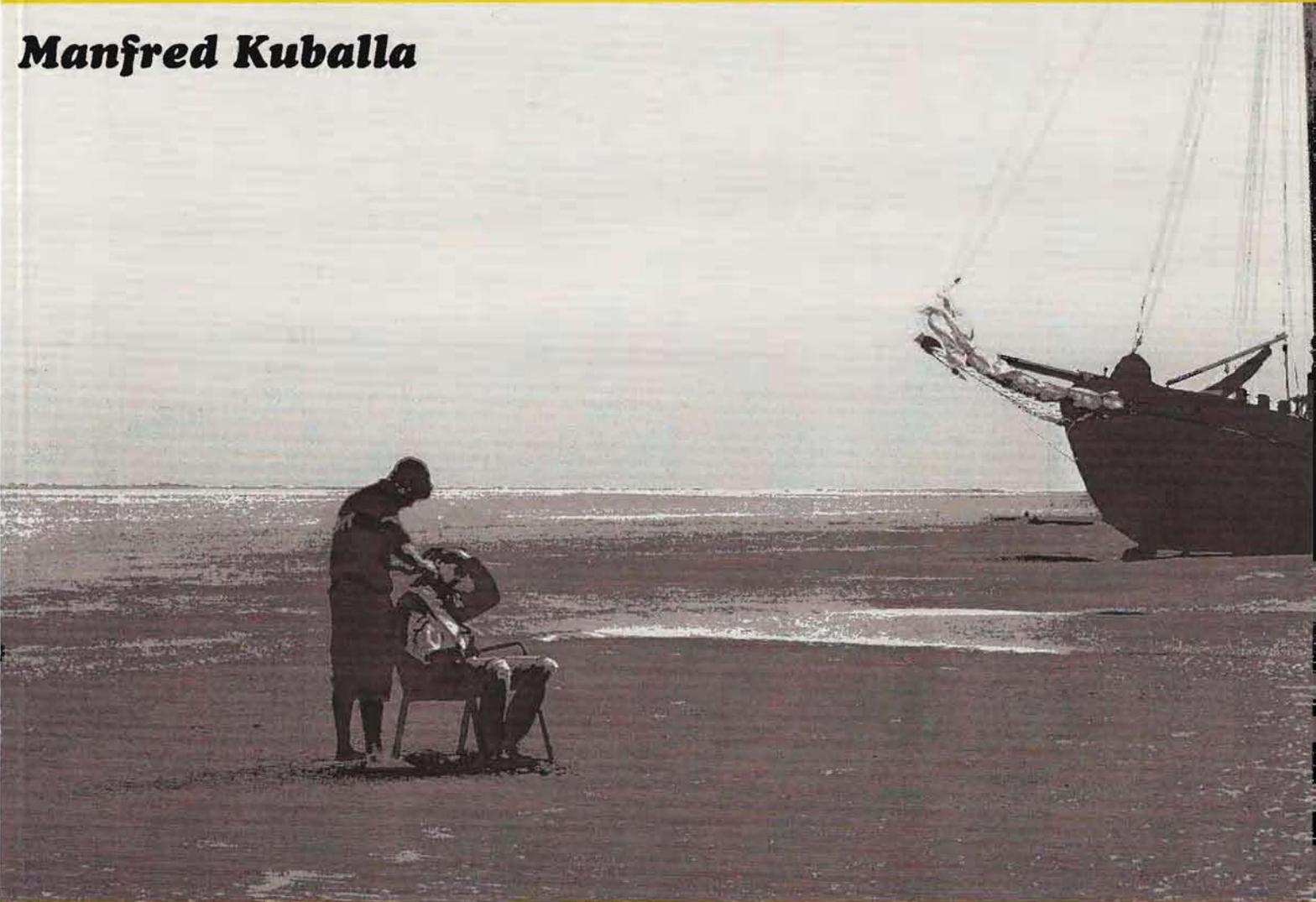


# Soznat

**Materialien für den Unterricht 35**

**Manfred Kuballa**



**Beobachten – Messen – Segeln**  
**Ein Wattenmeerprojekt**

**Naturwissenschaften sozial**

Titelfoto: Monika Cabello

**Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme**

**Kuballa, Manfred:**

Beobachten - Messen - Segeln ; Ein Wattenmeerprojekt ;  
Materialien für eine Kursfahrt in der gymnasialen Oberstufe /  
Manfred Kuballa. Hrsg.: AG Naturwissenschaften - Sozial.

1. Aufl. - Marburg : Red.-Gemeinschaft Soznat, 1994

(Soznat ; Bd. 35)

ISBN 3-922850-68-5

NE: GT

1. Auflage 1994

© Redaktionsgemeinschaft Soznat Marburg, Postfach 2150, 35009 Marburg  
Druck: Alpdruck Marburg

Alle Rechte vorbehalten - Kopien zu Unterrichtszwecken erlaubt

ISBN 3-922850-68-5

# MATERIALIEN FÜR DEN UNTERRICHT BAND 35

Manfred Kuballa

## Beobachten - Messen - Segeln

Ein Wattenmeerprojekt

Materialien für eine Kursfahrt  
in der Gymnasialen Oberstufe

Marburg 1994

Redaktion: Lutz Stäudel

Herausgeber:  
AG Naturwissenschaften - sozial

c/o Lutz Stäudel  
Gesamthochschule  
Kassel, FB 19  
Heinrich-Plett-Str. 40  
34109 Kassel

c/o Armin Kremer  
AG Soznat  
Universität Marburg, FB 21  
Postfach 2150  
35009 Marburg

---

<b>Einführung</b>	1
Gegenstand des Projekts - Das Wattenmeer	3
Organisatorische Vorbereitungen	4
Pädagogische Vorbereitungen	5
Verhalten im Wattenmeer	6
<b>Beobachten</b>	7
Das Watt - Landschaft im Wandel	8
Beobachten - aber was ?	9
Beobachten - auf welche Weise ?	10
Durchs Mikroskop - Plankton	11
Auf dem Wattboden - Meerestiere	16
Durchs Fernglas - Vögel	17
Am Wattsaum - Halophyten	18
Über Land - Exkursionen	20
Literatur	22
<b>Messen</b>	23
Warum wird gemessen ?	24
Was wird gemessen ?	27
Womit wird gemessen ?	28
Wie wird gemessen ?	30
Für Auge und Nase - Sinnenprüfung des Wassers	34
Physikalisch-Chemische Eigenschaften - Temperatur und pH-Wert	36
Biochemische Aktivität des Wassers - Bestimmung von gelöstem Sauerstoff	38
Verschmutzung des Wassers - Bestimmung der Permanganatzahl	45
Salzigkeit des Wassers - Bestimmung des Chloridgehalts	48
Eutrophierung des Wassers - Bestimmung des Nährstoffgehalts	50
Gefahrstoffanhang	62
Wasseranalyse - Ergebnisbogen	63
Literatur	64
<b>Segeln</b>	65
Keine Angst vor hohen Wellen !	66
Warum bleibt das Wasser weg ?	67
Mit dem Wasser um die Wette	68
Seemannsknoten	69
Ohne Orientierung geht nichts	70
Richtungsänderung - Segelmanöver	71
Wie steuert man ein Plattbodenschiff ?	72
Wo sind wir ? - Ortsbestimmung auf See	74
Literatur	76
<b>Nachlese</b>	77

## **Tabellen**

Seite

Fauna des Wattenmeers	16
Zustand von „normalem“ Meerwasser	24
Schadstoffeintrag ins Meer	24
Hersteller von Photometern	29
Salzgehalt von Meerwasser	30
Löslichkeit von Sauerstoff in Meerwasser	41
Dichten von Wasser	43
Wassergüte nach der Permanganatzahl	45
Gelöste Ionen im Meerwasser	48
Nährstoffgehalt im Meerwasser	50
Herstellung von Standardlösungen	61

## **Photos**

Andreas Nitzge, Sebastian Gorny

## **Aquarelle**

Kirstin Bodensiek, Manfred Kuballa, Marion Nitsche, Martina Seefeldt

Ich danke...

meinem Kollegen und Fahrtbegleiter Helmut Schmiedel für Rat und Tat im Fach Biologie, unserem langjährigen Skipper Jan Velthuis und Riny Bus für künstlerische Ratschläge, Firma Dr. Bruno Lange, Berlin, für technische Hilfe und Unterstützung bei der Photometrie, Prof.Dr. Rüdiger Blume, Bielefeld, für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

# Einführung

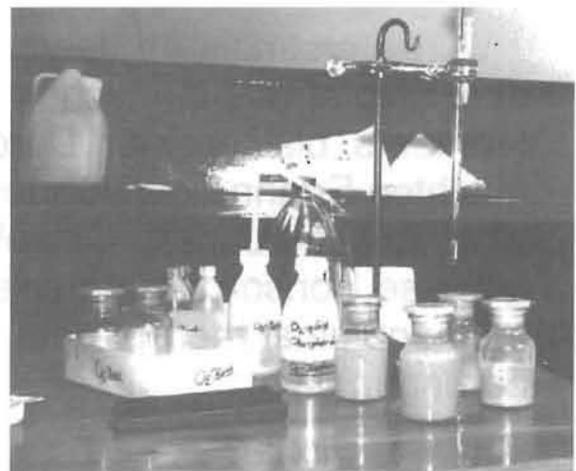


## **Messen...**

bedeutet so viel wie biologisch-chemische Analysen des Meerwassers mit dem Ziel, aus dem Ermittelten Schlußfolgerungen über die zivilisationsbedingten Belastungen des Wattenmeers zu ziehen.

## **Beobachten...**

bedeutet so viel wie Erfassen des Lebensbereichs Wattenmeer durch alle Sinne mit dem Ziel, das Erlebte festzuhalten in Wort, Zeichnung und Aquarell.



## **Segeln...**

bedeutet so viel wie das zeitlich befristete Leben auf einem holländischen Plattbodenschiff mit dem Ziel, auf diesem Boot durch das Wattenmeer zu segeln und dabei grundlegende Kenntnisse des Segelhandwerks zu erwerben.

## **Das Projekt *Beobachten - Messen - Segeln ...***

wendet sich vornehmlich an Lehrer der gymnasialen Oberstufe bzw. der Erwachsenenbildung, welche die Fächer **Biologie** und/oder **Chemie** vertreten, aber auch an Interessenten beider Disziplinen. Aufgrund der fächerübergreifenden Konzeption des Projekts sind auch Kollegen der Fächer **Geographie** und **Bildende Kunst** angesprochen.



## **Das Projekt *Beobachten - Messen - Segeln ...***

wurde erstmals im Jahre 1987 durchgeführt und hat auf dem Gebiet des deutschen und des niederländischen Wattenmeers bislang vier Durchgänge erlebt. Die dabei gemachten Erfahrungen führten zu ständigen Verbesserungen bzw. Erweiterungen. Obwohl der Prozeß inzwischen eine gewisse Konsolidierung erreicht hat, stellt er doch nur eine Momentaufnahme auf dem Weg weiterer möglicher Veränderungen dar.



## **Das Projekt *Beobachten - Messen - Segeln ...***

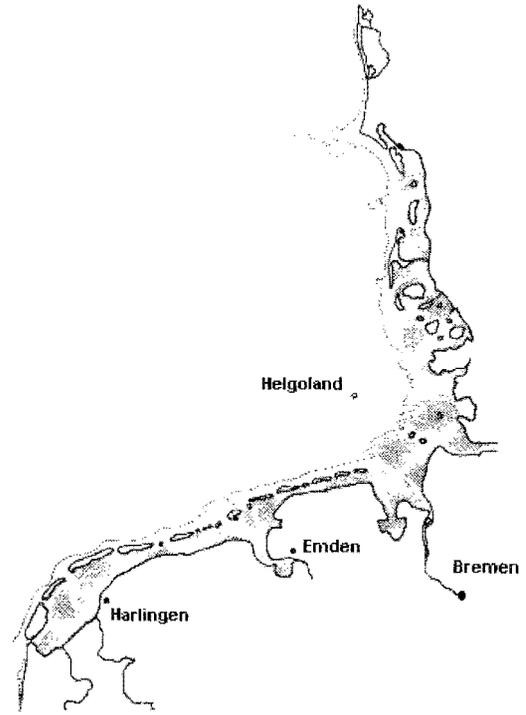
wird detailliert in einzelnen Kapiteln vorgestellt. Diese bestehen meist aus einem Informationsteil und einer Arbeitsanweisung. Mehrere Seiten sind als *Kopiervorlagen* ausgewiesen und dienen der Vorbereitung des betreffenden Themas bzw. als projektbegleitende Hilfe. Die folgenden Materialien ersetzen keine einschlägigen Lehrbücher, die angeführte *Literatur* stellt nur eine zufällige Auswahl dar, keineswegs eine vollständige Bibliographie.

## Gegenstand des Projekts - Das Wattenmeer

Das Wattenmeer bildet einen 450 km langen und im Mittel 16 km breiten Streifen zwischen der Nordseeküste und den vorgelagerten Inseln. Es hat eine Gesamtfläche von 7500 km<sup>2</sup> und Wassertiefen bis höchstens 10 m. Davon sind bei Niedrigwasser etwa 3500 km<sup>2</sup> trockenfallend.

Das Wattenmeer ist infolge der Gezeitenströme am ehesten mit einem Gebirgsbach vergleichbar: Beide Gewässer sind durch ständige und starke Durchmischung des gesamten Wassers gekennzeichnet. Schichtungen wie z.B. in stehenden Binnengewässern oder im freien Meer sind somit auszuschließen.

Die genannten Strömungen führen zu einer fortwährenden Veränderung der angrenzenden Landschaft, die damit auch den *Boden* des Wattenmeers erfaßt. Dies hat zur Folge, daß sich die tiefen Wasserinnen zwischen der offenen Nordsee und dem Watt, sowie die sich anschließenden *Priele* ständig verlagern.



Gerade in dieser gewaltigen Dynamik, die alle Bereiche umfaßt und einem permanenten Wechsel unterwirft, liegt der besondere Reiz des Wattenmeers:

- Bei Niedrigwasser eröffnet eine faszinierende Landschaft, die in dieser Form und an dieser Stelle nie wieder auftritt, den Zugang zu vielfältigen Beobachtungen, die sich näher untersuchen und mit Stift und Farbe festhalten lassen.
- Die naturgegebene Veränderung des Wattenmeers wird beeinflusst durch zivilisationsbedingte Eingriffe, die eine zunehmende Bedrohung dieses Raums darstellen. Diese Störungen lassen sich durch gezielte Untersuchungen aufdecken.
- Die Schifffahrt auf dem Wattenmeer setzt eine genaue Kenntnis der jeweils herrschenden Strömungen und Windverhältnissen voraus.

Eine Erkundung des Ökosystems Wattenmeer stellt daher aufgrund seiner Vielfalt und Komplexität einen idealen Gegenstand für ein vielschichtiges Projekt dar.

Je nach Zeit und Streckenplanung bieten sich Vergleiche mit den Süß- bzw. Brackwassergebieten *Ijsselmeer* und *Lauwersmeer* an, die sich als *Binnengewässer* praktisch nur wenig verändern und damit einen völlig anderen Charakter haben als das Wattenmeer.

## Organisatorische Vorbereitungen

Außer den üblichen Anträgen für Schul- und Klassenfahrten bei den vorgesetzten Stellen muß rechtzeitig, im allgemeinen mindestens ein halbes Jahr im voraus, ein für die jeweilige Gruppengröße geeignetes Schiff bestellt werden. Nachfolgend eine Auswahl von niederländischen Charterunternehmen, die Plattbodenschiffe unterschiedlicher Größe anbieten:

Channel Cruises, Dorpsstraat 74, NL-1153 PG Zuiderwoude, Tel. 0031-2903-3170, Fax 0031-2903-3484  
 Frima Boatcharters, Pollux 1, NL-8531 NW Lemmer, Tel. + Fax 0031-5146-4413  
 Hanzestad Compagnie, Postfach 5, NL-8260 AE Kampen, Tel. 0031-5202-16050, Fax 0031-5202-11577  
 Historische Zeilvaart, Postfach 114, NL-8860 AC Harlingen, Tel. 0031-5178-13242, Fax 0031-5178-14654  
 Holland Zeilcharters, Postfach 81, NL-1140 AB Monnickendam, Tel. 0031-2995-2351, Fax 0031-2995-3618  
 Hollands Glorie, Postfach 2448, NL-3000 CK Rotterdam, Tel. 0031-10-4114944, Fax 0031-10-4134843  
 Kootstra Schiffsreisen, Salzstr. 31, D-48143 Münster, Tel. 0251-518161/62, Fax 0251-518163  
 Rederij Vooruit, Geeuwkade 9, NL-8651 AA IJlst, Tel. 0031-5155-31485, Fax 0031-5155-32630  
 V & S Charters, Symon Meeszstraat 12, NL-2203 BM Noordwijk, Tel. 0031-1719-18265, Fax 0031-1719-15780  
 Zeilrederij Friesland, Emmakade 3, NL-8531 DT Lemmer, Tel. 0031-5146-1581, Fax 0031-5146-5323  
 Zeilvloot Harlingen, Noorderhaven 17, NL-8861 AJ Harlingen, Tel. 0031-5178-17101, Fax 0031-5178-14286

**STUDIENFAHRTEN IN HOLLAND**  
 Jugendhotelschiffe & traditionelle Segelschiffe



- Fahrten durch die Kanäle
- Segelrins IJsselmeer und Waddenzee
- Über 30 Schiffe 10 - 40 Personen
- V/s personenzahl
- Selbstverpflegung
- Eigenwillige Buvareibung BAP
- Mehrere Reiseprogramme vorhanden

Holland  
 Channel Cruises, Dorpsstraat 74, NL-1153 PG Zuiderwoude, Tel: 0031-2903-3170  
 Fax: 0031-2903-3484

**V & S Charters**  
 Symon Meeszstraat 12  
 2203 BM Noordwijk - Holland  
 Tel: 00 31 - 17 19 - 182 65  
 Fax: 00 31 - 17 19 - 157 80



**Der Traum, einmal auf große Fahrt zu gehen, läßt sich auch heute noch verwirklichen!**

Segeln mit Dreimastschoner und Klipper in Holland und auf der Ostsee (Kiel). Für Schulklassen, Klubs, Gruppen, Betriebsausflüge, Seminare, Incentive.

### Eintragung ins Klassenbuch - gelungener Segeltörn -

... Meist findet sich diese Eintragung in den Gästebüchern unserer Schiffe wieder. Man fühlt sich wohl auf unseren historischen Schiffen. Taumelst und Spaß am Segeln gehören zu einer gelungenen Klassenfahrt dazu.  
 Abfahrthäfen:  
 Kampen - der nächste Hafen vom Ruhrgebiet aus.  
 Minskum - zwischen IJsselmeer und Wattenmeer.  
 Fiensborg - Borte zur Ostsee.



Postfach 5, 8260 AE Kampen (Holland)  
 Tel. 0031-5202-16050 - Fax: 0031-5202-11577

**Erlebnisauffahrten auf dem Wasser!**

Wattenmeer, IJsselmeer und Ostsee.  
 Mehrstellige über Flüsse und Kanäle ins Amsterdams.



Informationen über Holländische Bootstouristik, Preisgestaltung und Typen für Segelfahrten anfordern!

**KOOTSTRA SCHIFFSREISEN**

KOOTSTRA SCHIFFSREISEN, Salzstraße 31, 48143 Münster, Tel. 02 51 51 81 61 62, Fax 02 51 51 81 63

**Segeln ab Harlingen ins Wattenmeer IJsselmeer Friesland**



Erleben Sie mal einen Aktiv-Urlaub oder ein Wochenende an Bord unserer traditionellen Segelschiffe, wobei man den Reiz des Segels und das Spiel von Wind und Wasser kennenlernt! Geeignet für Klubs, Schul- und Jugendgruppen von 12 bis 50 Pers., Preise ab 3000,- DM oder p. P. ab 160,- DM. Fordern Sie die speziellen Prospekte und Schullisten an!

**Info: Rederij Vooruit**  
 Geeuwkade 9, 8651 AA IJlst (Holland)  
 Tel.: 0031-5155/31485  
 Fax: 0031-5155/32630

**Schulfahrten**

Auf bestemmalen 12 Segelschiffen, 8 bis 7 Tage Wattenmeer, IJsselmeer u. Ostsee. Ein attraktives Angebot!



Auch Wattenmeertouristen für Betriebsausflüge, Klubs usw.  
 Zeilrederij Harlingen  
 Noorderhaven 17  
 8861 AJ Harlingen (Holland)  
 Tel. 0031-5178-17101  
 Fax: 0031-5178-14286

**SH Schipperscoöp HISTORISCHE ZEILVAART ZH HARLINGEN**



Das Boot des Wattenmeers, das Erlebnis von Wind und Wellen, die Atmosphäre von alten Harlingen, das Abenteuer des Segelns, das Abenteuer der Bootstouristik, das Abenteuer der Segelreise.

Professoren Sie von unseren Spezialgebeten und Regen Sie nach dem kostenlosen Broschüren Postfach 114, 2060 AS Harlingen, Holland  
 Tel.: 0031-517813242, Fax: 0031-517814654

Auszug aus: *Erziehung und Wissenschaft, Zeitschrift der GEW, Reklameteil*

Eine Empfehlung für eines der Unternehmen kann und soll an dieser Stelle nicht gegeben werden. Manche der aufgeführten Reedereien stellen auf Wunsch ausführliche Unterlagen, nicht nur zu den Schiffen, sondern auch zum Wattenmeer bzw. IJsselmeer zur Verfügung. Auch Reisebüros sind möglicherweise in der Lage, bei der Beschaffung von Informationen zu helfen.

Der geeignete Ausgangsort für Fahrten durch das Wattenmeer ist *Harlingen*. Der Hafen liegt am westlichen Ende des Gebiets und kann sowohl bei Hoch- als auch bei Niedrigwasser verlassen und angelaufen werden. Weiterhin besteht dort die Möglichkeit, vor Abfahrt des Schiffes bei einer aus Deutschland bekannten und preisgünstigen Ladenkette Lebensmittel einzukaufen.

## Pädagogische Vorbereitungen

Der besondere Reiz des Projekts liegt in der Kombination der verschiedenen Tätigkeitsbereiche. Es ist jedoch möglich, je nach Lerngruppe oder Projektleiter auch einzelne Teile auszuführen.

### *Themenbereich „Beobachten“*

- *Allgemein* sollten die Teilnehmer dafür empfänglich gemacht werden, bei diesem Themenbereich Augen und Ohren aufzumachen. Dazu werden im Kapitel „Beobachten“ - zum Teil in Form von Kopiervorlagen - Vorschläge gemacht, ergänzt durch eine Literaturliste. Weiterhin gibt es Anregungen zu Landausflügen und Besichtigungen im Bereich des Wattenmeers und des IJsselmeers.
- Vom *Kunstunterricht* sollten zumindest einige Schüler grundlegende Techniken des Aquarellierens kennen.
- Für das Beobachten von Plankton sollten Kenntnisse des Mikroskopierens aus dem *Biologieunterricht* vorhanden sein.

### *Themenbereich „Messen“*

Eine sinnvolle Bearbeitung des Themenbereichs setzt bei den Teilnehmern fundierte Chemiekenntnisse voraus:

- Grundlagen in anorganischer und organischer Chemie,
- Reaktionsgleichgewichte, vor allem Redox-Gleichgewichte,
- analytisch-quantitatives Arbeiten.

Diese Voraussetzungen werden allgemein erst in der gymnasialen Oberstufe erreicht. Inhaltliche Defizite sollten im Rahmen einer vorbereitenden Arbeitsgemeinschaft beseitigt werden, die mindestens ein halbes Jahr vor Beginn des Projekts, ergänzend zum normalen Chemieunterricht, eingerichtet wird. Im Rahmen dieser Arbeitsgemeinschaft müßten die im Kapitel „Messen“ vorgestellten Verfahren eingeübt werden. Dabei hat sich als günstig erwiesen, den Teilnehmern des Projekts schon im voraus bestimmte Themen fest zuzuordnen. Auf diese Weise besteht die Möglichkeit, daß die betreffenden „Spezialisten“ auch im Ernstfall bereits selbständig arbeiten können und in der Lage sind, ggf. auch andere anzulernen.

### *Themenbereich „Segeln“*

Die Plattbodenschiffe werden mit einem Kapitän (meist der Eigner) und mit mindestens noch einem Bootsmann vermietet. Beide leiten die jeweilige Gruppe bei der Bedienung des Schiffes an. Deshalb ist es zwar vorteilhaft, aber nicht unbedingt erforderlich, daß der/die Leiter/-innen der Kursfahrt seglerische Kenntnisse mitbringen. Dennoch ist es sinnvoll, bereits vor der Fahrt die im Kapitel „Segeln“ enthaltenen Materialien zu kopieren und auszuteilen.

## Verhalten im Wattenmeer

Kopiervorlage

*Das Wattenmeer ist die Heimat der Seehunde. Sie ruhen sich gerne in der Nähe von Prielen auf trockengefallenen Sandbänken aus.*

**Ankern Sie nie in der Nähe von Seehundliegeplätzen, bleiben Sie mindestens 500 m davon entfernt. Damit vermeiden Sie, daß bei einer möglichen Flucht der Tiere Jungtiere hilflos zurückbleiben.**



*Das Wattenmeer ist reich an Kleintieren und daher eine begehrte Speisekammer für viele Vogelarten. Bestimmte Inselbereiche sind als Vogelschutzgebiete ausgewiesen.*

**Bleiben Sie diesen Gebieten fern, vor allem während der Brutzeit. Damit vermeiden Sie, daß die Vögel ihre Nester verlassen, wodurch die Eier möglicherweise auskühlen und absterben.**



*In der Übergangszone zwischen Wasser und Festland gibt es besondere Pflanzenarten, sog. Halophyten, die periodisch von salzigem Meerwasser überspült werden.*

**Schützen Sie diese Pflanzen, indem Sie die von ihnen gebildeten Salzwiesen möglichst nicht betreten.**



*Ein besonderes Erlebnis einer Wattenmeerfahrt mit einem Plattbodenschiff ist das sog. Trockenfallen auf dem Wattenmeerboden bei Niedrigwasser.*

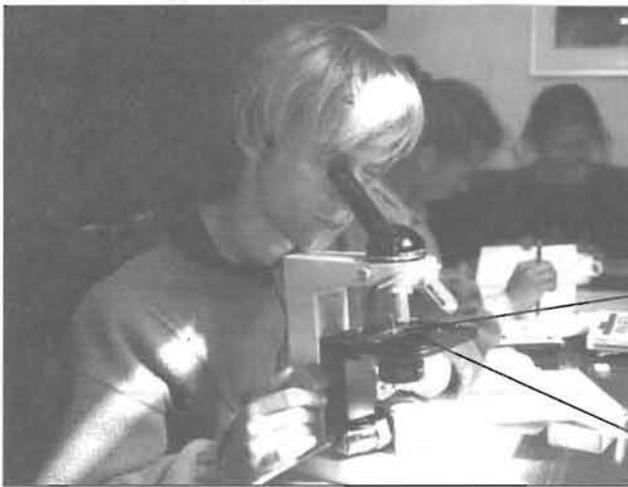
**Achten Sie beim Verlassen des Schiffes darauf, daß Sie wieder rechtzeitig an Bord sind. Informieren Sie sich daher über die Zeit der wiederkehrenden Flut.**



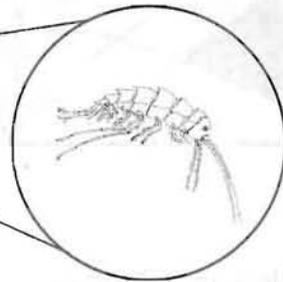
*Wattenwandern macht Spaß und ist sehr lehrreich. Im Schlickwatt gibt es jedoch Stellen, an denen der Schlick mehrere Meter mächtig sein kann. Dort besteht akute Lebensgefahr!*

**Gehen Sie daher nie allein und achten Sie auf die Beschaffenheit des Wattbodens.**

# Beobachten



Großes  
und  
kleines



... und  
Fühlen

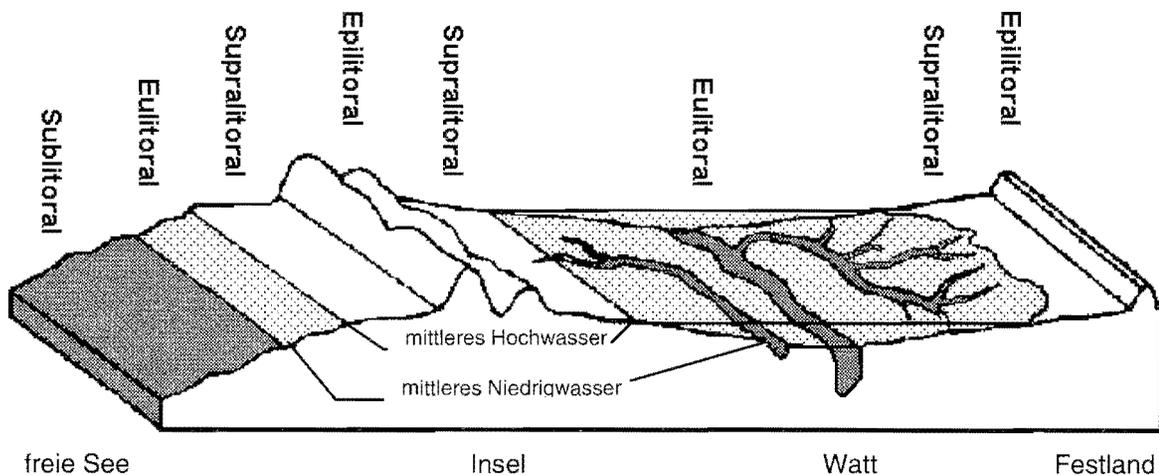


## Das Watt - Landschaft im Wandel

Kopiervorlage

Das Gebiet des Wattenmeers wird in bezug auf die Höhe des Meerwasserstandes in mehrere Zonen eingeteilt:

- Das *Sublitoral* ist ständig von Wasser bedeckt und umfaßt die offene Nordsee sowie die von dort ins Watt reichenden Priele.
- Das *Eulitoral* ist das eigentliche Watt und umfaßt  $\frac{2}{3}$  der gesamten Wattfläche. Es wird periodisch von Wasser überflutet.
- Das *Supralitoral* ist normalerweise trocken, wird jedoch gelegentlich bei Springflut von einer dünnen Schicht Wasser überspült.
- Das *Epilitoral* ist die Zone, die stets oberhalb des Wasserspiegels liegt.



Es ist vor allem der *Boden* des Eulitorals, der diesen Raum gestaltet, denn er bestimmt alle dort vorkommenden Formen des Lebens. Er wird, ergänzt durch eingeschwemmtes Sediment aus den Flüssen und der Nordsee, von den Gezeitenströmen unaufhörlich hin- und herbewegt.

Auf der *Seeseite* der Inseln und in der Nähe der auf der *Wattseite* gelegenen Priele sedimentieren wegen der starken Wasserströme nur größere Partikel und bilden das sog. *Sandwatt*. An den Küstenstreifen, vor allem in Buchten, kommt das Wasser jedoch fast zur Ruhe. Dadurch sind auch kleinere Partikel in der Lage, zu sedimentieren und bilden das sog. *Schlickwatt*. Dieses enthält bis zu 10% *organische* Bestandteile, die von abgestorbenen Organismen herrühren. Zwischen dem Sandwatt und dem Schlickwatt gibt es eine Übergangszone aus bereits schlickhaltigem Sand, das sog. *Mischwatt*.

Jede dieser Zonen ist charakterisiert durch das Vorhandensein darauf spezialisierter Lebensformen.

## Beobachten - aber was ?

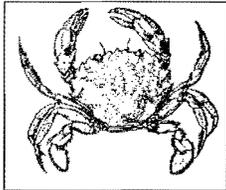
Diese Frage ist schwer zu beantworten, denn zu sehen gibt es viel und vieles.\* Für das Projekt wurden folgende Schwerpunkte gewählt:



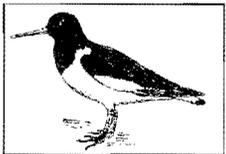
Mit Hilfe eines *Mikroskops* wird das im Meerwasser enthaltene **Plankton** beobachtet und notiert. Art und Zusammensetzung geben eine Information über den Zustand des Wassers.

Weiterhin kann man mit dem Mikroskop **Pflanzenschnitte** studieren.

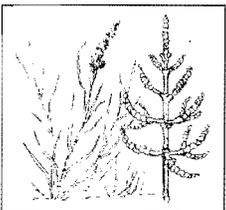
Auf dem trockengefallenen Wattboden und in flachen Prielen entdeckt man viele Arten von **Meerestieren**, z.B. Krebse und Krabben, Schnecken und Muscheln und eine große Zahl von Würmern.



Im Wasser selbst gibt es viele Arten von **Algen**, z.B. **Seetang**.



Durch ein *Fernglas* kann man feststellen, daß die vielen **Vögel**, die sich im Gebiet des Wattenmeers aufhalten, zu einer Reihe verschiedener Arten gehören.



An bestimmten Stellen der Wattenmeerküste findet man einige Pflanzenarten, sog. **Halophyten**, die dort wachsen, weil sie als einzige das salzige Meerwasser aushalten.



Um das Landesinnere vor allem der Inseln kennenzulernen, empfehlen sich **Exkursionen** mit einem gemieteten *Fahrrad*. An einigen Orten gibt es auch sehenswerte **Museen**.

Auf den nachfolgenden Seiten werden die genannten Themen einzeln vorgestellt, zum Teil jedoch nur exemplarisch für diejenigen, zu denen bereits ausführliche Vorschläge in der Literatur existieren.

\* Hier sei lediglich auf eine reichhaltige Literatur verwiesen. Eine Auswahl befindet sich am Ende des Kapitels *Beobachten*, S. 22

## Beobachten - auf welche Weise ?

### *Wandern im Watt*

Die Erkundung von Tieren und Pflanzen des Wattenmeers findet im Rahmen von Wattwanderungen bei Niedrigwasser statt. Diese können von Land aus erfolgen, besser jedoch vom Schiff aus, nachdem es trockengefallen ist.

Das Begehen des Watts erfordert bestimmte Verhaltensweisen, die allen Beteiligten vor einer Wattwanderung bekannt gemacht werden müssen. Vor allem ist zu bedenken, daß das Auftreten größerer Personengruppen *immer* eine Störung des Biotops bedeutet.

Für die Erkundung von Pflanzen und Tieren benötigt man ein *Bestimmungsbuch*,<sup>\*\*</sup> um die verschiedenen Arten identifizieren zu können. Weiterhin empfiehlt sich die Mitnahme von *Fotoapparaten*. Zur näheren Untersuchung von Pflanzen und Tieren sollten folgende Geräte mitgenommen werden:

- eine kleine *Gartenschaufel* aus Metall zum Aufgraben von Wattboden,
- einige wasserdichte *Plastiktüten* zum Sammeln von Pflanzen,
- einen mit Meerwasser zu füllenden *Eimer* zum Sammeln von Meerestieren.

### *Aquarellieren*

Nach Anlegen in einem Hafen, bei Exkursionen über Land, am Badestrand und nach einem Trockenfallen auf dem Watt gibt es Zeit und Muße, die Eindrücke der Umgebung im Bild festzuhalten. Dies geschieht durch einfache Bleistiftskizzen oder noch besser durch Aquarellieren. Dazu benötigt man



- *Aquarellkasten, Grundbretter, Aquarellpapier* und *Klebeband* zum Befestigen,
- *Joghurtbecher* als Wasserbehälter, für kleinere Formate oder auf Exkursionen eignen sich *Filmdosen* aus Kunststoff.

<sup>\*</sup> s. Kopiervorlage *Verhalten im Wattenmeer*, S. 6

<sup>\*\*</sup> Zusammenstellung am Ende des Kapitels *Beobachten*, S. 22

# Durchs Mikroskop - Plankton



## Grundlage

**Plankton** [grch. planktos 'umherirrend'] *das*, Lebensgemeinschaft im Wasser frei lebender Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen, die infolge geringer oder fehlender Eigenbewegung von Strömungen fortgeführt werden können.

*dtv-Brockhaus-Lexikon, Bd. 14, Wiesbaden 1982*

## Welt im Kleinen

Aus den angeführten Zeilen läßt sich schließen, daß Plankton, da dem strömenden Wassers ausgeliefert, im allgemeinen sehr klein ist. Sein Durchmesser reicht von einigen *Mikrometern* bis zu wenigen *Millimetern*.

Andererseits gehören z.B. zu der Gruppe der *Algen* sowohl mikroskopisch kleine Einzeller als auch vielzellige Tangarten, deren Länge mehrere Meter betragen kann. Bei den *Krebstieren* gibt es Arten, deren Größe im Bereich von Millimetern bis zu fast einem halben Meter reicht.

Es ist demnach nicht möglich, dem Begriff „Plankton“ bestimmte Pflanzen- bzw. Tiergattungen vollständig zuzuordnen. An dieser Stelle sollen darunter nur diejenigen Vertreter verstanden werden, die mit dem bloßen Auge nur schwer oder gar nicht zu erkennen sind.

Üblicherweise wird Plankton, unabhängig davon, ob es sich um Einzeller oder Mehrzeller handelt, in **Phytoplankton**, **Zooplankton** und **Bakterien** eingeteilt. Jede dieser Formen wird je nach Notwendigkeit in einzelne *Stämme*, diese wiederum in differenzierte *Klassen* bis hinunter zu einzelnen *Arten* unterteilt. Daraus ergibt sich eine fast unübersehbare Anzahl verschiedener Organismen.\*

**Bakterien** sind Einzeller und nur wenige Mikrometer groß. Mit einem normalen Mikroskop sind sie daher nur sichtbar, wenn sie sich zu mehreren zusammenlagern, z.B. aus stäbchenförmigen *Spirillen* oder kugelförmigen *Kokken*. Trotz ihrer geringen Abmessungen und einfachen Struktur ermöglichen Bakterien durch ihren Stoffwechsel chemische Reaktionen, zu denen kein höherer Organismus fähig ist, auch nicht die chemische Industrie:

Bakterien verarbeiten abgestorbene pflanzliche und tierische Organismen sowie eine Vielzahl von zivilisationsbedingten organischen Abfallstoffen zu anorganischen Produkten. Sie sind verantwortlich sowohl für die *Selbstreinigung* als auch für das „Umkippen“ von Gewässern, je nach dem, ob dieses sauerstoffreich oder sauerstoffarm ist. Im ersten Fall werden die organischen Stoffe unter Verbrauch des im Wasser gelösten Sauerstoffs u.a. zu *Kohlendioxid*, *Nitrat* und *Sulfat* umgesetzt, im zweiten entsprechend zu *Methan*, *Ammoniak* und *Schwefelwasserstoff*.\*\*

\* Eine sehr gute Übersicht, wenn auch nur für Süßwasser, gibt das Bestimmungsbuch von H. Streble, D. Krauter, *Das Leben im Wassertropfen*, Stuttgart 1985.

\*\* s. Kap. *Biochemische Aktivität des Wassers - Bestimmung von gelöstem Sauerstoff*, S. 38

**Phytoplankton** setzt sich nach STREBLE/KRAUTER aus verschiedenen, in Klassen unterteilten Stämmen von *Algen* zusammen, die sowohl einzeln als auch in Form von Kolonien auftreten. Einzeller sehen oft aus wie entsprechendes Zooplankton und können daher leicht mit diesem verwechselt werden. So zählt z.B. das Meeresleucht-*tierchen* entgegen seiner Bezeichnung zu den Algen. Das entscheidende Kriterium für die Zuordnung zu den Algen ist das Vorhandensein von *Chlorophyll* und, damit verbunden, die Fähigkeit zur *Photosynthese*.

Neben dem sehr artenreichen Stamm der *Grünalgen*, deren Bezeichnung auf den hohen Chlorophyllgehalt zurückzuführen ist, gibt es z.B. *Blualgen*, sowie die für das Meerwasser typischen *Rotalgen* und *Braunalgen*, deren Aussehen entweder durch das Fehlen bestimmter Bestandteile des Chlorophylls oder durch zusätzliche Farbstoffe gekennzeichnet ist. Blualgen sind wie Bakterien sehr klein und nur in Verbänden erkennbar. Die anderen Algenarten können dagegen sehr groß sein. Zur Gruppe der Braunalgen gehören z.B. die verschiedenen Arten des Tangs.

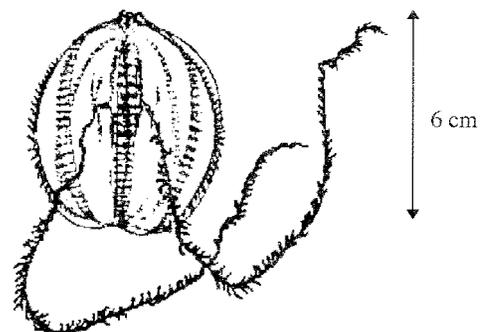
Eine besondere und in vielen Variationen auftretende Klasse stellen die zum Stamm der *Gelbalgen* gehörenden *Kieselalgen (Diatomeen)* dar. Ihre Zellwände bestehen aus Kieselsäure und verleihen ihnen dadurch eine starre Form, die sie im Unterschied zu anderen Algenarten praktisch unbeweglich macht.

**Zooplankton** umfaßt Vertreter mehrerer Stämme. Die wichtigsten Bewohner des Meerwassers sind einzellige *Urtiere (Protozoen)*, *Schlauchwürmer* und *Gliederfüßer*. Sie sind in zahlreiche Klassen unterteilt. Zu den Gliederfüßern gehören z.B. Kleinkrebse und Spinnentiere.

## Plankton und Wassergüte

Die Zusammensetzung des Planktons in einer Wasserprobe gibt nach Art und Häufigkeit oft Aufschluß über den jeweiligen Zustand des Wassers. So weist z.B. ein vermehrtes Auftreten von Bakterien und Blualgen auf *nährstoffreiches* Wasser hin.

Ein weiterer Indikator für die Wasserqualität resultiert z.B. aus dem wechselseitigen Räuber-Beute-Verhalten zwischen *Rippenqualle* und planktischem *Ruderfußkrebs*. Ausgewachsene Rippenquallen (s. *Abb.*) fressen kleine Ruderfußkrebse, ausgewachsene Ruderfußkrebse ihrerseits fressen neben *Kieselalgen* und *Meeresleucht-tierchen* auch kleine Rippenquallen. Im Normalfall stellt sich demnach ein gewisses biologisches Gleichgewicht ein.



Eine verstärkte *Verschmutzung* des Wassers hingegen behindert das Wachstum von Ruderfußkrebsen, was dazu führt, daß deren Population zugunsten der Rippenquallen drastisch zurückgeht. Dadurch wächst naturgemäß auch die Häufigkeit von Kieselalgen und Meeresleucht-tierchen, die nun einen Feind weniger haben.

Belastetes Meerwasser ist daher unter anderem gekennzeichnet durch massenhaftes Auftreten von Kieselalgen und Meeresleuchttierchen, die nach ihrem Absterben auf dem Wattenboden einen rotbraunen Belag, die sog. „rote Tide“ bilden. Auch das häufig wahrzunehmende nächtliche grüne Leuchten des Wassers beruht auf dieser hohen Population sowohl an Meeresleuchttierchen als auch an Rippenquallen und weist damit auf eine erhöhte Verschmutzung des Wassers hin.

Die mikroskopische Untersuchung vom Wasser des Wattenmeers ist besonders sinnvoll und aufschlußreich in Verbindung mit einer *chemischen Analyse* zur Bestimmung des Sauerstoff- und Nährstoffgehalts.

## Durchführung Planktonuntersuchung

### Geräte und Reagenzien

Planktonnetz mit Auffangflasche  
Tropfpipette

Mikroskop, möglichst binokular  
Objektträger und Deckgläschen

Zeichenblock, Bleistift  
Zusatztubus zum Fotografieren  
Bestimmungsbuch

Eosinlösung  
Chloroform



### Bestimmung

Gleichzeitig zur Probennahme für die chemische Analyse wird mit dem Planktonnetz eine Planktonprobe genommen und möglichst umgehend untersucht. Dazu entnimmt man der Probenflasche mit Hilfe der Pipette einen Wassertropfen, überträgt ihn auf den Objektträger des Mikroskops und bedeckt ihn mit einem Deckgläschen, um die Mikroorganismen in ihrer Bewegungsfreiheit einzuschränken und somit besser beobachten zu können.

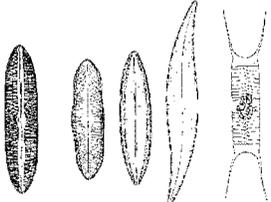
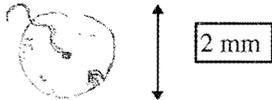
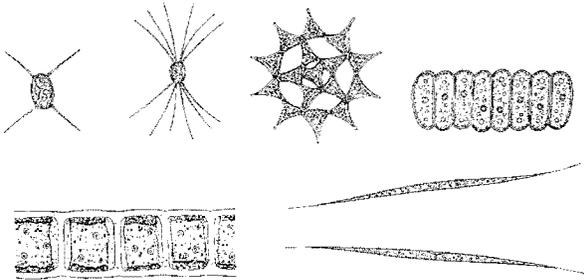
Kontrastarme Organismen werden mit etwas Eosinlösung eingefärbt, solche, die sich durch zu rasche Bewegung einer gesicherten Beobachtung entziehen, mit einer minimalen Menge Chloroform betäubt.

Die einzelnen Planktonarten werden gezählt und bestimmt. Falls es die künstlerischen Fähigkeiten des Beobachtenden zulassen, sollten von den eingefangenen Organismen Zeichnungen angefertigt werden. Als Alternative bieten sich fotografische Aufnahmen mit Hilfe eines geeigneten Makroaufsatzes an.

\* s. Kap. *Biochemische Aktivität des Wassers - Bestimmung von gelöstem Sauerstoff*, S. 38 und Kap. *Eutrophierung des Wassers - Bestimmung des Nährstoffgehalts*, S. 50

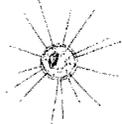
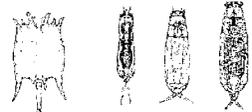
## Phytoplankton (Muster)

Kopiervorlage

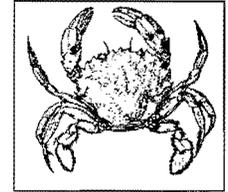
Stamm	Klasse	Kommentar
Blualgen		Einzeller, nur wenige Mikrometer groß, haben keinen echten Zellkern, lagern sich zu fadenförmigen Aggregaten zusammen. Kennzeichnend ist die blaugrüne Färbung, große Population deutet auf hohe Belastung des Wassers hin.
Gelbalgen	Goldalgen	einzelnen sehr klein, lagern sich bei ungünstigen Umweltbedingungen zusammen, marine Vertreter sind <i>Kalk-</i> und <i>Kieselalgen</i> .
	Kieselalgen (Diatomeen)	sehr viele Formen, Zellwände bestehen aus <i>Kieselsäure</i> , daher praktisch unbeweglich. 
Augenflagellaten		einzellige Algen, meist langgestreckt mit <i>Geißeln</i> , typisch der lichtempfindliche Augenfleck, werden daher leicht mit entsprechendem Zooplankton verwechselt.
Dinoflagellaten		Algen mit <i>Geißeln</i> , jedoch runde Form, kein Augenfleck.  <i>Meeresleucht „tierchen“</i>
Grünalgen		sehr artenreich, ein- bis mehrzellig, bilden teilweise kugelförmige oder fadenförmige <i>Kolonien</i> , charakteristisch ist die grüne Färbung durch Chlorophyll. 
Rotalgen		typische Meeresbewohner, können im Unterschied zu anderen Algen auch im tiefen, lichtarmen Wasser noch assimilieren.
Braunalgen		typische Meeresbewohner an der Wasseroberfläche, größere Arten sind die <i>Tange</i> .

## Zooplankton (Muster)

Kopiervorlage

Stamm	Klasse	Kommentar
Urtiere (Protozoen)	Geißeltierchen (Zooflagellaten)	Plankton, das Geißeln, aber <i>kein</i> Chlorophyll besitzt. 
	Strahlenfüßer (Sonnentierchen)	kugelige Räuber mit strahlenförmigen Scheinfüßchen, deren Spitzen giftig wirken. 
	Wimpertiere (Ciliaten)	meist längliche Tiere mit vielen Arten, deren Zellkörper mit einer Vielzahl von Wimpern umgeben ist. 
Schlauchwürmer	Rädertiere	tragen Wimpern an der Mundöffnung, mit deren Hilfe Nahrung aufgenommen wird. 
	Bauchhärlinge	„stachelig“ behaart mit stachelartigen Zehenfortsätzen. 
	Fadenwürmer (Nematoden)	auffällig durch ständig lebhaftere und schlängelnde Bewegung. 
Gliederfüßer	Blattfußkrebse	manchmal als Wasserflöhe bezeichnet, jedoch nicht mit Flöhen verwandt. 
	Ruderfußkrebse (Hüpferlinge)	typisches Kennzeichen sind 2 gepaarte Antennen am Kopf und die hüpfenden Bewegungen. 
	Spinnentiere (z.B. Milben)	kennzeichnend sind die für Spinnen typischen acht Beine. 

## Auf dem Wattboden - Meerestiere



### Grundlage

Das Wattenmeer ist aufgrund seines hohen Gehalts an Nährstoffen sehr reich an Meerestieren, die optimal an die ständig wechselnden Bedingungen von Ebbe und Flut angepaßt sind. Einige sind in folgender Übersicht zusammengestellt:

Stamm	Klassen, Ordnungen bzw. Beispiele
Nesseltiere	Quallen
Ringelwürmer	z.B. Wattwurm (Pierwurm), Bäumchenröhrenwurm
Weichtiere	Schnecken z.B. Wattschnecke, Wellhornschnecke Muscheln z.B. Miesmuschel, Herzmuschel
Gliederfüßer	Krebse z.B. Strandkrabbe, Schlickkrebse
Stachelhäuter	z.B. Seesterne, Seeigel
Wirbeltiere	Fische z.B. Scholle Säugetiere (Seehund, als einziger Vertreter)

Auffallend ist nicht so sehr die *Vielfalt* der Arten, sondern vielmehr die *Häufigkeit*, mit der einige Arten auftreten. So erreichen zwar z.B. die für das Watt charakteristischen *Pierwürmer* nur eine Dichte bis zu 30 Individuen/m<sup>2</sup>, die ebenso typischen *Schlickkrebse* jedoch eine Population von 400.000 Individuen/m<sup>2</sup>, ganz zu schweigen von dem vielfältigen *Zooplankton*, dessen Dichte etwa 2,5 Millionen/m<sup>2</sup> beträgt.

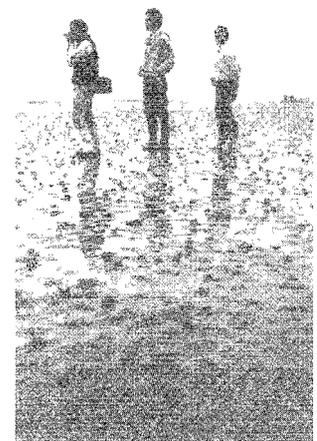
Die verschiedenen Tierarten zeigen hinsichtlich des ständigen Kommens und Gehens der Wassermassen unterschiedliche Verhaltensweisen:

- Manche Tiere flüchten bei Niedrigwasser in die Priele, z.B. Krebse und Fische.
- Manche Tiere vergraben sich bei Ebbe im Wattboden, z.B. die Wattschnecke.
- Manche Tiere leben ständig im Wattboden, z.B. der Wattwurm und praktisch alle Muscheln. Sie benötigen daher zur Atmung eine Verbindung zum Wasser.
- Manche Tiere schließen sich ein und warten auf die Flut, z.B. Miesmuscheln.
- Manche Tiere lassen sich vom Wasser treiben, z.B. Plankton und Quallen.

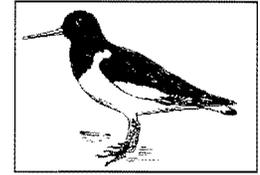
### Erkundung

Nach im Wattenboden lebenden Tieren wird mit einer Schaufel vorsichtig gegraben. Man beschränke sich bei der Entnahme auf eine kleine Zahl, denn die Tiere sind außerhalb ihres Biotops nicht lebensfähig.

Kleinere Tiere, z.B. Strandkrabben, Garnelen und Muscheln werden mit viel Wasser in einer größeren Schale als „Aquarium“ an Bord aufbewahrt, um ihr Verhalten über einige Tage beobachten zu können. Das Wasser muß mehrmals täglich gewechselt werden.



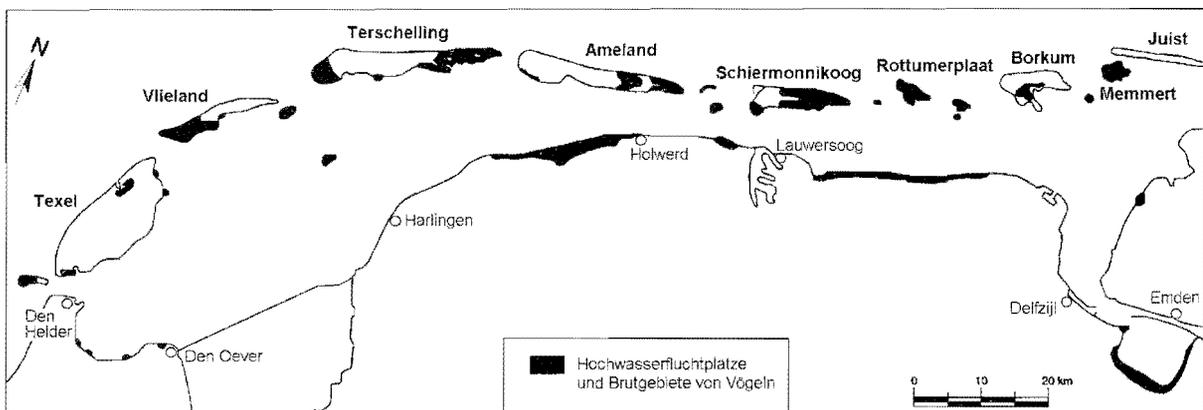
## Durchs Fernglas - Vögel



### Grundlage

Jedes Jahr bevölkern 6-9 Mio. Vögel von ca. 100 verschiedenen Arten das Watt, deren Einzugsbereich von der Arktis bis Südafrika, von Alaska bis Sibirien reicht.

Für etwa 50 Arten (ca. 3 Mio. Exemplare) dient das Watt auf ihrem Zug von Norden nach Süden lediglich als vorübergehender *Rast-* und *Ruheplatz*. Einige Vogelarten, z.B. Brandgänse und Eiderenten führen während dieser Zeit ihre *Mauser* durch. Etwa 25 seßhafte Arten nutzen obere Salzwiesen, Sandstrand oder Dünen als hochwassersichere *Brutplätze*.



Was bringt so viele Vögel aus aller Welt dazu, sich auf einem so kleinen Areal zusammenzudrängen? Einzig und allein das im Überfluß vorhandene Fressen an tierischer und pflanzlicher Nahrung.

Die meisten Vögel ernähren sich von Würmern, Krebsen, Schnecken und Muscheln und warten daher auf den trockengefallenen Wattboden bei Niedrigwasser. Küstenseeschwalben und Eiderenten hingegen ertauchen sich ihre Nahrung aus dem Wasser des Sublitorals. Die wenigen Vegetarier, z.B. Ringelgänse, holen sich ihre pflanzliche Nahrung aus den Salzwiesen.

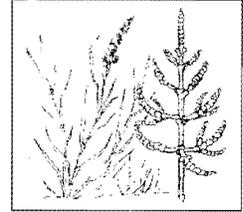
Ein Eingriff in die Struktur des Wattenmeers beeinträchtigt somit den Bestand der Vögel in einem weltweiten Ausmaß: Ungezügelter *Tourismus* sowie *Industrie*, z.B. die Ölförderung bei der Vogelinsel Trieschen, stören die Vögel beim Fressen, Brüten und Rasten und versetzen sie in Streß. Zunehmende *Wasserverschmutzung* vergiftet ihre Nahrung. Der Verlust von Salzwiesen durch *Eindeichung* und *Landgewinnung* beraubt sie ihrer Brut- und Futterplätze.

### Erkundung

Vögel sind bekanntlich sehr scheu. Deshalb muß bei der Erkundung grundsätzlich ein *Sicherheitsabstand* von mindestens **500 m** eingehalten werden. Die Beobachtung und Identifizierung sollte daher nur mit einem *Fernglas* erfolgen.

# Am Wattsaum - Halophyten

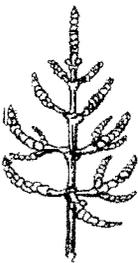
## Grundlage



### Ein Leben mit dem Salz

Im Bereich des *Supralitorals* wachsen Pflanzenarten, sog. *Halophyten*, die man sonst nirgendwo findet. Die von ihnen gebildeten *Salzwiesen* umfassen 2,5% des Watts und sind im Schnitt 110 m breit. Dieses Gebiet hat wegen des nährstoffreichen Bodens die höchste Produktion an Biomasse im Wattenmeer, vergleichbar mit der Produktivität eines Wirtschaftsgrünlandes.

Das ausschließliche Auftreten dieser Pflanzenarten am Wattsaum hat einen einfachen Grund. Hier haben sie eine Chance, sich gegen allen anderen Pflanzen durchzusetzen und zu überleben, weil nur sie in der Lage sind, salzhaltiges Wasser aufzunehmen: Die in den Pflanzenzellen enthaltene wäßrigen Lösungen haben nach dem Prinzip der *Osmose* das Bestreben, sich zu verdünnen. Dadurch wird eine Pflanze in die Lage versetzt, das für ihre Ernährung notwendige Wasser von außen *aufzunehmen*. Wird jedoch eine normale Pflanze in Salzwasser gestellt, verdurstet sie, weil ihr vom höherkonzentrierten Salzwasser das Zellwasser *entzogen* wird.



Pflanzen der Salzwiese können jedoch in ihren Zellen Salz speichern. Weil dort dessen Konzentration *höher* ist als im Meerwasser, vermögen die Halophyten sogar Salzwasser aufnehmen, allerdings auch nur bis zu einem bestimmten Grad. Der *Queller* (Abb.), dessen Umgebung besonders salzhaltig ist, hat ähnlich wie Wüstenpflanzen so kleine Blätter, daß sie praktisch nicht mehr als solche zu erkennen sind. Auf diese Weise verliert die Pflanze nur wenig Wasser und braucht dementsprechend auch wenig.

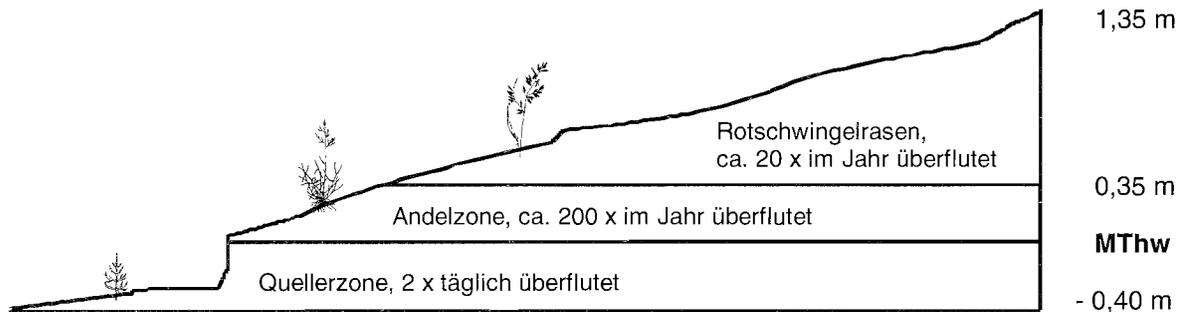
Irgendwann sind jedoch auch Halophyten nicht mehr in der Lage, Salzwasser aufzunehmen. Der Queller stirbt im Herbst ab, ist also nur einjährig, andere Pflanzen werfen periodisch ihre versalzene Blätter ab, wieder andere „schwitzen“ das gespeicherte Salz aus.

Halophyten sind zwar aus Gründen des Selbstschutzes auf das Salz angewiesen, sie sind jedoch auch noch nach eintretendem Salzverlust, z.B. nach Eindeichungen, lebensfähig. Dann allerdings werden sie nach einiger Zeit von Süßpflanzen, die stärkeres Wachstum haben, überwuchert und verdrängt.

### Struktur der Salzwiese

Salzwiesen entstehen durch ständiges Anschwemmen von Schlick. Dabei wird der Boden so lange aufgeschichtet, bis sich das Niveau oberhalb der Linie des *mittleren Tidenhochwassers* (Mthw) befindet und daher nicht mehr ständig überflutet wird. Gleichzeitig bilden sich an bestehenden Salzwiesen durch ständige Erosion des einwirkenden Meerwassers Abbruchkanten, die einmal angeschwemmten Boden wieder dem Land entreißen.

Die Salzwiese wird in drei Zonen unterteilt, wobei der Salzgehalt im Boden der einzelnen Zonen um so höher ist, je häufiger und länger die Überflutung durch das Meerwasser erfolgt:



- Die *Quellerzone* liegt noch im Eulitoral und wird daher im Wechsel der Gezeiten ständig überflutet. Nur der *Queller* und das sich immer mehr ausbreitende *Schlickgras* sind in der Lage, diesen extremen Bedingungen standzuhalten.
- Die *Andelzone* (untere Salzwiese), benannt nach einer dort häufig vorzufindenden Pflanze, wird nur bei Springfluten überflutet und ist daher schon deutlich artenreicher. Ein Teil des im Boden gespeicherten Wassers stammt aus Niederschlägen.
- Der *Rotschwingelrasen* (obere Salzwiese) ist im allgemeinen nur bei den Springfluten während der Herbst- und Winterstürme überflutet und daher wenig salzhaltig. Die dort sehr artenreich wachsenden Pflanzen beziehen einen Großteil ihres Wassers aus Niederschlägen.

Oberhalb der genannten Zonen, in der *Süßwiese*, ist praktisch kein Salzgehalt mehr vorhanden, da dorthin auch bei hohen Springfluten kein Wasser gelangt.

### Bedeutung der Salzwiese

Die Salzwiese ist ein nicht zu ersetzender Brut- und Rastplatz für Vögel, gleichzeitig ist sie Lebensraum für bestimmte Wirbellose (z.B. Käfer, Spinnen, Schmetterlinge), die auf die Salzpflanzen spezialisiert sind. Nicht zuletzt sind sie Wellenbrecher gegen anstürmende Fluten.

Viele Salzwiesen sind durch Vordeichung und Landgewinnung bereits verlorengegangen, weidende Schaf- und Rinderherden haben die meist sehr störungsanfälligen Arten an vielen Orten auf wenige Exemplare reduziert. Die Bezeichnungen „Andelzone“ und „Rotschwingelrasen“ besagen, daß in diesen Zonen häufig nur noch diese robusteren Salzpflanzen aufzufinden sind.

### Erkundung

Die meisten Pflanzen der inzwischen stark dezimierten Salzwiesen stehen unter Naturschutz. Eine Erkundung mit Hilfe eines Bestimmungsbuchs kann demnach nur in sicherer Entfernung stattfinden. Auch dabei lassen sich die Pflanzen, vor allem durch ihre Blütenfarbe, identifizieren. Nur Queller und Schlickgras kommen im allgemeinen noch so häufig vor, daß einzelne Exemplare bei Niedrigwasser von See aus gesammelt und ggf. näher untersucht werden können.

## Über Land - Exkursionen



### Mit dem Fahrrad

Das Leben auf dem Schiff und im Wattenmeer ist abwechslungsreich. Dennoch sollte man nicht versäumen, nach dem Festmachen in den Häfen des Festlands und der Inseln im Wattenmeer auch das Hinterland zu erkunden.

Vor allem die Inseln bieten dazu eine Reihe von Möglichkeiten. Dazu benutzt man am besten ein *Fahrrad*, das man auch in größeren Gruppen auf praktisch jeder Insel mieten kann. Hier nur einige Empfehlungen:

- Fahrt durch den *Nationalpark* auf der Insel *Schiermonnikoog*. Auf vier verschiedenen und markierten Wegen lernt man die unterschiedlichen Landschaftstypen dieser Wattenmeerinsel kennen.
- Fahrt zur *Seeseite* der Insel *Terschelling*. Diese Exkursion hat mehrere Wegvarianten und führt u.a. durch ausgedehnte Wälder zu einem breiten Sandstrand, der bei geeigneter Witterung zum Baden einlädt. Hier kann man auch den grundlegenden Unterschied zur Küste auf der *Wattenseite* feststellen.



- Auf der Seeseite der Inseln findet man häufig auch Belege für die Schattenseiten der Zivilisation: *Müll*, der an der gesamten Küste angeschwemmt wird.



Hier bietet sich an, mit den Teilnehmern der Kursfahrt eine Diskussion über die zunehmende Umweltproblematik durch das sorglose „Entsorgen“ zu führen. Falls es die Umstände erlauben, sollte man dazu anregen, das Strandgut aufzunehmen und in einen ordnungsgemäßen Abfallbehälter zu werfen.

## Museen

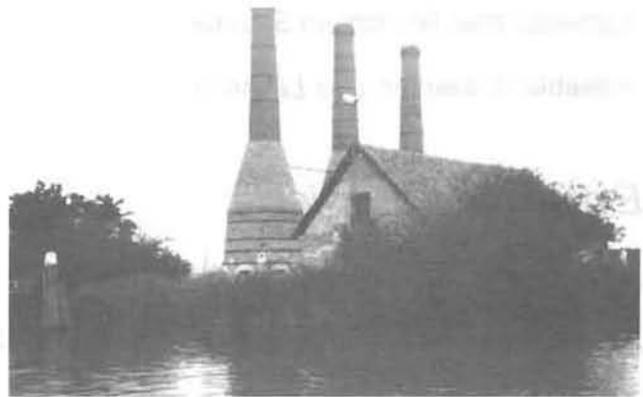
Auf den meisten Inseln des Wattenmeers gibt es Museen, die über die Situation dieses Gebiets berichten. Hier erfährt man etwas über die Geschichte, vor allem aber über die ökologischen Probleme des Wattenmeers. Unbedingt zu empfehlen ist der Besuch des Museums *ExpoZee* in Lauwersoog, wo man zum Thema - auf Wunsch auch in deutscher Sprache - den besten Überblick erhält.



**ExpoZee**, Strandweg 1, 9976 VS Lauwersoog  
 Tel. 05193-49045  
 Öffnungszeiten: 1.4. bis 31.10.  
 Di bis Fr: 10-17 Uhr, Sa, So: 14-17 Uhr  
 für Gruppen nach vorheriger Absprache

Falls ein Abstecher in das *Ijsselmeer* durchgeführt wird, sollte man nicht versäumen, in *Enkhuizen* das *Freiluftmuseum* besuchen, wo auf einem großen Areal ein historisches Dorf mit verschiedenen Handwerksbetrieben nachgebaut wurde.

*Enkhuizen, hist. Ziegelbrennofen*



## Schiffahrt durchs Land

Neben dem Ijsselmeer gibt es noch ein weiteres Gebiet, das früher ein Teil des Wattenmeers war, durch Eindeichung jetzt aber zum Binnengewässer geworden ist: das *Lauwersmeer*. Hier kann man sehr gut den Übergang vom Salzwasserbiotop zum Süßwasserbiotop studieren.



In der Nähe der Schleuse zum Wattenmeer herrscht eine Vegetation, die zwar noch Eigenschaften einer Salzwiese erkennen läßt, in der sich jedoch bereits eindeutig die Süßwasserpflanzen durchsetzen.

Eine Fahrt von der Schleuse bei Lauwersoog nach Süden in Richtung der ehemaligen Schleuse zum Festland bei *Dokkum* führt durch ein von dichtem Schilf bewachsenes Gebiet, in dem sich viele Vogelarten aufhalten, die

man sonst in dieser Zusammensetzung nirgendwo findet: Eine Fundgrube für Ornithologen!

## Literatur

### *Bestimmungsbücher*

W.DeHaas, F.Knorr, *Was lebt im Meer an Europas Küsten ?*, Zürich, Stuttgart, Wien 1990

G.Drebes, *Marines Phytoplankton*, Stuttgart 1974

J.Fraser, *Treibende Welt*, Berlin 1965

K.Janke, B.P.Kremer, *Das Watt, Lebensraum, Tiere und Pflanzen*, Stuttgart 1990

P.Pankow, *Algenflora der Ostsee II: Plankton*, Frankfurt 1976

H.Streble, *Was find ich am Strande ?*, Stuttgart 1987

H.Streble, D.Krauter, *Das Leben im Wassertropfen*, Stuttgart 1985

### *Exkursionen, Projekte*

Aktionskonferenz Nordsee [Hrsg.], *Wattenmeer und Nordsee*, Göttingen, Lichtenau 1989

*Biologieunterricht im Freiland, Das Wattenmeer*, NiU Biologie **30**, Heft 5, 1982

„De Centrale“ [Hrsg.], *Schiermonnikoog: Naturpfade, Nationaler Park*, o.J.

Emschermann u.a. [Hrsg.], *Meeresbiologische Exkursion*, Frankfurt 1992

Landesinstitut Schleswig-Holstein für Praxis und Theorie der Schule [Hrsg.], *Erlebnis Wattenmeer*, Kiel 1993

### *Grundlagen, Sonstiges*

B.Heydemann, J. Müller-Karch, *Wattenmeer: Bedeutung, Gefährdung, Schutz*, Bonn 1981

Th.Höpner, *Der ökologische Zustand der Nordsee*, ChiuZ **23** (1989), Heft 1, S. 1ff

Landelijke Vereniging tot Behoud van de Waddenzee [Hrsg.], *Wattenmeer: Feuchtgebiet ohnegleichen*, Harlingen 1989

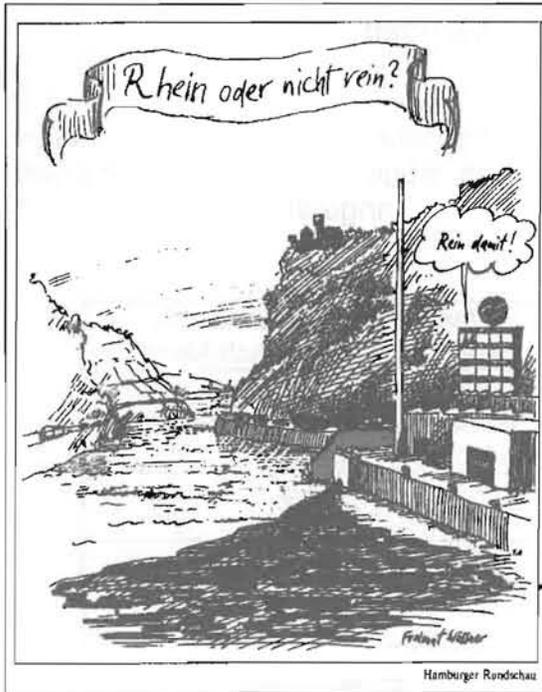
Landelijke Vereniging tot Behoud van de Waddenzee [Hrsg.], *Rettet das Wattenmeer*, Harlingen 1983

Landesamt für den Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer [Hrsg.], *Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer*, Tönning 1989

Ministerie van verkeer en waterstaat [Hrsg.], *Wadatlas*, Amsterdam 1989

H.-E. Reineck [Hrsg.], *Das Watt, Ablagerungs- und Lebensraum*, Frankfurt/Main 1978

# Messen



Dem Reinen ...

... ist alles Rhein



... aber nicht jeder glaubt daran



## Warum wird gemessen ?

Das Wattenmeer ist zusammen mit der Nordsee ein Teil des Atlantischen Ozeans. Das Wasser der Ozeane (Atlantik, Indischer Ozean, Pazifik) hat im Durchschnitt einen Salzgehalt von ca. **35 g/kg** (= 3,5 %). Dieser Wert bezieht sich auf *alle* im Meerwasser enthaltenen Ionen.

Für eine *Meerwasseranalyse* sind im allgemeinen nur diejenigen Eigenschaften von Bedeutung, die durch zivilisatorische Einflüsse möglicherweise verändert werden. Die wichtigsten sind in der nachfolgenden Übersicht angeführt:

<b>Sinnenprüfung</b>	Aussehen Geruch	farblos klar bis leicht trüb geruchlos bzw. „nach Meer“
<b>pH-Wert</b>		8,1 - 8,2
<b>gelöster Sauerstoff</b>		an der Oberfläche bis zur Sättigung
<b>Salinität</b>	Chlorid Sulfat	18,8 g/l 2,7 g/l
<b>Nährstoffe</b>	Hydrogencarbonat Silikat Ammonium Nitrit Nitrat Phosphat	0,14 g/l 6,6 mg/l 3 - 55 µg/l 0,5 µg/l - 0,1 mg/l 6,0 µg/l - 2,0 mg/l 0,1 - 0,5 mg/l
<b>Schwermetalle</b>	Eisen Chrom Zink Cadmium Blei	2 - 3 µg/l 0,3 µg/l 4,9 µg/l 0,1 µg/l 0,03 µg/l

Das Wattenmeer wird vor allem über die Flüsse *Elbe*, *Weser*, *Ems* und *Rhein* mit stark belastetem Wasser gespeist, das zum Teil große Mengen an Schwermetallverbindungen, Düngemitteln und anderen meist organischen Substanzen, z.B. aus kommunalen Abwässern, enthält. Dadurch ist deren Gehalt im Wasser des Wattenmeers an diesen Zuflüssen deutlich erhöht. Weiterhin werden nach wie vor große Mengen an *Klärschlamm* und *Baggergut* direkt per Schiff in das Wattenmeer verklappt. Nicht zu vernachlässigen ist auch der Eintrag von gasförmigen Stickstoffverbindungen über die *Atmosphäre*.

zugeführte Stoffe	Herkunft
Nitrat	Dünger (Landwirtschaft)
Nitrit	Zwischenprodukt (bakterieller Abbau von organischen Stoffen)
Ammonium, Ammoniak	Jauche (Landwirtschaft)
Phosphat	Fäkalien (Abwasser)
Sulfit	Bleichstoff (Papier- und Textilindustrie)
Schwermetalle	Abfall (Metallverhüttung)
Phenole	Rohstoffe (Pharma- und Farbenindustrie)



Besonders hoch ist der aus den Flüssen herangeführte Eintrag von *Phosphaten* und *Stickstoffverbindungen*. Dabei stammen ca. 90% der Phosphate aus kommunalen Abwässern und ca. 10% aus Düngemittelresten, während die Stickstoffverbindungen nur zu ca. 25% kommunaler Herkunft sind. Der Rest von 75% ist auf eine Ausschwemmung von Düngemitteln zurückzuführen.

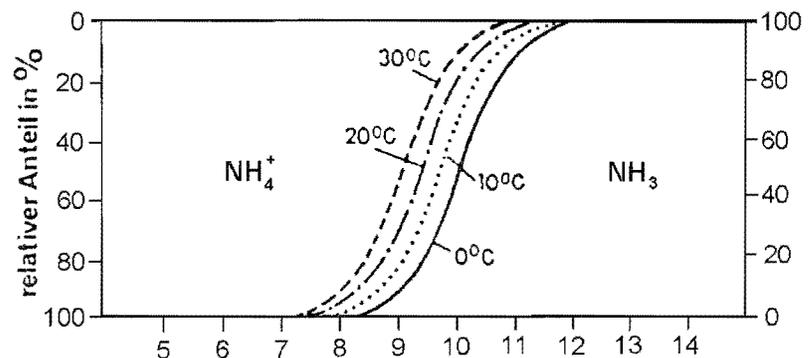
Die Folge der Überdüngung durch diese beiden Stoffe, die sog. *Eutrophierung*, ist ein vermehrtes Pflanzenwachstum, vor allem von Algen.

Der biochemische Abbau dieser Überproduktion erfordert große Mengen an Sauerstoff, der dann z.B. den Fischen für die Atmung fehlt. Eine mögliche Folge ist ein vermehrtes Fischsterben. Erinnert sei an das massenweise Auftreten der „Killeralgen“ im Jahre 1988, die entlang der Nordseeküste große Fischbestände hinwegrafften.

Ein besonderes Problem stellt eine erhöhte Konzentration an *Ammoniumionen* dar, die bei der bakteriellen Zersetzung von Eiweißstoffen entstehen. Wie die nachfolgende Graphik zeigt, wird das Gleichgewicht der Reaktion



bei dem pH-Wert des Meerwassers von 8,2 ein wenig auf die Seite von Ammoniak verschoben. Eine Zufuhr von Ammoniumverbindungen führt also zu einer Zunahme von Ammoniak, der schon bei relativ geringen Konzentrationen ein starkes Fischgift darstellt. So wirkt bereits ein Gehalt von 1 mg Ammoniak im Liter Wasser tödlich.

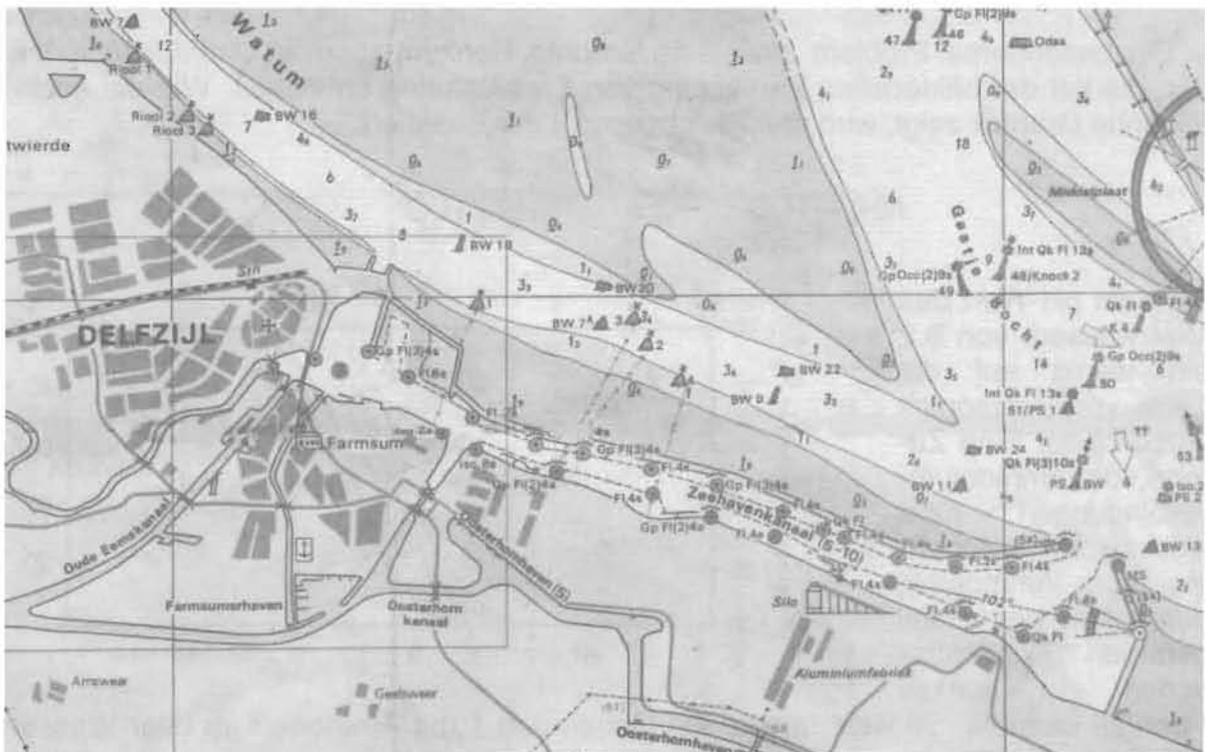


Außer einer erhöhten Konzentration an Nitrat- und Phosphationen im Meerwasser könnten möglicherweise auch die in neueren Waschmitteln anstelle von Phosphat eingesetzten *Zeolithe* zur Eutrophierung beitragen. Die in ihnen enthaltenen *Silikate* führen z.B. zu einer Vermehrung einer besonderen Algensorte des Phytoplanktons, nämlich der *Diatomeen*, die für ihren Zellaufbau *Silikat* benötigen.

Ziel der Meerwasseruntersuchungen ist eine Beurteilung, ob und wie weit sich die Qualität des Wassers vom „Normalzustand“ entfernt hat. Eine direkte Interpretation dieser Ergebnisse ist jedoch in den meisten Fällen nur eingeschränkt möglich:

- Das periodische Ab- und Zufließen großer Wassermassen im Wattenbereich bewirkt, daß analytische Ergebnisse an einem bestimmten Ort wenig aussagekräftig eben für diesen Ort sind.
- Da das Projekt nicht von einem festen Standort ausgeht, werden die Messungen an jedem Ort nur einmal durchgeführt und nicht über einen längeren Zeitraum wiederholt.

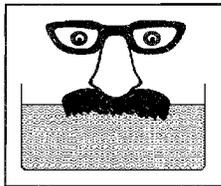
Die Meßergebnisse hängen also von vielen Bedingungen und Zufälligkeiten ab. Trotzdem gibt es innerhalb des Projektbereiches Orte, die auch eine Interpretation der Meßergebnisse zulassen. Es handelt sich um die vom eingedeichten Festland über Schleusen in das Wattenmeer fließenden *Siele* (holl. *Zijl*) und um relativ abgeschlossene Gebiete, wie z.B. das früher zum Wattenmeer gehörende, aber inzwischen eingedeichte *Lauwersmeer* sowie das Industriegebiet von *Delfzijl*, den Hauptstandort der niederländischen Chemieproduktion. Viele der dort ansässigen Fabriken liegen direkt am sog. *Zeehavenkanaal* und leiten dort meist ungeklärtes Abwasser ein.



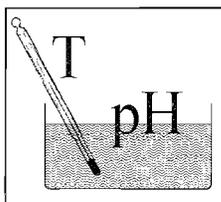
## Was wird gemessen ?

Das zentrale Meßobjekt ist das Wasser des Wattenmeers. Bedingt durch die Tatsache, daß man an Bord eines Schiffes meist keine aufwendigen Laboreinrichtungen mitnehmen kann, müssen die zu bestimmenden Parameter einerseits mit einfachen Mitteln zu bestimmen sein, andererseits auch eine aussagekräftige Information über den Zustand des Meerwassers liefern.

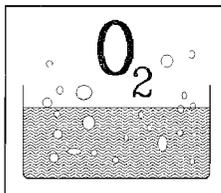
Unter Berücksichtigung der genannten Gegebenheiten wurden folgende Parameter ausgewählt:



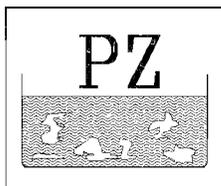
Stets zur Verfügung stehende und empfindliche Nachweisgeräte sind die Sinnesorgane *Auge*, *Nase* und *Zunge*. Mit ihnen wird das **Aussehen**, der **Geruch** und ggf. der **Geschmack** des Wassers überprüft.



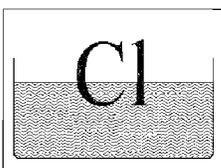
Mit einem *Thermometer* bzw. einem *pH-Meßgerät* werden die wichtigsten physikalischen Eigenschaften des Meerwassers, **Temperatur** und **pH-Wert**, gemessen.



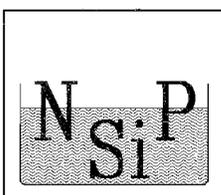
Mit Hilfe der *iodometrischen Titration* nach WINKLER wird die Konzentration des im Meerwasser **gelösten Sauerstoffs** bestimmt. Die zeitliche Veränderung dieses Sauerstoffgehalts gibt eine Information über die **biochemische Aktivität** des Meerwassers.



Mit einem *Photometer* wird die **Permanganatzahl** ermittelt. Sie gibt Auskunft über das Ausmaß der **Verschmutzung** des Wassers, hervorgerufen durch oxidierbare, vor allem organische Stoffe.



Mit Hilfe der *argentometrischen Titration* nach MOHR-WINKLER wird der **Salzgehalt** des Meerwassers bestimmt. Er ist im allgemeinen konstant bei ca. 18,8 g Chlorid/Liter, in der Umgebung von Süßwasserzuflüssen jedoch geringer.



Mit einem *Photometer* werden die Ionenkonzentrationen von **Nitrat**, **Nitrit**, **Ammonium** und **Phosphat** gemessen. Die Ergebnisse geben einen Hinweis auf den **Nährstoffgehalt** des Meerwassers, der das Pflanzenwachstum beeinflusst.

## Womit wird gemessen ?

Ein Schiff ist nicht der Ort, an dem man eine umfangreiche Laboreinrichtung oder mechanisch empfindliche Geräte unterbringen kann; auch der sichere Transport solcher Apparaturen per Bus oder Bahn ist technisch schwer durchführbar. Darüber hinaus sind die finanziellen Möglichkeiten einer Schule in zunehmendem Maße eingeschränkt.

Diesen beiden Gesichtspunkten muß bei der Planung und Durchführung des Meßprogramms Rechnung getragen werden:

- Die *Geräte* sind funktional gewählt, d.h. sie sind einfach genug, um leicht transportiert werden zu können und genau genug, um aussagekräftige Ergebnisse zu liefern.
- Die *Reagenzien* müssen im voraus angefertigt werden. Mit einer Ausnahme wird nicht auf Fertignachweise zurückgegriffen, die zum einen für Meerwasser häufig nicht geeignet und zum andern zu kostspielig sind.

### Arbeitsgeräte

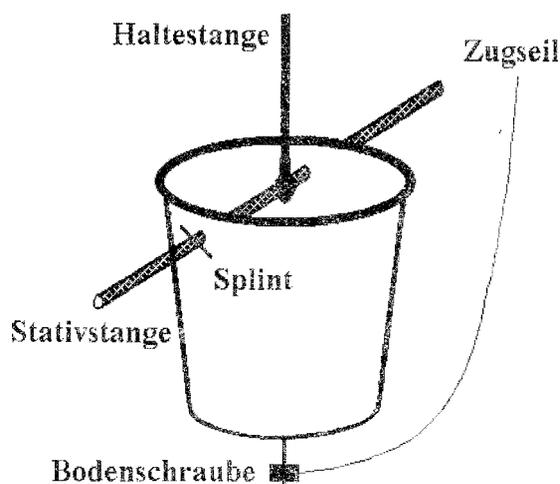
Für die *Probennahme* dient ein *Entnahmegesäß*, das mit einfachen Mitteln selbst hergestellt werden kann:

Das Gerät besteht aus einem 10-Liter-Kunststoffeimer, der mit Hilfe des Zugseils um die durchgebohrte Stativstange schwenkbar ist. Die Bodenschraube besteht aus einer ungefähr 10 cm langen Gewindestange, die mit 2 Muttern in einer Bohrung am Eimerboden befestigt ist. Zur Vermeidung von Korrosion sind diese Teile aus Messing.

Die Haltestange ist eine Anordnung von mehreren Stativstangen, die durch drehbare Muffen miteinander verbunden sind. Auf diese Weise kann die Haltestange je nach Entfernung zwischen Entnahmeort und Wasseroberfläche beliebig verlängert und anschließend über die Muffen zusammengelegt werden. Als Verbindung zwischen Haltestange und Eimer dient eine passende Stativklammer.

Das vorgestellte Entnahmegesäß gestattet eine Probennahme auch während der Fahrt, ohne daß der Eimer unkontrollierbare Bewegungen im Wasser macht.

Die *Wasserproben* werden in *1-Liter-PE-Flaschen* aufbewahrt. Es ist sinnvoll, eine ausreichende Menge davon (ca. 10 Stück) mitzunehmen.



Zur Aufnahme *flüssiger Reagenzien* dienen im allgemeinen *100ml-PE-Flaschen* mit Schraubdeckel, manchmal müssen je nach Menge der benötigten Reagenzien-vorräte größere Flaschen gewählt werden.

*Feste Reagenzien* werden am besten in *schwarze Filmdosen* abgefüllt, da diese luft- und lichtdicht verschlossen werden können.

Das in größeren Mengen benötigte *destillierte Wasser* wird am besten in nachfüllbaren *5-Liter-PE-Flaschen* gekauft.

Als *Reaktionsgefäße* eignen sich *100ml-Erlenmeyerkolben* bzw. *Reagenzgläser*. Sie sind zwar nicht absolut bruchstabil, können jedoch in Originalverpackungen meist sicher transportiert werden.

Der für den *Nitratnachweis* erforderliche *Reduktor\** wird in eine *Chromatographiersäule* gefüllt. Da dieses Gerät aus Glas und damit sehr bruchgefährdet ist, wird es für den Transport in einer gut gepolsterten Papprolle aufbewahrt.

## Meßgeräte

Zum *Abmessen und Dosieren* von Wasserproben und Reagenzien haben sich *Kunststoff-Spritzen* verschiedener Größe bewährt. Sie sind hinreichend genau und für wenig Geld käuflich zu erwerben.

Zum *Titrieren* werden anstelle von bruchgefährdeten Büretten *Meßpipetten* in Kombination mit einem *Peleusball* verwendet.

Empfehlenswert ist die Mitnahme eines *Photometers*. Falls ein solches nicht zur Verfügung steht, muß bei Nachweisreaktionen von Ammonium, Nitrat/Nitrit, Phosphat und Permanganatzahl auf die Meßmethode der *Kolorimetrie* zurückgegriffen werden. Es gibt batteriebetriebene Geräte (z.B. von den Firmen LANGE, MAEY und WINDAUS) sowie netzbetriebene, die zwar teurer in der Anschaffung, jedoch auch universeller sind. Ihre Verwendung setzt allerdings voraus, daß an Bord des Schiffes eine Versorgung mit Netzspannung möglich ist.

Hersteller	Typenbezeichnung	Betriebsart	benötigte Filter
Dr. Bruno Lange GmbH, Königsweg 10, 14163 Berlin	Pocket-Photometer <i>LASA® Aqua</i>	Batterie	BOF 261: 800 nm BOF 264: 535 nm BOF 268: 550 nm
Dr. Bruno Lange GmbH, Königsweg 10, 14163 Berlin	Photometer <i>LKT, LP1W, LP2W</i>	Netz	LZP 201: 535 nm LZP 204: 695 nm LZP 208: 800 nm LZP 221: 560 nm
Prof. Dr. Maey GmbH, Gerhardt-Domagk-Str. 2, 53121 Bonn	Schüler-LED-Photo- meter 667344	Batterie	fest eingebaut: 550 nm, 590 nm, 670 nm
Windaus, Bauhofstr. 9, 38678 Clausthal-Zellerfeld	Photometer <i>LF 200</i>	Batterie	fest eingebaut: 565 nm, 585 nm, 660 nm

\* s. Kap. *Eutrophierung des Wassers - Bestimmung des Nährstoffgehalts*, S. 57

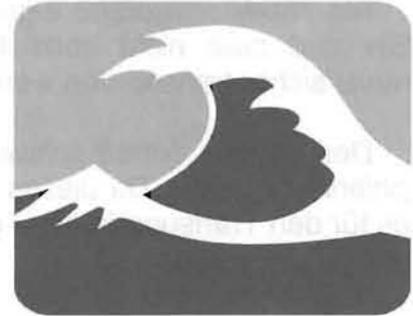
## Wie wird gemessen ?

### Herstellen von künstlichem Meerwasser

Vor Antritt der Kursfahrt muß eine ausreichende Menge, ca. 1 Liter, künstliches Meerwasser hergestellt werden. Es wird benötigt für die Bestimmung der *Permanganatzahl* und für die *Eichung des Photometers*.

#### Geräte

1 Becherglas, 1 l  
 Brenner mit Dreifuß  
 Glasstab  
 Waage



#### Substanzen

Natriumchlorid	23,939 g	Natriumhydrogencarbonat	0,196 g
Magnesiumchlorid	5,079 g	Kaliumbromid	0,098 g
Natriumsulfat	3,994 g	Borsäure	0,027 g
Calciumchlorid	1,123 g	Strontiumchlorid	0,024 g
Kaliumchlorid	0,667 g	Natriumfluorid	0,003 g

#### Durchführung

Die oben angeführten Substanzen werden der Reihenfolge nach in ca. 750 ml dest. Wasser gelöst. Zur Beschleunigung des Vorgangs kann etwas erwärmt werden. Anschließend wird mit weiterem Wasser bis zu einer Gesamtmasse der Lösung von 1 kg aufgefüllt.

#### Verdünnungen

Der Salzgehalt des Meerwassers beträgt ca. **35 g/kg**. Der Anteil der *Chloridionen* beträgt darin ca. 19 g/kg  $\approx$  19 g/l Lösung.

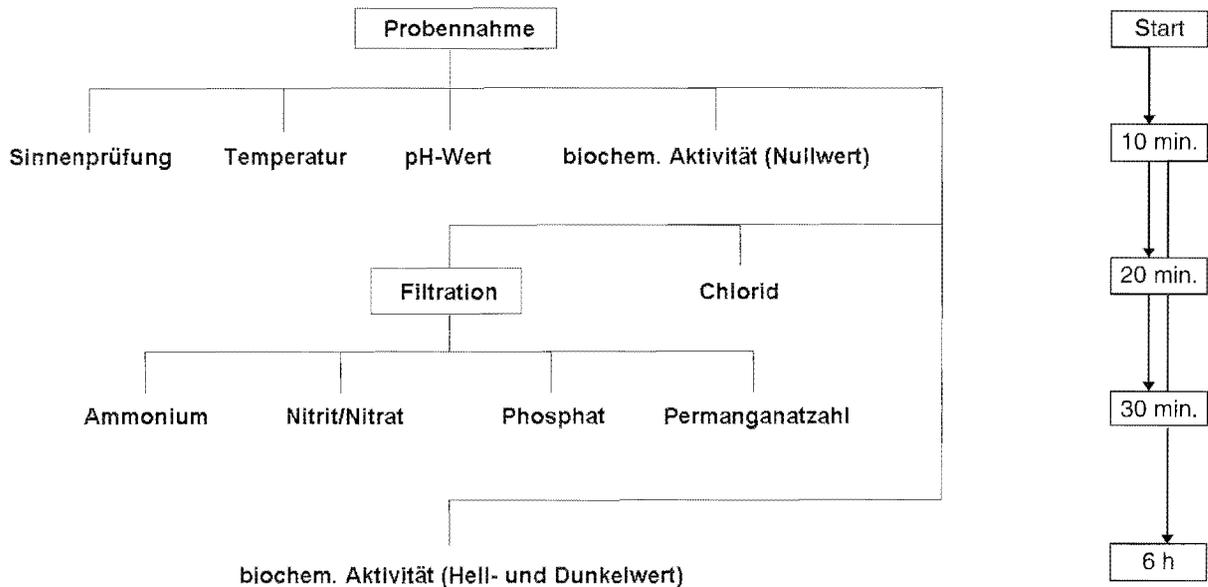
Zur Herstellung von „künstlichem Brackwasser“ muß das künstliche Meerwasser verdünnt werden. Dazu bestimmt man den *Chloridgehalt* der realen Wasserprobe und berechnet damit den Verdünnungsfaktor:

$$\text{Verdünnung} = 1 : \frac{19 \text{ g/l}}{c_{\text{Cl}^-}}$$

\* s.Kap. *Salzigkeit des Wassers - Bestimmung des Chloridgehalts*, S. 48

## Organisation und Meßgenauigkeit

Wesentlich für eine erfolgreiche Umsetzung des Meßprogramms ist eine genaue zeitliche und räumliche Planung des Ablaufs. Das folgende Schema zeigt dazu in einer Übersicht, in welcher Reihenfolge die verschiedenen Tätigkeiten ausgeführt werden sollten:



Die Zeitleiste bezeichnet den Beginn der jeweiligen Tätigkeit, ausgehend vom Augenblick der Probenahme. Die Arbeit sollte zuvor genau eingeteilt werden, um gegenseitige Behinderungen auf dem zur Verfügung stehenden, häufig beengten Raum zu vermeiden.

Die meisten Tätigkeiten können von jeweils einer Person durchgeführt werden, die *Sinnesprüfung* und die Bestimmung der *biochemischen Aktivität* (Messung des gelösten Sauerstoffs) sollten jedoch von zwei Personen übernommen werden. Im ersten Fall wird dadurch eine größere Objektivität - soweit möglich - gewährleistet, im zweiten Fall muß die Arbeit in einer möglichst kurzen Zeit erledigt sein, um Fehlmessungen zu vermeiden.

An dieser Stelle müssen einige Anmerkungen zur *Meßgenauigkeit* bei den verschiedenen Nachweisen gemacht werden:

- Die verwendeten Nachweisgeräte und Apparaturen sind aus Transport- und Handhabungsgründen einfach gehalten. Sie können daher mit hochdifferenzierten Meßanordnungen nicht konkurrieren.
- Bedingt durch den extrem hohen Salzgehalt des Meerwassers werden viele Nachweisreaktionen, vor allem die *photometrischen*, mehr oder weniger stark beeinträchtigt.

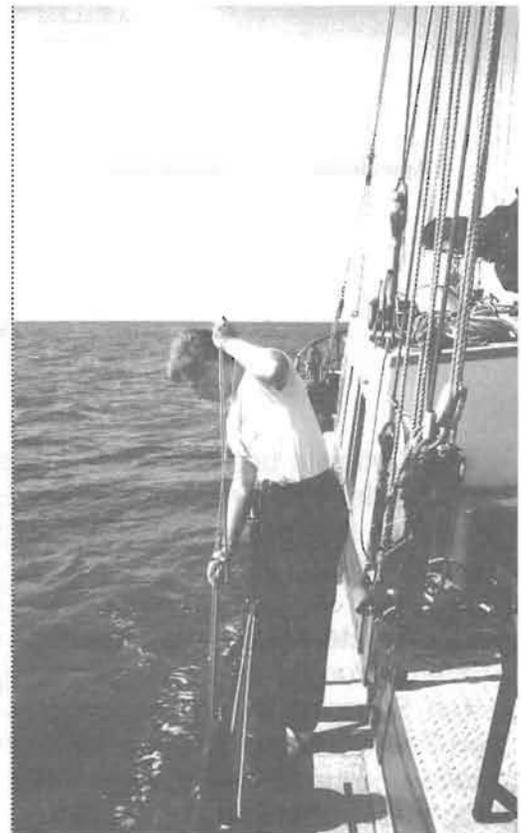
Die meisten Meßergebnisse sind daher nur innerhalb eines Fehlerbereichs reproduzierbar, der für eine offizielle Institution unter der Leitung eines „staatlich vereidigten Chemikers“ sicher unerträglich wäre. Ziel des vorgestellten Projekts ist jedoch nicht so sehr das Sammeln von möglichst exaktem Zahlenmaterial, sondern vielmehr der Zugang zu einer zutreffenden Beurteilung der Wasserqualität. Dafür reicht die Genauigkeit der Ergebnisse aus.

So ist es z.B. unerheblich, ob die Messung der Phosphatkonzentration in einer Wasserprobe das Ergebnis 4,0 mg/l oder 4,5 mg/l liefert; entscheidend ist allein Feststellung, daß hier eine extreme Überdüngung vorliegt, die möglicherweise auf das Einleiten von ungeklärtem Abwasser zurückzuführen ist.

## Probennahme

Einen entscheidenden Einfluß auf die Aussagekraft der Meßergebnisse, vor allem bei der Bestimmung des Sauerstoffgehalts, hat die geglückte Entnahme einer Wasserprobe aus dem Wattenmeer. Erfolgt die Probennahme vom fahrenden Schiff aus, so sollte dies bei geringer Fahrt und an Stellen geschehen, wo keine Schaumbildung des Wassers auftritt.

Zur Probennahme selbst wird das Entnahmegerät mit dem Zugseil in eine seitliche Lage gebracht und vorsichtig mit der Öffnung entgegengesetzt zur Fahrtrichtung *vollständig* in das Wasser eingetaucht. Durch Betätigen des Zugseils wird der Inhalt des Eimers *unter Wasser* einige Male ausgetauscht und anschließend, nach dem Lockerlassen des Zugseils, mit der Haltestange nach oben gezogen.



## Filtration

Meerwasser enthält neben gelösten auch ungelöste Bestandteile und ist daher meist trüb:

- *Gelöste Bestandteile*: Salze, anorganische Nährstoffe, Huminstoffe sowie ggf. Kohlenwasserstoffe, Halogenkohlenwasserstoffe, Phenole.
- *Ungelöste Bestandteile*: Phytoplankton, Zooplankton, Bakterien sowie Sand und Phosphate.

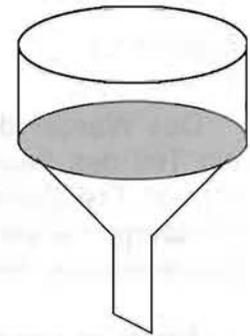
\* s. Kap. *Womit wird gemessen ?*, S. 28

Meerwasser dieser Zusammensetzung ist vor allem für eine *photometrische Bestimmung* der Nährstoffe  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{PO}_4^{3-}$  ungeeignet:

- Die Trübung durch suspendierte Bestandteile ergibt höhere Extinktionswerte.
- Durch Absterben der Mikroorganismen in der Wasserprobe erhöht sich nach einer kurzen Zeit der Anteil der genannten Inhaltsstoffe (z.B. für Nitrat bereits innerhalb 1 Stunde nach Probennahme).
- Gelöste organische Bestandteile stören mitunter die jeweiligen Farbreaktionen durch Eigenfärbung oder Konkurrenzreaktionen.

Die störenden Bestandteile müssen daher vor der Durchführung der photometrischen Bestimmungen aus der Wasserprobe entfernt werden:

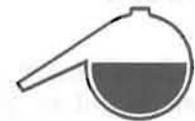
- Die *festen Bestandteile* werden in einem *Büchnertrichter* durch ein möglichst feinporiges *Rundfilter* abgetrennt. Das Filterpapier wird zunächst mit Probewasser gewaschen und die erste Charge verworfen. Die Filtration sollte möglichst rasch erfolgen.
- Eventuell vorhandene *organische flüchtige Bestandteile* werden durch *Luft* abgeblasen, *organische nichtflüchtige Bestandteile* mit unpolaren Lösemitteln, z.B. *Hexan*, extrahiert.



Die aufbereitete Wasserprobe wird - wenn vorhanden - in *Glasflaschen* abgefüllt, da Kunststoffflaschen z.B. Phosphationen adsorbieren. Eine Konservierung der Probe mit Chloroform sollte unterbleiben, da durch diesen Stoff etwa verbliebene Mikroorganismen zerstört werden und dabei Nitrat bzw. Phosphat freisetzen !

## Entsorgung

Die Nachweisreagenzien für die im folgenden beschriebenen Analysen des Meerwassers enthalten eine Reihe von Chemikalien, die mehr oder weniger stark toxisch sind. Sie sollten daher bei einem Projekt, das sich mit einer umweltbezogenen Thematik befaßt, nicht fahrlässig „entsorgt“ werden (welch schönes Wort !).

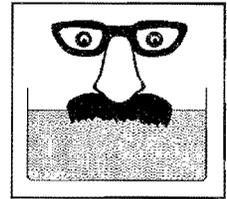


Daher ist darauf zu achten, daß bei den Wasseranalysen stets mit möglichst kleinen Substanzmengen gearbeitet wird. Das gilt auch für Spülwasser. Die Abfälle, die im Prinzip alle flüssig sind, sollten in einem geeigneten Behälter, z.B. in einer beschrifteten und gut verschließbaren 5-Liter-Flasche gesammelt und nach Abschluß der Kursfahrt mit nach Hause genommen werden. In der Schule können die Abfälle dann fachgerecht versorgt werden.



\* Noch besser sind sog. *Membranfilter* aus Celluloseacetat mit einer Porengröße von 45  $\mu\text{m}$ .

# Für Augen und Nase - Sinnenprüfung des Wassers



## Grundlage

Chemisch reines Wasser ist ein Stoff, der sich hinsichtlich *Aussehen*, *Geruch* und *Geschmack* bekanntlicherweise durch keinerlei Besonderheit auszeichnet: Es ist farb-, geruch- und geschmacklos. Meerwasser hat jedoch einen deutlich *salzigen* Geschmack.

## Aussehen

Das Wasser des Wattenmeers befindet sich in dauernder Bewegung. Daher wird ein Teil des Feinsediments ständig aufgewirbelt, was dazu führt, daß das Wasser *trüb* ist. Die *Sichttiefen* liegen demzufolge deutlich unter 1 m. In einer entnommenen Wasserprobe setzen sich die Sedimentteilchen jedoch relativ schnell ab, so daß das überstehende Wasser im Normalfall farblos und klar ist.

Abweichungen von diesem Aussehen können vielfältige Ursachen haben. Sie dienen daher zunächst nur als ein Indiz für eine eventuelle „Störung“, die mit Hilfe weiterer spezifischer Untersuchungsmethoden ermittelt werden müssen.

Eine sehr häufig auftretende, mehr oder weniger starke *Grünfärbung* rührt z.B. von Resten abgestorbener *Algen* her und weist auf eine starke *Überdüngung* des Wassers hin.

## Geruch

Der Geruch des Wassers aus dem Wattenmeer ist, bedingt durch einen relativ hohen Anteil an abgestorbenem organischen Material, dem *Detritus*, mehr oder weniger *faulig*. Zusätzliche Anteile haben möglicherweise folgende Ursachen:

Geruch	Herkunft
erdig	z.B. Blaualgen
fischig	z.B. Kieselalgen

Weitere Komponenten weisen mitunter auf einen besonderen Stoff hin, dessen Identifikation dann gezielt erfolgen kann.

<sup>\*</sup> nach *Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (DEV)*, B 1/2. Die Zuordnung bezieht sich zwar auf Süßwasser, ist jedoch auch für Meerwasser vertretbar.

## Durchführung

Geräte und Reagenzien

2 Erlenmeyerkolben, Enghals  
Gummistopfen

dest. Wasser *oder*  
normales Trinkwasser



## Messung

Von einer frischen Meerwasserprobe wird ein Erlenmeyerkolben etwa bis zur Hälfte gefüllt und sofort mit einem Stopfen verschlossen, um das Entweichen eventuell flüchtiger Bestandteile zu verhindern. Nach mehrmaligem Umschütteln wird der Kolben geöffnet und der *Geruch* der Wasserprobe festgestellt.

Anschließend läßt man die festen Bestandteile der Probe absetzen und vergleicht in Durchsicht das *Aussehen* der Probe mit dem Aussehen von normalem Trinkwasser, das sich in einem 2. Erlenmeyerkolben befindet.

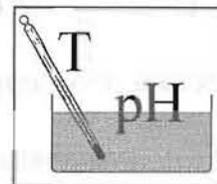
Eine Prüfung des *Geschmacks* ist nur bei Süßwasser (z.B. aus Zuflüssen vom Festland), eventuell auch noch bei Brackwasser, sinnvoll. Bei normalem Meerwasser überdeckt der salzige Eindruck alle anderen. Geschmacksproben sollten jedoch stets mit der nötigen *Vorsicht* vorgenommen werden, ein Trinken des Wassers ist zu vermeiden.

## Ergebnisse

Die Ergebnisse der Sinnenprüfung werden gemäß einer normierten Auflistung des *DEV* notiert:

Aussehen:	klar - schwach getrübt - stark getrübt - undurchsichtig
Färbung:	farblos - schwach gefärbt - stark gefärbt
Geruch: <i>nach Intensität</i>	ohne - schwach - stark
<i>nach Art</i>	metallisch - erdig - fischig - modrig - faulig - jauchig - ...
<i>spezifisch</i>	z.B. nach Chlor, Öl, Benzin

# Physikalisch-Chemische Eigenschaften - Temperatur und pH-Wert



## Grundlage

### Temperatur

Die Temperatur eines Gewässers hat einen entscheidenden Einfluß auf die darin lebende Fauna und Flora. Eine Erhöhung der Temperatur fördert das Pflanzenwachstum, z.B. von Algen, und somit die Produktion von Sauerstoff. Da jedoch die Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser mit steigender Temperatur abnimmt, führt eine Temperaturerhöhung trotz Zunahme der Sauerstoffproduktion zu einer *Abnahme* des Sauerstoffgehalts im Wasser.

Dieser Anteil sinkt noch weiter durch den erhöhten Bedarf an Sauerstoff für den *bakteriellen Abbau* der angestiegenen Pflanzenmenge. Eine Folge ist möglicherweise eine Beeinträchtigung der Atmung von Wassertieren, z.B. von Fischen.

Temperaturänderungen mit den genannten Folgen treten beim Wattenmeer im allgemeinen nur in geringem Umfang auf, da ja ein kontinuierlicher Wasseraustausch mit der Nordsee stattfindet. Daher steigt die Temperatur des Wattenmeerwassers selten über 20°C an.

Anders verhält es sich in der Nähe von Zuflüssen aus dem Festland. So konnten z.B. vor dem Kraftwerk bei *Eemshaven* an der Westseite der Emsmündung Wassertemperaturen bis 25°C gemessen werden, hervorgerufen durch eingeleitetes Kühlwasser. Auch in den Hafenbecken, im *Ijsselmeer* und im *Lauwersmeer* sind Temperaturen möglich, die deutlich über denen des offenen Wattenmeers liegen.

Eine Kenntnis der Wassertemperaturen ist weiterhin notwendig für die Ermittlung der *Sauerstoffsättigung* in einem Wasser, das nur einem geringem Austausch unterliegt, wie z.B. in einem Hafenbecken.

### pH-Wert

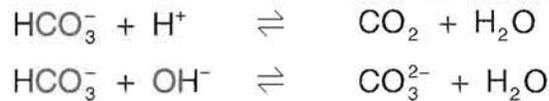
Ozeanisches Meerwasser enthält *Hydrogencarbonationen* in einer Konzentration von 0,14 g/l. Im Vergleich zu Süßwasser ist dieser Anteil relativ hoch. Nach dem Gleichgewicht



ergibt sich ein pH-Wert des Meerwassers zwischen 8,1 und 8,2. Dieser Wert ist im allgemeinen ziemlich stabil, wird also offenbar durch den Verbrauch von Kohlendioxid bei der *Assimilation* wenig beeinflusst. Andererseits gibt es auch Pflanzen, die Hydrogencarbonationen direkt verarbeiten können.

\* Eine Tabelle über die Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser, abhängig vom Salzgehalt befindet sich im Kap. *Biochemische Aktivität des Wassers - Bestimmung von gelöstem Sauerstoff*, S. 41.

Das Meerwasser hat wegen des hohen Gehalts an Hydrogencarbonationen ohnehin eine gewisse *Pufferkapazität* gegenüber sauren und alkalischen Einflüssen:



Die daraus resultierende pH-Stabilität des Meerwassers spielt eine wichtige Rolle bei der Erhaltung des biologischen Gleichgewichts bzw. des höheren Lebens im Wasser überhaupt, das nur in einem pH-Bereich von etwa 5 - 9 möglich ist.

In carbonatarmen Gewässern können saure bzw. alkalische Einträge über Zuflüsse und Atmosphäre dazu führen, daß diese Grenzen überschritten werden. So sind z.B. inzwischen zahlreiche Binnengewässer in *Schweden* durch den Eintrag von *Saurem Regen*, vor allem aus westlichen Richtungen, biologisch tot.

Im Unterschied dazu hat die langjährige *Verbrennung* von halogenierten Lösemitelabfällen vor der niederländischen Nordseeküste, bei der erhebliche Mengen *Salzsäuredämpfe* freigesetzt wurden, ebenso wie die *Verklappung* von verdünnter *Schwefelsäure* bei Helgoland, „nur“ zu lokalen Schädigungen des Wassers geführt.

Eine andere Situation ergibt sich in der Nähe von Flußmündungen und weiteren Zuflüssen (z.B. Sielen zur Entwässerung von Poldern). Dort können je nach Art der Wasserfrachten deutliche pH-Wertverschiebungen auftreten. So konnten z.B. im *Zeehavenkanaal* von *Delfzijl* in der Umgebung einer Anlage zur Kochsalzelektrolyse pH-Werte von 9 - 10 gemessen werden. Die gesamte Tier- und Pflanzenwelt war dort vernichtet.

## Durchführung

### Geräte

Temperatur: Quecksilber-Thermometer  
0-50°C, Einteilung 0,1°C

pH-Wert: Digitale Einstab-Meßkette, ggf.  
mit Temperaturkompensation

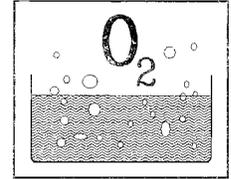


### Messung

Die *Temperatur* des Wassers wird unmittelbar nach der Probennahme im Entnahmegesäß gemessen. Dabei wird das Thermometer ca. 1 Minute lang *vollständig* eingetaucht und die Temperatur auf 0,1°C genau notiert.

Anschließend wird der *pH-Wert* bestimmt. Nach Gebrauch wird die Elektrode **gründlich** mit destilliertem Wasser gespült und das Diaphragma bis zur nächsten Messung in einer 3M-Kaliumchloridlösung aufbewahrt.

# Biochemische Aktivität des Wassers - Bestimmung von gelöstem Sauerstoff



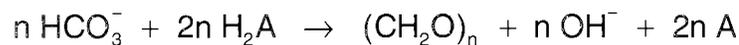
## Grundlage

### Reduktive Produktion von Biomasse

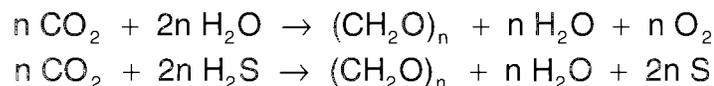
Photoautotrophe Organismen sind in der Lage, mit Hilfe von Licht als Energiequelle aus mineralischen Stoffen *Biomasse*, z.B. Kohlehydrate, herzustellen (*Assimilation*):



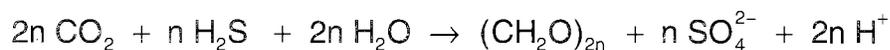
Statt  $\text{CO}_2$  können manche Organismen auch  $\text{HCO}_3^-$  - Ionen umsetzen:



$\text{H}_2\text{A}$  stellt dabei einen wasserstoff- bzw. protonenliefernden Stoff dar, der bei der Reaktion selbst oxidiert wird, z.B.

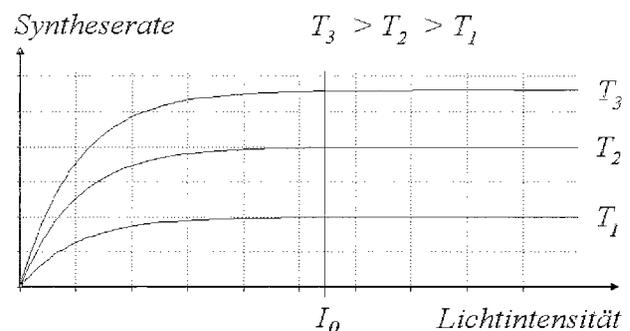


Schwefelbakterien oxidieren dabei Schwefelwasserstoff bis zum *Sulfat*:



Die *bakterielle* Photosynthese erfolgt stets *anaerob* und liefert keinen Sauerstoff. Sauerstoffproduzenten sind also allein das *Phytoplankton* und höhere Pflanzen.

Die Produktivität hängt sowohl von der *Intensität* des einfallenden Lichts als auch von der *Temperatur* des Wassers ab, wobei die Syntheserate in Abhängigkeit von der Lichtintensität bei einem bestimmten Betrag  $I_0$  jeweils einen Maximalwert erreicht.



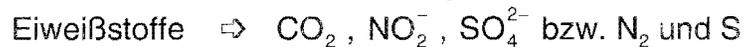
Parallel zur Biosynthese finden auch *energieliefernde* Umkehrprozesse statt (*Dissimilation*), bei denen Sauerstoff umgesetzt, d.h. verbraucht wird, da das Phytoplankton einen Teil der produzierten Biomasse zur Aufrechterhaltung seiner Arbeitsfähigkeit benötigt (*Atmung*):



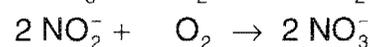
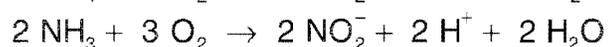
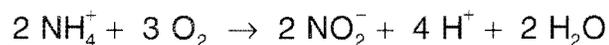
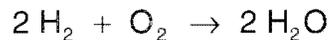
## Oxidativer Abbau

Bestimmte Bakterien setzen im Wasser enthaltene Stoffe unter Verbrauch von Sauerstoff um. Diese Prozesse, die unter *Energieabgabe* erfolgen, finden je nach Bakterienart unter Lichteinwirkung (*phototrophe Bakterien*), oder im Dunkeln statt (*chemotrophe Bakterien*):

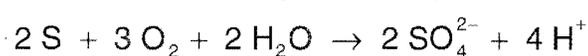
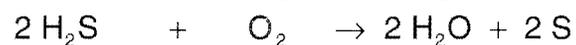
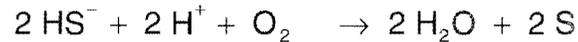
- Oxidation von **organischem Material**, z.B. von Kohlehydraten und Eiweißstoffen (*organotrophe Prozesse*) zu anorganischen Produkten. Diesen Vorgang bezeichnet man auch als *Mineralisation*:



- Oxidation von bereits **mineralisiertem Material**, z.B. aus der Reduktionszone des Sediments (*lithotrophe Prozesse*). Diese Stoffe entstehen dort beim *anaeroben* Abbau von Kohlehydraten und Eiweißstoffen durch dafür spezifische Bakterien:



→ Nitrifikation



→ Sulfurikation



Die bei diesen Prozessen freigesetzte Energie ermöglicht es manchen Organismen, auch *ohne* Licht zu assimilieren.

- Inhaltsstoffe aus **kommunalen Abwässern** und andere Einleitungen sind häufig organischer Natur und werden unter Verbrauch von Sauerstoff entsprechend oxidativ abgebaut. Manche Stoffe sind jedoch nur schwer oder gar nicht abbaubar. Dabei nimmt die Konzentration von Schadstoffen im Meerwasser allgemein langsamer ab als im Süßwasser.
- **Tierische Organismen**, vom Zooplankton bis zu den Fischen, sind ebenfalls Konsumenten von Sauerstoff, den sie zur Atmung benötigen.

## Sauerstoffumsatz, Ausmaß der Störung

Da bei den oben genannten Reaktionen *immer* Sauerstoff beteiligt ist, kann die zeitliche Veränderung des Sauerstoffgehalts im Wasser als Indikator für die biochemische Güte des betreffenden Gewässers herangezogen werden.

Dabei wird überprüft, wieviel Sauerstoff innerhalb einer bestimmten Zeit unter *Lichteinfluß produziert* und wieviel Sauerstoff in derselben Zeit unter *Lichtausschluß verbraucht* wird.

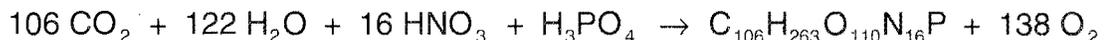
Als Ergebnis der Messungen in **mg O<sub>2</sub>/l Wasser** erhält man 3 Parameter:

den <i>Nullwert N</i>	Sauerstoffgehalt des Wassers zu Beginn der Untersuchung
den <i>Hellwert H</i>	Sauerstoffgehalt des Wassers am Ende der Untersuchung nach erfolgter <b>Lichteinwirkung</b>
den <i>Dunkelwert D</i>	Sauerstoffgehalt des Wassers am Ende der Untersuchung nach erfolgtem <b>Lichtausschluß</b>

Kombinationen dieser Parameter haben dabei folgende Bedeutung:

$H - D$ = Bruttoproduktion	→	Assimilation
$N - D$ = Sauerstoffzehrung	→	Dissimilation und Abbau
$H - N$ = Nettoproduktion	→	Assimilation - (Dissimilation + Abbau)

Diese Nettoproduktion an Sauerstoff läßt sich über eine formale Gleichung für die Assimilation\* auf produzierte *Biomasse* umrechnen:



1 mg O<sub>2</sub> entspricht 0,805 mg Biomasse

Des weiteren läßt eine vergleichende Betrachtung der 3 Parameter eine Aussage über den *biochemischen Zustand* des Gewässers zu:

$H > N$	Produktion überwiegt gleichzeitigen Abbau, ⇒ Das Gewässer ist mehr oder weniger „gesund“.
$N \geq H > D$	Produktion zwar vorhanden, jedoch Abbau überwiegt, ⇒ Das Gewässer ist mehr oder weniger „krank“.
$H = D$	Produktion findet nicht statt, nur Abbau, ⇒ Das Gewässer ist praktisch „tot“.

Im letzten Fall enthält das Gewässer keine *Produzenten* mehr, sondern nur noch *Destruenten*. Der Sauerstoffgehalt ist allein physikalisch bedingt, z.B. als Folge der Durchmischung von bewegtem Wasser mit atmosphärischem Sauerstoff.

\* E.P. Odum, Fundamentals of ecology, 1971 (zitiert in P.A. Tschumi, *Umweltbiologie*, S.7, Frankfurt/Main 1981)

## Löslichkeit von Sauerstoff in Meerwasser

Da sich das Wasser im Wattenmeer in ständiger Umwälzung befindet, ist der Gehalt an gelöstem Sauerstoff innerhalb des Wassers und über trockenfallendem Grund relativ hoch, so daß häufig eine *Sauerstoffsättigung* vorliegt.

Andrerseits ist nicht auszuschließen, daß im Bereich von Häfen bzw. in Brackwassergebieten geringere Sauerstoffkonzentrationen vorliegen, vor allem dann, wenn an diesen Orten *Einleitungen* stattfinden. In diesen Fällen läßt sich der prozentuale Anteil der Sauerstoffsättigung ermitteln.

Die Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser hängt nicht nur von der *Temperatur*, sondern auch vom *Salzgehalt* ab.

T (°C)	Salzgehalt (‰)														
	0	5	10	15	20	25	30	31	32	33	34	35	36	37	38
0	10.22	9.87	9.54	9.22	8.91	8.61	8.32	8.27	8.21	8.16	8.10	8.05	7.99	7.94	7.88
1	9.94	9.60	9.28	8.97	8.68	8.39	8.11	8.05	8.00	7.94	7.89	7.84	7.78	7.73	7.68
2	9.67	9.35	9.04	8.74	8.45	8.17	7.90	7.85	7.79	7.74	7.69	7.64	7.59	7.53	7.48
3	9.41	9.10	8.80	8.51	8.23	7.96	7.70	7.65	7.60	7.55	7.50	7.45	7.40	7.35	7.30
4	9.16	8.86	8.57	8.29	8.02	7.76	7.51	7.46	7.41	7.36	7.31	7.26	7.22	7.17	7.12
5	8.93	8.64	8.36	8.09	7.83	7.57	7.33	7.28	7.23	7.18	7.14	7.09	7.04	7.00	6.95
6	8.70	8.42	8.15	7.89	7.64	7.39	7.15	7.11	7.06	7.01	6.97	6.92	6.88	6.83	6.79
7	8.49	8.22	7.95	7.70	7.45	7.22	6.98	6.94	6.89	6.85	6.81	6.76	6.72	6.67	6.63
8	8.28	8.02	7.76	7.52	7.28	7.05	6.82	6.78	6.74	6.69	6.65	6.61	6.57	6.52	6.48
9	8.08	7.83	7.58	7.34	7.11	6.89	6.67	6.63	6.59	6.54	6.50	6.46	6.42	6.38	6.34
10	7.89	7.64	7.41	7.17	6.95	6.73	6.52	6.48	6.44	6.40	6.36	6.32	6.28	6.24	6.20
11	7.71	7.47	7.24	7.01	6.80	6.58	6.38	6.34	6.30	6.26	6.22	6.18	6.14	6.10	6.07
12	7.53	7.30	7.08	6.86	6.65	6.44	6.24	6.21	6.17	6.13	6.09	6.05	6.01	5.98	5.94
13	7.37	7.14	6.92	6.71	6.50	6.31	6.11	6.07	6.04	6.00	5.96	5.93	5.89	5.85	5.82
14	7.20	6.98	6.77	6.57	6.37	6.17	5.99	5.95	5.91	5.88	5.84	5.80	5.77	5.73	5.70
15	7.05	6.84	6.63	6.43	6.24	6.05	5.87	5.83	5.79	5.76	5.72	5.69	5.65	5.62	5.58
16	6.90	6.69	6.49	6.30	6.11	5.93	5.75	5.71	5.68	5.64	5.61	5.58	5.54	5.51	5.48
17	6.75	6.55	6.36	6.17	5.99	5.81	5.64	5.60	5.57	5.53	5.50	5.47	5.43	5.40	5.37
18	6.61	6.42	6.23	6.05	5.87	5.69	5.53	5.49	5.46	5.43	5.40	5.36	5.33	5.30	5.27
19	6.48	6.29	6.11	5.93	5.75	5.59	5.42	5.39	5.36	5.33	5.29	5.26	5.23	5.20	5.17
20	6.35	6.17	5.99	5.81	5.64	5.48	5.32	5.29	5.26	5.23	5.20	5.17	5.14	5.10	5.07
21	6.23	6.05	5.87	5.70	5.54	5.38	5.22	5.19	5.16	5.13	5.10	5.07	5.04	5.01	4.98
22	6.11	5.93	5.76	5.60	5.44	5.28	5.13	5.10	5.07	5.04	5.01	4.98	4.95	4.92	4.89
23	5.99	5.82	5.65	5.49	5.34	5.18	5.04	5.01	4.98	4.95	4.92	4.89	4.87	4.84	4.81
24	5.88	5.71	5.55	5.39	5.24	5.09	4.95	4.92	4.89	4.86	4.84	4.81	4.78	4.75	4.73
25	5.77	5.61	5.45	5.30	5.15	5.00	4.86	4.84	4.81	4.78	4.75	4.73	4.70	4.67	4.65
26	5.66	5.51	5.35	5.20	5.06	4.92	4.78	4.75	4.73	4.70	4.67	4.65	4.62	4.59	4.57
27	5.56	5.41	5.26	5.11	4.97	4.83	4.70	4.67	4.65	4.62	4.60	4.57	4.54	4.52	4.49
28	5.46	5.31	5.17	5.03	4.89	4.75	4.62	4.60	4.57	4.55	4.52	4.50	4.47	4.45	4.42
29	5.37	5.22	5.08	4.94	4.81	4.67	4.55	4.52	4.50	4.47	4.45	4.42	4.40	4.37	4.35
30	5.28	5.13	4.99	4.86	4.73	4.60	4.47	4.45	4.43	4.40	4.38	4.35	4.33	4.31	4.28
31	5.19	5.05	4.91	4.78	4.65	4.53	4.40	4.38	4.36	4.33	4.31	4.28	4.26	4.24	4.22
32	5.10	4.96	4.83	4.70	4.58	4.45	4.33	4.31	4.29	4.26	4.24	4.22	4.20	4.17	4.15

Löslichkeit von Sauerstoff in ml/Wasser bei einem Luftdruck von 1013 mbar

Umrechnung von gelöstem Volumen  $V$  in gelöste Masse  $m$  in Abhängigkeit von der Temperatur  $T$

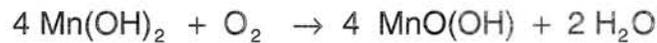
$$m = 390 \text{ mg} \cdot \text{K} / \text{ml} \cdot \frac{V}{T}$$

[V] = 1 ml

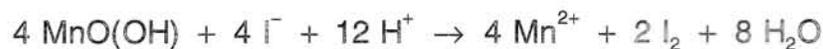
## Meßprinzip

Die Bestimmung des im Wasser gelösten Sauerstoffs beruht auf einem *iodometrischen* Verfahren nach WINKLER.\* Der hohe Salzgehalt des Meerwassers stört hierbei nicht.

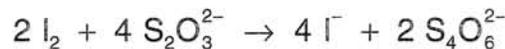
Der im Wasser gelöste Sauerstoff oxidiert frisch gefälltes *Mangan(II)-hydroxid* und wird dabei selbst im Niederschlag fixiert:



Bei Auflösung des Niederschlags im sauren Medium reduziert bereits zugesetztes *Iodid* wieder zu  $\text{Mn}^{2+}$ , wobei eine äquivalente Menge elementares Iod entsteht:



Das entstandene Iod wird durch *Thiosulfat* wieder zu Iodid reduziert:



## Durchführung

### Geräte und Reagenzien

1 Thermometer, 0 - 100°C	Fällungsreagenz 1
6 Steilbrust-Weithalsflaschen, ca. 120 ml	Fällungsreagenz 2
1 große Plastikschißel, weiß	Phosphorsäure (85%ig)
3 Kunststoff-Spritzen, 1 ml, graduiert	0,01 M - $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ -Lösung
1 Meßpipette, 10 ml	Zinkiodid-StärkeLösung
1 Peleus-Ball	

### Herstellung der Reagenzien\*\*

**Fällungsreagenz 1:** 800 g Mangan(II)-chlorid werden in 1000 ml dest. Wasser gelöst.

**Fällungsreagenz 2:** 360 g Natriumhydroxid, 200 g Kaliumiodid und 5 g Natriumazid werden der Reihe nach in 1000 ml dest. Wasser gelöst.

**0,01M-Thiosulfatlösung:** 1,581 g Natriumthiosulfat bzw. 2,482 g Natriumthiosulfat-Pentahydrat werden zusammen mit 0,2 g Natriumcarbonat-Dekahydrat in Wasser gelöst und zu 1000 ml aufgefüllt.

**Zinkiodid-StärkeLösung:** 2 g lösliche Stärke und 10 g Zinkchlorid werden in 50 ml heißem Wasser gelöst, nach Erkalten mit einer Mischung von 0,5 g Zinkpulver und 1 g Iod in 5 ml Wasser versetzt, mit weiterem Wasser auf 500 ml aufgefüllt und filtriert.

\* *Deutsche Einheitsverfahren, G 21*

\*\* Nachfolgende Rezepte weichen zum Teil von der Vorschrift der *DEV* ab, sind jedoch substanzsparender und haben sich bewährt. Normalerweise genügt für eine Kursfahrt jeweils ein Zehntel des Ansatzes.

## Volumeneichung der Meßflaschen

Die trockenen Steilbrust-Weithalsflaschen werden auf einer empfindlichen Waage jeweils bis auf 10 mg genau gewogen (Leergewicht  $m_L$ ), randvoll mit dest. Wasser bekannter Temperatur gefüllt, mit dem Stopfen luftfrei verschlossen, sorgfältig außen getrocknet und erneut gewogen (Füllgewicht  $m_F$ ). Das Volumen  $V$  der Meßflasche errechnet sich bei bekannter Wasserdichte  $\rho$  nach

$$V = \frac{m_F - m_L}{\rho}$$

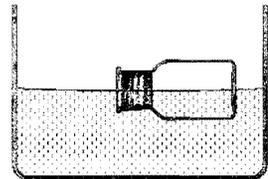
$\vartheta/^\circ\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30
$\rho/\text{g}/\text{cm}^3$	0,9998	1,0000	0,9997	0,9991	0,9982	0,9970	0,9956

*Dichten von Wasser*

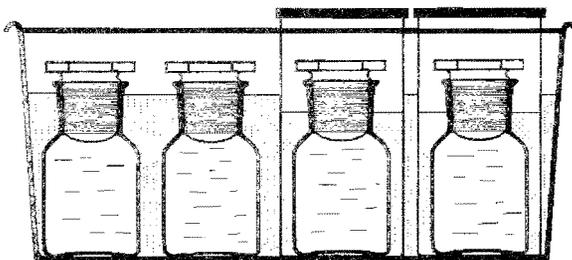
## Vorbereitung der Messung

Die Messung des *Nullwerts* sowie das Auffüllen der Meßflaschen für die Bestimmung der *Hell-* und *Dunkelwerte* muß unmittelbar nach Entnahme der Wasserprobe vorgenommen werden, um ein Entweichen des gelösten Sauerstoffs bzw. Vermischen mit atmosphärischem Sauerstoff möglichst zu verhindern.

Nach der Probennahme wird daher unmittelbar, noch im Entnahmegefäß, die Wassertemperatur gemessen. Anschließend werden die 6 Meßflaschen durch vorsichtiges seitliches Eintauchen in das Entnahmegefäß vollständig mit Probewasser gefüllt und unter Wasser verschlossen.



Zwei der Meßflaschen werden zur Ermittlung des *Nullwerts* direkt einer Sauerstoffbestimmung zugeführt. Die verbleibenden vier Flaschen werden 6 Stunden lang bei der Temperatur des Probewassers gehalten.



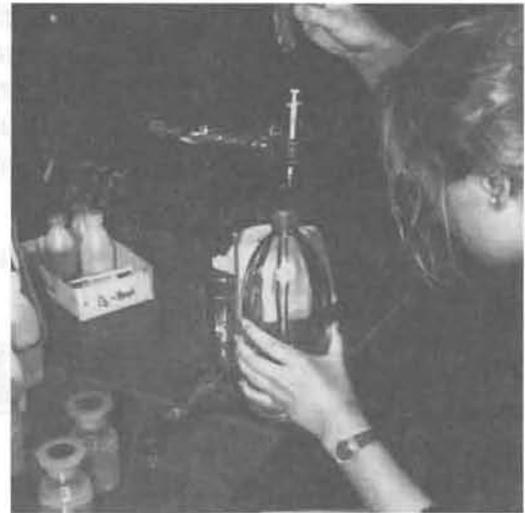
Dazu werden sie in eine mit Probewasser gefüllte flache Plastikschüssel gestellt, die beiden Flaschen für die Bestimmung des *Hellwerts* direkt, die beiden Flaschen zur Bestimmung des *Dunkelwerts* in mit Probewasser gefüllten undurchsichtigen Kaffeedosen.

Die Schüssel wird an einen hellen Ort gestellt, zur Vermeidung einer Erwärmung jedoch nicht dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt. Die Temperatur des Wasserbads wird ständig kontrolliert, das Wasser nach Bedarf durch frisches Meerwasser ersetzt. Damit wird wegen der vergleichsweise riesigen Größe dieses Wasserreservoirs gewährleistet, daß die Temperatur der Wasserproben in den Meßflaschen während der Standzeit von 6 Stunden auf  $\pm 1 \text{ K}$  konstant bleibt.

## Messung

Für die Sauerstoffbestimmung wird die Meßflasche vorsichtig geöffnet, mit Hilfe von graduierten 1ml-Spritzen je 0,5 ml *Fällungsreagenz 1* und *Fällungsreagenz 2* einpipettiert, die Flasche blasenfrei verschlossen und umgeschüttelt.

Nach Absetzen des sich gebildeten Niederschlags wird die überstehende klare Flüssigkeit vorsichtig abgezogen und der Niederschlag durch Zugabe von 2 ml *Phosphorsäure* gelöst. Anschließend wird die verschlossene Flasche an einem dunklen Raum aufbewahrt.



Nach etwa 10 min. wird die braune Lösung aus einer 10ml-Meßpipette mit *Thiosulfatlösung* bis zu einer hellgelben Färbung titriert. Nach Zugabe einiger Tropfen *Zinkiodid-Stärke*lösung, durch die sich eine Blaufärbung ergibt, wird so lange weiter titriert, bis die Lösung farblos ist.

Die Bestimmungen des *Null-*, *Hell-* und *Dunkelwerts* werden zur Gewährleistung einer größeren Verlässlichkeit der Ergebnisse doppelt ausgeführt.

## Auswertung

Das Ergebnis der Sauerstoffbestimmung wird üblicherweise in *mg/l Probewasser* angegeben.

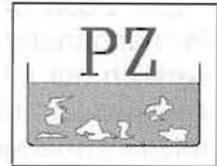
1 ml Thiosulfatlösung entspricht 0,08 mg Sauerstoff

Daraus errechnet sich der Anteil des im Wasser gelösten Sauerstoffs zu

$$c = \frac{a \cdot 0,08}{V - v} \cdot 1000 \text{ mg/l.}$$

- a Verbrauch an Thiosulfatlösung in ml
- V Füllvolumen der Meßflasche in ml
- v Volumen der zugesetzten Fällungsreagenzien = Volumen des verdrängten Probewassers

## Verschmutzung des Wassers - Bestimmung der Permanganatzahl



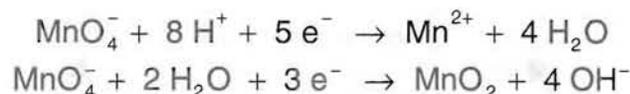
### Grundlage

Viele im Wasser enthaltenen Bestandteile, anorganische wie organische, sind oxidierbar. Liegen nun größere Mengen solcher Stoffe aufgrund von Verschmutzungen im Wasser vor, so werden zu ihrem bakteriellen Abbau - falls sie überhaupt abbaubar sind - erhebliche Mengen des im Wasser gelösten Sauerstoffs benötigt, im Extremfall sogar völlig aufgebraucht.

Ein einfaches Maß für die im Wasser enthaltenen oxidierbaren Substanzen ist die sog. *Permanganatzahl*. Sie entspricht der Menge Kaliumpermanganat ( $\text{KMnO}_4$ ), die für die Oxidation der genannten Stoffe in 1 Liter Wasser umgesetzt wird. Danach läßt sich Oberflächenwasser in verschiedene Gruppen einteilen:

Permanganatzahl (mg/l)	Wassergüte
< 12	rein (Trinkwasserqualität)
12 - 20	wenig verschmutzt
21 - 80	mäßig verschmutzt
> 80	stark verschmutzt

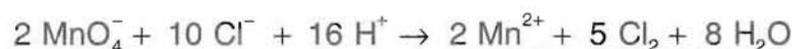
Bei der Oxidation der im Wasser enthaltenen Inhaltsstoffe wird das Permanganat selbst reduziert. Welches Produkt dabei entsteht, hängt vom jeweils herrschenden Medium ab. Im *sauren* Medium erfolgt die Reduktion bis zur Oxidationsstufe +II, im *alkalischen* bzw. *neutralen* Medium jedoch nur bis zur Oxidationsstufe +IV:



### Meßprinzip

Das übliche Verfahren\* zur Bestimmung der Permanganatzahl beruht auf der Reaktion im sauren Medium und eignet sich für Süßwasser, mit Einschränkungen auch für Wasser mit Chloridgehalten bis maximal 300 mg/l.

Diese Methode ist jedoch für die Analyse von *Meerwasser* nicht geeignet: Durch den hohen Gehalt von Chloridionen im Meerwasser ( $\approx 19 \text{ g/l}$ ) läßt sich der Endpunkt der Titration mit  $\text{KMnO}_4$ -Lösung nicht mehr ermitteln, weil nach



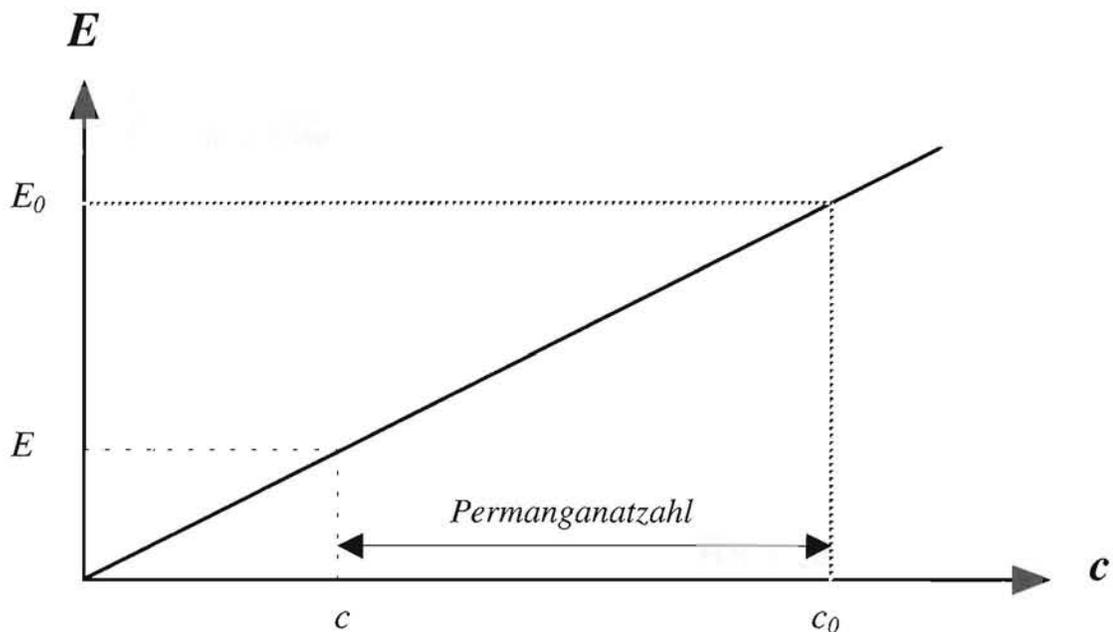
ständig Chloridionen oxidiert werden, was sich schon am deutlichen Chlorgeruch bemerkbar macht.

\* Deutsche Einheitsverfahren, H 41/43

Zur Bestimmung der Permanganatzahl wird daher ein direktes Verfahren des Permanganatverbrauchs herangezogen. Da Chloridionen mit Permanganationen merklich nur im sauren Medium reagieren, erfolgt die Oxidation der Inhaltsstoffe des Meerwassers im neutralen bzw. alkalischen Medium. Dabei wird ein entsprechender Anteil Permanganat zu Braunstein reduziert:

Die durch die Oxidation der Inhaltsstoffe bedingte Abnahme der Permanganatkonzentration wird *photometrisch* ermittelt. Zur Verknüpfung der *Extinktion* mit der Konzentrationsänderung wird eine Vergleichsmessung mit künstlich hergestelltem „unverschmutztem“ Meerwasser gleichen Salzgehalts durchgeführt.\*

Die *Extinktion*  $E$  ist bei einer Wellenlänge  $\lambda = 560$  nm bis zu einem Betrag von 0,5 zur *Konzentration*  $c$  der Permanganatlösung proportional (Erfüllung des *Lambert-Beerschen Gesetzes*). Da die Messungen innerhalb dieses Bereiches erfolgen, läßt sich die Permanganatzahl durch lineare Interpolation zwischen „Null“ und *Extinktion*  $E_0$  für die Vergleichsprobe ermitteln.



- $c_0$  Anfangskonzentration der  $\text{KMnO}_4$ -Lösung  
 $c$  Restkonzentration der  $\text{KMnO}_4$ -Lösung  
 $E_0$  Extinktion der Vergleichslösung  
 $E$  Extinktion der Probelösung

$$\text{Permanganatzahl} = \frac{E_0 - E}{E_0} \frac{a}{b} c_0$$

- $a$  Volumen der zugegebenen Permanganatlösung in ml  
 $b$  Volumen der Meßproben in ml

\*Herstellung s. Kap. *Wie wird gemessen?*, S. 30

## Durchführung

### Geräte und Reagenzien

- 1 Erlenmeyerkolben, 100 ml
- 1 Uhrglas, klein
- 1 Kunststoff-Spritze, 10 ml
- 1 Kunststoff-Spritze, 5 ml
  
- 1 Meßkolben, 50 ml
- 2 Pipetten
- Spritzflasche mit dest. Wasser
  
- Brenner mit Drahtnetz
  
- Photometer, Meßküvetten
  
- KMnO<sub>4</sub>-Lösung (c = 0,3161 g/l)
- Natronlauge (32%ig)



### Messung und Auswertung

10 ml Probewasser werden in einem 100ml-Erlenmeyerkolben mit etwa 5 Tropfen Natronlauge und 5 ml KMnO<sub>4</sub>-Lösung versetzt, mit dem Uhrglas bedeckt und bei kleiner Flamme ca. 10 min lang gekocht. Die Lösung darf dabei nicht eindampfen, ggf. rechtzeitig mit etwas dest. Wasser nachfüllen.

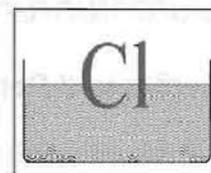
Die abgekühlte Flüssigkeit wird zusammen mit dem sich gebildeten Niederschlag in einen 50ml-Meßkolben überführt, zweimal mit dest. Wasser nachgespült, bis zur Marke aufgefüllt und umgeschüttelt. Nachdem sich der Niederschlag abgesetzt hat, wird von der überstehenden Flüssigkeit vorsichtig die Füllung einer Meßküvette abpipettiert und bei 560 nm die Extinktion gemessen.

Zur Ermittlung der Extinktion von „sauberem Meerwasser“ wird das Verfahren mit einer Lösung aus künstlich hergestelltem Meerwasser von gleichem Salzgehalt wiederholt.

$$\text{Permanganatzahl} = \frac{E_0 - E}{E_0} \cdot 158 \text{ mg/l}$$

E<sub>0</sub> Extinktion der Vergleichslösung  
E Extinktion der Probelösung

## Salzigkeit des Wassers - Bestimmung des Chloridgehalts



### Grundlage

Das Charakteristikum von Meerwasser ist der Salzgehalt, der in den Ozeanen ca. 3,5 % ausmacht. Den größten Anteil daran hat - formal gesehen - gelöstes *Natriumchlorid* (Kochsalz), weshalb Meerwasser von alters her als Quelle zur Gewinnung dieses Stoffes gilt.

Die Kenntnis des Chloridgehalts ist zugleich eine Information über den Salzgehalt des Wassers, da das Verhältnis der gelösten Ionen zueinander konstant ist.

Die nebenstehende Zusammensetzung betrifft das Wasser der Nordsee und des damit verbundenen Wattenmeers. Sie ist weitgehend unempfindlich gegenüber zivilisatorischen Einflüssen.

Daher ist eine Bestimmung des Chloridgehalts nur dort von Interesse, wo sich Meerwasser und Süßwasser vermischen, d.h. in Gebieten, in denen *Brackwasser* vorliegt:

Anteile von Ionen im Meerwasser	‰
Na <sup>+</sup>	10,56
Mg <sup>2+</sup>	1,27
Ca <sup>2+</sup>	0,40
K <sup>+</sup>	0,38
Sr <sup>2+</sup>	0,008
Cl <sup>-</sup>	18,98
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,65
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,14
Br <sup>-</sup>	0,065
F <sup>-</sup>	0,0013

- Die Löslichkeit von *Sauerstoff* in Wasser ist abhängig vom jeweiligen Salzgehalt. Eine Kenntnis dieses Salzgehalts ermöglicht die Bestimmung der *Sauerstoffsättigung*, d.h. des jeweils prozentualen Anteils vom Sättigungswert.\*
- Für die Bestimmung der *Permanganatzahl*\*\* wird zur Wasserprobe eine „saubere“ Vergleichslösung gleichen Salzgehalts benötigt.
- Bei der Bestimmung des *Nährstoffgehalts*\*\*\* müssen für photometrischen Eichungen Lösungen hergestellt werden, deren Salzgehalt dem der jeweiligen Wasserprobe entspricht.
- Brackwasserzonen als Gebiete des Übergangs zwischen Meer und Festland zeichnen sich häufig durch eine besondere Tier- und Pflanzenwelt aus. Eine Kenntnis des Salzgehalts im Wasser gestattet möglicherweise das Aufstellen von Zusammenhängen zwischen Wasserqualität und Biosphäre.

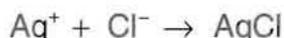
\* Tabelle zur Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser, abhängig vom Salzgehalt s.S. 41

\*\* s.S. 45 ff

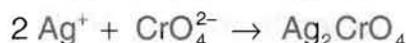
\*\*\* s.S. 50 ff

## Meßprinzip

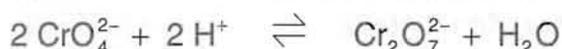
Die Bestimmung des Chloridgehalts erfolgt nach der Methode der *argentometrischen Titration* von MOHR.\* Danach reagieren *Silberionen* einer Silbernitratlösung bekannter Konzentration mit den *Chloridionen* aus der Wasserprobe zu schwerlöslichem *Silberchlorid*:



Das Ende der Titration wird durch einen Zusatz von *Chromationen* erkannt, die mit Silberionen eine leuchtend rote Fällung ergeben:



Wasserproben mit einem pH-Wert  $< 7$  verhindern diese Indikatorreaktion, da das Gleichgewicht zwischen *Chromation* und *Dichromation* im sauren Bereich weitgehend auf der Seite des Dichromats liegt:



Bei Vorliegen von Wasserproben mit  $\text{pH} < 7$  muß die Lösung vor der Titration mit einer Spatelspitze *Natriumtetraborat* (Borax,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ) gepuffert werden.

## Durchführung

### Geräte und Reagenzien

- 1 Erlenmeyerkolben, 100 ml
- 2 Kunststoff-Spritzen, 10 ml
- 1 Meßkolben, 100 ml
- 1 Meßpipette, 10 ml
- 1 Peleusball

- 0,0282M- $\text{AgNO}_3$ -Lösung ( $c = 4,7925 \text{ g/l}$ )\*\*
- Kaliumchromatlösung (10 %ig)
- Natriumtetraborat (Borax)
- Spritzflasche mit dest. Wasser



### Messung

Von der Wasserprobe werden 10 ml in den Meßkolben pipettiert, mit dest. Wasser aufgefüllt und umgeschüttelt. Von der verdünnten Probe werden wiederum 10 ml in den Erlenmeyerkolben gefüllt, einige Tropfen Kaliumchromatlösung zugegeben und mit der Silbernitratlösung unter ständigem Umschwenken von *zitronengelb* nach *orangerot* titriert.

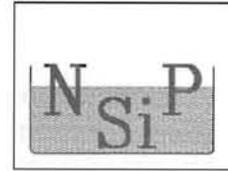
$$c_{\text{Cl}^-} = a \cdot 1000 \text{ mg/l}$$

a Verbrauch  $\text{AgNO}_3$ -Lösung

\* Deutsche Einheitsverfahren, D 1

\*\* Die Lösung ist lichtempfindlich und daher in einer dunklen Glasflasche aufzubewahren.

# Eutrophierung des Wassers - Bestimmung des Nährstoffgehalts



## Grundlage

### Nährstoffe im Wasser

Pflanzliche Organismen benötigen zu ihrem Aufbau eine Reihe von Stoffen. Einige dieser Stoffe, die Elemente *Kohlenstoff*, *Wasserstoff* und *Sauerstoff* sind im Wattenmeer in Form von *Wasser*, *Kohlendioxid* bzw. *Hydrogencarbonat* in hoher Konzentration vorhanden.

Das Ausmaß des Pflanzenwachstums wird jedoch bekanntlicherweise durch das sog. *Minimumgesetz* bestimmt. Daher sind von allen Pflanzenbausteinen diejenigen von Interesse, deren Konzentration im Meerwasser niedrig ist, da schon geringfügige Schwankungen dieser Konzentration einen großen Einfluß auf die Produktion von Biomasse zeigen.

Von besonderer Bedeutung sind dabei die Elemente *Stickstoff* und *Phosphor*. Ihre im Wasser enthaltenen Verbindungen bezeichnet man wegen ihrer wachstumsbeeinflussenden Wirkung als *Nährstoffe*. Im Meerwasser der Nordsee liegen davon folgende Konzentrationen vor:

Ionensorte	Konzentration (mg/l)
Ammonium	0,003 - 0,055
Nitrit	0,0005 - 0,1
Nitrat	0,006 - 2
Phosphat	0,1 - 0,5

Die in der Tabelle notierten Schwankungen sind vor allem jahreszeitlich bedingt.

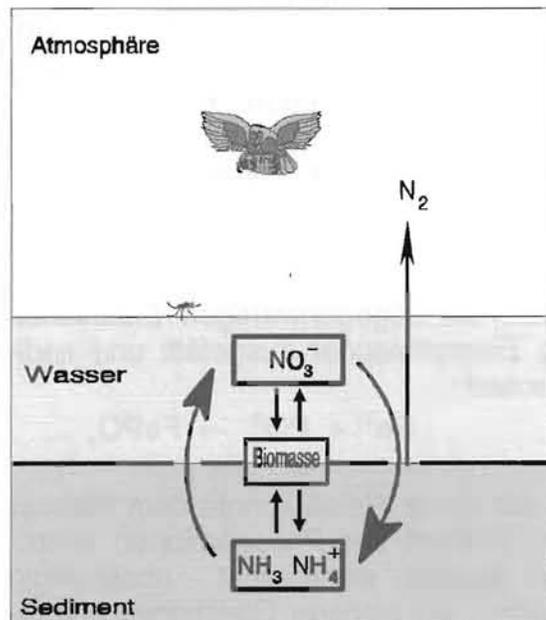
Normalerweise stellt *Phosphor* den Minimumfaktor dar, bei *eutrophen*, d.h. nährstoffreichen Gewässern kann jedoch der Nitratgehalt infolge der hohen Pflanzenproduktion so stark sinken, daß häufig der *Stickstoff* diese Rolle einnimmt.

Andererseits **entstehen** diese Ionen beim *bakteriellen Abbau* pflanzlicher und tierischer Organismen d.h. der darin enthaltenen Stoffe. Der in ihnen gebundene Stickstoff liegt dort in *Aminosäuren* vor und wandelt sich in die genannten Ionen in Form von *Redoxprozessen* um. Phosphor ist in *Phosphatester* gebunden. Beim Abbau findet eine *Hydrolyse* statt, bei der die Phosphate freigesetzt werden.

Diese Prozesse sind komplexer Natur und werden für Stickstoff und Phosphor getrennt näher ausgeführt.

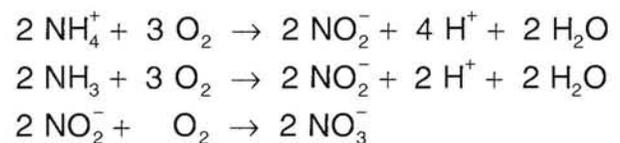
## Stickstoffkreislauf

Im Falle des Stickstoffs sind 3 Bereiche betroffen: die sauerstoffhaltigen *aeroben* Zonen, die *Atmosphäre* und das *Wasser* sowie die im allgemeinen sauerstofffreie *anaerobe* Zone, das *Sediment*.



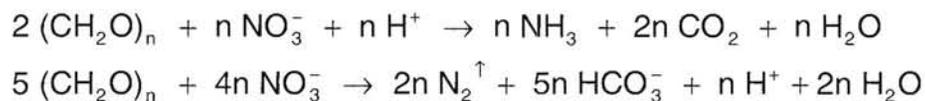
Die im Schema dargestellten senkrechten Pfeile stellen die **direkten** Vorgänge der *Assimilation* und *Dissimilation* unter aeroben bzw. anaeroben Bedingungen dar. Daneben finden zwischen Wasser und Sediment ständig zwei gegenläufige Prozesse, die *Nitrifikation* und die *Denitrifikation* statt.

Die Nitrifikation erfolgt über die Zwischenstufe des *Nitrits* unter Beteiligung des im Wasser gelösten Sauerstoffs:

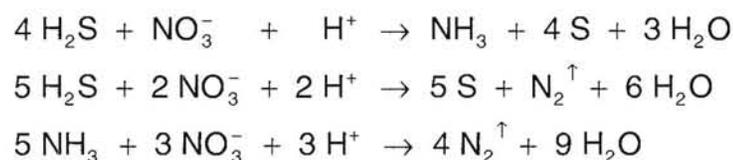


Die Oxidation von Nitrit zu Nitrat verläuft in einem „gesunden“ Gewässer normalerweise so rasch, daß dort der Nitritgehalt sehr niedrig ist.

Die Denitrifikation benötigt einen geeigneten Sauerstoffakzeptor. Dieser ist z.B. ein Kohlehydrat der Biomasse (*chemoorganotrophe Dissimilation*)



oder im Sediment enthaltene anorganische Abbauprodukte (*chemolithotrophe Dissimilation*):

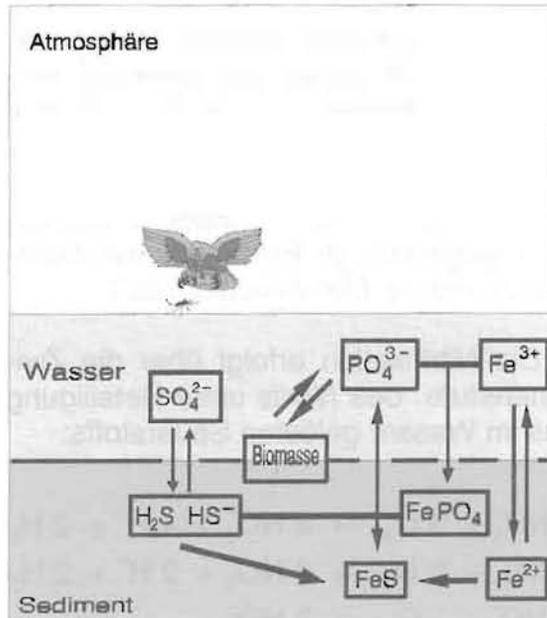


Beide Prozesse, Nitrifikation und Denitrifikation führen in einem Gewässer normalerweise zu einem *Gleichgewicht* der beteiligten Stoffe.

Die bei der Mineralisation entstehenden Ionen unterliegen demnach aufgrund ihrer Wiederverwertung einem natürlichen Kreislauf, wobei die Konzentration dieser Nährstoffe im Sommer geringer ist als im Winter.

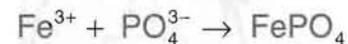
## Phosphorkreislauf

Beim Phosphor sind die Verhältnisse noch komplexer als beim Stickstoff, weil darin noch Gleichgewichte von Verbindungen des *Schwefels* und von *Eisen* einbezogen sind:



Zunächst erfolgen, bezogen auf die Biomasse, die üblichen Auf- und Abbauprozesse der *Assimilation* und *Dis-similation*, bei denen Phosphationen dem Wasser entzogen bzw. an das Wasser abgegeben werden.

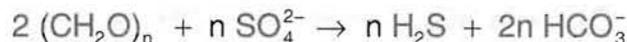
Freigesetzte Phosphationen werden jedoch im pH-Bereich des Meerwassers durch die allgegenwärtigen *Eisenionen* als *Eisenphosphat* ausgefällt und sedimentiert:



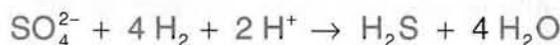
Auf diese Weise könnte dem Wasser ein Großteil der Phosphationen entzogen werden, wenn nicht - unabhängig davon - ein weiterer Gleichgewichtsprozess zwischen der wässrigen Phase und

dem Sediment stattfinden würde:

Die im Meerwasser in hoher Konzentration vorliegenden *Sulfationen* diffundieren in einem bestimmten Ausmaß in das *Sediment* und werden bei den dort herrschenden *anaeroben* Bedingungen unter Mitwirkung spezifischer Bakterien reduziert. Die Reduzenten dieser sog. *Desulfurikation* sind z.B. Kohlehydrate (*chemoorganotrophe Dissimilation*)



oder bereits mineralisierte Bestandteile (*chemolithotrophe Dissimilation*)



Zusätzlich entsteht  $\text{H}_2\text{S}$  auch *direkt* bei der bakteriellen Zersetzung von *Eiweißstoffen*, die aus abgestorbenen Organismen stammen.

Beim umgekehrten Prozeß, der sog. *Sulfurikation* werden Schwefelwasserstoff und Hydrogensulfidionen unter den *aeroben* Bedingungen des Meerwassers zu Sulfat oxidiert:



Die Anwesenheit von Schwefelwasserstoff bzw. Hydrogensulfid im Sediment bewirkt nun eine Reaktion mit dem ebenfalls sedimentierten *Eisenphosphat*:



Dadurch wird das *Phosphation* remobilisiert, also wieder in die wäßrige Phase überführt. Die *Protonen* werden von dem durch *Hydrogencarbonat* gepufferten Medium abgefangen.

Das Endprodukt dieser Reaktion ist schwarzes *Eisensulfid*, das sich durch die ständige Zufuhr von Eisenionen und die hohe Konzentration von Sulfationen immer mehr im Sediment anreichert. Daher ist der Wattenboden unter einer nur wenige Zentimeter dicken Sandschicht schwarz.

Eisensulfid bildet sich auch direkt aus Schwefelwasserstoff und im Sediment enthaltenen  $\text{Fe}^{2+}$ -Ionen. Diese entstehen bei der Reduktion von  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen aus der wäßrigen Phase z.B. durch zersetzbare organische Material. Diese Reaktion steht in einem dynamischen Gleichgewicht mit der Rückreaktion von  $\text{Fe}^{2+}$  zu  $\text{Fe}^{3+}$ .



*FeS: Schwarze Beine sieht man besser*

### Störung der Kreisläufe

Die biochemischen Vorgänge zwischen wäßriger Phase und Sediment werden jedoch durch den zivilisationsbedingten Eintrag großer Nitrat- und Phosphatmengen in zunehmendem Maße gestört.\*

Ungeachtet dieser zivilisationsbedingten Überdüngung ist das Wattenmeer schon von Natur aus deutlich nährstoffreicher als die übrige Nordsee, da sich durch die Gezeitenströme „im Schatten“ der Wattenmeerinseln große Mengen an abgestorbenem organischen Material, sog. *Detritus*, ablagert. Der biologische Abbau dieser Stoffe setzt demzufolge erhebliche Mengen an Nährstoffen frei. Das Wasser des Wattenmeers ist also immer eutrophiert.

Die Interpretation von Messungen des Ammonium-, Nitrit-, Nitrat- und Phosphatgehalts muß sich demnach an der oben aufgeführten Tabelle orientieren, wobei im Sommer, d.h. während der Wachstumsphase, im allgemeinen die *niedrigen* Werte anzusetzen sind.

Darüberhinaus hängt das Pflanzenwachstum und damit der Nährstoffbedarf vom *Licht* ab. Die Konzentrationsschwankungen zwischen Sommer und Winter werden daher auch häufig durch die *Anzahl der Sonnentage* bestimmt. Die eingeschränkte Lichtdurchlässigkeit des meist *trüben* Wattenmeerwassers führt dabei zu einer deutlichen Beeinträchtigung der Produktivität.

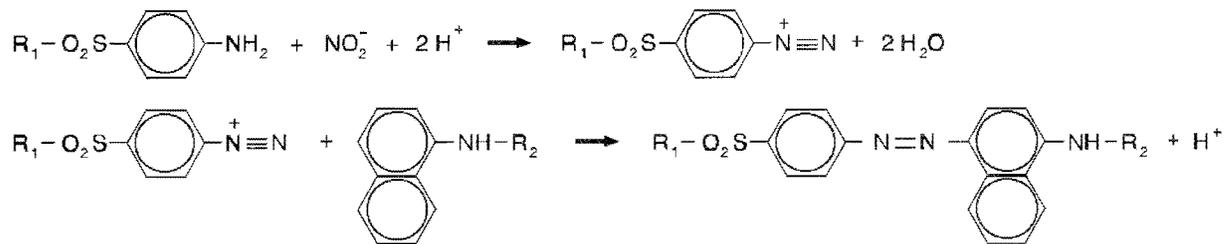
So lange die biologische Aktivität des Gewässers intakt ist, bleibt die Anteil von *Nitrit* auch bei hohen Nitratgehalten gering. Höhere Nitritwerte weisen darauf hin, daß die *Selbstreinigungskraft* des Wassers beeinträchtigt oder zerstört ist.

\* Über Art, Ausmaß und Ursprung dieser Störungen gibt es zahlreiche Quellen. Exemplarisch sei verwiesen auf *Wattenmeer und Nordsee*, Verlag Die Werkstatt/AOL-Verlag, 1989.

## Meßprinzip

### Nitrit

Der klassische und empfindlichste Nachweis für *Nitritionen*, der auch das Standardverfahren darstellt,\* beruht auf der Diazotierung eines aromatischen Amins mit Hilfe von Nitritionen im essigsauren Medium und anschließender Kopplung mit einem zweiten Aromaten:



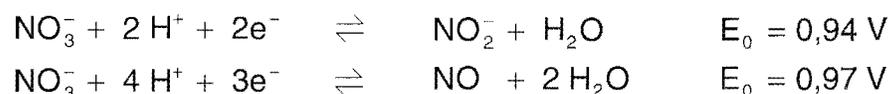
Der gebildete *Azofarbstoff* hat je nach verwendeten Aromaten - z.B. *Sulfanilsäure* ( $\text{R}_1 = \text{OH}$ ) und  $\alpha$ -*Naphthylamin* ( $\text{R}_2 = \text{H}$ ) - eine intensive Farbe von *rosa* bis *violettrosa*. Die Färbung tritt bereits bei geringsten Mengen Nitrit auf.

Die *Intensität* der Färbung ist ein Maß für die *Konzentration* der Nitritionen in der wäßrigen Lösung. Der Nitritgehalt wird daher *photometrisch* bei einer Wellenlänge von  $\lambda = 535 \text{ nm}$  bestimmt. Die Eichung des Photometers erfolgt mit Nitritlösungen bekannter Konzentration. Sie werden durch Verdünnung einer frisch angesetzten *Standardlösung*\*\* hergestellt.

### Nitrat

In der Literatur gibt es zahlreiche, im wesentlichen photometrische Nachweise von *Nitrationen* im Wasser. Sie werden jedoch alle durch höhere Konzentrationen von Fremdionen gestört und sind deshalb für Meerwasser *nicht* geeignet. Daher werden die Nitrationen zunächst zu Nitritionen *reduziert* und diese nach dem bereits beschriebenen Verfahren ermittelt.

Häufig wird diese Reduktion mit Hilfe von *Zink* in *essigsaurem Medium* durchgeführt. Nachteil des Verfahrens ist, daß die Reduktion unter den genannten Bedingungen nicht quantitativ zu Nitrit, d.h. zur Oxidationsstufe +III erfolgt, sondern gleichberechtigt auch zur Oxidationsstufe +II, da sich die beiden Prozesse in ihren *Redoxpotentialen* nur unwesentlich voneinander unterscheiden:



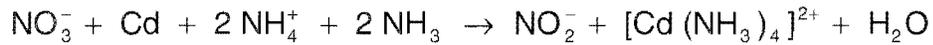
Im *neutralen* bzw. *schwach alkalischen* Medium findet durch Zink praktisch keine Reduktion von Nitrationen statt. Eine *stark* alkalische Umgebung ermöglicht zwar die

\* Deutsche Einheitsverfahren, D 10

\*\* Herstellung s. S. 61

gewünschte Reaktion, führt aber bei Meerwasser zu einer starken Trübung durch ausfallendes Calciumcarbonat.

Verwendet man jedoch statt dessen *amalgamiertes Cadmium*, so verläuft bereits im ammoniakalisch gepufferten Medium eine Reduktion von Nitrat zu Nitrit:



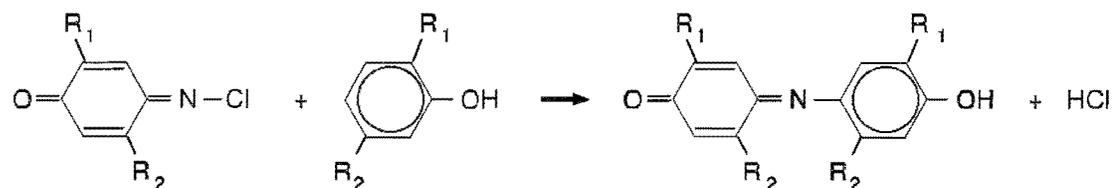
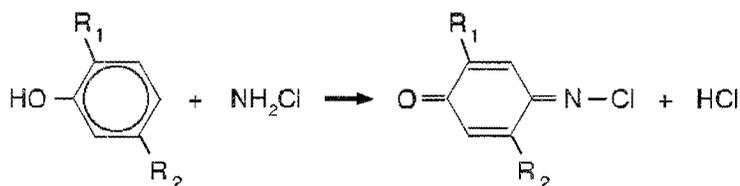
Die Fixierung der gebildeten Cadmiumionen in einem relativ stabilen *Tetramminkomplex* hat zur Folge, daß die Reduktion *quantitativ* ist.

## Ammoniak/Ammonium

Der klassische Nachweis von Ammoniak bzw. Ammoniumionen ist deren Reaktion mit dem sog. *Nessler-Reagenz* und anschließende photometrische Bestimmung. Dieses Verfahren hat jedoch zwei Nachteile:

- Es ist für Meerwasser nur beschränkt geeignet, weil sich das Probewasser durch die stark alkalische Eigenschaft der Reagenzien auch bei Pufferzusatz rasch trübt.
- Die Reagenzien enthalten eine Quecksilberverbindung, deren Handhabung wegen ihrer hohen Giftigkeit gesundheitlich bedenklich ist.

Aus diesem Grund wurde ein photometrisches Nachweisverfahren\* gewählt, das in modifizierter Form auch für Meerwasser geeignet ist\*\*. Es beruht auf der Bildung eines blaugrünen *Indophenol-Farbstoffs*, die über mehrere Zwischenstufen erfolgt:



Ammoniak reagiert zunächst mit *Natriumhypochlorit* zu *Chloramin*. Das Hypochlorit entsteht zuvor aus dem Natriumsalz der *Dichlorisocyanursäure* - vereinfacht dargestellt durch *R-Cl* - und verdünnter *Natronlauge*. Es kann u.U. auch ein handelsübliches Bleichmittel eingesetzt werden, das Natriumhypochlorit enthält.

\* *Deutsche Einheitsverfahren, E 5*

\*\* Sonderheft Nr.6 *Meerwasseranalytik mit Dr. Lange Küvetten-Tests*, Dr. Lange GmbH, Berlin

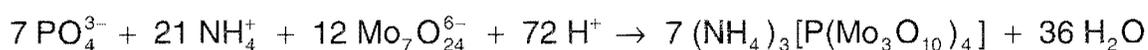
Chloramin reagiert mit substituierten *Phenolen* (z.B. Thymol oder Salicylsäure), katalysiert durch *Nitroprussidnatrium*  $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]$ , zu einem chinoiden Zwischenprodukt, das sich mit weiterem Phenol zum Indophenol-Farbstoff verbindet.

Die Intensität der Blaugrünfärbung wird bei einer Wellenlänge von  $\lambda = 695 \text{ nm}$  photometrisch analysiert.

Da die Reaktionen in einem stark alkalischen Medium stattfinden, müssen größere Mengen an *Kaliumnatriumtartrat* („*Seignettesalz*“) hinzugefügt werden, um eine Fällung von Erdalkalicarbonaten bzw. -hydroxiden zu verhindern.

## Phosphat

Phosphationen bilden mit *Molybdationen* im *stark sauren* Medium Komplexe einer *Heteropolysäure*, deren Ammoniumsalz in Wasser je nach Konzentration eine *gelbe* Färbung bis Fällung ergibt:



Das Reaktionsprodukt läßt sich durch geeignete Stoffe zu einem Mischoxid des fünfwertigen Molybdäns reduzieren, das mit Wasser eine intensiv blaue kolloidale Lösung, das *Molybdänblau*, bildet. Als Reduktionsmittel eignet sich besonders gut *Ascorbinsäure* (Vitamin C).\*

*Antimonionen* beschleunigen die Blauentwicklung gegenüber der im sauren Medium einsetzenden Hydrolyse von organischen Phosphorsäureestern. Darüber hinaus wird die Farbe bei einem Atomzahlverhältnis von Sb:P  $\approx 1:1$  über längere Zeit stabilisiert.

Die Intensität der Blaufärbung ist ein Maß für die Konzentration der Phosphationen in der Wasserprobe. Sie wird daher mit Hilfe eines Photometers bei einer Wellenlänge von  $\lambda = 800 \text{ nm}$  ermittelt.

Durch einen Zusatz von Citronensäure werden Metallionen, die den Nachweis stören könnten, komplex gebunden.

## Eichung

Die *Konzentration* von Nitrit-, Ammonium- bzw. Phosphationen ist bis zu einem bestimmten Betrag proportional zur photometrischen *Extinktion* der farbigen Lösung (*Lambert-Beersches Gesetz*):

$$c = f \cdot E$$

Der *Eichfaktor*  $f$  läßt sich mit Lösungen bekannter Konzentrationen ermitteln. Man erhält sie durch Verdünnen einer *Standardlösung*\*\* mit künstlich hergestelltem Meerwasser\*\*\*, dessen Salzgehalt dem der Wasserprobe entspricht.

\* *Deutsche Einheitsverfahren, D 11*

\*\* Herstellung s.S. 61

\*\*\* Herstellung s.S. 30

## Durchführung Nitrit/Nitrat

Da die photometrische Ermittlung des Nitratgehalts letztendlich auf einem Nachweis von Nitriten beruht, werden beide Ionenarten zusammen bestimmt.

### Geräte und Reagenzien

3 Erlenmeyerkolben, 100 ml	Cadmium, grob gepulvert
1 Becherglas, 100 ml	HgCl <sub>2</sub> -Lösung (1%ig)
2 Kunststoff-Spritzen, 50 ml	Salzsäure, halbkonzentriert
1 Kunststoff-Spritze, 5 ml	
1 Kunststoff-Spritze, 2 ml	Ammoniakpuffer
1 Spatel	Spritzflasche mit dest. Wasser
Reduktor für Nitrat	Essigsäure (50%ig)
Photometer, Meßküvetten	Reagenzgemisch

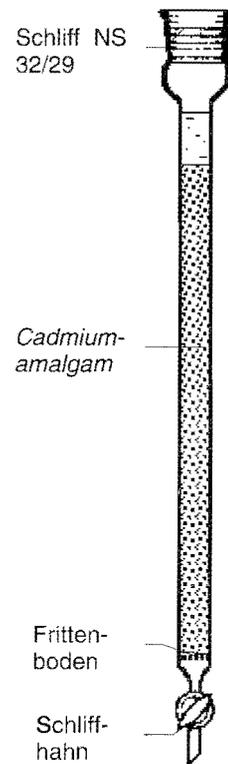
### Herstellung des Reduktors\*

Der Reduktor muß vor Antritt der Fahrt hergestellt werden, **wegen der Giftigkeit der verwendeten Reagenzien jedoch nur durch einen Fachlehrer**. Dazu benötigt man ein ca. 35 cm langes Glasrohr mit einem Durchmesser von ca. 1 cm, wie es üblicherweise für die Säulenchromatographie verwendet wird. Im gefüllten Zustand wird es für den Transport mit einem Schliffstopfen fest verschlossen.

Zur Herstellung des Reduktors wird eine passende Menge (vorher ausprobieren!) Cadmiumpulver mit halbkonzentrierter Salzsäure gewaschen. Anschließend wird das Cadmium in kleinen Portionen in 100 ml einer 1%igen Quecksilber(II)-chlorid-Lösung rasch eingerührt. Das etwas klumpige Amalgam wird nacheinander mit dest. Wasser, Salzsäure und nochmals dest. Wasser gespült, wobei darauf zu achten ist, daß es stets mit Flüssigkeit bedeckt ist.

Nun wird das Glasrohr mit Wasser gefüllt und das Amalgam schnell durch einen Trichter eingeschüttet, wobei Wasser überläuft. Durch Klopfen erreicht man eine möglichst dichte Packung.

Nach dem Füllen wird nochmals mit Wasser gespült. Damit das Amalgam nicht seine reduzierende Wirkung verliert, muß es stets mit Flüssigkeit bedeckt sein, bei Gebrauch am besten unter Zusatz von etwas Ammoniakpuffer. Nach ca. 50 Bestimmungen bzw. längeren Standzeiten muß das Cadmium neu amalgamiert werden.



### Herstellung der Reagenzien

**Ammoniakpuffer:** 25 g Ammoniumchlorid und 10 ml 6 %ige Ammoniaklösung werden in einem Becherglas in wenig Wasser gelöst und auf 100 ml aufgefüllt.

**Reagenzgemisch:** 60 g Weinsäure, 5 g Sulfanilsäure und 1 g  $\alpha$ -Naphthylamin\*\* werden einzeln in einem Porzellanmörser staubfein zerrieben und anschließend in einem trockenen Erlenmeyerkolben vermischt. Die fertige Mischung wird in schwarze, verschließbare Filmdosen umgefüllt.

\* nach G.Link u.a. *Wasseruntersuchungen, Ein Beitrag zur Erhaltung unserer Umwelt*, Berlin 1989

\*\* Besser, weil gesundheitlich unbedenklicher, ist die Verwendung von N-(1-Naphthyl)-ethylendiammoniumchlorid. Der Preis ist jedoch relativ hoch.

## Messung

Da die Reagenzien, vor allem nach längerer Lagerzeit, auch in Abwesenheit von Nitriten in der Lösung eine geringe Eigenfärbung besitzen, wird zusätzlich eine sog. *Blindprobe* aus *dest. Wasser* bereitgestellt. Sie wird ebenso behandelt wie die Wasserproben und dient bei der photometrischen Auswertung zur Festlegung des *Nullwerts* der Extinktion.

Nitrat	Nitrit	Blindprobe
<p>Etwa 100 ml filtrierte Wasserprobe in einem 100ml-Erlenmeyerkolben mit 2 ml Ammoniakpuffer vermischen. Mit der Lösung den Reduktor randvoll füllen.</p> <p>Ein Becherglas unterstellen, den Reduktorhahn vorsichtig öffnen und die Tropfgeschwindigkeit auf ca. 5 ml/min. einstellen.</p> <p>Bei ständigem Nachgießen die ersten 30 ml der aufgefundenen Probe verwerfen. Anschließend genau 50 ml in einen Erlenmeyerkolben füllen.</p>	<p>Genau 50 ml filtrierte Probe in einen Erlenmeyerkolben füllen.</p>	<p>Genau 50 ml dest. Wasser in einen Erlenmeyerkolben füllen.</p>
<p>Zu jeder der Proben 5 ml Essigsäure zumischen und einen gehäuften Spatel Reagenzgemisch zugeben. Die Kolben von Zeit zu Zeit schwenken, damit sich alles löst.</p> <p>Nach 30 Minuten von jeder Lösung in je eine Meßküvette füllen und die Proben bei einer Wellenlänge von <math>\lambda = 535 \text{ nm}</math> gegen die Blindprobe photometrieren.</p> <p>Nach Gebrauch den Reduktor mit einer Mischung aus 100 ml dest. Wasser und 2 ml Ammoniakpuffer spülen.</p>		

Wenn die Konzentration an Nitrit- bzw. Nitrationen in der Wasserprobe größer ist als 3 mg/l, flockt der Farbstoff aus und die Messung muß mit einer ausreichend verdünnten Probe wiederholt werden.

Die lineare Funktion zwischen *Extinktion* und *Konzentration* von Nitriten in der Lösung (*Lambert-Beersches Gesetz*) ist nur bis zu einem Betrag von 1 mg/l erfüllt. Werte darüber müssen mit einer Eichkurve ermittelt werden.

## Auswertung

Werden an die Genauigkeit der Ergebnisse nicht allzu große Ansprüche gestellt, kann man bei der Nitritbestimmung für den Eichfaktor - auch *ohne* Eichung - auf einen Literaturwert zurückgreifen:<sup>\*</sup>

$$f = 1,37 \pm 0,2 \text{ mg/l}$$

$$\text{Schichtdicke } d = 1 \text{ cm}$$

$$\text{Wellenlänge } \lambda = 535 \text{ nm}$$

Bei der Bestimmung des Nitratgehalts muß von der gemessenen Nitritkonzentration *der Anteil abgezogen* werden, der *ohne* Verwendung des Reduktors ermittelt wurde. Die Differenz, multipliziert mit dem stöchiometrischen Umrechnungsfaktor von Nitrit auf Nitrat (1,347) ergibt dann die Nitratkonzentration in der Wasserprobe.



Nitritkonzentration:	$c_{\text{NO}_2^-} = f \cdot E_{\text{NO}_2^-}$
Nitratkonzentration:	$c_{\text{NO}_3^-} = 1,347 \cdot f (E_{\text{NO}_3^-} - E_{\text{NO}_2^-})$

## Durchführung Ammoniak/Ammonium

Da das Natriumsalz der *Dichlorisocyanursäure* sehr teuer und nur in größeren Mengen käuflich ist, wurde auf einen fertigen Reagenziensatz zurückgegriffen, den uns die Herstellerfirma\*\* freundlicherweise zur Verfügung gestellt hatte. Ausführliche Vorschriften sind der Literatur zu entnehmen.\*\*\*

### Geräte und Reagenzien

1 Kunststoff-Spritze, 5 ml  
1 Dr.Lange Küvetten-Test<sup>®</sup> LCK 304  
Photometer

Kaliumnatriumtartrat (Seignettesalz)

### Messung

In ein Meßröhrchen werden zunächst 2 - 3 gehäufte Spatelspitzen Seignettesalz gegeben. Nach dem Auflösen werden von den Eichlösungen bzw. der filtrierten Wasserprobe jeweils 5 ml einpipettiert. Sollte sich dabei die Flüssigkeit trüben, muß mehr Seignettesalz hinzugefügt werden. Anschließend wird entsprechend der Arbeitsvorschrift verfahren.

\* R.K.Freier, *Wasseranalyse; Chemische, physiko-chemische und radiochemische Untersuchungsverfahren wichtiger Inhaltsstoffe*, Berlin 1974

\*\* Dr. Bruno Lange GmbH, Berlin

\*\*\* *Deutsche Einheitsverfahren*, E 5 sowie G.Link u.a. *Wasseruntersuchungen*, a.a.O., S. 104ff

## Durchführung Phosphat

### Geräte und Reagenzien

2 Meßkolben, 50 ml  
 1 Kunststoff-Spritze, 50 ml  
 1 Kunststoff-Spritze, 2 ml  
 1 Spatel  
 Photometer, Meßküvetten

Molybdat-Reagenz  
 Ascorbinsäure, citronensäurehaltig  
 Spritzflasche mit dest. Wasser

### Herstellung der Reagenzien

**Molybdat-Reagenz:** Zu ca. 100 ml Wasser wird unter Kühlen und Rühren 60 ml Schwefelsäure (98%ig) gegossen. Nach Abkühlen werden darin zunächst 6,5 g Ammoniumheptamolybdat-Tetrahydrat und anschließend 0,17 g Kaliumantimon(III)-oxidtartrat-Hydrat (Kaliumantimonyltartrat) gelöst. Nach vollständiger Auflösung wird mit Wasser auf 250 ml aufgefüllt.

**Ascorbinsäure, citronensäurehaltig:** 10 g Ascorbinsäure werden mit 1 g Citronensäure in einem Porzellanmörser fein verrieben und vermischt. Die Mischung wird in eine schwarze, verschließbare Filmdose gefüllt.



### Messung

Die Reagenzien weisen selbst eine gewisse Lichtabsorption auf. Deshalb wird für den *Nullwert* der photometrischen Phosphatbestimmung eine *Blindprobe* aus dest. Wasser und Reagenzien hergestellt.

Genau 40 ml der filtrierten Wasserprobe bzw. der Blindprobe werden in je einen Meßkolben gefüllt und mit einer gehäuften Spatelspitze (ca. 100 mg) Ascorbinsäure versetzt. Nach Zufügen von 2 ml Molybdat-Reagens wird mit Wasser auf 50 ml aufgefüllt. Nach 20 min. werden die Proben bei einer Wellenlänge von  $\lambda = 800 \text{ nm}$  photometriert.

Von Zeit zu Zeit müssen die Küvetten mit *Natronlauge* gereinigt werden, da sich der blaue Farbstoff an den Glaswandungen festsetzt.

### Auswertung

Anstelle einer Eichung kann man für den Eichfaktor  $f$  einen Literaturwert übernehmen\*, der bei einer Phosphatbestimmung in Meerwasser ermittelt wurde:

$$f = 5,2 \text{ mg/l}$$

Schichtdicke  $d = 1 \text{ cm}$   
 Wellenlänge  $\lambda = 800 \text{ nm}$

Phosphatkonzentration:	$c_{\text{PO}_4^{3-}} = f \cdot E_{\text{PO}_4^{3-}}$
------------------------	---

\* Sonderheft Nr.6 Meerwasseranalytik mit Dr. Lange Küvetten-Tests, Dr. Lange GmbH, Berlin

## Eichung

Für die Eichung des Photometers müssen zunächst *Standardlösungen* hergestellt werden. Diese Herstellung kann jedoch nicht auf dem Schiff erfolgen, sondern muß vor Antritt der Fahrt vorgenommen werden.

Die fertigen Lösungen, deren Konzentration für alle Ionenarten  $c = 0,1 \text{ g/l}$  beträgt, werden in dunkle Glasflaschen gefüllt und sind etwa 1 Monat haltbar.

### Geräte und Substanzen

4 Wägegläschen mit Deckel	Natriumnitrit, p.a.
1 Meßkolben, 50 ml	Kaliumnitrat, p.a.
4 Meßkolben, 100 ml	Ammoniumsulfat, p.a.
1 Meßpipette, 1 ml	Kaliumdihydrogenphosphat, p.a.
4 Glasflaschen, braun mit Schraubdeckel	
1 Spatel	
Analysenwaage	Schwefelsäure (25%ig)
Exsikkator	Chloroform

### Vorbereitung der Substanzen

Einige Spatel von jeder Substanz werden in je 1 Wägegläschen gegeben und bei einer Temperatur von  $105^\circ\text{C}$  etwa 1 Stunde lang getrocknet. Anschließend werden die Gläschen mit dem Deckel verschlossen und in einem Exsikkator aufbewahrt.

### Herstellung der Standardlösungen

Auf der Analysenwaage wird die jeweilige Substanzmenge genau abgewogen und mit Wasser in einen 100ml-Meßkolben überführt. Nach Auflösen der Substanz wird mit weiterem Wasser auf 100 ml ergänzt, die fertige Lösung in eine Glasflasche umgefüllt und zur Konservierung ca. 3 Tropfen Chloroform hinzugefügt.

Standard	Nitrit	Nitrat	Ammonium	Phosphat
Einwaage in mg	15,0	16,4	73,3	14,3 + 1ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

### Herstellung der Verdünnungen

Mit Hilfe einer 1ml-Meßpipette werden verschiedene Mengen der jeweiligen Standardlösung in einen 50ml-Meßkolben gegeben und mit künstlich hergestelltem Meerwasser\* bis zur Marke aufgefüllt. Dabei ergeben sich folgende Konzentrationen:

Zugabe Standard in ml	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,75	1,0
Konzentration in mg/l	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0

\* Herstellung von künstlichem Meerwasser s.S. 30

# Gefahrstoffanhang

Kopiervorlage

Viele der im Themenbereich „Messen“ verwendeten Stoffe sind mehr oder weniger giftig und erfordern daher eine sachgemäÙige Handhabung. In der folgenden Zusammenstellung sind alle Stoffe aufgeföhrt, von denen eine Geföhrdung ausgeht. Die Kennzeichnung entspricht den sog. *Gefahrenhinweisen (R-Sätze)*.

Stoff	Gefahrenhinweis	carcinogene Wirkung
Ammoniaklösung	R 36-38	
Ammoniumchlorid	R 22	
Ammoniummolybdat	R 22	
Cadmium	R 20-22	Verdacht
Chloroform	R 20	Verdacht
Essigsäure	R 35, 37, 38	
Iod	R 20, 21	
Kaliumantimonyltartrat	R 22	Verdacht
Kaliumchromat	R 36-38	gesichert
Kaliumpermanganat	R 8, 9	
$\alpha$ -Naphthylamin	R 20-22	gesichert *
Natriumazid	R 28	
Natriumfluorid	R 23-25	
Natriumhydroxid	R 35	
Natriumnitrat	R 8	
Natriumnitrit	R 8, 25	
Natronlauge	R 35	
Quecksilber	R 23-25, 31	
Quecksilber(II)-chlorid	R 26-28	
Salzsäure	R 34-36	
Schwefelsäure	R 35	
Silbernitrat	R 34	
Sulfanilsäure	R 20-22	
Weinsäure	R 36	
Zink	R 15-17	
Zinkchlorid	R 34	

## Gefahrenhinweise

R 8, 9	Feuergefahr, Explosionsgefahr bei Beröh rung mit brennbaren Stoffen
R 15	reagiert mit Wasser unter Bildung leicht entzündlicher Gase
R 16	explosionsgeföh rlich in Mischung mit brandfördernden Stoffen
R 17	selbstentzündlich an der Luft
R 20, 21, 22	gesundheitsschädlich beim Einatmen, Beröhren, Verschlucken
R 23, 24, 25	giftig beim Einatmen, Beröhren, Verschlucken
R 26, 27, 28	sehr giftig beim Einatmen, Beröhren, Verschlucken
R 31, 32	entwickelt bei Beröh rung mit Säure giftige Gase, sehr giftige Gase
R 34, 35	verursacht Verätzungen, schwere Verätzungen
R 36, 37, 38	reizt Augen, Atmungsorgane, Haut

\* durch Verunreinigung mit geringen Mengen von carcinogenem  $\beta$ -Naphthylamin

# Wasseranalyse - Ergebnisbogen

Kopiervorlage

Gewässer, Entnahmeort	Datum, Uhrzeit	Probennehmer/in
Wassertemperatur °C	Lufttemperatur °C	pH-Wert

<b>Aussehen</b>	klar	schwach getrübt	stark getrübt	undurchsichtig
<b>Färbung</b>	farblos	schwach gefärbt	stark gefärbt	<u>Farbton</u>
<b>Geruch</b>	ohne	schwach	stark	<u>spez. Geruch</u>
Geruchsart	metallisch faulig	erdig jauchig	fischig aromatisch	modrig grasartig

<b>Permanganatzahl</b>	mg/l	<b>Chloridgehalt</b>	g/l
------------------------	------	----------------------	-----

<b>biochemische Aktivität: Bilanz gelöster Sauerstoff</b>		
Nullwert <i>N</i> mg/l	Hellwert <i>H</i> mg/l	Dunkelwert <i>D</i> mg/l
Sättigung %	Nettoproduktion <i>H - N</i> mg/l	

<b>Nährstoffe</b>	
Nitrit	mg/l
Nitrat	mg/l
Ammonium	mg/l
Phosphat	mg/l

## Mikroskopischer Befund

Art des Planktons	Zustand des Planktons

## Literatur

### *Grundlagen, Monographien*

H. Blackburn, J. Sørensen [Hrsg.], *Nitrogen Cycling in Coastal Marine Environments, Scope 33*, Chichester 1988.

K. Buchwald, W. Engelhardt [Hrsg.], *Handbuch für Planung, Gestaltung und Schutz der Umwelt, Bd. 2: Die Belastung der Umwelt*, München, Bern, Wien 1978.

S.A. Gerlach, *Meeresverschmutzung*, Berlin, Heidelberg 1976.

Thomas Höpner, *Der ökologische Zustand der Nordsee*, ChiuZ **23**,1 (1989), S.1 ff

Landesamt für den Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer [Hrsg.], *Rettet die Nordsee*, 1988.

Ministerie van verkeer en waterstaat [Hrsg.], *Wadatlas*, Amsterdam 1989.

J.P. Riley, G. Skirrow, *Chemical Oceanography*, London, New York 1975.

Jürgen Schwoerbel, *Einführung in die Limnologie*, Stuttgart und Jena 1993.

Pierre A. Tschumi, *Umweltbiologie, Ökologie und Umweltkrise*, Frankfurt/Main und Aarau 1981.

### *Analytik, Projekte*

Aktionskonferenz Nordsee e.V. [Hrsg.], *Unterrichtsmaterialien Wattenmeer und Nordsee*, Göttingen und Lichtenau 1989.

Fachgruppe Wasserchemie in der GdCh [Hrsg.], *Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung* (DEV), Weinheim (jeweils aktualisierte Fassung).

Leonhard A. Hütter, *Wasser und Wasseruntersuchung*, Frankfurt/Main 1979.

Institut für Wasserwirtschaft, Berlin [Hrsg.], *Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung, Band 1*, Jena 1988.

G. Link, D. Jahn, R. Ostrower, H. Reunecker, *Wasseruntersuchungen, Ein Beitrag zur Erhaltung unserer Umwelt*, Pädagogisches Zentrum Berlin 1989.

# Segeln



Auf einem  
Segelschiff wird ...



*Palstek, für Henker  
nicht geeignet*

hart  
gearbeitet



...aber  
auch  
gegessen.

gut

## Keine Angst vor hohen Wellen !

Eine sehr häufig geäußerte Sorge von Lehrer- wie auch von Schülerseite betrifft das mögliche Auftreten von hohem Seegang, und damit verbunden, die Angst vor Seekrankheit. Diese generellen Vorbehalte gegen ein Projekt an Bord eines Schiffes sind im Bereich des Wattenmeers nicht gerechtfertigt. Da das Wattenmeer im Schutze der vorgelagerten Inseln liegt, kann dort das Wasser selbst bei kräftigem Wind nie zu solch hohen Wellen auflaufen wie auf der offenen See.

### *Ausrüstung und Verhaltensweisen an Bord*

Plattbodenschiffe sind normalerweise nicht nur seglerisch, sondern auch vom Komfort des Wohnens her auf einem technisch aktuellen Stand. Sie verfügen meist über enge, zum Schlafen jedoch ausreichende Kabinen mit zwei oder mehr Betten, eine voll eingerichtete Küche sowie über sanitäre Einrichtungen. Die Schiffe bieten dennoch keinen Zimmerservice und keine Restauration, sie sind auf Selbstversorgung eingestellt.

Chef und Verantwortlicher an Bord ist der *Skipper*. Seine Anweisungen bzw. die des mitfahrenden Bootsmanns werden, was die seglerischen Tätigkeiten auf dem Schiff betrifft, ohne Diskussion durchgeführt. In dieser Hinsicht ist ein Schiff ein unabhängiger Staat mit diktatorischer Regierung.

### *Planung der Fahrtenroute*

Die Fahrt auf dem Wattenmeer findet zwischen dem Festland und den vorliegenden westfriesischen Inseln statt. Eine genaue Planung im voraus ist dabei nicht möglich, da der Kurs stets von *Windrichtung* und *Gezeiten* abhängt. Er wird daher normalerweise im Einvernehmen mit dem Skipper jeden Tag neu festgelegt.

Nachts liegt das Schiff meistens im Hafen, ein besonderes Naturerlebnis ist jedoch das Übernachten auf dem Watt nach Trockenfallen. Bevor die Flut das festliegende Schiff wieder freigibt, gibt es viel Zeit zur Muße. Farben und Stimmungen bei dem sich verändernden Sonnen- und Wasserstand regen zum Aquarellieren an.



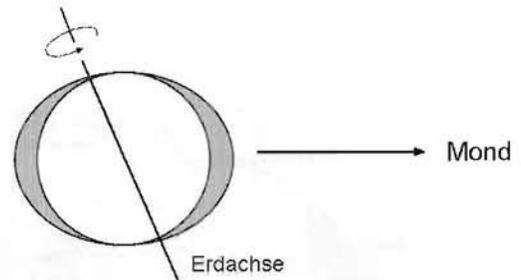
Die nachfolgenden Seiten sind zur Vorbereitung des Projekts als *Kopiervorlagen* angelegt. Dabei sind die Inhalte im wesentlichen auf das beschränkt, was für eine Fahrt auf einem Plattbodenschiff benötigt wird, ergänzt durch einige Aufgaben bzw. Beschäftigungen, die im Zusammenhang mit einer Seefahrt interessant sein können.

# Warum bleibt das Wasser weg ?

Kopiervorlage

Die Antwort darauf ist klar: Der Mond ist schuld! Er wird zwar durch die Anziehungskraft der *Erde* auf seiner Bahn gehalten, er zieht *seinerseits* mit derselben Kraft von etwa 200 Milliarden Newton die Erde an. Das entspricht der Schwere einer Masse von ca. 20 Millionen Tonnen.

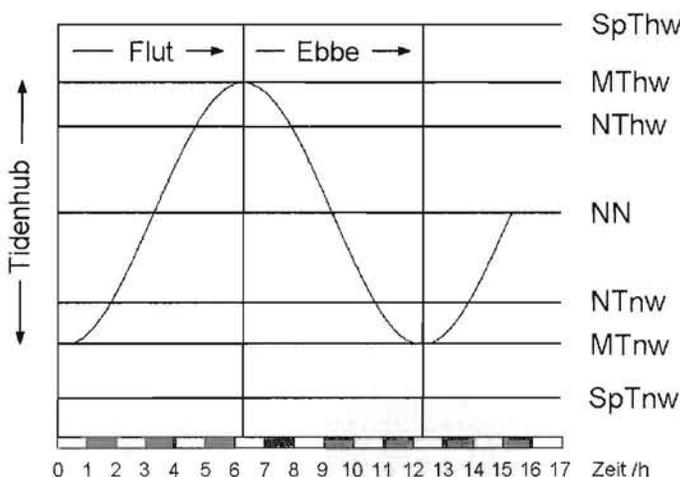
Unter der Wirkung dieser ungeheueren Kraft strömen die dem Mond *zugewandten* beweglichen Wassermassen der Meere dem Mond *entgegen*. Das Wasser auf der dem Mond *abgewandten* Seite bleibt - stark vereinfacht dargestellt - demgegenüber *zurück*. Auf diese Weise entsteht sowohl auf der mondzugewandten wie der mondabgewandten Seite je ein „Wasserberg“, unter dem sich die Erde aufgrund ihrer Eigenrotation einmal am Tag hindurchdreht.



So entstehen die *Gezeiten*: An den Meeresküsten der Erde ist am Tag zweimal *Hochwasser* und zweimal *Niedrigwasser*. Diese Zeiten verschieben sich dabei täglich um etwa *eine Stunde* vorwärts, weil der Mond auf seiner Bahn um die Erde inzwischen ein Stück weitergerückt ist.

Zweimal im Monat treten sog. *Springtiden* auf, wenn Erde, Mond und *Sonne* ungefähr in einer Linie stehen, d.h. bei *Neumond* und *Vollmond*. In diesem Fall sind die Gezeiten besonders *stark* ausgeprägt, da die Anziehungskraft der Sonne in dieselbe Richtung wirkt wie die des Mondes.

Entsprechend *schwach* sind die sog. *Nipptiden* bei *Halbmond*, wenn Sonne und Mond bezüglich der Erde im rechten Winkel zueinander stehen.



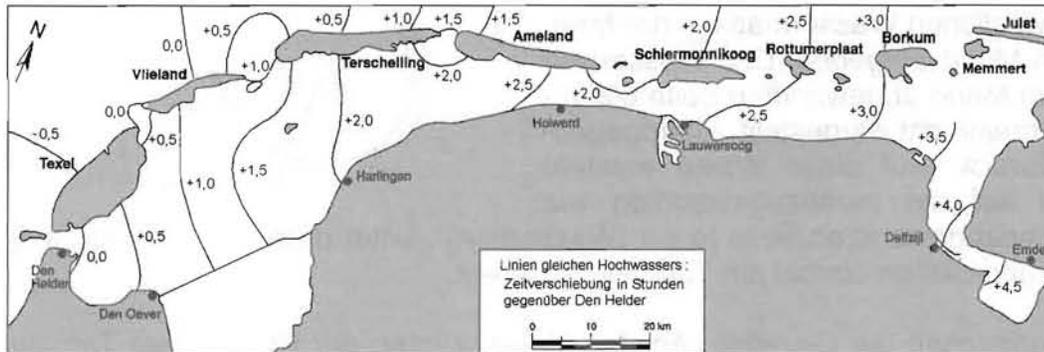
### Abkürzungen:

SpThw	Springtidenhochwasser
MThw	mittleres Tidenhochwasser
NThw	Nipptidenhochwasser
NN	Normalmeereshöhe
NTnw	Nipptidenniedrigwasser
MTnw	mittleres Tidenniedrigwasser
SpTnw	Springtidenniedrigwasser

## Mit dem Wasser um die Wette

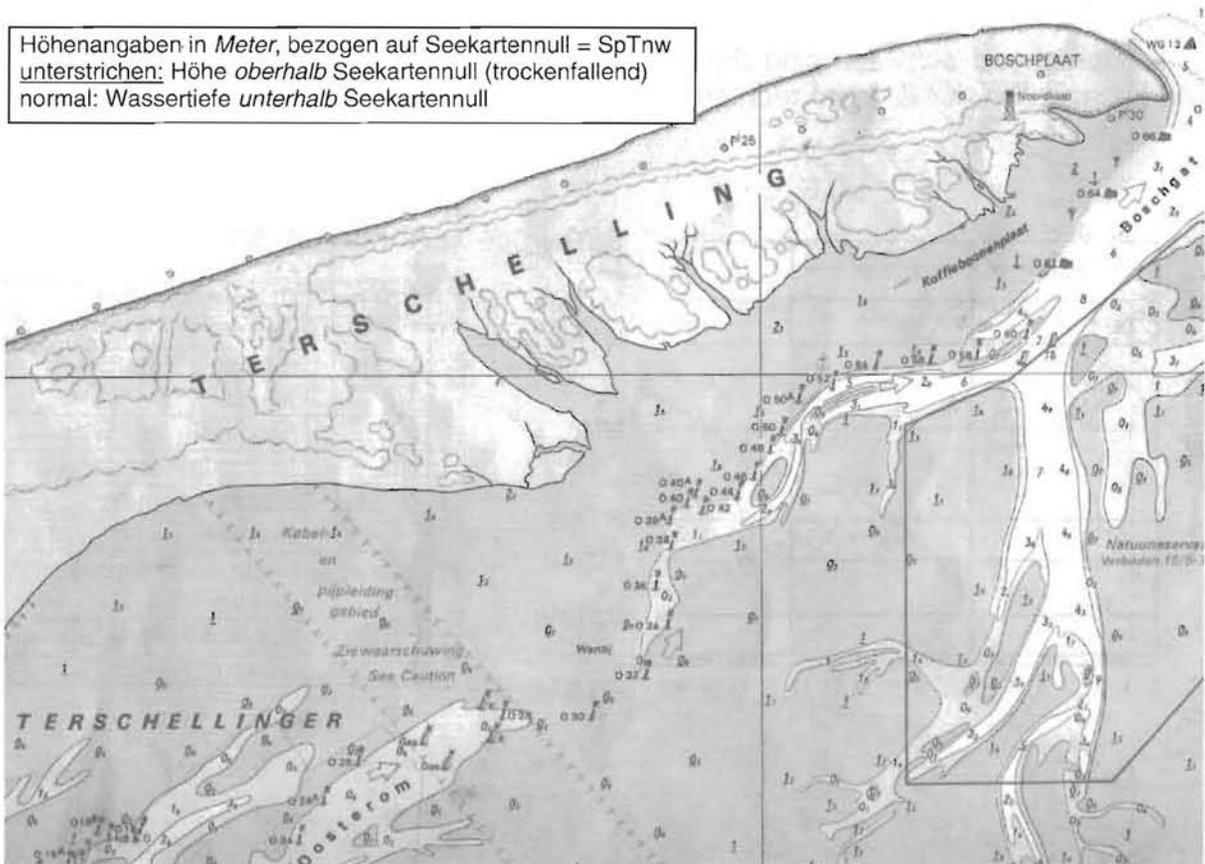
Kopiervorlage

Das Befahren des Wattenmeers mit einem Schiff erfordert die genaue Kenntnis von Ebbe und Flut. Die Informationen darüber sind jährlich neu erscheinenden *Gezeitentafeln* zu entnehmen, in dem die Zeiten für Hoch- und Niedrigwasser für ausgewählte Orte tabelliert sind. Einer der Bezugsorte im Bereich des niederländischen Wattenmeers ist *Den Helder*. Da das auflaufende Wasser von Westen kommt und nach Westen wieder abfließt, ergeben sich für alle Orte östlich von Den Helder je nach Entfernung mehr oder weniger große Zeitverschiebungen:



Bei Flut fließen die Wassermassen um die Inseln in den zum Teil ausgedehnten Prielen *aufeinander zu* und werden dadurch abgebremst. Die Grenzen zwischen beiden Strömen stellen somit *Wasserscheiden* (holl. Wantij) dar, die durch das ständige Anschwemmen von Sediment gegenüber ihrer Umgebung die geringste Wassertiefe haben und bei Niedrigwasser immer trockenfallen. Die Kunst der Schifffahrt auf dem Wattenmeer besteht nun darin, alle Einflüsse von Wind und Strömung geschickt zu nutzen, um über diese „Berge“ zu kommen, ohne festzufahren.

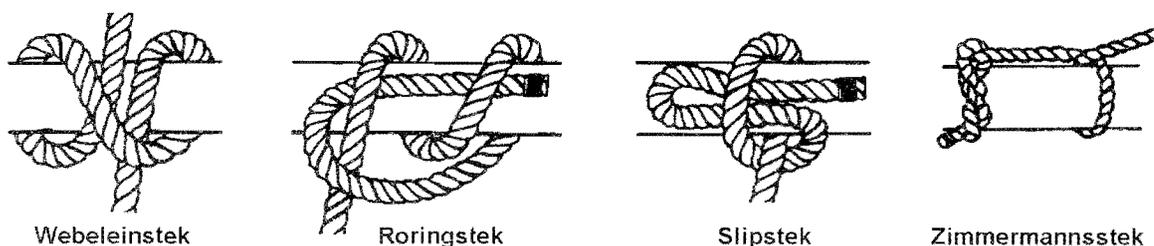
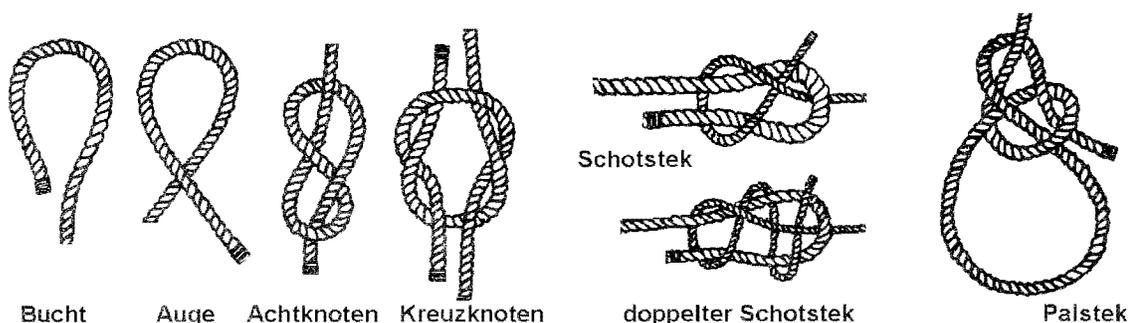
Höhenangaben in *Meter*, bezogen auf Seekartennull = SpTnw  
unterstrichen: Höhe *oberhalb* Seekartennull (trockenfallend)  
 normal: Wassertiefe *unterhalb* Seekartennull



# Seemannsknoten

Kopiervorlage

Über Seemannsknoten gibt es ganze Bibliotheken. Für die Fahrt auf einem niederländischen Plattbodenschiff braucht man folgende:



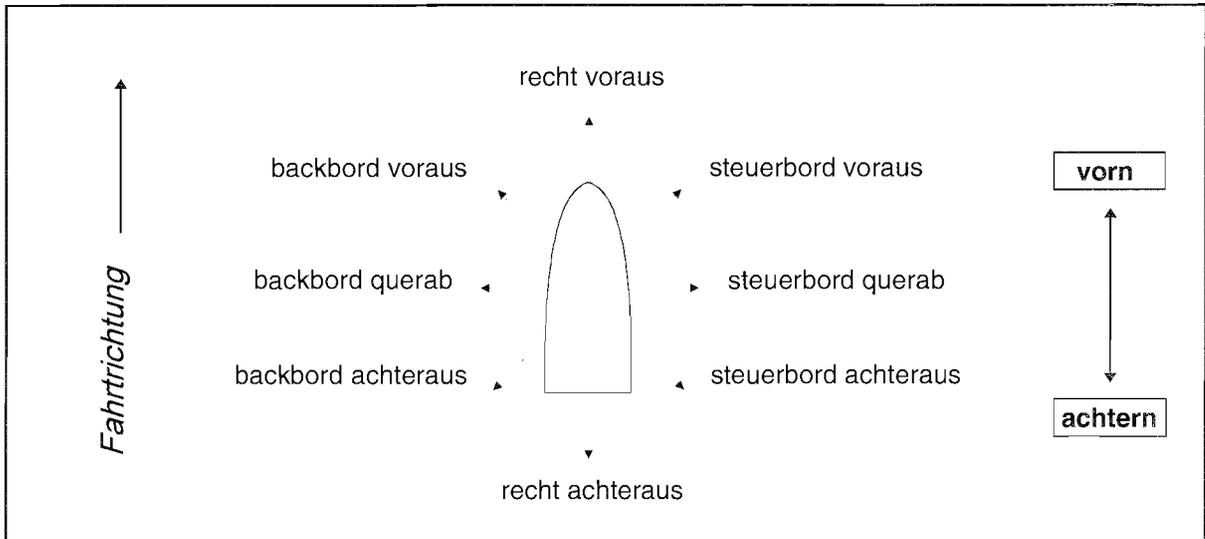
- *Bucht* und *Auge* sind Vorstufen zu einem Knoten.
- Einen *Achtknoten* macht man am Ende einer Leine, z.B. an einer *Schot*, um sie zu sichern.
- Mit einem *Kreuzknoten* wird z.B. ein *Reff* im Großsegel festgebunden.
- Mit einem *Schotstek* werden zwei verschiedene Leinen miteinander verbunden. Ein *doppelter Schotstek* hält mehr als ein einfacher.
- Ein *Palstek* ist eine Art *Auge*, das sich **nicht** zusammenzieht. Er ist z.B. am Ende einer Leine, mit der das Schiff im Hafen an einem *Poller* festgemacht wird.
- *Rundtörn* und *halbe Schläge* verwendet man zum vorübergehenden *Belegen* einer Leine, z.B. einen *Festmacher*.
- An Bord des Schiffes befinden sich mehrere *Klampen*. Auf ihnen werden bewegliche Leinen z.B. die *Backstagen* belegt.
- Mit einem *Webeleinstek* werden die *Fender* an der *Seereling* befestigt und die *Festmacher* an den auf dem Schiff dafür vorgesehenen *Pollern*.
- Mit einem *Roringstek* ist z.B. die *Ankerleine* am Anker befestigt.
- Einen vorläufig gelegten *Slipstek* kann man ganz schnell wieder lösen. Auch einige andere Knoten, z.B. den *Webeleinstek* kann man vorübergehend *auf Slip legen*.
- Mit einem *Zimmermannsstek* kann man sehr gut Pakete packen. Auf einem Schiff wird damit z.B. das *aufgetuchte* Großsegel zusammengehalten.

# Ohne Orientierung geht nichts

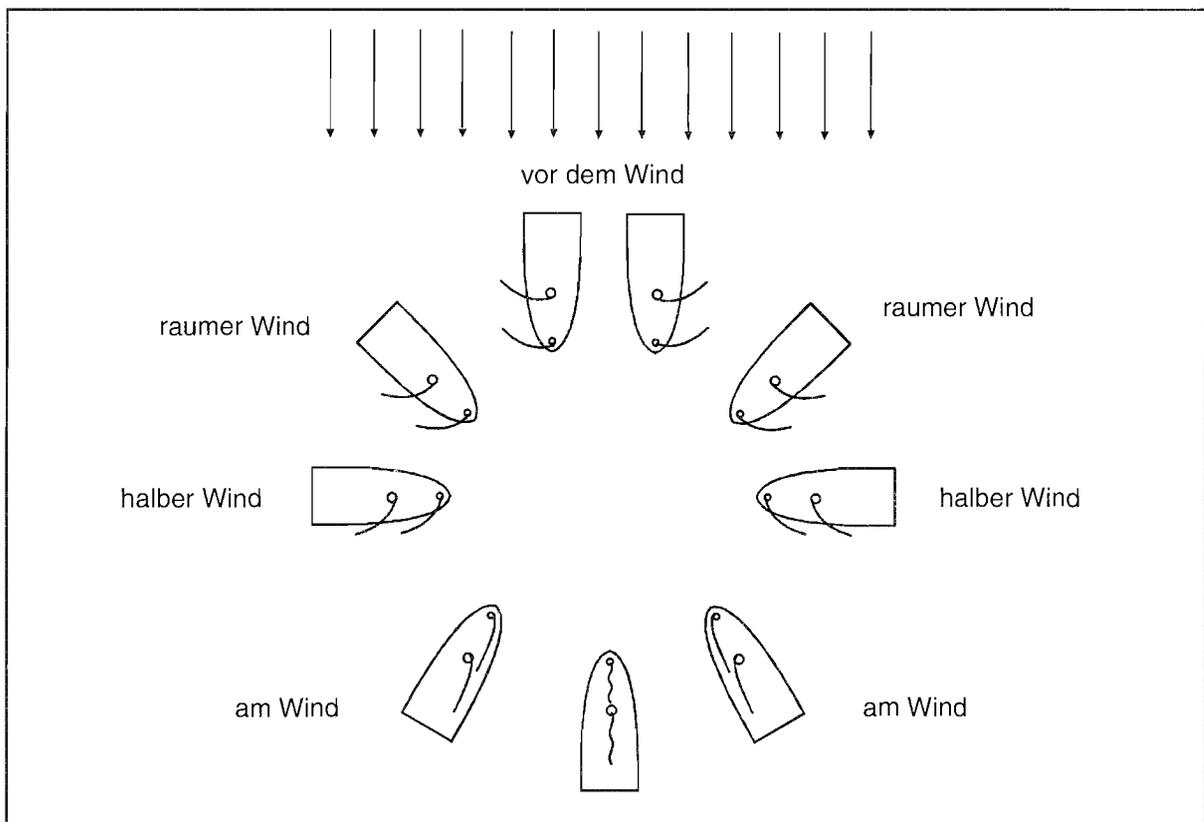
Kopiervorlage

Bei einem Segelschiff gibt es weder rechts noch links - und hinten gibt es auch nicht. Der Grund: Bei der Koordination von Tätigkeiten an Bord könnte es leicht zu womöglich folgenschweren Mißverständnissen kommen, je nach dem, in welcher Position zum Schiff sich die Gesprächspartner befinden.

Daher sind alle Richtungen, vom Schiff aus gesehen, eindeutig festgelegt:



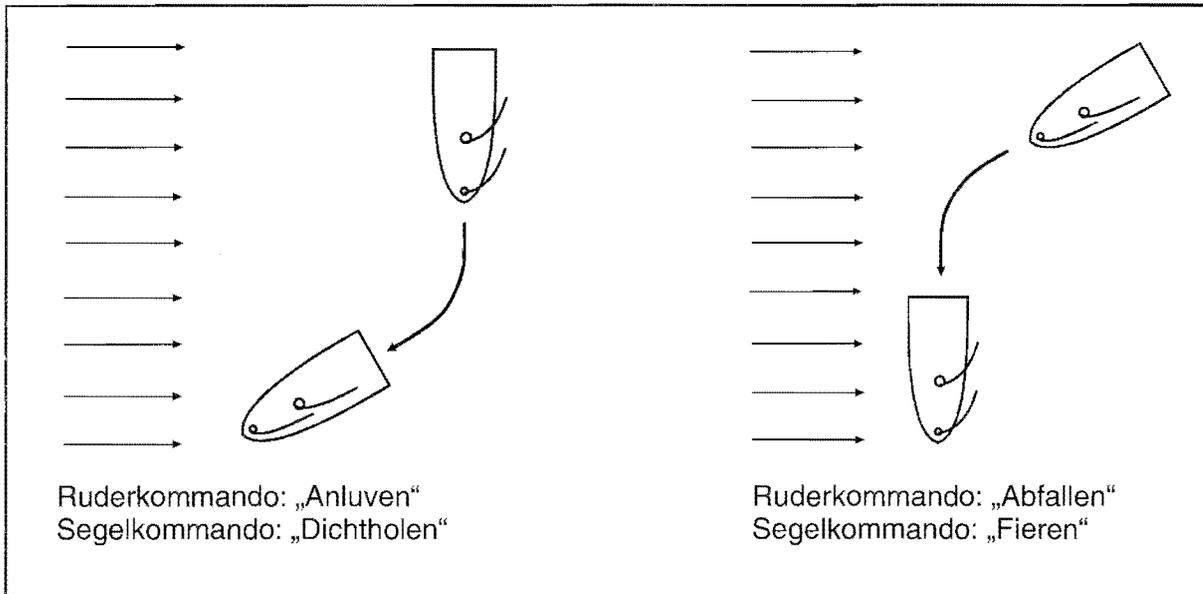
Fällt der Wind direkt von vorn ein, ist Segeln *nicht* möglich. Ansonsten werden je nach Einfallsrichtung des Windes unterschiedliche *Segelkurse* mit unterschiedlichen *Segelstellungen* gefahren:



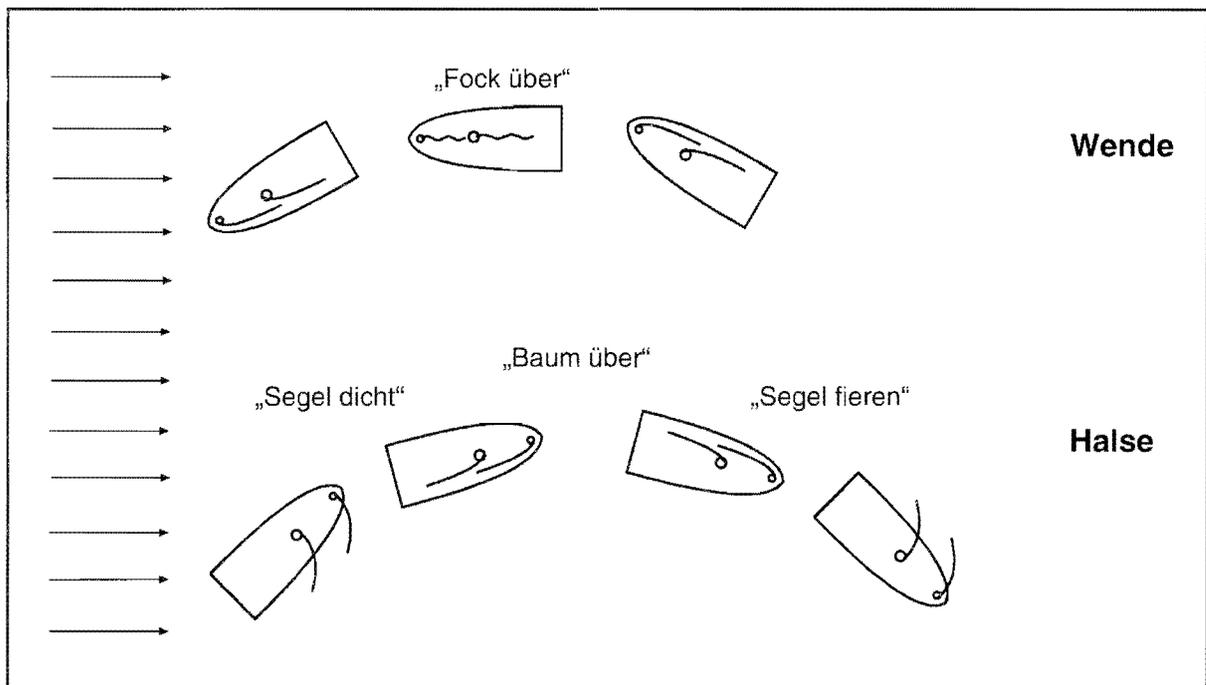
# Richtungsänderung - Segelmanöver

Kopiervorlage

Mit einem Segelschiff fährt man selten längere Zeit nur geradeaus, sondern je nach Gegebenheit des Fahrtreviers mal nach backbord oder steuerbord. Anders als beim Motorboot reicht es bei einem Segelschiff nicht, einfach das Ruder nach der einen oder anderen Seite zu legen: Da sich dabei die Position des Schiffs gegenüber dem Wind verändert, muß *gleichzeitig* auch die Stellung der Segel verändert werden.



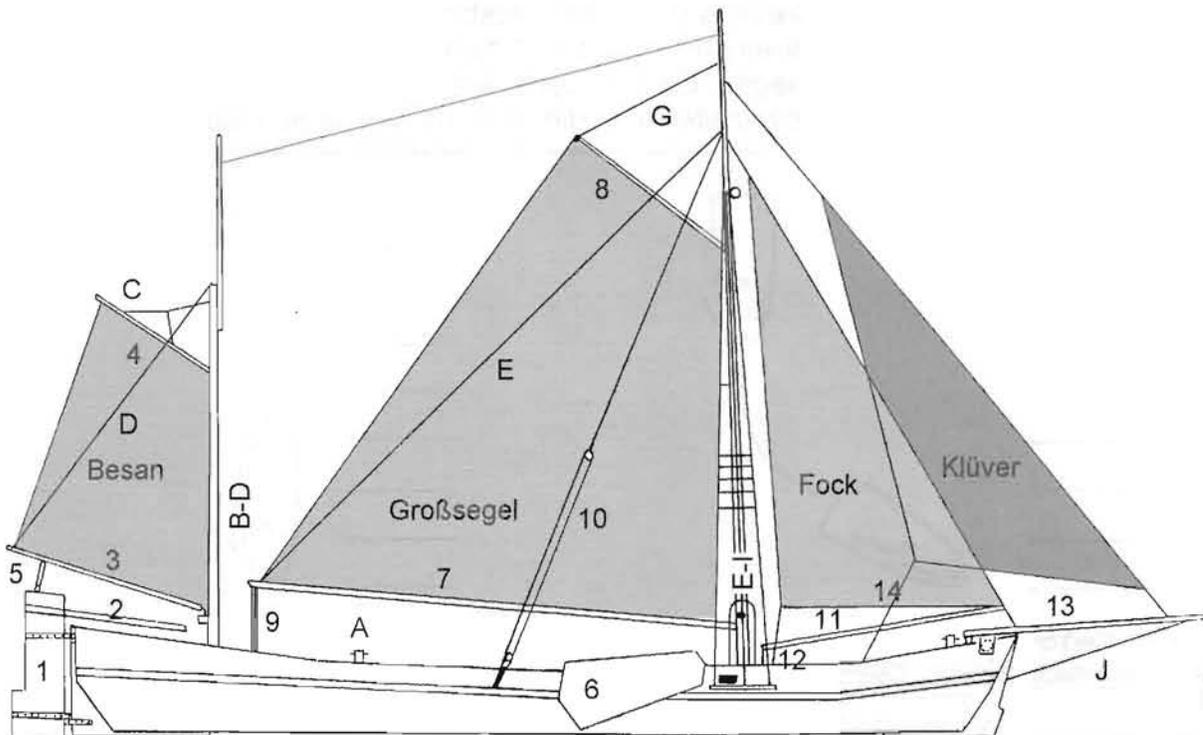
Eine besondere Situation liegt vor, wenn das Schiff bei einer Änderung der Fahrtrichtung „durch den Wind geht“, d.h. wenn während des Manövers der Wind direkt von *vorn* bzw. von *achtern* kommt. Da danach der Wind auf der anderen Seite des Schiffs einfällt, müssen auch die Segel auf die jeweils gegenüberliegende Seite umgesetzt werden. Je nach Windrichtung gibt es 2 Arten des Manövers:



# Wie steuert man ein Plattbodenschiff ?

Kopiervorlage

## Aufbau und Bedienung



Achterschiff	Mittelschiff	Vorschiff
<p>Am Achterschiff benötigt man <b>2 Personen</b>. Sie werden für die Betätigung der <i>Schwerter</i> eingesetzt. Bei Zweimastern benötigt man weitere <b>3 Personen</b> für die Bedienung des <i>Besansegels</i> und der <i>Backstagen</i> vom Besanmast.</p> <p><i>An- und Ablegen</i></p> <p>A Poller</p> <p><i>Bedienen beim Fahren</i></p> <p>1 Ruder 2 Pinne bzw. Steuerrad 3 Besanbaum 4 Besangaffel 5 Besanschot 6 Schwert</p>	<p>Am Mittelschiff, d.h. hinter dem Großbaum, benötigt man ca. <b>5 Personen</b>. Sie sind für die Bedienung des <i>Großsegels</i> und der <i>Backstagen</i> zuständig. Bei Zweimastern müssen sie zusätzlich das <i>Besansegel</i> setzen und bergen.</p> <p><i>Setzen und Bergen</i></p> <p>B Besanfall C Piekfall D Besandirk</p> <p><i>Bedienen beim Fahren</i></p> <p>7 Großbaum 8 Großgaffel 9 Großschot + Hilfsschot 10 Backstag C Piekfall (beim Halsen)</p>	<p>Am Vorschiff, d.h. vor dem Mast und am Mast, benötigt man ca. <b>5 Personen</b>. Sie sind für die Bedienung von <i>Klüver</i> und <i>Fock</i> zuständig. Außerdem müssen sie <i>Klüver</i>, <i>Fock</i> und <i>Großsegel</i> setzen und bergen.</p> <p><i>Setzen und Bergen</i></p> <p>E Großdirk H Fockfall F Großfall I Klüverfall G Piekfall J Wasserstag</p> <p><i>Bedienen beim Fahren</i></p> <p>11 Fockbaum 12 Fockschot 13 Klüverbaum 14 Klüverschot G Piekfall (beim Halsen)</p>

## Begriffe

Kopiervorlage

<b>Anschlagen</b>	Bezeichnung für das Befestigen von Segeln an <i>Baum</i> , <i>Fall</i> oder <i>Stag</i> .
<b>Backstag</b>	Stahlseil mit <i>Blöcken</i> , das den <i>Mast</i> seitlich nach achtern abstützt.
<b>Baum</b>	Rundholz zur Befestigung der Unterseite von <i>Großsegel</i> und <i>Besan</i> . Am achterlichen Ende des Baums sind die <i>Schoten</i> befestigt.
<b>Bergen</b>	Bezeichnung für das Herunterlassen von Segeln mit Hilfe der <i>Fallen</i> .
<b>Besan</b>	<i>Großsegel</i> vom hintersten <i>Mast</i> bei Zweimastern.
<b>Block</b>	Ausdruck für ein Bauteil, an dem Leinen umgelenkt oder befestigt werden.
<b>Dirk</b>	Seil, meist aus Stahl, mit dem bei nicht <i>gesetztem</i> Segel der <i>Baum</i> gehalten wird.
<b>Fall</b>	Leine zum <i>Setzen</i> der Segel.
<b>Fock</b>	Das erste Segel vor dem <i>Mast</i> .
<b>Gaffel</b>	Rundholz zum <i>Setzen</i> von <i>Großsegel</i> und <i>Besan</i> am <i>Mast</i> . Das achterliche Ende der Gaffel bezeichnet man als <i>Piek</i> .
<b>Großsegel</b>	Segel hinter dem <i>Mast</i> , bei Zweimastern das Segel am Vordermast.
<b>Klüver</b>	Das Segel, das vor der <i>Fock</i> angeschlagen wird.
<b>Klüverbaum</b>	Hochklappbares Rundholz, ragt bei <i>gesetztem Klüver</i> über die Schiffsspitze hinaus.
<b>Mast</b>	Bei traditionellen Segelschiffen aus Holz, meist aus Kiefer, nie aus Fichte. Am Mast werden alle <i>Fallen</i> , <i>Wanten</i> und <i>Stage</i> , sowie viele <i>Blöcke</i> und Seile befestigt.
<b>Piekfall</b>	Leine zum Bewegen der Gaffelpiek beim <i>Setzen</i> der Segel und beim Halsen.
<b>Pinne</b>	Vorrichtung zur Bewegung des Ruders. Die meisten Schiffe haben heutzutage ein Steuerrad.
<b>Poller</b>	<i>Blöcke</i> aus Holz oder Stahl zum Festmachen des Schiffs mittels Leinen an Land.
<b>Reffen</b>	Tätigkeit, mit der man bei zu starkem Wind die Fläche eines Segels verkleinert.
<b>Schot</b>	Eine Leine, mit dem je nach Windrichtung die Segelstellung verändert werden kann.
<b>Schwert</b>	Bei Plattbodenschiffen seitlich am Rumpf angebrachtes schweres Holzbrett zur Verhinderung der Abdrift. Das Schwert wird mittels einer Winde bedient.
<b>Setzen</b>	Bezeichnung für das Hochziehen von Segeln mit Hilfe der <i>Fallen</i> .
<b>Stage</b>	Stahlseile, die den <i>Mast</i> nach vorn und nach achtern abstützen. <i>Fock</i> und <i>Klüver</i> werden an <i>Stagen</i> hochgezogen.
<b>Talje</b>	Flaschenzug zur Kraftübertragung, z.B. an den <i>Schoten</i> .
<b>Wasserstag</b>	Vorrichtung zum Festhalten des <i>Klüverbaums</i> bei <i>gesetztem Klüver</i> .
<b>Wanten</b>	Sind meist Stahlseile, die den <i>Mast</i> seitlich abstützen. Sie bleiben immer fest.

## Wo sind wir ? - Ortsbestimmung auf See

Die Fahrt durch das Wattenmeer ist keine Ozeanüberquerung, bei der wochenlang keine Landschaft besteht. Die Routen sind vielmehr durch zahlreiche Schwimmkörper aus Stahl, sog. *Tonnen* bzw. dünne Baumstämme, sog. *Pricken*, markiert, so daß man sich eigentlich gar nicht verirren kann.

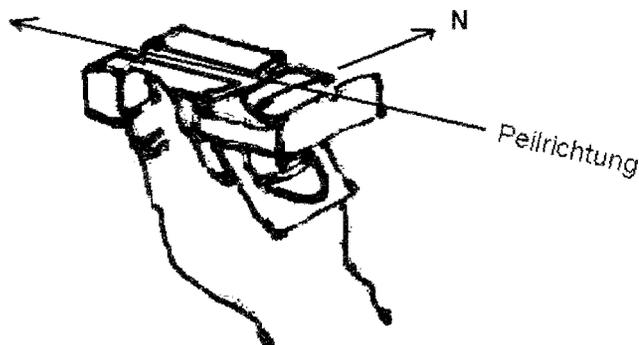
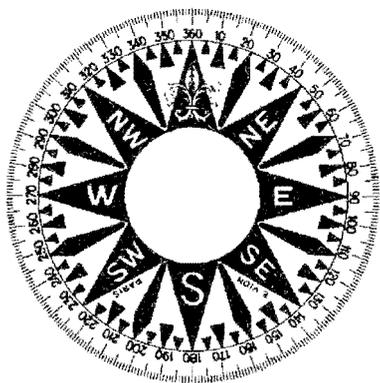
Dennoch ist es von Zeit zu Zeit durchaus sinnvoll zu wissen, wo man sich *genau* befindet, vor allem, wenn das Schiff trockenengefallen ist. Nicht selten besteht nämlich dann der Wunsch, vom Watt aus trockenen Fußes die nächste Insel bzw. das Festland zu erreichen. Dies ist jedoch nur möglich, wenn man weiß, wie weit das Land entfernt ist, damit eine Rückkehr an Bord vor Eintreffen der Flut gesichert ist.

Die Erfahrung zeigt, daß Entfernungen vom Wasser aus fast immer unterschätzt werden. Daher wird anstelle des Augenscheins eine sog. *Kreuzpeilung* vorgenommen. Man benötigt dazu eine geeignete *Seekarte*, einen *Peilkompaß*, ein sog. *Kursdreieck*, einen *Bleistift* und einen *Stechzirkel*. Diese Gegenstände kann man sich normalerweise beim Skipper ausleihen.

Eine *Seekarte* ist so eingerichtet, daß „oben“ immer genau „Norden“ ist. An den Seitenrändern sind Skalen für die *geografische Breite* und die *geografische Länge* angebracht. Die **senkrechte** Längenskala dient gleichzeitig als *Entfernungsmaßstab*. Er ist unterteilt in *Bogenminuten* und diese wiederum in meist 10 Teile.

$$\begin{aligned} 1 \text{ Bogenminute} &= 1 \text{ Seemeile (1 sm)} \\ 1 \text{ sm} &= 1852 \text{ m} \end{aligned}$$

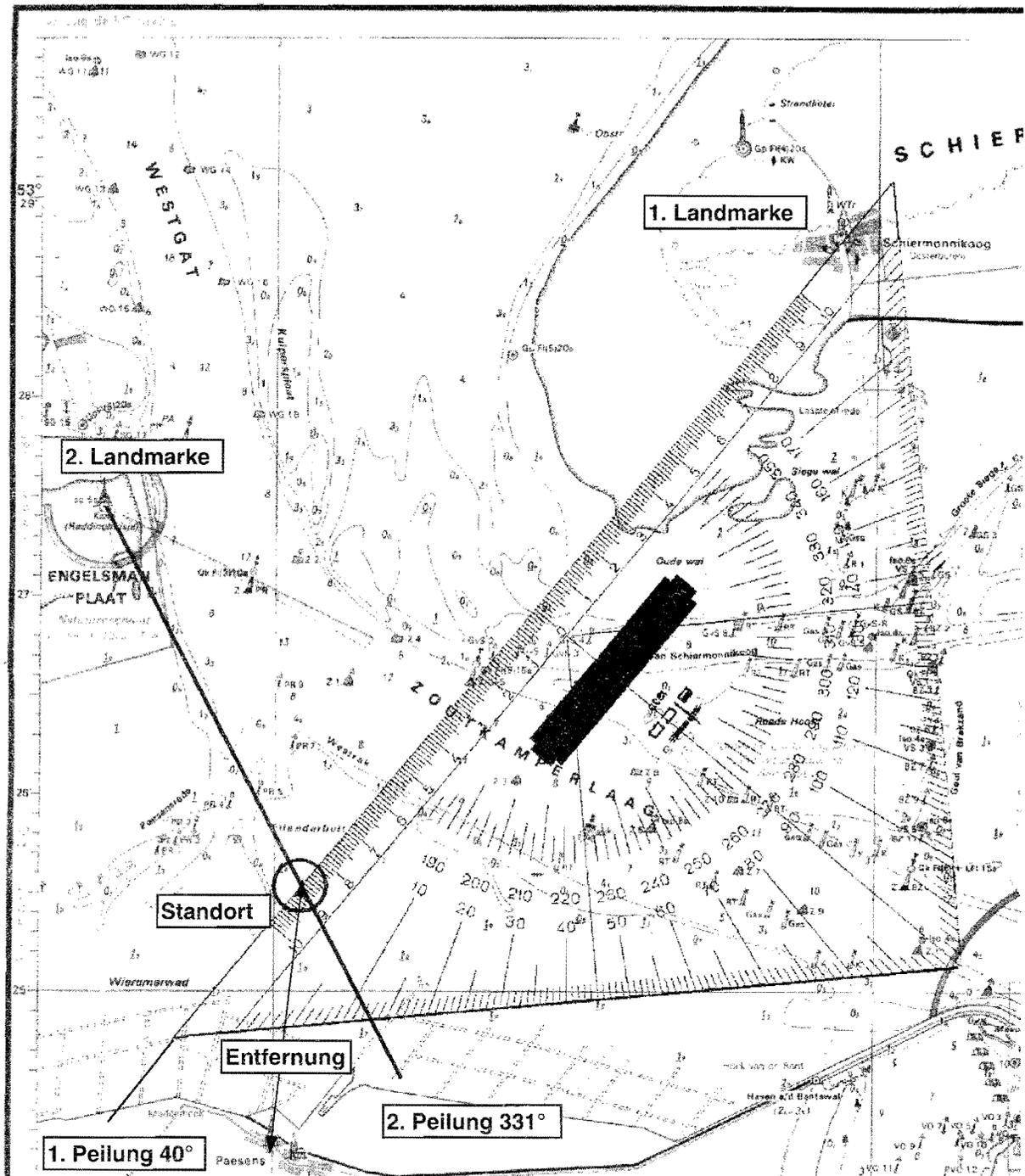
Der *Kompaß* hat als Richtungsanzeiger eine *Magnetnadel* über einer *Windrose*. Da magnetischer und geografischer Nordpol nicht übereinstimmen, muß bei der Bestimmung der Richtung die sog. *Mißweisung* berücksichtigt werden, die jedoch im Bereich des Wattenmeers nur ca. 3° beträgt und daher im allgemeinen vernachlässigbar ist. Nicht zu vernachlässigen ist der Einfluß des Schiffs, das häufig aus Stahlteilen besteht. Die Peilung muß daher stets in einer ausreichenden Entfernung vom Schiff erfolgen.



<sup>1</sup> Falls kein Peilkompaß verfügbar ist, genügt auch ein preiswerter *Marschkompaß*, z.B. von der schweizer Firma *Recta*. Statt eines nautischen Kursdreiecks kann zur Not auch ein *Geodreieck* verwendet werden.

## Ortsbestimmung

## Kopiervorlage



1. Auf der Seekarte in der Nähe des geschätzten Standorts zwei Landmarken suchen.
2. Mit dem Kompaß die beiden Landmarken anpeilen und beide Peilwinkel gegenüber Nord notieren.
3. Auf der Seekarte das Kursdreieck mit einem Ende der Längsseite an der ersten Landmarke anlegen und so lange um diesen Punkt drehen, bis der dafür gemessene Peilwinkel senkrecht nach unten zeigt. Er beträgt im Beispiel oben  $40^\circ$ .
4. An der Längsseite des Kursdreiecks einen Bleistiftstrich ziehen.
5. Die Arbeitsschritte 3 und 4 für die zweite Landmarke wiederholen. Der Schnittpunkt beider Geraden ergibt den gesuchten Standort.
6. Mit dem Stechzirkel die Strecke zwischen Standort und gewünschtem Zielort abgreifen und damit am linken Kartenrand die Entfernung in Bogenminuten bestimmen: 1 Minute = 1 sm = 1852 m. Sie beträgt im Beispiel oben ca. 1,3 sm  $\approx$  2,4 km.

## Literatur

### *Grundlagen, Lehrbücher*

Axel Bark, *Segelführerschein BR*, Bielefeld 1984

Deutscher Hochseesportverband Hansa e.V. [Hrsg.], *Seemannschaft*, Bielefeld 1969

Hanzestad-Compagnie [Hrsg.], *Fahren mit traditionellen Segelschiffen*, Kampen 1985

Gerhard Meyer-Uhl, *Bordbuch für die Crew*, München, Bern, Wien 1979

Joachim Schult, *Segler-Lexikon*, Bielefeld 1992

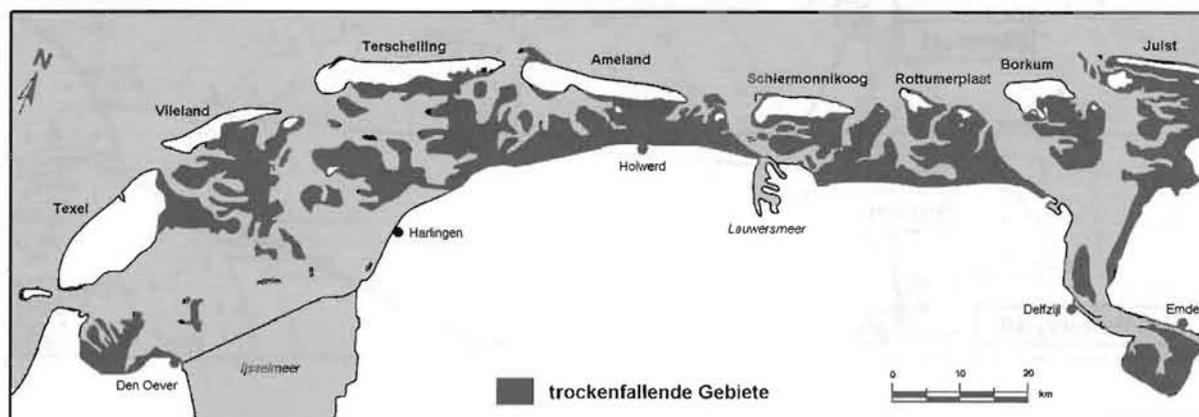
### *Karten, Tabellen*

Chef der Hydrografie [Hrsg.], *Waddenzee (westblad) und Waddenzee (oostblad)*, 's-Gravenhage (jeweils aktualisierte Ausgabe)

Deutsches Hydrographisches Institut [Hrsg.], *Zeichen und Abkürzungen in den deutschen Seekarten*, Hamburg (jeweils aktualisierte Ausgabe)

Deutsches Hydrographisches Institut [Hrsg.], *Gezeitentafeln*, Hamburg (jährlich neu)

Ministerie van verkeer en waterstaat [Hrsg.], *Wadatlas*, Amsterdam 1989



# Nachlese

## *Wie geht es dem Wattenmeer ?*

Entgegen allen vollmundigen Absichtserklärungen der Anrainerstaaten auf periodisch stattfindenden Nordseekonferenzen ist der Zustand des Wattenmeers nicht besser geworden:

- Wir haben festgestellt, daß der Nährstoffgehalt des Wassers, gemittelt über die vergangenen Jahre, weiter zugenommen hat.
- Wir haben Stellen gefunden, wo das Wasser keine Sauerstoffproduzenten enthielt. Der vorhandene Sauerstoff war demnach nur atmosphärischen Ursprungs.
- Der Tourismus mit all seinen Folgen hat drastisch zugenommen. Auch das Plattbodensegeln gehört dazu (!), so daß manche Häfen überfüllt sind.

Trotzdem:

- In den ersten Jahren noch eine Seltenheit, schwimmen jetzt wieder neugierige Seehunde dem Schiff hinterher.

## *Was hat die Fahrt den Teilnehmern gebracht ?*

Vor jeder Fahrt gibt es folgende unvermeidliche Fragen:

Was machen wir den ganzen Tag auf dem Schiff ? Was, wenn wir uns anöden, gibt es auf dem engen Raum keinen Streit ? Fahren wir jeden Abend in einen Hafen, können wir dann in die Disco ? Bekommen wir was Ordentliches zum Essen ?
--

Bisher hat sich noch niemand auf dem Schiff gelangweilt, im Gegenteil. Trotz begrenztem Raum waren die Schüler bereit, Kompromisse zu schließen. Der festgelegte tägliche Arbeitsplan führte sehr schnell zu kooperativen Verhaltensweisen, so daß bereits nach wenigen Tagen eine gewisse Selbständigkeit und Selbstverantwortung zu verzeichnen war.

Am ersten Abend war die Lust zum Ausgehen noch groß. Nach und nach blieben jedoch immer mehr Schüler an Bord, machten gemeinsam Spiele oder Musik zur Gitarre. Einige Teilnehmer, die seit Jahren keinen Stift und keinen Pinsel mehr in die Hand genommen hatten, fingen wieder an zu zeichnen oder zu malen. Auch der Bootsmann hat sich einmal dazu animieren lassen.

Am Anfang eher als Ausnahme gedacht, wurde im Laufe der Zeit der Wunsch nach Trockenfallen und Übernachten auf dem Watt immer häufiger ausgesprochen: Die tägliche Ruhe an Bord war ansteckend geworden.

Keiner der Teilnehmer hatte vor Antritt der Fahrt für so viele Menschen gekocht. Daher war die Nervosität zunächst sehr hoch, ob dabei auch etwas Eßbares herauskommen würde. Es hat fast immer geklappt, auch wenn die Qualität nicht dem Standard der *Nouvelle Cuisine* genügte.

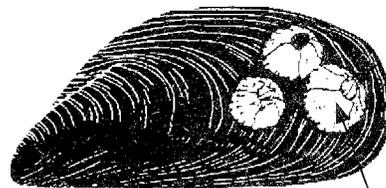
Eine wattenspezifische Anregung für die Küche sei am Ende hinzugefügt, falls das Trockenfallen zufällig in die Nähe von Miesmuschelbänken führt:

## Miesmuscheln in Weinsauce

### Geräte und Reagenzien

Putzeimer  
großer Kochtopf mit Deckel  
Pfanne

frische Miesmuscheln, pro Person ca.  $\frac{1}{3}$  eines normalen Eimers  
Zwiebeln, reichlich  
Öl zum Anbraten  
Rosmarin bzw. Thymian  
einfacher Weißwein  
Salz und Pfeffer



### Durchführung

Die gesammelten Muscheln gründlich von anhaftendem Tang und Seepocken reinigen und mehrmals mit Süßwasser spülen, um Schadstoffe aus den Muscheln zu entfernen.

Den Kochtopf ca. 10 cm hoch mit Wasser füllen und dieses zum Kochen bringen. Anschließend die zuvor gedünsteten Zwiebeln, etwas Rosmarin oder Thymian, die Muscheln, Salz und Pfeffer in den Topf geben und bei geschlossenem Deckel so lange kochen, bis die Muscheln sich geöffnet haben. Zwischendurch die verdampfte Flüssigkeit mit Wein ergänzen.

Guten Appetit !