutzten schon früh Seemuscheln als Geld und Schmuck.

Den Beweis haben Archäologen anhand von Muschelresten im früheren Mesopotamien gefunden, die aus der Zeit vor ungefähr 4.500 v. Chr. stammen. Aufgrund der Beschaffenheit und der Lebensbedingungen dieser Muscheln fanden Zoologen heraus, dass diese Muscheln nicht in unmittelbarer Strandnähe gelebt haben, sondern dass diese erst vom Meeresgrund heraufgetaucht werden mussten.

In der Antike war das Tauchen „nicht Sport, sondern Brauchkunst, die beim Austern-, Algen-, Korallen-, Perlen-, Schwammtauchen, bei Schiffsunfällen und im Kriege mannigfache Anwendung fand“.¹

Sogar Aristoteles (384-322 v. Chr.) berichtet von Schwammtauchern in der

Antike.² Der Schwammtaucher wird an einem um die Leibesmitte geschlungenen Strick vom Schiff herabgelassen. Er hält in der linken Hand eine geschliffene Sichel zum Abschneiden der Schwämme. Im Mund hat er Öl, das er aus dem Mund lässt, um damit die Wogen zu glätten und sich dadurch besseres Licht für die Arbeit zu verschaffen.³

Während der Belagerung der phönikischen Inselstadt Tyros im Jahr 332 vor Christus durch Alexander den Großen, schickten die Belagerten Kampftaucher aus, um die Ankertaue der makedonischen Flotte zu durchschneiden.⁴ „Tyrische Taucherabteilungen waren ständig damit beschäftigt, Unterwasserhindernisse gegen die Belagerer aufzubauen, und die makedonischen Taucherabteilungen hatten alle Hände voll zu tun, sie wieder zu beseitigen.“⁵

In seinem Buch „Unterwasserwelt“ bespricht Hermann Heberlein die ersten Hinweise auf das Tauchen in Deutschland. Diese liefert eine Handschrift aus dem 15. Jahrhundert. Diese Handschrift stammt aus dem Kloster Rheinau und befindet sich in der Zentralbibliothek in Zürich. Auf großen, kolorierten Zeichnungen auf Pergament sind Menschen mit Tauchstiefeln zu sehen, die einen



Abb. 1 "Menschen mit Tauchstiefeln"

Bach oder einen Fluss durchqueren (siehe Abb. 1). Allerdings ist nicht geklärt, ob es sich hierbei um ein Tauchen für friedliche oder kriegerische Zwecke handelt. Ebenso wenig kann erkannt werden, ob es sich bei den Stiefeln um Vorgänger der heutigen Flossen handelt.⁶

„Berühmt geworden sind japanische Perltaucherinnen, die aus Tiefen von 20 bis 30 m die Perlmuscheln heraufholen und mit dem Erlös (noch bis heute) den Lebensunterhalt der Familie sichern.“⁷

Diese früheste Form des Tauchens wird auch heute noch als Sport und zu kommerziellen Zwecken betrieben. Diese Tauchgänge werden limitiert durch die persönliche Atemanhaltefähigkeit und durch das Risiko des Ertrinkens wegen Hypoxie.⁸ Normalerweise liegen die Zeiten bei einer Minute oder weniger.

In der heutigen Sportart „Freitauchen“ dauert ein Tauchgang bis zu 8 Minuten und das nur mit Hilfe eines einzigen Atemzuges. Beim Freitauchen gibt es Wettbewerbe in verschiedenen Disziplinen. Die klassische Disziplin, die wohl auch das höchste Ansehen genießt, ist das Tauchen mit "konstantem Gewicht". Hierbei schwimmt der Taucher an einem Seil entlang in die Tiefe. Als einziges Hilfsmittel sind Flossen zugelassen, Gewichte kommen nicht zum Einsatz. In dieser Wettkampfklasse wurde im Süßwasser bereits eine Tauchtiefe von 66 Metern erreicht.

"No Limit" ist die Disziplin, in der am häufigsten Rekordversuche unternommen werden und die man wohl in erster Linie mit dem Film "The Big Blue - Im Rausch der Tiefe" verbindet. Hier rast der Taucher mit einem Schlitten in die Tiefe und kommt mit Hilfe eines Luftsacks, der sich automatisch mit Luft füllt, wieder an die Oberfläche. Hier wurden schon 150m und mehr erreicht.

Bei der Disziplin "variables Gewicht" taucht man ebenfalls mit Hilfe eines

Schlittens in die Tiefe, wobei dieser jedoch nur ein Drittel des eigenen Körpergewichts und nie mehr als 30 Kilogramm wiegen darf. An die Oberfläche muss der Taucher mit eigener Kraft gelangen, meist mit Hilfe des Seiles, was auch zugelassen ist (siehe Abb. 2).



Abb. 2

2.2 Oberflächenversorgtes Tauchen

Tauchen mit Versorgung von Luft oder Gas von der Oberfläche

Wie sollte man länger unter Wasser bleiben können? Das Atmen durch ein hohles Schilfrohr erlaubte es nur ein kleines Stückchen abzutauchen, aber Röhrrchen von mehr als einem halben Meter Länge funktionieren nicht, da das Einatmen gegen den Wasserdruck ab dieser Tiefe nicht mehr möglich ist. Es wurde auch versucht, aus einem luftgefüllten Sack unter Wasser zu atmen. Dies scheiterte jedoch am Problem des erneuten Einatmens der verbrauchten Luft.

Solche Graphische Aufzeichnungen von Tauchern hat man in griechischen Gräbern gefunden. Sie werden auf ungefähr 2.500 Jahre alt geschätzt. Die Griechen benutzten Vorrichtungen aus Ziegenbälgen, in denen sie einen Vorrat an Atemluft mit in die Tiefe nahmen und so ihre Tauchzeit über ihr eigenes Lungenvolumen hinaus verlängern konnten (siehe Abb. 3).

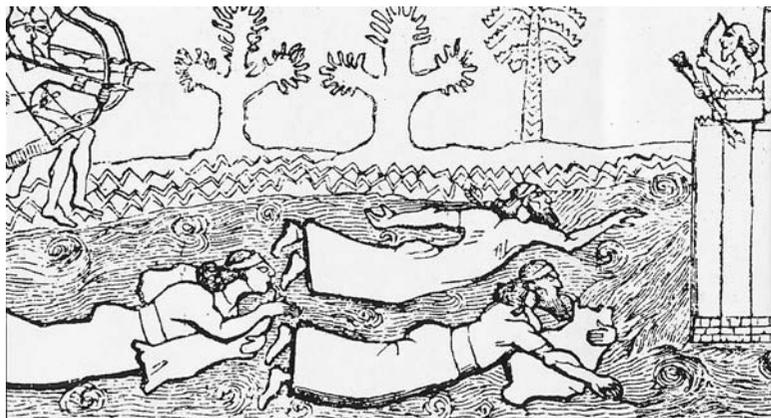


Abb. 3

Bereits in der antiken Literatur werden Taucher beschrieben, die sich eines Schlauchs zum Atmen bedienten. Solche Apparaturen, die den Taucher mit Luft versorgen und so einen längeren Tauchgang möglich machen, erwähnt Plinius der Ältere (24-79 n. Chr.). Er soll den Einsatz von Tauchern erwähnt haben, die mit einer Art Schnorchel unter Wasser bleiben konnten und beim Durchbrechen von Seeblockaden eingesetzt werden sollten.

Ca. um das Jahr 1430 verfasste ein ungenannter deutscher Kriegstechniker eine eigenartige und reichhaltige technische Bilderhandschrift, die in der Münchener Staatsbibliothek aufbewahrt wird.

"Es zeigt eine Taucherausrüstung und wir erkennen die untergeschnallten Bleischuhe, den wasserdichten Lederanzug, den Taucherhelm mit Glasfenstern und den ledernen Luftschlauch; die Schlauchmündung wird von zwei Korkkugeln über Wasser gehalten (siehe Abb. 4)."⁹



Abb. 4

2.2.1 Taucherglocke

Um tiefer zu tauchen und etwas länger in der Tiefe verweilen zu können, gab es eine einfache Lösung: die Taucherglocke. Wie für die technische Entwicklung bestimmter Gegenstände typisch, wurde auch sie viele Male verbessert und wird bis heute noch immer weiter perfektioniert.

Die Taucherglocke (frz. Cassion = Kasten) war wohl die erste effektive Methode, um längere Zeit unter Wasser bleiben zu können. Die Glocke wurde wenige Meter unter der Wasseroberfläche gehalten. Ihr Boden war offen und im oberen Teil befand sich die durch den Wasserdruck komprimierte Luft. Ein aufrecht stehender Taucher konnte also atmen. Ausserdem war es möglich, die Glocke für ein oder zwei Minuten zu verlassen, um Schwämme zu sammeln oder den Grund zu erforschen. Man kam dann solange immer wieder zur Taucherglocke zurück, bis die enthaltene Luft verbraucht war.

1535 unternahm Francesco de Marchi einen Versuch, mit Hilfe einer Tauchglocke zwei Schiffe zu untersuchen, die auf dem Grund des Nemi-Sees (südlich von Rom) lagen.¹⁰ „Das Tauchgerät bestand aus einer Holzglocke, die durch Metallreifen verstärkt war. Die Tauchglocke hing von einem Boot und bedeckte die obere Körperhälfte des Tauchers.“¹¹

Der durch die ersten, einfachen Tauchglocken ermöglichte Aufenthalt unter Wasser war für die Beteiligten noch nicht lang genug, um ihn genießen zu können. Das Tauchen war bis dahin ein äußerst gefährliches und oft auch tödlich verlaufendes Abenteuer. „Die Tauchglocke hatte unübersehbare Nachteile. Sie war schwer und unhandlich, ortsgebunden und ließ dem Taucher nur einen begrenzten Aktionsradius. Außerdem war die Luft in der Glocke schnell veratmet, und viele Taucher verloren dadurch das Bewußtsein und ertranken.“¹²

Eine der ersten brauchbaren Taucherglocken entwickelte 1691 der britische Astronom Edmund Halley (1656 – 1742) der auch der Entdecker der regelmäßigen Flugbahn des Halleyschen Kometen ist.

Es war eine Holzkammer ohne Boden, die oben mit Sichtscheiben ausgestattet war. Die Taucher in der Glocke erhielten Luft durch Lederschläuche, die mit Luftfässern verbunden waren. Diese wurden nach Bedarf ins Wasser abgesenkt. Mit dem Eindringen von Wasser in die Fässer wurde Luft durch die Schläuche in den oberen Teil der Taucherglocke gepresst. Unter Wasser stieg zwar der Wasserpegel in der Glocke, der Luftdruck sorgte jedoch für ein Luftloch, in dem man atmen konnte (siehe Abb. 5).

Da Halley die Dunkelheit und Enge störte, entwickelte er für die Taucher einen ledernen Helm mit Sichtfenster und genügend Luft für zwei Minuten. Der Helm war durch einen Schlauch mit der Taucherglocke verbunden. Auf diese Art war es den Tauchern möglich ihren Aktionsradius etwas zu erweitern.¹³

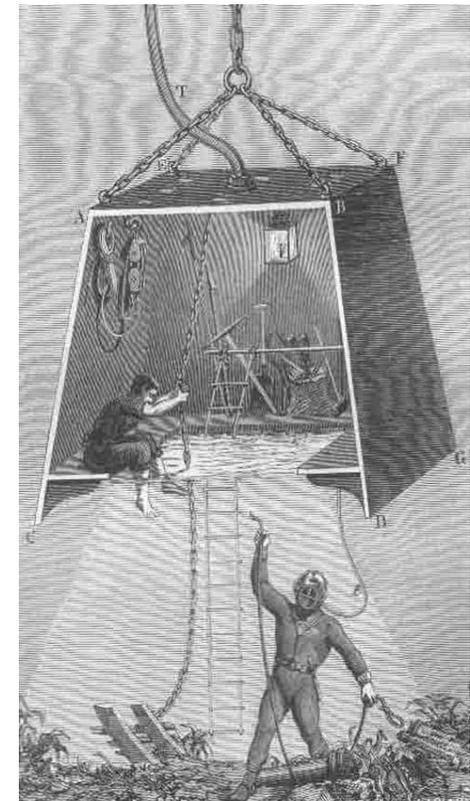


Abb. 5 "Taucherglocke von Halley"

2.2.2 Tauchertonne

Der Engländer John Lethbridge entwickelte 1715 ein Tauchgerät, welches auch als Tauchtonne, Tauchkammer oder Tauchmaschine (engl. diving engine) bekannt war. Lethbridge arbeitete damit im Auftrag der holländischen und englischen Indienkompanie, und förderte aus gesunkenen Schiffen großen Mengen Silber an die Oberfläche. Die Tauchkammer erhielt dadurch den Beinamen „Maschine zum Sammeln von Silber“.

In diesem Gerät - ein Zylinder aus Eichenholz, der von der Oberfläche mit Pressluft versorgt wird - konnte ein Taucher für 30 Minuten in 18m Tiefe bleiben und die Arme ausstrecken, um Unterwasserarbeiten durchzuführen. Dabei wurde eine Art Handschuh aus gefettetem Leder benutzt, um Wasser aus dem Zylinder fernzuhalten. Dieser "Tauchapparat" soll mehrere Jahre erfolgreich benutzt worden sein (siehe Abb. 6).

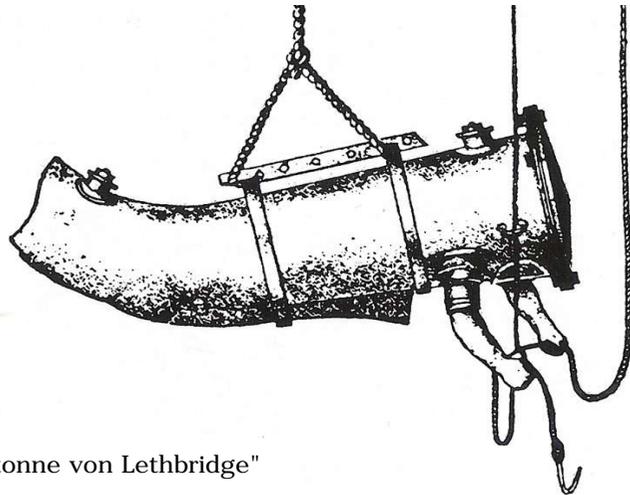


Abb. 6 "Tauchertonne von Lethbridge"

Erst 1790 erfolgte die naheliegendste Verbesserung der Tauchglocke. Der Amerikaner John Smeaton verfeinert das Prinzip der Taucherglocke. Er benutzt nun eine handbetriebene Pumpe, um Frischluft in die Glocke zu bringen. Ein Richtungsventil verhindert das Zurückströmen der Luft aus der Glocke durch den Schlauch, wenn man aufhört zu pumpen. 1790 wird Smeatons Glocke im Hafen von Ramsgate (England) bei Bergungsarbeiten benutzt. 10 Jahre später findet man diese Technik in allen großen Häfen.

2.2.3 Taucherhelme

Der deutsche Werkzeugmacher Augustus Siebe erfand 1819 eines der ersten "modernen" Tauchgeräte. Seine Erfindung basierte auf dem Prinzip der Taucherglocke und bestand aus einer Lederjacke, die mit einem Metallhelm verbunden war, in den von der Oberfläche aus durch einen Schlauch Luft gepumpt wurde. Der Helm war zwar nicht wasserdicht, durch den Luftdruck blieb das Wasser aber stets unterhalb des Kinns des Tauchers (siehe Abb. 7). Die ersten Tauchhelm Modelle waren deshalb unten offen.



Abb. 7 "Taucherhelm von Siebe"

Schließlich verbessert er seinen Tauchapparat und verbindet den Taucherhelm wasserdicht mit einem luftgefüllten Gummianzug. Blei-Schuhsolen sorgen für sicheren Stand auf dem Meeresgrund. Dieser geschlossene Tauchanzug ist mit einer Pumpe an der Wasseroberfläche verbunden. Die Erfindung des Helmtauchanzugs mit schweren Schuhen sollte fortan über ein Jahrhundert lang die Ausrüstung der Taucher werden.

Sein patentierter „Standard Diving Apparatus“ wird ein großer Erfolg und verkauft sich weltweit (siehe Abb. 8). Es ist der erste wirklich effektive Standardanzug und jener Prototyp der noch heute eingesetzten Helmtauchgeräte. In seinem Nachruf wird Siebe als der Urvater des Tauchens bezeichnet.

Gegenüber der Tauchglocke hatte der Helmtaucher viele Vorteile: er war nicht an ein großes Schiff mit Kränen gebunden, wie es für die Tauchglocke notwendig war, und er konnte schnell mit kleinen Booten zum Einsatzort gebracht werden. Das Helmtauchen brachte aber auch Einblicke in die bisher nicht so augenfälligen physikalischen Gesetze, deren Unkenntnis zu zahlreichen Unfällen technischer, toxischer und physiologischer Art führte.



Abb. 8 "Standard Diving Apparatus"

Der heutige geschlossene und luftdichte Tauchanzug besteht aus gummiertem Kunststoff. Die Frischluftversorgung befindet sich getrennt vom Taucher an der Oberfläche. Luft wird über eine lange Nabelschnur geliefert, die in ihrer einfachsten Form in einem Mundstück beim Taucher endet. Bei besseren Systemen führt der Schlauch in den Tauchanzug. Durch Ventile am Helm kann der Taucher den Luftdruck im Anzug regulieren und so den Auftrieb bestimmen. Zur Zusatzausrüstung gehören Schuhe mit Gewichten, die den Taucher senkrecht halten, und Bleiplatten am Oberkörper zur Erhöhung des Gewichts. Ein Seil mit Telefondrähten verbindet den Taucher mit der Wasseroberfläche.

Eine andere Möglichkeit bietet heute die Versorgung mit Oberflächenluft in größere Räume, in denen sich das Personal aufhält. Geräte dieser Art sind z.B. sogenannte Senkkästen (werden bei Brücken- oder Tunnelarbeiten eingesetzt), Unterwasserstationen, Tauchglocken und Helmtauchgeräte.

Bei all diesen Geräten atmet der Taucher Luft unter einem Druck, der dem Umgebungsdruck des Wassers entspricht. Dadurch sind hier bei einem zu schnellen Aufstieg Probleme mit der Dekompression (Bends, Luftembolie u.s.w.) möglich. Besondere Hightech - Gasmischungen wie Wasserstoff-Stickstoff, Helium-Sauerstoff (Heliox) und Helium-Stickstoff-Sauerstoff (Trimix) werden dabei benutzt um tiefer tauchen zu können als mit Pressluft.

2.2.4 Sättigungstauchen

Eine besondere Form des Tauchens ist das Sättigungstauchen, es wird ausschließlich im kommerziellen Bereich angewendet. Die Taucher sind dabei durch die flexiblen Tauchanzüge dem Umgebungsdruck ausgesetzt. Blut und Gewebe sättigen sich nach dem Gasgesetz von Henry¹⁴ entsprechend dem Umgebungsdruck, mit den in der Lunge vorhandenen Gasen.

Nach Ablauf einer gewissen Zeit unter erhöhtem Druck, ist der Organismus nicht mehr in der Lage noch mehr Gase in die verschiedenen Gewebe einzulagern. Ab dieser Zeit sind die erforderlichen Dekompressionszeiten für den Taucher konstant.

In der Off-Shore-Industrie (Öl- /Gasförderung etc.) führen Taucher daher oft mehrwöchige „Tauchgänge“ durch. Die Ruhezeiten zwischen ihren Einsätzen im Meer verbringen die Taucher dabei in Druckkammern auf einer Bohrplattform oder an Bord eines Schiffes. Zum Arbeiten werden sie in einer kleinen Druckkammer (engl. Bell) wie mit einem Fahrstuhl, bis zu ihrer Arbeitstiefe gebracht.¹⁵

Als besonders wirtschaftlich erwies sich der Einsatz von Sättigungstauchern in Unterwasserhäusern, wenn diese Schweißarbeiten an Pipelines in großen Tiefen ausführten (siehe Abb. 9). Dabei wurden Aufenthalte bis zu einer Tiefe von 610 Meter möglich. „Nur der wirtschaftliche Aspekt war es, der diesen Wettbewerb nach großen Tiefen stoppte. Der Erdölabbau im Meer, was Bohrungen und Transport durch Pipelines anbetraf, erforderte in naher Zukunft keine größeren Tauchtiefen.“¹⁶

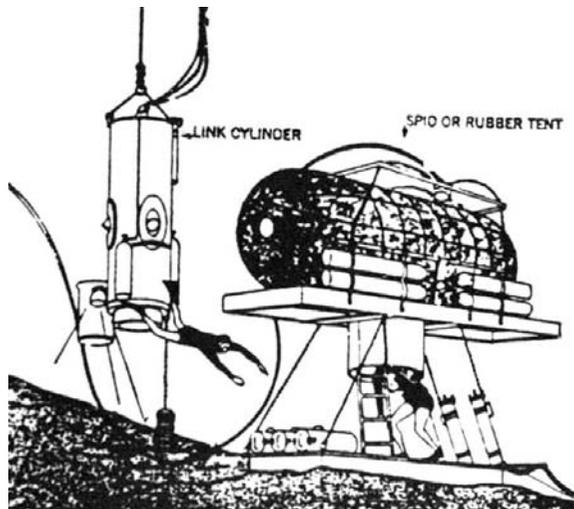


Abb. 9 "Unterwasserhaus"

2.3 Atmosphärisches Tauchen

Tauchen in Druckkammern unter atmosphärischem Druck

Bereits im 15. Jahrhundert schwebte in den Köpfen der Erfinder in einem geschlossenen Unterseeboot in die Tiefen der Meere hinabzusteigen. Die Verwirklichung dieser Ideen ließ folgende Arten von Konstruktionen entstehen.

2.3.1 Unterwasserboot

Allgemein zählen zu den U-Booten alle im Betrieb unabhängigen Tauchfahrzeuge, die mit Handantrieb, Verbrennungskraftmaschinen, Elektromotoren oder Atomkraft ausgerüstet sind. Diese U-Boote können mehrere Tage unter Wasser bleiben und sind meist unabhängig von der Kontrolle und Versorgung von der Oberfläche. Auch können sie ihre Position selbständig und ohne äußere Hilfe verändern. Die meisten U-Boote sind militärische Tauchfahrzeuge.

Die U-Bootentwicklung reicht vom ersten Entwurf des Venezianer Robert Valtino im Jahre 1472, der ein hölzernes, zigarrenförmiges Tauchboot mit Handantrieb zeigt, über die ersten U-Boote mit Dampfantrieb zwischen 1850 und 1900 und den U-Booten mit diesel-elektrischem Antrieb ab 1902, bis hin zu den U-Booten mit Kernenergieantrieb, der das erste Mal im Jahre 1955 in der USS Nautilus (siehe Abb. 10) eingesetzt wurde.

Diese sog. Atom-U-Boote können wochen- und monatelang unter Wasser operieren. Sie waren mit ihrer starken Bewaffnung auf amerikanischer sowie sowjetischer Seite eine wirksame Abschreckungswaffe in der Zeit des Kalten Krieges.



Abb. 10 "USS Nautilus"

Neben diesen, hauptsächlich für militärische Zwecke eingesetzten U-Booten, wurden später auch weitere Anwendungen für U-Boote erforderlich. Neben Fracht-Tauchbooten, Rettungstauchbooten und Forschungs-U-Booten (siehe Abb. 11) kommen auch Touristen-U-Boote zum Einsatz (siehe Abb. 12).

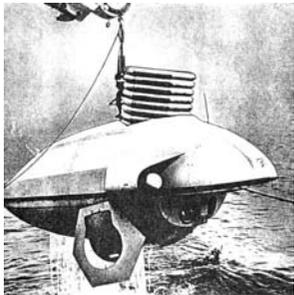


Abb. 11



Abb. 12 "Touristen U-Boot"

2.3.2 Tauchkugeln

Zwischen 1930 und 1934 unternahmen die beiden Amerikaner William Beebe und Otis Barton 35 Tieftauchunternehmen mit der Bathysphere (Tiefseekugel, siehe Abb. 13).

Die beiden entwickelten eine Bathysphere, die bis 1000 m Tiefe tauchen konnte. Die Bathysphere war eine Stahlkugel von 1,425 Meter Durchmesser. Sie war aus 31,75 Millimeter starken Stahlplatten zusammengesetzt und hatte drei Fenster aus optischem Quarzglas, von 20 cm Durchmesser und 7,5 cm Dicke. Vor einem der Fenster war eine Quarzkopflampe angebracht. Der Einstieg in die Tauchkugel war nur durch eine 35 cm große Öffnung möglich, die Luft wurde durch mitgeführten Sauerstoff aus Stahlflaschen erneuert. Das Kohlendioxid wurde von Natronkalk absorbiert und die Feuchtigkeit durch Chlorkalzium gebunden.¹⁷

Die 2,27 Tonnen schwere Kugel hing an einem drallfreien, 2,25 cm dicken Stahlseil von 1067 m Länge.¹⁸



Abb. 13 "Tiefseekugel Bathysphere "

All diese Geräte brauchen ein System das sowohl frische Atemluft bereitstellt (normalerweise durch das Hinzufügen von Sauerstoff zur bestehenden Luft) und außerdem das ausgeatmete Kohlendioxid aufnimmt (z.B. durch Atemkalk, Lithiumhydroxid oder ähnliche Verbindungen, welche CO₂ absorbieren).

Eine moderne Weiterentwicklung dieser Technik ist der unabhängige, gepanzerte Tauchanzug. Er ist beweglich und in der Lage, dem Umgebungsdruck in der Tiefe zu widerstehen. Der Taucher wird in ihm zu einem kleinen U-Boot und kann stundenlang in einer Tiefe von mehreren hundert Metern arbeiten.

2.3.3 Panzertauchanzüge

Die ersten Panzertauchgeräte wurden Ende des 19. Jahrhunderts entwickelt, waren aber ungeeignet, denn die Taucher konnten sich in den Anzügen nicht bewegen. Alles was sie machen konnten, war die Umwelt zu beobachten. Ursache hierfür waren die verwendeten Gelenke, sie waren nicht wasserdicht und wurden durch den Umgebungsdruck so stark zusammengepresst, dass sie starr wurden.

„Zwischen dem ersten und zweiten Weltkrieg stellten die italienische Firma Galeazzi und die deutsche Firma Neufeldt und Kuhnke Panzertauchgeräte mit Kugelgelenksystemen her. Es handelt sich dabei um stählerne Gehäuse in Anzugform, die dem Druck standhielten. Im Inneren herrschte Atmosphärendruck wie in einem kleinen, maßgeschneiderten Unterseeboot.“¹⁹ Dadurch ist der Taucher nicht dem Umgebungsdruck ausgesetzt und kann ohne Dekompressionspausen an die Oberfläche zurückkehren.

Moderne Panzertauchanzüge, wie zum Beispiel der Newtsuit sind mit besonders vielen Gelenken ausgestattet und für vielfältige Aufgaben einsetzbar. Die Gelenke sind hydraulisch und blockieren nicht unter Druck, da dieser auf

beiden Seiten des Gelenks ausgeübt wird.¹⁹ Berufstaucher werden damit bis zu 360 Meter herabgelassen. An den Armen befinden sich Werkzeuge, die von innen bedient werden können. Ein Taucher im Panzertauchanzug kann von einem Klein-U-Boot zu seinen Einsatzgebiet gebracht werden und operiert dann dort selbständig. Neben der schnellen Verfügbarkeit ist der Einsatz eines modernen Panzertauchanzuges beim Off-Shore-Tauchen kostengünstiger als beim Sättigungstauchen.

„Ein zwölfstündiger Auftrag in etwa 300 Meter Tiefe kostet für Sättigungstaucher ca. 250000 US\$ und für den gleichen Einsatz mit dem Dräger-Newtsuit (siehe Abb. 14a/Abb. 14b) Panzertauchern rund 2700 US\$.“²⁰

Trotzdem geht auch der Einsatz von Panzertauchern zurück, da heutzutage die noch preiswerteren ferngesteuerten Unterwasserroboter verstärkt eingesetzt werden.



Abb. 14b "Exosuit"



Abb. 14a

2.3.4 ROV - Remotely Operated Vehicles

Als Remotely Operated Vehicles (ROV) werden kleine, unbemannte, ferngesteuerte Unterwasserfahrzeuge bezeichnet, die zum Beispiel von einem Versorgungsschiff oder einer Bohrinnsel aus manövriert werden können. Die Verbindung zum ROV erfolgt mit einer Kabelfernsteuerung. Der Pilot der ROV befindet sich an Bord eines Schiffes und ist in der Regel auf Bilder angewiesen, die eine am Fahrzeug angebrachte Kamera liefert. Neben den ROV, die der reinen meist wissenschaftlichen Beobachtung dienen, gibt es auch Varianten, die mit entsprechenden Werkzeugen ausgerüstet, Aufgaben ausführen können. Dazu sind die Fahrzeuge mit einem oder mehreren Roboterarmen ausgerüstet. (siehe Abb. 15)

„Das Team von Robert Ballard drang 1985 nach der Entdeckung des 1912 gesunkenen Luxusdampfers Titanic mittels eines ROV in das 4000 Meter tief gelegen Wrack ein.“²⁰

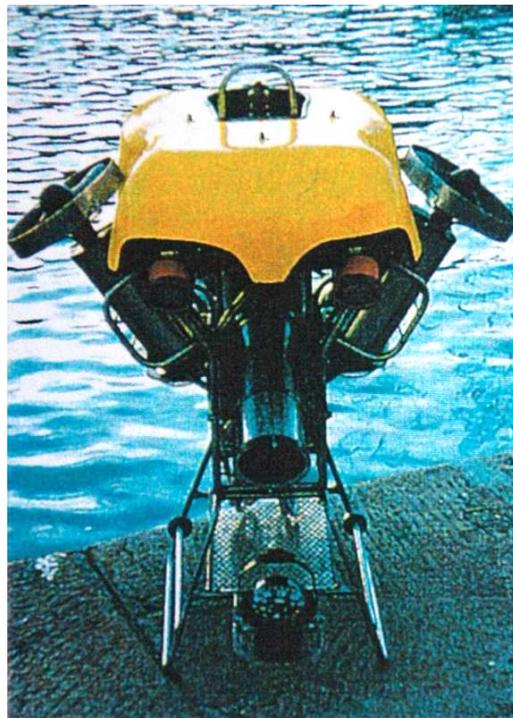


Abb. 15 "ROV"

2.4 Autonomes Tauchen

Tauchen mit Gasgemischen, die vom Taucher mitgeführt werden

2.4.1 Kreislaufgeräte

Die früheste Entwicklung des autonomen Tauchens ging von den sogenannten Kreislaufgeräten aus. Die Idee dabei ist, die ausgeatmete Luft wieder mit Sauerstoff anzureichern und das Kohlendioxid herauszufiltern. Auch wenn sich die Entwicklung der Kreislaufgeräte vor allem im Militär vollzog, die Grundidee stammt bereits aus dem 17. Jahrhundert.

1680 hatte Giovanni Borelli die Idee ein geschlossenes Atemgerät zu bauen. Seine Idee (die so leider nicht funktionieren konnte) war es die Luft durch ein von Seewasser gekühltes Rohr zirkulieren zu lassen. Er erhoffte sich davon alle Verunreinigungen an der Innenseite des Rohres kondensieren lassen zu können.

1726 gab es die ersten ernsthaften Versuche – wenn auch nicht unter Wasser. Stephen Hale setzte ein mit Seesalz und Weinstein getränktes Stück Stoff im Helm von Grubenrettern ein, um die Luft wieder aufzubereiten.

Ungefähr 60 Jahre später entwickelte Henry Feuss, ein deutscher Marineoffizier, ein Sauerstoff-Kreislaufgerät. Mit Vollgesichts-Gummimaske, Atembeutel und einem Kupfertrank für den Sauerstoff wurde sein Taucher ausgerüstet. Das Kohlendioxid aus der ausgeatmeten Luft wurde in einem mit Ätzkalk getränkten Seilknäuel aufgefangen. Er testete sein Kreislaufgerät mit Erfolg und konnte bis zu einer Stunde unter Wasser bleiben. Später erhielt sein „Rebreather“ Einzug in die Minenrettung.

Die folgenden Entwicklungsschritte waren dann mehr von der „Chemie“ bestimmt. 1881 ließen sich Khotinsky und Lake eine besondere Reinigungs-Chemikalie patentieren: Bariumhydroxid wurde zur Kohlendioxid-Bindung eingesetzt. 1904 folgte „Oxylite“, eine Kalium und Natrium-Superoxid, welche bei Wasserkontakt Sauerstoff freisetzt.

Bereits 1911 unternahm die Fa. Dräger erste Versuche mit einem Helm-Kreislaufgerät. Ein Jahr später wird dieser ins Verkaufsprogramm aufgenommen.

Ähnlich rasant geht die Entwicklung weiter: Tiefentauchversuche bis auf 80m wurden erfolgreich getestet. 1926 erscheint der „Badetauchretter“ (siehe Abb. 16) der Firma Dräger. Dieser ermöglichte eine Betriebszeit bis zu 45 Minuten.

Während des Zweiten Weltkriegs beschäftigten sich mehrere Firmen mit der Entwicklung und Bau von Kreislaufgeräten. Vor allem ist es die Kriegsmarine, die sehr an der Weiterentwicklung der Kreislaufgeräte interessiert ist, da keine verräterischen Blasen beim Einsatz der Tauchapparate entstehen. Das Modell von Henry Fleuss wurde weiterentwickelt und in der italienischen Marine eingesetzt. Doch die meisten Soldaten verwenden ein anderes Gerät, das „Laru“ (Lambertsen Amphibious Respiratory Unit), das 1939 auf dem Markt erscheint.



Abb. 16 "Badetauchretter"

Nach dem Zweiten Weltkrieg erscheinen zahlreiche Erneuerungen für Kreislaufsysteme, unter anderem ein elektronisch gesteuertes Mischgastauchgerät im Jahr 1968. Es war für tiefe Tauchgänge konzipiert, wurde aber nach mehreren Todesfällen vom Markt genommen.

Den eigentlichen Einzug der Kreislaufgeräte in das Sporttauchen wird erst 1995 durch das „Atlantis“ erreicht. 1998 wurde das Modell umgebaut und unter dem Namen „Dräger-Dolphin“ der Tauchwelt angeboten (siehe Abb. 17).

Ebenfalls 1998 wurde das „Buddy-Inspiration“ geboren, ist aber durch die komplizierte Technik und die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten noch den Tech-Tauchern vorbehalten (siehe Abb. 18).



Abb. 17 "Dräger-Dolphin"



Abb. 18 "Buddy-Inspiration"

2.4.2 Atemregler

Den ersten funktionierenden Tauchapparat der ohne Verbindung zur Oberfläche auskam, meldete im Jahr 1825 der Engländer William James zum Patent an. Der Taucher trug einen zylindrischen Eisengürtel, der ihn von der Taille bis zu den Achselhöhlen bedeckte. In diesem Behälter war Luft auf ca. 30 bar komprimiert. Ein Luftschlauch führte zum Helm und versorgte den Taucher mit Atemluft. Etliche Gewichte und schwere Stiefel vervollständigten die Ausrüstung.“²¹

Jedoch war es erst im Jahr 1860, als Benoit Rouquayrol ein Patent anmeldete, das sich in Sachen Fortschritt mächtig von dem Helmtauchanzug unterscheiden sollte: einen Gasregler. Mit diesem Regler wollte Rouquayrol auch Rettungskräfte ausstatten, die nach Grubenexplosionen nach Verschüttelten suchen sollten.

1862 erweiterte er den Regler noch mit einem Mundstück und einer Nasenklemme (Masken gab es noch nicht). Durch eine Membran oberhalb des Topfes passte sich die Atemluft dem Umgebungsdruck an (siehe Abb. 19).

Anfänglich war der Topf mit einem langen Schlauch mit der Oberfläche verbunden. Doch 1864 erfand Rouquayrol einen geschlossenen Tank, der die Versorgung von der Oberfläche für kurze Zeit unnötig machte. 1865 übernahm die französische Marine ihr Reglersystem, das Tauchtiefen bis 40 m zuließ.

Für Arbeiten im Salz- oder Schmutzwasser konnten die Taucher, die weder Maske noch Helm trugen, nicht mehr gut sehen. Für den Augen- und Gesichtsschutz verwendete man deswegen wieder einen Tauchhelm.

Doch das Helmtauchgerät stellte sich - was Handhabung und Beweglichkeit betraf - noch als zu schwerfällig heraus (siehe Abb. 20).

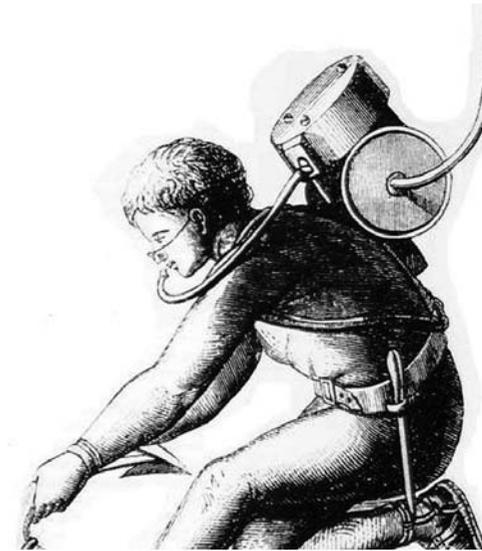


Abb. 19 "Gasregler mit Mundstück"



Abb. 20 "Helmtauchgerät"

Es war Yves le Prieur der 1926 eine zündende Idee verfolgte. Die Druckluftflaschen des Reifenherstellers Michelin, die es für pannengestresste Reifen gab sollten als Luftvorrat für Taucher herhalten.

Drei Liter Pressluft standen ihm je Flasche zur Verfügung. Er stattete sein Gerät mit einer Vollgeschichtsmaske aus in welche aus der Flasche kontinuierlich Luft einströmte. Doch war diese Erfindung noch zu wenig ausgereift, da die meiste Luft, ohne je eingeatmet zu werden, über die Maske abgegeben wurde.

Es waren der französische Marineleutnant Jacques-Yves Cousteau und der Ingenieur Emile Gagnan, die nach mehrjähriger Entwicklung und Modifizierung im Januar 1943 den Lungenautomaten „Aqua Lung“ erfolgreich zum Patent anmeldeten. Der Lungenautomat ist ein vollautomatisches Ventil, das komprimierte Luft in jeder beliebigen Tiefe unter genau dem richtigen Umgebungsdruck zur Atmung freigibt. Neben dem Lungenautomaten brauchte der Taucher nur noch eine Luftdruckflasche, die an Land mittels eines Kompressors mit verdichteter Luft gefüllt wurde.

Der Gagnan-Cousteau Regler veränderte das Tauchen grundlegend. Der einfache Aufbau und die solide Konstruktion machten ihn zu einem zuverlässigen und preiswerten Atemregler für das Sporttauchen. Die begonnene Produktion des Reglers bei Air Liquide konnte die Nachfrage kaum decken. Mitbewerber erkannten das Potential dieser Technik und brachten gleiche, oder leicht modifizierte Geräte auf den Markt. Diese Erfindung war eine technische Revolution. Gagnan und Cousteau trugen dazu bei, einen großen Teil der Erde der Wissenschaft zu öffnen. Sie schufen für Wissenschaftler, Ingenieure und Sportler die Möglichkeit zur umfangreichen Erforschung der Welt unterhalb der Wasseroberfläche.

Bereits im selben Jahr werden mit der Aqua Lung Tauchtiefen bis 64 Meter erreicht und bereits 1947 auf die Rekordtauchtiefe von 94m.

In den 50er Jahren verändert sich allmählich der Tauchsport vom Schnorcheln hin zum Tauchen mit einem Tauchgerät. Die ersten Tauchsportgeschäfte werden eröffnet. Die Ausstrahlung der Fernsehserie „Sea Hunt“ mit Lloyd Bridges als Mike Hunt veranlasst tausende Zuschauer mit dem Tauchsport zu beginnen.

Als jedoch die Unfallzahlen der Taucher steigen, werden die ersten Organisationen gegründet um Taucher auszubilden und zu zertifizieren (z.B.

„National Association of Underwater Instructors“ NAUI 1960, „Professional Association of Diving Instructors“ PADI 1966...). Bereits im ersten Jahr ihres Bestehens bildet PADI 3226 Taucher aus.

Zudem werden neue Zielgruppen angesprochen. Es wandelt sich das Tauchen vom draufgängerischen Abenteuer zum Familiensport. Die ersten Tauchgeräte für Kinder erscheinen auf dem Markt (siehe Abb. 21.)



Abb. 21 "Tauchen wird zum Familiensport"

Auch werden immer neue Rekordversuche unternommen. Am 14. Oktober 1968 tauchen John J. Gruener und R. Neal Watson vor den Bahamas mit Pressluft auf 133 m. Dieser Rekord wird erst 1990 gebrochen.

Vor allem in den 70er Jahren werden viele wichtige Entwicklungen in der Tauchtechnik und für die Tauchsicherheit eingeführt. Erstmals ist ein Tauchschein (Zertifikat) erforderlich um Flaschen füllen zu lassen oder Ausrüstung auszuleihen.

Die Ventile mit Reservewarn-einrichtung werden allmählich von Flaschenventilen ohne Reserve abgelöst, da man Finimeter benutzen konnte. Tarierhilfen und Einschlauch-regler werden fester Bestandteil der Tauchausrüstung (vorher wurden Zweischlauchregler eingesetzt).



Abb. 22 "Ausrüstung der 70er"

Es dauert nicht lange, bis die ersten elektronischen Hilfen beim Tauchen ihre Anwendung finden. 1983 wird der erste kommerziell verfügbare Tauchcomputer - der „Orca Edge“ – eingeführt. Im darauf folgenden Jahrzehnt werden diverse Modelle entwickelt und sie gehören bald zur Standardausrüstung für Sporttaucher.

Alleine in den USA werden in den 90er Jahren jährlich über 500.000 neue Taucher ausgebildet. Neue Tauchmagazine kommen auf den Markt, Tauchcomputer werden weit verbreitet und der Tauchtourismus wird zu einem großen Wirtschaftszweig.

Das technisch orientierte Tauchen (technical diving) verbreitet sich – Amateure, die fortschrittliche Technologien wie Mischgase, Vollgesichtsmasken, Kommunikation, Scooter u.s.w. nutzen (siehe Abb. 23).



Abb. 23 "Ausrüstung Tech-Taucher"

Mit der Zeit eroberte ein neues Atemgas – Nitrox - die Tauchbasen für Sporttaucher. Vom Ursprung im Technical Diving sollten die Vorteile des erhöhten Sauerstoffanteils in der Atemluft auch fürs Sporttauchen genutzt werden.

3. Marktanalyse - Tauchermasken

Um sich einen Überblick über die sich derzeit am Markt befindlichen Tauchermasken und deren Besonderheiten zu verschaffen, ist es sinnvoll eine Einteilung in folgende Hauptgruppen zu machen:

3.1 Schwimmbrillen

Dabei handelt es sich, wie der Name schon sagt, um Brillen speziell für Schwimmer. Sie schließen wie Taucherbrillen dicht ab und ermöglichen die Sicht unter Wasser, sind jedoch in erster Linie als Augenschutz gedacht. Zum Tauchen in größere Tiefen sind sie nicht geeignet, da die Nase nicht mit eingeschlossen ist und deshalb im Maskeninnenraum kein Druckausgleich gemacht werden kann.

Die Bauformen unterscheiden sich nur geringförmig, sind aber auf die Bedürfnisse der Benutzer angepasst.

So gibt es Schwimmbrillen für Kinder und Jugendliche welche speziell für die Bedürfnisse und Kopfformen der Kinder entwickelt sind. Weitere für sportliche Schwimmer die auch gelegentlich im Verein trainieren, bis hin zu Wettkampf-Schwimmbrillen, die speziell für Wettkampfsportler entwickelt wurden. Kombiniert erhält man diese auch mit einer Nasenklammer.

Die Augenschalen der meisten Schwimmbrillen sowie die Seitenklips für die Bandbefestigung sind aus Kunststoff gefertigt, der Maskenkörper sowie das Maskenband bestehen hauptsächlich aus antiallergischem Siliconelastomer.

Die überwiegend aus Polycarbonat hergestellten Sichtscheiben werden zusätzlich auf der Innen- und Außenseite mit speziellen Beschichtungen ausgeführt. So kommen „Antifog“ - eine Beschichtung gegen Beschlagen - auf der Innenseite der Linse, sowie UV-Schutz und Verspiegeltes Glas auf der Außenseite der Sichtscheiben zum Einsatz.



Schwimmbrille Rahmenlos



Schwimmbrille Femme Flexframe TYR 02

3.2 Taucherhalbmasken

Sie ist die gängigste Maskengruppe, und wird von den meisten Sporttauchern verwendet. Sie bedeckt Augen sowie Nase und ermöglicht durch den Nasenerker einen Druckausgleich im Mittelohr sowie im Maskeninnenraum.

Tauchhalbmasken sind in verschiedenen Formen und Farben erhältlich. Bei einer guten Maske sollte das Maskeninnenvolumen möglichst klein sein. Dies ist notwendig um den Auftrieb gering zu halten, sowie beim Ausblasen der Maske wenig Luft zu verbrauchen. Zudem sollte die Maske dem Benutzer ein großes Blickfeld²² bieten.

Der Maskenkörper aus Silikon sollte mit einem doppelten Dichtrand versehen sein. Silikon ist ein säurebeständiger Elastomer und wird als antiallergisch bezeichnet. Zudem ist Silikon sehr geschmeidig und hat bessere Abdichteigenschaften als Gummi. Dafür neigen allerdings verschiedene Silikonarten zum Vergilben und Verhärten. Silikon gibt es in heller, lichtdurchlässiger und dunkler Ausführung. Vollkommen transparentes Silikon wie z.B. Softsilikon oder Kristallsilikon ist noch elastischer. Für die Reinigung und Pflege können die besseren Masken zerlegt werden.

Die gebräuchlichen Tauchermasken bestehen aus vier Komponenten: der Sichtscheibe aus temperiertem, kratzfestem Sicherheitsglas; dem Maskenkörper aus Kautschuk oder antiallergischem Silikon, der die Maske zum Gesicht abdichtet; dem Rahmen aus Kunststoff, welcher Sichtscheibe und Maskenkörper zusammenhält und einem verstellbaren Verschlusssystem für das Maskenband.

Um den Tragekomfort zu erhöhen werden auch Neoprenbänder anstelle von Silikonbänder verwendet. Bei Fehlsichtigkeit des Tauchers können bei Mehrglasmasken sehr einfach Korrekturlinsen durch den Fachhandel oder Optiker eingesetzt werden.

In der Gruppe der Taucherhalbmasken unterscheidet man nach Anzahl der Scheiben und deren Einsatzzweck.

3.2.1 Einglasmasken

Sie zeichnen sich durch eine durchgängige Sichtscheibe aus, was dem Träger meist ein großes Gesichtsfeld²³ bietet. Sie werden gerne für die Unterwasserfotographie bei Models eingesetzt, da sie sehr viel vom Gesicht des Models zeigen. Die klassische Einglasmaske ist als ovale Maske bekannt. Sie bietet jedoch wenig Komfort und hat, wie die meisten Einglasmasken, ein sehr großes Maskeninnenvolumen.



Einglasmaske
"Super Compensation" von BEUCHAT
Zeigen viel vom Gesicht eines Models





Rahmenlose Einglasmaske
"Shadow" von OCEANIC

3.2.2 Zweiglasmasken

Bei Zweiglasmasken ist die Sichtscheibe durch einen Mittelsteg getrennt. Es lässt sich durch Neigung der Planscheiben ein kleineres Innenvolumen realisieren. Bei rahmenloser Bauweise sind solche Masken auch zusammenlegbar und kommen als Redundanz²⁵-Maske gerne zum Einsatz.



Zweiglasmaske
"Big Eyes" von CRESSI-SUB



Zweiglasmaske
"Magic" von SEAC SUB

Eine Sonderform der Zweiglasmasken sind die Apnoe-Masken. Sie gleichen im Aufbau den Schwimmbrillen haben aber im Maskenkörper die Nase mit eingeschlossen. Sie zeichnen sich durch ein sehr kleines Innenvolumen aus, bieten jedoch ein eingeschränktes Gesichtsfeld.



Apnoe-Zweiglasmaske
"Bandit" von DACOR



Apnoe-Zweiglasmaske
"Minima" von CRESSI-SUB

3.2.3 Drei-, Vier-, Sechsglasmasken

Dabei handelt es sich um erweiterte Bauformen der Ein- und Zweiglasmasken. Durch Sichtfenster auch an den Seiten bzw. nach unten wird versucht, das Gesichtsfeld des Tauchers möglichst zu vergrößern.



Dreiglasmaske
"Maximo" von BEUCHAT

Gleichzeitig erlauben sie eine einfache Unterbringung von Korrekturlinsen bei einer Fehlsichtigkeit des Tauchers. Das große Blickfeld bei diesen Bauformen schlägt sich jedoch im meist deutlich größeren Innenvolumen der Masken nieder.



Sechsglasmaske
"Esa" von MARES

3.3 Vollgesichtsmasken

Wie im vorigen Kapitel kennengelernt, bedeckt eine Halbgesichtsmaske nur teilweise das Gesicht des Tauchers, nämlich Augen und Nase. Eine Vollgesichtsmaske bedeckt das gesamte Gesicht einschließlich Mund und Kinn. Dabei handelt es sich um Masken ohne Schnorchel, jedoch mit direktem Anschluss an ein Atemgerät.

Sie werden im Allgemeinen von Berufstauchern, den Rettungstauchern der Wasserrettung bzw. Feuerwehr und von zertifizierten Sporttauchern verwendet.

Warum mit einer Vollgesichtsmaske tauchen?

Vollgesichtsmasken erhöhen die Sicherheit und den Komfort bei Tauchgängen in sehr kalten oder verschmutzten Gewässern sowie in Höhlen und in Wracks. Sie dienen als Schutz gegen Kälte, als Schutz gegen Verunreinigungen im Wasser (Kontamination) und sie ermöglichen die sprachliche Kommunikation unter Wasser, da kein Beißmundstück vorhanden ist.

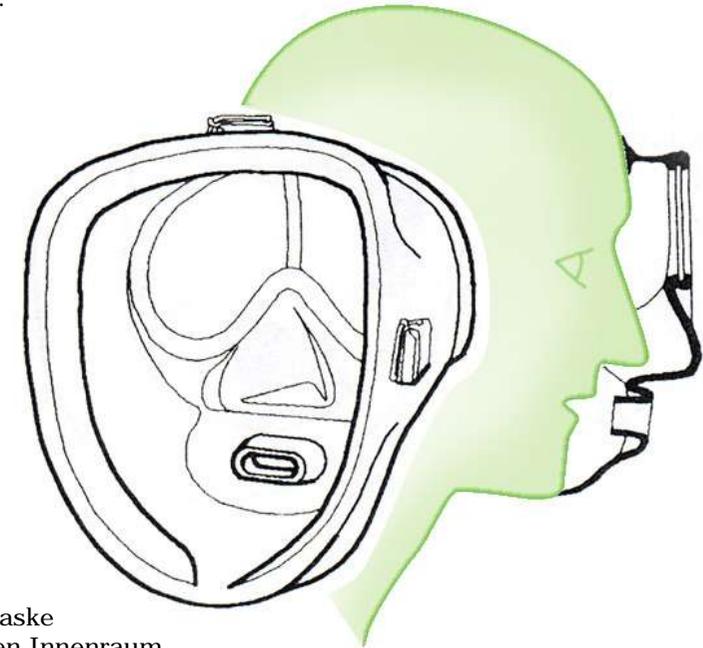
Einen weiteren Grund, Vollgesichtsmasken zu tragen, der aber kontrovers diskutiert wird, stellt die höhere Sicherheit bei Krämpfen (O₂-Vergiftung) oder Bewusstlosigkeit unter Wasser dar, da hier kein Mundstück aus dem Mund gleiten kann. Allerdings sollten weder Sporttaucher noch kommerzieller Taucher hiermit konfrontiert werden, wenn der Tauchgang richtig geplant wurde. Dieses Argument zählt jedoch für Militäртаucher mit reinen Sauerstoff-Kreislaufgeräten, bei denen schon ab 6 m Tiefe die Gefahr einer Sauerstoffvergiftung besteht.

Die Gruppe der Vollgesichtsmasken lassen sich nach ihren Bauformen in drei Arten unterteilen.

3.3.1 Vollgesichtsmaske mit gemeinsamen Innenraum

Sie zeichnen sich durch sehr einfache Bauformen aus, da diese meist aus einem Stück gefertigt werden. Diese sind dann in der Anschaffung relativ günstig. Nachteilig wirkt sich jedoch bei dieser Bauform das große Innenvolumen und somit das hohe Auftriebsverhalten aus.

Diese Masken sind teilweise aus Kautschuk jedoch größtenteils aus antiallergischem Silikon gefertigt.



Schema einer Maske mit gemeinsamen Innenraum

Beim Modell Cressi-Sub besteht das Sichtfenster aus gehärtetem Mineralglas und ist somit gegen Verkratzen geschützt. Häufig werden jedoch statt Mineralglas auch Kunststoffscheiben eingesetzt, da diese mehr Spielraum bei der Anpassung an die Maske bieten und dann für solche Zwecke kostengünstiger sind.



Vollgesichtsmaske von CRESSI-SUB mit einem gemeinsamen Innenraum

3.3.2 Gemeinsamer Innenraum von Mund+Nase, separater Raum für Augen

Durch den separaten Luftraum im Augen- und Gesichtsbereich weisen diese Masken einen geringeren Totraum auf. Diese Bauformen ermöglichen ebenfalls das Atmen sowohl durch Nase als auch durch den Mund. Auch können leicht

Kommunikationsgeräte im Mund-Nasen-Luftraum angebaut werden. Ein Nachteil ist jedoch das schwierige Ausblasen des Augenbereichs, sofern es sich nicht um eine Überdruckmaske handelt. Zusätzlich besteht die Gefahr der Aerosol²⁵-Bildung.



Schema einer Maske mit Innenraum für Mund und Nase, separater Augenraum

Für den Druckausgleich im Innenohr muss entweder ein Mechanismus von Außen die Nase schließen oder es wird durch Anpressen der Maske gegen die Nasenöffnung ein Schließen der Nase und somit der Druckausgleich ermöglicht.



Vollgesichtsmaske
"Poseidon" von CRESSI-SUB



Vollgesichtsmaske "Panorama-
Nova-Dive" von DRÄGER



Vollgesichtsmaske
"Exo 26" von KIRBY MORGAN



Vollgesichtsmaske
"Neptune II" von OCEANREEF

3.3.3 Gemeinsamer Innenraum von Augen+Nase, separater Raum für Mund

Bei diesem Maskentyp ist wie bei einer Halbmaske die Nase im Luftraum der Augen inkludiert. Zusätzlich besteht hier noch ein Luftraum für den Mund. Dadurch ist ein Atmen nur durch den Mund möglich. Ein großer Vorteil ist jedoch, dass dieser Maskentyp einen sehr kleinen Totraum aufweist und beide Luftkammern sehr leicht ausgeblasen werden können. Auch ist das Erweitern mit Kommunikationseinrichtungen sehr leicht möglich.



Schema einer Maske mit
Innenraum Augen+Nase, separater Mundraum



Vollgesichtsmaske
von SCUBAPRO

3.4 Taucherhelme

Taucherhelme finden heute hauptsächlich in der Berufstaucherei ihre Anwendung. Sie werden immer in Kombination mit einem Trockentauchanzug verwendet. Die meisten Helme sind zusätzlich mit einem Telefon ausgestattet, was die Kommunikation zur Oberfläche erlaubt. Zudem sind die Helmtaucher mit einer Leine gesichert und werden auch in manchen Fällen von der Oberfläche mit Atemluft versorgt.

Die Helme lassen sich auch mit zusätzlichen Hilfsmitteln wie z.B. Helmleuchten, Schweißvisier o.ä. erweitern. Helmtaucher kommen bei Unterwasserarbeiten der verschiedensten Anforderungsprofile zum Einsatz. Dazu zählen Leistungen für die Schifffahrt, Brücken, Ufersanierungen und sonstige Arbeiten im privaten, kommunalen und gewerblichen Sektor. Zu deren Arbeiten zählen z.B. Unterwasserschweißen und -brennen, Unterwasserbetonbau, Ufer- und Spundwandsanierung usw.



Taucherhelm
von KIRBY MORGAN



Taucherhelm in
Kombination mit Trockentauchanzug

4. Mensch im Medium Wasser

Dieses Kapitel soll aufzeigen, welchen veränderten Einflüssen der Mensch im Medium Wasser ausgesetzt ist. Erst die Erfassung dieser Einflüsse macht es möglich über neue Gestaltungsansätze und deren Anforderungen nachzudenken.

4.1 Mensch und Wasser

Ohne Wasser (H₂O) wäre kein Leben auf der Erde möglich. Es besitzt keine feste Form, aber ein bestimmtes Volumen und lässt sich nur unter sehr hohem Druck geringfügig komprimieren. Wasser ist etwa 800-mal dichter als Luft und hat einen wesentlich höheren Strömungswiderstand. Dies spüren wir bei Bewegungen im Wasser. So ist es anstrengender im Wasser zu gehen, als dieselbe Strecke an der Luft zurückzulegen.

Der Mensch besteht zu etwa 60 Prozent aus Wasser und ca. weiteren 20 Elemente, die ihrerseits Millionen von chemischen Verbindungen eingehen. Wir tragen sogar einen kleinen Teil „Meer“ in uns. Das Blutplasma des Menschen ist in seinen Bestandteilen und in der Zusammensetzung von Kalzium, Magnesium und Natrium mit der des Meerwassers fast identisch.

4.2 Sehen unter Wasser

Tauchen ist ein visueller Sport. Jedoch weiß jeder der unter Wasser schon einmal seine Augen aufgemacht hat, dass man ohne Hilfsmittel alles verschwommen sieht. Die Ursache liegt darin, dass unsere Augen für das Sehen in einer gasförmigen Umgebung konstruiert sind. Das Wasser hebt die an Land funktionierende Linsenwirkung des Auges weitgehend auf. Das unmittelbar am Auge anliegende Wasser verschiebt den Brennpunkt des einfallenden Lichts hinter die Netzhaut. Das Ergebnis ist ein unscharfes Bild ähnlich wie es bei Weitsichtigkeit entsteht.

Erst mit Hilfe einer Tauchmaske, die einen Luftspalt zwischen Auge und Wasser schafft und damit wieder die Grenzfläche Hornhaut- Luft herstellt, ist die scharfe Sicht unter Wasser möglich. Durch den veränderten Brechungsindex des Wassers gegenüber der Luft erscheinen jedoch alle Gegenstände unter Wasser um 25 % näher und 33 % größer. Das heißt, dass z. B. ein Fisch von scheinbar 40 cm Größe und in 3 m Entfernung sich tatsächlich in 4 m Entfernung befindet und nur 30 cm groß ist (siehe Abb. 24).



Abb. 24 "Brechung unter Wasser"

Eine weitere Besonderheit ist die Streuung des Lichtes unter Wasser. So wird Licht beim Eintritt von Luft in Wasser gebrochen und gestreut, so dass in größerer Tiefe (über 100 m) selbst bei klarem Wasser praktisch kein sichtbares Licht für den Menschen vorhanden ist.

Des Weiteren werden die unterschiedlichen Farbanteile des weißen Lichtes im Wasser unterschiedlich absorbiert. Dies geschieht in abnehmender Reihenfolge von Rot über Orange, Gelb, Grün bis hin zu Blau, so dass bereits in mäßiger Tiefe kein rotes Licht mehr vorhanden ist und rote Gegenstände nicht mehr richtig gesehen werden. In größerer Tiefe ist nur noch hellblaues Licht vorhanden (siehe Abb. 25).

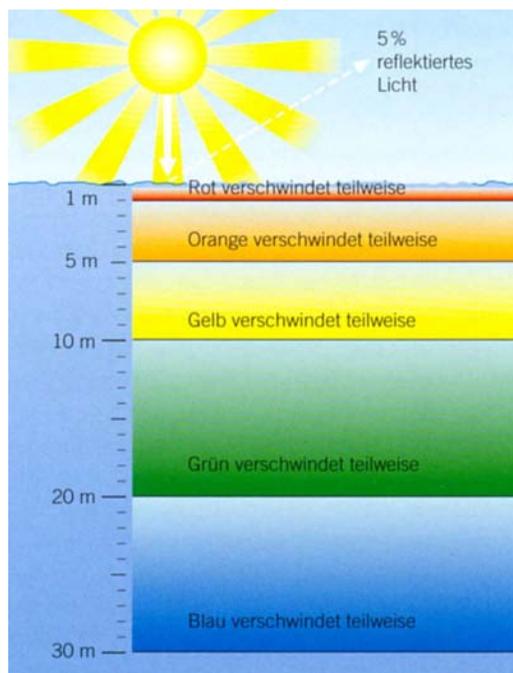


Abb. 25 "FarbabSORption"

Die Sicht unter Wasser ist auch vom Grad des Lichteinfalls und von der Menge der Schwebstoffe abhängig. Sie ist am besten, wenn die Sonne senkrecht über dem Gewässer steht und nur wenige Lichtstrahlen von der Wasseroberfläche reflektiert werden. Zusätzliche Probleme der Orientierung treten durch Wassertrübungen, wie Verschmutzungen oder Plankton auf. Dies kann zur Minderung der Sichtweite bis auf weniger als 1 m und entsprechend schwerer Orientierung führen.

4.3 Hören unter Wasser

Die Akustik ist unter Wasser erheblich geändert. Schallquellen, die sich über Wasser befinden, können unter Wasser nicht wahrgenommen werden, da 99,9% des Schalls von der Wasseroberfläche reflektiert werden. Liegt die Schallquelle jedoch unter Wasser wird der Schall wesentlich schneller übertragen. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls unter Wasser beträgt ca. 1500 Meter pro Sekunde (je nach Temperatur und Salzgehalt zwischen 1400m/s und 1550m/s) und ist im Gegensatz zu Luft mit ca. 330m/s ca. 4,5-mal so schnell. Dies hat zur Folge, dass ein Richtungshören unter Wasser nur kaum bzw. nicht möglich ist, da der Zeitunterschied zwischen beiden Ohren unter Wasser ca. fünfmal kürzer ist als an Land.

4.4 Wärmeverlust unter Wasser

Wasser leitet Wärme fast 25-mal schneller als Luft. Die Wärmeübertragung findet über Konduktion (Wärmeleitung) und Konvektion (Wärmeströmung) statt. Beide verursachen ein Auskühlen des Körpers unter Wasser (siehe Abb. 26).



Abb. 26 "Wärmeverlust beim Tauchen"

4.5 Erhöhter Druck unter Wasser

Da auch Luft ein Gewicht hat, drückt die etwa 10 km dicke Lufthülle der Erde – unsere Atmosphäre – auf die Erdoberfläche. Der Luftdruck beträgt dadurch in Meereshöhe ca. 1 bar. Dieser atmosphärische Druck nimmt mit zunehmender Höhe ab – z. B. beim Bergsteigen oder beim Fliegen - und mit zunehmender Tiefe wie beim Tauchen zu.

Da Wasser jedoch ein wesentlich höheres Gewicht als Luft besitzt, nimmt der Druck unter Wasser wesentlich schneller zu. Pro 10 m Wassertiefe nimmt der Wasserdruck um einen bar zu. Der Umgebungsdruck, dem ein Taucher ausgesetzt ist, setzt sich somit aus dem atmosphärischen Druck und dem Wasserdruck zusammen und beträgt in 10 m Tauchtiefe 2 bar.

Dieser Umstand zeigt, dass der größte Druckunterschied beim Tauchen von 0 bis 10 m herrscht. Hier verdoppelt sich der Druck von einem auf zwei bar, in 20 m Tiefe entsprechend 3 bar, in 35 m 4,5 bar usw. (siehe Abb. 27).

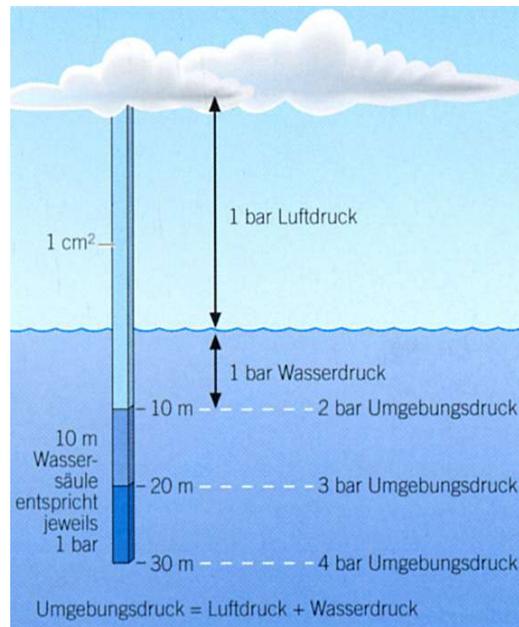


Abb. 27 "Umgebungsdruck"

Dadurch dass Luft im Gegensatz zu Wasser komprimierbar ist, sind die beim Taucher vorhandenen luftgefüllten Körperhöhlen von Druckänderungen betroffen, sowohl der mit Luft gefüllte Maskinnenraum als auch die starren, luftgefüllten Hohlräume der Stirn und Kieferhöhlen.

Bei sehr langsamen Anpassung an Veränderungen des Umgebungsdruckes, also Druckänderungen wie z. B. beim Bergwandern, schenken wir unseren luftgefüllten Körperhöhlen keinerlei Aufmerksamkeit. Bei schnellen Druckänderungen, die z. B. beim Fliegen und Tauchen auftreten wird man sich ihnen – bei nicht ausgeführtem Druckausgleich - schmerzlich bewusst (siehe Abb. 28 und 29).

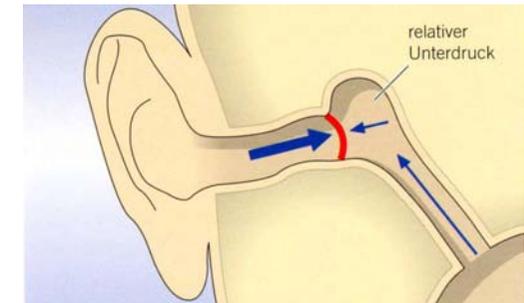


Abb. 28 "Trommelfell wölbt sich durch Überdruck nach innen"

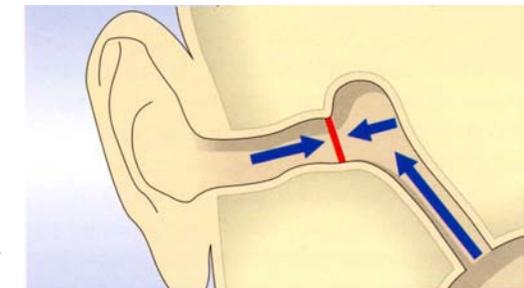


Abb. 29 "Druckausgleich im Mittelohr über die Ohrtube"

Der Druckausgleich in den luftgefüllten Hohlräumen wie z.B. Kiefer- und Stirnhöhlen, im Ohr sowie in der Tauchermaske müssen deshalb regelmäßig bei spürbarem Druckunterschied durchgeführt werden um Verletzungen des Trommelfells und der Augen zu vermeiden.

4.6 Atmen unter Wasser

Unsere Luft ist ein geruch- und geschmackloses Gasmisch, bestehend aus den Gasen Sauerstoff, Stickstoff und einem geringen Prozentsatz von Edelgasen. Luft ist wie alle Gase gestaltlos, hat kein bestimmtes Volumen, füllt jeden angebotenen Raum aus und lässt sich fast beliebig komprimieren.

Der für unser Überleben wichtige Sauerstoff (O₂) hat in diesem Gasmisch einen Anteil von ca. 21 %. Stickstoff (N₂) ist zu ca. 78 % in der Atemluft enthalten und dient als Füllgas, welches unter normalen atmosphärischen Bedingungen keine Verbindung zum menschlichen Körper eingeht. Ca. 1 Prozent Kohlendioxid (CO₂) und Edelgase sind ebenfalls in unserer Atemluft enthalten. (siehe Abb. 30)

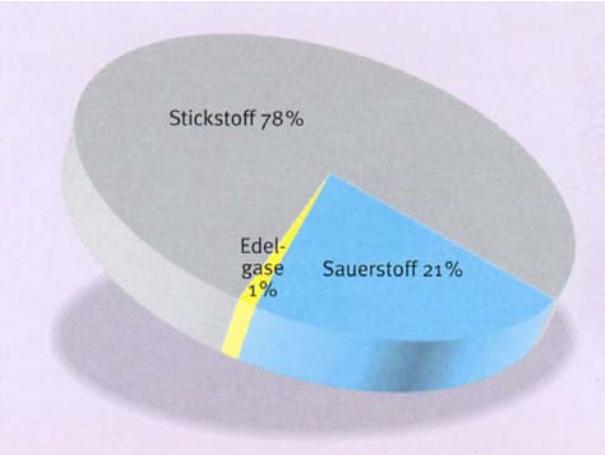


Abb. 30 "Zusammensetzung der Atemluft"

Betrachtet man nun diese Zusammensetzung, so kann man feststellen, dass der atmosphärische Druck von 1 bar durch 0,21 bar von Sauerstoff, 0,78 bar von Stickstoff und ca. 0,01 bar von Edelgasen erzeugt wird. Diese Anteile der Gase am Gesamtdruck bezeichnet man als Teildruck oder auch Partialdruck. (siehe Abb. 31)

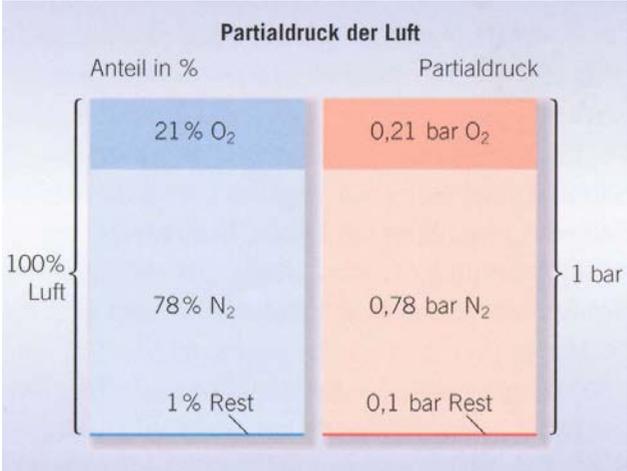


Abb. 31 "Partialdruck"

Da beim Gerätetauchen immer Luft geatmet wird, die dem Umgebungsdruck entspricht, ändert sich auch der Partialdruck der Atemluft. Verschiedene Gase können, abhängig von ihrem Partialdruck, narkotisierend oder sogar giftig auf den menschlichen Körper wirken. Zu diesen Gasen gehören Kohlenmonoxyd (CO), Kohlendioxid (CO₂), Stickstoff (N₂) und sogar der für uns lebensnotwendige Sauerstoff (O₂). So ist z.B. der Sauerstoff bei einem Partialdruck von ca. 1,6 bar O₂ giftig. Dieser Wert wird bei einer Tauchtiefe von ca. 66 m erreicht.

Bei Verwendung von Mischgasen mit höherem Sauerstoffanteil, wird dieser toxische Wert schon bei geringeren Tauchtiefen erreicht. Die Folge können Krampfanfälle sein, die einem epileptischen Anfall ähnlich sind. Der Taucher kann den Atemregler nicht im Mund halten und es besteht die Gefahr des Ertrinkens. Um dem vorzubeugen, werden von Berufstauchern Vollgesichtsmasken mit eingebautem Atemregler verwendet.

Beim Tauchen wird über die Atmung unter erhöhtem Umgebungsdruck auch Stickstoff über die Lunge aufgenommen. Dieser wird im Körpergewebe und in den Körperflüssigkeiten gelöst. Dieser Vorgang wird als Sättigung bezeichnet. Wird der Druck reduziert, treten die Gasmoleküle aus dem Gewebe und der Körperflüssigkeit aus, es findet eine Entsättigung statt. Findet diese Druckreduzierung jedoch zu schnell statt, kommt es zur Blasenbildung und womöglich zu einer sogenannten Dekompressionskrankheit.

Ein erhöhter Stickstoffpartialdruck kann auch zu einer Stickstoffnarkose führen, welche auch als Tiefenrausch bezeichnet wird. Bereits in einer Tiefe von 20 m können erste Symptome wie Euphorie, verlangsamtes Denkvermögen, verzögerte Reaktion sowie verminderte Konzentration auftreten. Die narkotisierende Wirkung des Stickstoffs nimmt mit steigender Tiefe rasch zu. Das Auftreten von Symptomen einer Stickstoffnarkose kann abhängig von Person zu Person, Tiefe, Tagesform, Medikamenten und Restalkohol sehr stark variieren.

Diesem „Stickstoffproblem“ wird heute durch die Verwendung von anderen Gasgemischen entgegengewirkt. Durch den Einsatz von Mischgasen wie z.B. Nitrox wird durch einen geringeren Stickstoffanteil in der Atemluft die Gefahr eines Tiefenrausches verringert. Zudem erfolgt die Sättigung des Gewebes deutlich langsamer, da weniger Stickstoff in der Atemluft vorhanden ist. Zudem sind wesentlich längere Tauchzeiten ohne Dekompressionsstops (Auftauchstops von einigen Minuten zur Entsättigung des Stickstoffs) möglich.

Die Zielgruppe meiner Vollgesichtsmaske sollen jene Taucher im Sporttauchbereich sein, welche dem Trend des ambitionierten Sporttauchens folgen und diesen ausüben, wie z. B. Höhlentauchen, Wracktauchen, Eistauchen, Nachttauchen bis hin zum Strömungstauchen.

Zur Zielgruppe im professionellen Bereich zählen Einsatzkräfte wie z. B. Rettungstaucher der Wasserrettung, Feuerwehr und Polizei, des weiteren Forschungstaucher für Unterwasserbiologie und Unterwassergeologie sowie Taucher für den Unterwasserfilm und die Unterwasserfotografie.

Heute werden im ambitionierten Sporttauchbereich vermehrt Herausforderungen gesucht, die den Bedingungen und Einflüssen von denen im professionellen Bereich sehr nahe kommen. Der Übergang in beiden Bereichen ist bezüglich der Anforderungen fließend, und er lässt sich häufig nur mehr über die persönlichen Ambitionen unterscheiden. Nervenkitzel, Abendteuer und die Suche nach den eigenen Grenzen stehen dann der Arbeit, dem Forschen und dem Beruf gegenüber.

6. Produktanforderungen

Mein Konzept einer Tauchermaske für professionelle und sportliche Anwendung soll einen Blick in die „nahe“ Zukunft werfen. Es soll zeigen, wie bestehende und zukünftige Technologien in einer sinnvollen Verbindung zu einer neuen Gestaltung führen. Sie soll im speziellen auf die Bedürfnisse und Erwartungen meiner Zielgruppe eingehen.

Um dies zu ermöglichen, ist es vorerst notwendig, diese Bedürfnisse und Erwartungen zu erkennen und zu definieren. Wie bereits im Kapitel 5 "Zielgruppe" gezeigt, sind die Anforderungen im ambitionierten Sporttauchbereich und im professionellen Bereich oft gleich und unterscheiden sich lediglich über diverse Zusatzausrüstungen. Dementsprechend sind auch die Anforderungen an die zu gestaltende Tauchermaske in beiden Bereichen sehr ähnlich.

Die Bedürfnisse der Zielgruppe spiegeln sich in den Anforderungen an die Tauchermaske wieder. Diese sind im Allgemeinen:

- Schutz gegen äußere Einflüsse
- Abrufen der aktuellen Tauchdaten
- Hohes Maß an Sicherheit (Redundanz)
- Hohes Maß an Komfort

Schutz gegen äußere Einflüsse

Kälte, Schmutz, Kontamination stellen hier die wichtigsten äußeren Einflüsse dar, die unmittelbar auf den Benutzer wirken. Die Maske soll in ihrer Ausführung und Anwendung einen guten Schutz gegen diese Einflüsse aufweisen.

Abrufen der aktuellen Tauchdaten

Das Ablesen der Tauchdaten soll auch bei schlechteren Sichtbedingungen gewährleistet werden. Dabei ist es wünschenswert eine schnelle und einfache Ablesbarkeit der Tauchdaten zu ermöglichen.

Hohes Maß an Sicherheit

Das Maskenkonzept soll ein hohes Maß an Betriebssicherheit auch bei extremen Bedingungen (Eis, Kälte) gewährleisten. Dabei soll die Redundanz des Systems erhalten bleiben. Eine kompakte Bauform erweitert zudem den Spielraum unter Wasser. Bei Notsituationen soll die Maske schnell vom Kopf entfernt werden können.

Hohes Maß an Komfort

Leichtes An- und Ausziehen der Maske, großes Gesichtsfeld bei kleinem Innenvolumen, leichtes Ausblasen der Maske sowie leichtes Ausführen des Druckausgleiches sind wichtige Anforderungen. Sie soll leicht zu reinigen sein. Die Kommunikation unter Wasser soll ermöglicht werden.

Neben diesen „technischen Anforderungen“ möchte ich über die Gestaltung eine neue Ästhetik erreichen. Dabei soll die Problematik des „Maskenphänomens“ berücksichtigt werden (siehe Kapitel 7, Punkt 7.5.1 Maskenphänomen).

7. Konzept

Wie bereits erwähnt, sind die Anforderungen im ambitionierten Sporttauchen sehr ähnlich denen im professionellen Bereich. Je nach Art der Tauchanforderung wird oft nur eine zusätzliche Ausrüstung (z. B. UW-Kommunikation, Vollgesichtsmaske usw.) verwendet. Hier sehe ich die Möglichkeit über ein erweiterbares System auf die erforderlichen Anforderungen zu reagieren.

7.1 Erweiterbares System

Das System gliedert sich dabei in drei Systemkomponenten - dem Systemkern und den zwei Systemerweiterungen.

7.1.1 Systemkern Vollgesichtsmaske

Den Systemkern bzw. die Grundausstattung bildet dabei der Maskenkörper der Vollgesichtsmaske. Das Konzept sieht als Tauchgerät den Anschluss von autonomen Kreislaufgeräten vor. Diese Ausrüstungstechnologie nimmt durch ihre Vorzüge eine zunehmend bedeutendere Rolle im ambitionierten und professionellen Tauchen ein.

7.1.2 Systemerweiterung Kommunikationseinheit

Die Kommunikationseinheit bildet eine Komponente der Systemerweiterung. Für eine Kommunikation unter Wasser kann sie an die Maske befestigt und integriert werden. Sie ermöglicht durch Kombination der Technologie des akustischen Tracking mit der Stereofonie auch ein Richtungshören unter Wasser und bietet dadurch eine relative Orientierung und ein Raumbezug der Tauchpartner zueinander.

7.1.3 Systemerweiterung Datenvisier

Eine andere Komponente der Systemerweiterung stellt das Datenvisier dar. Für eine Anzeige der Tauchdaten kann ein zusätzliches Mikrodisplay im Sichtfeld der Tauchermaske integriert werden. Dieses zeigt, die auf der Taucheruhr eingestellten Daten im Maskenvisier an und erlaubt auch bei schlechten Sichtbedingungen das Ablesen der Tauchdaten. Dabei sendet die Taucheruhr die Daten direkt an den Empfänger des Displays.

Aufgrund dieses Maskensystems ist es möglich, durch die Wahl einer Systemerweiterung gezielt auf die Anforderungen und Bedürfnisse der Zielgruppe einzugehen.

Die Tauchermaske kann somit als Grundausstattung (M), als Maske mit Datenvisier (M+DV), als Maske mit Kommunikationseinheit (M+KE) oder als Maske mit beiden Erweiterungen (M+DV+KE) verwendet werden.

7.2 Einsatzfelder der Systemkomponenten

Um zu zeigen, in welchen Bereichen des ambitionierten Sporttauchens bzw. des professionellen Tauchens die verschiedenen Systemkomponenten verwendet werden, ist es sinnvoll diese den jeweiligen Einsatzbereichen zuzuordnen.

Die folgende Darstellung soll die Anwendung der möglichen Systemkomponenten bezogen auf den Einsatzbereich bildlich verdeutlichen.

Einsatzfelder der Systemkomponenten



Rebreather Einsatz Wrack/Höhle Kälte/Eis Foto/Film
Forschung Rettung

- Systemkern Vollgesichtsmaske
- Systemerweiterung Kommunikationseinheit
- Systemerweiterung Datenvisier

8. Produktbeschreibung

Im Folgenden sollen die gestalteten Produkte bezüglich Funktion, Herstellung und Materialien beschrieben werden.

8.1 Vollgesichtsmaske

In meinem Konzept bildet die Vollgesichtsmaske den Kern meines Systems. Aufgrund der Beatmung mit Kreislaufgeräten ist die Vollgesichtsmaske mit sehr kleinem Totraum gestaltet. Dies ist notwendig um die Gefahr einer Kohlendioxidvergiftung durch zu großen Totraum vorzubeugen.

Die weiche Innenmaske besteht aus einem Raum für Augen und Nase und einem separaten Raum für den Mund (siehe dazu Kapitel 3 unter Punkt 3.3 Vollgesichtsmasken). Der separate Raum für den Mund ermöglicht durch die sehr kleine Ausführung das Beatmen und Sprechen ohne zusätzliches Beißmundstück.

Die Innenmaske ist aus einem künstlichen Kautschuk dem sogenannten EPDM gefertigt. EPDM ist die Abkürzung für "Ethylene Propylene Diene Monomer" und ist ein temperaturbeständiger, säurefester, ozonbeständiger und gegen UV-Strahlen unempfindlicher Kunststoff wie er bereits bei Vollgesichtsmasken verwendet wird.

Der festere Bereich der Luftführung mit beiden Luftanschlüssen und dem Mundraum sind aus einem stoßfestem Technopolymer (ABS) gefertigt. Weiche Innenmaske und Luftführung werden mittels Klebverfahren miteinander verbunden und bilden die gesamte Innenmaske. Die weichen Dichtungsmembranen bestehen aus Silikon.

Die Außenmaske ist wie die Luftführung aus stoßfestem Technopolymer z.B. ABS gefertigt. Durch die dünnwandige Ausführung ist eine gewisse Flexibilität

gewährleistet. Zudem ist eine einfache und kostengünstige Herstellung mittels Thermoformung möglich. An der Außenmaske sind die Halterungen für die Maskenbänder angebracht.

Die Maske verfügt über insgesamt fünf austauschbare Maskenbänder. Sie sind, wie die luftversorgenden Schläuche, ebenfalls aus elastischem EPDM gefertigt. Alle Maskenbänder sind an der Hinterkopfaufgabe befestigt. Diese besteht aus einem weichen Kunststoffkern welcher zur Unterseite mit komprimiertem Neopren versehen ist. Dieses Material bietet durch seine Beständigkeit und Elastizität maximalen Tragekomfort.

Das Visier der Vollgesichtsmaske ist aus bruchfestem und transparentem Polycarbonat gefertigt. Über die weiche Innenmaske wird das Visier mit der festeren Außenmaske verbunden.

8.2 Kommunikationseinheit

Für das Hören und Sprechen unter Wasser dient die Kommunikationseinheit. Im Unterschied zur normalen Kommunikation unter Wasser erlaubt diese Systemerweiterung ein Richtungshören unter Wasser. Da ohne Hilfsmittel für das menschliche Ohr nur sehr schwer ein Richtungshören unter Wasser möglich ist (siehe dazu Kapitel 4 unter Punkt 4.3 Hören unter Wasser) soll dies mit Hilfe von akustischem Tracking sowie kopfbezogener Stereophonie über zwei Kopfhörer ermöglicht werden.

Wie funktioniert´s?

Über Wasser reicht die Zeitdifferenz zwischen den Ohren aus, die Schallquelle räumlich zu lokalisieren. Unter Wasser ist dies für das menschliche Ohr durch die erhöhte Schallgeschwindigkeit nur begrenzt oder gar nicht möglich.

Durch drei Empfänger in dreieckiger Anordnung am Kopf des Tauchers kann die Signalquelle von einem Tauchpartner „räumlich“ wahrgenommen werden („tracking“). Unter Berücksichtigung dieser Richtungs-Information werden die akustischen Signale über die beiden Kopfhörer so „zeitverzögert“ auf die Ohren abgegeben, dass ein Richtungshören wieder möglich wird. Somit kann das Gesprochene des Tauchpartners akustisch und gleichzeitig räumlich wahrgenommen werden.

Die Datenübertragung erfolgt dabei akustisch. Das gesprochene wird digital erfasst und mittels Ultraschallimpulse an die Umgebung abgegeben. Dabei benützt jeder Taucher ein anderes Bandspektrum um sich von anderen Tauchern zu unterscheiden. Diese Form der Datenübertragung wird auch bei der normalen Unterwasserkommunikation verwendet und ermöglicht eine Übertragung über weitere Strecken bis maximal 300 m. Sender- und Empfängerchip können dabei in einem Gerät vereint werden.

Die beiden Kopfhörer mit je einem Empfänger werden links und rechts am Maskenband der Vollgesichtsmaske befestigt. Der Sender mit dem dritten Empfänger ist zentral direkt über der Maske am Maskenband befestigt. Beide Kopfhörer sowie der Sender sind mit dem Mikrofon an einem Datenkabel verbunden. Das Mikrofon wird zwischen Innenmaske und Außenmaske zum Mundraum geführt und von innen dichtverschraubt. Die elektronischen Bauteile werden wie bei ähnlichen Systemen wasserdicht vergossen und in einem Kunststoffgehäuse aus ABS untergebracht.

Die Energieversorgung erfolgt über je zwei aufladbare Zweizellen-Lithiumakkus, die in je einem Kopfhörerteil untergebracht sind.

8.3 Datenvisier

In meinem Konzept dient das Datenvisier als zusätzliche Anzeigefläche der Tauchdaten des Tauchcomputers. Der Tauchcomputer selbst befindet sich am

Handgelenk des Tauchers und sendet die Anzeigedaten mittels elektromagnetischen Wellen an den Empfänger des Datenvisiers. Diese Technologie der Datenübertragung unter Wasser wird speziell für kurze Distanzen eingesetzt wie z.B. beim Übertragen des Flaschendrucks mittels Sender auf den luftintegrierten Tauchcomputer (siehe dazu Kapitel 7.7 unter Punkt 7.7.4 Datenübertragung unter Wasser).

Das Datenvisier wird über den Tauchcomputer automatisch aktiviert, sobald dieser Wasserkontakt hat. Über den Tauchcomputer erfolgt auch die Einstellung der Optik des Datenvisiers bezüglich Bildabstand und Schärfe.

Das Datenvisier befindet sich innerhalb der Sichtscheibe der Vollgesichtsmaske und wird zentral vor der Stirn befestigt. Im Datenvisier werden mit Hilfe eines monokularen Mikrodisplays die Tauchdaten über Lichtleiter und einem optischen System vor das Auge projiziert. Dabei wird das Bild mittels Prisma ins menschliche Auge umgelenkt. Es entsteht ein virtuelles Bild in einem bestimmten Abstand vor dem Betrachter. Durch das transparente Prisma ist es möglich, die Umgebung trotzdem wahrzunehmen. Die Daten schweben im real wahrgenommenen Bild.

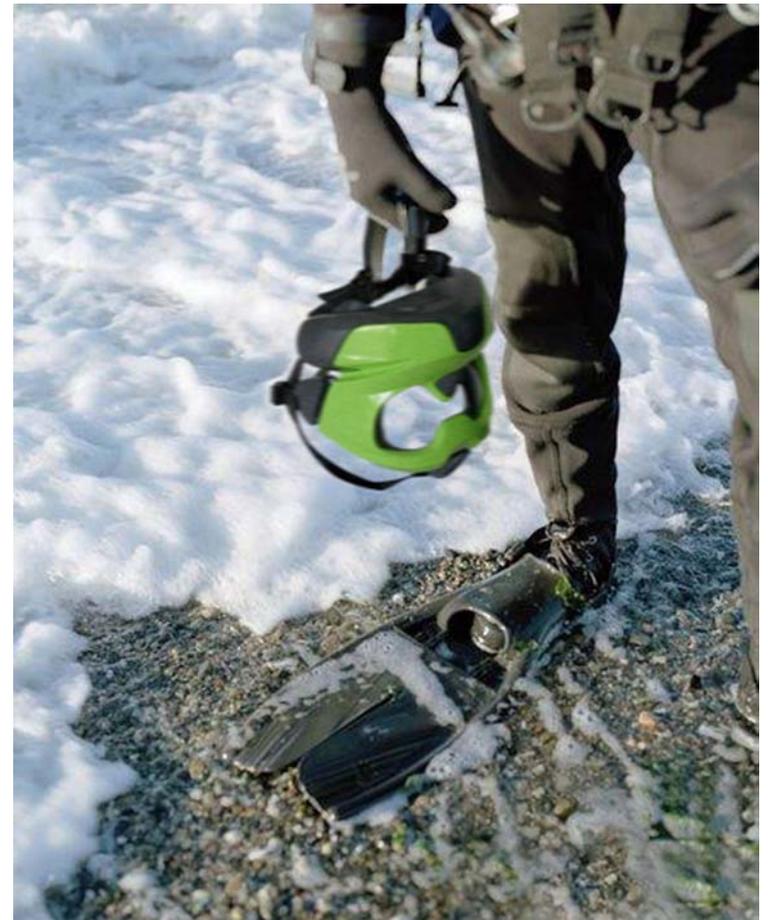
Diese Technologie stammt von der Firma MicroOptical und wird bereits für die zusätzliche Anzeige von Daten z.B. bei Montageanleitungen und Navigationssysteme verwendet.

Für das Senden und Empfangen der Daten sind sender- und empfangsseitig je eine Antenne, Stromversorgung und die Elektronik notwendig. Die Stabantenne nimmt dabei eine Länge von ca. 40 bis 60 mm bei einem Durchmesser von 5 bis 7 mm ein. Die Elektronik umfasst dabei zwei 44 Pin Prozessorchips mit ca. 11 x 12 mm Fläche. Durch die Verwendung von OLED-Mikrodisplays ist es möglich den Stromverbrauch auf ein Minimum zu reduzieren. Als Energiequelle ist je ein standardisierter, aufladbarer Zweizellen-Lithiumakku ausreichend.

9. Produktfotos







10. Fußnoten

- 1 Paulys Realenzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaft, Supplementband V, München 1931, Neuauflage 1972, Spalte 857 f.
- 2 Franz Kurowski, In die Tiefen der Meere, Von der ersten Taucherglocke zum modernsten Tieftauchboot, Pioniertaten der Meertechnik und der Ozeanforschung, Würzburg 1974, S.17
- 3 vgl.: Paulys Realenzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaft, Supplementband V, München 1931, Neuauflage 1972, Spalte 858
- 4 vgl.: Franz Kurowski, In die Tiefen der Meere, Von der ersten..., a.a.O., S.17
- 5 Propyläen Weltgeschichte, Frankfurt/Main, 1962, Band III, S. 416
- 6 Hermann Heberlein, Unterwasserwelt, BEA-Bücherdienst Kurt Bosshard, Zürich, 1958, S. 39
- 7 Erhard Schulz, Tauchen, Das Know-how für den Unterwassersport, Hamburg, 1978, S.12
- 8 Hypoxie [griech.]: Verminderung des Sauerstoffgehaltes bzw. der Zellatmung im Organismus u.a. infolge Beeinträchtigung der Atmung oder als Folge von Kreislaufstörungen; © Meyers Lexikonverlag
- 9 Franz Maria Feldhaus, Die Technik der Antike und des Mittelalters, Hildesheim - New York, 1971, S.348f
- 10 L. Sprague de Camp, Ingenieure der Antike, Düsseldorf - Wien, 1964, S. 185
- 11 vgl.: L. Sprague de Camp, Ingenieure der Antike, Düsseldorf - Wien, 1964, S. 185
- 12 Alexander Fertig, Handbuch für den Taucher, Stuttgart Berlin Köln, 1993, S. 18
- 13 vgl.: Alexander Fertig, Handbuch für den Taucher, Stuttgart Berlin Köln, 1993, S. 18
- 14 Das Gesetz von William Henry besagt: "Bei konstanter Temperatur steht die Menge des in einer Flüssigkeit im Sättigungszustand gelösten Gases im proportionalem Verhältnis zum Druck des über der Flüssigkeit stehenden Gases."
- 15 Handbuch Tauchen, Vorwort Hans Hass, Zürich, 1996, BLV Verlagsgesellschaft, S. 153
- 16 vgl.: Handbuch Tauchen, a.a.O., S. 25
- 17 Franz Kurowski, a.a.O., S. 147
- 18 Gierschner, Norbert: Tauchfahrzeuge, Die Geschichte der Unterwasserfahrzeuge, Berlin, 1987, VEB Verlag für Verkehrswesen., S. 98f
- 19 vgl.: Handbuch Tauchen, a.a.O., S. 19
- 20 Tauchen Praxislexikon, Loseblattbeilage der Zeitschrift Tauchen, Jahrgang, Verlag, Hamburg, 1996

- 21 vgl.: Alexander Fertig, Handbuch für den Taucher, Stuttgart Berlin Köln, 1993, S. 19
- 22 Blickfeld: Teil des Raumes, der bei unbewegtem Kopf, aber bewegten Augen noch scharf wahrgenommen werden kann;
© Meyers Lexikonverlag
- 23 Gesichtsfeld (Seh[ding]feld): der ohne Kopf- oder Augenbewegung wahrnehmbare Teil des Raumes;
© Meyers Lexikonverlag
- 24 Redundanz Zuverlässigkeitstheorie: Teil des Material- oder Betriebsaufwands für ein techn. System, der primär für ein ordnungsmäßiges Funktionieren nicht erforderlich ist. Erhöht er die Zuverlässigkeit, so spricht man von nützlicher Redundanz (z.B. Zweikreisbremssystem in Kfz).
© Meyers Lexikonverlag
- 25 Aerosol [a-e...; griech./lat.]: Bez. für ein Gas (insbes. Luft), das feste oder flüssige Schwebestoffe enthält. Bei flüssigen Schwebeteilchen (Tröpfchen) spricht man von Nebel, bei festen Teilchen von Rauch. In der Medizin werden A. in der Aerosoltherapie verwendet, bei der nebelförmig verteilte Medikamente in die Atemwege eingebracht werden;
© Meyers Lexikonverlag
- 26 Ernestine Hutter, Masken - Brauch und Mythos, Band 13 des Salzburger Museum Carolino Augusteum, S. 7
- 27 Nitrox: Kunstwort aus den englischen Wörtern Nitrogen (Stickstoff) und Oxygen (Sauerstoff). Im Prinzip ist Luft ein Nitrox 21 Gasgemisch, d.h. 21% Sauerstoff, 79% Stickstoff; Weitere gängige Mischungen: Nitrox 40 (40% Sauerstoff / 60% Stickstoff), Nitrox 50;
- 28 Heliox: Mischgas aus Helium und Sauerstoff; Durch Helium als Verdünnungsgas wird der durch Stickstoff verursachte Tiefenrausch verhindert;
- 29 Trimix: Dreifachgasgemisch aus Sauerstoff, Stickstoff und Helium;

11. Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1 Handschrift aus dem 15 Jahrhundert, Schwimmstiefel, aus Hermann Hebelein, Unterwasserwelt, Zürich, 1958, S. 52
- Abb. 2 Apnoe Taucher, Mares,
- Abb. 3 Kampfschwimmer, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 9
- Abb. 4 Zeichnung um 1430, Taucher mit Sicherheitsleine und Atemschlauch, aus Hermann Hebelein, Unterwasserwelt, Zürich, 1958, S. 57
- Abb. 5 Edmund Halley Taucherglocke von 1691, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 8
- Abb. 6 Tauchertonne von Lethbridge, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 11
- Abb. 7 Taucherhelm unten offen, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 14
- Abb. 8 Standard Diving Apparatus, aus Tauchen Praxislexikon, Loseblattbeilage der Zeitschrift Tauchen, Jahr-Verlag, Hamburg, 1996
- Abb. 9 Bahamas Project 1964, mit einem ähnlichen Aufbau wie das `Man in Sea Project`, aus Handbuch Tauchen, Vorwort Hans Hass, Zürich, 1996, BLV Verlagsgesellschaft, S. 21
- Abb. 10 Die Nautilus, aus Norbert Gierschner, Tauchfahrzeuge, Die Geschichte der Unterwasserfahrzeuge, Berlin, 1987, S. 77
- Abb. 11 Die Sp 3000, aus Norbert Gierschner, Tauchfahrzeuge, Die Geschichte der Unterwasserfahrzeuge, Berlin, 1987, S. 114
- Abb. 12 Touristen-U-Boot Auguste Piccard, aus Norbert Gierschner, Tauchfahrzeuge, Die Geschichte der Unterwasserfahrzeuge, Berlin, 1987, S. 140
- Abb. 13 Die Bathysphere, aus Hermann Hebelein, Unterwasserwelt, Zürich, 1958, S. 63
- Abb. 14a Exosuit, aus Zeitschrift "tauchen", Tech-Diving - Höhle, Wrack und Militär, Heft 12, Hamburg, 2000, S. 80
- Abb. 14b Newtsuit, aus Zeitschrift "tauchen", Tech-Diving - Höhle, Wrack und Militär, Heft 12, Hamburg, 2000, S. 80
- Abb. 15 Ein Remotely operated vehicle, aus Tauchen Praxislexikon, Loseblattbeilage der Zeitschrift Tauchen, Jahr-Verlag, Hamburg, 1996
- Abb. 16 Badetauchretter von 1926, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 31
- Abb. 17 Dräger-Dolphin, aus Zeitschrift "dive & travel 2000", Seite 46
- Abb. 18 Buddy Inspiration, aus Zeitschrift "tauchen", Heft 12, Seite 59
- Abb. 19 Rouquayrol's Gasregler, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 16
- Abb. 20 Rouquayrol's Gasregler mit Helm, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 16

- Abb. 21 Familien-Sport Tauchen 1958, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 22
- Abb. 22 Ausrüstung der 70er, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 24
- Abb. 23 Ausrüstung Tech-Taucher, aus Zeitschrift "tauchen", Tech-Diving - Höhle, Wrack und Militär, Heft 12, Hamburg, 2000, S. 31
- Abb. 24 Sehen unter Wasser, aus Peter und Andrea Schnick, Tauchen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2003, S. 27
- Abb. 25 Farbabsorption, aus Peter und Andrea Schnick, Tauchen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2003, S. 27
- Abb. 26 Wärmeverlust beim Tauchen, aus Peter und Andrea Schnick, Tauchwissen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2004, S. 9
- Abb. 27 Umgebungsdruck, aus Peter und Andrea Schnick, Tauchen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2003, S. 18
- Abb. 28 Trommelfell wölbt sich durch Überdruck nach innen, aus Peter und Andrea Schnick, Tauchen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2003, S. 25
- Abb. 29 Druckausgleich im Mittelohr über die Ohrtube, aus Peter und Andrea Schnick, Tauchen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2003, S. 25
- Abb. 30 Zusammensetzung der Atemluft, aus Peter und Andrea Schnick, Tauchen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2003, S. 18
- Abb. 31 Partialdruck der Luft, aus Peter und Andrea Schnick, Tauchwissen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2004, S. 14
- Abb. 32 Aufbau und Funktion des Kreislaufgerät Dräger Dolphin, aus Zeitschrift "tauchen", Tech-Diving - Höhle, Wrack und Militär, Heft 12, Hamburg, 2000, S. 58
- Abb. 33 CCR Submatix, aus www.submatix.com, am 26.02.2005
- Abb. 34 Bailout Flasche, aus www.divernet.com, am 29.03.2005
- Abb. 35 VPro von Oceanic, aus www.oceanic.com, am 27.02.2005
- Abb. 36 Colour Organic EL-Display von Pioneer, aus Katalog Preview In-Car Entertainment 2005, S. 4
- Abb. 37 Mikrodisplay der Fa. Microoptical, aus www.tribuneindia.com, am 25.03.2005

12. Quellenverzeichnis

Bammes, Gottfried: Wir zeichnen Menschen, Eine Grundlegung, Volk und Wissen, Volkseigener Verlag, Berlin 1989

Barsky, M.; Thurlow, Mark; Ward, Mike: Rebreathertauchen, blue point Verlag München, 1999

de Camp, L. Sprague: Ingenieure der Antike, Econ Verlag Düsseldorf - Wien, 1964

Dreyfuss, Henry: The measure of man and woman, human factors in design, Whitney Library of Design, New York, 1993

Feldhaus, Franz Maria: Die Technik der Antike und des Mittelalters, Darstellungen und Quellen der Technikgeschichte, Hildesheim - New York, Georg Olms Verlag, 1971

Fertig, Alexander: Handbuch für den Taucher, Stuttgart Berlin Köln, Verlag W. Kohlhammer, 1993

Flügel, Bernd; Greil, Holle; Sommer, Karl: Anthropologischer Atlas, Edition Wötzel, Frankfurt/Main, 1986

Gierschner, Norbert: Tauchfahrzeuge, Die Geschichte der Unterwasserfahrzeuge, Berlin, 1987, VEB Verlag für Verkehrswesen

Grützediek, Maike: Ausrüstung - Faszination Tauchen, Buch der Zeitschrift "tauchen", Jahr-Verlag GmbH & Co., Hamburg, 1999

Handbuch Tauchen, Vorwort Hans Hass, Zürich, BLV Verlagsgesellschaft, 1996

Heberlein, Hermann: Unterwasserwelt, BEA-Bücherdienst Kurt Bosshard, Zürich, 1958

Hoffmann, Uwe: Ausbildung im Sporttauchen, Band 2, Verlag Naglschmid, Stuttgart, 1998

Holzapfel, Rudolf B.: Richtig Tauchen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München, 2000

Hutter, Ernestine: Masken - Brauch und Mythos, Band 13 des Salzburger Museum Carolino Augusteum, Salzburg, 2004

Kurowski, Franz: In die Tiefen der Meere, Von der ersten Taucherglocke zum modernsten Tieftauchboot, Pioniertaten der Meertechnik und der Ozeanforschung, Würzburg, Arena Verlag, 1974

Odewald, Lutz: Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Jahr Top Special Verlag GmbH & Co., Hamburg, 2001

Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 250, Atemgeräte, Autonome Leichttauchgeräte mit Druckluft, Ausgabe 2000

Paulys Realenzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaft, Supplementband V, München 1931, Neuauflage 1972

Propyläen Weltgeschichte, Frankfurt/Main, Ullstein Verlag, 1962, Band I - X

Schnick, Andrea und Peter: Tauchwissen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2004

Schnick, Andrea und Peter: Tauchen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München
Wien Zürich, 2003

Schulz, Erhard: Tauchen, Das Know-how für den Unterwassersport, Hamburg,
Rowohlt Taschenbuchverlag, 1978

Varju, Dezsö: Mit den Ohren sehen und den Beinen hören; die spektakulären
Sinne der Tiere, Beck Verlag, München, 1998

Wenninger, Gerd: Lexikon der Psychologie - in fünf Bänden, Bd. 2 F bis L.,
Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Berlin, 2001

Workbook Dräger: NRC - Nitrox & Rebreather College, German Edition,
09/2000

Zeitschrift "dive&travel": Der Tauchkatalog 2000, Tauch- und Reisewelt
Mönchengladbach GmbH, 2000

Zeitschrift "dive&travel": Der Tauchkatalog 2004, Tauch- und Reisewelt
Mönchengladbach GmbH, 2004

Zeitschrift "tauchen": Tech-Diving - Höhle, Wrack und Militär, Heft 12, Jahr-
Verlag GmbH & Co., Hamburg, 2000

Zeitschrift "tauchen": Test 2003, Jahr-Verlag GmbH & Co., Hamburg, 2003

<http://de.wikipedia.org/wiki/OLED>

<http://tauchen.nullzeit.at>

<http://www.wnplanet.com/t-history0.htm>

www.draeger.de

www.eduhi.at

www.golem.de/0006/8370.html

www.infos.aus-germanien.de

www.inovations-report.de

www.ipms.fraunhofer.de/publications/y2004/txt_040614hb.shtml

www.liteye.com

www.microoptical.net

www.microvision.com

www.oraclebmwracing.com

7.3 Konzeptrelevante Ausrüstung

Für die Gestaltung der Tauchermaske für den professionellen und sportlichen Einsatz möchte ich im Folgenden jene Ausrüstung erläutern, die für das Konzept von Bedeutung sind.

7.3.1 Kreislaufgeräte

Mein Konzept der Tauchermaske sieht die Verwendung von Kreislaufgeräten für die Beatmung vor. Dabei liegen die Gründe für die Konzipierung der Maske für Kreislaufgeräte im Wesentlichen in den Vorteilen dieser Ausrüstung, welche den Anforderungen meiner Zielgruppe im professionellen Tauchen als auch im ambitionierten Sporttauchen am meisten gerecht werden.

Im konventionellen Tauchsport werden vorwiegend offene Systeme eingesetzt. Dabei werden die Atemgase nach einmaligem Gebrauch irreversibel an die Umgebung abgegeben. Das Bekannteste darunter ist die gute alte Pressluftflasche mit Lungenautomat. Bei diesem System wird, das in der Druckluftflasche vorhandene Gas, durch mindestens eine druckreduzierende Stufe auf Umgebungsdruck gebracht. Der Taucher atmet mit jedem Atemzug Frischgas (Pressluft) aus der Vorratsflasche ein und gibt die ausgeatmete Luft ins Wasser ab. Dabei nutzt der Taucher effektiv nur 4 % (ca. 1 % in 30 m Wassertiefe) des angebotenen Sauerstoffs aus der Atemluft. Die restlichen 17 % werden ungenutzt ins Wasser abgegeben.

Dieses System wird fast ausschließlich sowohl von Hobbytauchern als auch von Sporttauchern eingesetzt. Der Grund dafür liegt in der sicheren und relativ einfachen Handhabung offener Systeme.

Warum Kreislaufgeräte?

Die Vorzüge von Kreislaufgeräten liegen vor allem in der besseren Gasausbeute. Ein Kreislaufgerät oder auch Rebreather (engl. "Wiederatmer") genannt, nutzt das Atemgas in einem höheren Grad, indem die Ausatemluft regeneriert und zur Wiederveratmung in den Kreislauf gegeben wird. Das vom menschlichen Körper abgegebene Kohlendioxid wird dabei durch ein CO₂ absorbierendes Material (sog. Atemkalke) chemisch entzogen und der fehlende Sauerstoff über eine Druckflasche hinzudosiert. Das frische Atemgas wird nun über den Einatembeutel wiederum zum Taucher geführt, also weiterverwendet. Dieses Prinzip wird nicht nur in vielen U-Booten, sondern auch in der Raumfahrt verwendet.

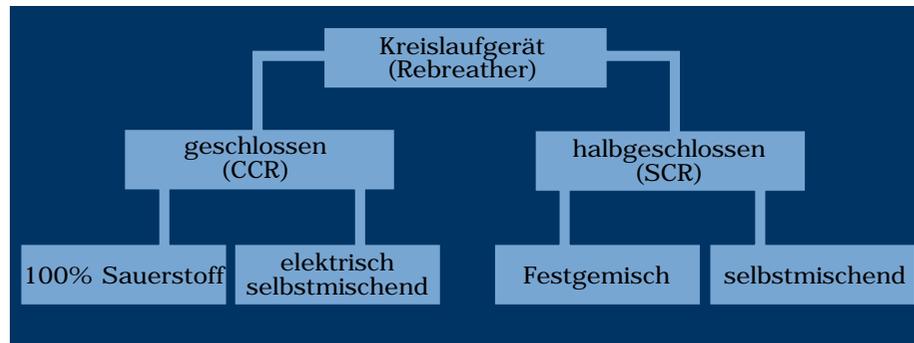
Vorteile gegenüber offenen Systemen

- Bis zu 95 % weniger Gasverbrauch
- Tiefenunabhängiger Gasverbrauch
- Erheblich längere Nullzeiten
- Fast lautloses Tauchen – keine störende Blasenbildung
- Geringere Narkosewirkung des Stickstoffes durch Mischgas
- Kompaktere, kleinere und leichtere Bauweise
- Warme Atemluft und somit wärmere Tauchgänge
- Feuchte Atemluft verringert die Gefahr der Dehydrierung

Nachteile gegenüber offenen Systemen

- Erhöhter Wartungsaufwand
- Gefahr bei unsachgemäßer Handhabung
- Mitführen eines Bailout Systems notwendig (Redundanz ²⁴)
- Mischgasnetz nicht so ausgebaut
- Höhere Anschaffungskosten

Unterteilung der Kreislaufgeräte



Halbgeschlossenes Kreislauftauchgerät (SCR - Semi Closed Rebreather)

Bei einem halbgeschlossenen Kreislauftauchgerät wird dem gereinigten Ausatemgas über die Konstantdosierung eine definierte Menge Frischgas (sog. Premix) wie Nitrox²⁷, Heliox²⁸, Trimix²⁹, o.ä. zugeführt. So steht dem Taucher jederzeit eine ausreichende Menge Sauerstoff für die Atmung zur Verfügung.

Charakteristisch ist der kompakte Aufbau der Tauchgeräte wobei ein Faltschlauch den Taucher über ein Mundstück beidseitig mit dem Tauchgerät verbindet. Weiterhin wird ein Bailout-System (unabhängige Notfallversorgung) mitgeführt.

Durch die Wiederverwendung des Ausatemgases unter konstanter Zudosierung

von Frischgas wird nur minimal Ausatemgas durch ein Überdruckventil im Ausatembeutel an die Umgebung abgegeben. Die mitgeführte Vorratsmenge von Atemgas ist stark reduziert und mit einer Vorratsflasche von 4 oder 5 Liter ausreichend. Ein Beispiel für ein halbgeschlossenes Kreislaufgerät ist das Dolphin von der Fa. Dräger (siehe Abb. 32) sowie das SCR von Submatix (siehe Abb.33).

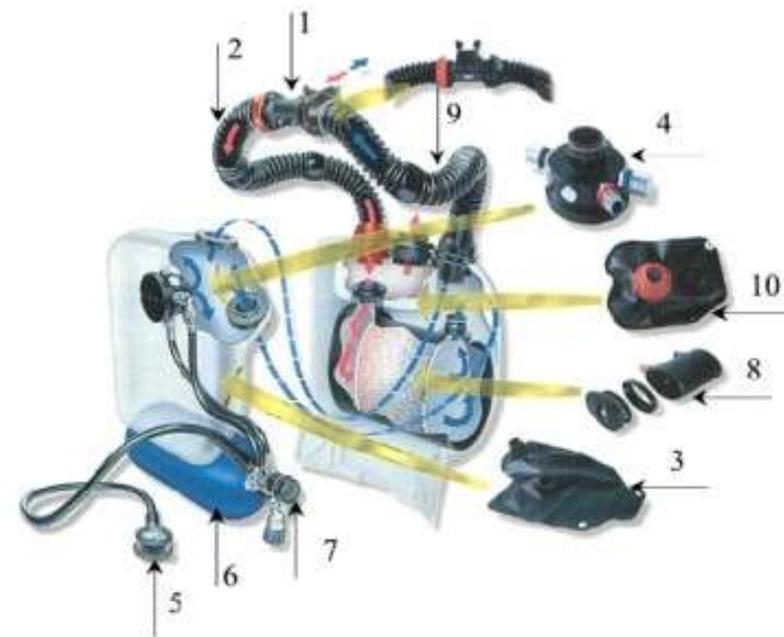


Abb. 32 "Aufbau und Funktion Dräger Dolphin"



Abb. 33 "SCR Submatix"

Geschlossenes Kreislaftauchgerät (CCR - Closed Circuit Rebreather)

Die Wirkungsweise und der Aufbau sind mit dem halbgeschlossenen Kreislaftauchgerät annähernd identisch. Der Unterschied besteht nur in der Zuführung des Frischgases. Bei einem geschlossenen Kreislaftauchgerät wird das benötigte Frischgas ausschließlich nach Verbrauch und Tiefe dosiert. Das bedeutet, dass außer im Auftauchvorgang niemals ein Gasüberschuss vorhanden ist und keine Blasenbildung entsteht. Diese Geräte arbeiten somit blasenfrei, d.h. der trainierte Taucher erzeugt keinerlei Bewegungen an der Wasseroberfläche. Ein Beispiel für ein geschlossenes Kreislaufgerät ist das Buddy Inspiration (siehe Kapitel 2.4.1, Abb. 18).

Sauerstoff-CCR´s werden überwiegend für die Unterwasserfilm- und Fotografie benutzt, z. B. für die Manipulation von Gegenständen oder Personen im Wasser. Aus dem militärischen Taucherwesen sind besonders die Sauerstoff - Kreislaftauchgeräte der Kampfschwimmer bekannt. Es werden jedoch auch Rein- oder Mischgase verbrauchs- und tiefenabhängig im Gerät gemischt. Die Messung und Steuerung der Mischung erfolgt dabei mechanisch und/oder elektronisch.

7.3.2 Bailout-Systeme

Bailout-Systeme sichern dem Taucher die notwendige Redundanz, d.h. bei Versagen der Hauptatemversorgung ist die sichere Rückkehr zur Oberfläche durch ein unabhängiges Versorgungssystem gewährleistet.

Bei Kreislaftauchgeräten ist es notwendig ein solches System mitzuführen. Dabei handelt es sich um eine kleine, separate Mischgas-Flasche, die mit einem eigenen Atemregler versehen ist. Dadurch wird auch die Wechselatmung mit anderen Tauchpartnern ermöglicht (siehe Abb. 34).



Abb. 34 "Bailout Flasche"

7.4 Ergonomie

Um eine optimale Anpassung der Tauchermaske an den Menschen zu ermöglichen, ist es notwendig zuerst die für die Gestaltung relevanten Kopf- und Schädelmaße zu erleutern.

7.4.1 Kopf und Schädel

♀	69	♂	71
♀	60	♂	61
♀	51	♂	51

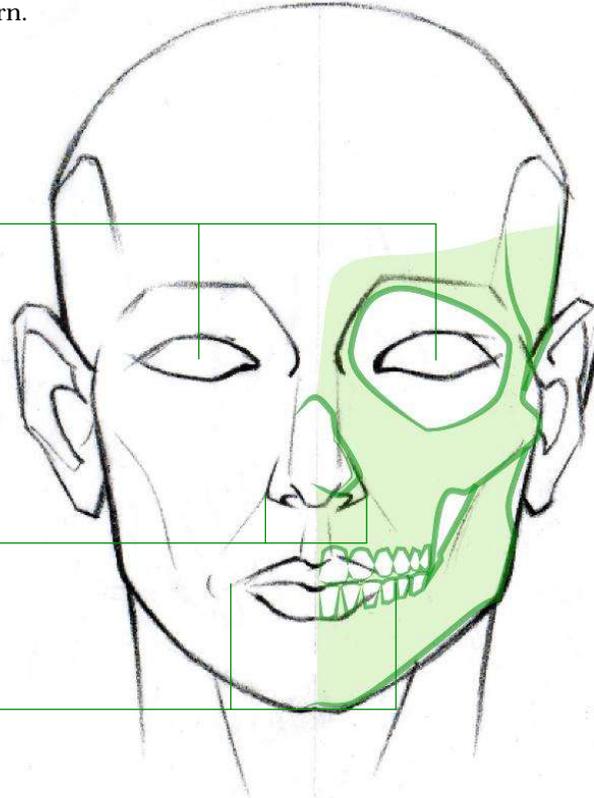
Pupillardistanz

♀	34	♂	40
♀	31	♂	35
♀	28	♂	30

Nasenbreite

♀	53	♂	61
♀	43	♂	51
♀	36	♂	36

Mundbreite



♀	122	♂	122
♀	112	♂	112
♀	102	♂	102

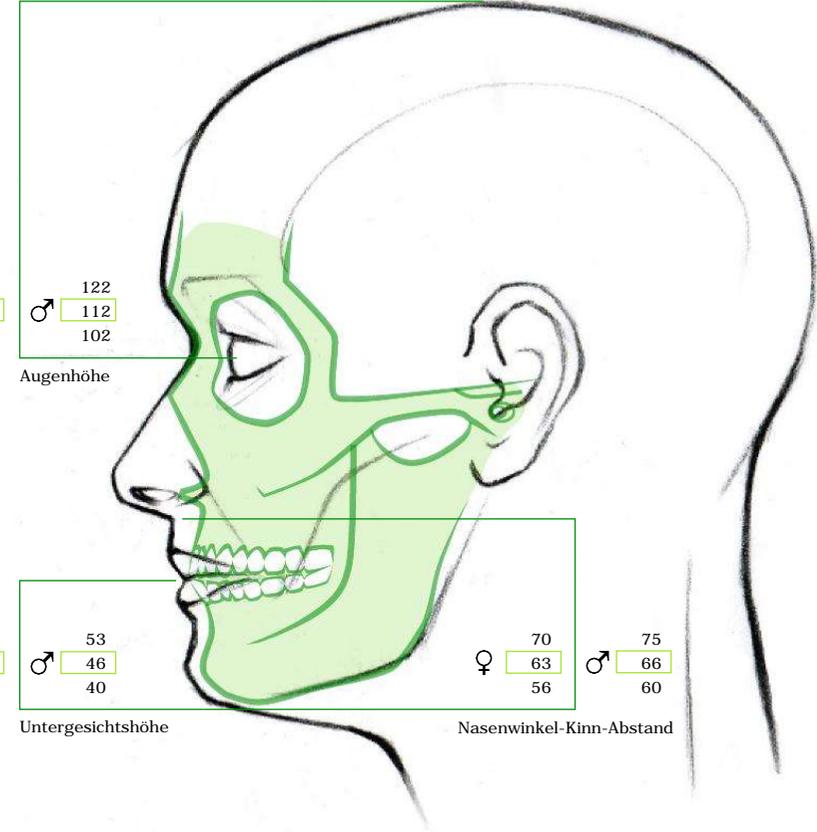
Augenhöhe

♀	50	♂	53
♀	44	♂	46
♀	39	♂	40

Untergesichtshöhe

♀	70	♂	75
♀	63	♂	66
♀	56	♂	60

Nasenwinkel-Kinn-Abstand



♀ 143
 ♀ 135
 ♀ 127

♂ 154
 ♂ 144
 ♂ 134

Jochbogenbreite

♀ 580
 ♀ 552
 ♀ 528

♂ 604
 ♂ 578
 ♂ 550

Kopfumfang

♀ 114
 ♀ 107
 ♀ 100

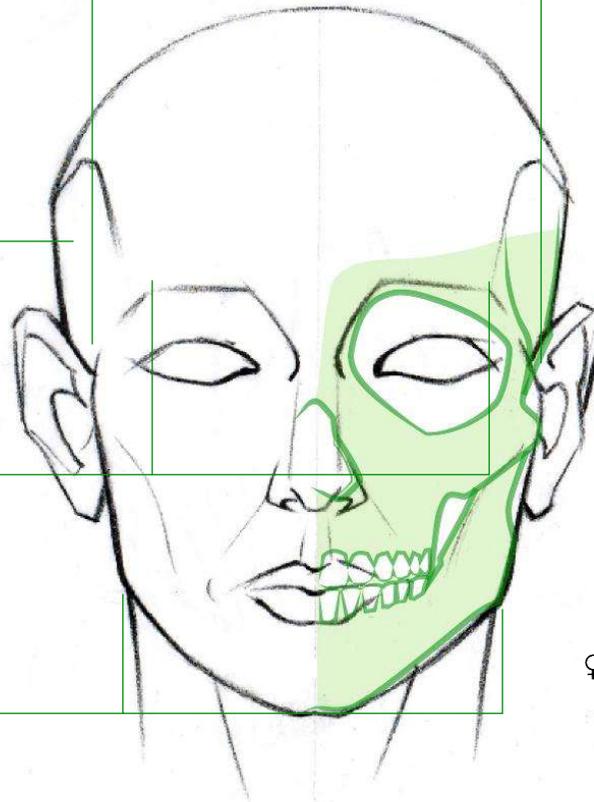
♂ 119
 ♂ 111
 ♂ 103

Kleinste Stimbreite

♀ 111
 ♀ 103
 ♀ 95

♂ 121
 ♂ 111
 ♂ 101

Unterkieferwinkelbreite



♀ 191
 ♀ 181
 ♀ 170

♂ 201
 ♂ 190
 ♂ 179

Größte Kopflänge

♀ 135
 ♀ 122
 ♀ 109

♂ 137
 ♂ 125
 ♂ 112

Ohrhöhe
des Kopfes

♀ ♂ 45%

♀ 69
 ♀ 58
 ♀ 48

♂ 74
 ♂ 64
 ♂ 51

Ohrlänge

♀ 222
 ♀ 205
 ♀ 188

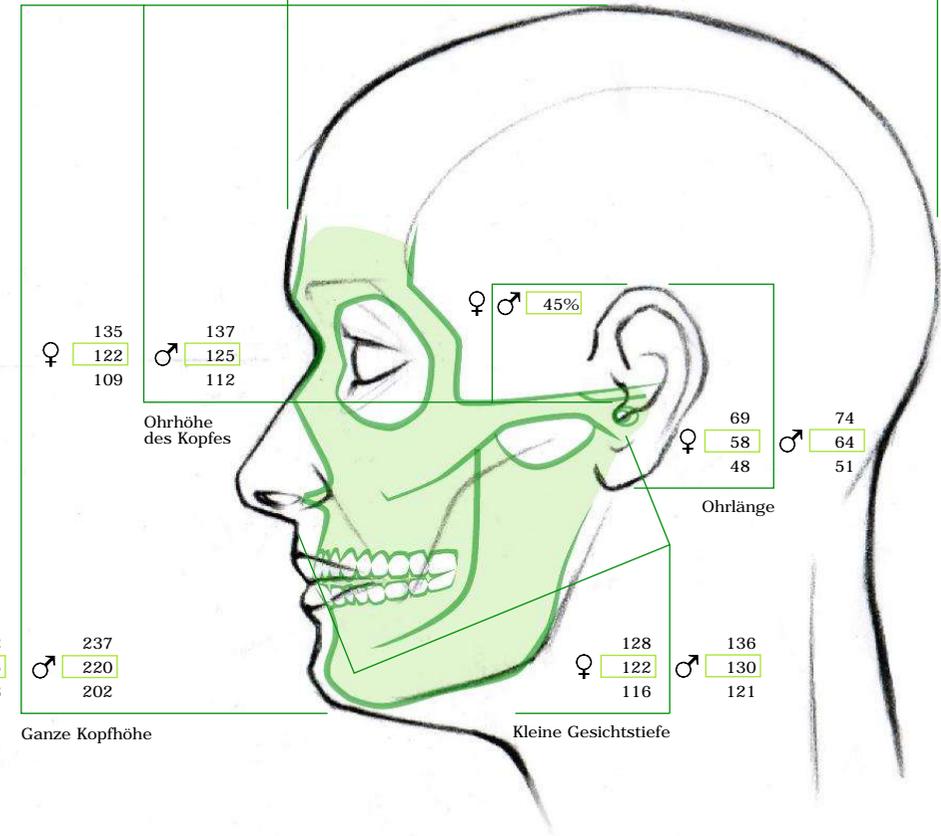
♂ 237
 ♂ 220
 ♂ 202

Ganze Kopfhöhe

♀ 128
 ♀ 122
 ♀ 116

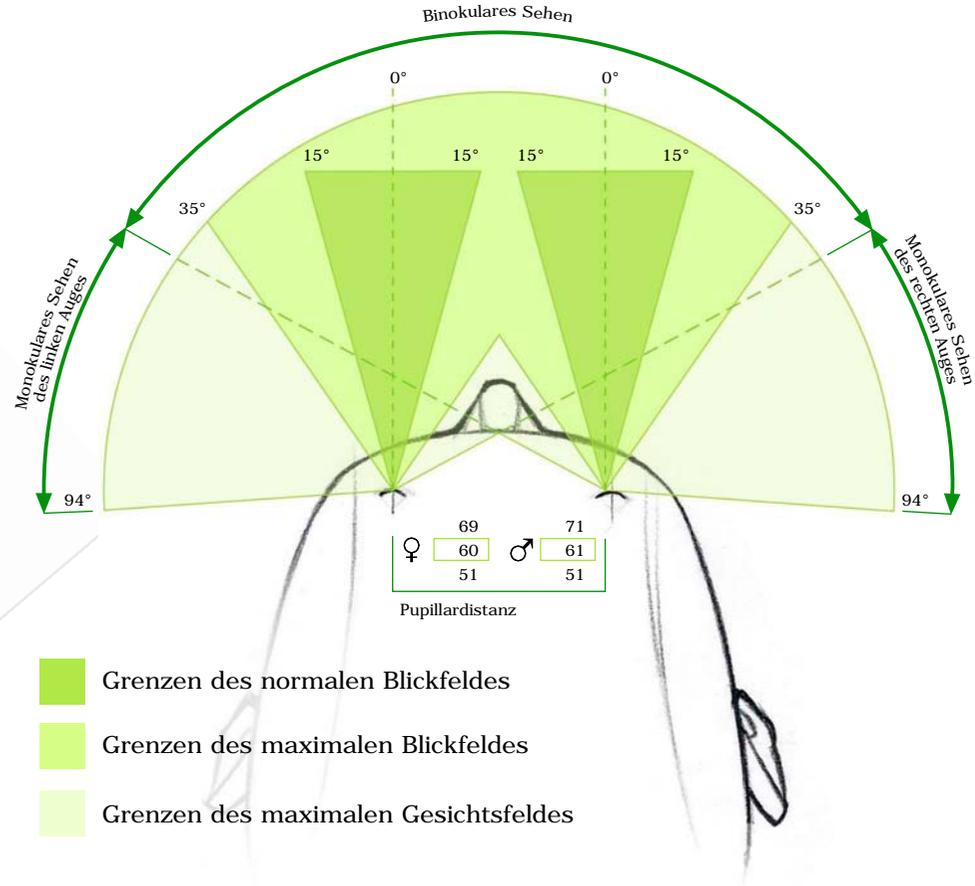
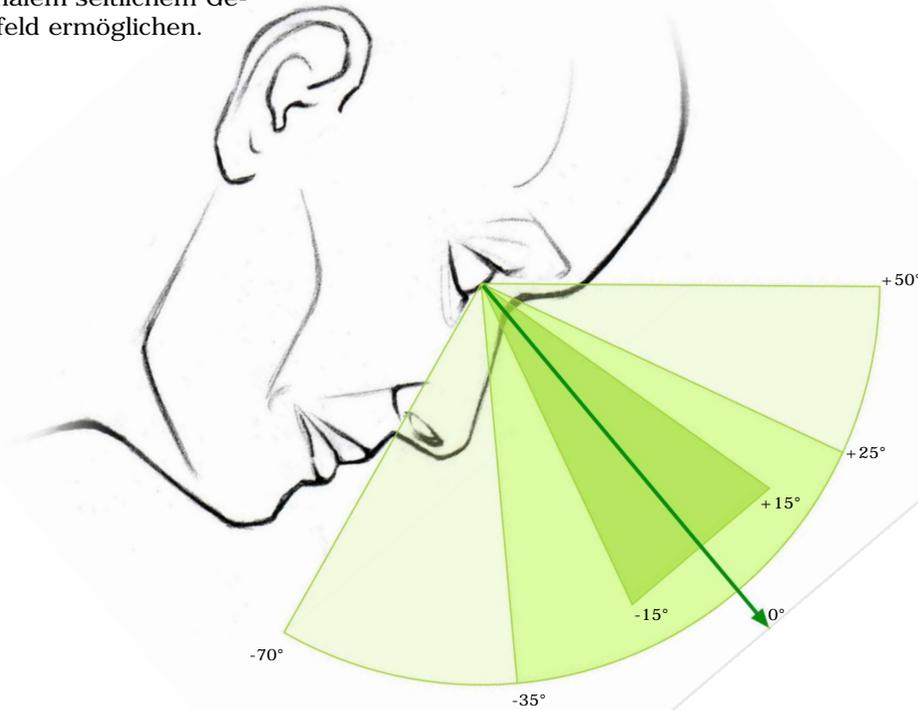
♂ 136
 ♂ 130
 ♂ 121

Kleine Gesichtstiefe



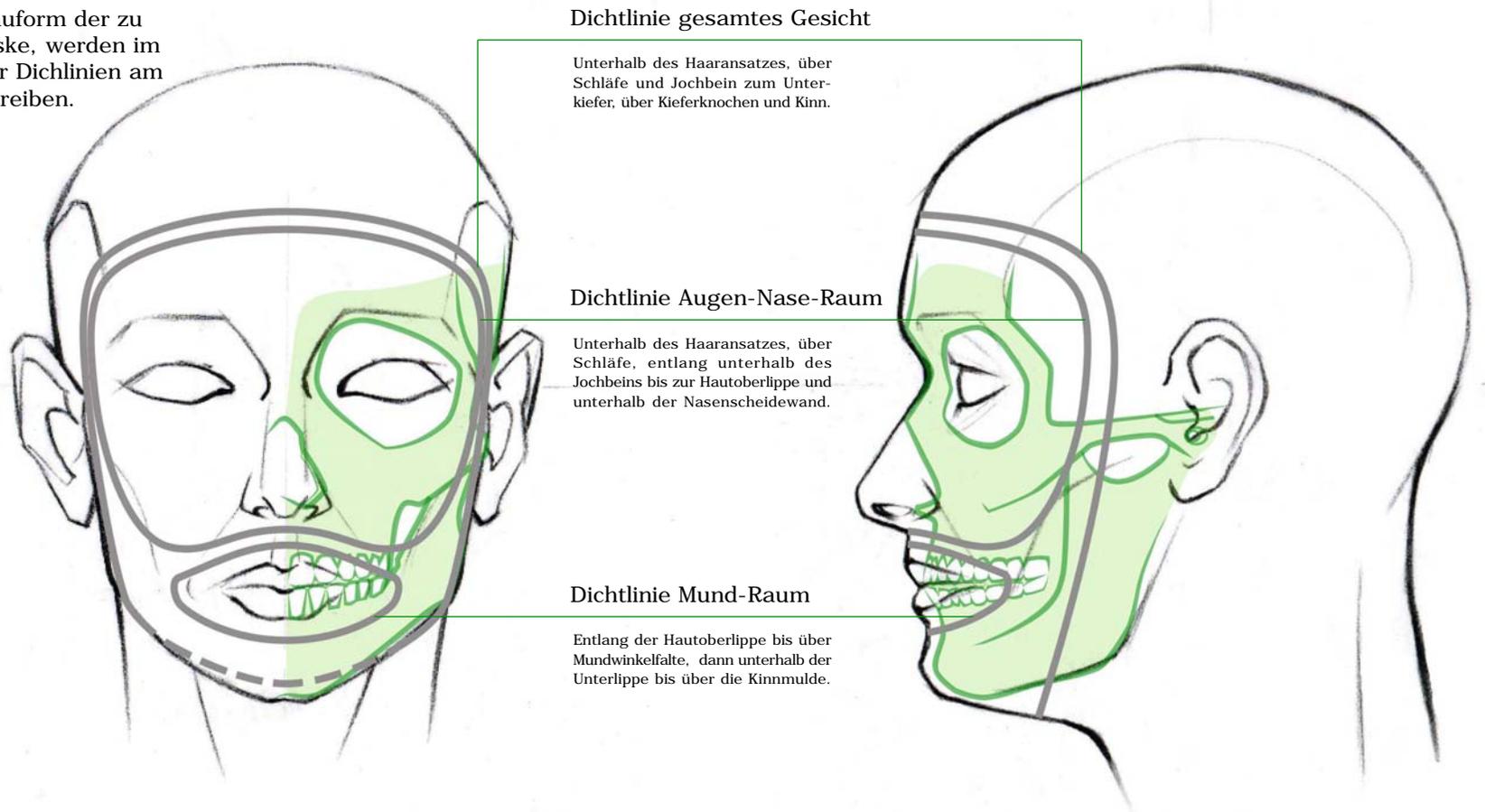
7.4.2 Gesichts- und Blickfeld

Um ein maximales Gesichts- und Blickfeld bei der Tauchermaske zu erreichen, sind die Grenzen der visuellen Wahrnehmung zu berücksichtigen. Da beim Tauchen die Blickrichtung größtenteils auf den Boden zeigt, soll die Gestaltung ein großes unteres Blickfeld bei maximalem seitlichem Gesichtsfeld ermöglichen.



7.4.3 Dichtlinien der Tauchermaske am Kopf

Gemäß der gewählten Bauform der zu gestaltenden Tauchermaske, werden im Folgenden der Verlauf der Dichtlinien am menschlichen Kopf beschrieben.



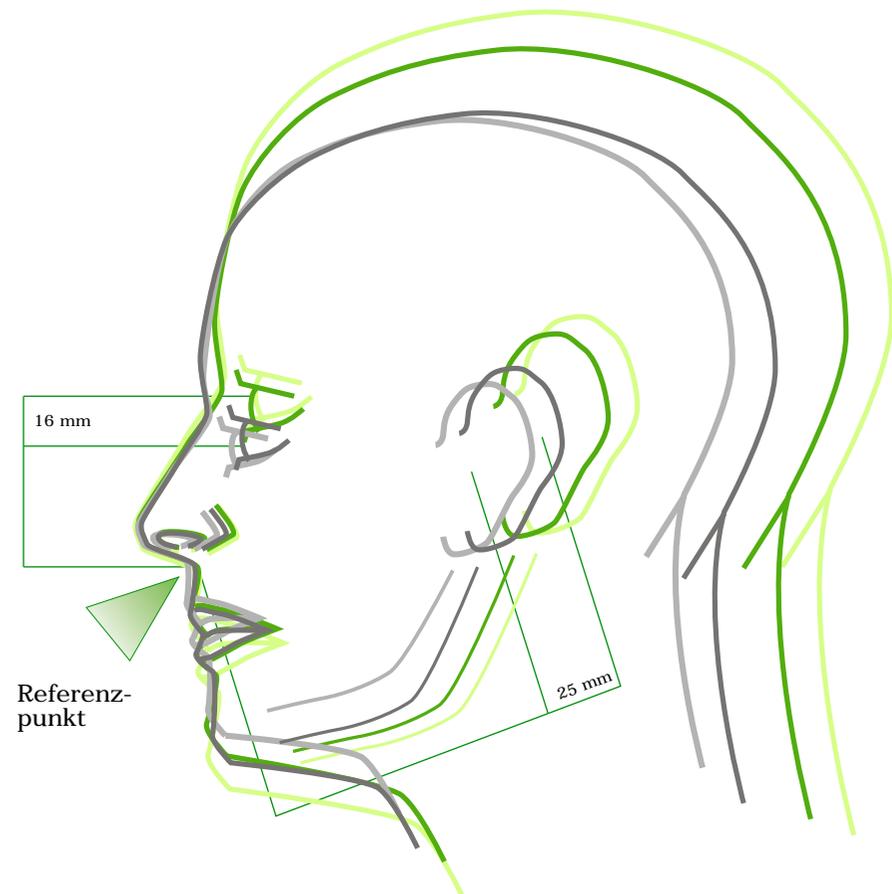
7.4.4 Kopfgrößenvergleich

Beim Vergleich der verschiedenen Kopfgrößen vom großen Mann bis zur kleinen Frau ergibt sich für die Gestaltung ein Referenzpunkt. Von diesem werden die maximalen Größenunterschiede ersichtlich.

Der gewählte Referenzpunkt unterhalb der Nasenscheidewand zeigt eine gleichmäßige Größenzunahme nach oben und nach unten. Die größte Zunahme erfolgt beim Hinterkopf. Für das Maskenkonzept wichtige Größen sind die Lageänderung der Horizontallinie der Augen sowie die Lageänderung des Gehörgangs in Bezug auf den Referenzpunkt.

Zudem laufen am gewählten Referenzpunkt die Dichtlinien des Augen-Nasen-Raumes mit der Dichtlinie des Mundraumes zusammen, sodass sich für die Gestaltung der Maske dieser Referenzpunkt anbietet.

- 95 Perzentil Mann
- 50 Perzentil Mann / 95 Perzentil Frau
- 50 Perzentil Frau / 5 Perzentil Mann
- 5 Perzentil Frau



7.5 Gestalterischer Ansatz

7.5.1 Maskenphänomen

Sich das Gesicht mit einer Maske (von franz., ital., arab. maschera = „Possenreißere“) zu verhüllen, ist eine Kulturhandlung, die es von der Ur- und Frühgeschichte an bis zum heutigen Tag überall auf der Welt gab und gibt. Ihr Ursprung ist rituell-kultischer Natur. In einer Welt, in der Geister und Dämonen lebten, wollte der Mensch diese Wesen nachahmen, erschrecken oder besänftigen oder womöglich gar täuschen.

Auch heute noch, da wir nicht mehr (oder viel weniger) an Geister und Dämonen glauben, ist dieser Effekt, den Masken bewirken erhalten geblieben. Dies wird deutlich wenn man z. B. einem Perchten-Lauf zusieht: „Die Masken haben etwas so Unabweisliches, Unwiderstehliches, dass wir bei der direkten Begegnung in eine emotionale Verwirrung geraten, die zwischen Heiterkeit und Schaudern, wenn nicht gar offener Angst pendelt. Und dies trotz des Wissens, das hinter den Masken ganz gewiss hochanständige Menschen stecken. Die Maske ist ein Gegenstand, der uns über alle zivilisatorischen und kulturellen Entwicklungen hinweg klar macht, dass wir eng mit unseren Gattungsgenossen der Urgeschichte verwandt sind...“²⁶

Jetzt stellt sich folgende Frage: Lösen auch Masken ohne bewusste Darstellung von Figuren einen solchen Effekt aus?

Auch solche Masken ohne scheinbaren Ausdruck haben ihre Wirkung auf den Träger und den Betrachter. Dieses Phänomen ist im Alltag immer und überall anzutreffen. Masken z.B. als Schutz für den Kopf, als Schutz gegen gefährliche Viren bei Seuchen oder Medizinische Masken für die Hygiene. Auch ohne ihren gewollten Ausdruck sind solche Masken teilweise provozierend, sind anonymisierend und sie setzten unbewusste Emotionen und Kräfte frei.

Doch warum entstehen solche Emotionen?

Wir interpretieren das Gesehene auf der Grundlage unseres Vorwissens sowie gefärbt durch unsere persönlichen und kulturellen Wertvorstellungen, Einstellungen und Interessen. Diese Interpretation ist von unseren Vorerfahrungen, aber auch von gewissen Gesetzmäßigkeiten der Wahrnehmung abhängig. Figur, Form, Farbe sowie die Symbolik des Wahrgenommenen werden mit Erfahrungen verknüpft und lösen somit entsprechende Emotionen aus.

Zum Beispiel wird das Betrachten einer Gasmaske unweigerlich mit Krieg, Gift, Tod o. ä. in Verbindung gebracht und als beängstigend und abstoßend empfunden, obwohl sie als Schutz für den Menschen gestaltet wurde. Form und Gestalt sind in diesem Beispiel größtenteils negativ emotional besetzt.

Jedoch gibt es auch angeborene Wahrnehmungsbeeinflussungen positiver Natur. Das Kindchenschema ist ein Beispiel für eine solche positiv besetzte Wahrnehmung. Kindliche Formen wirken als emotionaler Schlüsselreiz und sprechen den Pflegeinstinkt an, wobei wir spontan freundliche und liebevolle Gefühle empfinden.

Die Spielzeugindustrie hat sich das Kindchenschema bei Puppen und Plüschtieren zu Nutzen gemacht, wobei verschiedene Einzelmerkmale des Kindchenschemas vielfach stark übertrieben werden. Auch in der Werbung werden oft Kinder mit großen dunklen Augen sowie kleine Tiere als Aktivierungstechnik eingesetzt bzw. mit den beworbenen Produkten in Verbindung gebracht.

Dieser Zusammenhang von Wahrnehmung und auslösenden Emotionen ist für mich ein wichtiger psychologischer Faktor, der bei der Gestaltung der Tauchermaske Berücksichtigung finden soll.

7.5.2 Vollgesichtsmaske - neue Ästhetik

Bei der Gestaltung einer Vollgesichtsmaske für Taucher war es mir sehr wichtig, den Schutz vor äußeren Einflüssen in der Gestaltung zu zeigen. Wie ein Schild soll die Maske das weiche Gesicht vor äußeren Einflüssen schützen. Dieser Gedanke einer Schutzhülle versuchte ich in Form einer festen Außenschale zu realisieren. Diese feste Außenmaske nimmt dabei die weiche und flexible Innenmaske auf. Die Innenmaske selbst bildet die Verbindung zum Gesicht und dichtet dieses nach außen ab.

Mein Gestaltungsansatz sieht eine Integration der Zu- und Abluftschläuche des Kreislaufsystems in der Vollgesichtsmaske vor, um eine möglichst kompakte Einheit zu erhalten. Dabei zeigen die ersten Entwürfe den Mund-Raum und den Augen-Nasen-Raum als eine verbundene Einheit (siehe Punkt 7.6 Skizzen und Entwürfe, Seite 50 und 51).

Im nächsten Schritt versuchte ich die Unterbringung einer Kommunikationseinheit auch in der Maskengestaltung anzuzeigen. Die Verbindung von Mundraum und Ohren – Sprechen und Hören - nehmen in Form eines Einschnitts zwischen Mund-Raum und Augen-Nasen-Raum dieses Thema auf. Gleichzeitig unterstreicht dieser Einschnitt die Bauform der Vollgesichtsmaske. Er teilt optisch den oberen Augen-Nasen-Raum vom unteren Mund-Raum (siehe Skizzen und Entwürfe, Seite 52 und folgende).

Bei der Formensprache wählte ich anfänglich eher organische und weiche Formen. Im Gegensatz dazu zeigen die späteren Entwürfe mit den markanten Einschnitten sehr klare und hart wirkenden Konturen. Sie sollen die schützende und abwehrende Funktion der Außenschale anzeigen und verstärken (siehe Skizzen und Entwürfe, Seite 53 und 54).

Um die Gestaltung des Augen-Nasen-Raumes so klein wie möglich zu halten, wählte ich eine sphärische Ausführung des Visiers. Jedoch war hier der Radius so groß zu wählen, dass kein zu starker Linseneffekt entsteht, welcher das Auge nicht mehr ohne zusätzliche Hilfsmittel (optische Linsen) ausgleichen könnte.

Den Krümmungsradius habe ich deshalb von einer am Markt befindlichen Vollgesichtsmaske – Träger Secora 500 – übernommen. Diese gewählte Krümmung verkleinert den üblichen Vergrößerungseffekt unter Wasser auf die Originalgröße, d.h. Gegenstände unter Wasser erscheinen gleich groß wie über Wasser. Gleichzeitig vergrößert sich mein Blickfeld um ca. ein Drittel.

Dieses sphärische Visier ermöglicht eine sehr kompakte Ausführung des Augen-Nasen-Raumes, da sich die Krümmung des Visiers der menschlichen Gesichtsförm anpasst. Zudem erweitert sie das seitliche Gesichtsfeld des Tauchers auf annähernd 180° trotz kleiner Sichtscheibe. Ein wichtiges Gestaltungsdetail bildet die Integration des Visiers in den Maskenkörper. Durch die geringe Krümmung des Visiers war es erforderlich den Maskenkörper so zu gestalten, dass dieser seitlich über die Scheibe greift (siehe Skizzen und Entwürfe, Seite 56).

Ein weiterer wichtiger Punkt war es, die Nase frei zugänglich zu gestalten, um den notwendigen Druckausgleich im Mittelohr intuitiv und natürlich ausführen zu können. Die Gestaltung erwies sich dahingehend als schwierig, da im Nasebereich die äußere Schale "offen" sein muss, um die mit der weichen Innenmaske umschlossenen Nase greifen zu können. Da nicht die gesamte Nase, sondern jener Bereich unterhalb des Nasenbeins für das Verschließen der Nasenöffnung erforderlich ist, wurde dieser in der Außenmaske ausgespart. Somit entstand ein offener Bereich, der aber formal geschlossen wirkt (siehe Skizzen und Entwürfe, Seite 58 und 59).

Ein bedeutender Bereich stellt der Mundraum mit den beiden Luftanschlüssen dar. Im Mundraum sind die technischen Membranen für die Luftführung untergebracht. Gleichzeitig soll die sichere Luftversorgung signalisiert werden. Da die Beatmung der Maske anhand von Kreislaufgeräten erfolgt, versuchte ich die Luftführung über die Maske sichtbar zu machen, weshalb sich der untere Teil der Maske optisch über die Farbe und technisch über eine Trennfuge von der Außenschale absetzt.

Die Luftversorgung wird vom seitlichen Luftanschluss über den Mundbereich zum anderen Luftanschluss hin angedeutet. Im Mundbereich befindet sich eine Verriegelungstaste, die durch Drücken die Auslass-Membrane blockiert. So kann die Maske leicht ausgeblasen werden. Die beiden Luftanschlüsse sind so gestaltet, dass sie optisch die Schläuche umgreifen und festhalten. Dabei nehmen sie formal die Konturlinien der Maske auf und bilden eine kompakte Einheit (siehe Skizzen und Entwürfe, Seite 60 bis 62).

Für die Befestigung der Vollgesichtsmaske am Kopf des Tauchers sind laut Norm fünf Maskenbänder notwendig. Ein wichtiges Kriterium bei der Gestaltung stellt ein hoher Tragekomfort dar. Gleichzeitig soll eine schnelle und einfache Handhabung beim An- und Ablegen der Maske gewährleistet werden. Durch eine Auflage am Hinterkopf des Tauchers wird ein sicherer und weicher Sitz der Maske ermöglicht. Die Schnallen für die Bänderverstellung sind ebenfalls auf dieser Auflage angebracht. Dadurch wird das lästige Einklemmen von Haaren in den Gummibändern vermieden. Die drei oberen Bänder sollen dabei einmalig auf den Taucher eingestellt werden, die beiden unteren Maskenbänder dienen zum schnellen Spannen und Lösen der Maske. Durch einen Löseriemen unterhalb des Kinns des Tauchers können diese beiden Bänder in einem Handgriff gelöst werden.

Neben der Funktion der Maskenhalterung dienen die oberen drei Maskenbänder auch zur Befestigung der optionalen Kommunikationseinheit.

Die Farbgebung der Maske ist zweigeteilt. Die härtere und schützende Außenschale soll mit ihrer Farbe die Abwehr und den Schutz als Außenhaut signalisieren. Gleichzeitig soll die Farbe unter Wasser gut erkennbar sein. Ein aggressives Gelb-Grün bis hin zum Giftgrün soll der Außenschale diesen abwehrende Charakter verleihen. Die Luftführung selbst sowie die Innenmaske ist in dunkelgrau gehalten und bildet somit das Fundament der Maske.

7.5.3 Kommunikationseinheit

Eine nächste Aufgabe bildet die Anbindung der Kommunikationseinheit an die Vollgesichtsmaske, welche zusammen eine Einheit bilden. Notwendig ist die Unterbringung eines Sprechmikrofons, drei unterschiedlich positionierten Empfängern sowie eines zentralen Senders. Es bot sich an, die seitlichen Kopfhörer als Verlängerung des Augen-Nasen-Raumes zu gestalten. Dabei nehmen sie die Linien der Vollgesichtsmaske auf und bilden eine verbindende Brücke in Form eines Kreisbogens. Der Kreisbogen des Kopfhörers symbolisiert die Ausbreitung von Schallwellen. Die konvexe Form der Kopfhörer soll formal die Beschallung der Ohren andeuten (siehe Seite 54 bis 56 und 60 bis 62).

Ebenso kreisförmig ist der zentral über der Maske angeordnete Sender/Empfänger gestaltet. Er ist für das Senden und Empfangen der Daten zuständig. Diese Eigenschaften werden in einer konvexen (senden) und konkaven (empfangen) Form zum Ausdruck gebracht (siehe Skizzen und Entwürfe, Seite 63 und 64).

Das Sprechmikrofon im Mundraum ist über ein Kabel mit dem Kopfhörer verbunden. Das Kabel wird zwischen Innen- und Außenmaske entlang dem Maskeneinschnitt geführt. Alle Komponenten der Kommunikationseinheit sind mit dem Datenkabel verbunden, welches entlang der Kontur der Vollgesichtsmaske verläuft.

7.5.4 Datenvisier

Bei der Unterbringung des Datendisplays im Visier der Maske musste ich einen Platz für die Optik und Elektronik finden, welche das Gesicht- und Blickfeld des Tauchers nicht beeinträchtigt.

Da dieser Platz unmittelbar in der Nähe der Augen und innerhalb der Sichtscheibe sein musste, stand dafür eine untere, seitliche oder über den Augen liegende Anordnung zur Auswahl.

Die nächste Überlegung für die optimale Position der Displayeinheit war die Frage nach der Präsenz der Tauchdaten. Der Blick beim Tauchen ist zu 70% nach unten gerichtet. Deshalb konnte die Anordnung unterhalb der Augen ausgeschlossen werden, um den Taucher nicht mit dauernder Präsenz der Daten abzulenken.

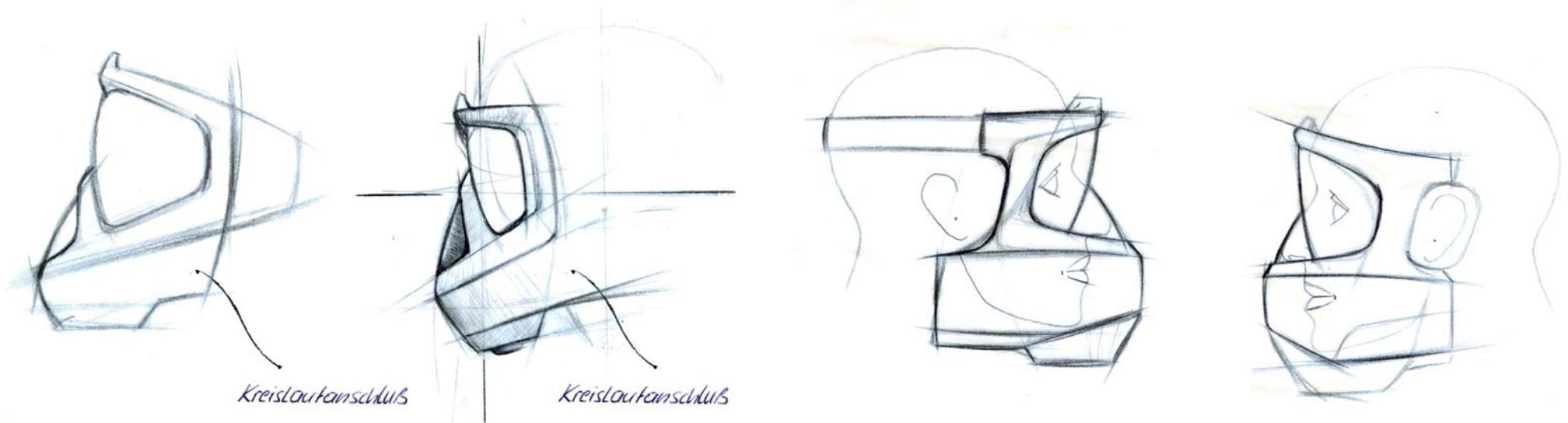
Weil das monokulare Display entweder für das linke oder für das rechte Auge gewählt werden kann, stellt die Lage mittig der Maske und oberhalb der Augen die beste Position dar. Dieser Bereich beeinträchtigt nicht das Gesicht- und Blickfeld und ermöglicht, je nach gewählter Ausführung, eine Anordnung des Displays für das linke oder das rechte Auge.

Es bot sich an, die Außenschale in diesem Bereich auszuformen, um genügend Platz für die Displayeinheit zu schaffen. Gleichzeitig passte sich die Gestaltung der natürlichen Augenform an (siehe Skizzen und Entwürfe, Seite 54 und folgende).

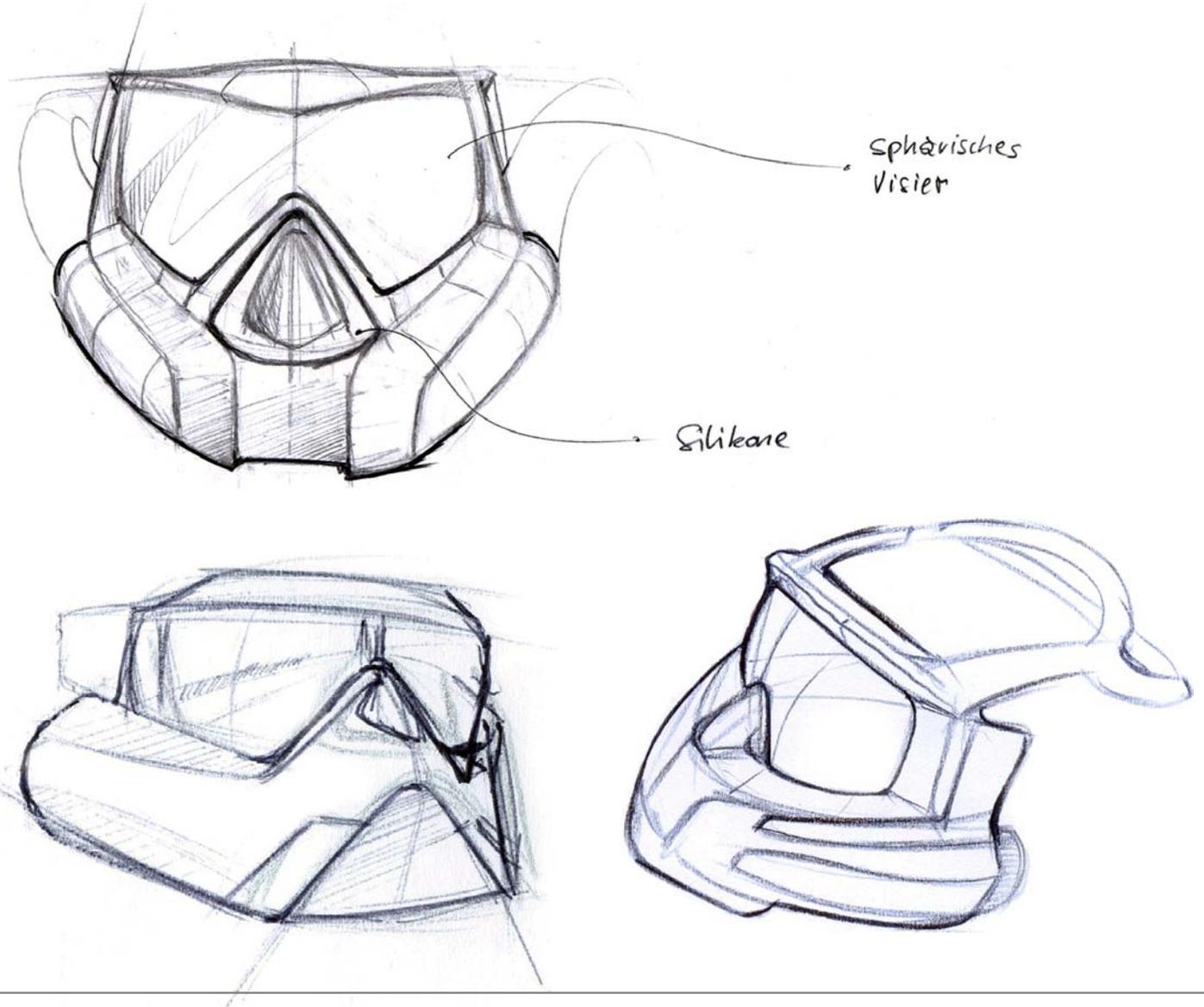
Der Empfängerchip sowie der Akku für die Stromversorgung sind ebenfalls im zentralen Sender/Empfänger über dem Display untergebracht. Er wird über ein ansteckbares Kabel mit der Displayeinheit verbunden.

7.6 Skizzen und Entwürfe

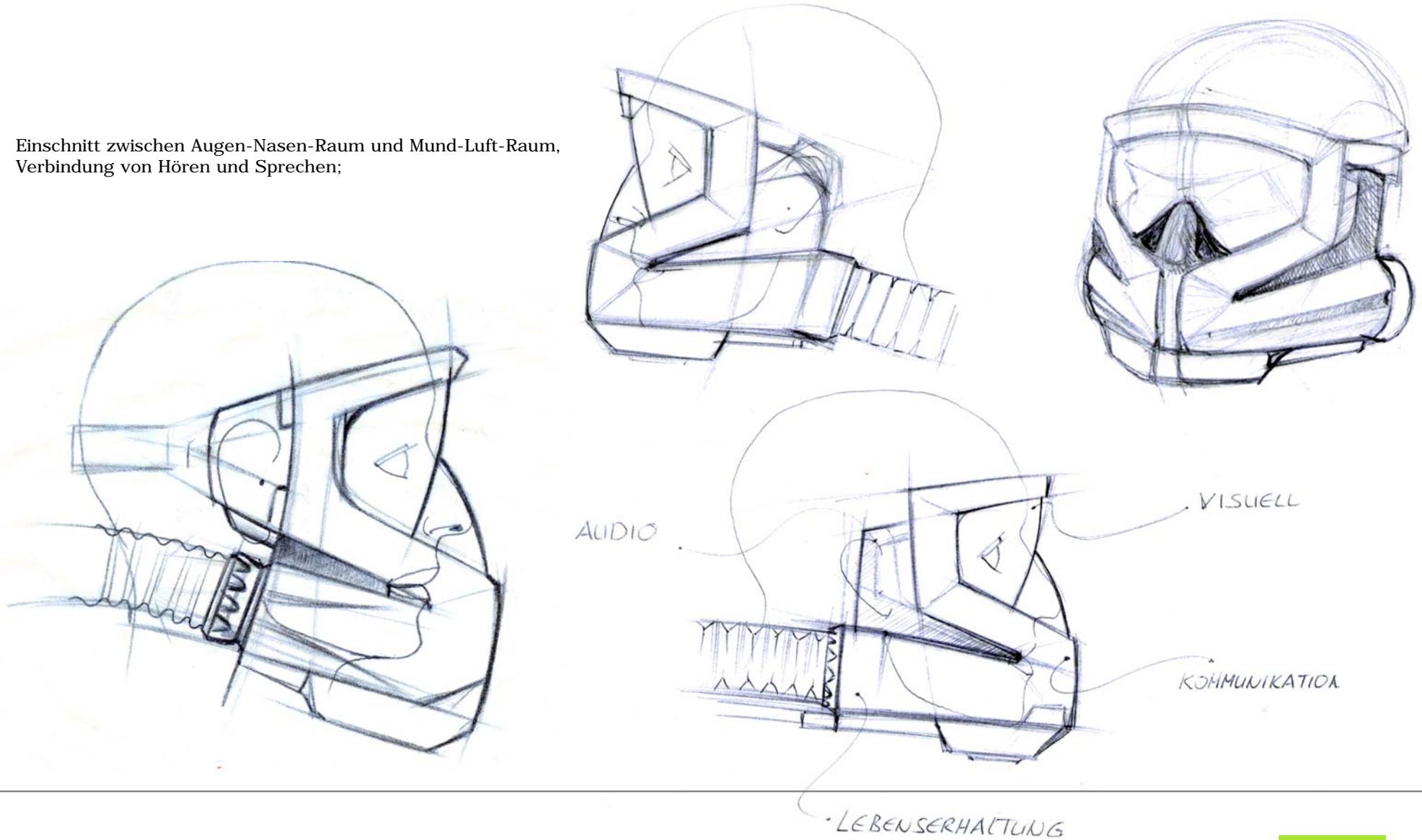
Augenraum und Luftraum bilden noch eine Einheit;



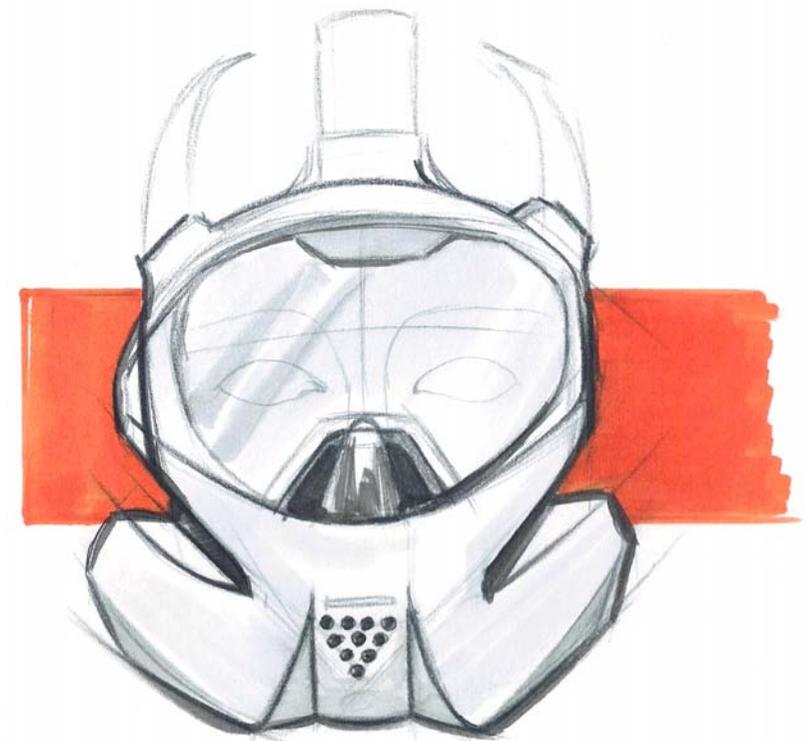
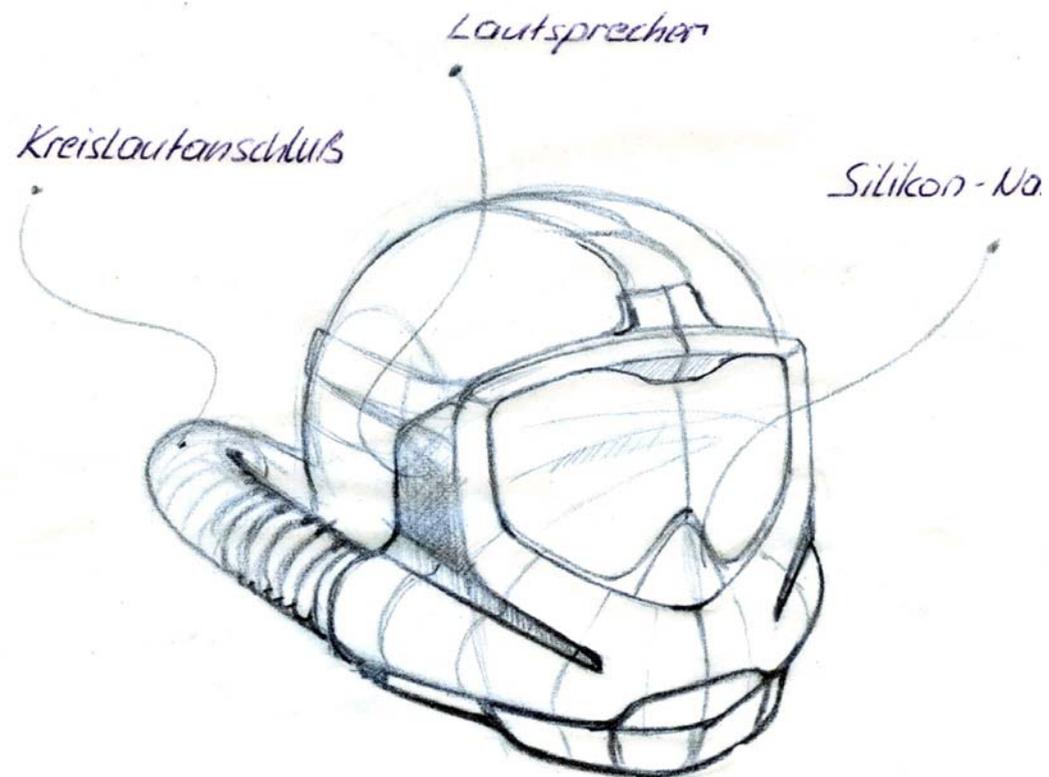
Integration der Luftschläuche in die Maske;



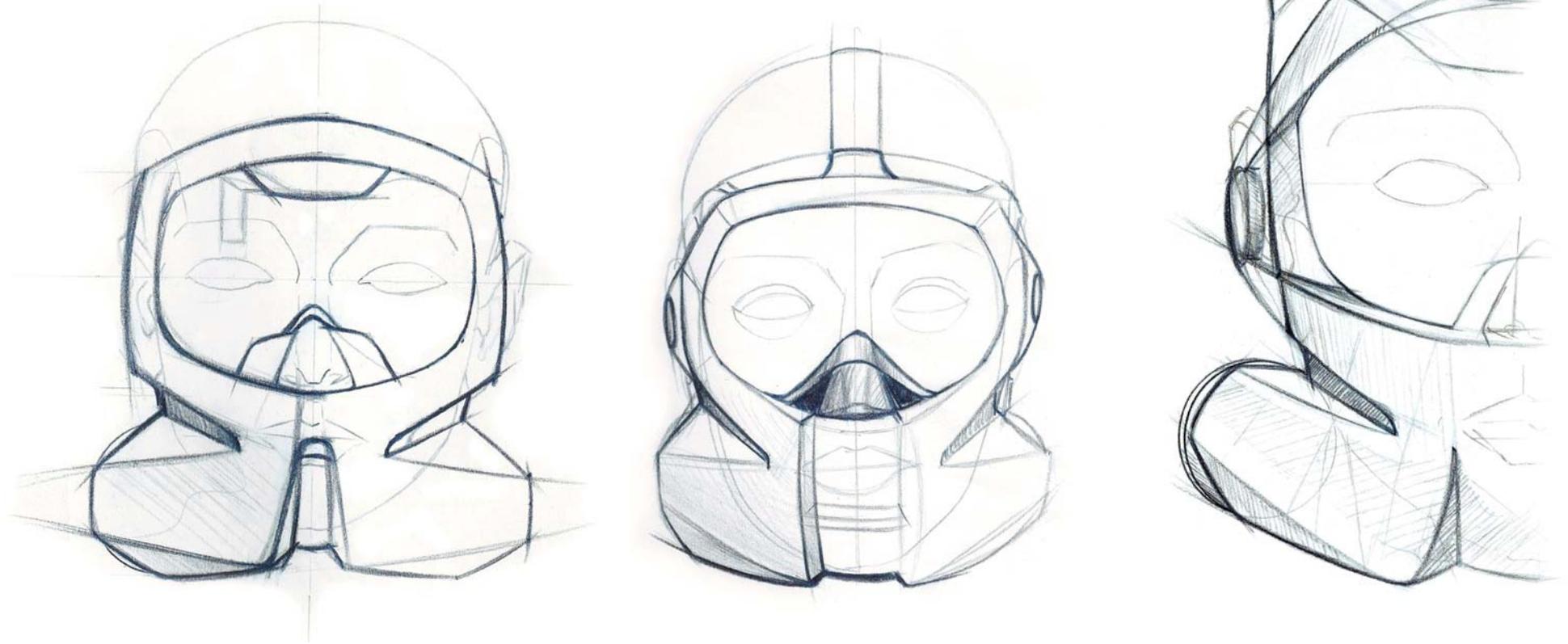
Einschnitt zwischen Augen-Nasen-Raum und Mund-Luft-Raum,
Verbindung von Hören und Sprechen;



Anfänglich zeigen die Entwürfe einen organischen und weichen Charakter. Später sollen harte Konturen und markante Einschnitte die schützende Hülle im aggressiven Einsatzbereich verdeutlichen.

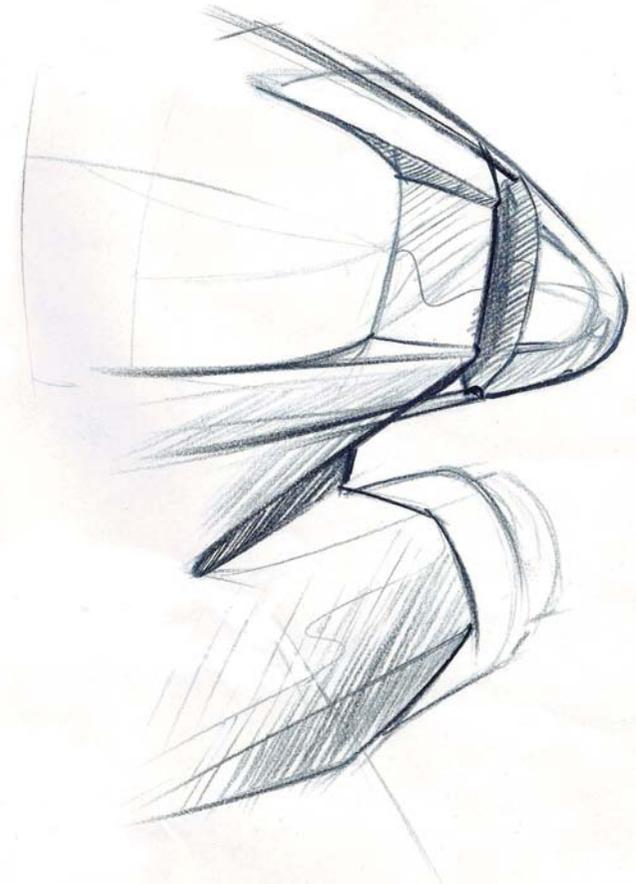
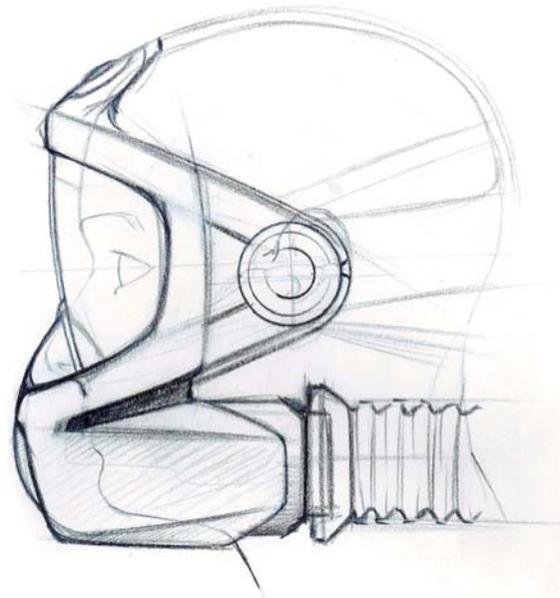


Harte Konturen und klare Linien; Die Sichtscheibe ist im Nasenbereich offen um die Nase für den Druckausgleich greifen zu können.

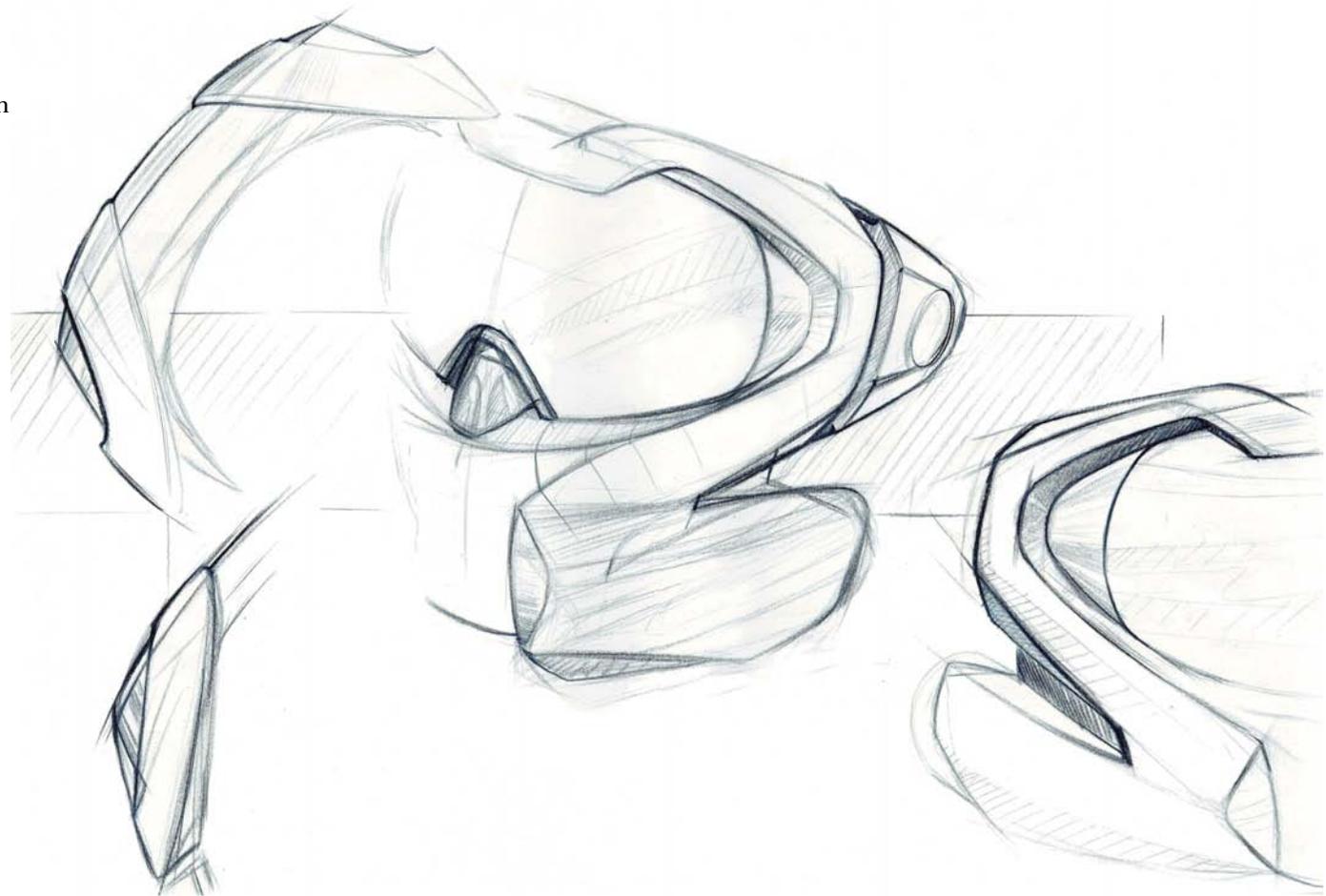


Die Anbindung der Kommunikationseinheit an die Vollgesichtsmaske;
Zentrales Element bilden die kreisförmigen Kopfhörer;

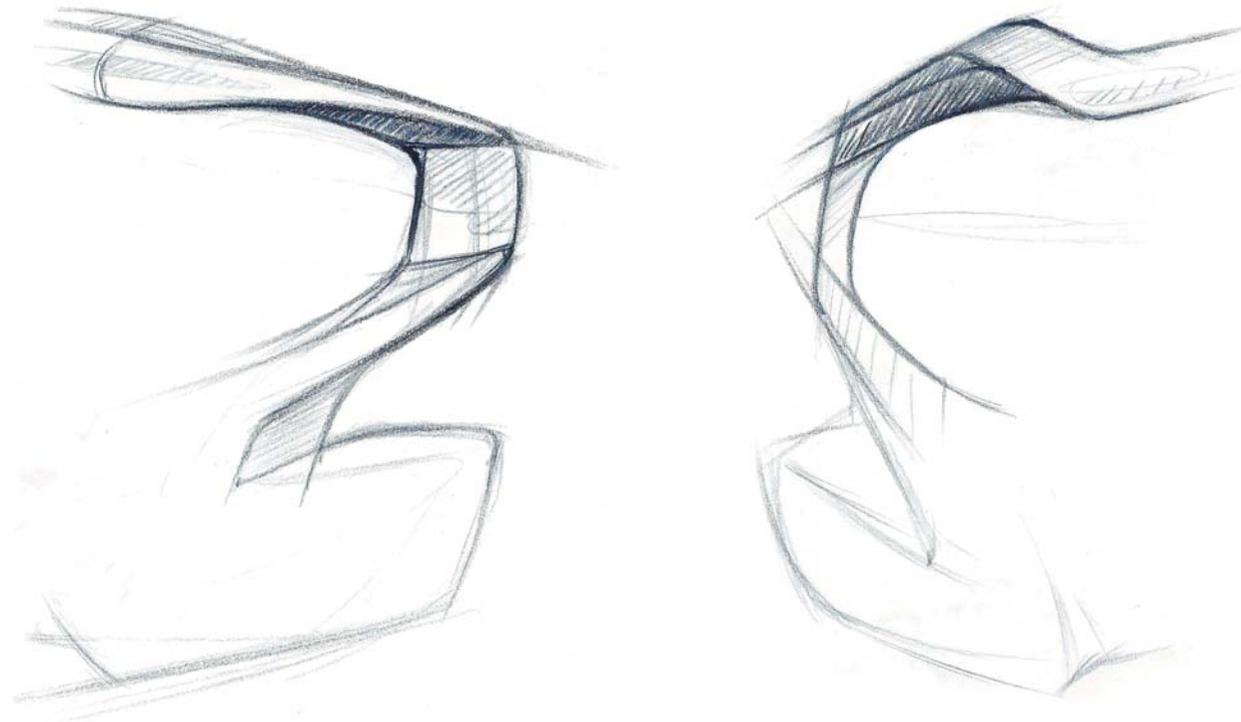
Kopfhörer nehmen die Konturlinien der Maske auf;



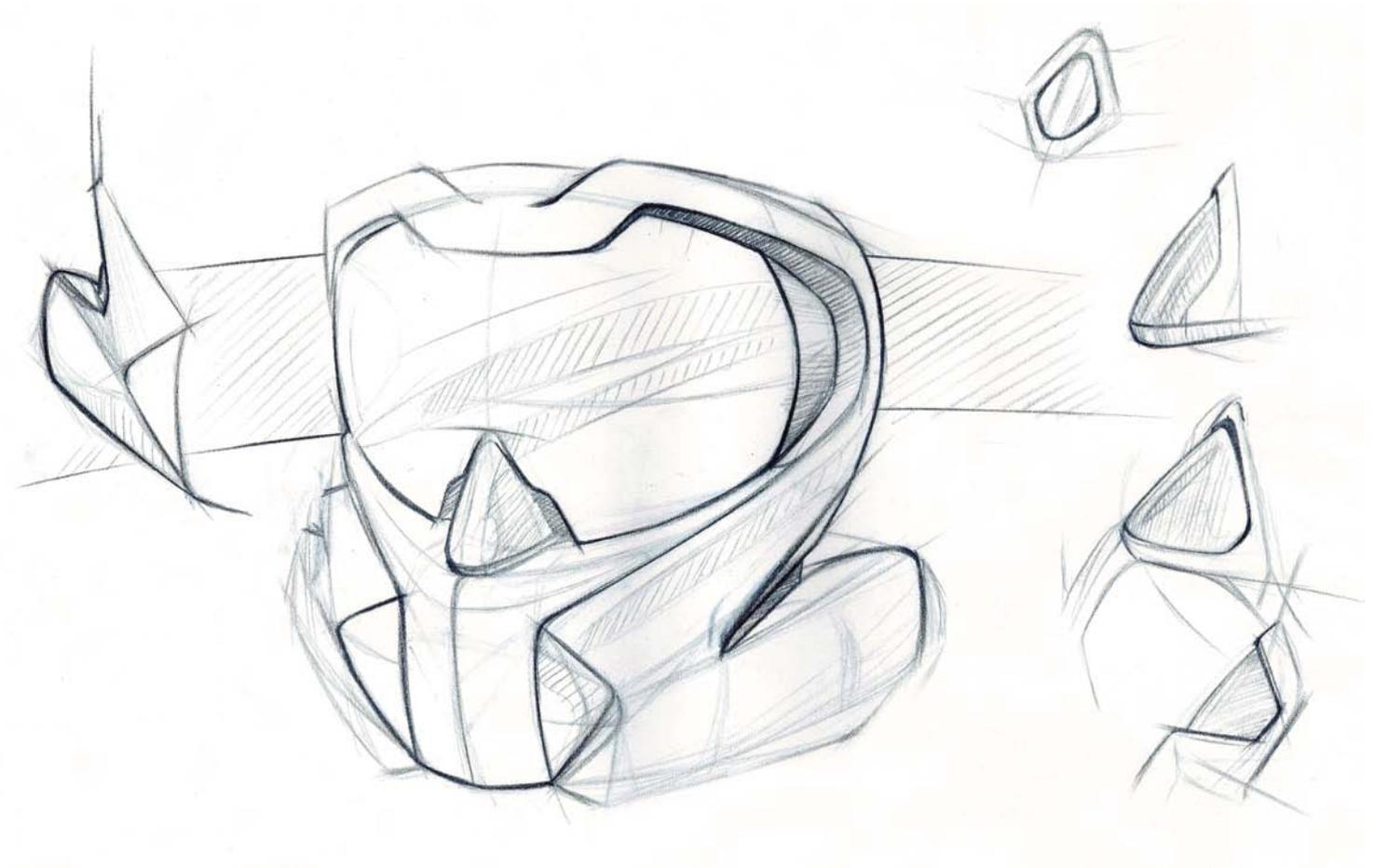
Das Visier soll trotz geringer Krümmung im Maskenkörper aufgenommen werden.
Gestaltungsdetails des Maskenkörpers mit Anbindung der Kopfhörer;



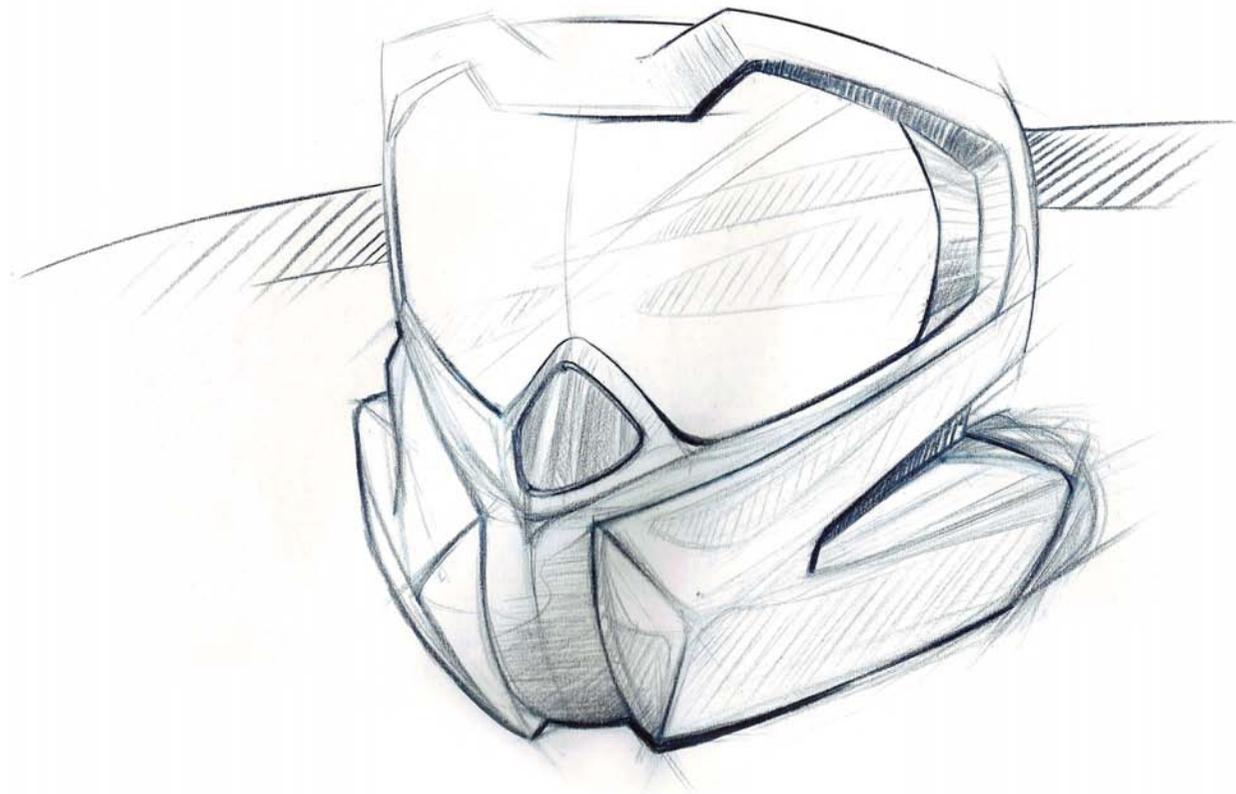
Unterbringung der Displayeinheit über den Augen; Eine Ausformung der "Augenbrauen" zur Mitte hin schafft Raum, und verleiht der Augenkontru mehr Ausdruck.



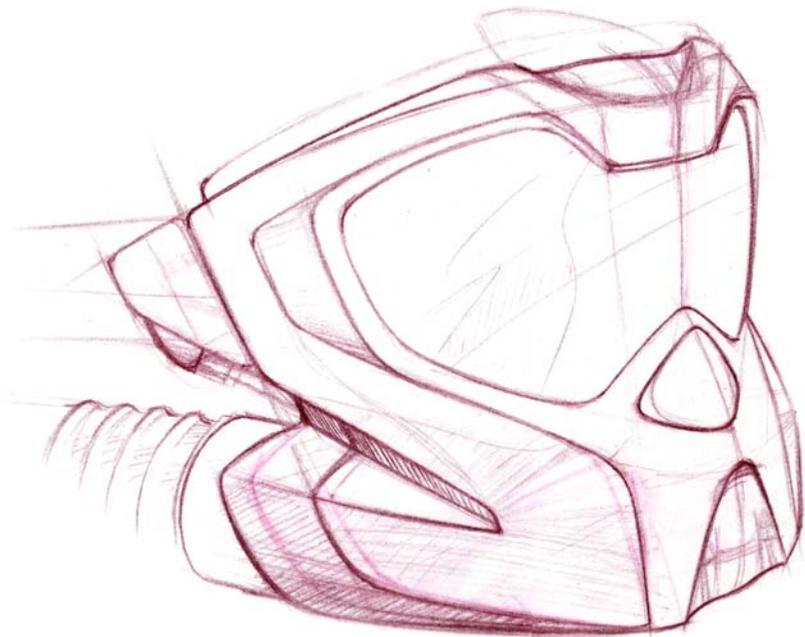
Das Visier ist im Nasenbereich "offen".
Details zur Integration der "greifbaren"
Nase;



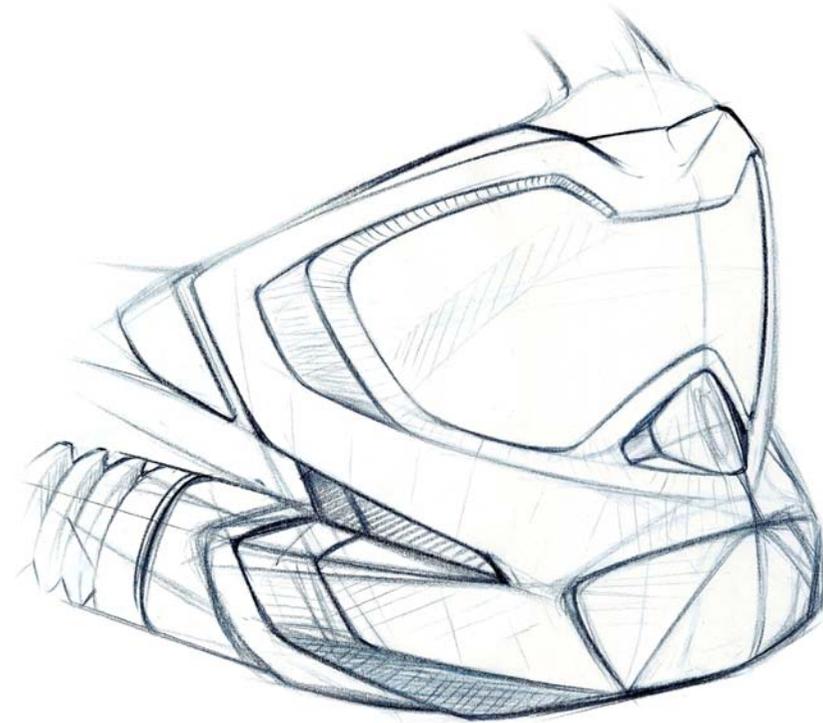
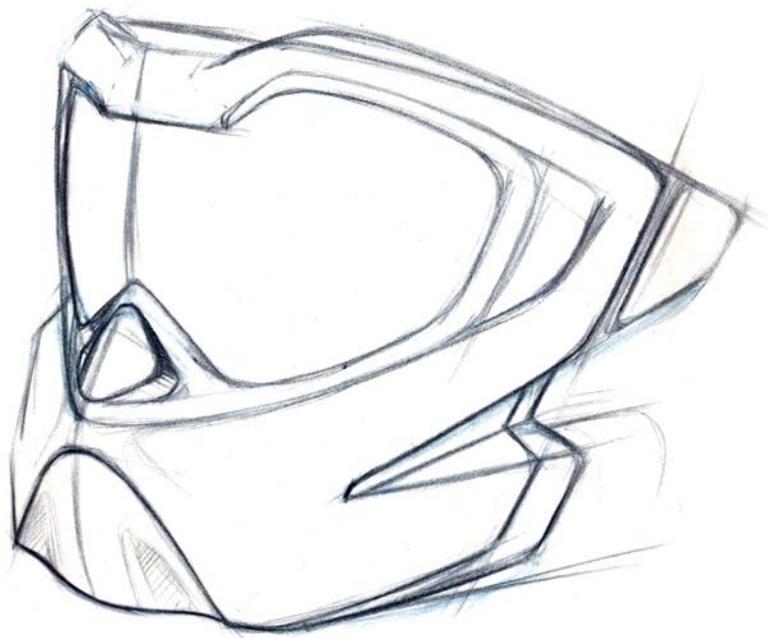
Integration der Nase im Maskenkörper; Variante des Mund-Luftraumes mit den Luftkanälen zu den Schläuchen;



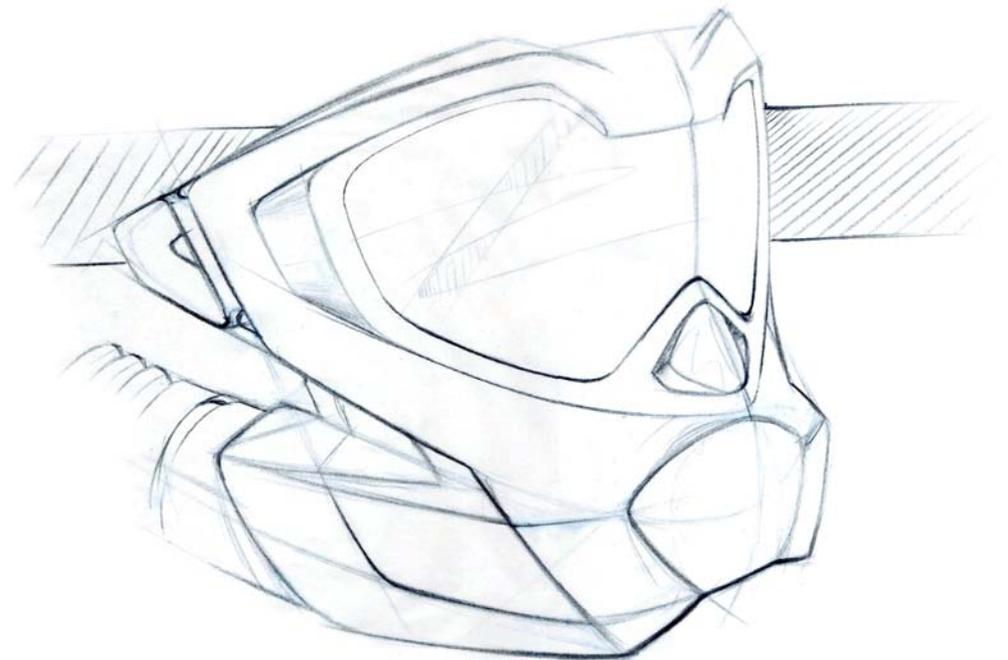
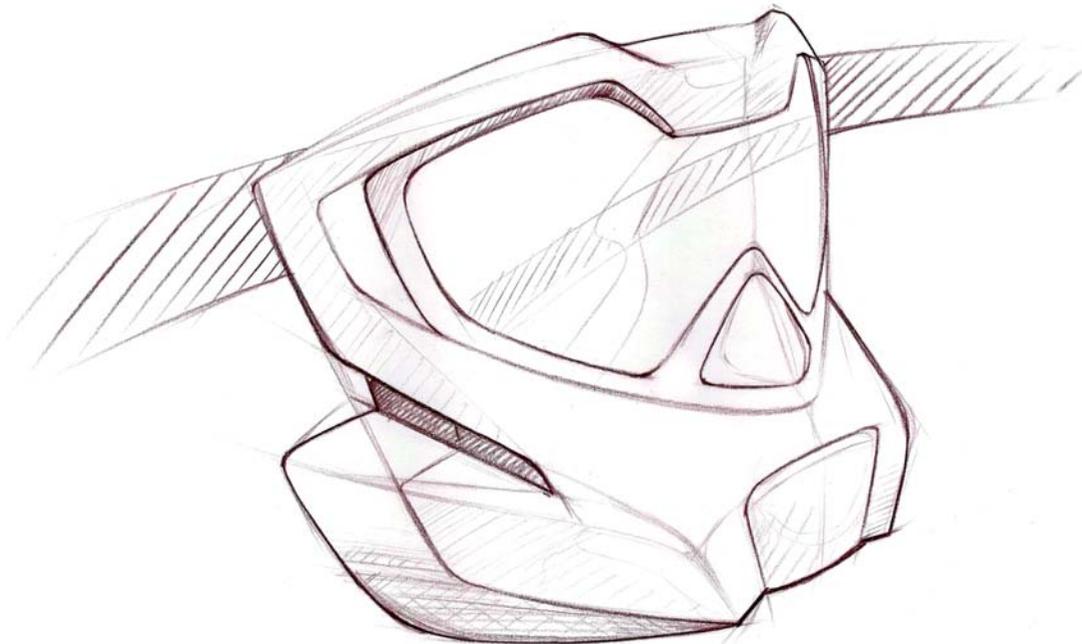
Gestaltung des Mund-Luftraumes mit den Luftkanälen zu den Schläuchen;
Luftkanäle nehmen Konturen der Maske auf;



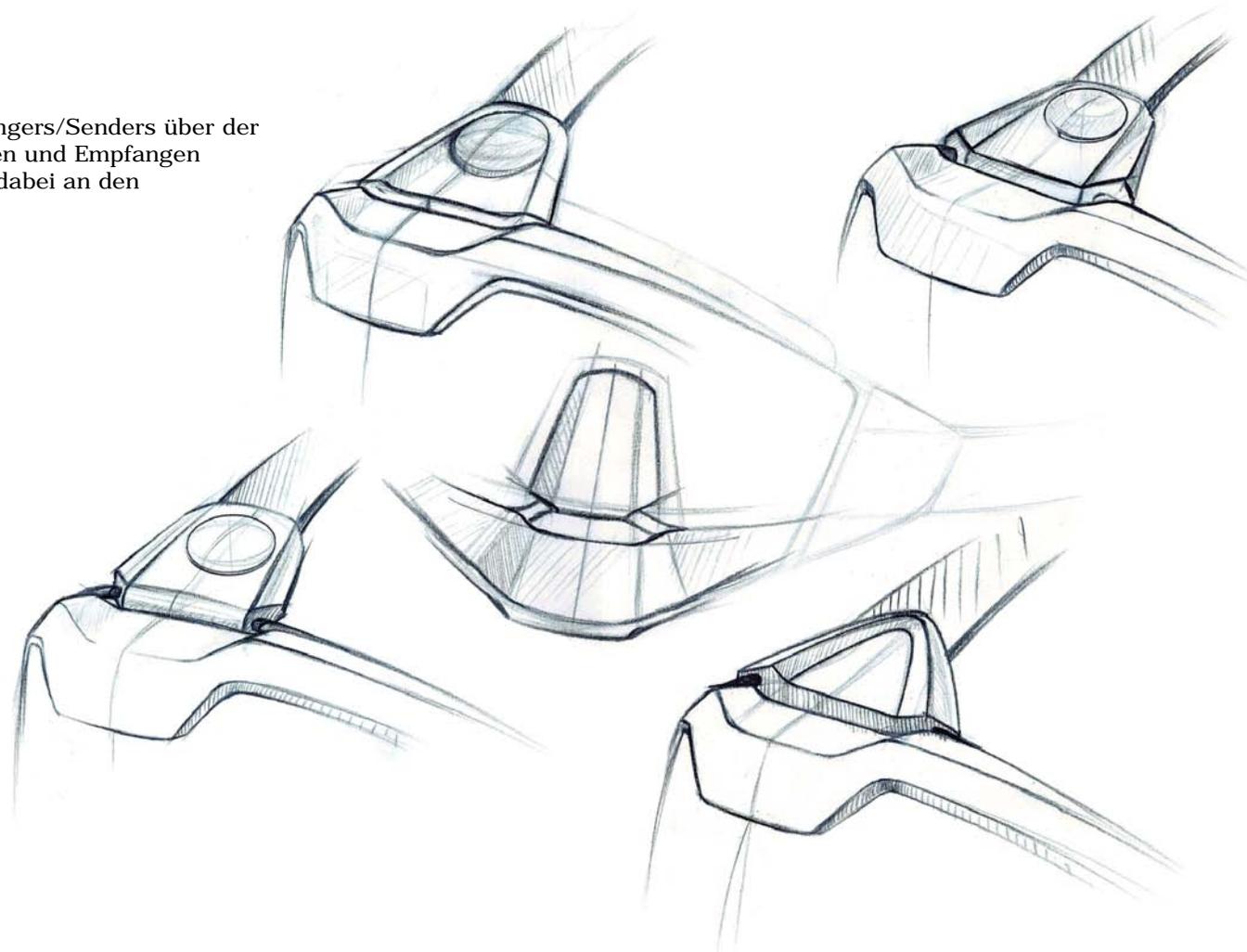
Varianten des Mund-Luftraumes mit den Luftkanälen zu den Schläuchen;
Die Verbindung der beiden Luftkanäle über den Mundraum zeigt die Luftführung
an.



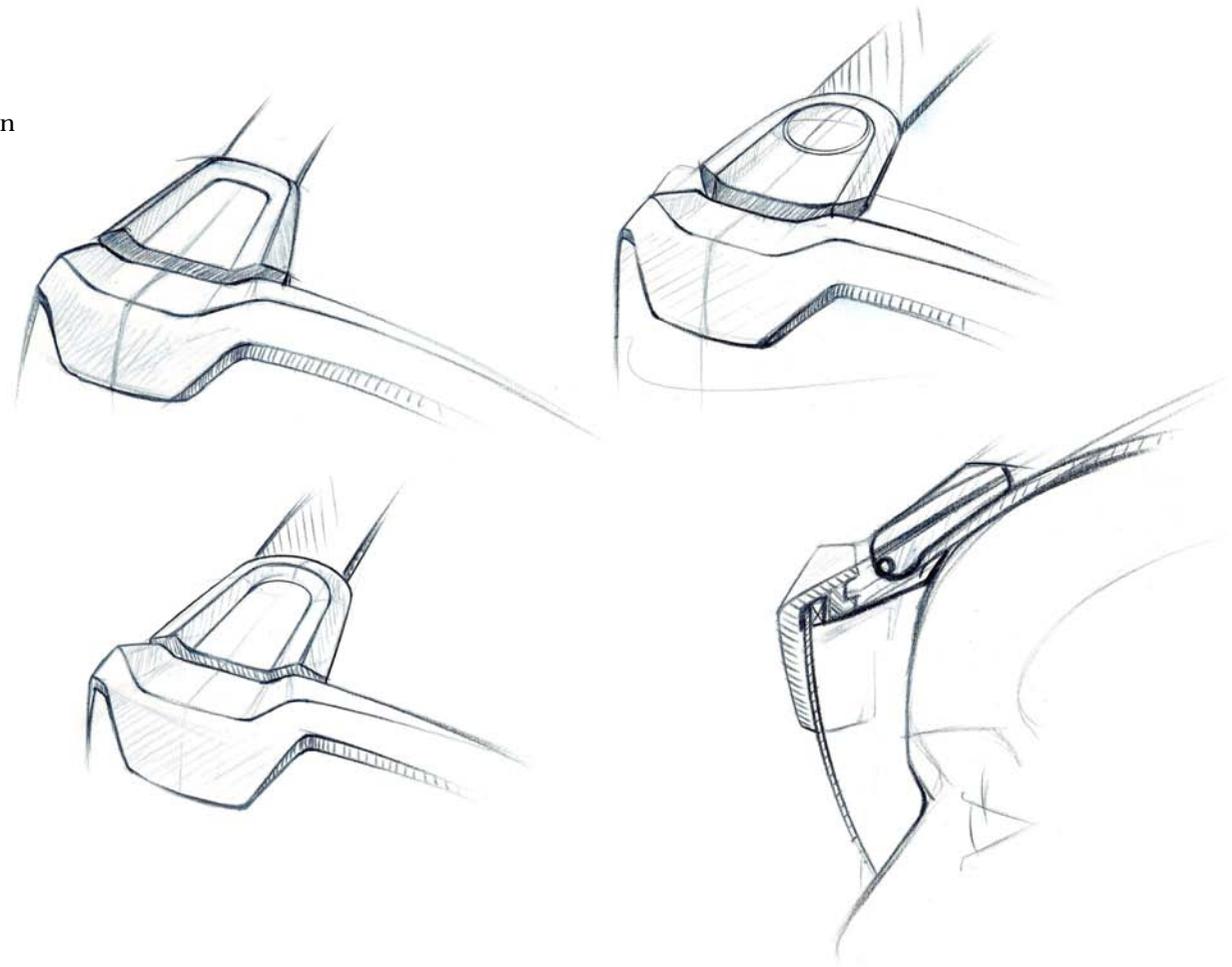
Weitere Varianten des Mund-Luftraumes;



Gestaltung des zentralen Empfängers/Senders über der Displayeinheit; Er soll das Senden und Empfangen zum Ausdruck bringen und sich dabei an den Maskenkörper anpassen.



Konvexe und konkave Flächen sollen das Senden und Empfangen formal verdeutlichen.



7.7 Technologien

7.7.1 Tauchcomputer

Tauchtabelle, Tauchuhr und Tiefenmesser waren noch vor einigen Jahren im ständigen Blickfeld jedes Tauchers und für ihn überlebensnotwendig. Heute werden diese Geräte in einem Tauchcomputer vereint und sind nicht mehr aus dem Tauchsport wegzudenken.

Im Gegensatz zum Tauchen mit Tauchtabelle die darauf basiert, dass der Taucher die gesamte Zeit in einer Tiefe verbringt, ermöglicht der Computer Tauchgänge in wechselnde Tiefen, so genannte Multilevel-Tauchgänge. Dabei werden die Nullzeiten (maximale Tauchzeit ohne Dekompressionsstopp) ständig neu berechnet. Die dabei angezeigten Daten für Sättigung und Entsättigung basieren auf einem theoretischen einprogrammierten Rechenmodell sowie theoretischen Gewebegruppen, auch als Kompartimente bezeichnet. Moderne Tauchcomputer berücksichtigen ca. 12 verschiedene Kompartimente.

Nach dem Tauchgang speichert der Computer die aufgezeichneten Daten in einem elektronischen Logbuch. Bei vielen Tauchcomputern können diese Daten über eine PC-Schnittstelle übertragen und graphisch dargestellt werden.

Zusätzlich zu den Grundfunktionen verfügen moderne Tauchcomputer über eine Vielzahl von Zusatzfunktionen wie z.B. Dekompressionsberechnungen und Berechnung für Mischgase wie Nitrox.

Zur neuen Generation gehören luftintegrierte Tauchcomputer (siehe Abb. 35). Bei ihnen wird entweder über Schlauch oder schlauchlos durch einen Sender am Hochdruckabgang der ersten Stufe der Flaschendruck auf den Tauchcomputer übertragen. Für den Tauchgang kann zusätzlich noch der Druck in der Vorratsflasche in die Berechnungen mit einbezogen werden.

Grundanzeige während des Tauchganges

- Tauchzeit
- Aktuelle Tiefe
- Maximale Tiefe
- Verbleibende Nullzeit und einzuhaltende Dekompressionsstopps
- Überwachung der Aufstiegs geschwindigkeit
- Optische Warnanzeigen

Mögliche zusätzliche Anzeigen und Eigenschaften

- Temperaturanzeige
- Hintergrundbeleuchtung bei schlechter Sicht
- Akustische Warnanzeigen und individuell einstellbare Parameter
- Anzeige des Sauerstoffpartialdrucks (Nitroxrechner)
- Verbleibender Atemgasvorrat in Minuten (luftintegrierter Rechner)
- Variable Höhenanzeige zum Bergseetauchen
- Verlauf der Stickstoffsättigung
- Empfohlene Sicherheitsstopps
- Aufstiegs geschwindigkeit

Wichtige Anzeige nach dem Tauchgang

- Verstrichene Zeit an der Oberfläche
- Die Zeit, in der nicht geflogen werden darf
- Verbleibende Stickstoffsättigung in Stunden
- Daten der vorausgegangenen Tauchgänge
- Planer für die nächsten Tauchgänge



Abb. 35 "VTPRO von Oceanic"

7.7.2 OLED-Display

„OLED - Organische lichtemittierende Dioden“

Vor etwa zwanzig Jahren entdeckten Forscher die ersten Kunststoffe, die unter Stromzufuhr leuchten. Diese Polymere bilden den Grundstein heutiger OLEDs. Bei der einfachsten Form wird eine Glasplatte oder Folie mit Strom leitendem Indium-Zinn-Oxid beschichtet. Darauf wird eine nanometerdünne Schicht der illuminierenden Polymere aufgetragen. Den Schluss bildet eine zweite Elektrode. Wird eine Spannung angelegt, leuchtet das Kunststoff-Sandwich. Dabei handelt es sich um Kunststoffpigmente, wie sie auch in Autolacken verwendet werden.

Diese organischen Leuchtdioden basieren auf der Elektroluminenz von organischen Materialien und sind daher selbstemittierend. Einer der großen Vorteile eines OLEDs gegenüber den herkömmlichen Flüssigkristallbildschirmen ist, dass sie ohne Hintergrundbeleuchtung auskommen. Dadurch benötigen sie deutlich weniger Energie, sind hauchdünn und bieten aus jedem Blickwinkel ein brillantes Bild.

Weiterer Vorteil: Die Kunststoff-Displays können auch als flexible Folie (FOLED) gestaltet werden. Zudem können mit OLED-Displays sehr hohe Helligkeiten erzielt werden, so dass sich diese Bildschirme hervorragend für Anwendungen eignen, bei denen unter unterschiedlichsten Lichtverhältnissen gearbeitet werden muss.

Organische Displays können mit zwei unterschiedlichen Verfahren hergestellt werden: Der OLED-Pionier Kodak hat die Small Molecule OLEDs entwickelt. Diese kleinen, leuchtenden Moleküle werden im Vakuum aufgedampft. Die andere Technik hat Cambridge Display Technology entwickelt. Dieses Verfahren setzt langkettige Kunststoffe ein. Die großen Moleküle lassen sich in Flüssigkeit lösen und kostengünstig durch spin-coating oder mit einer Art

Tintenstrahldrucker auf die Elektrode auftragen. Für ein langes Leben der organischen Displays ist neben der guten Qualität der leuchtenden Kunststoffe aber noch etwas anderes wichtig: Die Polymere dürfen nicht mit Wasser oder Luftsauerstoff in Kontakt kommen, sonst verlieren sie ihre Leuchtkraft. Um die Polymere vor Sauerstoff zu schützen, werden sie mit dünnem Glas bzw. mit speziellen Barrierschichten versehen, die verhindern sollen, dass Wasserdampf und Sauerstoff durchgelassen werden.

Mittlerweile sind bereits erste organische Leuchtanzeigen und Displays auf dem Markt. Pioneer setzt OLEDs in Autoradios, Motorola in einem Handy und Philipps in einem Rasierapparat mit Batteriestandsanzeige ein (siehe Abb. 36). Der transparente OLED-Prototyp (T für Transparent), soll bei Produkten wie Heads-up Displays, Windschutzscheiben oder Brillen eingesetzt werden können. Dank seines hohen Kontrasts und stromsparenden Aufbaus soll es ideal für Handhelds oder andere mobile elektronische Geräte nutzbar sein.

OLEDs werden sicherlich als Nachfolger der heutigen TFT-Flachbildschirme gesehen. Vermutlich wird es noch einiger Jahre Forschungszeit bedürfen, bis OLEDs in ausreichender Größe funktionieren. Die Lebensdauer gibt noch einige Probleme auf, denn die roten, grünen und blauen Pixel altern unterschiedlich schnell. Durch dieses unregelmäßige Altern der Einzelfarben kommt es zu Farbverzerrungen des Gesamtbildes.



Abb. 36 "Colour Organic EL-Display von Pioneer"

7.7.3 Akustisches Tracking

Tracking meint das Ermitteln und Verfolgen von Position und Rotation beliebiger Objekte. Je nach Art der Technologie die verwendet wird unterscheidet man optische, akustisch, elektromagnetische und mechanische Trackingmethoden.

Beim Akustischen Tracking wird mit Ultraschall gearbeitet. Es ist somit das preisgünstigste der Verfahren. Der Sender besteht bei diesem System nur aus einem oder mehreren Ultraschalllautsprechern, welche einen Ton zur Bestimmung der Koordinaten des Senders aussenden.

Der Empfänger besteht hier aus mindestens 3 Mikrofonen, welche in einem bestimmten Abstand zueinander zu einem Dreieck zusammengebaut sind. Jedes der Mikrofone erfasst nun den Ton vom Sender aus einem anderen Winkel.

Dies hat zur Folge dass auf dem Weg von Sender zu den einzelnen Mikrofonen verschiedene Laufzeiten auftreten. Aus dem Zeitunterschied des eintreffenden Schalls lassen sich die Position und Bewegung des Senders bestimmen.

Dieses Verfahren bietet folgende Vorteile

- berührungsloses System bietet daher eine große Bewegungsfreiheit
- Empfänger und Sender sind sehr klein und somit leicht zu befestigen
- sehr preiswert zu realisieren

Es hat jedoch folgende Nachteile

- stör anfällig gegenüber akustischen Störungen aller Art
- zwischen Sender und Empfänger sollte freie Sicht sein

7.7.4 Datenübertragung unter Wasser

Elektromagnetische Wellen für kurze Strecken

Über Wasser findet die Übertragung von Information von einem Ort zum anderen durch sich räumlich ausbreitende Wellen statt. So ist das dem Menschen „angeborene“ Kommunikationsmittel die Sprache, die auf der Erzeugung (Stimmbänder und Vokaltrakt), Ausbreitung (Luft) und Verarbeitung (Ohr und Gehirn) von Schallwellen beruht. Die Reichweite von Schallwellen in Luft ist allerdings äußerst begrenzt. Deshalb werden im modernen Alltagsleben - beispielsweise beim Mobilfunk oder Fernsehen - fast ausschließlich elektromagnetische Wellen zum schnellen Übertragen von Information über große Distanzen eingesetzt.

Im Gegensatz dazu ist unter Wasser die Übertragung mittels elektromagnetischen Wellen über die Distanz begrenzt. Durch die wesentlich höhere Dichte von Wasser werden die Wellen wesentlich stärker gedämpft. Diese Dämpfung nimmt Einfluss auf die Übertragungsstrecke. Für sehr kurze Strecken von wenigen Metern ist jedoch die Datenübertragung unter Wasser mit elektromagnetischen Wellen sehr gut geeignet. Diese Technologie findet bereits in luftintegrierten Tauchcomputern ihre Anwendung. Es sind nur kurze Übertragungsstrecken von 1 bis 2 Meter (Flasche zum Tauchcomputer) möglich. Dabei werden Datenpakete gesendet, welche mit einer Adresse für den jeweiligen Tauchcomputer codiert sind.

Akustische Wellen für lange Strecken

Schon 1490 entdeckte Leonardo da Vinci, dass Schallwellen auch unterhalb der Wasseroberfläche existieren können. Der große technische Vorteil akustischer gegenüber elektromagnetischer Wellen im Wasser wurde allerdings erst viel später entdeckt.

Unter Wasser ist im Vergleich zu elektromagnetischen Wellen die Dämpfung für Schallwellen wesentlich niedriger, so dass sich diese im Frequenzbereich von einigen zehn Kilohertz über technisch interessante Reichweiten gut ausbreiten können. Die Übertragung von Daten bzw. Informationen erfolgt dann über Ultraschallimpulse.

7.7.5 Mikrodisplay

Augmented Reality (dt.: vergrößerte oder erweiterte Realität) bietet die Möglichkeit, reale Bilder mit zusätzlichen Informationen zu ergänzen und so eine Erweiterung sowohl der virtuellen als auch der realen Umwelt zu erreichen.

Die Kombination von realer und virtueller Welt in einem gemeinsamen Bild erfolgt mit Hilfe unterschiedlicher Display-Technologien. Grundsätzlich lassen sich die Displaytypen in zwei Klassen unterteilen. Die Klasse der stationären Geräte und die der tragbaren Systeme. Die tragbaren System werden dabei direkt vor dem Auge positioniert.

Zu den stationären Systemen werden beispielsweise zugerechnet

- Image Overlay Systeme
- Monitor-AR-Systeme
- Direkte Projektion

Zu den tragbaren Systemen gehören

- Head-Mounted Display
 - Optical-See-Through
 - Video-See-Through
 - Mikroskopanwendungen
- Virtual Retinal Systeme
- Mikrodisplay

Wenn die „zusätzlichen Informationen“ displaytechnisch von relativ anspruchsloser Natur sind, wie z. B. die Einblendung von Text oder Zahlen, bei denen eine geringe Displayauflösung ausreicht und keine stereoskopische Darstellung benötigt wird, können auch die sogenannten Mikrodisplays zum Einsatz kommen. Die amerikanische Firma Microoptical bietet ein Mikrodisplay an, das entweder vollständig in ein Brillenglas integriert oder als so genanntes Clip-On-Display an einer gewöhnlichen Brille befestigt werden kann. Das Besondere an diesem Display ist, dass das Bild zunächst in einen Lichtleiter gespeist und dann über ein Mikroprisma ins Auge projiziert wird (siehe Abb. 37).



Abb. 37 "Microdisplay der Fa. Microoptical"

7.7.6 Stereophonie

Mit Stereophonie (griechisch: stereos = räumlich, ausgedehnt) werden Techniken bezeichnet, die mit Hilfe von zwei oder mehr Schallquellen durch sogenannte Pegeldifferenzen ΔL und Laufzeitdifferenzen ΔT einen räumlichen Schalleindruck erzeugen.

Im einfachsten Fall mit zwei Lautsprechern erfolgt die horizontale Abbildung hauptsächlich durch Pegel- und Laufzeitunterschiede der beiden Kanäle. Vertikal- und Tiefenabbildung beruhen auf Klangverfärbungen und dem Verhältnis von Direktschallanteilen und Diffus-schallanteilen.

Dabei wird das psychoakustische Phänomen ausgenutzt, dass der Mensch mit seinen Ohren auf Grund von Pegel-Unterschieden und Laufzeit-Unterschieden zwischen den Ohren die Richtung von Schallquellen lokalisieren kann.

8. Produktbeschreibung

Im Folgenden sollen die gestalteten Produkte bezüglich Funktion, Herstellung und Materialien beschrieben werden.

8.1 Vollgesichtsmaske

In meinem Konzept bildet die Vollgesichtsmaske den Kern meines Systems. Aufgrund der Beatmung mit Kreislaufgeräten ist die Vollgesichtsmaske mit sehr kleinem Totraum gestaltet. Dies ist notwendig um die Gefahr einer Kohlendioxidvergiftung durch zu großen Totraum vorzubeugen.

Die weiche Innenmaske besteht aus einem Raum für Augen und Nase und einem separaten Raum für den Mund (siehe dazu Kapitel 3 unter Punkt 3.3 Vollgesichtsmasken). Der separate Raum für den Mund ermöglicht durch die sehr kleine Ausführung das Beatmen und Sprechen ohne zusätzliches Beißmundstück.

Die Innenmaske ist aus einem künstlichen Kautschuk dem sogenannten EPDM gefertigt. EPDM ist die Abkürzung für "Ethylene Propylene Diene Monomer" und ist ein temperaturbeständiger, säurefester, ozonbeständiger und gegen UV-Strahlen unempfindlicher Kunststoff wie er bereits bei Vollgesichtsmasken verwendet wird.

Der festere Bereich der Luftführung mit beiden Luftanschlüssen und dem Mundraum sind aus einem stoßfestem Technopolymer (ABS) gefertigt. Weiche Innenmaske und Luftführung werden mittels Klebverfahren miteinander verbunden und bilden die gesamte Innenmaske. Die weichen Dichtungsmembranen bestehen aus Silikon.

Die Außenmaske ist wie die Luftführung aus stoßfestem Technopolymer z.B. ABS gefertigt. Durch die dünnwandige Ausführung ist eine gewisse Flexibilität

gewährleistet. Zudem ist eine einfache und kostengünstige Herstellung mittels Thermoformung möglich. An der Außenmaske sind die Halterungen für die Maskenbänder angebracht.

Die Maske verfügt über insgesamt fünf austauschbare Maskenbänder. Sie sind, wie die luftversorgenden Schläuche, ebenfalls aus elastischem EPDM gefertigt. Alle Maskenbänder sind an der Hinterkopfaufgabe befestigt. Diese besteht aus einem weichen Kunststoffkern welcher zur Unterseite mit komprimiertem Neopren versehen ist. Dieses Material bietet durch seine Beständigkeit und Elastizität maximalen Tragekomfort.

Das Visier der Vollgesichtsmaske ist aus bruchfestem und transparentem Polycarbonat gefertigt. Über die weiche Innenmaske wird das Visier mit der festeren Außenmaske verbunden.

8.2 Kommunikationseinheit

Für das Hören und Sprechen unter Wasser dient die Kommunikationseinheit. Im Unterschied zur normalen Kommunikation unter Wasser erlaubt diese Systemerweiterung ein Richtungshören unter Wasser. Da ohne Hilfsmittel für das menschliche Ohr nur sehr schwer ein Richtungshören unter Wasser möglich ist (siehe dazu Kapitel 4 unter Punkt 4.3 Hören unter Wasser) soll dies mit Hilfe von akustischem Tracking sowie kopfbezogener Stereophonie über zwei Kopfhörer ermöglicht werden.

Wie funktioniert´s?

Über Wasser reicht die Zeitdifferenz zwischen den Ohren aus, die Schallquelle räumlich zu lokalisieren. Unter Wasser ist dies für das menschliche Ohr durch die erhöhte Schallgeschwindigkeit nur begrenzt oder gar nicht möglich.

Durch drei Empfänger in dreieckiger Anordnung am Kopf des Tauchers kann die Signalquelle von einem Tauchpartner „räumlich“ wahrgenommen werden („tracking“). Unter Berücksichtigung dieser Richtungs-Information werden die akustischen Signale über die beiden Kopfhörer so „zeitverzögert“ auf die Ohren abgegeben, dass ein Richtungshören wieder möglich wird. Somit kann das Gesprochene des Tauchpartners akustisch und gleichzeitig räumlich wahrgenommen werden.

Die Datenübertragung erfolgt dabei akustisch. Das gesprochene wird digital erfasst und mittels Ultraschallimpulse an die Umgebung abgegeben. Dabei benützt jeder Taucher ein anderes Bandspektrum um sich von anderen Tauchern zu unterscheiden. Diese Form der Datenübertragung wird auch bei der normalen Unterwasserkommunikation verwendet und ermöglicht eine Übertragung über weitere Strecken bis maximal 300 m. Sender- und Empfängerchip können dabei in einem Gerät vereint werden.

Die beiden Kopfhörer mit je einem Empfänger werden links und rechts am Maskenband der Vollgesichtsmaske befestigt. Der Sender mit dem dritten Empfänger ist zentral direkt über der Maske am Maskenband befestigt. Beide Kopfhörer sowie der Sender sind mit dem Mikrofon an einem Datenkabel verbunden. Das Mikrofon wird zwischen Innenmaske und Außenmaske zum Mundraum geführt und von innen dichtverschraubt. Die elektronischen Bauteile werden wie bei ähnlichen Systemen wasserdicht vergossen und in einem Kunststoffgehäuse aus ABS untergebracht.

Die Energieversorgung erfolgt über je zwei aufladbare Zweizellen-Lithiumakkus, die in je einem Kopfhörerteil untergebracht sind.

8.3 Datenvisier

In meinem Konzept dient das Datenvisier als zusätzliche Anzeigefläche der Tauchdaten des Tauchcomputers. Der Tauchcomputer selbst befindet sich am

Handgelenk des Tauchers und sendet die Anzeigedaten mittels elektromagnetischen Wellen an den Empfänger des Datenvisiers. Diese Technologie der Datenübertragung unter Wasser wird speziell für kurze Distanzen eingesetzt wie z.B. beim Übertragen des Flaschendrucks mittels Sender auf den luftintegrierten Tauchcomputer (siehe dazu Kapitel 7.7 unter Punkt 7.7.4 Datenübertragung unter Wasser).

Das Datenvisier wird über den Tauchcomputer automatisch aktiviert, sobald dieser Wasserkontakt hat. Über den Tauchcomputer erfolgt auch die Einstellung der Optik des Datenvisiers bezüglich Bildabstand und Schärfe.

Das Datenvisier befindet sich innerhalb der Sichtscheibe der Vollgesichtsmaske und wird zentral vor der Stirn befestigt. Im Datenvisier werden mit Hilfe eines monokularen Mikrodisplays die Tauchdaten über Lichtleiter und einem optischen System vor das Auge projiziert. Dabei wird das Bild mittels Prisma ins menschliche Auge umgelenkt. Es entsteht ein virtuelles Bild in einem bestimmten Abstand vor dem Betrachter. Durch das transparente Prisma ist es möglich, die Umgebung trotzdem wahrzunehmen. Die Daten schweben im real wahrgenommenen Bild.

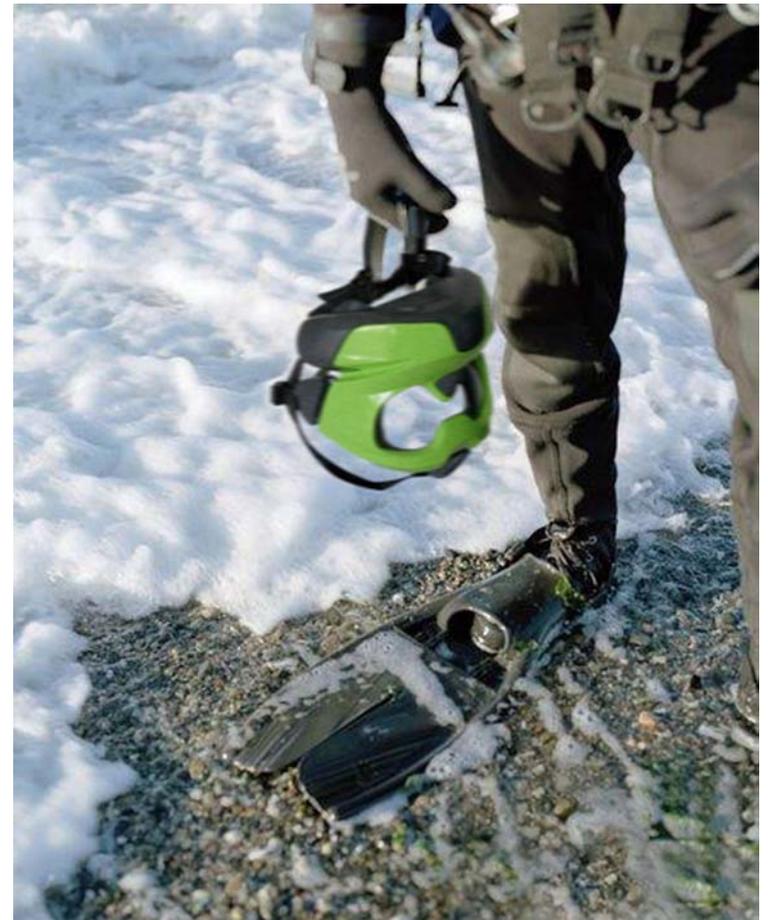
Diese Technologie stammt von der Firma MicroOptical und wird bereits für die zusätzliche Anzeige von Daten z.B. bei Montageanleitungen und Navigationssysteme verwendet.

Für das Senden und Empfangen der Daten sind sender- und empfangsseitig je eine Antenne, Stromversorgung und die Elektronik notwendig. Die Stabantenne nimmt dabei eine Länge von ca. 40 bis 60 mm bei einem Durchmesser von 5 bis 7 mm ein. Die Elektronik umfasst dabei zwei 44 Pin Prozessorchips mit ca. 11 x 12 mm Fläche. Durch die Verwendung von OLED-Mikrodisplays ist es möglich den Stromverbrauch auf ein Minimum zu reduzieren. Als Energiequelle ist je ein standardisierter, aufladbarer Zweizellen-Lithiumakku ausreichend.

9. Produktfotos







10. Fußnoten

- 1 Paulys Realenzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaft, Supplementband V, München 1931, Neuauflage 1972, Spalte 857 f.
- 2 Franz Kurowski, In die Tiefen der Meere, Von der ersten Taucherglocke zum modernsten Tieftauchboot, Pioniertaten der Meertechnik und der Ozeanforschung, Würzburg 1974, S.17
- 3 vgl.: Paulys Realenzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaft, Supplementband V, München 1931, Neuauflage 1972, Spalte 858
- 4 vgl.: Franz Kurowski, In die Tiefen der Meere, Von der ersten..., a.a.O., S.17
- 5 Propyläen Weltgeschichte, Frankfurt/Main, 1962, Band III, S. 416
- 6 Hermann Heberlein, Unterwasserwelt, BEA-Bücherdienst Kurt Bosshard, Zürich, 1958, S. 39
- 7 Erhard Schulz, Tauchen, Das Know-how für den Unterwassersport, Hamburg, 1978, S.12
- 8 Hypoxie [griech.]: Verminderung des Sauerstoffgehaltes bzw. der Zellatmung im Organismus u.a. infolge Beeinträchtigung der Atmung oder als Folge von Kreislaufstörungen; © Meyers Lexikonverlag
- 9 Franz Maria Feldhaus, Die Technik der Antike und des Mittelalters, Hildesheim - New York, 1971, S.348f
- 10 L. Sprague de Camp, Ingenieure der Antike, Düsseldorf - Wien, 1964, S. 185
- 11 vgl.: L. Sprague de Camp, Ingenieure der Antike, Düsseldorf - Wien, 1964, S. 185
- 12 Alexander Fertig, Handbuch für den Taucher, Stuttgart Berlin Köln, 1993, S. 18
- 13 vgl.: Alexander Fertig, Handbuch für den Taucher, Stuttgart Berlin Köln, 1993, S. 18
- 14 Das Gesetz von William Henry besagt: "Bei konstanter Temperatur steht die Menge des in einer Flüssigkeit im Sättigungszustand gelösten Gases im proportionalem Verhältnis zum Druck des über der Flüssigkeit stehenden Gases."
- 15 Handbuch Tauchen, Vorwort Hans Hass, Zürich, 1996, BLV Verlagsgesellschaft, S. 153
- 16 vgl.: Handbuch Tauchen, a.a.O., S. 25
- 17 Franz Kurowski, a.a.O., S. 147
- 18 Gierschner, Norbert: Tauchfahrzeuge, Die Geschichte der Unterwasserfahrzeuge, Berlin, 1987, VEB Verlag für Verkehrswesen., S. 98f
- 19 vgl.: Handbuch Tauchen, a.a.O., S. 19
- 20 Tauchen Praxislexikon, Loseblattbeilage der Zeitschrift Tauchen, Jahrgang, Verlag, Hamburg, 1996

- ²¹ vgl.: Alexander Fertig, Handbuch für den Taucher, Stuttgart Berlin Köln, 1993, S. 19
- ²² Blickfeld: Teil des Raumes, der bei unbewegtem Kopf, aber bewegten Augen noch scharf wahrgenommen werden kann;
© Meyers Lexikonverlag
- ²³ Gesichtsfeld (Seh[ding]feld): der ohne Kopf- oder Augenbewegung wahrnehmbare Teil des Raumes;
© Meyers Lexikonverlag
- ²⁴ Redundanz Zuverlässigkeitstheorie: Teil des Material- oder Betriebsaufwands für ein techn. System, der primär für ein ordnungsmäßiges Funktionieren nicht erforderlich ist. Erhöht er die Zuverlässigkeit, so spricht man von nützlicher Redundanz (z.B. Zweikreisbremssystem in Kfz).
© Meyers Lexikonverlag
- ²⁵ Aerosol [a-e...; griech./lat.]: Bez. für ein Gas (insbes. Luft), das feste oder flüssige Schwebestoffe enthält. Bei flüssigen Schwebeteilchen (Tröpfchen) spricht man von Nebel, bei festen Teilchen von Rauch. In der Medizin werden A. in der Aerosoltherapie verwendet, bei der nebelförmig verteilte Medikamente in die Atemwege eingebracht werden;
© Meyers Lexikonverlag
- ²⁶ Ernestine Hutter, Masken - Brauch und Mythos, Band 13 des Salzburger Museum Carolino Augusteum, S. 7
- ²⁷ Nitrox: Kunstwort aus den englischen Wörtern Nitrogen (Stickstoff) und Oxygen (Sauerstoff). Im Prinzip ist Luft ein Nitrox 21 Gasgemisch, d.h. 21% Sauerstoff, 79% Stickstoff; Weitere gängige Mischungen: Nitrox 40 (40% Sauerstoff / 60% Stickstoff), Nitrox 50;
- ²⁸ Heliox: Mischgas aus Helium und Sauerstoff; Durch Helium als Verdünnungsgas wird der durch Stickstoff verursachte Tiefenrausch verhindert;
- ²⁹ Trimix: Dreifachgasgemisch aus Sauerstoff, Stickstoff und Helium;

11. Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1 Handschrift aus dem 15 Jahrhundert, Schwimmstiefel, aus Hermann Hebelein, Unterwasserwelt, Zürich, 1958, S. 52
- Abb. 2 Apnoe Taucher, Mares,
- Abb. 3 Kampfschwimmer, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 9
- Abb. 4 Zeichnung um 1430, Taucher mit Sicherheitsleine und Atemschlauch, aus Hermann Hebelein, Unterwasserwelt, Zürich, 1958, S. 57
- Abb. 5 Edmund Halley Taucherglocke von 1691, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 8
- Abb. 6 Tauchertonne von Lethbridge, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 11
- Abb. 7 Taucherhelm unten offen, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 14
- Abb. 8 Standard Diving Apparatus, aus Tauchen Praxislexikon, Loseblattbeilage der Zeitschrift Tauchen, Jahr-Verlag, Hamburg, 1996
- Abb. 9 Bahamas Project 1964, mit einem ähnlichen Aufbau wie das `Man in Sea Project`, aus Handbuch Tauchen, Vorwort Hans Hass, Zürich, 1996, BLV Verlagsgesellschaft, S. 21
- Abb. 10 Die Nautilus, aus Norbert Gierschner, Tauchfahrzeuge, Die Geschichte der Unterwasserfahrzeuge, Berlin, 1987, S. 77
- Abb. 11 Die Sp 3000, aus Norbert Gierschner, Tauchfahrzeuge, Die Geschichte der Unterwasserfahrzeuge, Berlin, 1987, S. 114
- Abb. 12 Touristen-U-Boot Auguste Piccard, aus Norbert Gierschner, Tauchfahrzeuge, Die Geschichte der Unterwasserfahrzeuge, Berlin, 1987, S. 140
- Abb. 13 Die Bathysphere, aus Hermann Hebelein, Unterwasserwelt, Zürich, 1958, S. 63
- Abb. 14a Exosuit, aus Zeitschrift "tauchen", Tech-Diving - Höhle, Wrack und Militär, Heft 12, Hamburg, 2000, S. 80
- Abb. 14b Newtsuit, aus Zeitschrift "tauchen", Tech-Diving - Höhle, Wrack und Militär, Heft 12, Hamburg, 2000, S. 80
- Abb. 15 Ein Remotely operated vehicle, aus Tauchen Praxislexikon, Loseblattbeilage der Zeitschrift Tauchen, Jahr-Verlag, Hamburg, 1996
- Abb. 16 Badetauchretter von 1926, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 31
- Abb. 17 Dräger-Dolphin, aus Zeitschrift "dive & travel 2000", Seite 46
- Abb. 18 Buddy Inspiration, aus Zeitschrift "tauchen", Heft 12, Seite 59
- Abb. 19 Rouquayrol's Gasregler, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 16
- Abb. 20 Rouquayrol's Gasregler mit Helm, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 16

- Abb. 21 Familien-Sport Tauchen 1958, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 22
- Abb. 22 Ausrüstung der 70er, aus Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Hamburg, 2001, S. 24
- Abb. 23 Ausrüstung Tech-Taucher, aus Zeitschrift "tauchen", Tech-Diving - Höhle, Wrack und Militär, Heft 12, Hamburg, 2000, S. 31
- Abb. 24 Sehen unter Wasser, aus Peter und Andrea Schnick, Tauchen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2003, S. 27
- Abb. 25 Farbabsorption, aus Peter und Andrea Schnick, Tauchen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2003, S. 27
- Abb. 26 Wärmeverlust beim Tauchen, aus Peter und Andrea Schnick, Tauchwissen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2004, S. 9
- Abb. 27 Umgebungsdruck, aus Peter und Andrea Schnick, Tauchen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2003, S. 18
- Abb. 28 Trommelfell wölbt sich durch Überdruck nach innen, aus Peter und Andrea Schnick, Tauchen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2003, S. 25
- Abb. 29 Druckausgleich im Mittelohr über die Ohrtube, aus Peter und Andrea Schnick, Tauchen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2003, S. 25
- Abb. 30 Zusammensetzung der Atemluft, aus Peter und Andrea Schnick, Tauchen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2003, S. 18
- Abb. 31 Partialdruck der Luft, aus Peter und Andrea Schnick, Tauchwissen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2004, S. 14
- Abb. 32 Aufbau und Funktion des Kreislaufgerät Dräger Dolphin, aus Zeitschrift "tauchen", Tech-Diving - Höhle, Wrack und Militär, Heft 12, Hamburg, 2000, S. 58
- Abb. 33 CCR Submatix, aus www.submatix.com, am 26.02.2005
- Abb. 34 Bailout Flasche, aus www.divernet.com, am 29.03.2005
- Abb. 35 VTPro von Oceanic, aus www.oceanic.com, am 27.02.2005
- Abb. 36 Colour Organic EL-Display von Pioneer, aus Katalog Preview In-Car Entertainment 2005, S. 4
- Abb. 37 Mikrodisplay der Fa. Microoptical, aus www.tribuneindia.com, am 25.03.2005

12. Quellenverzeichnis

Bammes, Gottfried: Wir zeichnen Menschen, Eine Grundlegung, Volk und Wissen, Volkseigener Verlag, Berlin 1989

Barsky, M.; Thurlow, Mark; Ward, Mike: Rebreathertauchen, blue point Verlag München, 1999

de Camp, L. Sprague: Ingenieure der Antike, Econ Verlag Düsseldorf - Wien, 1964

Dreyfuss, Henry: The measure of man and woman, human factors in design, Whitney Library of Design, New York, 1993

Feldhaus, Franz Maria: Die Technik der Antike und des Mittelalters, Darstellungen und Quellen der Technikgeschichte, Hildesheim - New York, Georg Olms Verlag, 1971

Fertig, Alexander: Handbuch für den Taucher, Stuttgart Berlin Köln, Verlag W. Kohlhammer, 1993

Flügel, Bernd; Greil, Holle; Sommer, Karl: Anthropologischer Atlas, Edition Wötzel, Frankfurt/Main, 1986

Gierschner, Norbert: Tauchfahrzeuge, Die Geschichte der Unterwasserfahrzeuge, Berlin, 1987, VEB Verlag für Verkehrswesen

Grützediek, Maike: Ausrüstung - Faszination Tauchen, Buch der Zeitschrift "tauchen", Jahr-Verlag GmbH & Co., Hamburg, 1999

Handbuch Tauchen, Vorwort Hans Hass, Zürich, BLV Verlagsgesellschaft, 1996

Heberlein, Hermann: Unterwasserwelt, BEA-Bücherdienst Kurt Bosshard, Zürich, 1958

Hoffmann, Uwe: Ausbildung im Sporttauchen, Band 2, Verlag Naglschmid, Stuttgart, 1998

Holzapfel, Rudolf B.: Richtig Tauchen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München, 2000

Hutter, Ernestine: Masken - Brauch und Mythos, Band 13 des Salzburger Museum Carolino Augusteum, Salzburg, 2004

Kurowski, Franz: In die Tiefen der Meere, Von der ersten Taucherglocke zum modernsten Tieftauchboot, Pioniertaten der Meertechnik und der Ozeanforschung, Würzburg, Arena Verlag, 1974

Odewald, Lutz: Historie - Geschichte des Tauchens, Buch der Zeitschrift "tauchen", Jahr Top Special Verlag GmbH & Co., Hamburg, 2001

Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 250, Atemgeräte, Autonome Leichttauchgeräte mit Druckluft, Ausgabe 2000

Paulys Realenzyklopädie der klassischen Altertumswissenschaft, Supplementband V, München 1931, Neuauflage 1972

Propyläen Weltgeschichte, Frankfurt/Main, Ullstein Verlag, 1962, Band I - X

Schnick, Andrea und Peter: Tauchwissen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2004

Schnick, Andrea und Peter: Tauchen, BLV Verlagsgesellschaft mbH, München Wien Zürich, 2003

Schulz, Erhard: Tauchen, Das Know-how für den Unterwassersport, Hamburg, Rowohlt Taschenbuchverlag, 1978

Varju, Dezsö: Mit den Ohren sehen und den Beinen hören; die spektakulären Sinne der Tiere, Beck Verlag, München, 1998

Wenninger, Gerd: Lexikon der Psychologie - in fünf Bänden, Bd. 2 F bis L., Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Berlin, 2001

Workbook Dräger: NRC - Nitrox & Rebreather College, German Edition, 09/2000

Zeitschrift "dive&travel": Der Tauchkatalog 2000, Tauch- und Reisewelt Mönchengladbach GmbH, 2000

Zeitschrift "dive&travel": Der Tauchkatalog 2004, Tauch- und Reisewelt Mönchengladbach GmbH, 2004

Zeitschrift "tauchen": Tech-Diving - Höhle, Wrack und Militär, Heft 12, Jahr-Verlag GmbH & Co., Hamburg, 2000

Zeitschrift "tauchen": Test 2003, Jahr-Verlag GmbH & Co., Hamburg, 2003

<http://de.wikipedia.org/wiki/OLED>

<http://tauchen.nullzeit.at>

<http://www.wnplanet.com/t-history0.htm>

www.draeger.de

www.eduhi.at

www.golem.de/0006/8370.html

www.infos.aus-germanien.de

www.inovations-report.de

www.ipms.fraunhofer.de/publications/y2004/txt_040614hb.shtml

www.liteye.com

www.microoptical.net

www.microvision.com

www.oraclebmwrcing.com