

akzent

Hans-Jürgen Brosin

# Vorstoß ins Ungewisse





---

Hans-Jürgen Brosin

Vorstoß ins Ungewisse

---

Urania-Verlag Leipzig Jena Berlin

Der Autor, Dr. Hans-Jürgen Brosin,  
ist im Institut für Meereskunde Warnemünde  
der Akademie der Wissenschaften der DDR tätig.

Illustrationen: Adelhelm Dietzel

*2., überarbeitete Auflage 1979, 16.–35. Tausend  
Alle Rechte vorbehalten*

© Urania-Verlag Leipzig/Jena/Berlin  
Verlag für populärwissenschaftliche Literatur, Leipzig, 1973

VLN 212-475/64/79. · LSV 1469

Umschlagreihenentwurf: Helmut Selle

Typografie: Hans-Jörg Sittauer

Gesamtherstellung: Interdruck, Leipzig

Printed in German Democratic Republic

Best.-Nr. 653 2694

DDR 4,50 M



---

# Inhalt

---

- Das unbekannte Meer 7  
Die Nutzung des Meeres 13  
Der Mensch erforscht das Meer 21  
Fühler in die Tiefe 39  
Der Mensch im Meer 62  
Vorstoß in die größten Tiefen 106  
Ausblick auf die Zukunft 125



---

# Das unbekannte Meer

---

In den vergangenen beiden Jahrzehnten hat ein neuer Abschnitt der Entdeckungsgeschichte begonnen, der uns durch kühne Pioniertaten immer wieder in seinen Bann zieht. Mit dem Start von Sputnik 1, dem ersten künstlichen Erdsatelliten, begann am 4. 10. 1957 der Vorstoß in den Kosmos. Nur dreieinhalb Jahre später gelangte mit Juri Gagarin der erste Mensch in den Weltraum, und nach weiteren 8 Jahren betraten amerikanische Astronauten den Mond. Vor allem aber sind es automatische Geräte und Raumsonden, die in zunehmendem Maße neue Informationen liefern. Seit 1960 stehen Wettersatelliten im Dienst und ermöglichen eine kontinuierliche Beobachtung des Wettergeschehens auf der Erde. Mit der sowjetischen Orbitalstation »Salut« umkreiste schließlich das erste bemannte Weltraumlaboratorium unseren Planeten. Die Raumforschung erlangte dadurch eine neue Qualität. Sie eröffnete auch für die Erkundung der Erde selbst neue Möglichkeiten.

Über diesen Erfolgen im Weltraum gerieten die Fortschritte bei der Erforschung der Ozeane und Meere, des größten Lebensraumes auf der Erde, manchmal etwas in den Hintergrund. Zwar erregte im Jahre 1960 der Tauchabstieg des Bathyskaphen »Trieste« in die größten Tiefen des Meeres ein ähnliches Aufsehen wie der Vorstoß in den Weltraum, und auch die ersten bemannten Unterwasserstationen lenkten die Aufmerksamkeit auf sich, aber der Großteil der Aktivitäten zur Erforschung des Weltmeeres vollzog sich mehr in der Stille.

*Mit der Erdumsegelung der »Challenger« begann eine systematische Erforschung der Weltmeere.*

In einer Zeit, in der bemannte Raumflugkörper in mehreren hundert Kilometern Höhe die Erde umkreisen und Flüge automatischer Stationen zu fremden Planeten mit bewundernswerter Präzision ablaufen, beschränkt sich aber der den Menschen direkt zugängliche Tiefenbereich des Meeres im allgemeinen noch immer auf wenige hundert Meter. Trotz der seit Jahrtausenden bestehenden Verbindung des Menschen zum Meer birgt der Ozean noch viel Unbekanntes in sich, ist eine Vielzahl von Problemen noch ungelöst.

Das direkte Vordringen des Menschen in die Tiefen des Meeres und die Bemühungen um einen längeren Aufenthalt im Meere selbst sind dabei nur ein Teilproblem. Ebenso stellen auch die Erkundung und Vermessung der räumlichen Ausdehnung des Meeres nur eine, allerdings noch immer nicht abgeschlossene, wichtige Teilaufgabe dar. Für die Nutzung des Meeres sind vor allem Erkenntnisse über die im Weltmeer ablaufenden Vorgänge, über deren Ursachen und über die wirkenden Grundgesetze unumgängliche Voraussetzung. Ohne dieses Wissen ist eine Erschließung der marinen Ressourcen nicht möglich. Es besteht im Gegenteil sogar die Gefahr, daß unüberlegte Eingriffe in das Geschehen im Meer Veränderungen der natürlichen Bedingungen bewirken, die nicht oder nur sehr schwer wieder rückgängig gemacht werden können.

Über zwei Drittel der Erdoberfläche sind vom Wasser bedeckt, und es sind nicht zuletzt auch die gewaltigen Abmessungen des Weltozeans und seine großen Tiefen, die eine Untersuchung der im Meer ablaufenden Vorgänge erschweren. Von den 510 Mill. km<sup>2</sup> der Erdoberfläche entfallen 361 Mill. km<sup>2</sup> oder 71% auf die Ozeane und Meere, während der Anteil des festen Landes nur 149 Mill. km<sup>2</sup> oder 29% beträgt. Das Weltmeer hat eine mittlere Tiefe von 3790 m, die auf einem Globus von 33,5 cm Durchmesser allerdings nur einer Vertiefung von 0,1 mm entsprechen würde und damit der Strichstärke einer mittelfeinen Zeichenfeder gleichkäme. (Als Vergleich sei erwähnt, daß die mittlere Höhe des Festlandes 875 m beträgt.)

Näherungsweise verhalten sich beim Weltmeer Länge zu Tiefe wie etwa 10000 : 1. Bei den ozeanischen Vorgängen handelt es sich daher auch meist um Prozesse großer horizontaler Ausdehnung und vergleichsweise geringer vertikaler



*Das Überwiegen der vom Wasser bedeckten Gebiete der Erdoberfläche kommt auf dieser Abbildung deutlich zum Ausdruck.*

Mächtigkeit. Als Beispiel sei nur an die gewaltigen Meeresströmungen erinnert. Dabei darf aber nicht übersehen werden, daß vertikal gerichtete Vorgänge ebenfalls von großer Bedeutung für die ozeanischen Verhältnisse sind, wie z. B. die vertikalen Vermischungsprozesse beweisen.

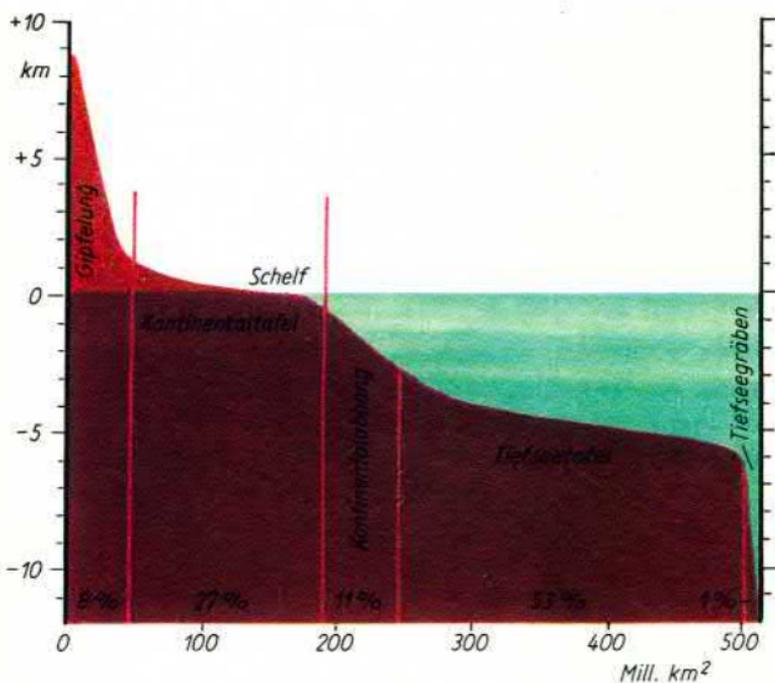
Dieses Verhältnis von horizontaler zu vertikaler Ausdehnung macht eine geometrisch ähnliche Nachbildung ozeanischer Vorgänge im maßstäblich verkleinerten Modell nahezu unmöglich. Wollten wir z. B. die Ostsee mit einer Länge von rund 1500 km und einer mittleren Wassertiefe von 55 m ohne Verzerrung darstellen, so dürfte das Modell bei einer Länge von über 27 m eine Tiefe von nur 1 mm haben. In dieser 1 mm mächtigen Wasserschicht müßten entsprechend den natürlichen Bedingungen im Sommer Temperaturunterschiede von über 15 °C nachgebildet werden, der Salzgehalt am Boden müßte etwa doppelt so hoch wie an der Meeresoberfläche sein, und die Strömungsrichtung schließlich könnte sich in Abhängigkeit von der Tiefe mehrfach umkehren.

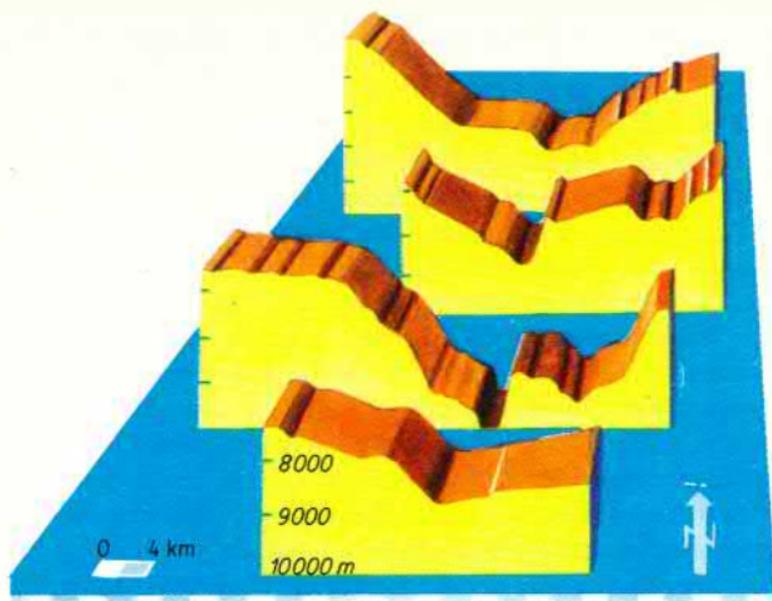
Die riesige Wasserfläche des Weltmeeres wird durch Landmassen in mehrere große Ozeane untergliedert, von denen wiederum einzelne Seegebiete, die Nebenmeere, mehr oder weniger stark abgetrennt sind. Entsprechend den Ergebnissen

ozeanologischer Untersuchungen der jüngsten Zeit neigt man heute dazu, neben den drei bisher unterschiedenen Ozeanen, dem Atlantischen, dem Indischen und dem Pazifischen Ozean, noch einen vierten, den Arktischen Ozean, abzugrenzen. Er umfaßt die Gewässer des Nordpolarmeeres, die man früher als Nebenmeere des Atlantischen Ozeans aufgefaßt hat. Ein selbständiges Südpolarmeer hat sich bisher noch nicht eingebürgert, die antarktischen Gewässer werden jeweils zum Atlantik, Indik oder Pazifik gerechnet.

Bei der Betrachtung einer Reliefkarte des Meeresgrundes fällt auf, daß dieser ähnlich kompliziert gestaltet ist wie die Oberfläche des Festlandes. Ordnet man die auf der Erde vorkommenden Höhen- und Tiefenstufen nach der Häufigkeit ihres Vorkommens, so entsteht die sogenannte hypsometrische Kurve. Sie läßt auch in der Verteilung der Tiefenstufen im Meer einige wichtige Gesetzmäßigkeiten hervortreten, wobei den einzelnen Abschnitten der Kurve entsprechende Großformen des Meeresbodens zugeordnet werden können.

*Die hypsometrische Kurve zeigt die von den einzelnen Höhen- und Tiefenstufen an der Erdoberfläche eingenommenen Flächen.*





*In etwa 100 km Abstand durch den Philippinengraben gelegte Querprofile*

Bei der Flachsee oder dem Schelf handelt es sich um den an die Festländer angrenzenden Teil des Meeresgrundes bis zu einer Wassertiefe von etwa 200 m. Dieser Tiefenbereich umfaßt rund 27,4 Mill. km<sup>2</sup> oder 5,4% der Erdoberfläche. Die direkten Vorstöße des Menschen und die Aktivitäten bei der Erschließung der Meeresressourcen konzentrieren sich gegenwärtig vor allem auf diesen Bereich.

An den Schelf schließen sich die Kontinentalabhänge an, die als eine über 300 000 km lange, rund 3 km tief abfallende Umrandung die Landmassive säumen. Der Bereich zwischen 200 und 3000 m Tiefe macht 10,7% der Erdoberfläche aus.

Den größten Teil des Meeresbodens nehmen die Tiefseebecken ein. 77% des Weltmeeres oder 53,6% der gesamten Erdoberfläche haben Tiefen zwischen 3000 und 6000 m.

In den Tiefseeegräben schließlich werden die größten Tiefen des Weltmeeres erreicht. Die Gebiete mit mehr als 6000 m Tiefe machen immerhin 1% der Erdoberfläche aus. Mit 11034 m wurde im Marianengraben die bisher größte Tiefe des Weltmeeres gelotet.

Als letzte Großform am Meeresboden müssen auch die

mittelozeanischen Rücken erwähnt werden, die sich als ein über 70000 km langes, zusammenhängendes, untermeerisches Gebirge durch alle Ozeane verfolgen lassen.

Das Bild von den Formen des Meeresgrundes und deren Ausdehnung ist jedoch nach wie vor sehr unvollkommen. Weite Gebiete des Meeresgrundes sind noch nicht oder nur sehr ungenügend vermessen. Als Anfang der sechziger Jahre das Projekt einer internationalen Weltkarte im Maßstab 1:1000000 erörtert wurde, mußte man feststellen, daß für die kontinentalen Gebiete bereits Unterlagen für 64% der einzelnen Felder veröffentlicht vorlagen, während es bei den ozeanischen Gebieten ganze 1,4% waren. Zur gleichen Zeit existierten in dem seit der Antike vielbefahrenen Mittelmeer noch immer Felder von 100 × 50 km Größe, aus denen nicht eine einzige Tiefenangabe veröffentlicht war. Auch in anderen anscheinend gut bekannten Meeresräumen wie z. B. in der mittleren Ostsee ergaben mit modernen Verfahren der Ortung und Tiefenbestimmung ausgeführte Neuvermessungen noch überraschend große Abweichungen von dem bisherigen Bild. Noch immer müssen in weiten Gebieten des Weltmeeres Seekarten verwendet werden, die auf Vermessungen vor über 100 Jahren beruhen.

Während für den größten Teil des Festlandes neben den topographischen Karten auch mehr oder weniger umfassende geologische Aufnahmen vorliegen, sind die Kenntnisse über den tieferen Untergrund des Weltmeeres noch viel unzureichender. Wesentliche Anlässe für die eingehende geologische Untersuchung des Schelfs und neuerdings auch des Kontinentalabhangs leiteten sich in den letzten drei Jahrzehnten aus dem zunehmenden wirtschaftlichen Interesse an diesen Gebieten her. Inzwischen konnten hier weit über 10000 Bohrungen niedergebracht werden. 1968 wurden schließlich auch erste Bohrungen in der Tiefsee möglich, deren Zahl inzwischen auf knapp 500 angewachsen ist. Das Bedürfnis nach genauen Tiefenkarten und besseren Kenntnissen über den Untergrund der Ozeane wächst sowohl für wissenschaftliche als auch praktische Zwecke rasch an.

---

# Die Nutzung des Meeres

---

Die Entwicklung des Handels war und ist eine bedeutende Triebkraft bei der Erforschung des Meeres. Mit der sich beschleunigenden wissenschaftlich-technischen Entwicklung und dem daraus resultierenden Anstieg der Weltproduktion gewinnen die Verbindungen über See zwischen Produzenten und Verbrauchern wie zwischen den einzelnen miteinander kooperierenden Wirtschaftsgebieten immer größere Bedeutung. Das Meer wurde zum bedeutendsten Transportweg. Innerhalb von weniger als 10 Jahren haben sich die Gütertransporte über See nahezu verdoppelt. Bereits Mitte der siebziger Jahre wurden rund 3,5 Mrd. t Handelsgüter auf dem Meer befördert. Alljährlich nimmt diese Menge um noch mehr als 100 Mill. t zu, so daß Anfang der achtziger Jahre über 5 Mrd. t erwartet werden. Zugleich ist auch ein rasches Anwachsen der Welthandelsflotte zu verzeichnen, die gegenwärtig rund 31000 Schiffe mit einer Gesamttonnage von 320 Mill. BRT zählt.

In diesem Prozeß lassen sich in der Schifffahrt deutliche Strukturveränderungen beobachten. Mit dem Strukturwandel in der Energiewirtschaft und der zunehmenden Chemisierung ist der Anteil flüssiger Ladungen, vor allem von Erdöl, an der gesamten Transportmenge stark gestiegen. Lag das Aufkommen an flüssigen Ladungen 1937 bei 105 Mill. t, so wurden 1975 bereits über 1,8 Mrd. t Erdöl von speziellen Tankschiffen über See befördert, was unterdessen mehr als die Hälfte aller Ladungen im Seeverkehr ausmacht. Die Anzahl der Tankschiffe ist dementsprechend ebenfalls rasch angestiegen, wobei die Schiffsgrößen schnell gewachsen sind. Auch die Spezialfrachter zum Transport von Massengütern wie Erz, Kohle und anderen Industrierohstoffen geben dem Seetransport

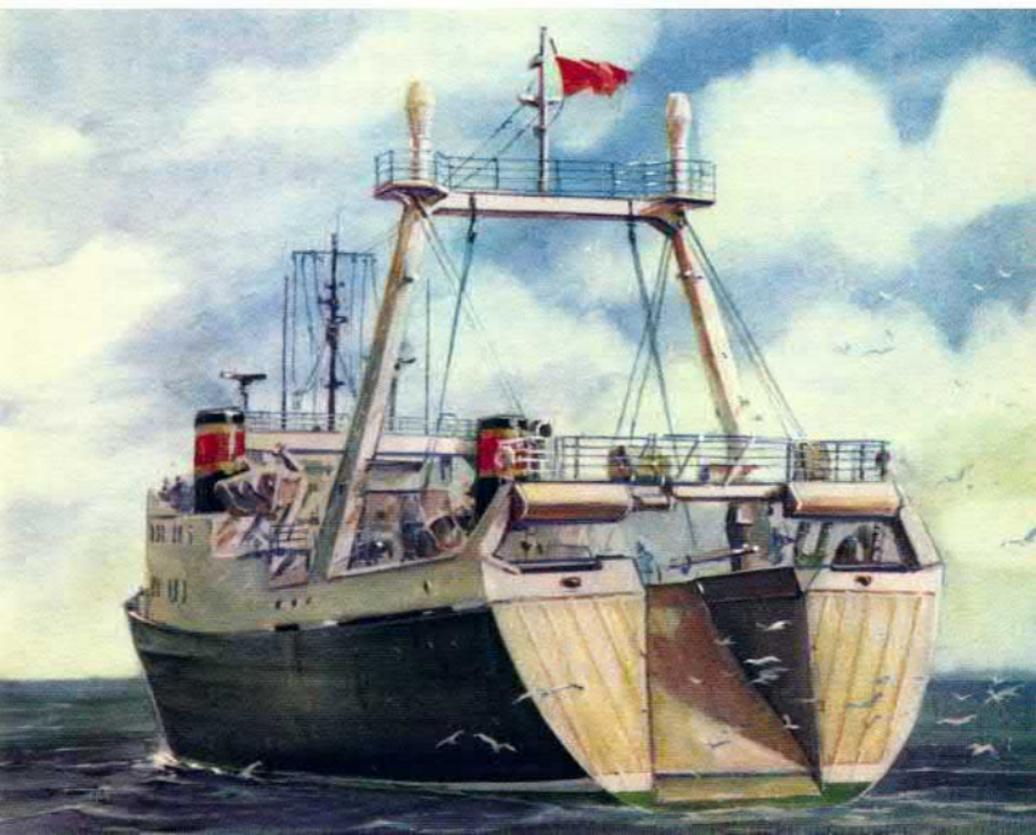
ein neues Gepräge. Schließlich erfährt auch der traditionelle Stückgutverkehr durch die zunehmende Verwendung von Containern eine einschneidende Veränderung.

Die stetige Zunahme des Seeverkehrs zeichnet sich auch in den Häfen ab. Immer mehr Güter werden in ihnen umgeschlagen, die vorhandenen Hafenkapazitäten werden erweitert. Neue Häfen entstehen.

Die Entwicklung des Seeverkehrs ist verständlicherweise von den natürlichen Verhältnissen im Weltmeer abhängig. Die Witterungsbedingungen über See, die Seegangs- und Eisverhältnisse beeinflussen die Schifffahrt nach wie vor in hohem Maße. Die zunehmenden Schiffsgrößen und die Ausweitung des Seeverkehrs erfordern genauere Seekarten, während für den Aus- oder Neubau von Häfen und für die Vertiefung der Seewasserstraßen Unterlagen über die Bodenverhältnisse, Seegangs- und Strömungsbedingungen in Küstennähe und über andere meereskundliche Größen benötigt werden.

Für die Ernährung der rasch zunehmenden Weltbevölkerung

#### *Modernes Fischereifahrzeug vom Typ »Atlantik«*



spielt das durch die Fischerei aus dem Meer gewonnene tierische Eiweiß eine große Rolle. In den letzten 20 Jahren wurde die Hochseefischerei durch die Vergrößerung und Modernisierung der Fangflotten, durch Verbesserung der Fang- und Verarbeitungstechnologien und nicht zuletzt durch die Erschließung neuer Fangplätze beträchtlich erweitert. Beliefen sich 1950 die Erträge der Weltfischerei auf etwa 21 Mill. t, so bewegen sie sich gegenwärtig zwischen 65 und 69 Mill. t. In knapp 30 Jahren konnte der Fischereiertrag also verdreifacht werden.

Der Anteil der einzelnen Seegebiete an dieser Ausbeute ist sehr unterschiedlich. Der überwiegende Teil wurde im nordwestlichen, nordöstlichen und südöstlichen Pazifik sowie im Nordostatlantik gefangen. Diese traditionellen Fischereigebiete liefern heute über die Hälfte des Weltfischereiergebnisses. Zu den führenden Fischereistaaten zählen Peru, das sich auf Grund günstiger natürlicher Bedingungen innerhalb weniger Jahre zu einem der ersten Fischereiländer der Erde entwickelte, ferner Japan, die Sowjetunion, China und Norwegen.

Außer den Fischen dient auch noch eine Reihe anderer Meerestiere wie Stachelhäuter, Weich- und Krebstiere der menschlichen Ernährung. Vor allem Miesmuscheln und Austern züchtet man in größerem Umfang in regelrechten Meerestierfarmen. Auch Krebse, z. B. Garnelen, und einige Fischarten werden vor allem im Fernen Osten, wo die Aquakultur bereits einen hohen Entwicklungsstand hat, in Meerestierfarmen kultiviert.

Neben den Meerestieren spielen auch die Pflanzen des Meeres eine wachsende Rolle als Nahrungsmittel. Gegenwärtig erntet man jährlich Algen mit einem Gesamtgewicht von schätzungsweise 900 000 t aus dem Meer, zum überwiegenden Teil in Japan.

Meerestiere und -pflanzen dienen auch als Rohstoff zur Herstellung zahlreicher Industrieprodukte. Aus den Meerestieralgen werden z. B. zahlreiche Produkte hergestellt, die in der Textil- und Lederindustrie oder in der Lebensmittelindustrie Verwendung finden. Wachsende Bedeutung erlangen Meerestiere und -pflanzen auch als Ausgangsmaterial für verschiedene Medikamente. Ein wichtiges Erzeugnis ist das Fischmehl, das als Tierfutter indirekt der menschlichen Ernährung

zugute kommt. Gegenwärtig laufen Versuche, Fischmehl auch direkt für die Ernährung des Menschen zu nutzen.

Während die gegenwärtige Meeresfischerei schätzungsweise 15% des Weltverbrauchs an tierischem Eiweiß liefert, soll das Meer nach Ansicht zahlreicher Wissenschaftler im Jahre 2000 über 20%, nach anderen Schätzungen sogar 40% des Eiweißbedarfs der Menschheit decken können. Das erfordert neben der Erschließung bislang noch nicht genutzter Fanggebiete und Fischbestände auch die Nutzung anderer Eiweißreserven. Würden außer den herkömmlichen Speisefischen im Meer auch Kleinfische und Krebstiere oder gar die gewaltigen Vorkommen an winzigen Algen befishet, so könnten noch riesige Vorräte des Meeres genutzt werden. Für die Meeresforschung ergeben sich dabei zahlreiche Aufgaben, angefangen von der Untersuchung der Umweltbedingungen im Meer über die Erforschung der Nahrungsgrundlage bis hin zur Erforschung der Lebenszyklen der marinen Organismen.

Die Nutzung des Meerwassers als Lieferant mineralischer Rohstoffe hat – mit einer Ausnahme (Kochsalz!) – erst in diesem Jahrhundert begonnen, während die Erschließung und Ausbeute von Bodenschätzen am Meeresgrund und unter ihm eigentlich erst seit den letzten 20 Jahren intensiv betrieben werden. Die sich in der Zukunft abzeichnende Verknappung einiger Rohstoffe aus herkömmlichen Quellen weist auf die notwendige Einbeziehung der Reserven des Meeres für die Versorgung der menschlichen Gesellschaft hin.

Wahrscheinlich sind alle natürlicherweise vorkommenden chemischen Elemente im Meer vorhanden, wenn auch in sehr unterschiedlichen Konzentrationen. Bisher sind rund 70 Elemente nachgewiesen worden. Im Durchschnitt enthält eine Tonne Meerwasser etwa 35 kg gelöster nichtmetallischer und metallischer Substanzen. Insgesamt beläuft sich die im Meerwasser gelöste Salzmenge auf rund 50 Billionen t.

Der älteste aus dem Meer gewonnene Rohstoff ist das Kochsalz, das durch Verdunstung von Meerwasser in flachen Becken erzeugt wird. Die Weltproduktion von Kochsalz aus dem Meer beträgt zur Zeit etwa 6 bis 10 Mill. t. Besonders verbreitet ist diese Art der Salzgewinnung in der Sowjetunion, in den USA, den Mittelmeerländern sowie in den Ländern des Fernen Ostens und in Australien.

Von großer ökonomischer Bedeutung ist auch die Herstellung von Magnesium, das in verschiedenen Legierungen vor allem im Flugzeug- und Metalleichtbau verwendet wird. Gegenwärtig stammen mehr als 60% der Weltproduktion an Magnesium aus dem Meer. Auch 70% des in der Welt erzeugten Broms sind dem Meerwasser abgerungen. Mit der zunehmenden Motorisierung wuchs der Bedarf an Brom, das u. a. zur Herstellung von Antiklopfmitteln für Treibstoffe dient. Fabriken zur Bromgewinnung aus dem Meer befinden sich in der Sowjetunion, in den USA, in Großbritannien, Indien und Kanada. Japan deckt seinen gesamten Brombedarf aus dem Meer.

Mit diesen wenigen Beispielen ist die Bedeutung des Meerwassers als Rohstofflieferant selbstverständlich noch nicht erschöpft. Zunehmenden Wert erhält z. B. die Gewinnung von Süßwasser aus dem Meer. Gegenwärtig arbeiten auf der Erde über 200 Entsalzungsanlagen, z. B. auf verschiedenen Antilleninseln, am Mittelmeer, bei Kuwait im Persischen Golf und im Süden der Sowjetunion. Sie erzeugen zusammen täglich mehr als 2,5 Mill. t Frischwasser.

Die Erforschung der Rohstoffe des Meeresgrundes ist in der letzten Zeit verstärkt in Angriff genommen worden. Dennoch ist über die Verteilung und Zusammensetzung untermeerischer Bodenschätze noch viel weniger bekannt als über vergleichbare festländische Lagerstätten. Die genaue Ortung und Vermessung der Ablagerungen ist wesentlich schwieriger zu bewerkstelligen. Die Ausbeutung wird auch in der Zukunft zum großen Teil »blind« oder zumindest ferngesteuert erfolgen müssen. Schließlich sind auch die Umwelteinflüsse (Schlechtwetter, Seegang, Strömung) ein größerer Störungsfaktor als auf dem Festland. Auf technologischem Gebiet gibt es ebenfalls noch viele ungelöste Probleme, und auch der erforderliche Aufwand ist in vielen Fällen höher als auf dem Land.

Die Nutzung der Ressourcen des Meeresgrundes ist jedoch nicht nur ein technisches Problem. Während die Bodenschätze des Schelfs auf Grund der Abkommen über die Abgrenzung des Festlandsockels der Hoheitsgewalt der Anliegerstaaten unterliegen, sollen die Rohstoffe des Meeresgrundes der Tiefsee durch eine internationale Meeresbodenbehörde verwaltet werden. Im Rahmen der UN-Seerechtskonferenz werden Rechtsnormen erarbeitet, die besonders den Bedürf-

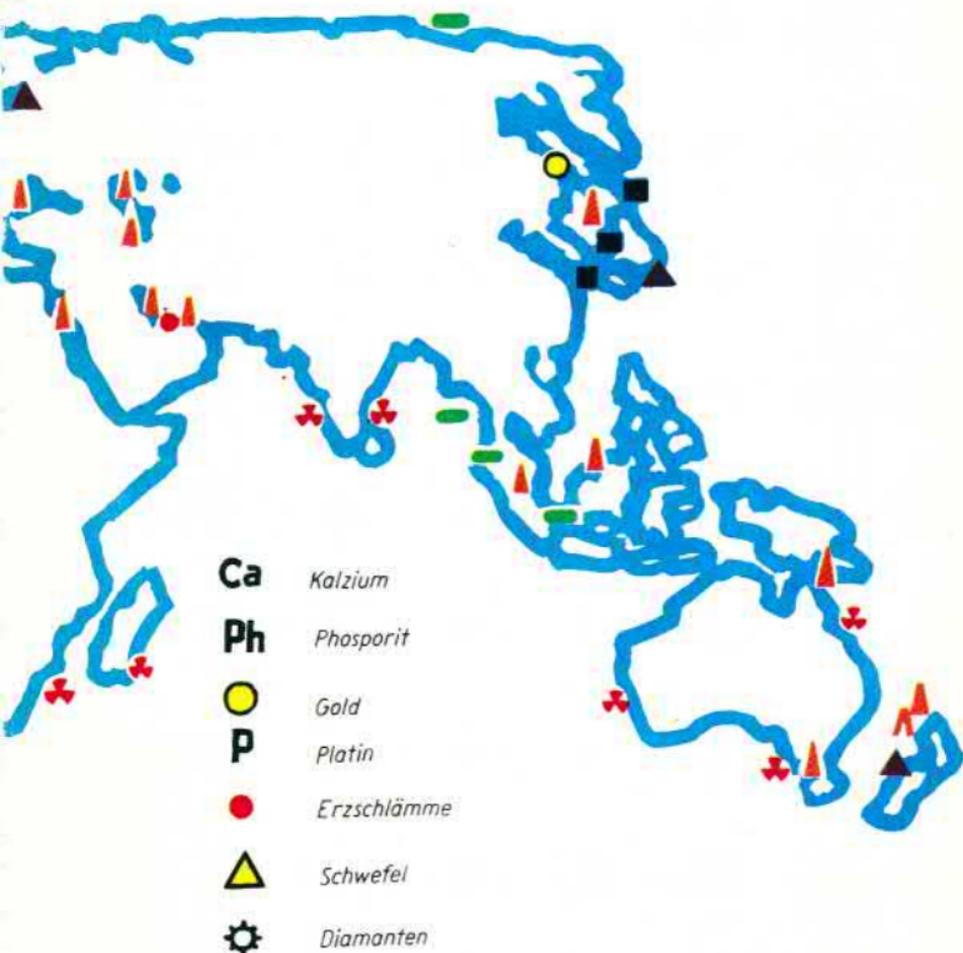
nissen der ökonomisch noch schwach entwickelten Staaten entsprechen und die verhindern sollen, daß die marinen Rohstoffvorkommen zu Spekulationsobjekten werden.

In fast allen Meeren sind in den letzten Jahren nutzbare Vorkommen von Bodenschätzen nachgewiesen worden, die zum Teil auch schon abgebaut werden. In großem Umfang werden die Lagerstätten von hochkonzentrierten Schwermineralsanden an verschiedenen Küsten und in den vorge-lagerten Flachwassergebieten genutzt. Sie enthalten Titan, Zirkon und Thorium, die in der Metallurgie und in der Reak-

*Einige der bisher erkundeten und schon teilweise genutzten Vorkommen von Rohstoffen am Meeresgrund*



tortechnik benötigt werden, ferner Eisen, Vanadium, Zinn, Gold, Platin und Diamanten. Diese Lagerstätten sollen u. a. 80% der nachgewiesenen Weltvorräte an Zirkon und 20% der Titanvorräte enthalten. Untermeerische Kies- und Sandvorkommen werden häufig zu Bauzwecken und für Strandaufspülungen abgebaut, ebenso dienen ausgedehnte Lagerstätten von Muschelschalen als Rohstoffbasis für die Zementherstellung oder bei der Magnesiumgewinnung aus dem Meerwasser. Bedeutung für die Düngemittelproduktion können Phosphoritknollen und -sande gewinnen, die zwischen 20 und 30%  $P_2O_5$  enthalten und auf dem afrikanischen und amerikanischen Schelf wie vor Japan und Australien nachgewiesen wurden.



Tiefseesedimente werden zur Zeit noch nicht genutzt. Ökonomische Bedeutung können aber metallhaltige Schlammablagerungen gewinnen, die u. a. im Roten Meer in über 2000 m Tiefe entdeckt wurden. Sie enthalten außer Eisen und Mangan hohe Konzentrationen an Blei, Kupfer und Zink. Besondere Aufmerksamkeit wird seit einigen Jahren auch untermeerischen Manganablagerungen wegen der darin enthaltenen Konzentrationen verschiedener Erze geschenkt. Sie enthalten etwa 25 bis 30% Mangan, 15 bis 20% Eisen und etwa je 1% Kobalt, Kupfer und Nickel. Probeförderungen erfolgten bereits 1970 vor der Küste von Florida und wenig später auch im Pazifik. Inzwischen wurden weitere Erkundungsarbeiten ausgeführt. Auch Fragen der Förder- und Aufbereitungstechnologie konnten teilweise geklärt werden.

Von den Bodenschätzen im tieferen Untergrund der Meere werden zur Zeit neben Kohle und Eisenerz, deren Abbau durch Schächte vom Festland oder von künstlichen Inseln aus erfolgt, vor allem Schwefel, Erdöl und Erdgas genutzt. Die Produktion von Kohlenwasserstoffen aus Unterwasserfeldern ist in den letzten 20 Jahren schnell gestiegen. Gegenwärtig stammen 20% der Weltproduktion an Erdöl und über 10% der Erdgaserzeugung aus diesen off-shore Lagerstätten. Vor den Küsten von 30 Ländern werden Öl oder Gas gefördert, in den Küstengewässern von weiteren 80 Ländern laufen Erkundungsarbeiten. Hauptfördergebiete sind der Persische Golf, der Golf von Mexiko, die kalifornischen Gewässer, die Bucht von Maracaibo vor Venezuela, das Kaspische Meer, vor der westafrikanischen Küste, in Indonesien, vor Ostaustralien, Alaska und in der Nordsee. Der Anteil der Vorkommen in marinen Bereichen an den derzeit nachgewiesenen Ölreserven liegt bei 25 bis 30% und wird weiter anwachsen.

Der Wert der Produktion von mineralischen Rohstoffen aus dem Meer wird gegenwärtig auf über 2,5 Mrd. Dollar geschätzt, für die untermeerische Öl- und Gasförderung wird ein Betrag von etwa 20 Mrd. Dollar genannt. Andere Schätzungen ergeben für den Frachtertrag aus der Weltschifffahrt Beträge von 40 Mrd. Dollar. Der Wert des Fischereiertrages schließlich wurde vor einigen Jahren auf rund 38 Mrd. Dollar beziffert. Mit einem weiteren Anwachsen des Wertes der aus dem Weltmeer gewonnenen Produkte ist zu rechnen.

---

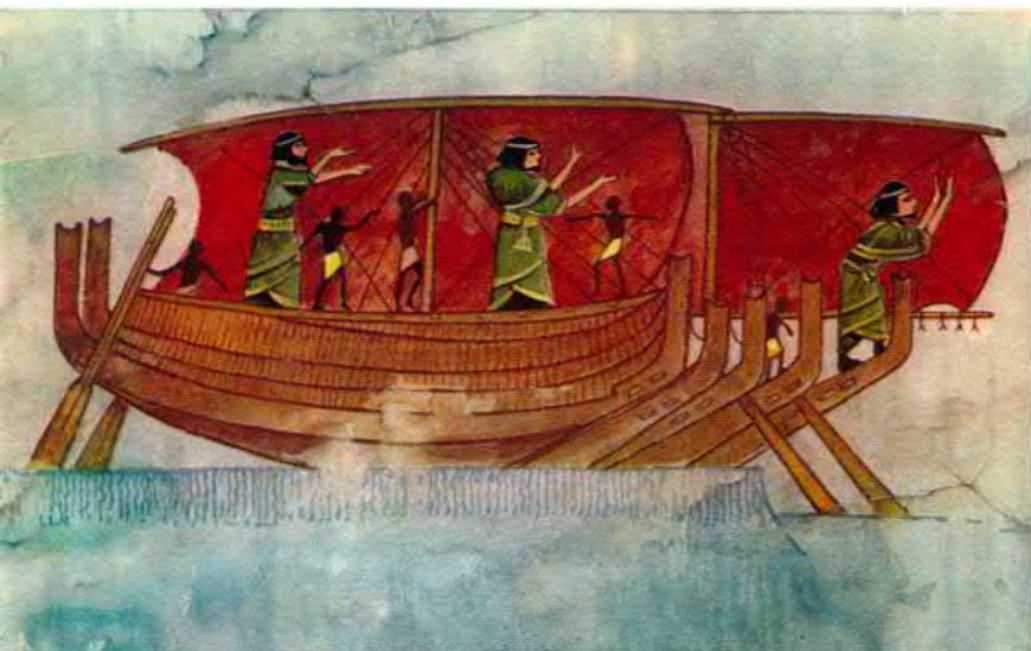
# Der Mensch erforscht das Meer

---

Viele Funde weisen eindeutig darauf hin, daß schon lange vor der Zeitwende Bewohner eines Siedlungsgebietes Verbindungen mit den Menschen anderer Räume aufgenommen haben. Mit Sicherheit waren es Küstenbewohner, die sich als erste auf dem Meer in größere Fernen vortasteten. Ihre ersten Reisen waren vermutlich eine Fortsetzung der Flußschiffahrt und erfolgten immer in Küstennähe, da man noch keine Hilfsmittel zur Ortsbestimmung kannte.

Ein wichtiger Anlaß für das Vordringen in die Ferne wird schon zu Beginn der Seefahrt der Handel gewesen sein. Zusammen mit den Tauschgütern wurden auch erste Nachrichten von fernen Ländern weitergegeben. War es anfangs die Suche nach Feuerstein oder Obsidian, so wurden der Handel und damit der Drang zur See später besonders durch die Suche nach Metall gefördert, das in der Bronzezeit und in der aufkommenden Eisenzeit eine immer größere Bedeutung erhielt. Eine rasche Entwicklung erfuhr der Seehandel im Vorderen Orient. Hier waren schon früh Staaten entstanden, in denen die Produktivkräfte einen Stand erreicht hatten, der einen umfangreichen Gütertausch ermöglichte. Gleichzeitig förderten hier die günstigen Naturverhältnisse eine Seeschiffahrt. Als erste Völker der Erde unternahmen vermutlich die Sumerer und danach die Ägypter und Kreter längere Seefahrten.

Um 2500 v. u. Z. sollen Ägypter bereits im Roten Meer das sagenhafte Land Punt erreicht haben, das sich von der mehr als 2000 km entfernten Somaliküste nach Süden erstreckte. Die Kreter kamen auf ihren Handelsfahrten um 1800 v. u. Z. nach dem erziehen Südspanien. Auf ihren Spuren segelten dann im letzten Drittel des 2. Jahrtausends vor unserer Zeit-



*Phönizisches Lastschiff (um 1000 v. u. Z.)*

rechnung die Phönizier, die zu den bedeutendsten Seefahrern des Altertums zählten. Vermutlich haben schon um 1200 v. u. Z. phönizische Seeleute den Atlantischen Ozean westlich der Straße von Gibraltar befahren und sind zu den Silber- und Zinnvorkommen in der Nähe des heutigen Cadix gelangt. Um 600 v. u. Z. scheint eine phönizische See-Expedition im Auftrage des ägyptischen Pharaos Necho bereits ganz Afrika umrundet zu haben. Erst rund 2100 Jahre später wiederholten portugiesische Seefahrer diese Leistung.

Auch nach Norden richteten sich vom Mittelmeer ausgehende Expeditionen. Die bekannteste Reise, deren Anlaß möglicherweise die Suche nach dem damals sehr gefragten Zinn war, unternahm um 310 v. u. Z. der Grieche Pytheas aus Massilia, dem heutigen Marseille. Nach seinen Berechnungen ist er bis etwa zu den Shetlandinseln gekommen. Von hier aus stieß er wahrscheinlich bis zum sagenhaften Lande Thule vor, das man heute in Island oder Mittelnorwegen vermutet. Pytheas war der erste Grieche, der die Gezeiten beschrieb und sie mit den Mondphasen in Verbindung brachte.

Die Griechen sammelten überhaupt als erste systematisch Angaben über fremde Länder und Meere und stellten sie in Büchern und Karten zusammen. Diese Unterlagen wurden für die Belange der Schifffahrt in sogenannten Periploi zusammengefaßt. Sie können als die Vorläufer der heutigen Seehandbücher und Seekarten gelten und enthielten Angaben über den Küstenverlauf, vor allem die Beschreibung hervorstechender Küstenpunkte und Häfen, sowie Entfernungsangaben. Vereinzelt finden sich auch schon Hinweise auf Meeresströmungen. Lotungen zur Tiefenbestimmung erfolgten dagegen im Altertum nur selten, obwohl das Handlot bereits damals bekannt gewesen sein dürfte.

Ptolemäus aus Alexandria stellte um 150 u. Z. das damalige Wissen von der Erde zusammen. Neben dem Mittelmeer kannte er bereits den östlichen Atlantik bis hin zu den Kanarischen Inseln und der Nordsee sowie den Indischen Ozean, der für ihn ein Binnenmeer war, das im Süden durch ein Südländ, die »terra australis«, abgeschlossen wurde. Über die Araber gelangte das Weltbild des Ptolemäus später auch nach Europa und hielt sich hier nahezu unverändert bis ins 15. Jahrhundert. Ptolemäus waren am Ausgang der Antike schätzungsweise erst 4% der Wasserfläche unserer Erde bekannt. In den folgenden Jahrhunderten nahmen die maritimen Kenntnisse in Europa nur wenig zu.

Zur gleichen Zeit, in der im Mittelmeer die Schifffahrt einen Aufschwung erlebte, bestanden auch in anderen Gebieten der Erde, wie im Indischen Ozean oder in Ostasien, gut entwickelte Seeverbindungen, die nicht nur auf die Küstenfahrt beschränkt blieben. Auch hier erfolgte ein Austausch von Handelsgütern über See. Dabei nutzte man beispielsweise bei Fahrten vom Roten Meer nach Indien schon den regelmäßig wehenden Südwestmonsun aus. In den ersten Jahrhunderten u. Z. erreichten chinesische Dschunken Japan, Sumatera und Indien.

Im Nordatlantik kamen irische Mönche zwischen 750 und 790 zu den Färöern und nach Island. Etwa 100 Jahre später begannen in diesen Gebieten die ausgedehnten Seereisen der Normannen. Um 850 befuhr Wulfstan aus Dänemark die Ostsee und gelangte bis zur Weichselmündung. Der Pelzhändler Othar umrundete etwa zur gleichen Zeit das Nordkap und wies den Halbinselcharakter von Skandinavien nach. Beide schlugen aber bei ihren Fahrten keine neuen Wege ein,

sondern folgten vermutlich schon bestehenden älteren Handelsrouten.

Nachdem sich die Normannen 867 auf Island angesiedelt hatten, landete Erik der Rote 986 im südwestlichen Grönland. Für längere Zeit bestand eine einigermaßen stabile Seeverbindung zum europäischen Mutterland, die erst um 1400 gänzlich abriß. Die Fahrten über den unwirtlichen Nordatlantik waren in jener Zeit eine beachtliche seemännische Leistung, da man nach wie vor eine Ortsbestimmung auf hoher See nicht kannte. Leif Erikson erreichte um das Jahr 1000 als erster Nordamerika und landete vermutlich in der Gegend von Boston. Andere Normannen drangen wenig später bis an die Küste von Labrador und zur Hudsonbai vor.

Weitere Entdeckungen glückten im 12. Jahrhundert normannischen Seeleuten und russischen Fischern. 1194 soll Spitzbergen von den Normannen betreten worden sein. In der Folgezeit dürfte sich – bedingt durch den Reichtum an Pelztieren und Walen – ein stärkerer Verkehr nach den nördlichen Gewässern entwickelt haben.

Etwa gleichzeitig mit den Fahrten der Normannen im Nordatlantik bestand ein reger Schiffsverkehr zwischen den Inseln des Pazifischen Ozeans, von dem lange Zeit nichts bekannt war. Dabei verstanden es die polynesischen Seefahrer ausgezeichnet, die natürlichen Bedingungen von Wind und Strömung auszunutzen. Etwa um 900 erstreckte sich das von ihnen befahrene Gebiet zwischen Sumatra im Westen bis zur Osterinsel im Osten und von den Hawaii-Inseln bis nach Neuseeland. Überlieferungen besagen, daß um 650 polynesische Seefahrer bis zur südlichen Eisgrenze vorgezogen sein sollen.

Bis zum Jahre 1400 waren dem Menschen schätzungsweise erst 7% der Meeresoberfläche bekannt, d. h. nur wenig mehr als um die Zeitwende. Ein grundlegender Wandel in der Kenntnis von der Erde vollzog sich gegen Ende des 15. und zu Beginn des 16. Jahrhunderts im Zeitalter der großen Entdeckungen.

In der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts war der Orienthandel, der einen regen Verkehr auf dem Landwege bis nach Indien und China bewirkt hatte, in eine Krise geraten. Durch viele Zwischenhändler hatten sich die begehrten Waren – vor allem feine Gewebe, Gewürze, Zucker, Parfümerien – er-

heblich verteuert. Das Vordringen der Türken erschwerte die Verbindungen auf dem Landwege immer mehr. Hinzu kam ein steigendes Bedürfnis an der Erschließung neuer Gold- und Silberquellen, da die eingeführten Luxuswaren mit Gold und Silber bezahlt werden mußten. Der europäische Bergbau konnte die abströmenden Edelmetalle bald nicht mehr ersetzen, was eine weitere Preissteigerung zur Folge hatte. Aber auch die in Europa stark angewachsene Warenproduktion erforderte große Mengen Edelmetalle als Tauschmittel. Die Erschließung neuer Gold- und Silbervorkommen in noch unbekanntem Gegenden und eine Seeverbindung zu den Schätzen des Orients wurden daher zu einer unumgänglichen wirtschaftlichen Notwendigkeit.

In Europa kannte man inzwischen die Magnetnadel und ihre Richtkraft, so daß sich die Schifffahrt von der Küste lösen konnte. Winkelmeßgeräte wie das Astrolabium und später der sogenannte Jakobsstab fanden um 1500 Eingang in die Navigation und ermöglichten eine einigermaßen ge-

*Die »Santa Maria«, das Flaggschiff des Columbus, 1492*



naue Breitenbestimmung auf See, wenn auch allerdings noch für lange Zeit das Problem einer Längenbestimmung ungelöst blieb. Etwa ab 1300 tauchten in italienischen Bibliotheken die ersten Seekarten auf und daneben in Form der Portulane Segelanweisungen, die außer den Küstenbeschreibungen auch schon Kursangaben enthielten. Auch der Schiffbau selbst machte größere Fortschritte, so daß größere und schnellere Schiffe gebaut werden konnten.

In dieser Zeit begann sich auch die Vorstellung von einer Kugelgestalt der Erde durchzusetzen. Das ließ einen Seeweg nach Indien auch auf westlichem Kurs als möglich erscheinen, wobei man allerdings die tatsächlichen Entfernungen stark unterschätzte.

Die erste Weltumseglung unter Magalhães in den Jahren von 1519 bis 1522 zeigte dann, wie groß tatsächlich der Erdumfang war.

Auch im Norden veranlaßte das Bestreben nach einem direkten Zugang zu den Reichtümern der asiatischen Welt zahlreiche Expeditionen. Ihr Ziel war die Erschließung einer nordwestlichen und nordöstlichen Durchfahrt in den Pazifischen Ozean. Da sich die bis dahin bekannten Landgebiete weiter nach Norden erstreckten, als man ursprünglich annahm, wurde mit diesen Fahrten ungewollt eine Nordpolarforschung eingeleitet.

Die Seereisen im Zeitalter der großen Entdeckungen und in den folgenden Jahrhunderten brachten neue Kenntnisse über die Abmessungen der ozeanischen Räume und führten zur Vervollkommnung des Weltbildes, so daß gegen Ende des 18. Jahrhunderts der größte Teil des Weltmeeres zumindest in seinen horizontalen Abmessungen bekannt war. Unbekannt blieben noch lange Zeit die Verhältnisse unterhalb der Meeresoberfläche. Tiefenbestimmungen in der offenen See erfolgten nach wie vor so gut wie gar nicht. Lediglich von Magalhães wird berichtet, er habe zweimal im Pazifik eine Lotung versucht, ohne daß er dabei den Meeresgrund erreichte. Columbus wurde auf seiner ersten Reise 1492 schon auf die westwärts setzende Strömung in den tropischen Gewässern aufmerksam, und 1513 beobachtete Ponce de Leon zum ersten Male die hohen Geschwindigkeiten im Golfstrom. Einzelne Segelanweisungen aus dieser Zeit enthalten schon Angaben über die Windverhältnisse ausgewählter Seegebiete.

Von den ersten Beobachtungen bis hin zu Ansätzen einer wissenschaftlichen Meereskunde war es noch ein langer Weg. Erst um 1650 finden sich Bestrebungen in dieser Richtung. Der deutsche Geograph Bernhardus Varenius widmete in seiner 1650 erschienenen »Allgemeinen Geographie« mehrere Kapitel ozeanographischen Fragen und ging besonders auf die Bewegungsvorgänge ein. Auch Isaac Vossius befaßte sich in einer 1663 erschienenen Schrift mit den Meeresströmungen und unterschied bereits zwei große Stromkreisläufe im Atlantischen Ozean. Schließlich veröffentlichte Athanasius Kircherus 1678 in Amsterdam die ersten Karten der Meeresströmungen im Atlantik. Wenig später, 1688, erschien von dem englischen Astronomen Halley die erste Karte der Windverhältnisse über dem Atlantik.

Die früheste uns heute bekannte Untersuchung über den Salzgehalt des Meerwassers und über die örtlichen Unterschiede in der Salzgehaltsverteilung rührt von Robert Boyle aus dem Jahr 1673 her. Gegen Ende des 17. Jahrhunderts setzten sich Newton und andere Gelehrte mit dem Problem der gezeitenerzeugenden Kräfte auseinander.

In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts erhielt die Erforschung noch unbekannter Seeräume neue Impulse. Ziel der Reisen waren vor allem die südlichen Gewässer. Hier bestanden über die Grenzen zwischen Festland und Meer noch große Unklarheiten, noch immer vermutete man auf der Südhalbkugel einen großen Kontinent. Erst James Cook, der auf drei großen Reisen im Pazifik zwischen 1768 und 1779 viele neue Gebiete entdeckte, stieß als erster Seefahrer bis auf über 60° S vor und räumte endgültig mit der Vorstellung von einem bewohnten Südländ auf.

Eine ähnlich rege Forschungstätigkeit setzte in den Gewässern des hohen Nordens ein. Eine der größten Expeditionen stellte dort die »Große Nordische Expedition« von 1733 bis 1743 unter Leitung von Vitus Bering dar.

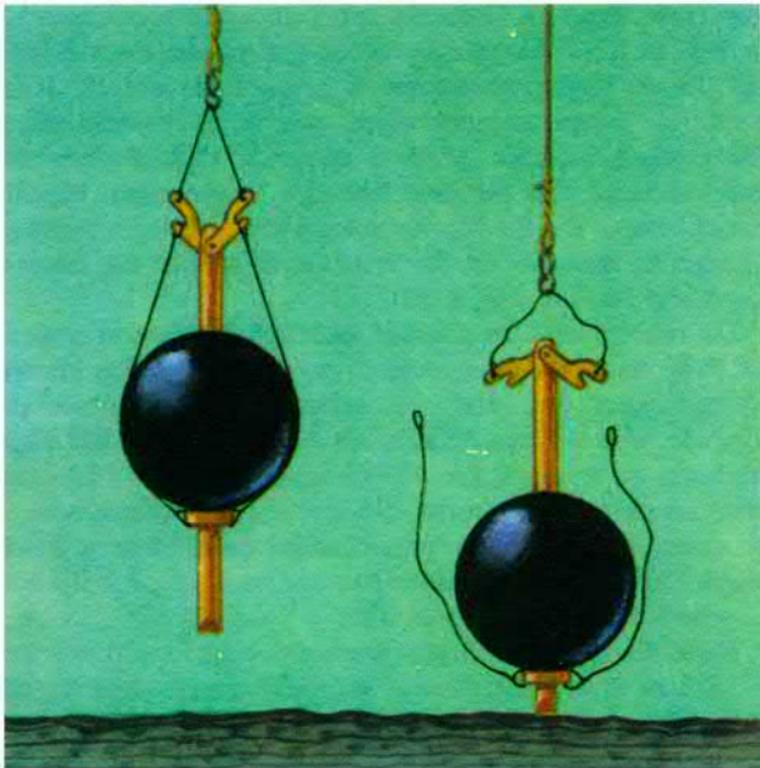
Bei den russischen Untersuchungen in den arktischen Gewässern spielte Michail Lomonossow (1711–1765) eine große Rolle. Er beschäftigte sich eingehend mit den meereskundlichen Arbeiten in diesem Seegebiet und sah das Fernziel seiner Arbeiten in der Schaffung eines nördlichen Seeweges vom Atlantik zum Pazifik. Diese Nordostpassage glückte aber erst in den Jahren 1878 und 1879 dem schwedischen

Polarforscher A. E. Nordenskiöld mit der »Vega«. Heute kann der nördliche Seeweg durch den Einsatz moderner Eisbrecher und auf Grund einer genauen Kenntnis der meteorologischen und ozeanologischen Verhältnisse während der Sommermonate genutzt werden.

Auch vor der nordamerikanischen Küste versuchten zahlreiche Expeditionen, eine Seeverbindung zwischen dem Atlantischen und dem Pazifischen Ozean zu finden. Vor allem von englischer Seite wurden erhebliche Anstrengungen zur Erschließung dieser Nordwestpassage gemacht, war man doch nach der Unabhängigkeitserklärung der USA an einer möglichst kurzen Verbindung zum australischen Kontinent interessiert. Erst 1903 bis 1905 gelang es jedoch Amundsen, mit der »Gjøa« zwischen den kanadischen Inseln zum Pazifik vorzustoßen. Trotz der schwierigen Schiffsfahrtsverhältnisse, die bisher ihre Nutzung verhinderte, kann die Nordwestpassage möglicherweise Bedeutung für den Erdöltransport aus den neuerschlossenen Ölfeldern im Norden Alaskas gewinnen.

Die Expeditionen des 18. Jahrhunderts waren endlich auch in der Lage, genaue Ortsbestimmungen vorzunehmen, da die erforderlichen technischen und mathematischen Voraussetzungen nunmehr vorlagen. Waren bei den bisherigen Breitenbestimmungen auf See Fehler von 4 bis 5° nichts Ungewöhnliches, so ermöglichte der 1731 von dem Engländer John Hadley erfundene Spiegelsextant genaue Winkelmessungen auf See. 1764 wurde mit der Entwicklung eines brauchbaren Schiffschronometers durch John Harrison auch die Bestimmung der geographischen Länge auf See möglich.

Alle Erkenntnisse beschränkten sich gegen Ende des 18. Jahrhunderts auf die Meeresoberfläche. Die tieferen Schichten des Weltmeeres blieben unerforscht, lange Zeit hatte man nur sehr vage Vorstellungen über die vertikalen Abmessungen der Meere. Nachdem Lotungen zur Tiefenbestimmung jahrhundertlang nur vereinzelt in den flachen Küstengewässern erfolgt waren, gelang 1773 dem Engländer Phipps im Nordatlantischen Ozean die erste Lotung bei einer Wassertiefe von über 1200 m. Seit der Mitte des 19. Jahrhunderts können wir dann von Tiefseelotungen im eigentlichen Sinne sprechen, nachdem geeignete Lote entwickelt worden waren, mit denen auch Proben des Meeresgrundes aus größeren Tiefen empor-



*Das Tiefenlot von Brooke (1854) ermöglichte eine genauere Bestimmung der Wassertiefe. Beim Berühren des Meeresgrundes löste sich eine durchbohrte Kanonenkugel von der Halterung, wodurch das Einholen der Lotleine erleichtert wurde.*

gebracht werden konnten. Bei den bis dahin üblichen Loten war es sehr schwierig, bei größeren Wassertiefen eine Grundberührung des Lotgewichts festzustellen, so daß wiederholt Wassertiefen bis zu 15000 m an Stellen gemessen wurden, wo die wahre Tiefe tatsächlich nur etwa 5000 m beträgt. 1840 gelangen James Clark Ross im Südatlantik die ersten Tiefseelotungen, die eine Wassertiefe von 4480 m ergaben. 1968 erfolgte eine Überprüfung dieser Angaben mit modernen Meßgeräten, wobei es sich zeigte, daß der Wert von Ross um reichlich 450 m zu groß war.

Die Erfindung des Thermometers machte auch Temperaturmessungen im Meer möglich. 1707 führte Graf Marsilli im Mittelmeer Wassertemperaturmessungen bis zu einer Tiefe

von 195 m aus, und 1749 erfolgten Temperaturmessungen bis in 1630 m Tiefe. Allerdings wurden erst mit der Entwicklung der Tiefsee-Umkippthermometer gegen Ende des 19. Jahrhunderts Temperaturmessungen mit einer ausreichenden Genauigkeit möglich. Marsilli entnahm auch Proben des Meeresbodens und der dort lebenden Organismen. Hierfür entwickelte er die für Meeresbiologie und -geologie wichtige Dredge. Er schuf damit das erste Gerät speziell für meereskundliche Zwecke (vgl. S. 53).

Die zahlreichen Expeditionen jener Zeit brachten in großem Umfang neue Forschungsergebnisse mit, so daß sich klarere Vorstellungen über das Geschehen im Meer entwickeln konnten, obwohl man hinsichtlich der Vorgänge in der Tiefe nach wie vor wenig wußte. 1786 erschien Benjamin Franklins erste Karte des Golfstroms, die in überraschender Übereinstimmung mit modernen Vorstellungen die Strömung gleich einem Fluß im Meer verlaufen läßt und bereits eine Reihe von Geschwindigkeitsangaben enthält.

Diese Karte stützt sich auf Beobachtungen amerikanischer Walfänger. Franklin wollte deren Erfahrungen auch für die Postschiffe auf dem Weg zwischen England und Nordamerika nutzbar machen. Es handelt sich hier ebenso wie bei dem gleichfalls von Franklin gemachten Vorschlag, durch systematische Messungen der Wassertemperatur den Verlauf des Golfstroms festzustellen, um erste Ansätze zur Verbindung meereskundlicher Erkenntnisse mit der Schifffahrtspraxis.

Auch im 19. Jahrhundert erfolgten von verschiedenen Ländern aus Expeditionen zur See. Das Augenmerk galt erneut der Erforschung der Polargebiete, die häufig mit meereskundlichen Beobachtungen verbunden waren. Es wurden in dieser Zeit auch zahlreiche Weltumsegelungen unternommen, die neben wissenschaftlichen vor allem militärische oder handelspolitische Ziele hatten.

Von einer systematischen Entwicklung der Meereskunde können wir aber erst seit der Mitte des 19. Jahrhunderts sprechen. Die industrielle Revolution, die zu Beginn des 19. Jahrhunderts zunächst in England und in den folgenden Jahrzehnten auch in den übrigen europäischen Staaten und in den USA zu einer maschinellen Großproduktion führte, war mit einer raschen Intensivierung des Handels und damit vor allem auch der Schifffahrt verbunden. Der zunehmende Schiffs-

verkehr benötigte zuverlässige Angaben über die Wind- und Strömungsverhältnisse auf den Weltmeeren, über Gezeiten und Eisvorkommen, Nebelhäufigkeiten und vieles andere mehr. Es wurde dringend notwendig, durch meteorologische, nautische und ozeanologische Untersuchungen die Grundlagen für eine rationelle und sichere Navigation zu schaffen.

In verschiedenen Ländern waren um diese Zeit zwar schon hydrographische Dienste entstanden (so z. B. 1720 in Frankreich, 1784 in Dänemark, 1795 in England, 1827 in Rußland und 1861 im damaligen Preußen), aber die verschiedenen Beobachtungen wurden nicht systematisch ausgewertet oder gar im internationalen Rahmen bearbeitet. Hier machte sich der amerikanische Marineoffizier M. F. Maury besonders verdient, der anhand von Schiffstagebüchern 1847 erstmals Wind- und Strömungskarten zusammenstellte und diese in der Folgezeit durch Segelanweisungen ergänzte. Mit diesen Arbeiten waren der Schifffahrt Unterlagen für eine bessere Ausnutzung der Naturverhältnisse gegeben, die damals z. B. der britischen Handelsflotte jährlich zwei Millionen Pfund Sterling Nutzen einbrachte. 1853 vereinbarten 10 Staaten auf der 1. Internationalen Hydrographischen Konferenz in Brüssel einen einheitlichen Beobachtungsdienst auf See, an dem 1857 schon über 200 Schiffe teilnahmen. Heute sind es bereits 5000 Handelsschiffe, die meteorologische und zum Teil auch ozeanographische Beobachtungen und Messungen anstellen, die für die Wettervorhersage und für andere wissenschaftliche und praktische Aufgabenstellungen unentbehrlich sind.

Einen zweiten Anstoß erhielt die Meereskunde, als um 1850 die technischen Voraussetzungen für die Herstellung von Kabelverbindungen durch Seegebiete geschaffen wurden. Die dritte Dimension der Ozeane mußte erforscht werden! Die Kenntnis der Wassertiefe auf den Kabeltrassen erforderte umfangreiche Lotungsarbeiten. 1855 legte Maury die erste Tiefenkarte des Nordatlantischen Ozeans vor, die schon 150 Lotungen mit Tiefen von über 1800 m enthielt. Auch in den Jahren darauf erfolgten zahlreiche Tiefenbestimmungen. Dennoch konnte sich eine internationale Tiefenkarte der Ozeane aus dem Jahre 1904 erst auf 18400 Lotungen stützen.

Ein dritter Anstoß für die Entwicklung der Meereswissenschaften war die bis dahin offene Frage nach dem Leben in den Tiefen des Meeres. Obwohl schon 1818 bei Lotungen in

den arktischen Gewässern Würmer und Seesterne aus über 1 800 m Tiefe emporgeholt wurden, waren die meisten Biologen der Ansicht, unterhalb einer nur wenige hundert Meter mächtigen belebten Wasserschicht könne es im Meer weder pflanzliches noch tierisches Leben geben. Als man jedoch nach dem Jahre 1860 Tiefseekabel, die aus 1 500 bis 3 000 m Tiefe zu Reparaturzwecken emporgeholt wurden, mit Meerestieren dicht besiedelt fand, wurden die alten Ansichten endgültig verworfen. Eine zunehmende Zahl von Expeditionen befaßte sich im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts speziell mit meereskundlichen Untersuchungen in verschiedenen Seegebieten.

Die Zeit der großräumigen dreidimensionalen Erforschung der biologischen, chemischen, geologischen und physikalischen Verhältnisse im Meer begann mit der Erdumsegelung des britischen Kriegsschiffes »Challenger« von 1872 bis 1876, an der 6 Wissenschaftler teilnahmen. Das 2 300 t große Schiff legte unter der wissenschaftlichen Leitung von Wyville Thomson auf seiner Reise 68 500 Seemeilen zurück, wobei 370 Tiefenlotungen, 255 Temperaturmessungen und 240 Netzzüge erfolgten. Die wissenschaftliche Ausbeute war groß. Über 4 700 bis dahin unbekannte Arten von Lebewesen wurden gefunden.

Das Beispiel der »Challenger« löste in verschiedenen Ländern eine ganze Reihe meereskundlicher Expeditionen aus. 1874 bis 1876 umrundete die deutsche Korvette »Gazelle« ebenfalls die Erde. 1889 arbeitete die von der Preußischen Akademie der Wissenschaften ausgerichtete Planktonexpedition auf der »National« im Atlantik mit dem Ziel, die Verbreitung und artenmäßige Zusammensetzung der dem Plankton angehörenden Pflanzen und Tiere zu studieren. 1898 bis 1899 ging es bei der deutschen Expedition mit dem 2 170 BRT großen umgebauten Handelsdampfer »Valdivia« um die Frage, ob oberhalb der Tiefseefauna am Meeresgrund und unterhalb der belebten oberen Wasserschichten auch Leben in der gewaltigen dazwischenliegenden lichtlosen Wasserschicht existiert.

Als weitere Beispiele für die Forschungsfahrten in diesen Jahrzehnten sollen noch die russischen meereskundlichen Untersuchungen unter der Leitung von Makarow mit der Korvette »Witjas« im Pazifischen Ozean von 1886 bis 1889

und auf dem ersten Eisbrecher der Welt »Jermak« bei Spitzbergen sowie Nansens Drift mit der »Fram« im Nordpolarmeer von 1893 bis 1896 genannt werden. 1882 wurde mit der »Albatross« das erste ozeanographische Forschungsschiff für die Fischereibehörde der Vereinigten Staaten in Dienst gestellt.

Als nach der Jahrhundertwende zunehmend theoretische Untersuchungen die bis dahin bekannten Tatsachen verallgemeinerten und sich damit neue Vorstellungen über die Bewegungsvorgänge im Meer herausbildeten, begann in der Ozeanographie der allmähliche Übergang von einer vorwiegend geographisch-beschreibenden Wissenschaft zur mathematisch-physikalisch begründeten Wissenschaft. Gleichzeitig wurden verschiedene meereskundliche Meßgeräte wie Umkippthermometer, zuverlässig arbeitende Wasserschöpfer, Strömungsmesser und verbesserte Netze und Dredgen entwickelt, die auch noch heute zur Standardausrüstung von Forschungsschiffen gehören.

In dieser Zeit entstanden auch die ersten internationalen Gemeinschaftsunternehmen in der Ozeanographie. 1882 bis 1883 kam es zum ersten Internationalen Polarjahr, wobei die gemeinsam abgestimmten Untersuchungen an 49 Meßstationen nicht nur auf die Polargebiete beschränkt blieben, sondern auch zur Klärung weltweiter Zusammenhänge dienten und dabei vielfach ozeanographische Fragen berührten. Eine Wiederholung erfolgte im zweiten Internationalen Polarjahr in den Jahren von 1932 bis 1934, ein neuer Höhepunkt wurde schließlich im Internationalen Geophysikalischen Jahr 1957 bis 1958 erreicht.

Starke Schwankungen im Ertrag der Heringsfischerei am Ostausgang des Skagerraks waren der Anlaß für internationale meereskundliche Arbeiten im Nord- und Ostseeraum. Sie führten 1902 zur Gründung des Internationalen Rates für Meeresforschung (ICES) in Kopenhagen als dem ersten internationalen meereskundlichen Gremium. Der ICES regt auch heute noch verschiedene ozeanologische und fischereibiologische Untersuchungen im Nordatlantik an und koordiniert die Arbeiten.

Die Zeit der großräumigen Aufnahmen in den Ozeanen von einem Forschungsschiff aus wurde von einem zweiten Entwicklungsabschnitt der Ozeanographie abgelöst, der durch

die systematische Untersuchung des ozeanologischen Aufbaus und der Bewegungsvorgänge ausgewählter Seegebiete charakterisiert ist. So begannen z. B. 1913 systematische norwegische Arbeiten auf der nur 57 BRT großen »Armauer Hansen« im östlichen Nordatlantik zur Untersuchung der jahreszeitlichen Veränderungen verschiedener ozeanologischer Faktoren.

Lange Zeit beispielgebend für die systematische Untersuchung eines ganzen Ozeans war die Deutsche Atlantische Expedition auf dem 1 178 t großen Forschungsschiff »Meteor« von 1925 bis 1927. Ihr Ziel galt der Klärung der Zirkulationsvorgänge im Südatlantik, verbunden mit umfangreichen biologischen, chemischen und meteorologischen Forschungsarbeiten. Dreizehnmal überquerte die »Meteor« auf verschiedenen Routen den Atlantischen Ozean zwischen 18° N und 55° S und führte Messungen auf 310 Stationen (so werden die einzelnen Meßpunkte in der Meereskunde bezeichnet) aus. Noch heute sind diese Ergebnisse wichtige Unterlagen für weitere Arbeiten.

Auch andere Länder entsandten in den Jahren bis zum zweiten Weltkrieg zahlreiche meereskundliche Expeditionen. Gleichzeitig entstand eine ganze Reihe neuer Forschungsinstitute. Einen raschen Aufschwung erfuhr die Meereskunde in der Sowjetunion. Bereits 1918 wurde eine hydrographische Expedition für Arbeiten im europäischen Nordpolarmeer ausgerüstet, der 1920 eine Reihe weiterer wissenschaftlicher Expeditionen in andere Meere folgte. 1921 wurde das »Schwimmende Meeresforschungsinstitut« gegründet und damit der eigentliche Grundstein für die sowjetische Ozeanologie gelegt. Noch im gleichen Jahre erfolgten die ersten Expeditionen. Ein Robbenschoner wurde 1922 bis 1923 für dieses Institut zum ersten sowjetischen Forschungsschiff, der 550 t großen »Persei«, umgebaut. Die »Persei« nahm auch am zweiten Internationalen Polarjahr teil und führte bis zum Jahre 1941 in den nördlichen Meeren 90 Expeditionen aus.

Dem »Schwimmenden Meeresforschungsinstitut« folgten weitere ozeanologische und Fischereiinstitute. Ein Schwerpunkt der sowjetischen ozeanologischen Untersuchungen war die Erschließung des nördlichen Seeweges. Erstmals diente in den Jahren 1937 und 1938 eine treibende Eisscholle als Basis für meereskundliche und meteorologische Messungen in der Arktis. Der von Papanin geleiteten Driftstation »Nord-

pol I« folgten nach dem Kriege weitere Stationen. 1977 gelang es dem sowjetischen Atomeisbrecher »Arktika« als erstem Überwasserschiff, den Nordpol zu erreichen.

Im ersten Jahrzehnt nach dem zweiten Weltkrieg traten bei den weltweiten Tiefsee-Expeditionen neue spezielle Fragestellungen auf. Ein besonderes Augenmerk galt dabei der Untersuchung des Meeresgrundes und der darunterliegenden Schichten. So lag das Schwergewicht der schwedischen »Albatross«-Expedition von 1947 bis 1948 bei meeresgeologischen Fragen. Hier glückte es erstmals, Bohrkerne von über 20 m Länge aus der Tiefsee zu gewinnen, die einen Einblick in die geologische Geschichte des Tiefseebodens über mehr als 10 Mill. Jahre zurück gestatteten. Auf der dänischen Expedition mit der »Galathea« gelangen 1950 bis 1952 bedeutende Entdeckungen bei der Erforschung des tierischen Lebens in der Tiefsee.

Bei der biologischen und geologischen Untersuchung der Tiefseegräben im Pazifik zeichnete sich in den Folgejahren

*Die »Meteor« im Beaglekanal auf Feuerland*



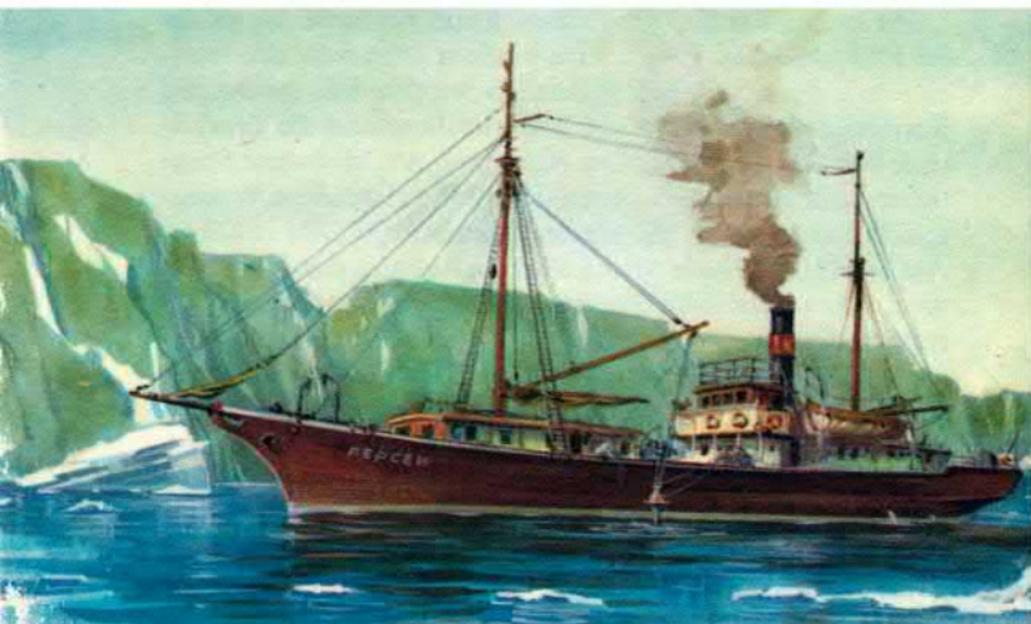
besonders das in Wismar rekonstruierte und 1949 in Dienst gestellte sowjetische Forschungsschiff »Witjas« aus.

Die umfangreichen Beobachtungen zeigten, daß die Verhältnisse im Weltmeer sehr komplex sind und sich vielerorts durch eine große räumliche und zeitliche Veränderlichkeit auszeichnen. Gelegentliche stichprobenartige Messungen an einem Punkt konnten die natürlichen Verhältnisse nur ungenügend widerspiegeln. Zunehmend entstand die Forderung nach gleichzeitigen (synoptischen) Untersuchungen mit einer einheitlichen Methodik von mehreren Schiffen aus. Es zeigte sich weiter, daß bei einem so ausgedehnten und komplizierten Forschungsgegenstand wie dem Weltmeer eine gleichberechtigte internationale Zusammenarbeit notwendig und ein Austausch der Meßwerte wünschenswert ist.

Ansätze zu gemeinsamen Arbeiten mehrerer Forschungsschiffe zur gleichen Zeit hatte es schon früher gegeben. So erfolgten schon 1928 gleichzeitige Untersuchungen auf 8 Profilen im Finnischen Meerbusen durch 8 sowjetische Schiffe, die später auch in der Barentssee und in den fernöstlichen Gewässern der Sowjetunion fortgesetzt wurden. 1938 kam es im Azorengbiet bei den Internationalen Golfstromuntersuchungen zum Zusammenwirken zwischen einem deutschen und einem norwegischen Forschungsschiff, in das zeitweise auch ein französisches Wetterschiff mit einbezogen wurde.

Zu gemeinsamen Programmen mehrerer Forschungsschiffe in größerem Umfange kam es jedoch erst nach dem zweiten Weltkrieg. Erwähnt seien hier beispielsweise die gemeinsamen Untersuchungen von 6 Forschungsschiffen aus den USA und Kanada 1950 im Golfstromgebiet zwischen Kap Hatteras und der Neufundlandbank. Einen Höhepunkt erreichte die internationale Zusammenarbeit während des Internationalen Geophysikalischen Jahres 1957 bis 1958 und der sich daran anschließenden Internationalen Geophysikalischen Kooperation. Über 70 Forschungsschiffe (darunter mehr als 20 aus der Sowjetunion) arbeiteten bei vorher abgesprochenen Programmen mit. Ein weiteres internationales Großprogramm mit etwa 40 Schiffen galt in den Jahren von 1958 bis 1965 (mit dem Schwerpunkt 1962 bis 1964) dem bis dahin von der Ozeanologie recht stiefmütterlich behandelten Indischen Ozean.

Auf Initiative der DDR, in der nach 1945 eine Meeres-



*Mit dem »Schwimmenden Meeresforschungsinstitut« auf der »Persei« begann die sowjetische Meeresforschung.*

forschung erst aufgebaut werden mußte, kam es im Sommer 1964 zur synoptischen Aufnahme der Ostsee mit 12 Schiffen.

In den letzten Jahren hat sich die internationale Zusammenarbeit vor allem auf Untersuchungen zur Klärung von Grundproblemen der Ozeanologie konzentriert. Hierzu gehören z. B. gemeinsame Forschungen von Meteorologie und Ozeanologie zu Fragen des Energieumsatzes zwischen Ozean und Atmosphäre im Rahmen des Globalen Atmosphärischen Forschungsprogramms (GARP). Nachdem 1974 am atlantischen tropischen Experiment (GATE) rund 40 Schiffe, Flugzeuge und Satelliten an verschiedenen Untersuchungen beteiligt waren, werden 1979 im ersten globalen Experiment (FGGE) die Tropenzonen aller drei Ozeane untersucht.

Einen weiteren Forschungsschwerpunkt bildet die Dynamik des Weltmeeres, nachdem 1970 die Ergebnisse des sowjetischen Polygon-Experiments im subtropischen Nordatlantik und wenig später das amerikanisch-britische MODE-Programm zur Revision der bisherigen Vorstellungen über die innere Dynamik des Ozeans und über den Charakter der ozeanischen Zirkulation geführt hatte.

Für die wissenschaftliche Planung und Vorbereitung größerer internationaler Programme mußten entsprechende internationale Einrichtungen geschaffen werden, die gleichzeitig für die Standardisierung der Meßverfahren und die Erarbeitung von Richtlinien für den Austausch der Meßwerte Sorge tragen sollten. Hier sei zuerst das 1957 entstandene Wissenschaftliche Komitee für Meeresforschung (SCOR) erwähnt. Auf staatlicher Ebene wurde 1961 im Rahmen der UNESCO die Zwischenstaatliche Ozeanographische Kommission (IOC) gegründet.

Das im Jahre 1971 veröffentlichte Komplexprogramm des RGW zählt auch Problemkreise der Meeresforschung zu den gemeinsam zu lösenden Aufgaben. Hierzu gehören die Untersuchung chemischer, physikalischer, biologischer und anderer Prozesse wichtiger Gebiete des Weltozeans und die Erforschung der Meere und Ozeane zur Nutzung ihrer mineralischen Ressourcen (Intermorgeo). Seit 1972 arbeiten Ozeanologen der sozialistischen Staaten auf gemeinsamen Expeditionen zusammen.

Um dem Mangel an umfassenden, rechtzeitigen Informationen über den Zustand des Weltozeans vor allem im Hinblick auf eine Vorhersage ozeanologischer Faktoren abzuhelfen, befindet sich gegenwärtig ein weltweites Programm zur Überwachung des Ozeans und der Wechselwirkung zwischen Ozean und Atmosphäre in der Anlaufphase. Mit diesem globalen ozeanischen Stationssystem (IGOSS) soll wenigstens teilweise das fehlende ozeanische Beobachtungsnetz geschaffen werden. Zur Erweiterung der bisher schon von Handels- und Fischereischiffen ausgeführten meteorologischen Beobachtungen werden hier zunächst neun verschiedene Parameter mehrmals täglich gemessen und über Funk übertragen. Auch ozeanologische Daten von der Meeresoberfläche und aus der Tiefe bis 200 m sollen routinemäßig einbezogen werden. Im Anlaufen befindet sich auch ein zunächst noch auf Öl beschränktes Programm zu globalen Untersuchungen zur Meeresverunreinigung (GIPME).

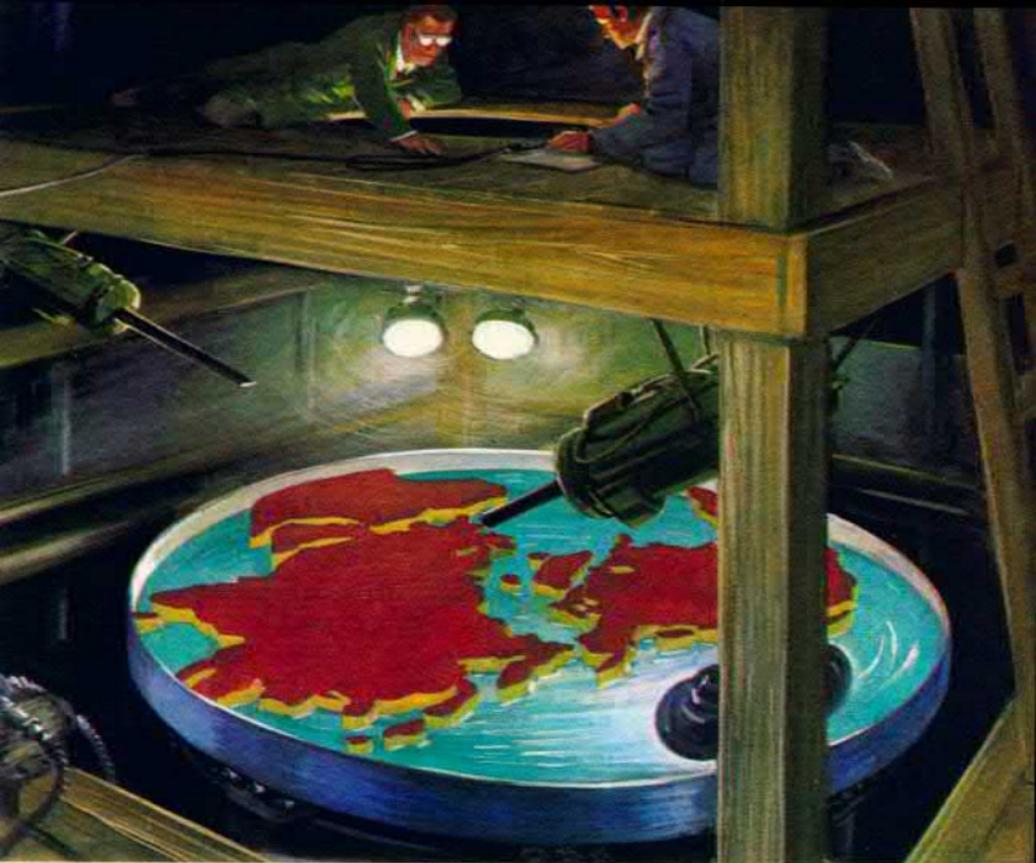
---

# Fühler in die Tiefe

---

Während ein Physiker seine Experimente im Labor weitestgehend unter kontrollierten und eindeutig festgelegten Ausgangsbedingungen durchführen kann, haben es die Ozeanologen mit dem erdumspannenden Weltmeer zu tun. Sie müssen die Vielfalt der sich dort abspielenden komplizierten Vorgänge berücksichtigen. Zwar hat man auch in der Meereskunde zu speziellen Fragen wie etwa zu Problemen der küstennahen Wasserbewegungen, für Gezeitenuntersuchungen oder vereinzelt sogar zu Fragen der allgemeinen ozeanischen Zirkulation Modellexperimente unter Laborbedingungen ausgeführt, aber die dabei gewonnenen Erkenntnisse blieben meist auf Spezialfälle beschränkt oder ergaben mehr oder weniger große Abweichungen von den wirklichen Verhältnissen. Das liegt daran, daß eine Übertragung der beim kleinen Modell erzielten Ergebnisse auf die Dimension des Weltmeeres nicht ohne weiteres möglich ist.

Größere Bedeutung für die ozeanologische Forschung gewinnt gegenwärtig die Aufstellung von mathematischen Modellen. Hier bemüht man sich, bei der Untersuchung eines speziellen Problems die wichtigsten Vorgänge durch geeignete mathematische Ansätze zu beschreiben. In diese Gleichungen gehen nicht nur die wirkenden Kräfte und Prozesse ein, sondern durch geeignete Formulierungen versucht man auch, die Randbedingungen (z. B. Abmessungen des untersuchten Meeresgebietes, Bodenrelief u. a.) einzubeziehen. Solche mathematischen Modelle erlauben nicht nur eine Erklärung der ablaufenden Vorgänge, sie können auch zur Vorhersage ozeanologischer Faktoren dienen. Infolge des hierbei notwendigen großen Rechenaufwandes ermöglichten erst die Fortschritte in der elektronischen Rechentechnik und Daten-



*Bei diesem Modellversuch zu Problemen der ozeanischen Zirkulation sind die Kontinente in einem rotierenden Becken nachgebildet. Mit Gebläsen werden die beständigen Windfelder imitiert.*

verarbeitung die Aufstellung solcher Modelle in größerem Umfang. Beachtliche Ergebnisse wurden mit derartigen Modellrechnungen beispielsweise bei der Untersuchung und Vorhersage der Gezeiten oder der winderzeugten Wasserstandsänderungen in Nebenmeeren erzielt. Andere Modelle wurden zur Berechnung von Strömungsfeldern aufgestellt, und neuerdings versucht man auch, biologisch-chemische Vorgänge im Meer mathematisch zu beschreiben.

Allen diesen Modellen ist aber gemeinsam, daß sie als Ausgangsmaterial Daten über die tatsächlichen Verhältnisse im Meer benötigen und daß die Ergebnisse der Modellrechnungen wiederum anhand von Meßunterlagen geprüft werden müssen. Damit bilden Beobachtungen und Messungen im

Meer die Grundlagen für die weitere Vertiefung der Kenntnisse über das Meer, über die dabei wirkenden Kräfte und über die sich im Ozean abspielenden Prozesse. Im Unterschied zur Meteorologie fehlt in der Ozeanologie bisher ein Netz von festen Beobachtungsstationen. Die wenigen festen Stationen an der Küste und auf Feuerschiffen liefern nur Unterlagen für den küstennahen Meeresbereich. Die zur Durchführung meteorologischer Beobachtungen und zum Zwecke der Flugsicherung ausgerüsteten Wetterschiffe (gegenwärtig sind 9 Schiffe im Nordatlantik und 4 im Nordpazifik stationiert) führen auch nur in begrenztem Umfang ozeanologische Messungen aus. Eine gewisse Abhilfe bei der Beschaffung von Beobachtungsmaterial soll schließlich das gegenwärtig im Aufbau befindliche globale ozeanische Stations-system schaffen, von dem im vorangegangenen Kapitel bereits gesprochen wurde.

Mit einem erdumspannenden ozeanischen Beobachtungssystem allein ist es aber nicht getan, da selbst unter Einbe-

*Die »Akademik Kurtschatow« – Typenschiff einer Serie sowjetischer Forschungsschiffe*





ziehung zusätzlicher Schiffe und später auch von Meßbojen die mögliche Stationsdichte noch immer sehr zu wünschen übrig läßt und viele klein- und mittelmaßstäbliche Prozesse nicht erfaßt werden können. Auch der zukünftige Einsatz von Erdsatelliten für meereskundliche Aufgaben, von dem noch die Rede sein wird, schließt die Notwendigkeit von Spezialuntersuchungen nicht aus. Die Forschungsschiffe werden daher auch in Zukunft wichtige Hilfsmittel der Ozeanologie bleiben, während zusätzlich Handelsschiffe, automatisch arbeitende Meßbojen und Erdsatelliten weitere wertvolle Beobachtungsmöglichkeiten liefern.

Gegenwärtig gibt es auf der Erde über 1000 Forschungsschiffe, von denen aber nur etwa 160 Schiffe eine Wasserverdrängung von mehr als 1000 t haben. Die Sowjetunion allein verfügt über mehr als 100 Forschungsschiffe, die heute auf allen Meeren eingesetzt werden.

Von einem derartigen Schiff werden gute See-Eigenschaften verlangt, denn ozeanologische Untersuchungen sollen nicht nur bei schönem Wetter erfolgen. Mit einer entsprechenden Konstruktion des Schiffskörpers, mit zusätzlichen technischen Einrichtungen, z. B. ausfahrbaren Schlingerflossen und mit einer geeigneten Anordnung der Winden und Arbeitsräume, versucht man, die störenden Eigenbewegungen des Schiffskörpers bei Seegang herabzusetzen. Erforderlich sind auch eine gute Manövrierfähigkeit beim Aussetzen der Meßgeräte und eine möglichst geringe Geräusch- und Vibrationsbelastigung. Auch die Kosten beim Betrieb eines Forschungsschiffes sollen in vertretbaren Grenzen liegen, da diese Schiffe ohnehin zu den teuersten Grundmitteln der Ozeanologie gehören.

Zum Ausbringen der Meßgeräte benötigt ein Forschungsschiff spezielle Draht- und Kabelwinden sowie geeignete Aussetzvorrichtungen. Zur Auswertung der Messungen müssen Laboratorien an Bord vorhanden sein, während in anderen

*Spezielle Bohrschiffe ermöglichen eine Erkundung des ozeanischen Untergrundes auch über großen Wassertiefen. Akustische Signale vom Meeresgrund werden in einer Rechenanlage verarbeitet, die neben dem Hauptmotor zusätzliche Antriebsaggregate am Bug und am Heck steuert. Dadurch wird das Schiff ohne Verankerung immer senkrecht über dem Bohrloch gehalten.*

Arbeitsräumen die Registrierung der von kontinuierlich messenden Geräten gelieferten Informationen erfolgt. Um ein Forschungsschiff möglichst vielseitig einsetzen zu können, geht man teilweise dazu über, die Bordlaboratorien austauschbar zu gestalten. Moderne Forschungsschiffe haben überdies ein eigenes Rechenzentrum an Bord, an das Meßgeräte und Laboratorien direkt angeschlossen werden können.

Während verschiedene Neubauten von Forschungsschiffen für komplexe ozeanologische Untersuchungen bestimmt sind, werden andere Einheiten für spezielle Aufgaben ausgerüstet, so als Fischereiforschungsschiff oder zur Erkundung der Verhältnisse am Meeresgrund. Es gibt bereits Spezialschiffe, von denen aus über einer Wassertiefe von mehr als 6000 m bis zu 1100 m tiefe Bohrlöcher in den Meeresgrund getrieben wurden, wie etwa die »Glomar Challenger«.

Neuerdings werden in zunehmendem Maße auch Forschungsschiffe eingesetzt, die wissenschaftliche Untersuchungen im Weltraum und in den höheren Schichten der Atmosphäre über den Ozeanen ermöglichen. Gleichzeitig sichern diese Schiffe den Funkverkehr mit Raumfahrzeugen. Allein im Jahre 1967 erhielt die sowjetische Akademie der Wissenschaften 9 neue Schiffe für diese Aufgaben. Als gegenwärtig modernstes Fahrzeug dieser Art wurde Anfang 1972 nach umfangreichen Erprobungen die »Kosmonaut Juri Gagarin« in Dienst gestellt.

Im Zusammenhang mit dem Einsatz von Forschungsschiffen taucht das Problem der Ortsbestimmung auf See auf. An die Genauigkeit der Standortbestimmung werden bei ozeanologischen Untersuchungen sehr hohe Anforderungen gestellt.

Die gegenwärtig verfügbaren Navigationssysteme erfüllen diese Anforderungen größtenteils noch nicht. Die herkömmlichen Methoden der astronomischen Navigation, mit denen unter günstigsten Bedingungen eine Genauigkeit von etwa 1 Seemeile erreicht wird, sind auch heute in entlegenen Seegebieten die einzige Möglichkeit zur Positionsbestimmung. Wertvolle Hilfsmittel sind die verschiedenen modernen Funknavigationssysteme. In Küstennähe sind mit solchen Verfahren Genauigkeiten von etwa  $\pm 20$  m möglich. Der Einsatz von Erdsatelliten für Navigationszwecke kann sich für die Meereskunde als sehr nutzbringend erweisen. Verschiedene

moderne Forschungsschiffe sind bereits mit Anlagen zur Satellitennavigation ausgerüstet worden.

Eine direkte Beobachtung der Vorgänge im Meer durch den Menschen ist kaum möglich, wenn sich hier auch in letzter Zeit ein gewisser Wandel anbahnt, von dem wir später noch hören werden. Gegenwärtig erfolgen die Messungen unterhalb der Meeresoberfläche hauptsächlich indirekt mit fernmessenden Geräten von Schiffen aus.

Das der Meereskunde zur Verfügung stehende Instrumentarium ist sehr mannigfaltig. Trotz der unterschiedlichen Aufgaben müssen die Geräte immer wieder bestimmten Grundforderungen genügen. Bei der relativen Gleichförmigkeit in der Verteilung mancher ozeanologischer Faktoren spielen kleine Unterschiede eine große Rolle. Die Meßgeräte müssen daher sehr genaue Messungen gestatten, aber auch möglichst wenig störanfällig sein. Vor allem aber müssen sie den meist rauen Betrieb an Bord eines Schiffes aushalten. Da die Mes-

*Die »Kosmonaut Juri Gagarin« (231 m Länge, 45000 t Wasserverdrängung) wurde 1972 in Dienst gestellt.*

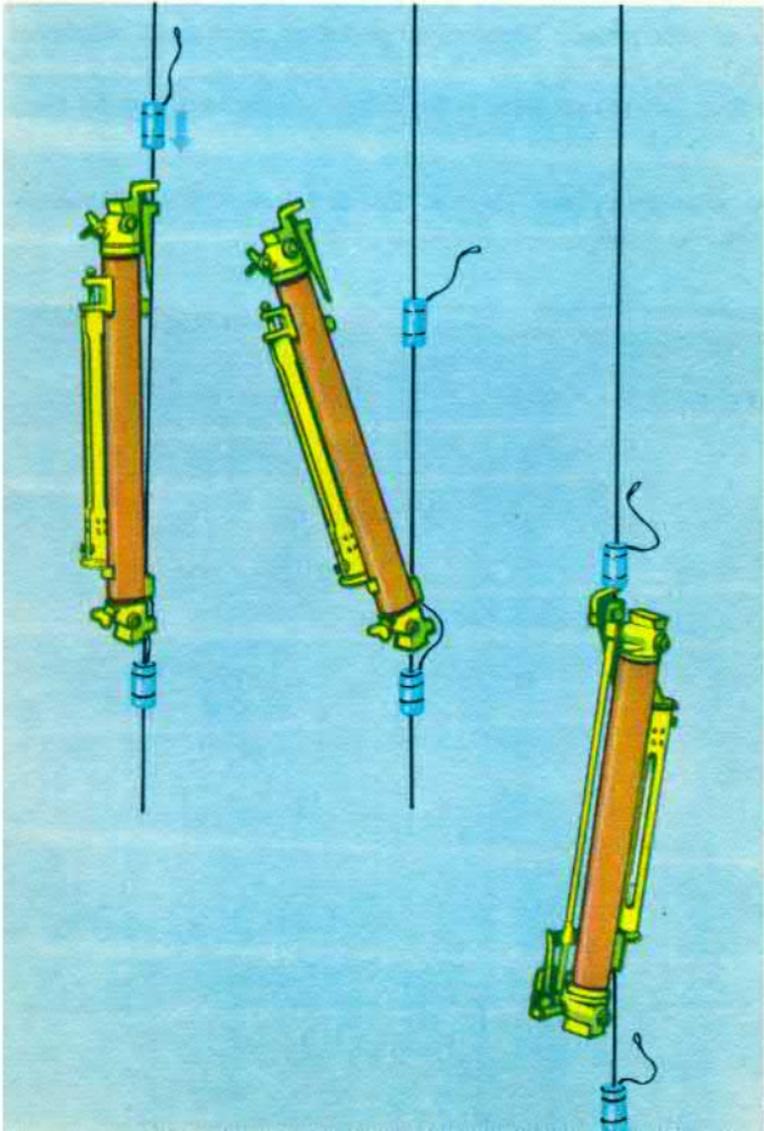


sungen auch in großen Wassertiefen erfolgen, wird Wert auf eine große Druckfestigkeit der Meßgeräte gelegt. Schließlich müssen sie auch korrosionsbeständig sein, um nicht vom Meerwasser angegriffen zu werden.

Befruchtend auf die Entwicklung der meereskundlichen Meßtechnik wirkten sich die technischen Fortschritte bei der Erforschung des Weltraums aus.

Ziel der modernen Meßverfahren ist es, von punktförmigen Untersuchungen über die Verteilung der einzelnen Faktoren

#### *Funktionsweise des Nansen-Wasserschöpfers*



abzugehen und fortlaufende Registrierungen der Veränderungen mit der Tiefe oder mit der Zeit zu ermöglichen. Dabei strebt man Messungen im Meer selbst an, während bislang ein Großteil der Untersuchungen an Wasserproben erfolgte, die mit Schöpfern und anderen Probenentnahmegerten an Bord der Forschungsschiffe gebracht wurden.

Die Zahl der anfallenden Meßwerte ist durch den Einsatz moderner Meßgeräte stark angewachsen, so daß eine Auswertung mit Hilfe von Datenverarbeitungsanlagen nötig wird.

Für eine exakte Beschreibung des Ozeans wird eine Vielzahl von Messungen benötigt, die einmal genügend genau und zum anderen aber auch untereinander vergleichbar sein müssen. Die Vergleichbarkeit der Daten, die Standardisierung der Meßgeräte und -methoden spielen eine außerordentlich wichtige Rolle, denken wir nur an den Aufbau von Meßnetzen für Routinebeobachtungen beispielsweise für ein globales ozeanisches Stationsnetz.

Bereits gegenwärtig erfolgt im internationalen Rahmen ein beträchtlicher Datenaustausch, und mit einer Erweiterung ist zu rechnen. Um diese Informationen möglichst effektiv über Datenverarbeitungsanlagen ohne Verzögerung auszuwerten, werden einheitliche Formen der Dateneingabe und -übertragung angestrebt.

Nach dieser Übersicht über einige allgemeine Probleme bei der Untersuchung des Ozeans durch fernmessende Geräte wollen wir uns nunmehr einigen wichtigen Meßverfahren zuwenden. Die Auswahl soll nur die Vielfalt der anstehenden Problematik aufzeigen und kann im Rahmen dieses Bändchens nicht vollständig sein.

Seit langem werden in der Ozeanologie Wasserschöpfer verwendet, mit denen größere oder kleinere Wassermengen ohne Vermischung mit der Umgebung auch aus den größten Tiefen entnommen werden können. Es gibt eine Vielzahl von Konstruktionen. Als Standardmodell hat sich ein auf den norwegischen Gelehrten Fridtjof Nansen zurückgehender Wasserschöpfer herausgebildet, mit dem eine Wasserprobe von etwa 1 l entnommen werden kann. Dieser Schöpfer besteht aus einer metallischen Röhre mit zwei Ventilen am oberen und unteren Ende. Die Röhre wird an einem dünnen Draht angeklemt und in geöffnetem Zustand in die ge-

wünschte Meßtiefe gefiert. Ein Fallgewicht gleitet dann vom Schiff aus am Draht entlang, löst die obere Befestigung des Schöpfers und bringt ihn so zum Umkippen. Dabei schließen sich die beiden Ventile, und der Inhalt des Schöpfers bleibt für spätere Untersuchungen isoliert. Beim Umkippvorgang wird ein zweites Fallgewicht freigegeben, das einen weiteren Schöpfer zum Kippen bringt. Auf diese Weise kann eine ganze Serie von Schöpfern an einem Draht eingesetzt werden. Zur Entnahme größerer Wassermengen werden auch aus Kunststoff gefertigte Schöpfer mit Klappdeckeln eingesetzt, die ebenfalls durch Fallgewichte zu schließen sind. Solche aus nichtmetallischen Materialien hergestellten Schöpfer verwendet man auch für Wasserproben, mit denen biochemische Bestimmungen durchgeführt werden, bei denen eine Verunreinigung des Wassers durch Metallspuren ausgeschlossen sein soll.

Die mit den Schöpfern entnommenen Wasserproben werden anschließend im Bordlaboratorium untersucht und nur in Ausnahmefällen zur späteren Analyse bis zum Ende der Expedition aufbewahrt. Bei meereschemischen Arbeiten müssen sich die Analysemethoden auch unter den rauen Bordbedingungen serienmäßig anwenden lassen und dennoch genaue Ergebnisse liefern. Weiter müssen die Proben möglichst kurz nach ihrer Entnahme untersucht werden, da sich besonders bei den in sehr geringen Mengen im Meer vorhandenen Spurenstoffen (z. B. liegt der Phosphatgehalt in der Größenordnung von wenigen Milligramm je m<sup>3</sup>) die Konzentrationen durch biochemische Prozesse während der Aufbewahrung stark ändern können.

Eine wesentliche Untersuchung der so erhaltenen Wasserproben ist die Bestimmung des Salzgehalts. Der Salzgehalt ist eine wichtige Grundgröße zur Beurteilung der meereskundlichen Verhältnisse. Aus der Wassertemperatur und dem Salzgehalt läßt sich die Dichte des Meerwassers bestimmen. Die räumliche Verteilung der Dichte wiederum und ihre zeitlichen Änderungen geben Aufschlüsse über Bewegungs- und Schichtungsvorgänge im Meer. Auch für die Beurteilung zahlreicher anderer Fragen ist der Salzgehalt eine wichtige Ausgangsgröße. Moderne Meßverfahren nutzen die Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit des Meerwassers von der Salzkonzentration aus.

Zur Bestimmung der im Meerwasser in nur geringen Konzentrationen vorhandenen Spurenelemente haben sich in der Meereschemie kolorimetrische Methoden eingebürgert. Hierbei wird der zu bestimmende Stoff mit Hilfe geeigneter chemischer Reaktionen in einen Farbstoff übergeführt, der dann in speziellen Fotometern mit Eichlösungen verglichen werden kann. Um die Untersuchung der in großer Zahl anfallenden Proben zu beschleunigen, wurden ursprünglich für medizinische Zwecke entwickelte Analysenautomaten mit Erfolg auch an Bord eingesetzt.

Zur Messung der Wassertemperatur, einer weiteren wichtigen Grundgröße, dienen die bereits erwähnten Umkippthermometer, die in ihrer heutigen Form gegen Ende des 19. Jahrhunderts Eingang in die Meereskunde fanden. Es sind sorgfältig geeichte und mit einer Schutzhülle aus Glas vor dem Wasserdruck geschützte Quecksilberthermometer, die eine Meßgenauigkeit von 0,01 bis 0,02 °C erreichen. Die Schwierigkeit bei der Messung besteht darin, die wahre Temperatur in der jeweiligen Meßtiefe zu fixieren, da das Thermometer beim Aufhieven im allgemeinen in anders temperierte Wasserschichten gerät. Das Problem wird dadurch gelöst, daß beim Umkippen des Wasserschöpfers in dem am Schöpfer angebrachten Thermometer der Quecksilberfaden an einer Verengung der Kapillare abreißt und so die Temperatur fixiert.

Neuerdings ist eine Reihe von Meßgeräten entwickelt worden, die im Unterschied zur punktförmigen Temperaturmessung mit Umkippthermometern eine fortlaufende Aufzeichnung der Temperatur gestattet und teilweise sogar vom fahrenden Schiff aus eingesetzt werden kann.

Während in der Vergangenheit eine Vielfalt verschiedener Meßgeräte gleichzeitig oder nacheinander eingesetzt wurde, die meist nur Einzelmessungen in bestimmten Meßhorizonten ermöglichte, bemüht man sich heute, in Bathysonden eine Kombination verschiedener Meßfühler zu schaffen. Sie messen gleichzeitig mehrere Größen und übertragen die Daten durch ein Einleiterkabel an Bord. Dort erfolgt neben einer Aufzeichnung in Form von Kurven oder besser noch von Ziffern eine Ausgabe der Meßwerte in einer für die elektronische Datenverarbeitung geeigneten Form wie Lochstreifen oder Magnetband.

Ein anderes modernes Meßprinzip verwendet freifallende

Meßsonden, die vom Schiff oder auch von Hubschraubern aus abgeworfen werden. So wurden beispielsweise neuerdings Geräte vorgestellt, die gleichzeitig Tiefe, Temperatur und Schallgeschwindigkeit messen und bis zu einer Tiefe von 5000 m mit einer Geschwindigkeit von etwa 2 m/s frei fallen. Nach Freigabe eines Ballastgewichtes tauchen die Sonden wieder auf. Sie können dann an Bord genommen werden. Im Innern der Sonde sind die gespeicherten Meßwerte enthalten.

Ein wichtiges Problem der physikalischen Ozeanologie war und ist die Erforschung der Meeresströmungen. Zu ihrer Bestimmung benutzte man schon seit geraumer Zeit die sogenannten Besteckversetzungen. Aus dem Unterschied zwischen dem tatsächlichen, durch astronomische oder Funknavigation gefundenen Schiffsort und dem mittels des gesteuerten Kurses und der Fahrtgeschwindigkeit errechneten Standort konnte man auf die Versetzung durch die Strömung an der Meeresoberfläche schließen. Die entsprechenden Angaben aus den Schiffstagebüchern wurden in Zentralstellen statistisch bearbeitet und dann in Form von Karten zusammengestellt. Allerdings vermitteln diese Strömungskarten nur ein stark vereinfachtes Bild der tatsächlichen Strömungsverhältnisse. Die Beobachtungen sind sehr ungleichmäßig verteilt und weitgehend auf die Hauptwege der Schifffahrt konzentriert.

Zu ähnlichen Ergebnissen wie bei den Besteckversetzungen kam man auch mit Hilfe von Flaschenposten, die ja als Hilfsmittel der Nachrichtenübermittlung sehr alt sind. Noch heute wird dieses anscheinend so primitive Verfahren angewendet, nur benutzt man keine Flaschen mehr, sondern in Plastehüllen eingeschlossene Postkarten. Solche Karten wurden beispielsweise in großer Anzahl 1954 westlich der Britischen Inseln und 1963/64 in der Deutschen Bucht ausgesetzt. Man wollte damit Aufschlüsse über die möglichen Bahnen von Ölverschmutzungen im Meer erhalten.

Das gleiche Prinzip wie bei der Flaschenpost wurde von dem englischen Ozeanologen Swallow auch zur Untersuchung von Tiefenströmungen verwendet: Treibkörper, die in einer bestimmten Tiefe schweben, senden Schallsignale aus, die an Bord des Schiffes empfangen werden. Ist die Schiffsdrift bekannt, so kann man die Strömung in der Tiefe bestimmen. Mit diesen Bojen wurden in der Tiefsee teilweise überraschend hohe Stromgeschwindigkeiten festgestellt.

Man kann aber auch an bestimmten Punkten im Meer Strömungsrichtung und -geschwindigkeit mit geeigneten Geräten messen. Die Schwierigkeit besteht darin, einen festen Bezugspunkt im Meer zu schaffen. Auch ein verankertes Schiff liegt nicht ruhig, sondern bewegt sich in Abhängigkeit von Wind und Strömung um seine Verankerung, was die Messungen stark verfälschen kann. Obendrein ist eine Verankerung in der Tiefsee sehr umständlich und zeitraubend. Seit etwa 15 Jahren ist man deshalb dazu übergegangen, nicht mehr das Forschungsschiff selbst zu verankern, sondern statt dessen Bojen, an deren Ankerseil die Meßgeräte befestigt werden. Häufig verwendet man auch unter Wasser befindliche Auftriebskörper, die der Seegangseinwirkung entzogen sind, und markiert die ausgelegte Station durch eine kleine Signalboje mit einem Peilsender.

*Ein selbstregistrierender Strömungsmesser wird an einer Boje ausgelegt.*



Bei der Strömungsmessung kommt es darauf an, mit einer Messung zwei Größen zu erfassen, nämlich Richtung und Geschwindigkeit. Als Meßfühler für die Strömungsgeschwindigkeit verwenden bisher fast alle Meßgeräte Propeller oder andere Rotoren, deren Umdrehung ein Maß für die Geschwindigkeit ist. Da sich das Gerät in die Strömungsrichtung einstellt, kann man mittels eines Kompasses diese Richtung ermitteln. Moderne Geräte werden als registrierende Strommesser gebaut, die über Zeiträume bis zu mehreren Monaten automatisch arbeiten können. Auch hierbei wird großer Wert auf eine datenverarbeitungsgerechte Aufzeichnung gelegt.

Neue Meßverfahren, wie z. B. akustische oder induktive Strömungsmesser, werden bereits angewendet. Sie können z. T. auch die Strömungskomponenten direkt messen. Erwähnt sei schließlich noch, daß unter bestimmten Voraussetzungen auch auf indirektem Wege auf die Strömungsverteilung geschlossen werden kann. Hierbei wird aus der vertikalen Dichteverteilung die Druckverteilung im Meer berechnet, die ihrerseits unter bestimmten Voraussetzungen eine quantitative Erfassung der Meeresströmungen ermöglicht. Unsere heutigen Vorstellungen über die Bewegungsvorgänge in den tieferen Wasserschichten beruhen für viele Seegebiete auf indirekten Berechnungen mit Hilfe dieser dynamischen Methode.

Umfangreich ist auch das Instrumentarium, das dazu dient, die verschiedenen Formen maritimen Lebens an Bord der Forschungsschiffe zu holen. Im Gegensatz zu den Biologen auf dem Festland sind die Meeresbiologen aber in einer wesentlich ungünstigeren Lage. Sofern sie nicht selbst tauchend ins Meer steigen, können sie die gesuchten Objekte nicht in ihrer natürlichen Umgebung beobachten. Sie sind auf zufällige Stichproben angewiesen. Mit verschiedenartigen Netzen werden dabei Lebensformen aus der Tiefsee emporgeholt.

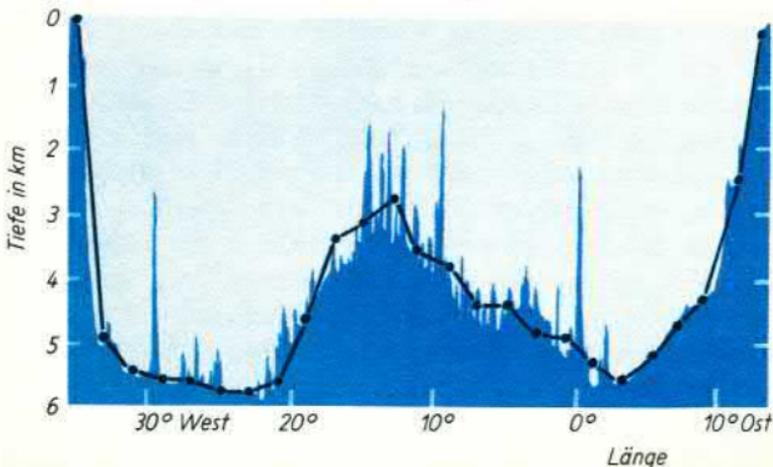
Konische Netze aus feiner Gaze dienen zum Fang der verschiedenen Formen des pflanzlichen und tierischen Planktons, der im freien Wasser schwebenden Organismen mit nur geringer Eigenbewegung. Je nach Größe des zu untersuchenden Planktons variieren die verwendeten Netztypen. Andere Planktonsammler können vom fahrenden Schiff aus geschleppt werden. Dabei wird im Innern des Gerätes ein Gazestreifen aufgespult, mit dem verschiedene Planktonformen aus dem Meer gefiltert werden. Solche Geräte sind auch schon von

Handelsschiffen aus eingesetzt worden. Andere Netze wieder dienen zum Fang von Tiefseefischen. Proben der Bodenfauna und -flora gelangen durch Bodengreifer oder Dredgen an Bord. Die Dredgen stellen gewissermaßen eine Harke dar, hinter der ein Netz aus Maschendraht angebracht ist. Tierhäute und Ketten schützen das Netz vor Beschädigungen, wenn es mitunter stundenlang vom fahrenden Schiff über den Meeresgrund gezogen wird.

Auch die Meeresgeologen haben im allgemeinen keinen direkten Zugang zu ihrem Untersuchungsgegenstand. Lotungen vermitteln Vorstellungen über die Gestalt des Meeresbodens. Die früher ausgeführten Drahtlotungen, die sehr zeitaufwendig waren und nur punktförmige Tiefenbestimmungen gestatteten, wurden unterdessen vom Echolot abgelöst, dessen Grundlagen 1912 der deutsche Physiker Behm schuf. 1922 legte ein amerikanisches Schiff das erste Echolotprofil durch den Nordatlantik, und 1925 bis 1927 führte die »Meteor« erstmalig umfangreiche Lotungsarbeiten im Zusammenhang mit meereskundlichen Untersuchungen aus.

Das Echolot mißt die Zeit, die ein ausgelöster Schallimpuls braucht, um die Entfernung vom Schiff bis zum Meeresgrund und wieder zurück zu durchlaufen. Diese Zeit ist der Wassertiefe proportional, so daß bei bekannter Schallgeschwindigkeit im Wasser der Abstand Schiff–Meeresgrund berechnet werden

*Vergleich eines Echolotprofils durch den Atlantik mit einem Profil auf der Grundlage einzelner Drahtlotungen (dicke Linie)*



kann. Mit Spezialechographen ist nicht nur eine Bestimmung der Wassertiefe möglich, die Schallwellen dringen auch in weiche Bodenablagerungen ein und ermöglichen Aussagen über die Mächtigkeit der Sedimentdecke (Ablagerungen am Meeresboden). Andere Echographen liefern Angaben über die Planktonverteilung oder über Fischschwärme und sind so auch wichtige Hilfsmittel der Fischereibiologie.

Bodengreifer, die ähnlich wie die Greifer eines Baggers arbeiten, erfassen die obersten Schichten des Meeresgrundes, während Stechröhre tiefer in den Boden eindringen. Stechröhre sind lange Röhre, die vom Schiff herabgelassen werden und sich durch ihr eigenes Gewicht, durch Sprengladungen oder durch Vibrationen in den Grund einbohren. Mit derartigen Geräten, die über 2 t wiegen können, ist es auf der »Witjas« gelungen, Bohrkerne von über 30 m Länge vom Meeresboden heraufzuholen.

Geophysikalische Meßverfahren geben schließlich Aufschlüsse über den Meeresuntergrund. Bei den seismischen Verfahren werden z. B. an einer Stelle künstliche Erdbebenwellen ausgelöst, die an verschiedenen Grenzflächen im Untergrund reflektiert und dann an anderer Stelle registriert werden. Auch Messungen des Schwere- und Magnetfeldes der Erde oder des Wärmestroms vom Erdinnern zur Oberfläche erlauben Schlüsse auf die Struktur des tieferen Untergrunds.

Unterwasserphotographie und -fernsehen vervollständigen die meereskundlichen Untersuchungsmethoden. Das Hauptproblem der Unterwasserphotographie ist die Schaffung geeigneter künstlicher Lichtquellen. Infolge der starken Absorption und Streuung des Sonnenlichts im Wasser reicht das natürliche Lichtfeld schon in geringer Tiefe nicht mehr für photographische Zwecke aus. Bereits der französische Zoologe Boutan, der 1893 in 10 m Tiefe im Mittelmeer mit einer Plattenkamera die ersten Fotos unter Wasser machte, verwendete Blitzlicht und später Kohlebogenlampen.

Auch das Unterwasserfernsehen findet in der Ozeanologie besonders zu Beobachtungen am Meeresgrund zunehmend Anwendung. 1951 erfolgte bei der Suche nach einem in der Themsemündung gesunkenen Unterseeboot der erste Einsatz der Fernsichttechnik unter Wasser. Gegenwärtig existieren Anlagen, die Übertragungen über ein mehrere Kilometer langes Kabel gestatten.

Neben die Forschungsschiffe und die von ihnen aus eingesetzte Meßtechnik sind in den letzten Jahren automatische Meßbojen getreten, die Messungen verschiedener meteorologischer und ozeanologischer Größen ausführen und die Daten an Zentralstellen übertragen. Mit der Entwicklung und dem Betrieb solcher Meßbojen sind zahlreiche technische, ökonomische und auch rechtliche Fragen verbunden, die noch längst nicht alle geklärt sind.

Geringe Abmessungen, niedriger Energiebedarf und hohe Zuverlässigkeit sind Grundforderungen, die sowohl an die Meßfühler als auch an die Einrichtungen zur Datenaufbereitung und -übertragung in einer Boje gestellt werden müssen.

Die von den Bojen gewonnenen Meßwerte müssen an eine Empfangsstation an Land übertragen werden. Das ist im allgemeinen – von Seekabeln in Küstennähe abgesehen – nur durch Funk möglich. Auch das Übertragungssystem muß für

*Automatische Meßboje zur Erfassung meteorologischer und ozeanologischer Parameter. Die Monteure veranschaulichen die Größe der Boje.*



einen automatischen Betrieb geeignet sein und sollte ein bis zwei Jahre ohne Wartung arbeiten. Als Relaisstation für die Verbindung zwischen Boje und Land kämen auch Nachrichtensatelliten in Frage.

Neben der Konstruktion geeigneter Meß- und Übertragungseinrichtungen ist auch die Energieversorgung solcher Meßbojen nicht unproblematisch. Nicht alle Energiequellen sind für einen Einsatz auf See geeignet, außerdem muß sich die Energieversorgung durch hohe Zuverlässigkeit und Wartungsfreiheit wie durch geringe Abmessungen und geringes Gewicht auszeichnen. Große Bedeutung kommt hierbei solchen in der Weltraumfahrt erprobten Energiequellen wie Brennstoffzellen, die die chemische Energie etwa des Wasserstoffs im Zusammenwirken mit einem Oxydationsmittel in elektrische Energie umsetzen, oder den thermoelektrischen Isotopengeneratoren zu, die die beim radioaktiven Zerfall z. B. von Strontium freiwerdende Wärmeenergie in Elektroenergie umwandeln. Es existieren auch bereits die ersten Versuchsanlagen, die die Bewegungsenergie der Meereswellen ausnutzen.

Gegenwärtig existieren Prototypen für verschiedene Arten von Meßbojen, die an ausgewählten Punkten auch über großen Wassertiefen verankert werden können. Daneben gibt es Entwicklungsmuster, die in bestimmten Seegebieten treiben und dabei ihre Messungen ausführen. Ein extremes Beispiel für einen verankerten Bojentyp ist eine 1967 in den USA entwickelte über 100 t schwere »Monsterboje«, deren diskusförmiger Schwimmkörper einen Durchmesser von über 13 m hat und die 14 verschiedene meteorologische und ozeanologische Größen erfassen und die Meßwerte bis zu 4000 km weit übertragen kann. Die Kosten für eine derartige Boje belaufen sich auf rund 500 000 Dollar. Auf der anderen Seite gibt es nur 90 kp schwere Meßbojen, die auch vom Hubschrauber abgeworfen werden können und in der Lage sind, 5 verschiedene Größen an der Wasseroberfläche zu messen und 100 bis 500 km weit zu übertragen.

Bei dem in Zukunft beabsichtigten Aufbau eines ozeanischen

*Die südlich von Marseille über einer Wassertiefe von 2400 m verankerte französische Laboratoriumsboje*



Beobachtungsnetzes in erdumspannendem Rahmen haben auch Meßbojen als ortsfeste Stationen eine große Bedeutung. Allerdings ist der erforderliche Aufwand sehr hoch, und die Auffassungen über die sinnvollste Anordnung der Bojen gehen noch ziemlich auseinander. Als wissenschaftliches Optimum wird im globalen Netz eine Maschenweite von etwa 400 km angesehen. Das würde bedeuten, daß auf eine Fläche von rund 160000 km<sup>2</sup> (das ist mehr als die Größe der DDR) eine Bojenstation käme. Zum Vergleich sei erwähnt, daß in der DDR auf eine Fläche von etwa 2500 km<sup>2</sup> eine meteorologische Beobachtungsstation entfällt.

Eine Mittelstellung zwischen Forschungsschiffen und automatischen Meßbojen nehmen bemannte Instrumententräger ein, große Schwimmkörper, die an den vorgesehenen Einsatzort geschleppt werden. Während einige dieser Geräteträger in vertikaler Stellung fortbewegt werden müssen, können andere ähnlich wie ein Leichter in horizontaler Lage geschleppt werden. An Ort und Stelle werden sie dann durch Einlassen von Wasserballast geflutet und richten sich auf. Treibend oder auch fest verankert sind sie ideale Meßplattformen für Untersuchungen in der Grenzschicht Ozean-Atmosphäre und in den oberen Schichten des Meeres. Auch bei starkem Seegang liegen sie noch sehr ruhig. So wurden im Golf von Alaska bei einer amerikanischen Konstruktion bei 11 m hohen Wellen nur Vertikalbewegungen von weniger als 10 cm gemessen.

Besonders bekannt geworden sind die amerikanische Instrumentenplattform FLIP und die 1964 auf Initiative des bekannten Meeresforschers Cousteau erbaute französische Laboratoriumsboje. Letztere hat eine Gesamtlänge von 66 m, davon befinden sich 56 m unter Wasser. Bei einer Wasserverdrängung von 250 t bietet sie 4 Personen in einem Kabinenaufbau Wohn- und Arbeitsmöglichkeiten.

Allen bisher beschriebenen Meßverfahren, ganz gleich, ob es sich um den Geräteeinsatz von Forschungsschiffen, von automatischen Bojen oder von anderen Instrumententrägern aus handelt, ist gemeinsam, daß die Meßfühler in direkter Berührung mit dem zu untersuchenden Medium, in unserem Falle dem Meer, stehen. Neuerdings sind aber auch kontaktlose fernmessende Verfahren entwickelt worden, die eine Beobachtung verschiedener meereskundlicher Größen durch

Fernmessungen beispielsweise von Flugzeugen oder von künstlichen Erdsatelliten aus ermöglichen.

Bevor fernmessende Geräte vom Flugzeug aus für meereskundliche Untersuchungen eingesetzt werden konnten, hatte man bereits indirekte Erkenntnisse über ozeanologische Prozesse bei der Interpretation von Luftbilddaufnahmen gewonnen. Besonders Aufnahmen aus der küstennahen Zone brachten wertvolle Hinweise auf Veränderungen der See-gangsverhältnisse oder über den Materialtransport in Küsten-nähe. Ebenso dienen Flugzeuge zur Überwachung der Eis-verhältnisse.

Seit Beginn der fünfziger Jahre wurden Flugzeuge mit fern-messenden Geräten auch direkt für meereskundliche Auf-gaben eingesetzt. So bestimmte man durch Messungen der langwelligen Ausstrahlung der Meeresoberfläche mit Infrarot-Strahlungsthermometern die Oberflächentemperatur. Aller-dings hat dieses Verfahren enge Grenzen, da nur die Tempe-ratur einer millimeterdicken Oberflächenschicht erfaßt wird und obendrein der Wasserdampfgehalt der Atmosphäre die Messungen stört. Daher blieb diese Methode bisher meist auf Gebiete mit großen horizontalen Temperaturunterschieden wie etwa im Golfstrom beschränkt. Mit Erfolg verwandte man auch die Luftbildfotogrammetrie bei Strömungsuntersuchun-gen mit Schwimmkörpern oder bei der Untersuchung von Ausbreitungsprozessen.

Große Bedeutung werden in Zukunft Messungen von künst-lichen Erdsatelliten aus erhalten, besonders nach dem Start der ersten ausschließlich für ozeanologische Aufgaben vorge-sehene Satelliten. Eine »Meereskunde aus dem Weltraum« wird zwar nicht die bisherige von der Meeresoberfläche aus betriebene Ozeanologie ablösen, sie wird vielmehr in sinn-voller Kombination mit den bisherigen Meß- und Interpre-tationsverfahren wesentliche Beiträge zum Verständnis der Vor-gänge im Meer liefern. Dank der hohen Umlaufgeschwindig-keiten der Raumflugkörper ergeben sich Möglichkeiten zur gleichzeitigen Erfassung großer Gebiete und zur schnellen Wiederholung der Messungen. Satelliten eignen sich daher besonders für Aufgaben, bei denen es auf gleichzeitige Infor-mationen aus einem großen Seegebiet ankommt. Ausgerüstet mit genügend empfindlichen Meßfühlern können sie Erschei-nungen großer und mittlerer Maßstäbe untersuchen. Auch

können sie als Relaisstationen zur Datenabfragung und -übertragung für Netze von verankerten oder driftenden Bojen dienen.

Die Probleme liegen gegenwärtig bei der Entwicklung genügend empfindlicher Meßfühler für ozeanologische Fragestellungen und bei der Erarbeitung entsprechender Interpretationsschlüssel. Hierfür sind in absehbarer Zeit nach wie vor noch gezielte Anschlußmessungen im Ozean notwendig.

Bereits seit 1961 werden Karten der Eisverhältnisse nach Satellitendaten zusammengestellt. Aussagen über Küstenprozesse, zur Ausbreitung von Verunreinigungen an der Meeresoberfläche oder über Grenzen und Verlagerung markanter Meeresströmungen waren ebenfalls schon möglich. Auch Karten der Wasseroberflächentemperatur werden bereits für viele Seegebiete fast routinemäßig erarbeitet. Allerdings reicht ihre Genauigkeit noch nicht aus.

Beobachtungen von bemannten Orbitalstationen aus können ebenfalls wertvolle Beiträge für die Meereskunde liefern. Hier sei nur an den ersten gemeinsamen Einsatz von Forschungsschiffen, Wettersatelliten und Weltraumfahrzeugen im Indischen Ozean 1970 beim Flug des sowjetischen Raumschiffs »Sojus 9« erinnert oder an die Untersuchungen im Rahmen der Aufgabenstellung für das kosmische Laboratorium »Skylab« der USA in den Jahren 1973–1974 bzw. das 1977–1978 ausgeführte Programm der sowjetischen Orbitalstation »Salut 6«.

Der Vollständigkeit halber müssen unter den technischen Hilfsmitteln der Meereskunde noch die automatischen Einrichtungen erwähnt werden, die ferngesteuert nach einem vorher eingegebenen Programm in verschiedenen Tiefen Proben entnehmen, photographische Aufnahmen machen oder auch direkte Messungen ausführen können. Mehrere Typen derartiger Geräte sind bereits in Wassertiefen von 5000 m und mehr erfolgreich erprobt worden. Sie könnten auch in der weiteren Entwicklung als automatische Observatorien am Meeresgrund dienen, die nach Ablauf der vorgesehenen Einsatzzeit programmgesteuert oder auf ein akustisches Signal hin zur Wasseroberfläche aufsteigen, wo die gespeicherten Meßwerte entnommen werden können.

Große Bedeutung haben »Unterwasserroboter« z. B. in der Meerestechnik für Kontroll- und Reparaturarbeiten an



*Die Große Bahamabank mit der Androsinsel und der »Zunge des Ozeans«. Hier fällt der Meeresgrund von weniger als 10 m Tiefe steil bis auf über 1800 m ab. Deutlich sind auch die zahlreichen Kanäle in den Korallenriffen zu erkennen. (Aufnahme aus dem Raumflugkörper Apollo 9)*

untermeerischen Erdölleitungen. Für Bauarbeiten unter Wasser wurden in Japan, in der Sowjetunion und in den USA automatische Unterwasserbulldozer entwickelt. Eine japanische Konstruktion beispielsweise, die allerdings einen Katamaran als Mutterschiff an der Meeresoberfläche benötigt, kann bis zu einer Wassertiefe von 60 m arbeiten. Die meisten Unterwasserroboter sind durch Kabel mit einem Überwasserschiff verbunden, von dem aus sie gesteuert werden und das ihnen die notwendige Energie zuführt. Scheinwerfer und Unterwasserfernsehen ermöglichen eine Orientierung, hydraulisch betätigte Greifer gestatten die Ausführung von Arbeiten und den Transport von Lasten.

---

# Der Mensch im Meer

---

Wahrscheinlich sind schon zur Zeit der ersten größeren ägyptischen Seefahrten Abstiege von Freitauchern an der Küste des Roten Meeres erfolgt.

In vielen phönizischen und später griechischen Städten war die Taucherei ein wichtiger Gewerbezweig. Perlen, Korallen oder Schwämme und eßbare Muscheln vom Meeresgrund waren damals wertvolle Tauschwaren. Sehr gefragt waren auch Purpurschnecken wegen des aus ihnen hergestellten Farbstoffes. In antiken Quellen ist die Rede von Bauarbeiten unter Wasser, von Tauchabstiegen bei Bergungsarbeiten an gesunkenen Schiffen und auch von ersten militärischen Anwendungen der Taucherei.

Einzelne Berichte deuten sogar auf Tauchereinsätze für wissenschaftliche Fragestellungen hin. So soll Alexander der Große, der Aristoteles mit einer Beschreibung der Tierwelt beauftragt hatte, diesem eine Gruppe von Tauchern zur Verfügung gestellt haben. Die Taucher erhielten den Auftrag, seltene Meeresprodukte vom Grund emporzuholen. Nach anderen Überlieferungen soll Alexander selbst um 330 v. u. Z. mit einer Art von Taucherglocke zum Meeresboden abgestiegen sein.

Die Taucher im Altertum benötigten klare und ruhige Gewässer, wenn sie ihre Suchobjekte erkennen wollten. Ihr Aufenthalt unter Wasser war durch ihre Fähigkeit, den Atem anzuhalten, begrenzt. Über die erreichten Tiefen gibt es keine näheren Anhaltspunkte, doch dürfte sich ihre Tätigkeit auf die obersten 20 m beschränkt haben. Ob bereits technische Hilfsmittel wie etwa Vorläufer unserer heutigen Taucherbrillen oder Schnorchel bekannt waren, ist nicht sicher, aber auch nicht auszuschließen. Eine Art von Taucherbrille aus

poliertem Schildkrötenpanzer ist jedenfalls später aus dem 14. Jahrhundert von den Perlentauchern im Persischen Golf bekannt.

Die Praxis des freien Tauchens blieb vor den Küsten Griechenlands, der Türkei und Nordafrikas bis ins 19. Jahrhundert hinein unverändert. Hier wurde vor allem nach Schwämmen und Korallen getaucht, während im Roten Meer, im Persischen Golf und vor den Küsten des Indischen Ozeans besonders Perlen vom Meeresgrund geholt wurden. Die Ausrüstung der Taucher bestand lediglich aus einer Taucherbrille und eventuell einer Nasenklemme zur Erleichterung des Druckausgleichs. Oft ließen sie sich von einem Stein in die Tiefe ziehen, um beim Abtauchen Zeit zu sparen. Noch heute wird auf diese Weise meist von Frauen in Japan und Südkorea nach eßbaren Seewalzen sowie nach Perlmuscheln und Schwämmen getaucht.

Ein seit langem bekanntes technisches Hilfsmittel für einen Aufenthalt des Menschen unter Wasser war die Taucherglocke. Nach ersten unsicheren Überlieferungen aus dem Altertum ist dann wieder in Berichten aus dem 16. Jahrhundert von Unterwasserarbeiten mit Hilfe von Taucherglocken die Rede. Diese bestanden meist aus unten offenen Holzkästen mit einer Art Plattform, auf der Arbeiter stehen konnten. Beim Wegfieren drang das Wasser von unten in die Glocke ein und komprimierte die darin befindliche Luft, bis sich ein Gleichgewichtszustand einstellte. Ein Mensch oder auch mehrere konnten dann in der Taucherglocke am Meeresgrund Arbeiten ausführen, solange der Sauerstoffvorrat reichte. Als Beispiel für einen erfolgreichen Einsatz einer Taucherglocke im Ostseeraum sei die Bergung von über 50 Kanonen des 1628 vor Stockholm gesunkenen schwedischen Kriegsschiffes »Wasa« im Jahre 1663 genannt. Bei diesen Arbeiten wurden auch zwei Taucher eingesetzt. Die Arbeiten in der kalten Ostsee mit den damaligen primitiven Hilfsmitteln stellen eine große Leistung dar.

Im Jahre 1717 schlug der englische Astronom Halley eine zusätzliche Luftversorgung der Taucherglocke mit Hilfe von Luftbehältern vor. Aus den versenkten Behältern sollte die Luft über Lederschläuche zur Glocke gelangen. Halley soll auch selbst Abstiege bis in 17 m Tiefe unternommen haben.

Taucherglocken verschiedener Ausführungen fanden in der

Folgezeit vielfach Anwendung bei Bergungsarbeiten oder bei der Errichtung von Unterwasserbauten. Sie werden auch noch heute eingesetzt. Wegen ihrer meist auf wenige Meter beschränkten Einsattiefe und Unbeweglichkeit wurden sie jedoch kaum für meereskundliche Zwecke verwendet. Einen der wenigen bekannt gewordenen Einsätze mit der Taucherglocke unternahm 1820 der Schweizer Arzt Colladon, als er in 10 m Tiefe vor der irischen Küste Temperaturmessungen ausführte.

Die Taucherglocken stellen jedoch den historischen und technischen Ausgangspunkt für alle mit Druckluft arbeitenden Tauchgeräte dar. Zwei Entwicklungsrichtungen führen von der Taucherglocke aus weiter. Ein fester Verschluß der Taucherglocke nach unten und eine Luftversorgung unter normalem atmosphärischem Druck führen zur Tauchkugel oder Bathysphäre, von der im folgenden Kapitel noch die Rede sein wird. Durch eine erhöhte Luftzufuhr wird andererseits ein Ausgleich mit dem umgebenden Wasserdruck erreicht und damit im Zusammenhang mit weiteren technischen Veränderungen der Übergang zu Tauchgeräten vollzogen, die eine weitaus bessere Beweglichkeit unter Wasser ermöglichen.

Vorstellungen über Tauchgeräte hat es schon im Mittelalter gegeben. So zeigt eine alte deutsche Handschrift aus dem Jahre 1415 einen Taucher in einer wasserdichten Bekleidung mit einem langen Luftschlauch zur Wasseroberfläche, der dort von zwei Schwimmkörpern getragen wird. Auch von Leonardo da Vinci gibt es eine ähnliche Zeichnung. Allerdings war damals die durch physiologische Ursachen begründete Unmöglichkeit dieses Vorhabens nicht klar. Durch den Atemschlauch blieben die Lungen des Tauchers ja mit der Außenluft verbunden, während auf dem Brustkorb der Druck der über dem Körper liegenden Wassersäule lastet. Bereits bei einem Überdruck von 0,1 Atmosphären, d. h. in einer Tiefe von 1 m, schafft es die Brustmuskulatur nicht mehr, den Brustkorb gegen den Wasserdruck auszudehnen.

Von den ersten Zeichnungen bis zur Realisierung funktionierender Tauchgeräte war es noch ein weiter Weg. 1797 wurde in der Oder bei Breslau eine von Klingert gebaute »Tauchermaschine« erprobt, aber der eigentliche Durchbruch gelang erst 1819, als der nach England ausgewanderte



*So stellte man sich 1415 einen Taucher vor.*

deutsche Werkzeug- und Büchsenmacher Siebe den ersten Taucheranzug aus wasserdichtem Material herstellte, der mit einem Metallhelm fest verbunden war. Vom Schiff wurde dem Taucher mittels einer Pumpe Luft über einen Schlauch zugeführt. Die verbrauchte und auch die überschüssige Luft



*Halleys Vorschlag einer zusätzlichen Luftversorgung für Taucherglocken*

strömte am unteren Rand des nicht straff anliegenden Anzugoberteiles aus. Auch in mehreren anderen Ländern gab es Versuche mit ähnlich aufgebauten Taucherausrüstungen.

1837 entwickelte Siebe schließlich seinen Taucheranzug weiter, indem er den aufschraubbaren Helm mit einem Ausatemventil versah, das vom Taucher selbst betätigt werden konnte. Der Anzug bestand jetzt aus einem Stück, während Bleischuhe und Ballastgewichte für eine ausreichende Standfestigkeit am Grund sorgten. Siebe bezeichnete diese Taucherausrüstung als Scaphander, abgeleitet von den griechischen Bezeichnungen für Boot und für Mann, und schuf damit den Prototyp für die schwere Taucherausrüstung. Bis zum heutigen Tage hat sich dieses Prinzip des geschlossenen Helmtauchergerätes nahezu unverändert erhalten. Hinzugekommen sind

lediglich verbesserte Nachrichtenverbindungen durch eingebaute Telefone, spezielle Mischgasgeräte für Arbeiten in größeren Tiefen und eine Reihe anderer Hilfsgeräte. Viele Generationen von Tauchern haben mit dieser Ausrüstung komplizierte Reparaturen und Bauarbeiten unter Wasser ausgeführt oder schwierige Bergungs- und Rettungsarbeiten vollbracht.

Bei vielen Einsätzen erwiesen sich die möglichen langen Einsatzzeiten der Helmtauchergeräte, ihre große Betriebssicherheit und Robustheit als sehr vorteilhaft. Nachteilig wirkten sich das hohe Gewicht der Ausrüstung und die Unbeholfenheit der schweren Taucher unter Wasser aus. Der große Strömungswiderstand der Taucher erschwerte die Arbeiten besonders bei merklichen Meeresströmungen. Auch waren der erforderliche Personen- und Materialeinsatz recht hoch. Der mit diesen traditionellen Tauchergeräten erschlossene Tiefenbereich erstreckt sich im Mittel bis etwa 50 m. Vereinzelt wurden jedoch bereits vor der Einführung neuer Atemgasgemische größere Tauchtiefen erreicht.

Schon bald nach der Entwicklung der Helmtauchergeräte beobachtete man bei Tauchern, die in größere Tiefen abgestiegen waren, Anzeichen einer rätselhaften Erkrankung. Sie klagten über Hautjucken, Gelenkschmerzen, Atemstörungen oder über eine Beeinträchtigung des Zentralnervensystems. Diese Krankheit hielt oftmals längere Zeit an und führte in einigen Fällen zum Tod des Tauchers. Ähnliche Krankheits-symptome wurden auch bei Arbeitern beobachtet, die lange Zeit unter Druck in einer Taucherglocke, einem Senkkasten (Caisson), gearbeitet hatten. Man nannte diese Erkrankung deshalb Caisson- oder auch Dekompressionskrankheit. Zunächst war keine wirksame Behandlung möglich, da die Ursachen dieser Krankheit nicht bekannt waren. Eine Weiterentwicklung der Technik zum Erreichen größerer Tiefen mußte solange nutzlos bleiben, wie es nicht gelang, die physiologischen Vorgänge im menschlichen Körper aufzuklären, die zu dieser Krankheit führten.

Bereits 1670 hatte der englische Naturwissenschaftler Boyle bei Tierversuchen festgestellt, daß bei plötzlicher Druckentlastung Gasblasen im Blut und im Gewebe entstehen. Von holländischen und deutschen Wissenschaftlern wurde in der Folgezeit weiteres Material zu dieser Problematik

zusammengetragen, bis 1878 der französische Physiologe Bert eine umfangreiche Arbeit zur Frage der Druckeinwirkung auf den Organismus veröffentlichte und eine Aufklärung der Caissonkrankheit möglich machte.

Unter der Wasseroberfläche steht die dem Taucher zugeführte Atemluft unter erhöhtem Druck, so daß sich auch der Teildruck der Bestandteile des Atemgases, wie Sauerstoff und Stickstoff, erhöht. Die einzelnen Gasbestandteile lösen sich nun in Abhängigkeit von ihrem Partial- (Teil-) Druck im Blut und im Körpergewebe. Während der im Blut gelöste Sauerstoff zur Atmung benötigt wird, geht der reaktionsträge (inerte) Stickstoff im Körper keine chemische Verbindung ein. Er wird mit dem Blut ins Körpergewebe transportiert, das – abhängig von Tauchtiefe und Aufenthaltszeit unter Wasser – unterschiedlich viel Stickstoff aufnehmen kann. Beim Auftauchen sinkt der umgebende Druck und so auch der Partialdruck des Stickstoffs in der Atemluft. Der Stickstoff wandert aus den Geweben ins Blut und von hier aus zur Lunge. Das Körpergewebe ist jetzt mit Stickstoff übersättigt. Erfolgt der Druckabfall genügend langsam, so wird der Stickstoff allmählich freigesetzt. Bei einem zu raschen Auftauchen jedoch entweicht er unter Blasenbildung aus den übersättigten Geweben, vergleichbar dem Vorgang beim plötzlichen Öffnen einer Seltersflasche, bei dem schlagartig das Kohlendioxid in Bläschenform ausgeschieden wird. Die Stickstoffblasen im Gewebe des Tauchers verstopfen die Blutgefäße; die Sauerstoffversorgung wird dadurch unterbrochen.

Das Helmtauchergerät fand schnell Eingang in die Meereskunde. Der erste Wissenschaftler, der den Taucheranzug benutzte, war 1844 der französische Zoologe Milne-Edwards auf einer Expedition der französischen Akademie der Wissenschaften in den Gewässern um Sizilien.

Anton Dohrn, der Begründer der Zoologischen Station Neapel, wollte 1878 ebenfalls die »modernen Fortschritte des Taucherwesens für die Zwecke der Zoologischen Station dienstbar machen«. Wie er meinte, sind Taucher »ganz besonders befähigt, diejenigen Teile des Meeresgrundes zu untersuchen, welche den Grundnetzen und Dredgen unzugänglich bleiben«. Im Kieler Hafen unternahm er den ersten Tauchabstieg für wissenschaftliche Zwecke in der Ostsee.

Auch aus anderen Seegebieten wird seit Ende des 19. Jahr-

hundreds von wissenschaftlichen Untersuchungen mit Hilfe von Tauchern berichtet. Besonders der Mittelmeerraum begünstigte diese Unterwasserforschungen, da dort höhere Wassertemperaturen und gute Sichtverhältnisse vorherrschten.

Im Mittelpunkt der Tauchabstiege standen immer wieder meeresbiologische Fragestellungen, waren doch direkte Beobachtungen unter natürlichen Bedingungen von besonderer Wichtigkeit. Die bisherigen Untersuchungsverfahren waren ja sehr unvollkommen. So schrieb beispielsweise der dänische Zoologe Blevgad, der vor der dänischen Küste wissenschaftliche Abstiege im Helmtauchergerät unternahm: »Der Meeresforscher erhält mit der Dredge einen ebenso lebenswahren Ausschnitt vom Meeresboden, als ein Luftschiffer ihn erhalten würde, der den Erdboden mit seiner belebten Welt nach einem Netzfang im Nebel über einer Stadt beurteilen wollte, wobei er einen Schutzmann, Steine und einen Kinderwagen fischt.«

Tauchereinsätze boten sich auch für die Untersuchung geologischer Probleme am Meeresgrund an. Zu ersten der-

#### *Vorbereitung von schweren Tauchern zum Abstieg*



artigen Einsätzen kam es 1910 bei einer Südsee-Expedition eines amerikanischen Forschungsinstitutes. 1923 untersuchten Taucher für wasserbauliche Aufgaben die Versandung der Hafentmole des dänischen Hafens Hanstholm, während Anfang der dreißiger Jahre Taucher vor der Küste von New Jersey ebenfalls den Sandtransport am Meeresgrund beobachteten. Umfangreiche meeresgeologische Untersuchungen erfolgten zwischen 1935 und 1939 in der Kieler Bucht und den angrenzenden Gebieten. Hier wurde vor allem zu Fragen der Untersuchungsmethodik wertvolle Pionierarbeit geleistet.

Der Vollständigkeit halber sei noch eine Einsatzmöglichkeit der Taucherei für wissenschaftliche Zwecke erwähnt, die mit der Meereskunde nichts zu tun hat: die Unterwasserarchäologie. Im Jahre 1901 wurden erstmals mit Scaphandern ausgerüstete griechische Schwammtaucher bei der Bergung antiker Skulpturen und Geräte aus gesunkenen Schiffen eingesetzt. In den Folgejahren leisteten Taucher im Mittelmeerraum und später auch in anderen Seegebieten unschätzbare Hilfe bei der Erkundung und Bergung gesunkener historischer Schiffe. Auch die Untersuchung von im Meer versunkenen Bauwerken und ganzen Stadtanlagen wäre ohne den Einsatz von Tauchern unmöglich.

Da bei diesen wissenschaftlichen Arbeiten unter Wasser meist größere Gebiete untersucht werden sollten und es besonders auf gute Beweglichkeit der Taucher bei einem möglichst geringen technischen und personellen Aufwand ankam, machten sich bald die Nachteile der herkömmlichen Tauchtechnik immer störender bemerkbar. Wie der französische Meeresforscher Cousteau, der entscheidende Beiträge zur Entwicklung der modernen Tauchtechnik leistete, in einem seiner Bücher schrieb, »stapfen die schweren Taucher mit gewaltig schweren Stiefeln mühsam ein paar Meter, von . . . Nabelschnüren belästigt und den Kopf in einen metallenen Käfig gesperrt«. Seit langem bemühte man sich deshalb, autonome Tauchgeräte zu entwickeln, d. h., den Taucher in seiner Versorgung mit Atemluft unabhängig von der Wasseroberfläche zu machen. Dabei zeichneten sich verschiedene Entwicklungsrichtungen ab, die zu den unterschiedlichen autonomen Geräten führten. Es handelt sich einmal um Tauchgeräte, bei denen das Atemgas wiederaufbereitet und

erneut geatmet wird (»geschlossener Kreislauf«), und zum anderen um Geräte mit »offenem Kreislauf«, bei denen das verwendete Atemgas, im allgemeinen Preßluft, nur einmal eingeatmet und dann direkt in das umgebende Wasser abgegeben wird. Eine dritte Art von Tauchgeräten (mit halbgeschlossenem Kreislauf) gewinnt gegenwärtig stark an Bedeutung.

Etwa gleichzeitig mit der Entwicklung der schlauchversorgten Helmtauchgeräte kamen auch schon Konstruktionen von autonomen Tauchgeräten auf, die reinen Sauerstoff verwendeten und das Atemgas regenerierten. Diese Geräte fanden jedoch zunächst keine Verwendung in der Taucherei, sie dienten als Rettungsgeräte im Bergbau. 1879 entwickelte der Engländer Fleuss ein Sauerstoffkreislauf-Gerät mit Atemgasregeneration, das als Grundlage aller weiteren Kreislaufgeräte diente. Das Prinzip ist sehr einfach. Das bei der Atmung freiwerdende Kohlendioxid wird chemisch gebunden und der verbrauchte Sauerstoff aus einem Vorratsbehälter ergänzt. Auf diese Weise wird das Atemgas vollständig ausgenutzt.

In ihrer heutigen Form sind diese Geräte leicht, haben geringe Abmessungen und gestatten trotzdem längere Verweilzeiten unter Wasser. Die Bedienung erfordert jedoch eine sehr gründliche Ausbildung. Ihr Einsatz bringt eine Reihe von sicherheitstechnischen Problemen mit sich, die sich einmal aus der Gefahr des Sauerstoffmangels bei technischen Störungen im Geräte ergeben und zum anderen darin bestehen, daß reiner Sauerstoff unter erhöhtem Partialdruck als Gift wirkt. Aus diesem Grunde ist auch die Einsatztiefe von Sauerstoffkreislauf-Geräten auf maximal 12 bis 13 m beschränkt. Ohne weiter auf diese Problematik einzugehen, sei hier nur festgestellt, daß die Verwendung derartiger Geräte fast ausnahmslos auf den militärischen Sektor beschränkt bleibt. Für Sporttaucher ist ihr Einsatz in der DDR und in einigen anderen Ländern aus Sicherheitsgründen verboten. Auch bei der Untersuchung wissenschaftlicher Probleme wurden sie kaum benutzt.

Geräte mit geschlossenem Kreislauf, die Gasgemische und keinen reinen Sauerstoff verwenden, können jedoch in der Tieftauchttechnik künftig auch im zivilen Sektor Bedeutung erlangen. Wie sich noch zeigen wird, spielen bei Arbeiten in

größeren Tiefen Mischgase aus Sauerstoff und Helium eine große Rolle. Da Helium aber sehr teuer ist, wird eine möglichst vollständige Ausnutzung des Gasgemisches angestrebt, was für die Verwendung von Kreislaufgeräten spricht.

An der Entwicklung autonomer Tauchgeräte unter Verwendung von Preßluft wurde ebenfalls seit langem gearbeitet.

Der entscheidende Durchbruch gelang schließlich 1942 dem französischen Marineoffizier Cousteau. Zusammen mit dem Ingenieur Gagnan entwickelte er mit der »Aqualunge« ein Preßluft-Schwimmtauchgerät, dessen Prinzip bei allen weiteren Entwicklungen beibehalten wurde. Der Aufbau dieser Geräte ist sehr übersichtlich. Die Atemluft befindet sich hochverdichtet (meist unter einem Druck von 200 at) in druckfesten Behältern. Ein Regler, der Lungenautomat, reduziert den Druck der Preßluft auf den Druck der umgebenden Wassersäule und führt dem Taucher die jeweils benötigte Luftmenge zu. Er soll selbst bei extremen körperlichen Belastungen den dann stark angewachsenen Atemluftbedarf des Tauchers decken und auch unter rauen Betriebsbedingungen zuverlässig arbeiten. Die eingeatmete Luft soll dabei möglichst genau den Druck haben, wie er – entsprechend der jeweiligen Tauchtiefe – in der Lunge herrscht, denn bereits kleine Druckdifferenzen verursachen erhebliche Atemschwierigkeiten, die zur vorzeitigen Erschöpfung des Tauchers führen. Auch bei schnellen Tiefenveränderungen des Tauchers muß sich der Regler rasch den geänderten Druckverhältnissen anpassen. Die ausgeatmete Luft wird schließlich durch ein Ventil ins Wasser abgelassen.

1943 erfolgten die ersten Taucherabstiege mit dem neuen Gerät im Mittelmeer. Der einfache Aufbau des Preßluft-Schwimmtauchgerätes, der geringere technische und personelle Aufwand beim Einsatz und die große Beweglichkeit unter Wasser erwiesen sich als große Vorteile. So erfreute sich die Aqualunge in den Jahren nach dem zweiten Weltkrieg zunächst bei Sporttauchern und dann auch bei Wissenschaftlern zunehmender Beliebtheit. Viele meereskundliche Institute haben heute eigene Tauchergruppen gebildet. Auch die gewerbliche Taucherei, die bis dahin fast ausschließlich das Helmtauchgerät eingesetzt hatte, verwendete Preßluft-Schwimmtauchgeräte für die unterschiedlichsten Arbeiten unter Wasser. Einer der ersten Wissenschaftler, der die

Cousteausche Aqualunge als Arbeitsmittel einsetzte, war 1951 der französische Meeresbiologe Drach.

Während bis dahin Taucherabstiege mit meereskundlichen Fragestellungen zu den Ausnahmen gehörten, entwickelte sich nun das Schwimmtauchgerät zu einem wertvollen Hilfsmittel der Ozeanologie.

Wie schon beim Einsatz der Helmtauchergeräte ist es wiederum die Meeresbiologie, die sich in großem Umfang des wissenschaftlichen Tauchens als Arbeitsmethode bedient.

Besonders an Felsküsten, Korallenriffen oder auch in Gebieten mit hartem Meeresboden gestatten nur direkte Beobachtungen eine qualitative und quantitative Bestandsaufnahme. Daher müssen die Biologen unter Wasser Proben sammeln und Auszählungen oder Vermessungen selbst vornehmen.

Wiederholt wurden leichte Taucher auch zu fischereibiologischen Untersuchungen eingesetzt, indem sie das Verhalten bestimmter Fischarten und ihre Reaktionen auf äußere Reize, wie Schall oder Licht, beobachteten. Für die verschiedenen Möglichkeiten einer »Aquakultur«, der künstlichen Aufzucht nutzbarer Meeresorganismen, sind Voruntersuchungen und auch Überwachungsarbeiten durch Taucher wichtig.

Auch bei zahlreichen meeresgeologischen Aufgaben spielen Taucher eine große Rolle. Für Kartierungsarbeiten am Meeresgrund sind direkte Beobachtungen unumgänglich. Mit Tauchern besetzte Unterwasserschlitten, die von einem Boot geschleppt werden, gestatten eine Untersuchung größerer Gebiete.

Bei der Untersuchung des küstennahen Materialtransportes haben sich leichte Taucher ebenfalls bewährt. Sie können Sedimentumlagerungen beobachten und auch wertvolle Hilfe bei Farbsandversuchen leisten, bei denen der Sedimenttransport mit Hilfe gefärbter Sandkörner verfolgt wird.

Auch für Aufgaben aus der physikalischen Ozeanologie sind Taucher erfolgreich eingesetzt worden, wenn auch nicht in dem Maße wie bei biologischen oder geologischen Arbeiten. Auf diesem Gebiet der Meereswissenschaften reichen Beobachtungen schlechthin nicht aus, sie müssen mit exakten Messungen verbunden werden. So spielen Taucher vor allem auch bei der Installation und Kontrolle von Meßeinrichtungen eine wichtige Rolle.

Seitdem 1954 Taucher aus der Gruppe um Cousteau erstmals im Auftrage einer britischen Erdölfirma Bodenproben sammelten und Messungen des Schwerefeldes ausführten, ist eine Erkundung und Nutzung mineralischer Rohstoffe des Meeres ohne Hilfe von Tauchern kaum noch denkbar. Die Meerestechnik, die als jüngster Zweig der Meereswissenschaften die zur Erforschung und Nutzung des Meeres erforderlichen technischen Mittel und Einrichtungen schafft, ist in besonders hohem Maße auf Taucher angewiesen. Den herkömmlichen technischen Aufgaben der Taucher haben sich im Zusammenhang mit der verstärkten Nutzung der marinen Ressourcen zahlreiche neue Einsatzmöglichkeiten hinzugesellt. Sie schließen beispielsweise die Standorterkundung und den Aufbau von Bohranlagen und anderen Förder-einrichtungen im Meer und die Verlegung von Rohrleitungen oder den Aufbau von Tanklagern am Meeresgrund ein. Die periodische Kontrolle und Wartung von untermeerischen Anlagen gehören ebenso zu den Aufgaben der Taucher wie die Erprobung neuer Werkstoffe und Geräte.

Während sich bei den wissenschaftlichen Tauchereinsätzen Mitarbeiter der betreffenden Forschungseinrichtungen oft selbst die erforderlichen Kenntnisse auf tauchtechnischem Gebiet angeeignet haben, erfordern die Aufgaben der Meerestechnik den Einsatz von Berufstauchern. Mit der Tendenz zum Vordringen in größere Tiefen erhöhen sich die Anforderungen an das Leistungsvermögen der Taucher und auch der notwendige technische Aufwand wächst. Die sich ständig erweiternden meerestechnischen Anwendungsgebiete erfordern zugleich eine zahlenmäßige Zunahme der eingesetzten Taucher.

Beim Einsatz des Preßluft-Schwimmtauchergerätes in der Sporttaucherei und mehr noch bei den mannigfaltigen Aufgaben der Meeresforschung und Meerestechnik zeigte sich auch eine Reihe von Problemen, die sowohl aus den besonderen Umweltbedingungen resultierten, unter denen der Taucher arbeiten muß, als auch aus der Reaktion des menschlichen Organismus auf diese neue Umwelt entstanden.

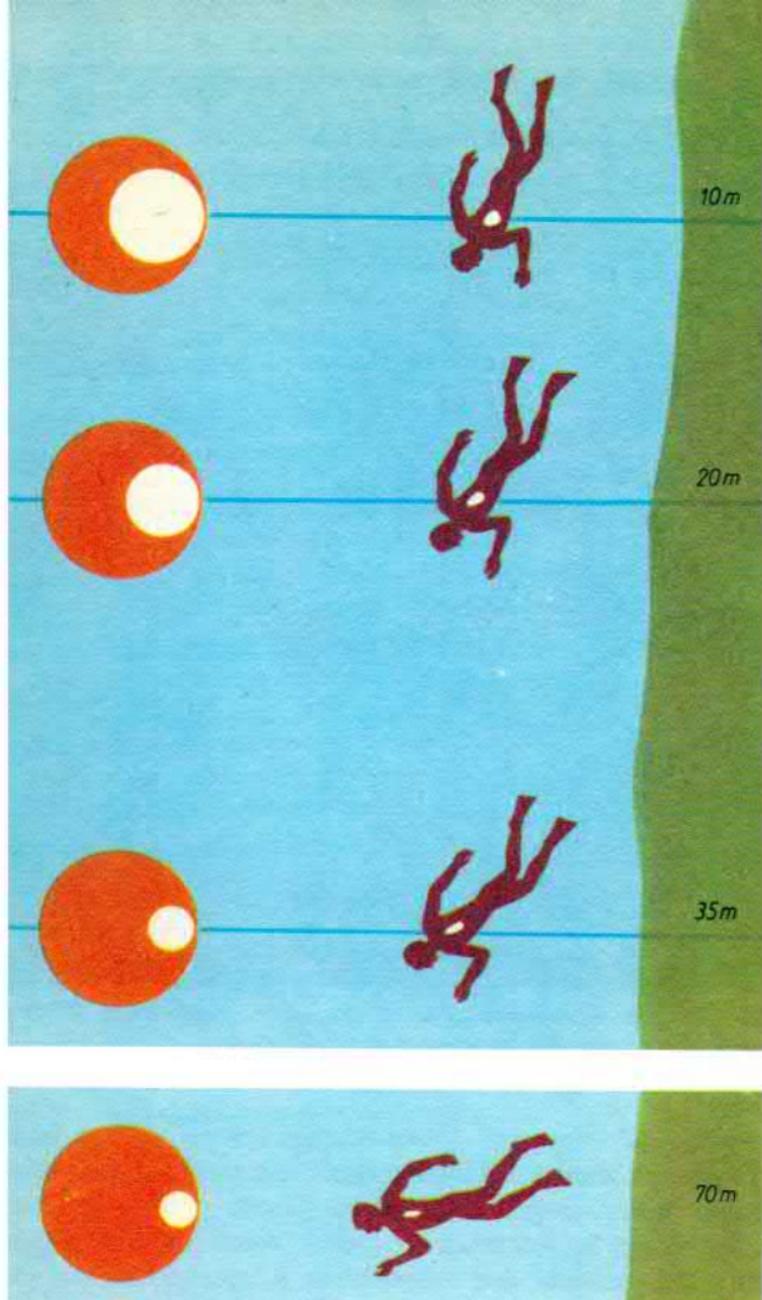
Ein wichtiger Umweltfaktor ist im Wasser der herrschende Druck. Der Taucher befindet sich im Meer in einem Medium, dessen Dichte rund 840mal größer ist als die der Luft. Der menschliche Körper ist jedoch praktisch inkompressibel, da er weitgehend mit Flüssigkeit gefüllt ist. Die Hohlräume, wie



*Das Preßluft-Schwimmtauchergerät ermöglicht zahlreichen Wissenschaftlern direkte Beobachtungen unter Wasser.*

Lunge, Luftwege und Nasen-Rachen-Raum, werden beim Atmen mit dem Preßlufttauchergerät über den Lungenautomaten mit Atemgas unter einem Druck gefüllt, der dem umgebenden Wasserdruck entspricht. Wenn sich eine Druckdifferenz zwischen den luftgefüllten Körperhöhlen und der Umgebung ausbildet, z. B. bei erschwertem Druckausgleich während des Abtauchens, kann es zu Krankheitserscheinungen (Barotraumen) an Mittelohr, Nasennebenhöhlen oder auch der Lunge kommen.

Entsprechend dem mit der Tauchtiefe zunehmenden Wasserdruck erhöht sich der Druck des Atemgases und damit auch



*Mit zunehmender Wassertiefe wird der Lungenraum immer mehr zusammengedrückt. Bei etwa 35 m Tiefe ist die Grenze erreicht, bis zu der ein Freitaucher normalerweise abtauchen kann. Von sehr geübten Tauchern wurde bei Rekordversuchen kurzzeitig die 70-m-Marke überschritten.*

dessen Dichte. Das dichtere und demzufolge auch schwerere Atemgas stellt in Tiefen um 40 m bereits hohe Anforderungen an die Atmungsorgane des Tauchers. Da das Lungenvolumen praktisch gleichbleibt, der Druck aber pro 10 m Wassertiefe um 1 at zunimmt, wird in 10 m Tiefe bereits die doppelte Luftmenge und in 20 m die dreifache Menge usw. benötigt. Ein geübter Taucher verbraucht unter Wasser in unmittelbarer Nähe der Oberfläche etwa 25 bis 30 l Luft pro Minute. Bei einem Sauerstoffgehalt von 21% gelangen so jede Minute rund 6 l Sauerstoff in die Lungen. Aber nur rund 22,5% dieser Sauerstoffmenge, d. h. nur 4,7% der gesamten eingeatmeten Luft, werden wirklich verbraucht und beim Ausatmen durch Kohlendioxid ersetzt. (Da die ausgeatmete Luft bei diesen Geräten im offenen Kreislauf direkt in das umgebende Wasser ausgestoßen wird, ist die Ausnutzung des Atemgases sehr unbefriedigend.)

Die begrenzte Einsatzzeit autonomer Preßluft-Schwimmtauchergeräte veranlaßte schon vor einiger Zeit die Entwicklung von fremdversorgten Geräten mit einer Luftzufuhr von der Wasseroberfläche aus. Im Gegensatz zum Helmtauchergerät blieb der Vorteil der leichten Beweglichkeit des Tauchers erhalten, wenn auch durch die Schlauchversorgung der räumliche Aktionsradius begrenzt wurde.

Von großer Bedeutung sind auch die indirekten Druckwirkungen auf den Taucher. Hierzu gehören einmal die bereits beschriebenen Probleme, die sich aus der unterschiedlichen Sättigung des Körpergewebes mit inerten Gasen wie Stickstoff ergeben und bei zu schnellem Auftauchen die Caissonkrankheit zur Folge haben, und zum anderen die möglicherweise toxischen Auswirkungen des erhöhten Partialdruckes der einzelnen Bestandteile des Atemgases.

Durch Einführung der stufenweisen Dekompression beim Auftauchen konnte die Gefahr der Stickstoffausscheidung aus den Geweben gebannt werden. Ein langsames Auftauchen und ein Verharren in bestimmten Tiefenstufen geben dem Körper die Möglichkeit, allmählich den Stickstoffüberschuß abzubauen. Die Grundlagen für diese stufenweise Dekompression bilden Austauschtabellen, die in Abhängigkeit von der Tauchtiefe und der Aufenthaltszeit unter Wasser Angaben über die erforderlichen Verweilzeiten in den Austauschstufen und über die Gesamtdauer des Austauschs enthalten.

Neben dem mit erhöhtem Wasserdruck stark anwachsenden Atemluftbedarf verkürzen aber die erforderlichen Dekompressionszeiten die Einsatzmöglichkeiten autonomer Taucher. In Tiefen von weniger als 10 m ergeben sich noch keine Beschränkungen infolge zu beobachtender Dekompressionszeiten. Auch aus Wassertiefen von 10 bis etwa 45 m ist noch ein Auftauchen ohne die Einhaltung von Dekompressionsstufen möglich, wenn bestimmte Tauchzeiten, die »Nullzeiten«, nicht überschritten werden. Mit zunehmender Wassertiefe werden die Nullzeiten immer kürzer, bei 35 m Tiefe liegt die zulässige Gesamtzeit für das Abtauchen und für den Aufenthalt in der Tiefe nur noch bei 10 Minuten.

Für längere Aufenthalte unter Wasser ist die Einhaltung von Dekompressionsstufen unumgänglich. Bei einer Tauchzeit von 35 Minuten in 45 m Tiefe beträgt die für den Aufstieg erforderliche Zeit bereits mehr als eine Stunde. Noch ungünstiger ist das Verhältnis von Tauchzeit und effektiver Arbeitszeit für größere Tiefen. Für einen Aufenthalt von 1 Minute in 200 m Tiefe wären über 12 Stunden zur Dekompression nötig. In diesen Tiefen wären daher auf diese Weise praktisch keine Arbeiten mehr möglich.

1957 wurde deshalb das Prinzip des »Sättigungstauchens« entwickelt und in den sechziger Jahren erfolgreich eingeführt. Hierbei ging man davon aus, daß die zur Dekompression benötigte Zeit eine direkte Funktion der im Organismus gelösten Menge an Stickstoff oder auch eines anderen inerten Gases ist. Bekanntlich ist diese Menge abhängig vom Druck und von der Tauchzeit. Die gelöste Gasmenge wächst aber nicht unbegrenzt, da schließlich eine Sättigung des Körpergewebes erreicht wird. Nach neuesten Erkenntnissen sind bis zur vollen Sättigung aller Gewebe mit Stickstoff etwa 64 Stunden erforderlich. (Bei dem für den Taucheinsatz unterhalb von 50 m wichtigen Helium werden etwa 24 Stunden bis zur Sättigung benötigt.) Ist eine Sättigung der Gewebe erreicht, so bleibt die Dekompressionszeit konstant, unabhängig davon, wie lange der Aufenthalt unter Wasser dauerte.

In der Praxis atmen die Taucher vor dem Abstieg in einer Druckkammer eine bestimmte Zeit das Gasgemisch unter einem Druck, der sich nach der vorgesehenen Einsatztiefe richtet. Nach Erreichen der Sättigung werden sie unter diesem Druck mit einer transportablen Tauchkammer an ihren Ein-



*Mit Tauchkammern werden Taucher an ihren Einsatzort gebracht und dort auch häufig von der Anlage aus mit Atemgas versorgt. Ihre Unterwasserarbeit dauert oft einige Tage. Die Dekompression erfolgt in einer größeren Druckkammer an Bord des Schiffes.*

satzort gebracht. Nach einigen Stunden kehren die Taucher in die Kammer zurück und werden immer noch unter Druck zur Wasseroberfläche geholt. An Bord des Arbeitsschiffes steigen sie meist in eine größere Druckkammer um und warten hier auf den nächsten Einsatz. Erst nach Abschluß der oft mehrere Tage dauernden Arbeiten erfolgt in der Druckkammer an Deck des Schiffes die Dekompression. Dieses Prinzip des Sättigungstauchens ist für langwierige Arbeiten unter Wasser von Vorteil, da sich das Verhältnis von nutzbarer Tauchzeit zur Dekompressionszeit immer günstiger gestaltet.

Ebenso wie Sauerstoff bei der Überschreitung eines bestimmten Teildrucks schädlich wirkt, so ruft auch das Kohlendioxid unter höherem Partialdruck Vergiftungserscheinungen hervor. Tauchgeräte, die im geschlossenen oder halbgeschlossenen Kreislauf arbeiten, müssen daher Mechanismen enthalten, die dafür sorgen, daß die Partialdrücke von Sauerstoff und Kohlendioxid bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten. Bei kurzzeitigem Aufenthalt unter Wasser soll der Sauerstoffpartialdruck zwischen 0,2 und 1,8 at liegen und bei längerem Aufenthalt 0,5 at nicht überschreiten. Für Kohlendioxid liegt der maximal zulässige Partialdruck bei 0,005 bis 0,01 at.

Während die toxischen Wirkungen von Kohlendioxid und Sauerstoff unter erhöhtem Druck seit längerer Zeit bekannt waren, stellte sich erst später heraus, daß auch reaktionsträge Gase wie Stickstoff bei Überschreitung eines bestimmten Drucks schädlich sind. Mit diesen Fragen befaßten sich seit Mitte der dreißiger Jahre besonders Behnke in den USA und Orbeli und Lasarew in der Sowjetunion. Bei Druckkammerversuchen und auch bei Tieftauchabstiegen mit Helmtauchern zeigte sich die narkotisierende Wirkung des Stickstoffs. Es kam zum Tiefenrausch mit einer Herabsetzung des Leistungsvermögens, zum Verlust der Kontrolle über das eigene Verhalten und schließlich zu Bewußtlosigkeit.

Bereits von einem der ersten Tauchversuche mit dem Preßlufttauchgerät im Oktober 1943 bis auf 64 m berichtete ein Mitarbeiter von Cousteau über den Tiefenrausch: »Ich spürte ein sonderbares Glücksgefühl. Ich war wie betrunken und völlig sorglos... Ich war nahezu am Einschlafen, aber ich konnte mit diesem Schwindelgefühl doch nicht schlafen.« Der Tiefenrausch und seine Folgeerscheinungen machen sich bei geübten Tauchern bereits bei etwa 40 m bemerkbar.

Gut trainierte und erfahrene Taucher konnten Tiefen von über 60 m erreichen, ohne daß die gefährlichen Anzeichen auftraten. In noch größeren Tiefen erlagen jedoch auch sie dem Tiefenrausch, was zu etlichen tödlichen Unfällen führte.

So wie vor Einführung der stufenweisen Dekompression die Folgen der Stickstoffausscheidung aus den Körpergeweben einen längeren Aufenthalt im Wasser erschwerten, so erwies sich jetzt der Tiefenrausch beim Atmen von Preßluft als Schranke für ein tieferes Vordringen des Menschen im Meer. Abhilfe schaffte hier die Verwendung künstlicher Gasgemische als Atemgas. Da die Gefahr des Tiefenrausches mit zunehmendem Stickstoffanteil größer wird, wurde zunächst versuchsweise ein Teil des Stickstoffs durch Sauerstoff ersetzt. Dieser Weg erwies sich jedoch für größere Tiefen als nicht gangbar, da hier der erhöhte Sauerstoffanteil zu einem Ansteigen des Sauerstoffpartialdruckes führte und damit die Gefahr der Sauerstoffvergiftung heraufbeschwor. So ging man dazu über, den Stickstoff durch das reaktionsträge Edelgas Helium zu ersetzen. 1939 wurde in den USA beim Einsatz konventioneller schlauchversorgter Helmtaucher erstmals ein Helium-Sauerstoff-Gemisch als Atemgas erfolgreich angewandt. Aus 73 m Tiefe konnte unter Mitwirkung dieser Taucher ein Großteil der Besatzung eines gesunkenen Unterseebootes mit einer Rettungsglocke geborgen werden.

Einen anderen Weg beschritt der schwedische Ingenieur Zetterström, der den Stickstoff durch Wasserstoff ersetzte. Um der Bildung von explosivem Knallgas vorzubeugen, enthielt das Atemgas nur 4% Sauerstoff. Beim Ab- und Aus-tauchen wollte Zetterström in Oberflächennähe Preßluft und erst tiefer das Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch verwenden. Im August 1945 erreichte er in der Ostsee ohne Tiefenrausch 150 m Tiefe, verunglückte aber infolge eines Bedienungsfehlers, der an Bord des Versorgungsschiffes auftrat.

Die Versuche mit Helium-Sauerstoff-Gemischen wurden nach dem zweiten Weltkrieg erfolgreich fortgeführt. In den USA und in Großbritannien waren vor allem Marinedienststellen an diesen Versuchen beteiligt, wobei im Hintergrund Überlegungen über eine spätere militärische Anwendung gestanden haben mögen. In den Folgejahren gewannen auch meerestechnische Gesichtspunkte an Bedeutung. 1962 gelang dem Schweizer Keller in einer Druckkammeranlage der fran-

zösischen Marine ein Tauchgang von 10 Sek. in einer simulierten Tiefe von 250 m. Schließlich bewegten sich Keller und der englische Taucher Small im Dezember 1962 im Pazifik etwa 3 Min. frei mit Taucherausrüstung in 300 m Tiefe. Wegen ungenügender Sauerstoffzufuhr und einer panikbedingten Fehlreaktion verunglückte Small dabei tödlich.

Bei simulierten Tieftauchgängen in Druckkammern wurde in den Jahren darauf bewiesen, daß ein Aufenthalt des Menschen auch unter noch größeren Drücken möglich ist. Erste zunächst noch sensationell anmutende Arbeitsabstiege in größere Tiefen folgten. Im September 1970 unternahmen 3 französische Industrietaucher vor der Küste von Korsika 13 Arbeitsabstiege bis zu 3 Std. Dauer in 257 m Tiefe. Das von ihnen benutzte Atemgas bestand aus 90% Helium und 2% Sauerstoff. Vor Beginn des Versuches wurde ihr Körpergewebe in einer Druckkammer an Bord eines Bohrschiffes bei 21 at mit Gas gesättigt. Anschließend wurden die Taucher zweimal täglich mit einer transportablen Tauchkammer in die Arbeitstiefe herabgelassen. Die Dekompression erfolgte erst nach Abschluß aller Arbeiten und dauerte insgesamt 97,5 Stunden. Bereits 3 Jahre später wurden 300 m Tiefe erreicht. Bei weiteren Versuchen eines französischen Unternehmens wurden inzwischen bei mehreren Tauchgängen 450–500 m erreicht, wobei auch in diesen Tiefen noch Arbeiten an Bohrlochausrüstungen möglich waren.

Auf Grund der ständig steigenden Anforderungen vor allem wegen der raschen Entwicklung auf meerestechnischem Gebiet wird der Einsatz von Tauchern in noch größeren Tiefen vorbereitet. In großen Druckkammern werden die Auswirkungen eines hohen Umgebungsdrucks auf den menschlichen Organismus und auf die Arbeitsfähigkeit des Menschen untersucht, wobei schon wiederholt Tauchtiefen von über 600 m simuliert wurden. Tierversuche unter noch höheren Drücken dienen der Vorbereitung weiterer Experimente.

Neben dem Wasserdruck mit seinen direkten und indirekten Auswirkungen auf den Taucher ist die Wassertemperatur ein weiterer wichtiger Umweltfaktor. Niedrige Wassertemperaturen können leicht zu einem begrenzenden Faktor werden, der Unterwasserarbeiten erschweren oder sogar unmöglich machen kann.

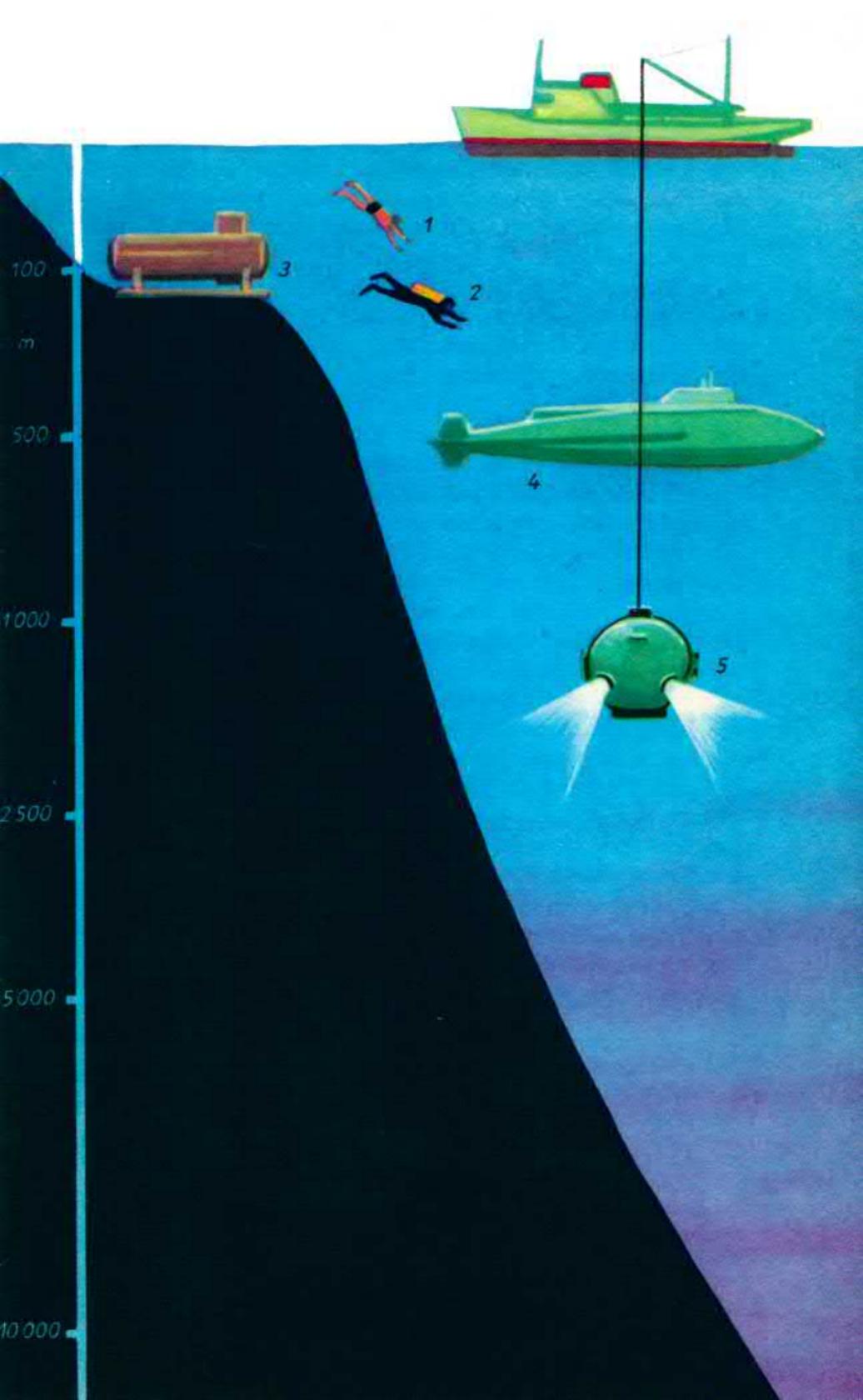
Die Wassertemperatur schwankt an der Meeresoberfläche zwischen Werten bis  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  in den Polargebieten und über  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$  im Persischen Golf. Die hohen Wassertemperaturen von über  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  in den Tropenzonen bleiben auf eine stark erwärmte relativ dünne Oberflächenschicht von etwa 100 m Mächtigkeit beschränkt, die durch eine Schicht starker Temperaturänderungen, die sogenannte Sprungschicht, von den darunterliegenden kühleren Wassermassen getrennt ist. Auch in anderen Seegebieten bilden sich in Abhängigkeit vom jahreszeitlichen Temperaturgang und von der vertikalen Durchmischung thermische Sprungschichten aus. In der Ostsee beispielsweise liegt die thermische Sprungschicht zwischen 20 und 35 m Tiefe. Im Sommer können die Temperatursprünge hier 10 bis  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$  betragen.

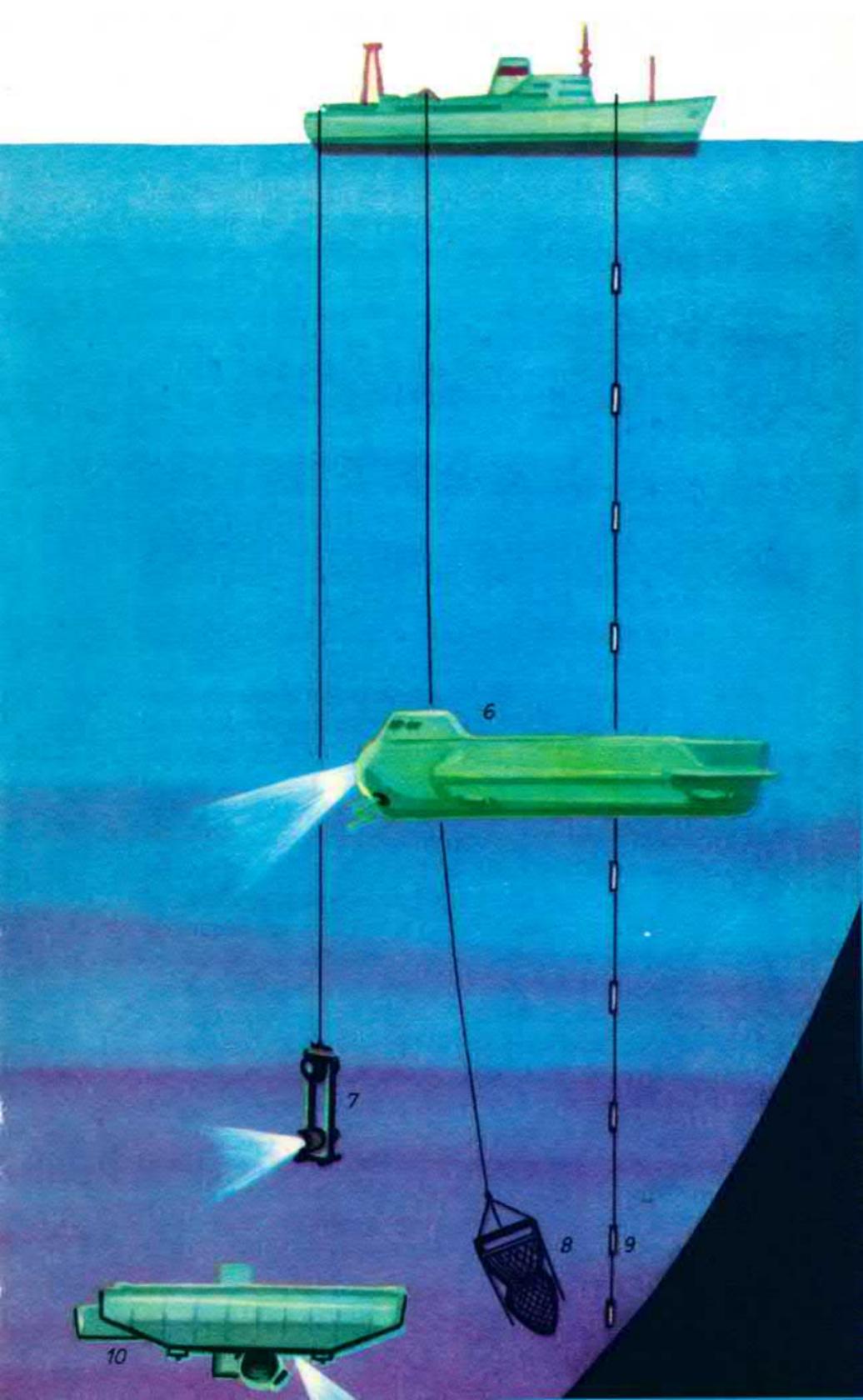
Im Wasser ist auf Grund der besseren Wärmeleitfähigkeit mit einem schnelleren Wärmeverlust des Körpers zu rechnen. Der menschliche Körper ist nur in recht geringem Maße in der Lage, unter Wasser die fortwährende Wärmeabgabe an die Umgebung auszugleichen, weshalb ein geeigneter Schutz gegen Auskühlung vorhanden sein muß. Selbst bei Temperaturen von  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  beginnt ein ungeschützter Taucher im allgemeinen nach 1 bis 2 Stunden zu frieren, während unterhalb von  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  Taucheranzüge unbedingt erforderlich sind. Diese Anzüge müssen auch bei niedrigen Wassertemperaturen und größeren Tiefen einen gleichbleibend guten Kälteschutz für längere Aufenthalte gewährleisten. Eine Auskühlung des Tauchers setzt nicht nur seine Arbeitsfähigkeit, sondern auch sein Konzentrationsvermögen herab.

Die verschiedenen Taucheranzüge gewähren einen Kälteschutz und zugleich einen gewissen Schutz vor Verletzungen. Die von Sporttauchern verwendeten Naßtauchanzüge aus Neoprene-Zellgummi finden auch bei Tauchabstiegen für

#### *Das Eindringen des Menschen in die Tiefe (nächste Seite)*

1 – Rekordabstiege von Freitauchern bis über 80 m; 2 – Schwimmtaucherabstiege mit Gerät bis über 400 m Tiefe; 3 – Einsatz von Unterwasserlabors bisher bis 150 m Tiefe; 4 – Tauchtiefe moderner U-Boote, etwa 500 m; 5 – Rekordabstieg der Bathysphäre 1372 m; 6 – Abstiege mit Unterwasserfahrzeugen, wiederholt über 2000 m; 7 – Meeresbodenfotos aus etwa 9200 m; 8 – tiefster Schleppnetzzug der »Galathea« 10189 m; 9 – Wasserprobenentnahme aus über 10000 m; 10 – tiefster Abstieg der »Trieste« 10916 m





wissenschaftliche oder technische Zwecke in Oberflächennähe Verwendung. Die im Anzugmaterial enthaltenen zahlreichen kleinen Gasblasen aus Stickstoff oder Kohlendioxid bedingen auf Grund ihres schlechten Wärmeleitvermögens eine gute Isolation. Das zwischen Körper und dem nicht völlig wasserdicht anliegenden Anzug eindringende Wasser erwärmt sich rasch bis zur Körpertemperatur und verstärkt die isolierende Schutzschicht, da es nicht zirkulieren kann. Mit zunehmender Tiefe werden die Gasbläschen aber immer mehr zusammengedrückt. So berichteten bei Versuchen mit der Unterwasserstation »Helgoland« in der Nordsee eingesetzte Taucher: »Das einzige Handicap war die Kälte. Tauchzeiten von 3 bis 4 Stunden an einem Tag bei 13,5 °C Wassertemperatur im Anzug aus Synthetikgummi, dessen Isolationsfähigkeit in 20 m Tiefe auf etwa ein Drittel sinkt, sind nur wenige Tage lang zu ertragen.«

Bei technischen Arbeiten unter Wasser finden meist Trockentauchanzüge Anwendung, bei denen der Körper des Tauchers nicht in direkte Berührung mit dem Wasser kommt. Sie gewährleisten einen genügenden mechanischen Schutz und bestehen meist aus gummibeschichtetem Gewebe. Ein Kälteschutz ist nur vorhanden, wenn gleichzeitig entsprechendes Unterzeug getragen wird. Mit zunehmendem Wasserdruck wird die zwischen Körper und Anzug befindliche Luft zusammengedrückt und größtenteils aus dem Anzug herausgepreßt. Dadurch mindert sich das Isolationsvermögen. Quetschungen beeinträchtigen die Beweglichkeit des Tauchers.

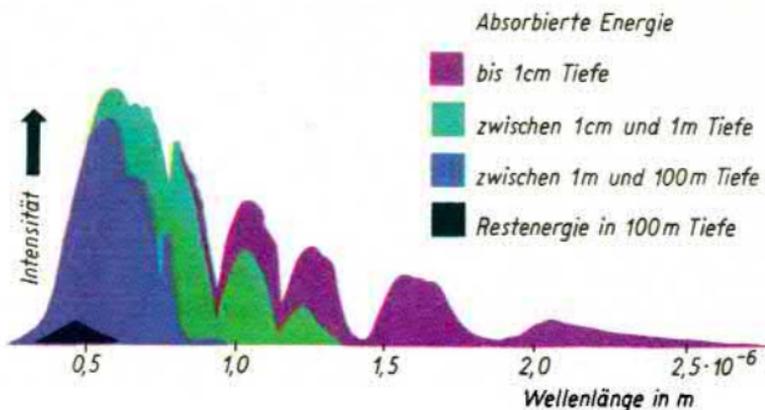
Als Weiterentwicklung entstand schließlich der sogenannte Konstantvolumenanzug, der auch bei Arbeiten in größeren Tiefen verwendet werden kann. Dieser Trockenanzug ermöglicht es, das im Anzug eingeschlossene Luftvolumen konstant zu halten, wobei zwischen dem umgebenden äußeren Wasserdruck und dem Druck im Innern des Anzugs ein Gleichgewichtszustand herrscht. Das isolierende Luftpolster gewährleistet in jeder Tiefe einen guten Kälteschutz. Die Beweglichkeit des Tauchers wird weniger eingeschränkt, da sich keine Falten bilden.

Das Problem des Kälteschutzes erhält besondere Bedeutung, wenn künstliche Helium-Sauerstoff-Gemische geatmet werden. Helium hat im Vergleich mit Luft normaler Zusammensetzung ein wesentlich größeres Wärmeleitvermögen, so daß

es zu einer schnelleren Auskühlung des Körpers kommt. Deshalb werden bei langandauernden Einsätzen heizbare Taucheranzüge verwendet. Bei technischen Arbeiten von einer Tauchkammer aus werden die Anzüge meist mit Warmwasser über eine Schlauchverbindung von der Kammer aus beheizt. Dabei trägt der Taucher eine Art besonderer Unterwäsche, die mit einem Schlauchgeflecht durchsetzt ist.

Andere Möglichkeiten sehen in Analogie zu den Schutzanzügen der Kosmonauten eine elektrische Beheizung vor. Die erforderliche Stromquelle trägt der Taucher am Gürtel bei sich. Auch kleine Isotopengeneratoren wurden bereits konstruiert, die Wasser erwärmen sollen, das dann im Taucheranzug in Schläuchen zirkuliert. Ein anderes Heizungsverfahren sieht die Ausnutzung der bei chemischen Umwandlungen freiwerdenden Reaktionswärme vor. Die eigentliche Beheizung des Anzuges soll wiederum durch ein Schlauchsystem mit erwärmtem Wasser erfolgen. Bei den zuletzt genannten Heizungssystemen handelt es sich aber vorerst um Versuchsausführungen, deren Betriebssicherheit noch zu wünschen übrig läßt, besonders unter den rauen Umweltbedingungen bei Routinearbeiten. Bei Tauchereinsätzen in großen Tiefen, wie etwa bei den französischen Abstiegen bis in 256 m, wird auch das Atemgas vorgewärmt.

Unter den Umweltfaktoren spielen die Lichtverhältnisse für das Orientierungsvermögen und die Arbeitsfähigkeit der Taucher ebenfalls eine große Rolle. Für die Unterwasserphotographie ist das Lichtfeld ebenfalls eine wichtige Größe. Die spektrale Zusammensetzung des Lichts ändert sich im Wasser stark. Die geringste Absorption erfährt die Strahlung im kurzwelligen blauen Bereich des Spektrums, im langwelligen roten Bereich dagegen ist sie 100mal größer. Bis zu einer Wassertiefe von etwa einem halben Meter wird vorwiegend die infrarote Strahlung »verschluckt«, während darunter eine intensivere Absorption des roten und dann auch des gelben Strahlungsanteils festzustellen ist. Der unter Wasser gewonnene Farbeindruck verschiebt sich daher immer mehr zum Bläulichgrünen. Unterhalb von etwa 30 m herrscht eine blau-graue Dämmerung vor. In einer Tiefe von etwa 120 m erkennt das menschliche Auge ohne künstliche Beleuchtung unter ozeanischen Bedingungen nur noch Schatten, und unterhalb von 250 m herrscht ein tiefes Blauschwarz.



*Beim Eindringen der Sonnenstrahlung in das Wasser werden die langwelligen Anteile stärker absorbiert als die kurzwelligen.*

In klarem Ozeanwasser beträgt in 100 m Tiefe die Strahlungsintensität nur noch rund 1,5% der an der Wasseroberfläche eindringenden Strahlung. Enthält das Wasser jedoch größere Mengen Plankton oder feinsten anorganischer Schwebstoffe, dann verschlechtert sich das Lichtangebot im Meer noch mehr. So sind z. B. in der Ostsee bereits in einer Tiefe von 15 m etwa 95% der gesamten einfallenden Lichtmenge absorbiert. Eine weitere Verschlechterung der Sichtverhältnisse bewirkt die Streuung des Lichts an diesen Teilchen. Da Art und Konzentration dieser streuenden Partikel in weiten Grenzen schwanken, lassen sich die Gesetzmäßigkeiten der Streuung schwer erfassen. Der Taucher hat den Eindruck, als liege vor den Gegenständen in seinem Blickfeld ein Schleier, der die Kontraste herabsetzt.

Die Sichtverhältnisse können sich unter Wasser in Abhängigkeit von der Jahreszeit (unterschiedliche Einstrahlung und Planktonentwicklung) sowie in Abhängigkeit von örtlichen Faktoren beträchtlich ändern. Sichtweiten von 30 bis 40 m findet man nur in klaren tropischen Gewässern, während beispielsweise in der Ostsee eine Sichtweite von 6 bis 12 m schon als gut bezeichnet werden muß. Häufig sind die Bedingungen noch schlechter, so daß sich der Taucher im Extremfall nur auf seinen Tastsinn verlassen kann. In stark getrübttem Wasser bewirkt auch künstliche Beleuchtung keine Verbesserung der Sichtbedingungen, da hier die Lichtquelle wie ein Autoscheinwerfer bei starkem Nebel wirkt. Der

Taucher sieht nur noch eine undurchdringliche milchige Wand.

Deshalb werden auch hohe Anforderungen an das Orientierungsvermögen der Taucher gestellt. Besonders in größeren Tiefen und dort, wo es darauf ankommt, ein bestimmtes Gebiet zu untersuchen, muß die sichere Rückkehr zum Ausgangspunkt gewährleistet sein. Technische Einrichtungen und Geräte am Meeresboden müssen leicht geortet werden können. Unterwasserkompassse verschiedener Ausführung gestatten eine Bestimmung der Himmelsrichtung. In der Umgebung eines Unterwasserbaues ermöglichen beispielsweise Führungsleinen eine Orientierung in einem Umkreis von 100 m. Starke Unterwasserscheinwerfer verbessern bei nicht zu stark getrübttem Wasser die Sichtverhältnisse, während die Taucher selbst tragbare Lampen mit sich führen. Damit die Hände des Tauchers frei bleiben, wurden batteriegespeiste Stirnlampen entwickelt, die der Taucher ähnlich wie ein Bergmann an seiner Maske oder am Helm trägt.

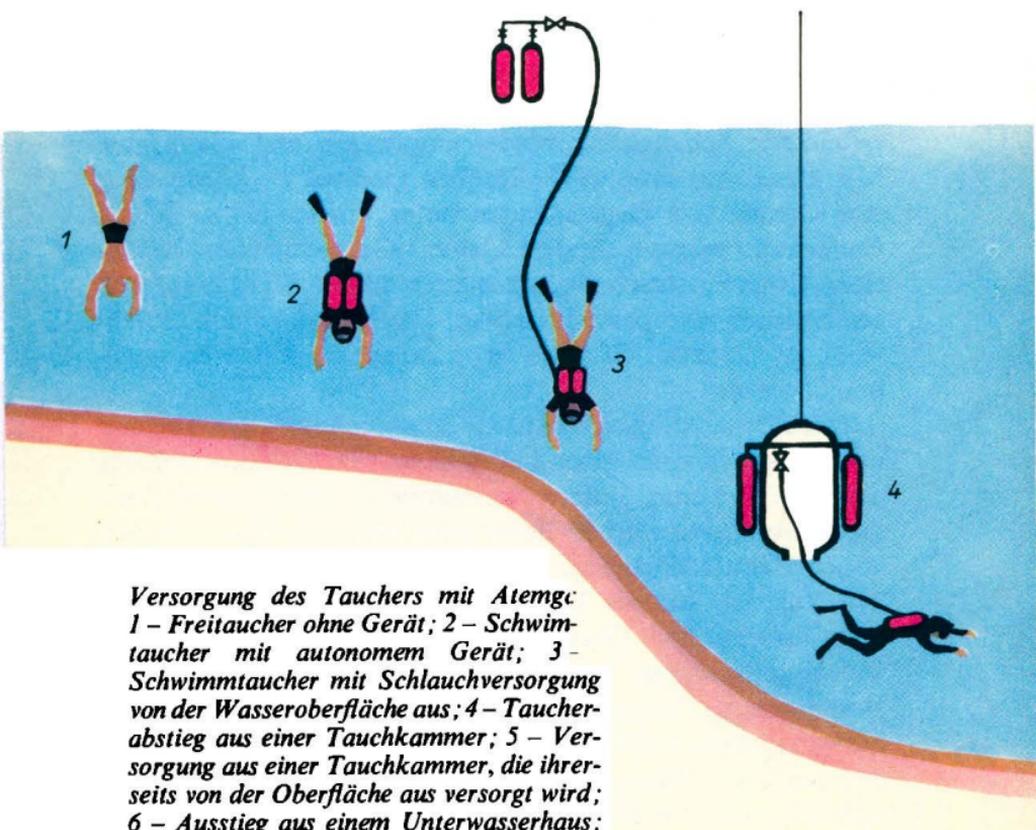
Neuerdings wurden auch tragbare Sonargeräte entwickelt, die Schallimpulse aussenden und die von einem Gegenstand reflektierte Schallwellen wieder empfangen und verstärken. Mit diesen nur etwa fußballgroßen Geräten ist gegenwärtig eine Ortung von Gegenständen unter Wasser bis zu 200 m Entfernung möglich. Andere kleinere Geräte nehmen die von einer Unterwasserschallquelle ausgestrahlten Signale auf und ermöglichen eine passive Ortung. Die Schallquelle kann sowohl an Geräten als auch an Unterwasserstationen angebracht werden.

Technische Möglichkeiten zur Verständigung der Taucher untereinander – mit einer Leitstelle an der Meeresoberfläche oder auch mit einer Unterwasserstation – haben bei schlechten Sichtverhältnissen große Bedeutung. Im Unterschied zu den in den Helmtauchgeräten verwendeten Telefonen war es deshalb für den Einsatz leichter Taucher erforderlich, Größe und Gewicht dieser Geräte zu reduzieren. Die Taucher tragen Vollgesichtsmasken mit eingebautem Mikrofon. Drahtlose Verbindungen erlangen immer größere Bedeutung. Auf kurzen Entfernungen bedient man sich der direkten Schalleitung ins Wasser mit Hilfe spezieller Unterwasserlautsprecher, während für größere Distanzen Unterwassersprechfunkanlagen mit Ultraschall als Trägerfrequenz entwickelt

wurden. Bisher wurden Entfernungen bis etwa 1000 m überbrückt.

Das in künstlichen Gasgemischen enthaltene Helium beeinflusst nicht nur die Wärmeleitfähigkeit, es wirkt sich auch auf die menschliche Sprache aus. Infolge der höheren Schallgeschwindigkeit im Helium kommt es beim Sprechen zu Frequenzverschiebungen, die menschliche Stimme wirkt quiekend und wird unverständlich. Zur Wiederaufbereitung der Sprache sind daher zusätzliche Geräte zur Frequenzumwandlung erforderlich.

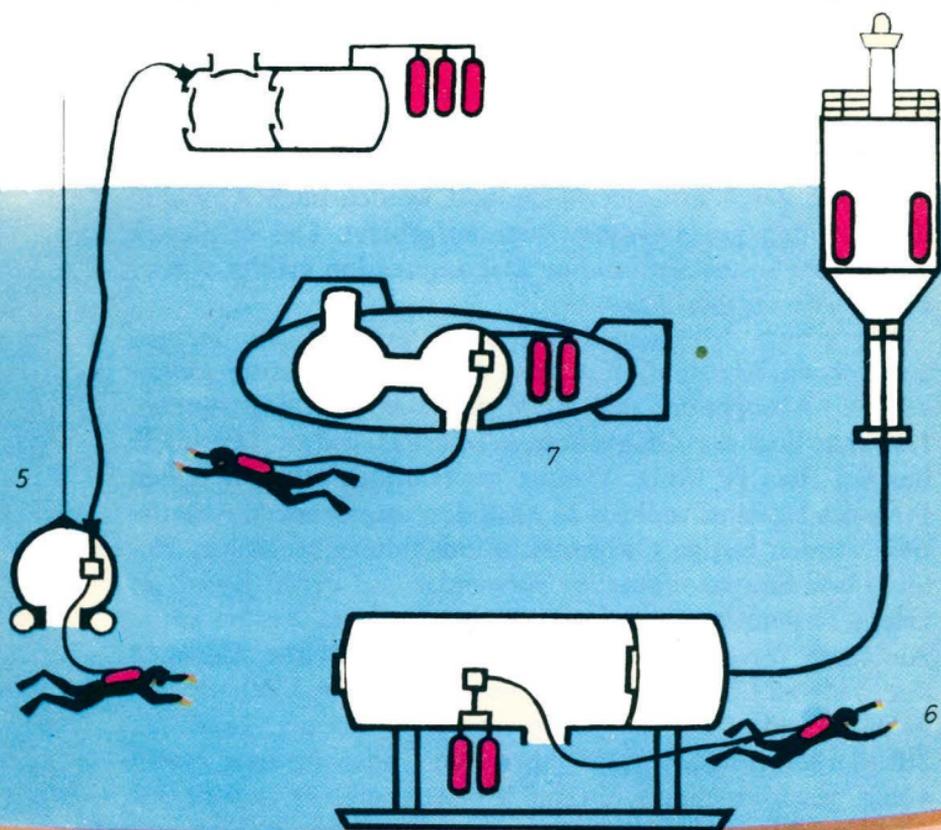
Noch vor wenigen Jahren schien es geradezu utopisch, für das Tauchen in Tiefen unter 50 bis 60 m autonome Tauchgeräte verwenden zu wollen. Das Wissen über die physiologischen Vorgänge und geeignete technische Hilfsmittel ermöglichte jedoch, nicht nur auf einzelnen Rekordtauchgängen größere Tiefen aufzusuchen, sondern dort auch regel-



*Versorgung des Tauchers mit Atemgas:  
1 - Freitaucher ohne Gerät; 2 - Schwimmtaucher mit autonomem Gerät; 3 - Schwimmtaucher mit Schlauchversorgung von der Wasseroberfläche aus; 4 - Taucherabstieg aus einer Tauchkammer; 5 - Versorgung aus einer Tauchkammer, die ihrerseits von der Oberfläche aus versorgt wird; 6 - Ausstieg aus einem Unterwasserhaus; 7 - Ausstieg aus einem Unterwasserfahrzeug*

mäßige Arbeiten auszuführen. Noch vor wenigen Jahren erfolgten 95% aller Taucherarbeiten in einem Tiefenbereich von weniger als 50 m. Heute ist das Tauchen von 100 bis 150 m schon fast zur Routine geworden, und Arbeitsabstiege über 200 m werden bald ganz »normal« sein.

Im Vordergrund der Aufgaben stehen dabei Fragen der Meerestechnik. Eine Rohstoffgewinnung auf dem Kontinentalschelf ist ohne die Mitwirkung von Tauchern nicht mehr denkbar. In den »Offshore«-Erdölfördergebieten vor der amerikanischen Küste gehören Wartungs- und Reparaturarbeiten an den technischen Einrichtungen zum Taucheralltag. Auch im Kaspischen Meer konnten leichte Taucher bei den dortigen Förderanlagen wertvolle technische Hilfe leisten. Wissenschaftliche Untersuchungen durch Taucher sind in diesem Tiefenbereich dagegen bisher nur in geringem Umfang erfolgt und beschränken sich meist auf das Auslegen



von Meßgeräten. Der höhere technische Aufwand und die notwendige vertiefte Ausbildung verhinderten bislang umfangreichere Untersuchungen durch wissenschaftliche Mitarbeiter meereskundlicher Institute.

Technische Voraussetzung für die Erweiterung des Aktionsradius in die Tiefe war die Entwicklung autonomer Mischgas-Tauchgeräte. Sie ermöglichen selbst noch in 200 m Tiefe eine Arbeitszeit von etwa 30 Minuten. Allerdings kann der Taucher nicht mehr von der Wasseroberfläche aus frei in diese Tiefen abtauchen, sondern muß meist in einer Tauchkammer zu seiner Arbeitsstelle gebracht werden. Die Tauchkammer übernimmt für ihn häufig über eine Schlauchleitung die Versorgung mit Atemgas, wodurch sich die mögliche Einsatzzeit auf 2 bis 3 Stunden erhöht. Für längere wiederholte Arbeiten bietet sich das Prinzip des Sättigungstauchens mit Druckkammer an der Oberfläche und Transporttauchkammer oder von einem Unterwasserhaus aus als günstigste Lösung an. Für viele Arbeiten, die in weniger als 2 Stunden erledigt werden können, ist jedoch der große Zeitaufwand bei der Sättigung und späteren Dekompression unökonomisch. Einfachere Tauchkammern ermöglichen ein Absenken des Tauchers von der Wasseroberfläche und werden nach Abschluß der Arbeiten geschlossen wieder aufgehievt. Die in diesem Falle nicht so zeitaufwendige Dekompression erfolgt wieder an der Wasseroberfläche.

Die neuen Mischgas-Tauchgeräte arbeiten im halbgeschlossenen Kreislauf, d. h., das Atemgas wird unter gleichzeitiger Absorption des Kohlendioxids wiedergewonnen. Dadurch liegt der Gasverbrauch selbst in 200 m Tauchtiefe nur bei etwa 50 l/min. Das ist im Hinblick auf den hohen Preis des Heliums wichtig. Je nach der vorgesehenen Arbeitstiefe werden fertige Gasmische mit unterschiedlichen Helium- und Sauerstoffanteilen verwendet, mit denen jeweils in einem Tiefenbereich von etwa 60 m gearbeitet werden kann. Auf diese Weise wird ohne aufwendigen Regelmechanismus der Sauerstoffpartialdruck in den zulässigen Grenzen gehalten. Geräte, die selbsttätig, entsprechend der Tiefe, die erforderlichen Gasmische herstellen oder die mit einem völlig geschlossenen Kreislauf arbeiten, gibt es bereits. Sie sind aber für einen Routineeinsatz noch zu kompliziert und zu teuer.

Die Fortschritte in der Tauchtechnik weckten den Wunsch, den Menschen auch für längere Zeit im Meer heimisch zu machen. Von der Oberfläche aus oder in Tauchkammern absteigende Taucher machten nur Stippvisiten im Meer.

Für einen Langzeitaufenthalt des Menschen im Meer mußten deshalb erst eine Reihe von Voraussetzungen geschaffen werden. Es galt, Stationen unter Wasser einzurichten, in die sich die Taucher nach ihren Exkursionen zurückziehen konnten, um sich zu erholen und um dort gegebenenfalls auch ihre Beobachtungen auszuwerten. In diesem Unterwasserhaus mußte ihre Versorgung mit Atemgas, Nahrung und allem Erforderlichen gesichert sein. Ferner stand das Problem der Verbindung zur Wasseroberfläche.

Eine große Rolle spielte die Frage nach den möglichen Auswirkungen eines Langzeitaufenthaltes auf den menschlichen Organismus. Auch mögliche psychologische Reaktionen beim Zusammenleben mehrerer Menschen auf engem Raum unter Wasser bedurften der Klärung. Von der tauchtechnischen Seite her waren mit dem Routineeinsatz autonomer Tauchgeräte mit künstlichen Atemgasen und mit der Schaffung geeigneter Unterwasserkommunikationsmöglichkeiten die Voraussetzungen gegeben.

Eineinhalb Jahre nach dem ersten bemannten Weltraumflug durch Gagarin erfolgte im Mittelmeer im Rahmen des amerikanischen »Mensch im Meer«-Programmes der erste Langzeittauchabstieg. Am 6. 9. 1962 wurde ein belgischer Taucher in einer zylinderförmigen Tauchkammer bis 61 m Tiefe abgesenkt und verblieb dort bis zu 4 Tagen.

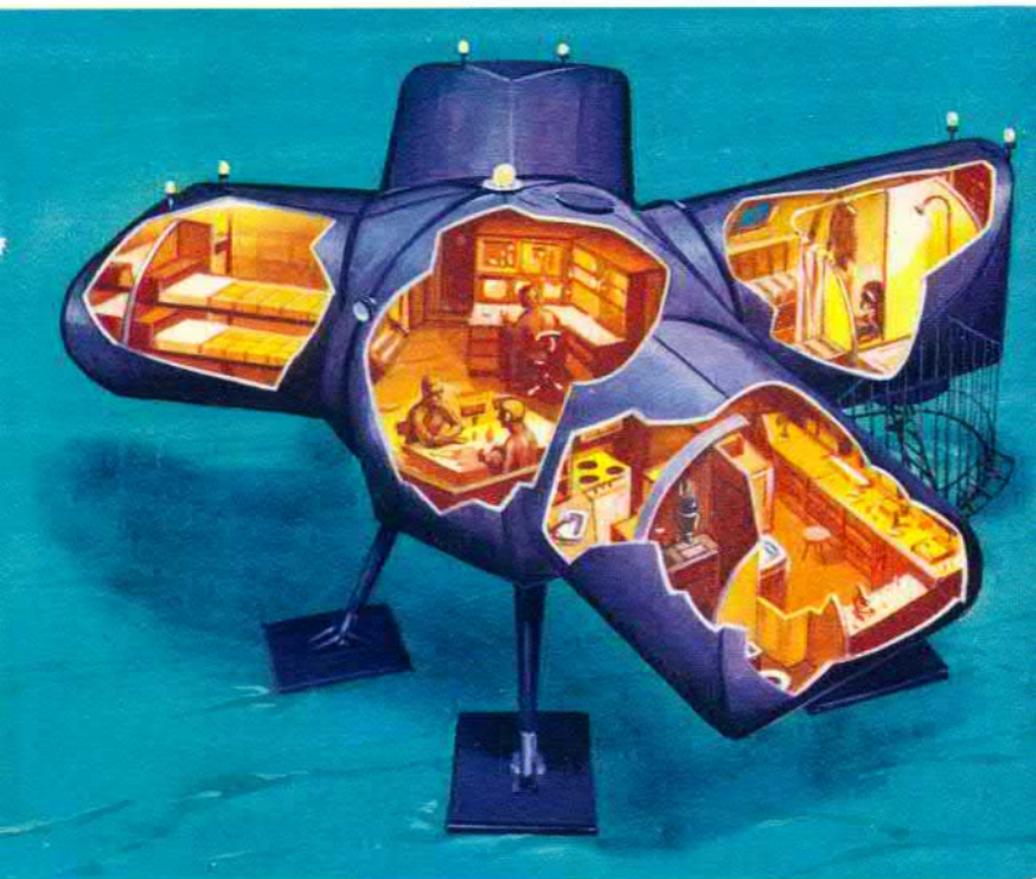
Wenige Tage später führte Cousteau vor Marseille sein Experiment »Précontinent I« aus. Zwei Taucher hielten sich eine Woche lang unter einem Druck von 2,06 at in 10 m Tiefe in einem 5,2 m langen faßförmigen Unterwasserhaus auf. Tägliche Tauchgänge von insgesamt 5 Stunden Dauer führten sie in Tiefen zwischen 5 und 25 m. Mit diesem Experiment wollte Cousteau beweisen, daß mit Hilfe entsprechender technischer Mittel ein tagelanger Aufenthalt am Meeresgrund möglich ist, auch wenn der Taucher ständig unter doppeltem Luftdruck steht. Das Ziel des Précontinent-Programmes war in erster Linie die Bewältigung der physiologischen Probleme, die das konventionelle Tauchen begrenzen. Beim Unternehmen »Précontinent I« erfolgte die Energie- und Preßluft-

versorgung von einer nahegelegenen Landstation aus. Wasser und Lebensmittel wurden durch Taucher von einem Mutterschiff zur Station gebracht. Mehr als 60 Mann waren insgesamt zur Versorgung der beiden Aquanauten (dieser Begriff sollte sich bald in Analogie zu den Kosmonauten im Weltraum für die Bewohner von Unterwasserhäusern verbreiten) erforderlich, davon allein 15 Taucher als Kuriere.

Im Juni 1963 erfolgte unter der Leitung von Cousteau das Unternehmen »Précontinent II«, bei dem dieses Mal eine ganze Unterwassersiedlung geschaffen wurde und Taucher gemeinsam mit Unterwasserfahrzeugen operierten. Als Ort für diesen Versuch war das Rote Meer ausgewählt worden, weil hier extreme Temperaturverhältnisse herrschen und weil es weit ab von den Nachschubmöglichkeiten liegt. Bei einem Gelingen des Versuchs unter solch ungünstigen Bedingungen war der Beweis erbracht, daß er auch in jedem anderen Seegebiet zu wiederholen war.

Eine fünfköpfige Gruppe aus Berufstauchern und Meeresbiologen lebte einen Monat lang in 9,5 m Tiefe im »Seesternhaus«, während zwei andere Taucher 6 Tage lang von einem kleineren zylindrischen Unterwasserhaus in 26,5 m Tiefe aus Tauchabstiege bis 50 m ausführten und gelegentlich sogar in über 100 m Tiefe vorstießen. Da die tiefere Unterwasserstation über keine Klimaanlage verfügte, klagten die Taucher über Hitze und vor allem über die hohe Luftfeuchtigkeit. Auch Ermüdungserscheinungen zeigten sich rascher als in Nähe der Oberfläche.

Das Seesternhaus erhielt seinen Namen nach seiner eigentümlichen Gestalt. Von einem Zentralraum aus, in dem sich die Überwachungs- und Kontrolleinrichtungen (u. a. auch Fernsehkameras) befanden, gingen 4 weitere Räume asymmetrisch strahlenförmig aus. In der Nähe des Seesternhauses befand sich eine Unterwassergarage für die »Tauchende Untertasse«, eines der ersten Unterwasserfahrzeuge für Forschungszwecke. Die Tauchmannschaft experimentierte mit neuen Gasgemischen und verrichtete alle möglichen Arbeiten unter Wasser. So wurde die Ökologie des Korallenriffs untersucht, auf dem die Station angelegt war. Außerdem wurden Beobachtungen über Mikroorganismen und die gegenseitigen Wechselbeziehungen zwischen einer menschlichen Unterwasserkolonie und ihrer natürlichen Umwelt ausgeführt.



*Cousteaus »Seesternhaus« von 1963*

Der Aufbau der Anlagen war nur mit erheblichem materiellen und technischen Aufwand möglich.

Beim zweiten amerikanischen »Mensch im Meer«-Versuch vor den Bahama-Inseln im Jahre 1964 wurden mit der schon beschriebenen Tauchkammer 2 Taucher bis in 132 m Tiefe abgesenkt. Dort wurde der Kammerdruck dem Wasserdruck angeglichen, die Taucher stiegen aus und blieben 49 Stunden in einem versenkten transportablen Unterwasserzelt. Ein Gummigehäuse war über einen Stahlrahmen gespannt und stand unter einem der Wassertiefe entsprechenden Innendruck. Auch hier erfolgte die Gasversorgung von der Wasseroberfläche aus.

1964 und 1965 führte die amerikanische Kriegsmarine mit »Sealab I« und »Sealab II« die bis dahin aufwendigsten Langzeitexperimente aus. Während sich im Rahmen des »Sealab I«-Programms 4 Marinetaucher, unter denen sich erstmals ein Arzt befand, für 10 Tage in 58 m Tiefe in subtropischen Gewässern vor den Bermudas aufhielten, wechselten bei »Sealab II« 3 Gruppen von 10 Wissenschaftlern und Technikern nach jeweils 15 Tagen. Der amerikanische Astronaut Carpenter, der an dem Experiment teilnahm, blieb 29 Tage in 60 m Tiefe.

Bei den Versuchen erfolgten umfangreiche physiologische und psychologische Experimente. Als »schwimmender Postbote« wurde ein dressierter Delphin eingesetzt. Er brachte kleine Werkzeuge und – in druckdichten Behältern – Nachrichten von der Wasseroberfläche zur Station. Auf Grund seines Körperbaus ist der Delphin in der Lage, ohne Dekompressionsprobleme größere Tiefenunterschiede in kurzer Zeit zu überwinden.

Das 200 t schwere und 17,4 m lange Unterwasserlabor »Sealab II« war vor der kalifornischen Küste in verhältnismäßig kühlem und trübem Wasser unter erheblichen Schwierigkeiten abgesenkt worden. Aus den ungünstigen Umweltbedingungen resultierten zusätzliche Belastungen der Taucher. Die niedrige Wassertemperatur erforderte eine künstliche Beheizung der Tauchanzüge. Die geringe Sichtweite von nur 7 m machte zusätzliche Sicherungsmaßnahmen notwendig. Das verwendete Atemgas (4% Sauerstoff, 9% Stickstoff und 79% Helium) verursachte erhebliche Verständigungsschwierigkeiten. Auf Grund der raschen Wärmeabgabe in der Heliumatmosphäre mußte die Station auf über 26 °C aufgeheizt werden, damit die Taucher nicht froren. Da Helium durch fast alle Materialien diffundiert, drang es auch in empfindliche elektronische Geräte ein und machte sie nach kurzer Zeit unbrauchbar. Als nachteilig erwies sich die hohe Luftfeuchtigkeit von über 90%. Bei späteren Unterwasserversuchen wurden daher in Anlehnung an die Erfahrungen bei bemannten Weltraumflügen verbesserte Entfeuchtungsanlagen verwendet.

Etwa gleichzeitig mit dem »Sealab II«-Experiment erfolgte im Mittelmeer vor Kap Ferrat unter der Leitung von Cousteau der dritte »Précontinent«-Versuch. Das kugelförmige zwei-stöckige Unterwasserhaus von 7,5 m Durchmesser und einem

Gesamtgewicht von 130 t wurde in 100 m Tiefe 3 Wochen lang Heimstatt für 6 Taucher. Zur Dekompression waren nach diesem Sättigungstauchexperiment 72 Stunden erforderlich. Die Taucher verließen ihr Kugelhaus täglich bis zu 4 Stunden und tauchten bis in 130 m Tiefe.

Zu ihren Aufgaben gehörte neben vielen ozeanologischen Untersuchungen auch die Installation und Wartung eines Ölbohrkopfes. Der 6 t schwere Bohrkopf wurde mit einem Kran von der Wasseroberfläche abgesenkt, wobei die Arbeit durch eine starke Dünung sehr erschwert wurde.

Beim Aufenthalt in der Heliumatmosphäre des Unterwasserhauses traten dieselben Schwierigkeiten wie bei den »Sealab«-Experimenten auf. Erst nach mehreren Tagen hatten sich die Aquanauten an ihre neuen Stimmen gewöhnt. Infolge der großen Wärmeleitfähigkeit des Heliums kühlte z. B. das Essen schnell ab. Arbeiten mit einem LötKolben wurden zu einem schwierigen Problem, ebenso drang das Gas in alle Apparaturen ein.

»Précontinent III« besaß von allen bis dahin gebauten Unterwasserstationen die größte Unabhängigkeit von der Oberfläche, war es doch bezüglich der Versorgung mit Atemgas autonom. Nur die notwendige Elektroenergie wurde von einer Landstation aus über Kabel zugeführt. Bei einem starken Sturm bestand die Gefahr, daß diese lebensnotwendige Verbindung unterbrochen wurde. Eine direkte Verbindung mit Unterstützung durch autonome Taucher war wegen der langen Dekompressionszeiten nicht mehr möglich, so daß man benötigte Gegenstände mit einer Art Fahrstuhl und auch mit der »Tauchenden Untertasse« zur Station befördern mußte.

1966 erfolgten mit »Ictiandr 66« und »Sadko 1« die ersten sowjetischen Langzeitexperimente im Schwarzen Meer. Bis heute wurden diese Unternehmungen systematisch fortgeführt und weiterentwickelt. 1969 wurde die dreietagige vertikale Konstruktion von »Sadko 3« erprobt. Allen Stationen dieses Typs war gemeinsam, daß sie ihre Lage in der Vertikalen ändern konnten. Während eines starken Sturms z. B., bei dem Wellenhöhen von 5 m an der Meeresoberfläche herrschten, wurde die ursprünglich in 25,5 m eingesetzte Station »Sadko 3« mit Hilfe ihrer Wasserballasteinrichtung bis auf 39 m Tiefe abgesenkt.



*Das sowjetische Unterwasserlaboratorium »Sadko 3«*

Während der Einsätze wurden auch die unterschiedlichen Möglichkeiten des Austauschs der Besatzungen erprobt und verbessert. Während bei »Sadko 2« die zweiköpfige Besatzung im hermetisch abgeschlossenen Unterwasserlabor dekomprimiert wurde, das hierzu an die Wasseroberfläche gebracht werden mußte, erfolgte bei den späteren Versuchen mit »Sadko 3« der Austausch der 3 Mann starken Besatzung über eine transportable Druckkammer. Auch bei stärkerem Seegang mit Wellenhöhen von 2 m war eine Arbeit mit diesen Kammern noch möglich. Im Verlauf der Arbeiten von »Sadko 3« blieben die Besatzungen bis zu 14 Tagen unter Wasser. Neben medizinisch-physiologischen Untersuchungen standen besonders hydrophysikalische und bioakustische Arbeiten zur Erforschung der von Fischen ausgesandten Geräusche auf dem Programm der Aquanauten.

Besonderes Interesse verdienen die Versuche mit der Unter-

wasserstation »Tschernomor«, mit der erstmalig ein ausschließlich ozeanologisches Programm ausgeführt wurde. Diese Station hat die Form eines waagerechten Zylinders, in dem sich die Arbeits- und Aufenthaltsräume befinden. Ihre Wasserverdrängung beträgt in getauchtem Zustand rund 73 t, sie ist 12,5 m lang und 6 m hoch. Ein Wasserballastsystem ermöglicht ein selbsttätiges Auf- und Abtauchen. Inzwischen wurde die Station vergrößert und zusätzlich mit hydraulischen Stützen versehen. Eingedenk der Erfahrungen anderer Unterwasserhäuser, bei denen die Energie- und Luftversorgung immer das am meisten gefährdete Glied im Versorgungssystem war, ist die Station für einen mehrtägigen von der Oberfläche unabhängigen Betrieb ausgelegt. Sie verfügt über außerhalb des eigentlichen Druckkörpers angebrachte Akkumulatoren und Preßluftvorräte. Normalerweise erfolgt jedoch die Energie- und Atemgaszufuhr über einen Ponton von der Wasseroberfläche aus. Der von der fünfköpfigen Besatzung

*Mit der sowjetischen Station »Tschernomor 2« wurde ein umfangreiches meereskundliches Untersuchungsprogramm abgewickelt.*



nutzbare Innenraum von 2 m Höhe ist in eine Taucherzelle (mit Ausstiegsluken), eine Wohn- und Arbeitszelle und eine Sanitärzelle geteilt. Eine transportable Druckkammer dient dem Austausch der Besatzung.

Der erste Einsatz erfolgte im Sommer 1968 in der Blauen Bucht vor der kaukasischen Schwarzmeerküste in 12,5 m Tiefe.

Im Verlaufe eines Monats untersuchten insgesamt 28 Aquanauten in 5 Arbeitsgruppen die verschiedenen Möglichkeiten für meereskundliche Arbeiten und führten methodische Untersuchungen aus. Während des zweiten Einsatzes 1969 in 12 und 24 m Tiefe standen komplexe ozeanologische Forschungen auf dem Programm. Geologen untersuchten die Sedimentumlagerungen und brachten unter Wasser mit einem Druckluftbohrer eine Bohrung von 11,2 m Tiefe nieder. Bei den biologischen Arbeiten ging es vor allem um ökologische Fragen und um Verhaltensforschungen an Fischen. Für die physikalischen Untersuchungen, die besonders dem Unterwasserlichtfeld und kleinräumigen Strömungsvorgängen galten, wurde unweit von »Tschernomor« ein Unterwasserversuchsfeld mit zahlreichen Meßgeräten und einem 28 m hohen Mast als Geräteträger eingerichtet.

In der Nähe von »Tschernomor« befand sich mit dem aufblasbaren Laboratorium »Sprut« ein weiterer Stützpunkt für jeweils 2 Aquanauten. »Sprut« (Krake) ist ein am Meeresgrund verankertes Zelt von tropfenähnlicher Gestalt mit 1,8 m Höhe und einem Rauminhalt von 6 m<sup>3</sup>. Der nach unten verschlossene Aufenthaltsraum wird mit Atemgas gefüllt, wodurch sich die Hülle stabilisiert. Die Luftzufuhr ist über einen Schlauch von der Wasseroberfläche oder auch über Flaschenbatterien möglich. Diese Art von Laboratorium ist verhältnismäßig einfach in der Herstellung (der Prototyp wurde von 3 Amateurtauchern entwickelt und auch selbst gebaut) und läßt sich innerhalb von 80 Minuten aufstellen.

Die weiteren Arbeiten mit der Unterwasserstation »Tschernomor« bestätigten die Richtigkeit der gewählten Konzeption. Bis 1971 kamen in dieser Station 15 Besatzungen mit insgesamt 60 Wissenschaftlern zum Einsatz. Die Station kann als Prototyp einer Serie von Unterwasserlabors dienen, die auch in größeren Tiefen verwendbar sind. Nachdem bis 1972 in dieser Station 18 Besatzungen mit insgesamt 102 Tau-



*»Sprut« – ein aufblasbares Unterwasserhaus*

chern und Wissenschaftlern unterschiedlicher Disziplinen zum Einsatz kamen, wurde das Unterwasserlaboratorium in den Folgejahren in die RGW-Zusammenarbeit einbezogen und beispielsweise auch vor der bulgarischen Küste eingesetzt.

Bis Anfang der sechziger Jahre nahm die Zahl der Versuche mit Unterwasserstationen weltweit stark zu. Insgesamt sind etwa 50 Stationen bekannt geworden. Viele von ihnen erfüllten jedoch nicht die in sie gestellten Erwartungen oder konnten wegen finanzieller Schwierigkeiten nicht weiter eingesetzt werden.

Es ist in diesem Rahmen nicht möglich, alle bedeutenden Beispiele der bisherigen Entwicklung zu behandeln, so daß hier noch kurz auf einige wichtige Ergebnisse eingegangen werden soll. Während des amerikanischen »Tektite I«-Programms hielten sich 4 Aquanauten für 59 Tage in 12,7 m Tiefe auf, womit der Beweis erbracht wurde, daß sich der Mensch auch sehr lange ohne Schädigung seines Organismus unter Wasser aufhalten kann. Dieses Unternehmen, das etwa 2,5 Mill.

Dollar kostete, wurde von der General Electrics unter Mitwirkung der Kriegsmarine und der Weltraumbehörde organisiert. Während die Weltraumbehörde die ozeanische Umwelt zur Simulation langzeitlicher Raumflüge benutzen wollte, ging es den Marinendienststellen um die Übertragung der gewonnenen physiologischen und psychologischen Erkenntnisse auf Besatzungen von Atom-Unterseebooten.

Die 1969 in der Nordsee erstmals erprobte Station »Helgoland«, die mit einem Kostenaufwand von 1 Mill. Mark gebaut wurde, bewies, daß Unterwasserlabors für meereskundliche Aufgaben auch unter sehr ungünstigen Umweltbedingungen bei niedriger Wassertemperatur und geringer Sichtweite, starker Strömung und großer Sturmhäufigkeit eingesetzt werden können. Das Versorgungsproblem der Station wurde mit einer dreifach verankerten Spezialboje gelöst, in der sich ein automatisch arbeitender Dieselgenerator, Kompressoren und Luftflaschen befanden. Nach dem Ersteinsatz waren weitgehende Umbauten erforderlich, für die nochmals etwa 1 Mill. Mark benötigt wurden. Seit 1971 wurde die Station wiederholt in der Ostsee und in den USA eingesetzt.

Mit der einer amerikanischen Firmengruppe gehörenden Station »Aegir« wurde im Juni 1970 vor Hawaii ein Unterwasserlabor auf 157 m abgesenkt. 6 Taucher hielten sich 5 Tage in dieser Rekordtiefe auf. Die Umweltbedingungen waren im Versuchsgebiet dabei allerdings denkbar günstig.

Bei einer abschließenden Betrachtung der Unterwasserstationen muß festgestellt werden, daß die technische und methodische Entwicklung noch sehr im Fluß ist. Der Einsatzbereich erstreckt sich bis zu den gegenwärtig von ausgebildeten Tauchern routinemäßig aufgesuchten Niveaus. Allerdings steigt der erforderliche Aufwand mit zunehmender Tiefe außerordentlich stark an. Aus diesen Gründen und auch wegen der leichter zu lösenden physiologischen Probleme – man kann herkömmliches Atemgas benutzen – erfolgten rund 80% aller Versuche in Tiefen bis zu 30 m.

Die bisherigen Experimente haben gezeigt, daß grundsätzlich ein längerer Aufenthalt des Menschen unter Wasser

*Ein Unterwasserlaboratorium wird von einem Mutterschiff aus mit Energie und Atemgas versorgt. Eine Tauchkammer dient zur Verbindung mit der Wasseroberfläche.*



möglich und für bestimmte Arbeiten sogar notwendig ist. Nach einer englischen Berechnung kann man Unterwasserarbeiten schon ökonomisch vorteilhaft ausführen, wenn ein Unterwasserhaus in 30 m Tiefe verwendet wird und der erforderliche Arbeitsumfang insgesamt 60 Stunden pro Arbeitskraft erreicht. Nach einer amerikanischen Abschätzung ist die Effektivität von Aquanauten, die sich beständig in 60 m Tiefe befinden, etwa 30mal höher als die von frei absteigenden Schwimmtauchern.

Der Betrieb von Unterwasserstationen bringt jedoch auch eine Reihe von Problemen mit sich. Die technischen Anforderungen sind sehr hoch und stehen teilweise im Widerspruch zueinander. Von Wichtigkeit sind vor allem die Autonomie der Station bezüglich ihrer Versorgung und ein verringerter Bedienungsaufwand. Die Erfüllung aller Wünsche würde einen unvertretbar hohen personellen und technischen Aufwand erfordern. Für größere Stationen liegen die Baukosten ohnehin schon in der Größenordnung von Millionen, ohne daß alle Probleme einigermaßen zufriedenstellend gelöst wären. Auch die Betriebskosten und der Aufwand für die technische Weiterentwicklung bestehender Einrichtungen sind nicht gerade niedrig und durchaus mit den Betriebskosten eines kleineren Forschungsschiffes vergleichbar.

Schließlich dürfen neben den technischen und ökonomischen Problemen auch psychologische Fragen nicht außer acht gelassen werden. Ebenso wie ihre »Kollegen« im Weltraum befinden sich die Aquanauten in einer abgeschlossenen Umgebung, die durch eine Verarmung an äußeren Reizen gekennzeichnet ist. Ohne technische Hilfsmittel wäre ein Überleben nicht möglich. Hinzu kommt eine starke körperliche Belastung bei den Arbeiten unter Wasser.

Für die Meeresforschung eröffnete der Einsatz von Unterwasserstationen neue Möglichkeiten. Der Aufgabenbereich ist prinzipiell derselbe wie beim Einsatz autonomer Taucher. Die wesentlich längeren Aufenthalte unter Wasser gestatten jedoch gründliche und zeitaufwendige Untersuchungen. Damit ist die Einrichtung permanenter Versuchsfelder unter Wasser mit fest installierten Meßeinrichtungen möglich, wie es z. B. die Erfahrungen sowjetischer Ozeanologen mit »Tschernomor« zeigten. Aquanauten können fortlaufend die Lebensformen in einem bestimmten Gebiet beobachten, wobei

auch größere Flächen als eine Art von Unterwassergehege abgeteilt werden können. Das Fernziel ist ein permanent besetztes Unterwasserobservatorium mit einer Reihe von Außenstellen, Meßfeldern und möglicherweise auch Basen für Unterwasserfahrzeuge.

Auch auf dem Gebiet der Meerestechnik deuten sich Einsatzmöglichkeiten für Unterwasserlaboratorien an. Sie könnten hier z. B. wertvolle Hilfe bei der Entwicklung und Erprobung von Meß- und Arbeitsgeräten liefern oder bei Langzeituntersuchungen zu Korrosionsproblemen eingesetzt werden. Allerdings sind gegenwärtig die Meinungen über den Nutzen von Unterwasserstationen für technische Aufgaben im Gegensatz zu der vorwiegend positiven Einschätzung hinsichtlich ihrer Verwendung in der Meereskunde noch geteilt. Viele technische Wartungs- und Reparaturarbeiten an untermeerischen Anlagen lassen sich in verhältnismäßig kurzer Zeit erledigen. Der Einsatz von Unterwasserstationen für solche Aufgaben wäre zu aufwendig, zumal sie ortsgebunden sind, während sich Förderanlagen und andere Einrichtungen am Meeresgrund häufig über größere Gebiete verteilen. Der Einsatz von Schiffen mit Druckkammern, in denen die Taucher nach vollbrachter Arbeit wieder zur Oberfläche emporsteigen, ist ökonomischer. Für andere Aufgaben wiederum werden Unterwasserfahrzeuge mit Einrichtungen zum Taucheraufstieg für billiger und effektiver angesehen. Aber auch hier ist noch nicht das letzte Wort gesprochen.

---

# Vorstoß in die größten Tiefen

---

Ungeachtet aller Fortschritte beim Einsatz von Tauchern für technische und wissenschaftliche Aufgaben unter Wasser konnte auf diese Weise doch nur ein kleiner Bereich der Wasserhülle unseres Planeten einer direkten Beobachtung zugänglich gemacht werden. Wie wir eingangs sahen, hat der Schelf, der an die Kontinente anschließende Teil des Meeresgrundes mit einer Tiefe bis zu 200 m, eine Ausdehnung von 27,4 Mill. km<sup>2</sup>. Das sind aber nur 7,6% des Weltmeeres. 77% des Weltmeeres sind dagegen tiefer als 3000 m und über die Hälfte des gesamten Ozeans weist sogar mehr als 4000 m auf. Ein Einsatz von Tauchern in diesen Wassertiefen dürfte auch in absehbarer Zukunft unmöglich sein. Schon seit langem gab es aber Bestrebungen, mittels technischer Vorrichtungen Menschen in größere Tiefen zu bringen. In den letzten 20 Jahren sind beim Vordringen in diese Bereiche des Weltmeeres eine Reihe von größeren Fortschritten erzielt worden.

Bei den ersten Versuchen wurden Beobachter in druckfesten Behältern an Stahlseilen in die Tiefe gelassen. Sie atmeten aus Vorratsflaschen Luft unter normalem atmosphärischen Druck, mit geeigneten chemischen Mitteln wurde die ausgeatmete Luft von Kohlendioxid und Feuchtigkeit befreit, während der Stahlpanzer des Tauchgefäßes die Taucher vor dem Druck der umgebenden Wassersäule schützte.

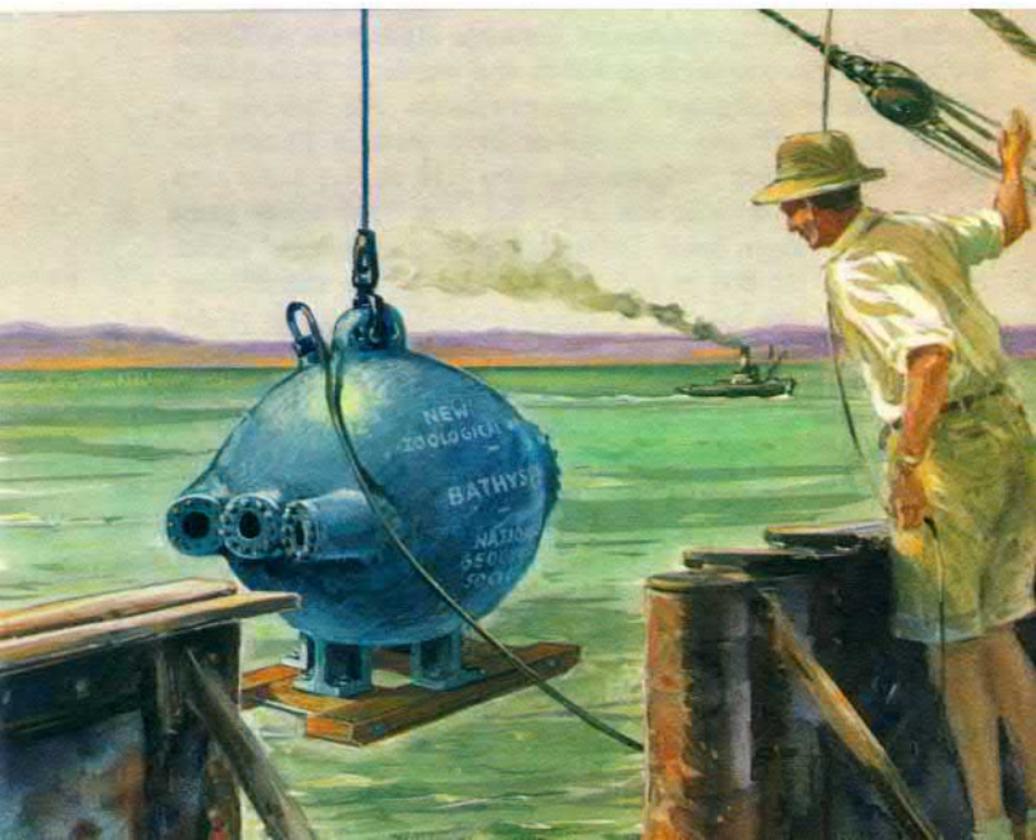
Bereits 1914 begann der Italiener Galeazzi mit der Entwicklung seines Taucherturmes, eines aus der Taucherglocke abgeleiteten allseitig geschlossenen zylindrischen Körpers. Er gelangte mit ihm 1930 bis in eine Tiefe von 210 m. Dieser leicht zu bedienende Turm wurde nach dem zweiten Weltkrieg auch von seinem Sohn in Zusammenarbeit mit einem italienischen Fischereiinstitut für wissenschaftliche Beob-

achtungen im Mittelmeer eingesetzt, wobei 1950 650 m Tiefe erreicht wurden.

Der 1924 von dem deutschen Ingenieur Gall konstruierte Panzertaucher muß in diesem Zusammenhang ebenfalls erwähnt werden. Der Tauchanzug bestand aus einzelnen Stahlringen, die durch wasserdichte Gelenke miteinander verbunden waren. Die Luftversorgung erfolgte in einem geschlossenen Kreislauf mit Regeneration des Sauerstoffs. Das 400 kg schwere Gerät war mit zangenartigen Greifern versehen und wurde noch in Wassertiefen von über 200 m vorwiegend bei Bergungsarbeiten eingesetzt. Bei Gefahr konnte der an einer Trosse ins Meer versenkte Taucher durch Lenzen eines im Anzug eingebauten Wassertanks schnell aufsteigen.

Am bekanntesten wurden die Abstiege, die der amerikanische Zoologe Beebe seit 1930 gemeinsam mit dem Ingenieur Barton in der Bathysphäre, der »Tiefenkugel«, nahe der Bermudas unternahm. Diese Tauchkugel hatte einen Innen-

*Die Bathysphäre vor einem Abstieg*

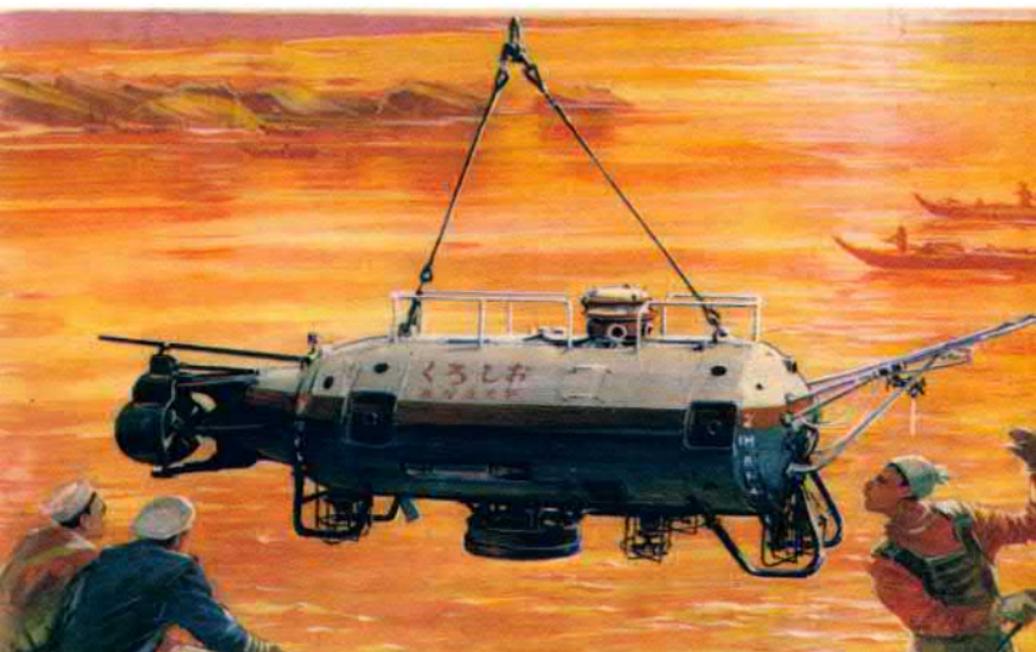


durchmesser von 1,37 m und eine Wandstärke von 32 bis 35 mm. Außer durch die Haltetrosse war die Kugel über eine Telefonleitung und ein Stromkabel mit dem Prahm verbunden, von dem aus sie mit einer Dampfwinde ins Meer gelassen wurde. Scheinwerfer sorgten dafür, daß in den lichtlosen Tiefen noch Beobachtungen aus dem Bullauge möglich waren. Beim ersten Abstieg kamen die beiden Entdecker bis auf 240 m, bis dann im Juni 1934 der längere Zeit nicht über-troffene Rekordabstieg in 923 m Tiefe gelang.

1948 glückte Barton mit einer verbesserten Tauchkugel vor der kalifornischen Küste ein Abstieg bis in 1372 m Tiefe. Stets traten bei diesen Abstiegen aber auch die Nachteile seiner Methodik zutage. Da einerseits das Trägerschiff von den Wellen gehoben und gesenkt wurde und andererseits die Kugel infolge der Elastizität des Stahlseils mehr oder weniger starke Bewegungen ausführte, bestand immer die Gefahr, daß sich die Schwingungen gegenseitig aufschaukelten und das Seil riß.

Trotz dieser Nachteile finden Tauchkugeln auch gegenwärtig noch Anwendung, da sie mit einem verhältnismäßig geringen Aufwand Beobachtungen in mehreren hundert Metern Tiefe ermöglichen. Der 1944 in der Sowjetunion ursprünglich für Bergungszwecke gedachte Hydrostat »GKS-6« hatte eine Einsatztiefe bis zu 400 m und wurde 1953 für fische-reibiologische Aufgaben weiterentwickelt. Als »Sewer 1« wurde dann 1960 ein verbesserter Hydrostat in Dienst gestellt, der bei einem Durchmesser von 1,10 m eine Höhe von 3,8 m und ein Gewicht von 2,6 t hat. Ein Beobachter kann durch 5 Bullaugen seine Untersuchungen ausführen, wobei Einsatz-tiefen bis 600 m möglich sind. Auch bei stürmischer See gelangen mit »Sewer 1« erfolgreiche Tauchgänge in der Barentssee.

Eine andere Variante eines geschleppten antriebslosen Tauchgerätes stellt der 1963 ebenfalls in der Sowjetunion in Dienst gestellte Unterwassergleiter »Atlant 1« dar. Der 4,5 m lange Druckkörper, der bis 100 m Tiefe eingesetzt werden kann, besitzt tragflächenähnliche Tiefenruder und ein zuzätzliches Seitenruder. Bei einer Geschwindigkeit bis zu 6 Knoten kann das Gerät, das an einer 1 km langen Kabel-trosse von einem Trawler geschleppt wird, mit Hilfe dieser Ruder seine Lage verändern. Mit dem »Atlant 1« wurde vor



*Das japanische Unterwasserfahrzeug »Kuroshio II«*

allein das Verhalten von Fischschwärmen gegenüber Schleppnetzen erforscht. Dabei erwiesen sich der unkomplizierte Aufbau des Tauchgerätes und der bequeme Aufenthalt im Druckkörper als besonders vorteilhaft.

Ein Unterwasserfahrzeug, das in seiner Konzeption zwischen den mehr oder weniger unbeweglichen Tauchkugeln und den freibeweglichen Forschungs-Unterseebooten steht, stellt das seit 1960 ebenfalls für fischereiliche Untersuchungen in Japan eingesetzte Tauchgerät »Kuroshio II« dar. Es handelt sich hierbei um ein quasi selbständiges Unterwasserfahrzeug mit 200 m Tauchtiefe, das eine Geschwindigkeit bis zu 2 Knoten erreichen kann. Es ist mit verschiedenen Geräten zur Messung ozeanologischer Faktoren wie Wassertemperatur oder Strömung sowie mit Scheinwerfern und insgesamt 16 Bullaugen ausgerüstet. Über ein 600 m langes Kabel wird es von einem Mutterschiff aus mit Elektroenergie versorgt.

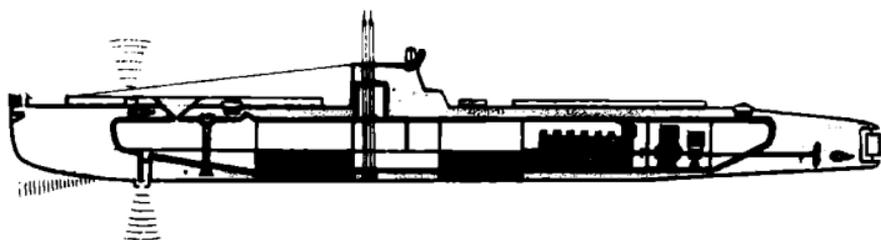
Um der geringen Beweglichkeit dieser Tauchgeräte abzuhelfen, fehlte es nicht an Bemühungen, andere Möglichkeiten

zu schaffen. Als eine Lösung boten sich die bis dahin ausschließlich für militärische Zwecke eingesetzten Unterseeboote an. Bereits 1856 soll Bauer, der Erbauer eines der ersten U-Boote, versucht haben, den Meeresboden durch ein Bullauge zu photographieren. Ob ihm das gelang, ist heute allerdings umstritten. 1902 schlug Anschütz-Kaempfe, der Erfinder des Kreiselkompasses, vor, das gerade bei der Kriegsmarine eingeführte U-Boot in den Dienst der Polarforschung zu stellen. 1931 schließlich versuchte der Amerikaner Wilkins mit einem ausgedienten Marine-U-Boot unter dem Eis bis zum Nordpol vorzustoßen. An dieser Expedition nahmen auch Ozeanologen teil. Das Fahrzeug war mit einem Eisbohrer und speziellen Geräten zur Entnahme von Wasserproben ausgerüstet. Wegen einer Beschädigung des Tiefenruders scheiterte jedoch das Vorhaben.

1958 wurde in der Sowjetunion mit der »Sewerjanka« (der »Nordländerin«) das erste schwimmende Unterwasserlabor in Dienst gestellt. Die »Sewerjanka« ist wie alle traditionellen Unterseeboote ein Zweihüllenboot. Eine äußere dünne Hülle bestimmt die Form des Bootes, während ein innerer Druckkörper die Aufenthaltsräume, Antriebsmaschinen und anderen Einrichtungen vor der Einwirkung des Wasserdrucks schützt. Zwischen innerer und äußerer Hülle befinden sich die Treibstoffvorräte und Wasserballasttanks. Die technische und wissenschaftliche Besatzung beträgt 60 Mann.

Für ihre speziellen Aufgaben wurde die »Sewerjanka« mit Beobachtungsfenstern versehen, die einen besonders großen Gesichtswinkel haben, ferner mit Scheinwerfern und Vor-

*Schnitt durch das sowjetische Forschungs-U-Boot »Sewerjanka«. Im Bugteil befinden sich mehrere Horizontal- und Vertikallote sowie eine Vorrichtung zur Entnahme von Grundproben.*



richtungen für Film- und Fotoaufnahmen. Mehrere Horizontal- und Vertikalecholote, eine Fernsehkamera und Meßgeräte für Temperatur und Salzgehalt ergänzen das Instrumentarium. Eine Einrichtung am Boden des Fahrzeuges gestattet die Entnahme von Grundproben. Im Mittelpunkt der meereskundlichen Arbeiten standen Untersuchungen über die Lebensgewohnheiten und das Verhalten wichtiger Nutzfische, die Erforschung der Laichgebiete und fischereitechnische Fragen. Auf zahlreichen Expeditionen, die die »Sewerjanka« bis nach Island führten, konnten in den nördlichen Meeren wertvolle Erkenntnisse über den Lebenszyklus und das Verhalten von Hering und Kabeljau sowie von anderen Nutzfischen gesammelt werden.

Beim Einsatz der »Sewerjanka« und anderer herkömmlicher Unterseeboote für wissenschaftliche Aufgaben zeigten sich aber auch einige Nachteile. Die aus der zunehmenden Verwendung von Unterwasserfahrzeugen für meerestechnische Aufgaben resultierenden Anforderungen lassen sich mit konventionellen U-Booten nur schlecht erfüllen. Für viele Aufgaben ist nicht nur ein schnelles Manövrieren in der gesamten durchtauchten Wasserschicht wünschenswert, sondern vor allem in unmittelbarer Bodennähe. Auch bei geringen Geschwindigkeiten sollen sich die Unterwasserfahrzeuge noch sehr gut manövrieren lassen. Außerdem sind für viele künftige Aufgaben die derzeit möglichen Tauchtiefen von U-Booten, die mit etwa 500 m angegeben werden, nicht ausreichend. Von einer bestimmten Tiefe ab, die nach dem verwendeten Werkstoff und dem gewünschten Nutzlastanteil schwankt, reicht der hydrostatische Auftrieb des Druckkörpers nicht mehr aus, um sein Eigengewicht (das mit zunehmender Wassertiefe sehr schnell ansteigt), das Gewicht der zum Betrieb des Fahrzeuges unumgänglichen Ausrüstung und der Nutzlast auszugleichen.

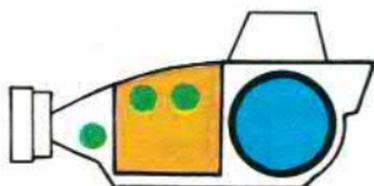
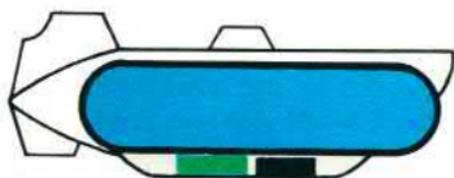
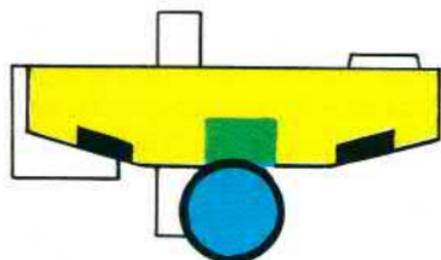
Ein Unterwasserfahrzeug für die Lösung wissenschaftlicher und technischer Aufgaben soll vor allem auch in der Lage sein, antriebslos innerhalb der Wassersäule und dicht über dem Grund schwebend zu verharren. Die Auf- und Abstiegs-geschwindigkeit muß sich bis hinunter zu sehr kleinen Werten mühelos regeln lassen. Im Notfall soll ein Aufstieg aus größeren Tiefen auch ohne technische Hilfsmittel möglich sein. Schließlich muß das Fahrzeug Beobachtungsmöglichkeiten,

Lichtquellen, fernbediente Einrichtungen zur Probenentnahme und Meßgeräte besitzen.

Betrachtet man den gegenwärtigen Stand, so ist festzustellen, daß bis Mitte der siebziger Jahre in verschiedenen Ländern etwa 100 verschiedene Unterwasserfahrzeuge für wissenschaftliche und technische Aufgaben gebaut und in Dienst gestellt wurden und sich weitere Vorhaben in der Entwicklung befinden. Von den bisher bekannten Fahrzeugen sind mehr als zwei Drittel für Tauchtiefen bis zu 1000 m vorgesehen, nur 14 für noch größere Wassertiefen.

Auf Grund der unterschiedlichsten Konstruktionen ist eine Klassifizierung nur schwer möglich. Zum Erreichen einer größeren Tauchtiefe und zur Erhöhung des Nutzlastanteiles finden bei den bisherigen Entwicklungen vom Prinzip her jedoch im wesentlichen drei Möglichkeiten Verwendung.

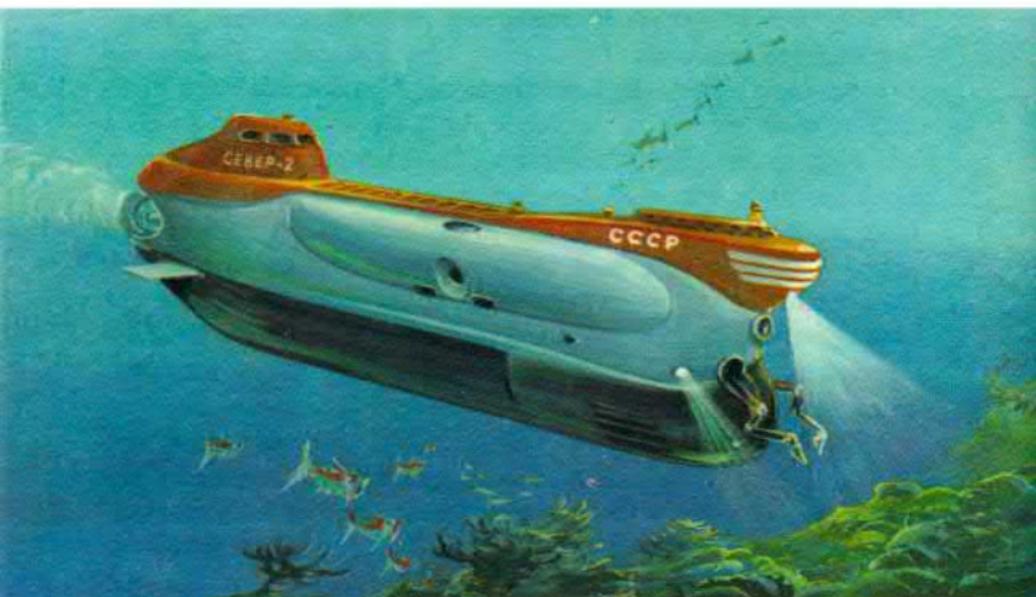
Bei der ersten wird außerhalb der druckfesten meist kugel-



*Möglichkeiten in der Anordnung der Auftriebs- und Ballasteinrichtungen für Unterwasserfahrzeuge (Druckkörper: blau)*

förmig ausgebildeten Kabine ein Schwimmkörper angeordnet, der mit einer Flüssigkeit von geringerer Dichte als Wasser gefüllt ist (z. B. Leichtbenzin). Ähnlich wie beim Freiballon wird so ein zusätzlicher Auftrieb erzielt. Es ist dies das Prinzip des »Bathyskaphen« (des Tiefenschiffs), von dem noch die Rede sein wird. Der Schwimmer wird unten mit einer Öffnung versehen, so daß sich in jeder Tiefe der Druck zwischen Füllflüssigkeit und umgebendem Wasser ausgleicht. Die Wandung des Schwimmers kann deshalb sehr dünn gehalten werden. Da Leichtbenzin mit anwachsender Tiefe etwa doppelt so schnell zusammengedrückt wird wie Seewasser, verringert sich das Volumen der Auftriebsflüssigkeit und damit der Auftrieb. Um ein zu schnelles Absinken zu verhindern und um eine gewünschte Gleichgewichtslage herzustellen, muß beim Tauchen Ballast abgegeben werden. Hierzu verwendet man kleine Stahlkugeln, die in Schächten im Schwimmkörper elektromagnetisch festgehalten werden und ausfließen, wenn der Strom abgeschaltet wird. Beim Aufstieg muß umgekehrt Auftriebsflüssigkeit abgelassen werden. Batterien und Antriebsmotoren sind außerhalb der Druckkugel in mit Öl gefüllten Behältern am Schwimmkörper angebracht. Je nach Angabe und Gewicht werden 120 bis 200 m<sup>3</sup> Leichtbenzin benötigt, woraus ein im Verhältnis zum Druckkörper sehr großes Volumen des Schwimmkörpers resultiert. Daraus ergibt sich eine für die Horizontalbewegung nicht sonderlich günstige Form, so daß horizontale Reichweite und Geschwindigkeit des Tiefenschiffes gering sind. Dagegen ist mit diesem Prinzip je nach Festigkeit der Druckkugel jede beliebige Tiefe erreichbar. Bekannte Beispiele sind die Bathyskaphen »Trieste« und »Archimède«.

Bei der zweiten Art von Unterwasserfahrzeugen wird der Auftrieb durch den Druckkörper aufgebracht. Da hierbei das Gewicht des Druckkörpers infolge der notwendigen Wandstärken mit der Tiefe anwächst, muß man ein großes Volumen des Druckkörpers vorsehen, um die Gewichtszunahme auszugleichen. Das Abtauchen und Aufsteigen geschieht, indem Ballasttanks geflutet bzw. mit Druckluft wieder leer geblasen werden können. Zusätzlich wird fester Ballast, z. B. Stahlschrot abgegeben. Wird als Material für den Druckkörper Stahl verwendet, so liegt die theoretische Tauchgrenze je nach dem Nutzlastanteil und in Abhängigkeit von der ver-



*Das sowjetische Unterwasserfahrzeug »Sewer 2«*

wendeten Stahlsorte zwischen 2000 und 7000 m. Beispiele für dieses Konstruktionsprinzip sind das 1964 in Dienst gestellte amerikanische Unterwasserfahrzeug »Aluminaut«, dessen Druckkörper aus einzelnen miteinander verbolzten Aluminiumteilen besteht, und die sowjetischen Fahrzeuge »Tinro 2« und »Sewer 2«. Mit der »Sewer 2« wurden bei der Erprobung im Schwarzen Meer 2185 m Tiefe erreicht. Das Fahrzeug wird vor allem für Aufgaben der Fischereiforschung eingesetzt.

Eine dritte Möglichkeit zur Erhöhung des nutzbaren Auftriebs besteht darin, daß der Hohlraum zwischen dem Druckkörper und einer äußeren Hülle aus Kunststoff teilweise mit einem Schaumstoff gefüllt wird, in dem sich winzig kleine gläserne Hohlkugeln mit einem Durchmesser von 20 bis 100  $\mu\text{m}$  befinden. Damit können auch schwer zugängliche Hohlräume gefüllt werden, so daß sich eine optimale Raumausnutzung ergibt. Batterien und Antriebsmotoren befinden sich in ölgefüllten Behältern ebenfalls in diesem Hohlraum. Die Schaumstofffüllung und auch die Ölbehälter stehen dabei unter dem Druck der umgebenden Wassersäule. Eine Auftriebsänderung kann dadurch erzielt werden, daß aus druck-

festen Tanks aus Leichtmetall Öl in »weiche« Tanks aus zusammendrückbaren Gummibeuteln gepumpt wird. Zu den Vertretern dieser Gattung gehört beispielsweise die 1965 in den USA eingesetzte 6,7 m lange und 13,5 t schwere »Alvin«, die für eine Tiefe bis zu 1800 m vorgesehen ist.

Der erste Bathyskaph wurde 1948 von dem Schweizer Gelehrten Auguste Piccard fertiggestellt, der in den dreißiger Jahren durch seine erfolgreichen Ballonaufstiege in die Stratosphäre bekannt geworden war. Bereits während seiner Ballonfahrten hatte Piccard den Gedanken gehabt, das Prinzip des Freiballons auch im Meer anzuwenden, konnte dieses Vorhaben aber erst nach dem zweiten Weltkrieg verwirklichen. Das erste Modell zeigte bei den unbemannten Probeversuchen noch viele Mängel, so daß erst 1953 mit dem inzwischen verbesserten Bathyskaphen Tauchversuche durch die französische Kriegsmarine erfolgten, an denen u. a. auch Cousteau beteiligt war. Im Februar 1954 erreichten die französischen Marineoffiziere Houot und Willm vor Dakar eine Tiefe von 4050 m. Parallel zu den französischen Versuchen ließ Piccard in Italien den Bathyskaphen »Trieste« bauen, mit dem er ebenfalls 1953 die ersten Tauchversuche unternahm. 1958 wurde das Fahrzeug von der amerikanischen Kriegsmarine gekauft und vor allem zu Forschungsaufgaben für ein elektronisches Laboratorium der Marine eingesetzt.

Im Januar 1960 erreichten Piccards Sohn Jacques und der amerikanische Marineoffizier Walsh mit der »Trieste« im Marianengraben eine Tiefe von 10916 m. Diesen Vorstoß beschreibt Piccard mit den Worten: »Der Boden erschien hell und klar, eine Wüste von hell-zimtfarbenem Schlick. Wir landeten auf einem hübschen flachen Boden aus festem Diatomeenschlamm. Gleichgültig gegen den Druck von fast 170000 t, der auf ihrer Metallkugel lastete, hielt sich die »Trieste« an den paar Pfund Schleppseil, die auf dem Grund ruhten, elegant im Gleichgewicht und ergriff damit im Namen der Wissenschaft und der Menschheit symbolisch Besitz von der tiefsten bis jetzt bekannten Stelle aller unserer Ozeane. . . «.

Mit dem 1961 von der französischen Kriegsmarine in Dienst gestellten Bathyskaphen »Archimède« wurden 1962 im Kurilengraben noch einmal mit 9500 m eine der tiefsten Stellen des Weltmeeres erreicht. Auch die »Trieste« machte erneut von sich reden, als sie mit Erfolg bei der Suche nach den

Trümmern des 1963 gesunkenen amerikanischen Atom-U-Bootes »Tresher« in 2600 m Tiefe eingesetzt wurde. Auch nach dem Untergang des Atom-U-Bootes »Scorpion« 1968 fiel ihr die Aufgabe zu, an der Suche nach Überresten mitzuwirken.

Da bei den Bathyskaphen dem Vorteil eines großen nutzbaren Tiefenbereichs der Nachteil einer geringen horizontalen Beweglichkeit gegenübersteht, vollzog sich die weitere Entwicklung mehr in Richtung auf kleinere Unterwasserfahrzeuge mit geringerer Tauchtiefe und dafür besserer Manövrierfähigkeit. Seit 1951 beschäftigte sich Cousteau mit Überlegungen zur Entwicklung eines kleinen, gut manövrierfähigen Unterwasserfahrzeuges begrenzter Tauchtiefe, das gemeinsam mit Tauchern eingesetzt werden konnte. Im französischen Unterwasserforschungszentrum wurden verschiedene Formen getestet, bis sich eine flache druckfeste Schale aus Stahl in Form eines Rotationsellipsoids als besonders

*Nach dem Vorbild der »Tauchenden Untertasse« wurden weitere Fahrzeuge gebaut.*

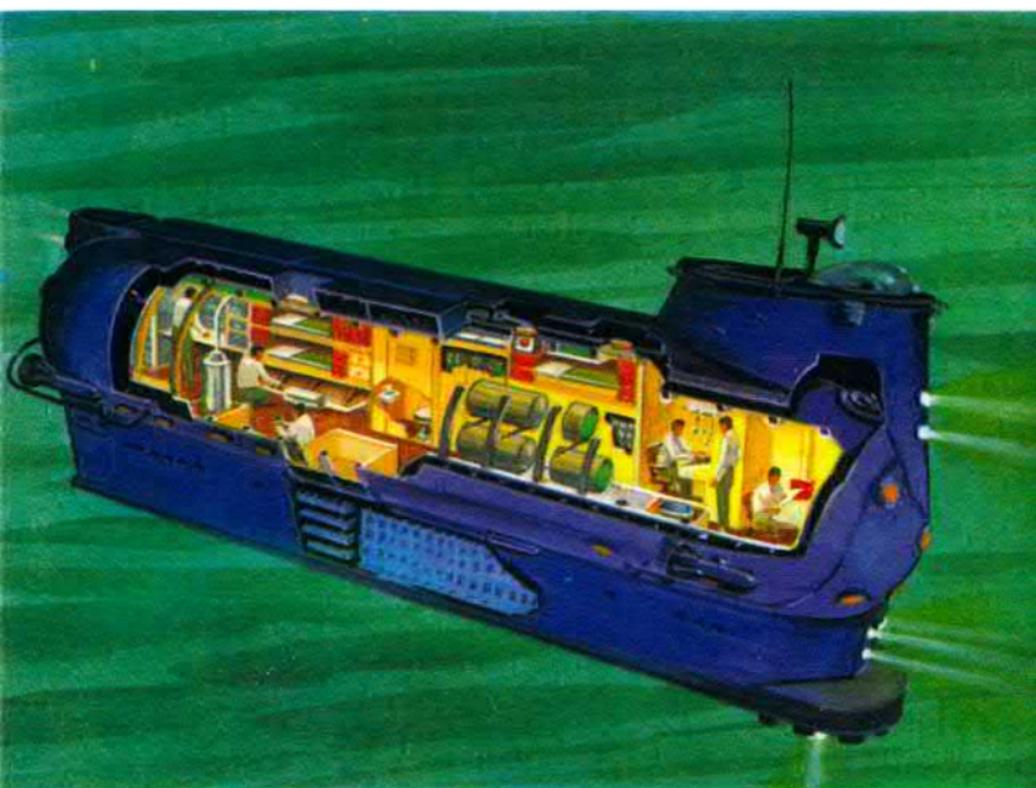


günstig herausstellte. Um den Druckkörper befinden sich unter einer ringförmigen Fiberglasverkleidung die Antriebsaggregate, Batterien und anderes Zubehör. 1958 wurde der erste Druckkörper erprobt.

Schon 1959 war eine zweite Tauchkugel fertiggestellt, die bald wegen ihrer Form als »Tauchende Untertasse« bezeichnet wurde. Das Fahrzeug hat einen Durchmesser von nur 2,85 m und ein Leergewicht von 3,5 t. Durch zwei seitlich angeordnete schwenkbare Düsen wird mit Hilfe eines batteriegespeisten Elektromotors Wasser gepumpt, wodurch das Fahrzeug eine Geschwindigkeit von etwa 2 Knoten erhält und sehr beweglich ist. Tauchen und Auftauchen werden mit Hilfe von abwerfbarem Metallballast ausgeführt. Durch Verlagerung von Quecksilberballast wird die Trimmlage des Fahrzeugs geändert, wodurch es spiralenförmig in die gewünschten Tiefen absteigen kann. Da die »Untertasse« nicht seetüchtig ist, wird sie von einem Mutterschiff zum Einsatzort gebracht und hier mit einem Kran zu Wasser gelassen.

Bei zahlreichen Abstiegen hat sich die »Tauchende Untertasse« bestens bewährt. Sie wurde beispielsweise bei Meeresgrundkartierungen und geologischen Untersuchungen eingesetzt. Nach ihrem Vorbild wurden weitere Tauchfahrzeuge mit Einsatz Tiefen von 500 bis 3000 m gebaut.

Eine der bemerkenswertesten Tauchfahrten mit bemannten Forschungsfahrzeugen unter Wasser stellt die Drift des Mesoscaphen »Ben Franklin« im Golfstrom dar. Jacques Piccard, der geistige Vater des Unternehmens, kam auf die Idee, ein Tauchboot zu entwickeln, das seine Antriebsenergie dem Meer direkt entnehmen kann, indem es sich von seinen Strömungen mitnehmen läßt. Die Voraussetzung dafür ist jedoch ein Bootskörper sehr großer Festigkeit. Er muß weniger kompressibel sein als das »Meerwasser«. Bei einem herkömmlichen Tauchboot nimmt das Volumen des Bootskörpers mit anwachsender Tiefe stärker ab als das Volumen des unter demselben Druck stehenden Meerwassers. Dadurch wird das Boot beim Absinken spezifisch schwerer und sinkt immer schneller ab, wenn nicht durch das Lenzen von Ballasttanks und durch den Antrieb dieser Sinktendenz entgegengewirkt wird. Bei der »Ben Franklin« besteht der zylindrische Rumpf von 16 m Länge und 3 m Durchmesser aus einem 35 mm starken Stahlrohr und wird durch Ringe versteift, so daß er bis zur



*Schnitt durch den Mesoscaphe »Ben Franklin«*

vorgesehenen Tauchtiefe von 600 m dem Wasserdruck nicht nachgibt. Die 25 t schwere Akkumulatorenatterie mit einer Kapazität von 750 kWh ist außerhalb des Druckkörpers in einem abwerfbaren Kiel untergebracht. Vier Wechselstrommotoren von je 25 PS, deren Schrauben um die Querachse schwenkbar sind, ermöglichen eine Höchstgeschwindigkeit von 5 Knoten. Im Innern des 130 t schweren Fahrzeugs befinden sich neben der Kommandozentrale ein Laboratorium und Unterkünfte für 6 Mann Besatzung.

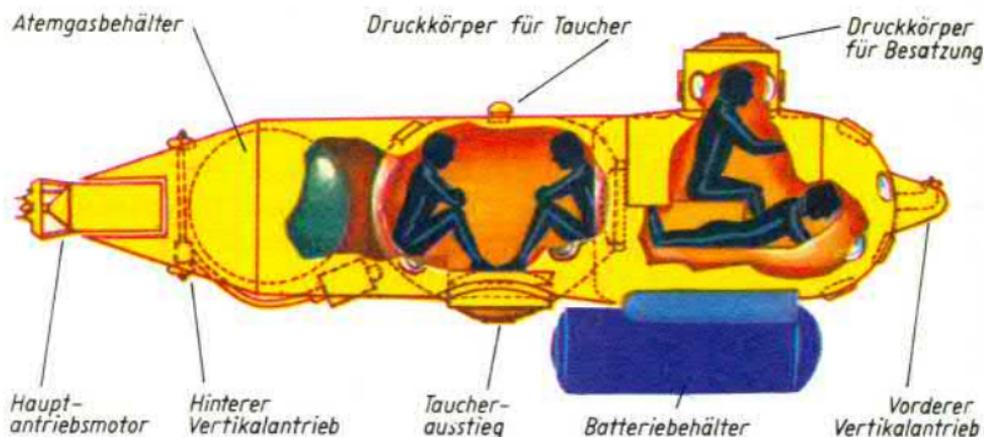
Während der 31 Tage dauernden Drift über 2700 km von Florida bis Neuschottland im Sommer 1969 wurden in den Tiefen zwischen 200 und 600 m, in denen sich das Fahrzeug befand, überraschend hohe Strömungsgeschwindigkeiten von 5 bis 6 Knoten gemessen. Auch die Wirkung interner Wellen, die an der Grenzfläche von Wassermassen unterschiedlicher

Dichte entstehen, auf das antriebslos treibende Fahrzeug war beträchtlich. Ein Hilfsfahrzeug beobachtete an der Wasseroberfläche fortlaufend die Bewegung des Mesoscaphen, wobei die Verbindung über Ultraschall-Telefonie aufrechterhalten wurde. Als problematisch erwiesen sich die niedrigen Temperaturen von nur 17°C im Innern des Tauchbootes. Auf Grund der abgeschätzten Wärmeentwicklung der an Bord befindlichen elektrischen Geräte und einer vermuteten höheren Umgebungswassertemperatur hatte man aus Gründen der Energieeinsparung auf eine elektrische Heizung verzichtet. Ähnlich wie bei vielen Unterwasserstationen störte auch hier die hohe Luftfeuchtigkeit erheblich.

Die Tauchfahrt war nicht nur für ozeanologische Aufgaben vorgesehen, sondern auch als psychologisches Langzeitexperiment gedacht. Da sich die »Ben Franklin« antriebslos und damit auch geräuschlos treiben lassen konnte, war sie eine ideale Plattform für verschiedene akustische Forschungsaufgaben. Außerdem bot sie die Möglichkeit, marine Lebewesen ungestört in ihrem natürlichen Lebensraum zu beobachten, da das Fahrzeug während der Drift im Vergleich zu den umgebenden Wassermassen still steht. Das Fahrzeug war daher vorwiegend mit akustischen Meßgeräten ausgerüstet. Der Mesoscaph soll künftig in abgewandelten Ausführungen auch für geologische Erkundungen sowie als Bergungs- und Arbeitsfahrzeug eingesetzt werden.

Mit Erfolg wurden 1973 und 1974 drei amerikanische und französische Tauchfahrzeuge zur Erkundung eines etwa 80 km<sup>2</sup> großen Abschnitts des Mittelatlantischen Rückens in Wassertiefen von 2600–2800 m eingesetzt. Bei insgesamt 51 Tauchabstiegen wurden über 2 Tonnen Gesteinsproben an 167 Positionen und über 23000 Meeresbodenfotos gewonnen. Erstmals wurde ein meeresgeologisch sehr interessantes Gebiet der direkten Beobachtung zugänglich. Dem Einsatz waren eingehende Vermessungen des Arbeitsgebietes durch 20 Forschungsschiffe vorangegangen.

Von eigens dafür ausgerüsteten Tauchfahrzeugen erfolgten inzwischen auch wiederholt Ausstiege von Tauchern in größeren Tiefen. Das für eine amerikanische Firma gebaute Unterwasserfahrzeug »Deep Diver« ermöglicht z. B. den Ausstieg von zwei Tauchern aus einem kugelförmigen Druckkörper, während sich die zweiköpfige Besatzung in einer zweiten



*Spezielle Fahrzeuge ermöglichen den Ausstieg von Tauchern und können auch mit Unterwasserhäusern gekoppelt werden.*

Druckkugel aufhält. Inzwischen werden einige Unterwasserfahrzeuge mit Taucherausstiegen bereits in Kleinserien gefertigt und vor allem bei der Erdölförderung im Meer eingesetzt.

Eine Sonderform der Unterwasserfahrzeuge sind die sogenannten »nassen« Tauchboote. Sie haben keinen Druckkörper und können daher nur in den oberen Wasserschichten verwendet werden, die Tauchern noch ohne größere physiologische und technische Schwierigkeiten zugänglich sind. Dafür liegen ihre Herstellungs- und Betriebskosten wesentlich niedriger als die für Unterwasserfahrzeuge mit Druckkörpern. Sie können Taucher mit ihrer Ausrüstung rasch über gewisse Entfernungen transportieren und auch ihre Versorgung mit Atemgas und Energie übernehmen. Auch für Beobachtungen und Messungen in den oberen Wasserschichten sind sie ein ausgezeichnetes Hilfsmittel, wie es sich z. B. beim Einsatz des sowjetischen Tauchbootes »MAI-3« gemeinsam mit dem Unterwasserlabor »Tschernomor« gezeigt hat. Bedeutung kommt ihnen auch als Ausbildungsfahrzeug für die Besatzungen druckgeschützter Unterwasserfahrzeuge zu.

Betrachtet man die Entwicklung der Tauchfahrzeuge in den USA, so fällt auf, daß ein Großteil der Einsätze von Unterwasserfahrzeugen direkt oder indirekt auf militärische Anforderungen zurückgeht. Viele Fahrzeuge, wie z. B. die »Alvin« oder auch ihre Ende 1968 in Dienst gestellten Weiterentwick-

lungen »Sea Cliff« und »Turtle« sind Eigentum der Kriegsmarine. Dasselbe gilt für das erste Forschungs-Unterseeboot mit Atomantrieb, die Ende 1969 in Dienst gestellte 400 t große und 42,7 m lange »NR-1«, die 5 Mann Besatzung und 2 Wissenschaftler an Bord nehmen kann. Auch das Tieftauch-Rettungsfahrzeug DSRV, mit dem bei jedem Abstieg 24 Menschen aus havarierten U-Booten aus über 1000 m Tiefe geborgen werden können, wurde im Auftrag der Kriegsmarine gebaut. Die Marine ist auch der Hauptauftraggeber für die Mehrzahl der privaten Tauchfahrzeuge.

Bei den militärozeanographischen Aufgaben geht es beispielsweise um die für die Standortbestimmung von U-Booten wichtige Untersuchung der hydroakustischen Verhältnisse.

Erkundungsarbeiten im Hinblick auf den Bau von militärischen Objekten am Meeresgrund gehören ebenso hierher wie die Erprobung neuer Nachrichtenverbindungen unter Wasser oder der Test neuer Werkstoffe für eine spätere Verwendung im militärischen Sektor. Mehrfach wurden die Unterwasserfahrzeuge bei Suchaktionen eingesetzt.

Die Erfahrungen, die bis heute mit Unterwasserfahrzeugen verschiedenster Konstruktionen gesammelt wurden, belegen einmal, daß es möglich ist, diese Fahrzeuge für vielfältige wissenschaftliche und technische Aufgaben einzusetzen, zeigte aber auch, daß noch viele Probleme gelöst werden müssen, ehe man die Tauchfahrzeuge als universelle Hilfsmittel der Meereskunde ansehen kann.

Der mögliche Einsatzbereich umfaßt sowohl Arbeiten zur physikalischen Ozeanologie wie die Untersuchung von Tiefenströmungen, die Messung zahlreicher ozeanologischer Parameter und die Entnahme von Wasserproben als auch meeresgeologische Aufgaben wie eine eingehende Erfassung der Topographie des Meeresgrundes, die Aufnahme des Mikroreliefs, Vermessungs- und Kartierungsarbeiten oder die Erkundung von Bodenschätzen am Meeresgrund. Auf biologischem und speziell fischereilichem Gebiet ergeben sich ebenfalls zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, angefangen von Untersuchungen des Verhaltens der Fische wie anderer Meerestiere bis hin zur Entwicklung von Fangmethoden und zu Beobachtungen an Fanggeräten. Ein umfangreiches Aufgabengebiet kann in der Meerestechnik mit Hilfe bemannter Unterwasserfahrzeuge bearbeitet werden. Hierzu gehören

die Standorterkundungen für untermeerische Objekte, die Mithilfe bei der Verlegung von Kabeln und Rohrleitungen sowie beim Aufbau von Fundamenten und Ausrüstungen am Meeresgrund, die Kontrolle und Wartung untermeerischer Einrichtungen, Geräteerprobungen und Untersuchungen zu Korrosionsproblemen. Eine direkte Rohstoffgewinnung erscheint in Ausnahmefällen durch den Einsatz von Unterwasserfahrzeugen ebenfalls als möglich.

Im Laufe der Weiterentwicklung wurden die Unterwasserfahrzeuge einer neuen Generation jeweils nur noch für bestimmte Spezialaufgaben konstruiert, da sich das früher verfochtene Konzept eines Allzweckbootes auf Grund der mittlerweile gewonnenen Erfahrungen als unzweckmäßig erwies. Es zeigt sich auch, daß einem effektiven Einsatz von Unterwasserfahrzeugen Forschungsarbeiten von der Wasseroberfläche aus vorhergehen müssen. Speziell für meeres-technische Arbeiten am Meeresgrund wurden auch Überlegungen über bemannte Meeresboden-Fahrzeuge angestellt. Sie können sich im Gegensatz zu den vorstehend beschriebenen Unterwasserfahrzeugen nicht in der gesamten Wassersäule frei bewegen, sondern nur mit Hilfe spezieller Fahrwerke am Meeresgrund. Durch den ständigen mechanischen Kontakt zwischen Fahrzeug und Boden sind sie in der Lage, auch schwere Bauarbeiten und andere Verrichtungen am Meeresgrund auszuführen. Bisher sind derartige Fahrzeuge aber noch nicht aus dem Projektierungsstadium herausgekommen.

Zu den größten Nachteilen, die einer umfassenden Nutzung von Tauchbooten für wissenschaftlich-technische Zwecke noch entgegenstehen, gehören die hohen Bau- und Betriebskosten der bisher meist in Einzelfertigung gebauten Einheiten. So lagen beispielsweise die Kosten für die »Deep Quest«, ein amerikanisches Unterwasserfahrzeug der zweiten Generation mit einer Einsatztiefe bis zu 2 500 m, bei mehr als 5 Mill. Dollar, während das atomgetriebene Marineforschungsunterwasserboot »NR-1« einschließlich der installierten ozeanographischen Geräte sogar knapp 100 Mill. Dollar kostete. Die Leihgebühren für ein Tauchboot betragen bereits Mitte der sechziger Jahre in den USA zwischen 300 Dollar je Tag für kleine Einmannboote geringer Einsatztiefe sowie 10 000 Dollar je Tag für Fahrzeuge vom Typ »Aluminaut«. Sie sind mittlerweile weiter gestiegen.

Ein Grund für die hohen Kosten ist darin zu sehen, daß fast alle Tauchfahrzeuge Mutterschiffe benötigen, die das Boot zum Einsatzort transportieren und dann wieder an Bord nehmen. Daraus resultieren weitere Schwierigkeiten, da die Seegangsverhältnisse häufig ein Eindocken erschweren. Bereits bei der Konstruktion hat man daher vielfach versucht, Mutterschiff und Tauchboot in ihrem Seegangsverhalten einander anzupassen. Eine technisch interessante Lösung sieht den Transport des Unterwasserfahrzeuges auf einem geschleppten Transportfahrzeug vor, das dann geflutet und unter die bewegte Wasseroberfläche abgesenkt wird. Hier lösen Taucher die Verbindung, und das Tauchboot trennt sich zur Erfüllung seiner Aufgaben von der Unterlage. Erste Versuche mit kleineren Unterwasserfahrzeugen bis zu 4,5 t Gewicht erfolgten im September 1970 vor Hawaii bei Seegang bis Stärke 5.

Um den Nutzlastanteil zu vergrößern, wird bei künftigen Tauchfahrzeugen eine Vergrößerung des Auftriebs ange-

*Das amerikanische Unterwasserfahrzeug »Deep Quest« an Bord seines Mutterschiffes*



strebt. Für andere Aufgaben wieder steht die Frage nach einer Erhöhung der Tauchtiefe im Vordergrund. Außer konstruktiven Maßnahmen bietet sich hier die Verwendung neuer Materialien an. Neben verschiedenen Stahlsorten und anderen metallischen Werkstoffen wie Aluminium oder Titan wurden auch glasfaserverstärkte Kunststoffe, keramische Materialien und organische Gläser in Betracht gezogen. Mehrere Forschungs-Unterseeboote mit Druckkugeln aus organischem Glas befinden sich bereits in der Erprobung, wobei die ausgezeichneten Sichtverhältnisse bestechen. Die Erprobung von Glas, von dem man sich als Werkstoff für Druckkörper viel versprochen hatte, ergab bisher noch keine befriedigenden Resultate, da bei den Versuchen die theoretisch erwarteten hohen Festigkeitswerte noch nicht erreicht werden konnten. Bessere Kenntnisse über die chemische Struktur der verwendeten Gläser und eine verbesserte Fertigungstechnologie für gläserne Druckkörper könnten hier Abhilfe schaffen.

Einer Verbesserung bedürfen auch die Manipulatoren, die als fernbediente mechanische Arme Unterwasserarbeiten mit Hilfe von Tauchbooten überhaupt erst ermöglichen. Zweckmäßigerweise muß die Schaffung geeigneter Manipulatoren bei der Konstruktion von Unterwasserfahrzeugen von Anfang an berücksichtigt werden. Da für die meisten Aufgaben eine Vielzahl verschiedener Werkzeuge erforderlich ist, muß ein Auswechseln der Geräte unter Wasser möglich sein.

Auch Reichweite und Geschwindigkeit der gegenwärtigen Fahrzeuge lassen vielfach zu wünschen übrig. Als Energiequelle für die elektrischen Antriebsmotoren dienten bislang fast ausschließlich Bleiakkumulatoren, die eine größere Energiedichte bei konstanter Spannung nicht liefern können. Bei einigen im Bau befindlichen Einheiten soll deshalb der für die Elektromotoren benötigte Strom mit Brennstoffzellen erzeugt werden. Auch Verbrennungskraftmaschinen, die Brennstoff und Sauerstoffträger mit sich führen, könnten als Energiequelle dienen (z. B. das sogenannte Walter-Verfahren unter Verwendung von Wasserstoffperoxid als Sauerstofflieferant). Fahrzeuge mit Antrieb durch einen Kernreaktor sind ebenfalls möglich, allerdings sind sie sehr teuer. Zu den ebenfalls noch nicht zufriedenstellend gelösten Problemen gehören schließlich die genaue Navigation unter Wasser und die störungsfreie Nachrichtenübermittlung für größere Reichweiten.

---

# Ausblick auf die Zukunft

---

Noch immer sind unsere Kenntnisse über das Meer und über die Vorgänge, die sich in ihm abspielen, sehr lückenhaft. Ein Großteil des Meeresgrundes konnte noch nicht einmal mit fernmessenden Geräten, geschweige denn durch direkte Beobachtungen untersucht werden. Nur auf wenigen Gebieten erfolgt schon eine Nutzung der Rohstoffreserven des Meeres und des Meeresgrundes, und selbst die marinen Nahrungsreserven werden im Grunde genommen auf eine wenig produktive Weise genutzt. Erst in jüngster Zeit ist die Entwicklung rascher vorangeschritten, wobei nicht verschwiegen werden darf, daß außer von seiten der Wissenschaft und der Volkswirtschaft starke Impulse auch aus dem militärischen Sektor kamen. Dieser Umstand ist ein für die weiteren Aktivitäten im Meer und am Meeresgrund entscheidender Faktor. Nur im Frieden ist eine allseitige Erforschung und Nutzung des Meeres und des Meeresgrundes zum allgemeinen Wohle der Menschheit möglich.

Im Mittelpunkt der ozeanologischen Aktivitäten werden in der Zukunft Aufgaben wie die Aufstellung und Verbesserung von Vorhersagen über die Entwicklung der marinen Umwelt stehen, wobei verbesserte Modelle von Ozean und Atmosphäre und genauere Kenntnisse ihrer Wechselwirkungen die Grundlage zur Erhöhung der Genauigkeit und Treffsicherheit der Vorhersagen liefern. Zu den für die Zukunft wichtigen Zielen der Meeresforschung gehören auch umfassende wissenschaftliche Beobachtungen und Untersuchungen über den natürlichen Zustand des Ozeans als Grundlage für die Einschätzung und Vorhersage der Auswirkungen natürlicher und vom Menschen verursachter Veränderungen im marinen Lebensraum. Verbesserte Kenntnisse über die

Wechselbeziehungen zwischen den verschiedenen Lebensformen im Meer und ihrer Umwelt werden eine bessere Nutzung der maritimen Nahrungsreserven ermöglichen und können schädliche Eingriffe durch den Menschen verhindern helfen. Die Erschließung der Rohstoffreserven des Meeresgrundes schließlich verlangt gründlichere Kenntnisse über die Gestalt des Meeresgrundes, über dessen Struktur und Eigenschaften und über das vorhandene Rohstoffpotential.

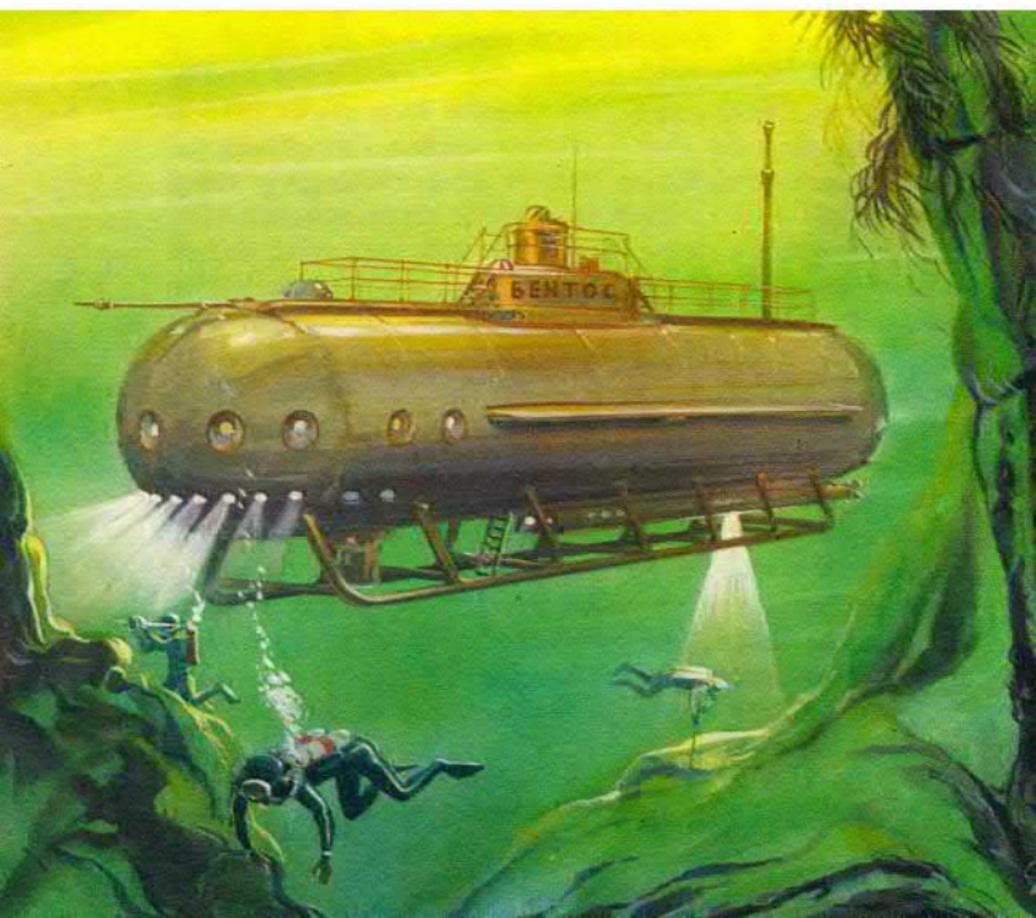
Voraussetzungen zur Lösung dieser Aufgaben sind die Entwicklung geeigneter Beobachtungs- und Überwachungssysteme und ein internationaler zweckmäßiger Datenaustausch über den marinen Lebensraum. Auch zukünftig wird der größte Teil der Meßwerte über den Zustand der marinen Umwelt auf indirektem Wege gewonnen werden müssen. Neben die bisherigen Untersuchungen durch Forschungsschiffe werden in zunehmendem Maße Messungen durch automatische Bojen treten, während künstliche Erdsatelliten zur Überwachung großräumiger Vorgänge dienen. Diese verschiedenen Beobachtungsverfahren werden mehr und mehr Glieder eines permanenten ozeanischen Beobachtungsnetzes werden, wobei sich ihre Möglichkeiten gegenseitig ergänzen müssen. Auch am Meeresgrund werden automatische Stationen langzeitliche Messungen interessierender Parameter vornehmen und programmgesteuert oder nach Abruf zur Übertragung der gespeicherten Meßwerte auftauchen.

Direkte Beobachtungen durch den Menschen in der marinen Umwelt werden diese Untersuchungen ergänzen und vor allem bei kleinmaßstäblichen Prozessen Zusammenhänge aufdecken helfen. Besonders die Meerestechnik, die ja erst die Voraussetzungen für den Aufenthalt des Menschen im Meer geschaffen hat, wird sich in großem Umfang der Taucherei bedienen. Der vom Menschen direkt aufsuchbare Bereich wird sich zu immer größeren Tiefen ausdehnen. Die bisherigen Versuche lassen die beim Atmen von Helium-Sauerstoff-Gemischen in Analogie zur Stickstoffnarkose bei 300 bis 350 m vermutete Heliumgrenze nicht erkennen, so daß als Nahziel für einen routinemäßigen Tauchereinsatz 300 m Tiefe angestrebt werden können. Die Lösung der noch ausstehenden Fragen wie zuverlässiger Kälteschutz und Hilfsgерäte zur Unterstützung bei der Atmung wird sicher nicht mehr lange auf sich warten lassen. Das gilt auch für Geräte

mit geschlossenem Kreislauf, die zuverlässig im Dauerbetrieb arbeiten. Geräte mit verflüssigten Gasgemischen befinden sich ebenfalls in der Entwicklung.

Zusammen mit der Verbesserung der Tieftauchgeräte werden sich auch die verfügbaren Systeme von Transport- und Deckdekompressionskammern weiter verbessern. Bereits jetzt existieren industriemäßig gefertigte Anlagen bis zu 500 m Einsatztiefe. Für größere Tiefen könnte an die Verwendung eines Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisches als Atemgas gedacht werden, mit dem nach Meinung einiger Fachleute 1000 m erreichbar sein sollen. Noch kühnere Überlegungen sprechen von der Möglichkeit einer direkten Flüssigkeitsatmung, wobei die Lungen des Tauchers mit einer Flüssigkeit gefüllt werden sollen, die in der Lage ist, große Mengen komprimierten Sauerstoffs aufzunehmen. Auch an künstliche

*Mit der »Bentos 300« wurde in der Sowjetunion eine Kombination von Unterwasserlaboratorium und Tauchfahrzeug entwickelt.*



Kiemen ist gedacht worden, wobei schon Tierversuche erfolgten. Solche Überlegungen sind jedoch spekulativ.

Bei der Frage nach dem »homo aquaticus«, dem Menschen, der gleicherweise in den Alpen Ski laufen und in einem untermeerischen Cañon schwimmen kann, dürfen über den physiologischen Fragen nicht die ethischen Probleme vergessen werden. Wie Professor Monin vom Institut für Ozeanologie in Moskau in einem Interview sagte, ist der Mensch von Natur aus kühn und unternehmungslustig. Er dringt immer tiefer in den Abgrund der Meere ein. Von dort wird er aber immer wieder nach Hause, auf die Erde, in die ihm vertraute Natur zurückkehren. Nicht nur wegen der technischen Schwierigkeiten und ökonomischen Probleme, sondern vor allem auch aus diesen Gründen werden Städte unter dem Meeresspiegel eine Utopie bleiben. Auch zukünftig werden sich nur wenige Menschen zu speziellen Arbeiten unter Wasser aufhalten.

Die Entwicklung von Unterwasserstationen zielt auf die Einrichtung ständiger Unterwasserobservatorien an besonders interessierenden Orten. Vor allem aus ökonomischen Gründen wird sich ihre Zahl jedoch in Grenzen halten. Andere vielversprechende Entwicklungen zielen auf die Schaffung einer Kombination von Unterwasserlaboratorium und Tauchfahrzeug mit Eigenantrieb. Mit »Bentos 300« wurde 1977 in der Sowjetunion der Prototyp einer solchen Einrichtung erprobt. Derartige Stationen sind in ihrer Versorgung völlig autonom und können ihren Standort in einem gewissen Umkreis selbständig ändern. Sie können auf- und untertauchen und sich gegebenenfalls für längere Zeit in einer bestimmten Tiefe schwebend halten. Zusätzliche Räume werden dem umgebenden Wasserdruck angeglichen, so daß von hier aus die Aquanauten aussteigen können. Das Problem der Energieversorgung kann durch Brennstoffzellen oder Isotopengeneratoren gelöst werden. Der notwendige Sauerstoff könnte direkt dem Meerwasser entzogen werden.

Bemannte Unterwasserfahrzeuge für wissenschaftliche und technische Zwecke können auf ausgewählten Gebieten eine wertvolle Ergänzung der bisherigen Untersuchungsverfahren sein, wenn es gelingt, den erforderlichen Aufwand zu senken. Auch an Bord moderner Forschungsschiffe werden sich solche Fahrzeuge als Arbeitsmittel finden. Neue Werkstoffe und Energiequellen werden ihren Aktionsradius erweitern.

»akzent« – die Taschenbuchreihe  
mit vielseitiger Thematik:  
Mensch und Gesellschaft,  
Leben und Umwelt, Naturwissenschaft  
und Technik. – Lebendiges Wissen  
für jedermann, anregend und aktuell,  
konkret und bildhaft.

---

**Weitere Bände:**

Lewantowski, Raumtransporter

Odening, Parasiten –

Geißel der Menschheit?

Peters, Mensch und Tierwelt

Rast, Aus dem Tagebuch der Erde

Dorschner, Sind wir allein im Weltall?

Kehnscherper,

Auf der Suche nach Atlantis

Szécsényi-Nagy, Jenseits

der Milchstraße