

# Exkursions-Bericht: Maritime Meteorologie

Institut für Meteorologie und Klimatologie  
Leibniz Universität Hannover

25.05.2015 bis 29.05.2015



## Teilnehmer

### Betreuer:

Professor Günter Groß  
Axel Köhler  
Robert von Tils

### Studenten:

Annika Bollmann  
Katharina Isensee  
Mario Mrosek  
Hanno Müller  
Raffael Müller  
Christine Pohl  
Charlotte Rahlves  
Jan Niklas Reinecke  
Felix Schmidt  
Laila Seehausen  
Nadine Thuns  
Erika Urbach  
Niklas Weise  
Alexandra Westbrink



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorwort</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Route und Manöver</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Vorträge</b>	<b>6</b>
3.1	Segelschiffe . . . . .	6
3.2	Schiffsroutenberatung . . . . .	8
3.3	Geographie und Entstehung der Ostsee . . . . .	10
3.4	Meeresspiegelanstieg . . . . .	13
3.5	Beaufort-Skala . . . . .	15
3.6	Land-Seewind-Zirkulation . . . . .	17
3.7	Meeresströmungen in der Ostsee . . . . .	19
3.8	Gezeiten der Meere . . . . .	20
3.9	Seestärke und Bestimmung . . . . .	22
3.10	Sturmfluten in der Ostsee . . . . .	23
3.11	Meereis . . . . .	26
3.12	Vereisung der Ostsee . . . . .	27
3.13	Die Framdrift . . . . .	28
<b>4</b>	<b>Messung von Meeresströmungen</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>Wetterlage</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>Auswertung der Temperatur und relativen Feuchte</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>Fotos</b>	<b>38</b>

# 1 Vorwort

Man nehme eine handvoll Studenten, drücke ihnen meteorologische Messgeräte in die Hand und setze sie auf ein Schiff. Hinzu kommen ein Professor, ein wissenschaftlicher Mitarbeiter, ein Kapitän, ein Matrose und Unmengen an Essen. Dann vermische man alles gut und erhalte eine maritime Exkursion auf der Ostsee, veranstaltet von dem Institut für Meteorologie und Klimatologie der Leibniz Universität Hannover.

Man sagt, es gibt kein falsches Wetter, nur falsche Kleidung. Dass es doch 'richtiges Wetter' gibt, zumindest zum Segeln, sollten die folgenden Tage beweisen. Und so hatten wir von Sonnenschein über Regen bis Sturm alles dabei, dementsprechend auch von Sonnenbrand im Gesicht über durchnässte Kleidung bis seekranke Leichtmatrosen. Ein Hoch auf Reisetabletten und Softshelljacken. Und auch das Zwiebelschalenprinzip erlebte dieser Tage seine Blütezeit.

Doch zurück auf Anfang. Gestartet sind wir am Montag in Hannover. Nachdem etliche Male Umsteigen und aufwendiges Manövrieren durch die viel zu engen Reihen im Zug überstanden waren, traf sich die gesamte Truppe an einem der Anlegestege von Kiel.

Enthusiastisch wurde die ZUIDERZEE, ein Zweimastschoner aus den Niederlanden zunächst unter Betrachtung und dann unter Bezug genommen. Danach trieb uns der Hunger Richtung Kieler Innenstadt. Nachdem die Mägen gefüllt und die Sonne untergegangen war, fanden sich alle wieder auf dem schwankenden neuen Heim ein. Ein weiteres Kartenspiel, dann begaben sich auch die Letzten in ihre Kojen und träumten dem Abenteuer entgegen.

Am nächsten Morgen war es Zeit zum Auslaufen, ein Ereignis, das niemand verpassen wollte und so quetschten sich alle an die Reling und schnupperten vorsichtig die Salzluft. Nach etlichen Manövern und Befehlen steuerten wir Richtung offenes Meer. Bis wir das erreichten, sollte jedoch noch einige Zeit vergehen und so feilten wir an unserem meteorologischen Wissen mit Messungen, Vorträgen und natürlich mit regelmäßige fachmännische Blicke in den Himmel und gen Horizont, prüfend, ob der Wetterbericht wirklich halte, was er verspreche. Erleichtert und auch ein wenig schadenfroh segelten wir dem Regen von dannen, verließen die Kieler Förde und einer nach dem anderen erprobte sich am Steuerrad und erfuhr Newtons erstes Gesetz an eigener Hand.

Nachdem die Windstärke auf der Beaufortskala ein paar Stufen weiter nach oben kletterte, brachte uns das einige grünlich anlaufende Studenten ein und solche, die die Wirkung des Windes auf die Höhe des Seeganges unterschätzten. Ergo wurden die ersten Reisetabletten aus den Koffern gekramt und für andere hieß es zunächst abtrocknen und vom Meersalz befreien. Andere hielten trotz Schiefelage das Bett für den sichersten Ort und machten die Erfahrung, dass egal wie sehr etwas schwankt, man trotzdem wunderbar schlafen kann, wenn man nur müde genug ist.

Nebst allen Widersächlichkeiten arbeiteten wir unter der Anweisung unserer Schiffscrew, hissten die Segel, setzten sie um und holten sie am Nachmittag wieder ein, als es hieß: Ankunft in Dänemark.

Einen weiteren Tag Dänemark wollte der Wind uns nicht bescheren und so brachen wir am Mittwoch wieder nach Deutschland auf, Eckernförde als Ziel. Am Donnerstag gegen Mittag segelten wir in Kappeln ein. Noch schnell die letzten Vorträge angehört, dann erhielten viele endlich ihr lang ersehntes Fischbrötchen und einen freien Nachmittag mit der Möglichkeit den Vitamin-D-Pegel wieder aufzutanken.

Am Freitag, letzter Tag unserer schönen Exkursion, segelten wir zurück nach Kiel. Wehmütig wurde sich von der Crew und vom schwimmenden Zuhause der letzten Woche verabschiedet.

## 2 Route und Manöver

26.05.

Ablegen in Kiel, Schoner hoch, Fock hoch, Binnenklüver hoch, Groß hoch, Außenklüver hoch, Außenklüver runter, Binnenklüver runter, Fock runter, Groß runter, Schoner runter, Anlegen in Marstal

27.05.

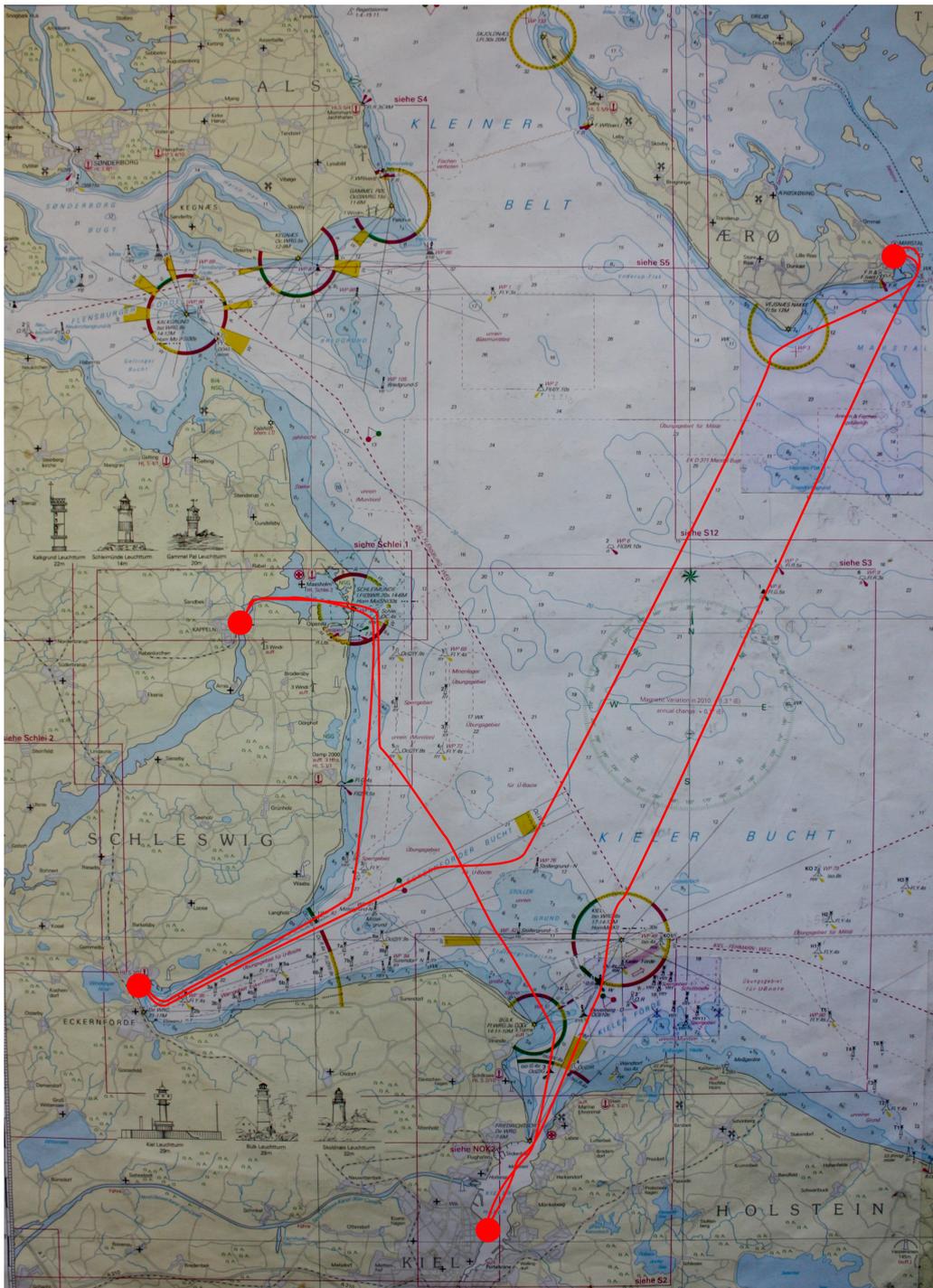
Ablegen in Marstal, Schoner hoch, Fock hoch, Binnenklüver hoch, Groß hoch, 1. Reff, Binnenklüver runter, Fock runter, Schoner runter, Anlegen in Eckernförde

28.05.

Ablegen in Eckernförde, Schoner hoch, Fock hoch, Fock runter, Schoner runter, Anlegen in Kappeln

29.05.

Ablegen in Kappeln, Schoner hoch, Fock hoch, Binnenklüver hoch, Groß hoch, Binnenklüver runter, Fock runter, Groß runter, Schoner runter



## 3 Vorträge

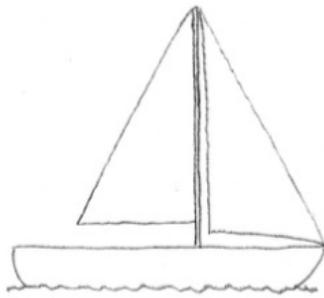
### 3.1 Segelschiffe

Die Verwendung von Windkraft zum Antrieb von Fahrzeugen auf dem Wasser geht bis weit in die prähistorische Zeit zurück. Zu welchem Zeitpunkt jemand auf diese Idee kam, ist nicht genau bekannt - die älteste Darstellung eines Segels befindet sich jedenfalls auf einer Totenurne aus Ägypten, die aus dem 5. Jahrtausend v. Chr. stammt. Neben den segelnden Ägyptern und Phöniziern sind die Leistungen der Wikinger zu nennen, die mit Segelschiffen etwa 1000 n. Chr. Nordamerika erreichten. Ihre Drachenboote hatten rechteckige Rahsegel, während im arabischen Kulturkreis eher dreieckige Segel verbreitet waren. Somit entwickelten sich bereits recht früh zwei unterschiedliche Segeltypen: Einerseits Rahsegel, die quer zum Schiff angebracht werden und eine große Vortriebskraft auf Kursen vor dem Wind aufweisen und andererseits Schratsegel, die längs orientiert und zum Kreuzen gegen den Wind vorteilhafter sind. Seit dem 19. Jahrhundert werden Segelschiffe kaum noch zum Transport von Gütern oder Menschen verwendet, sondern dienen fast nur noch als Freizeitbeschäftigung.

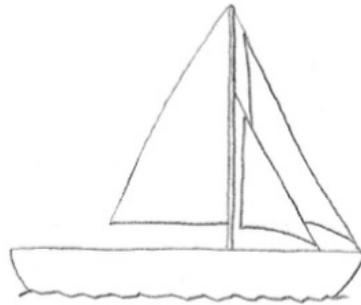
Typische Handelsschiffe vergangener Jahrhunderte segelten mit Durchschnittsgeschwindigkeiten von wenigen Knoten (1 Knoten = 1 Seemeile pro Stunde = 1852 Meter pro Stunde). Hansekoggen und die Langschiffe der Wikinger erreichten eine Höchstgeschwindigkeit von 10 Knoten. Im 19. Jahrhundert erreichten riesige Teeklipper schon 22 Knoten, das schafften heute schon kleine Gleitjollen und moderne Renn-Yachten mühelos über lange Strecken. Der aktuelle Geschwindigkeitsrekord liegt bei 65,45 Knoten über 500 m und wurde im Jahr 2012 von Paul Larsen mit dem Boot „Vestas Sailrocket 2“ aufgestellt, das extra dafür gebaut wurde. Segelschiffe bestehen aus Rumpf, Rigg und Segeln. Der Rumpf besitzt aus Stabilitätsgründen einen Kiel oder ein Schwert. Das Rigg besteht aus Masten, stehendem und laufendem Gut. Stehendes Gut bezeichnet alles, was den Mast festhält und bei Manövern nicht bewegt wird. Laufendes Gut ist beweglich und dient dazu die Segelstellungen zu verändern. Das Rigg definiert die jeweilige Takelung (s.u.).

In Abbildung 1 sind verschiedene Schratsegel dargestellt. Das in der Mitte abgebildete Gaffelsegel findet gleich doppelt auf der Zuiderzee Verwendung. Beim Gaffelsegel handelt es sich um ein viereckiges Segel, das durch eine Spiere vom Mast schräg nach oben gehalten wird. Heute werden fast nur noch Boote mit dreieckigen Segeln (Hochtakelung, Bermudasegel) gebaut.

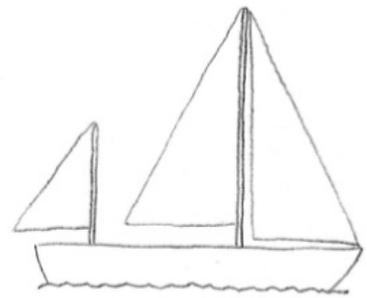
Abbildung 2 zeigt fünf bekannte Takelungsarten. Eine recht einfache, weit verbreitete und effektive Takelung ist die Slup. Sie besteht aus einem Mast mit einem Großsegel und einem Vorsegel. Nimmt man ein weiteres Vorsegel hinzu, handelt es sich um die sogenannte Kutter-Takelung. Eine Ketsch besitzt nicht nur einen, sondern zwei Masten, wobei der hintere Mast kleiner als der vordere ist, Besanmast genannt wird und innerhalb der Wasserlinie steht. Dies unterscheidet die Ketsch von der Yawl, bei der sich der Besanmast außerhalb dieser Wasserlinie befindet und meist noch etwas kürzer ist. Sowohl Ketsch als auch Yawl besitzen mindestens ein Vorsegel. Ein Schoner besitzt ebenfalls zwei Masten, nur ist hier der hintere Mast höher als der vordere. Bei der Zuiderzee handelt es sich um einen Schoner. Als Vorsegel besitzt sie eine Fock, einen Binnenklüver, einen Außenklüver und einen Flieger.



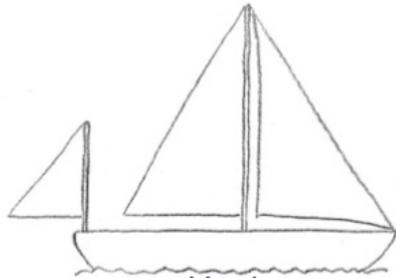
Slup



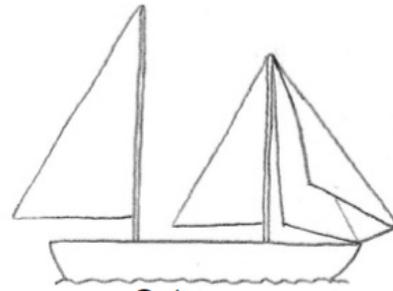
Kutter



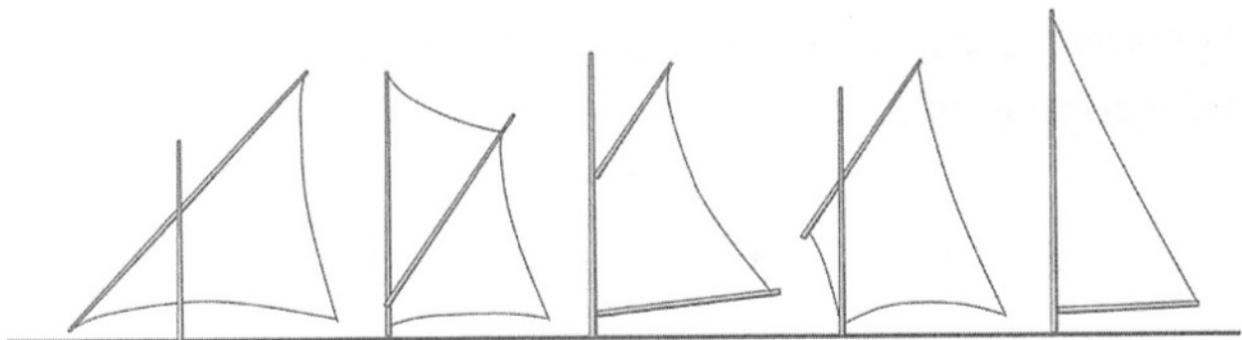
Ketsch



Yawl



Schoner



Lateinersegel

Sprietsegel

Gaffelsegel

Luggersegel

Bermudasegel

**Quelle:**

Wolfgang Püschl: Physik des Segelns. Wie Segeln wirklich funktioniert. Weinheim: Wiley-VCH, 2012.

## 3.2 Schiffsroutenberatung

### Warum gibt es die Schiffsroutenberatung und welche Ziele verfolgt sie?

Ausgelöst durch den Untergang eines Frachtschiffes 1978, das ohne Beratung den Seeweg antrat, wird seitdem grundsätzlich immer eine Schiffsroutenberatung (SRB) empfohlen. Diese Beratung verfolgt dabei folgende Ziele:

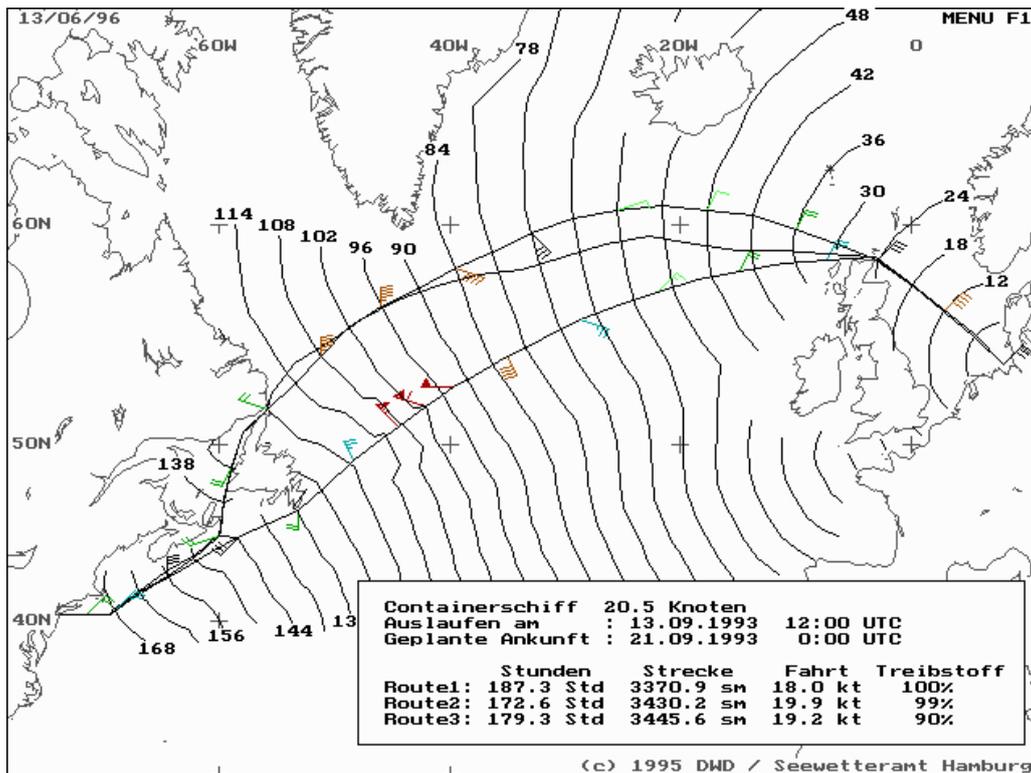
- Sicherheit: Die SRB soll die Gefahren sowohl für Personen als auch für die Ladung minimieren.
- Zeitminimierung: Die Reisezeit eines Schiffes soll verringert werden. Der kürzeste Weg ist jedoch nicht immer der, der auch empfohlen wird, da man immer zwischen Sicherheit und Zeit abwägen muss.
- Transportkostenminimierung: Die Kosten für den Treibstoff sollen minimiert werden. Dies hat heutzutage eine besondere wirtschaftliche Bedeutung, da der Güterumsatz über den Seeweg höher ist als über Land oder Luft.

### Wie funktioniert die SRB?

Wichtige Grundlage für die SRB ist die Vorhersage über Windrichtung, Schwach-/Starkwind, Wellenhöhe und Periode des Seegangs, Oberflächenströmung und das Verhalten des Schiffes bezüglich all dieser Aspekte. Heutzutage werden zusätzlich auch noch tropische Wirbelstürme in die Berechnung mit einbezogen. Aus diesen vielen Faktoren werden dann weltweite mit Modellen berechnete Prognosen erstellt. Da diese aber sehr schiffabhängig sind, ist es schwierig sie zu parametrisieren. Trotz dessen erstellte Schenzle schon 1974 ein numerisches Verfahren zur Vorhersage über das Schiffsverhalten. Blume (1977) erweiterte dies für eine Familie variierender Schiffformen. Da die Zuverlässigkeit einer SRB von der Genauigkeit der Wettervorhersage abhängt, ist die Optimierung der meteorologischen Wettervorhersagen dafür von großer Bedeutung. Eine SRB kann man an verschiedenen Orten in Anspruch nehmen, beispielsweise direkt beim Deutschen Wetterdienst. Schon seit vielen Jahren werden die globalen und regionalen bis zu 7-tägigen Wind- und Seegangvorhersagen des Deutschen Wetterdienstes sowie die bis zu 10-tägigen Prognosen des europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersagen in Reading (UK) genutzt. Dauert die Reise länger als zehn Tage, werden klimatologische Mittelwerte für die Vorhersage herangezogen. Heutzutage ist die Wettervorhersage und damit die SRB aufgrund der Satellitenbilder zuverlässiger geworden. Die Vorhersagedaten des DWD finden in Hamburg ihre Verwendung, wo sie für einen Algorithmus zur Simulation des Schiffsverhaltens im Seegang genutzt werden. Sind die Eigenschaften eines Schiffes weitestgehend bekannt, so können damit Zusatzwiderstände und Geschwindigkeiten berechnet werden, um Gefahren für Schiff und Ladung zu meiden.

### Isochronenverfahren

Das Isochronenverfahren ist ein Verfahren zur Ermittlung des optimalen Schiffswegs bezüglich Zeit, Treibstoff und Risiko. Isochronen sind „Linien gleicher Erreichbarkeit“. Um den Startpunkt wird die erste Isochrone ermittelt. Dabei werden Reibung an Wind und Wellen als Funktion der Geschwindigkeit und der Zeit berücksichtigt. Die Randbedingungen sind die Motorlast und die Stabilität der Schiffslage. Wurde die erste Isochrone ermittelt, so werden nun von allen zeit-optimalen Punkten auf dieser Isochrone die nächsten Isochronen bestimmt. Dieses Prinzip wird so oft wiederholt, bis der Bereich zwischen Start- und Zielpunkt mit Isochronen ausgefüllt ist. Nun wird vom Zielpunkt aus der Punkt auf der letzten Isochrone gesucht, der zeitlich am schnellsten erreichbar ist und von da aus wieder der nächste optimale Punkt usw. Die Strecke, die sich am Ende ergibt, gibt den Weg geringster Reisedauer an. Das gleiche Prinzip funktioniert auch für den geringsten Treibstoffverbrauch oder das minimale Risiko.



### Was ist das Ergebnis einer SRB?

Die mittlere Zeitersparnis pro Schiff und Reise beträgt im Nordatlantik im Winter vier Stunden und im Pazifik sieben Stunden. Generell beträgt die Zeitersparnis bei westgehenden Reisen in den gemäßigten Breiten im Mittel zwei bis drei Prozent der Reisezeit. Allein die geschätzte Einsparung von Brennstoffkosten durch die SRB liegt pro Jahr bei etwa einer halben Mill. Euro.

Außerdem bietet die SRB Reiseauswertungen nach Abschluss einer Reise an, die auf rechtlicher Ebene, zum Beispiel bei Streitfällen und Arbitragen im Bereich der Zeitcharterer, von Vorteil sein können. Darum empfiehlt die IMO (International Maritime Organization) zu Reisebeginn immer eine SRB heranzuziehen. Anhand von Auswertungen lässt sich vermuten, dass dadurch etwa alle zehn Jahre ein Totalverlust vermieden wird.

### Eigenverantwortung

Auch wenn die SRB große Vorteile bietet und einen guten Reiseweg ermitteln kann, deren Zuverlässigkeit in Zukunft nur zunehmen kann, so wird es natürlich trotzdem niemals der Fall sein, dass man sich einfach zurücklehnen und den ermittelten Weg fahren sollte. Man trägt schließlich immer noch selber die Verantwortung für die Länge, den Verbrauch und das Risiko der Seereise. Das Wetter kann schließlich nie zu hundert Prozent genau vorhergesagt werden und somit auch nicht der optimale Reiseweg. Wichtig ist, dass man weiterhin darauf achtet, den Wind auszunutzen und beispielsweise die Bewölkung am Himmel zur eigenen Windvorhersage zu nutzen.

Quellen: <http://www.dwd.de> und alte Exkursionsberichte

### 3.3 Geographie und Entstehung der Ostsee

#### Geografie der Ostsee

Die Ostsee ist ein Nebenmeer des Atlantischen Ozeans. Mit einer Fläche von 412.560 km<sup>2</sup> und einem Wasservolumen von 21.631 km<sup>3</sup> besitzt die Ostsee die größte in sich geschlossene Brackwassermenge der Erde. Sie wird von der skandinavischen Halbinsel und den zusammenhängenden Festländern Nord-, Nordost- und Mitteleuropas umgeben. Der nördlichste Punkt der Ostsee befindet sich an der schwedisch-finnischen Landesgrenze am Bottnischen Meerbusen. Ihr südlichster Punkt stellt das Südende des Stettiner Haffs bei Stettin dar. Nach Westen hin erstreckt sich die Ostsee bis zum Westende der Flensburger Förde und nach Osten bis nach Sankt Petersburg. Die Anrainerstaaten der Ostsee sind Dänemark, Schweden, Finnland, Russland, Estland, Lettland, Litauen, Polen und Deutschland.



#### Entstehung der Ostsee

Vor 15500 Jahren entstand die Ostsee durch das Abschmelzen des nordischen Inlandeises. Sie ist damit aus geologischer Sicht ein junges Meer. Zur Entstehung der Ostsee sind drei Einflussfaktoren bedeutend: die glazialisostatische Ausgleichsbewegung, die eustatische Meeresspiegelveränderung und die sedimentdynamische Küstenveränderung.

##### 1. Glazialisostatische Ausgleichsbewegung

Da die Erdkruste nicht starr ist, wurde in der letzten Eiszeit durch das Gewicht der Eismassen über Skandinavien die darunter befindlichen Bereiche des Erdmantels eingedrückt. Mit Rückgang der Eismassen wurde die Erdkruste an diesen Stellen entlastet; eine glazialisostatische Ausgleichsbewegung entstand: Im Zentrum der ehemaligen Vereisung hob sich das Land, während es in den äußeren Gebieten zu einer Landsenkung kam.

Bis heute hebt sich damit Skandinavien um 8 mm / Jahr. Das Ausmaß der Hebung nimmt mit der Entfernung bis zu einer „isostatischen Nulllinie“ ab. Die Nulllinie verläuft derzeit in der Ostsee etwa von Nordjütland über Süd-schonen und nördlich Bornholms in Richtung Finnischen Meerbusens. Nördlich davon liegt das Hebungsgebiet, südlich davon ein Absenkungsgebiet.

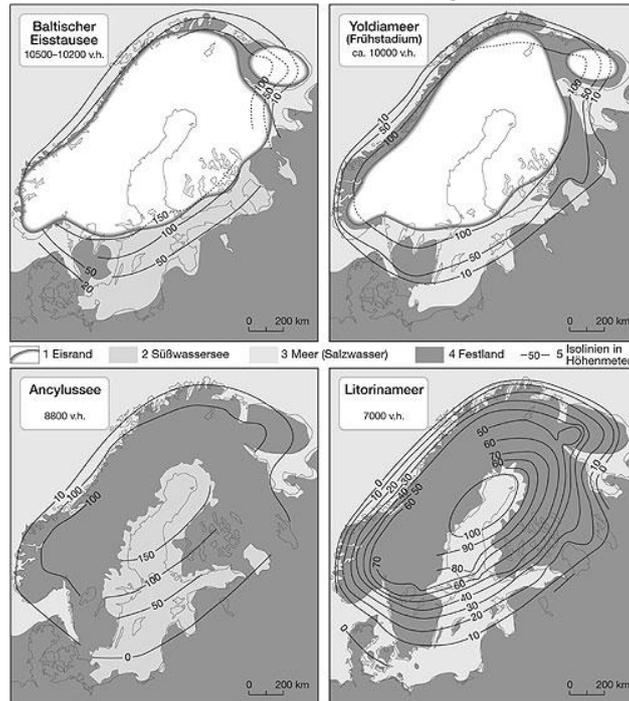
## 2. Eustatische Meeresspiegelveränderung

Der zweite wichtige Prozess in der Entstehung der Ostsee ist die eustatische Meeresspiegelveränderung: Je größer das Wasservolumen ist, welches in Form von Eis auf dem Festland gespeichert werden kann, desto niedriger ist der Meeresspiegel. Durch das Abschmelzen des Inlandeises nach der letzten Eiszeit, stieg der Meeresspiegel um ca. 100 m an.

## 3. Sedimentdynamische Küstenveränderung

Durch die Wellen- und Strömungstätigkeit der Ostsee wurden ihre Küstenbereiche abgetragen und neu gebildet. Durch diesen Vorgang entstand die sich im sedimentdynamischen Gleichgewicht befindliche Ausgleichsküste der Ostsee.

Abb. 2: Stadien der Entwicklung der Ostsee.



## Entwicklungsstadien der Ostsee

Die Entwicklung der Ostsee lässt sich in vier Hauptstadien gliedern, welche in Abb. 2 dargestellt sind.

### 1. Baltischer Eisstausee (10.500 – 10.200 v. h.)

Vor dem Eisrand in Südschweden bildeten sich viele Eisstauseen, die sich zum großen Baltischen Eisstausee zusammenschlossen. Mit dem Rückgang der Eisrandes nach Norden erfolgte das schubweise Auslaufen des Süßwassers um 10.200 v.h. durch die frei gewordene Mittelschwedische Senke in das Weltmeer. Dadurch konnte Salzwater in den Eisstausee eindringen: Das Süßwasser wurde brackig.

### 2. Yoldia-Meer (10.200 – 9.500 v. h.)

Sein Name erhielt das Meer durch die Muschel *Yoldia arctica*, die durch das Eindringen von Salzwater in das Yoldia-Meer gelangte. Dieses Entwicklungsstadium ist dadurch geprägt, dass der glazialisostatische Anstieg Skandinaviens stärker ausfiel als der klimaabhängige Meeresspiegelanstieg. Infolgedessen wurde die Verbindung zwischen dem Yoldia-Meer und dem Weltmeer erneut unterbrochen; das Yoldia-Meer entwickelte sich wieder zu einem Süßwasserbinnensee.

### 3. Ancylus-Großsee (9.500 – 8.000 v. h.)

Der Ancylus-Großsee erhielt seinen Namen durch die Süßwasserschnecke *Ancylus fluviatilis*, die zu dieser Zeit im Wasser beheimatet war. Aufgrund einer positiven Wasserbilanz staute sich der Süßwassersee und reichte zu seinem Höchststand zum Teil bis an die heutige polnische und deutsche Ostseeküste heran.

#### 4. Litorina-Meer (8.000 – 2.000 v. h.)

Aufgrund des starken eustatischen Meeres-spiegelanstiegs und der Hebung Skandinaviens, kam es im südlichen Bereich der Ostsee zu einer Überflutung ehemals festländischer Bereiche: Eine Verbindung zum Weltmeer war wieder hergestellt. Durch den Austausch von Salz- und Süßwasser bildete sich das brackige Litorina-Meer, benannt nach der Brackwasserschnecke *Littorina Littorea*.

#### Literatur:

DUPHORN, K.; JANKE, W.; KLIEWE, H.; NIEDERMEYER, R.O.; WERNER, F., 1995: Die deutsche Ostseeküste. Berlin, Stuttgart.

LIEDTKE, H., 1992: Die Entwicklung der Ostsee als Folge ehemaliger Inlandeisbedeckung und anhaltender Hebung Skandinaviens. In: Geographische Rundschau, Jg. 44, S.620 - 625.

LIEDTKE, H. u. J. Marcinek (Hrsg.), 2002 : Physische Geographie Deutschlands. Gotha

LOZAN, J.L. (Hrsg.), 1996: Warnsignale aus der Ostsee. Berlin.

RHEINHEIMER, G. (Hrsg.), 1995: Meereskunde der Ostsee. 2. Aufl., Berlin; Heidelberg; Mailand; Paris; Tokyo.

WAGENBRETH, O.; STEINER, W., 1990: Geologische Streifzüge. 4. Aufl., Leipzig.

LEMKE, W., 2005: Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde: Entstehung der Ostsee

### 3.4 Meeresspiegelanstieg

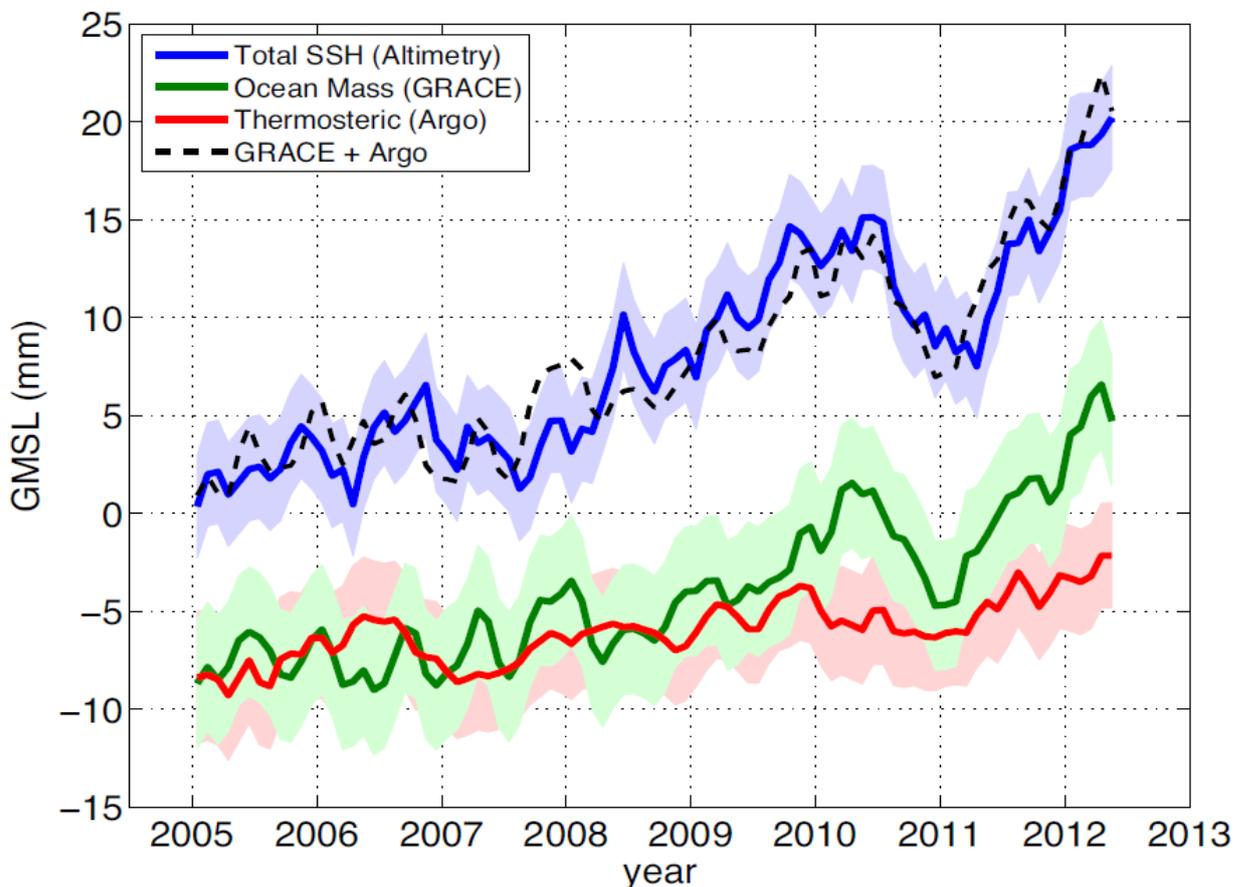
#### Der (mittlere) Meeresspiegel

Der Meeresspiegel ist die Näherung einer Äquipotentialfläche des Schwerefeldes der Erde. Er ist, anders als beim mittleren Meeresspiegel, unabhängig von Umwelteinflüssen (z.B. Gezeiten, Wetter). Die gemessenen Mittelwerte verschiedener Pegelstationen liegen nicht auf dieser einen Äquipotentialfläche. Das hat zur Folge, dass sich die Höhensysteme verschiedener Länder unterscheiden und war die Ursache des Baufehlers der Hoahrheinbrücke bei Laufenburg.

#### Der Anstieg des Meeresspiegels

Der Meeresspiegelanstieg ist langfristig abhängig von Klima, Geodynamik und Isostasie. Messbar ist dieser seit etwa 1880 und wird größtenteils von abtauchenden Gletschern und der thermalen Ausdehnung des Meerwassers verursacht.

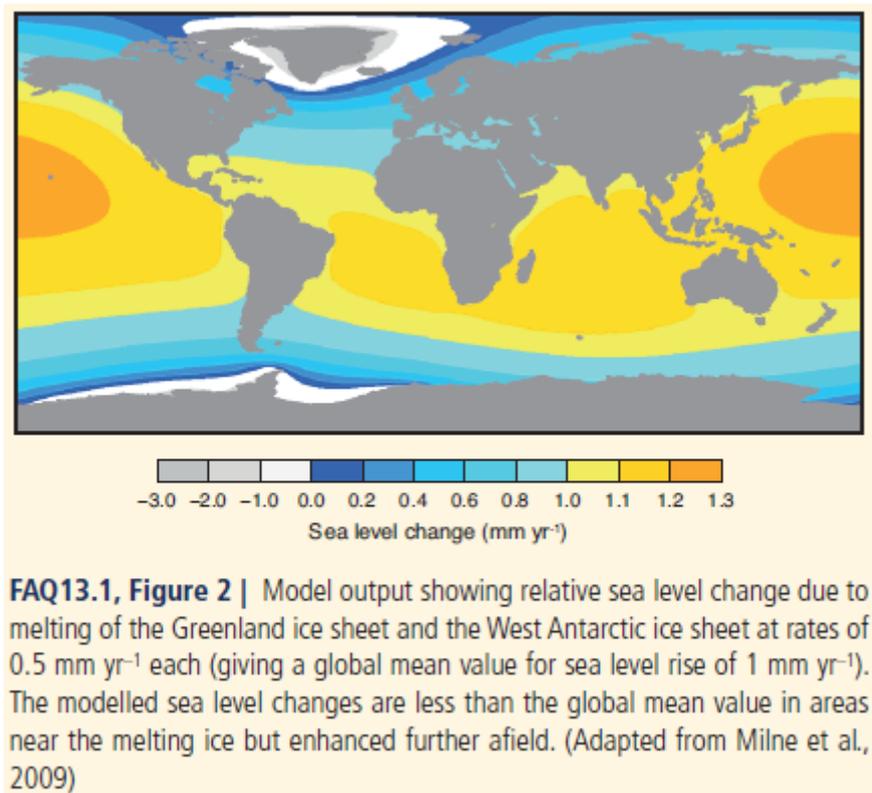
Im 20. Jahrhundert ist ein Anstieg um 17cm verzeichnet worden. Dieser Anstieg, bestimmt durch Pegelmessungen und Satellitenaltimetrie, hat sich in den letzten Jahren beschleunigt (Graphik).



**Figure 13.6 |** Global mean sea level from altimetry from 2005 to 2012 (blue line). Ocean mass changes are shown in green (as measured by Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE)) and thermosteric sea level changes (as measured by the Argo Project) are shown in red. The black line shows the sum of the ocean mass and thermosteric contributions. (Updated from Boening et al., 2012)

Laut dem letzten IPCC Bericht zum Meeresspiegelanstieg können einzelne Pegelstände vom globalen Anstieg um mehr als 100% abweichen.

Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts ist aber ein Anstieg des Meeresspiegels bei 95% der Regionen zu erwarten. Etwa 70% der Regionen die eine negative Änderung des Meeresspiegels erfahren befinden sich in der Nähe von Gletschern und Eisdecken.



**Quellen:**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Meeresspiegel>

[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_Chapter13\\_FINAL.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter13_FINAL.pdf)

### 3.5 Beaufort-Skala

Die Beaufort-Skala bietet eine Möglichkeit Windstärken zu klassifizieren, ohne diese mit Messgeräten direkt zu messen. Stattdessen gelten optische Merkmale als Maßstab, wie beispielsweise auf See der Wellengang und an Land die Bewegung von Ästen und Rauchfahnen.

#### Biographie von Sir Francis Beaufort

- 1774 am 27. Mai Geburt in Collon, Irland
- 1787 Beitritt zur Royal Navy
- 1805 Ernennung zum Kommander der H.M.S. Woolwich
- 1809-1812 Studien der Küste von Karmania
- 1829 Ernennung zum Hydrografen der Royal Navy
- 1848 Ernennung zum "Knight Commander of the Bath"
- 1855 Eintritt in Ruhestand
- 1857 am 17. Dezember Tod in Hove, UK

Ihren Namen erhielt sie von Sir Francis Beaufort (1774-1857), einem Hydrografen der britischen Admiralität.

Beaufort war jedoch nur für einen kleinen Teil der Entwicklung dieser Windstärkenskala verantwortlich. Vorläufer der Idee waren John Smeaton und Thomas Rouse, die 1759 Windstärken anhand des Verhaltens von Windmühlenflügeln in der 9-Stufigen Smeaton-Rouse-Skala charakterisierten.

Von Alexander Dalrymple, im Jahre 1779, wurde Smeatons und Rouses Skala zu einer 12-Stufigen Windskala weiterentwickelt, die von Stufe 1 (= schwacher Luftzug) bis Stufe 12 (= Sturm) reichte und in Logbüchern Verwendung finden sollte.

Diese Skala lernte Beaufort kennen und verwendete sie in seinen Tagebüchern, zur Beschreibung des Wetters. Im Jahr 1807 erweiterte er diese Skala, indem er beschrieb, wie sich die Windstärke an den Segeln einer vollgetakelten Fregatte erkennen ließ. Nachdem Beaufort 1829 Hydrograf der Admiralität wurde, gab er seine verbesserte Skala an jeden Interessenten weiter. Bereits drei Jahre später wurde sie im „Nautical Magazine“ der Admiralität veröffentlicht und wenige Jahre später im gesamten Vermessungsdienst eingesetzt und sogar durch Anweisung der Admiralität als verbindlich eingeführt, bis zu diesem Zeitpunkt jedoch noch namenlos als „beigefügtes Schema“ bezeichnet.

Die 13-stufige, unter dem Namen Beaufort-Skala, bekannte Version der Skala wurde erst im Jahr 1906 vom britischen Wetterdienst ins Leben gerufen. Wobei bei dieser die Auswirkungen des Windes durch Merkmale an Land beschrieben wurden, wie aufsteigende Rauchfahnen, Blätter und Bäume.

Ein weiteres Mal erweitert wurde die Windskala 1927 von einem deutschen Kapitän, Peter Petersen. Dies war notwendig, da die Segel in der Schifffahrt mittlerweile an Bedeutung verloren hatten und somit die Wirkung des Windes auf Segel kaum mehr einen Nutzen hatte. Stattdessen beschrieb Petersen die Wirkung des Windes auf die See, also das Aussehen und die Höhe von Wellen.

Heutzutage wird nur noch in seltenen Fällen auf die Beaufort-Skala zurückgegriffen, da durch technische Fortschritte die Windgeschwindigkeit auf See anhand von Messungen mit Anemometern bestimmt werden kann.

Quellen:

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

<http://englishhistoryauthors.blogspot.de/2013/07/sir-francis-beaufort-man-who-caught-wind.html>

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.49705221807/pdf>

<http://wwwex.physik.uni-ulm.de/marti/Zawiw/Texte/beaufort.htm>

Windstärke	nach Beaufort		Windgeschw. km/h	Auswirkung des Windes ...		nach Petersen		Wellenhöhe [m]	
	Bezeichnung	Segelführung eines Volischiffes		... auf die See nach Petersen	... an Land	Seegang (Windsee)	Bezeichnung	Tiefsee	Flachsee
0	Stille	Keine Wirkung des Ruders	<1	Spiegelglatte See	Rauch steigt gerade empor	0	Völlig ruhige, glatte See	0	0
1	Leiser Zug	Geringfügige Wirkung des Ruders	1-5	Kleine, schuppenförmig aussehende Kräuselwellen ohne Schaumköpfe	Zug des Rauches zu erkennen, Windfahne rührt sich nicht	1	Ruhige, gekräuselte See	0,0-0,2	0,05
2	Leichte Brise	Alle Segel; Fahrt bis 2 kn	6-11	Kleine Wellen, noch kurz, aber ausgeprägter; Kämme sehen glasig aus und brechen sich nicht	Wind am Gesicht fühlbar Windfahne bewegt sich	2	Schwach bewegte See	0,5-0,75	0,6
3	Schwache Brise	Alle Segel; Fahrt bis 4 kn	12-19	Kämme beginnen sich zu brechen, Schaum überwiegend glasig, ganz vereinzelt können kleine weiße Schaumköpfe auftreten	Blätter und dünne Zweige bewegen sich	3	Leicht bewegte See	0,8-1,2	1
4	Mäßige Brise	Alle Segel; Fahrt bis 6 kn	20-28	Wellen noch klein, werden aber länger; weiße Schaumköpfe treten schon ziemlich verbreitet auf	Wind hebt Staub und Papier, bewegt Zweige und dünne Äste	4	Mäßig bewegte See	1,2-2,0	1,5
5	Frische Brise	Alle Segel; Fahrt bis 8 kn	29-38	Mässige Wellen, die eine ausgeprägte lange Form annehmen, Überall weiße Schaumkämme; ganz vereinzelt kann schon Gischt vorkommen	Kleine Laubbäume beginnen zu schwanken	5	Grobe See	2,0-3,5	2,3
6	Starker Wind	Alle Segel außer Oberbramsegel und Royal	39-49	Bildung großer Wellen beginnt, Kämme brechen und hinterlassen größere weiße Schaumflächen; etwas Gischt	Starke Äste geraten in Bewegung, Pfeifen in Telegrafleitungen	6	Sehr grobe See	3,5-6	3
7	Steifer Wind	Alle Segel außer Oberbramsegel, Royal und Bramsegel	50-61	See türmt sich; der beim Brechen entstehende weiße Schaum beginnt sich in Streifen in die Windrichtung zu legen	Ganze Bäume in Bewegung, fühlbare Hemmung beim Gehen	7	Hohe See	>6	4
8	Stürmischer Wind	Alle Segel außer Oberbramsegel, Royal und Bramsegel; Obermarssegel gereift	62-74	Mäßig hohe Wellenberge mit Kämmen von beträchtlicher Länge; von den Kanten der Kämme beginnt Gischt abzuzweigen; Schaum legt sich ausgeprägt in die Windrichtung	Wind bricht Zweige, gehen erheblich erschwert	8	Sehr hohe See	bis 20	5,5
9	Sturm	Nur Untermarssegel und Untersegel gereift oder nur Großuntermarssegel	75-88	Hohe Wellenberge, dichte Schaumstreifen in Windrichtung; „Rollen“ der See beginnt; Gischt kann die Sicht schon beeinträchtigen	kleinere Schäden an Häusern, Dachziegel werden abgeworfen	9	Aussergewöhnlich schwere See	> 20	0
10	Schwerer Sturm	Beiliegend; Schiff treibt ohne Fahrt, nur Untermarssegel	89-102	Sehr hohe Wellenberge mit langen überbrechenden Kämmen; See weiß durch Schaum; Schweres stoßartiges „Rollen“ der See; Sicht durch Gischt beeinträchtigt	Bäume werden ent wurzelt, bedeutende Schäden an Häusern	10	Aussergewöhnlich schwere See	> 20	0
11	Orkanartiger Sturm	Beiliegend; Schiff treibt ohne Fahrt, nur Sturmstagesegel	103-117	Aussergewöhnlich hohe Wellenberge	Schwerste Verwüstungen	11	Aussergewöhnlich schwere See	> 20	0
12	Orkan	Beiliegend; Schiff treibt vor Topp und Takel	>118	Luft mit Schaum und Gischt angefüllt; See vollständig weiss; Sicht sehr stark herabgesetzt; jede Fernsicht hört auf		12			

### 3.6 Land-Seewind-Zirkulation

Der abrupte Übergang der Temperatur- und Rauigkeitsunterschiede an der Grenzfläche von Meer und Festland führen zur Ausbildung lokaler Windsysteme. Eines davon ist das tagesperiodische lokale Land-Seewindsystem. Es entsteht aufgrund der starken horizontalen Temperaturunterschiede, welche durch die gleiche Zufuhr von Energie in Form von Strahlung bei unterschiedlich thermischem Verhalten vom Land und Meer bedingt sind.

#### Entstehung des Windsystems

Die Entstehung des lokalen Windsystems in Küstennähe ist auf die unterschiedliche Wärmekapazität zwischen Meer und Land zurückzuführen. Diese bedingt eine unterschiedliche Abgabe von Wärme an die darüber liegende Luftschicht und führt zu horizontalen Druckunterschieden.

Ausgehend von dem Ausgangszustand in Abbildung 1a, in welchem die Isobaren parallel zur Erdoberfläche liegen, ist in Abbildung 1b der Zustand kurz nach Sonnenaufgang dargestellt. Hierbei kommt es bei gleicher Zufuhr von Energie in Form von Strahlung zu unterschiedlicher Erwärmung der Oberflächen. Das Land erwärmt sich an der Oberfläche schneller, da es nicht nur eine kleinere Wärmekapazität besitzt sondern auch die absorbierte Strahlung ein geringeres Volumen im Vergleich zum Meer erwärmen muss, denn an Land kann die Strahlung aufgrund der geringen Eindringtiefe nur an der Oberfläche absorbiert werden. Über dem Meer hingegen kann die Strahlung tiefer in das Wasser eindringen und dort absorbiert werden. Erschwerend kommt bei Wasser eine bessere Durchmischung innerhalb des Mediums hinzu. Diese Eigenschaften führen dazu, dass die Landmasse schneller die überliegende Luftschicht erwärmt. Die Luftsäule über dem Land dehnt sich stärker aus als die über dem Meer. Dadurch kommt es zu einer Verschiebung der Isobaren in die Höhe, wobei die Isobaren über dem Land stärker nach oben verschoben werden, als die über dem Wasser liegenden. Folglich befindet sich in Punkt B über dem Land ein höherer Druck als in dem Punkt C in gleicher Höhe über dem Wasser. Der Druck in den Punkten A und D in Bodennähe ist noch unverändert.

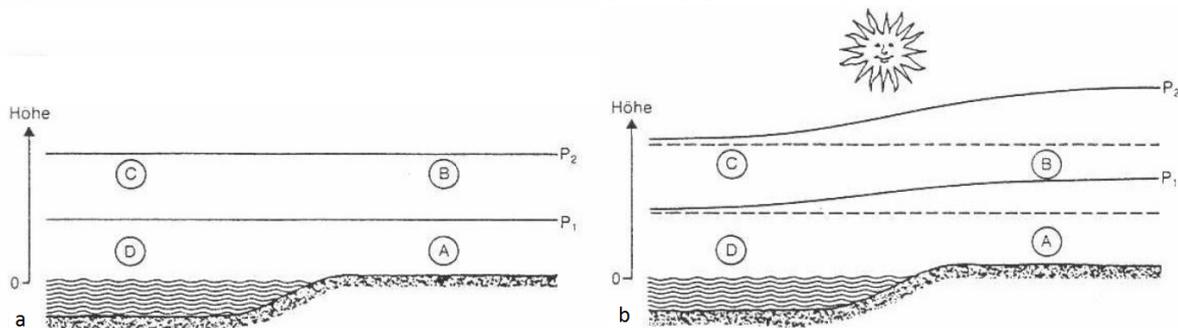


Abbildung 1: Beginn der Entstehung des Land-Seewindes

Aus den Druckunterschieden in der Höhe resultiert der entstehende Massenabfluss aus Punkt B hin zu Punkt C. Es bildet sich ein lokales Höhenhoch über dem Land im Punkt B und ein lokales Höhentief über dem Wasser im Punkt C aus. Dieses führt zu umgekehrten Druckverhältnissen am Boden, wodurch sich ein horizontaler Druckgradient zwischen den lokalen Hoch über dem Meer und dem lokalen Tief über dem Land einstellt. Daraus entsteht das in Abbildung 2a dargestellte Zirkulationssystem. Zwischen den Punkten A und D bildet sich der Seewind aus. Der Seewind schwächt sich mit abnehmender Strahlungsintensität zum Sonnenuntergang hin ab. In Abbildung 2b sind die umgekehrten thermischen Verhältnisse in der Nacht dargestellt. Aufgrund der Wärmekapazität kühlt das Wasser in den Nachstunden nicht so stark aus wie das Land. Folglich kann das Wasser auch in der Nacht noch Wärme an die darüber liegenden Luftschichten abgeben und es bildet sich ein im Vergleich zum Tag umgedrehtes Zirkulationssystem aus. Hierbei weht ein Landwind vom Punkt A hin zu Punkt D.

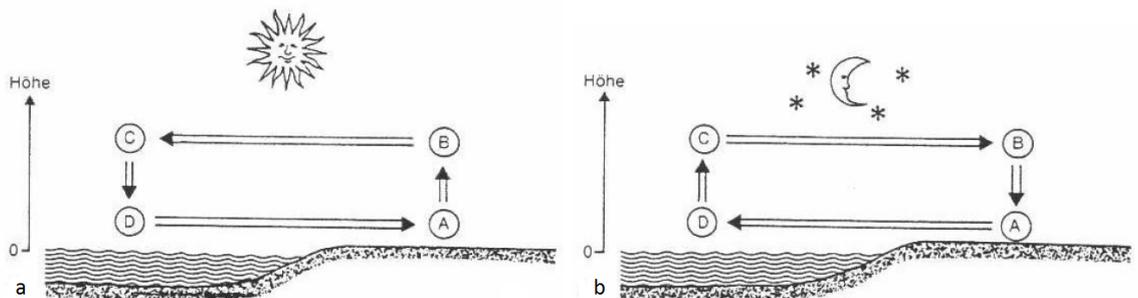


Abbildung 2: Entstehung der Zirkulationssysteme

Die Land-Seewind-Zirkulation tritt besonders deutlich hervor, wenn großräumig überlagerte Wetterlagen und damit einhergehende Winde schwach ausgeprägt sind. Das Auftreten des Seewindes ist üblicherweise gekennzeichnet durch eine Zunahme der Windgeschwindigkeit, einen Rückgang in der Temperatur und eine Zunahme der relativen Feuchte. In den tropischen Regionen ist der Land-Seewind aufgrund der höheren solaren Einstrahlung häufiger und ausgeprägter zu beobachten als in den mittleren Breiten. Er kann Geschwindigkeiten von 2 bis 5 m/s erreichen und besitzt eine vertikale Mächtigkeit von 100 bis 1000 m.

**Quellen:**

G. Groß (2014): Vorlesungsskript Lokalklimate

Deutscher Wetterdienst (2015): *Wetterlexikon (Land-Seewind-Zirkulation)*

### 3.7 Meeresströmungen in der Ostsee

Die Ostsee ist ein relativ flaches, vom Ozean getrenntes Becken, was zunächst keine erheblichen, großräumigen Strömungen vermuten lässt. Die durchschnittliche Tiefe der Ostsee beträgt 50m, ihre maximale Tiefe erreicht die Ostsee mit ca. 460 m am Landsorttief, nördlich von Gotland. Allgemein ist die Wasserzirkulation in der Nordsee schwach ausgeprägt, wobei die Übergangsregion zur Nordsee, der Kattegat eine Ausnahme darstellt. Um die Strömungsverhältnisse der Ostsee zu beschreiben, müssen folgende Parameter in Betracht gezogen werden:

1. Oberflächentemperatur und Windfeld
2. Süßwasserzufuhr
3. Wassermassenaustausch mit der Nordsee
4. Corioliskraft

Der Wind hat wegen der geringen Tiefe der Ostsee einen großen Einfluss auf die Bewegung der Wassermassen. Er staut die Wassermassen in Küstennähe und an Hindernissen an. Nach Abklingen des Windes hat dies Ausgleichsströmungen, sogenannte Gefällsströmungen zur Folge. Bei bestimmten Windverhältnissen kann es so im Übergangsbereich zur Nordsee, also der Region zwischen Kattegat und Skagerrak, trotz des geringen Niveauunterschieds zu relativ hohen Strömungsgeschwindigkeiten kommen. Ursache hierfür ist ein Windstau, der vor allem bei reinem West-, oder Ostwind einsetzt. Diese Wetterlagen bewirken großräumige Strömungen. Bei Westwind staut sich das Wasser im östlichen Skagerrak, während der Wasserspiegel im Arkonabecken parallel absinkt. Einsetzende Ausgleichsströmungen bestimmen dann das Gebiet der Dänischen Meerengen.

Die Ostsee genießt eine große Zufuhr an Süßwasser. Flusswasser strömt überwiegend im östlichen Teil der Ostsee zu. Im Jahr gelangen so durchschnittlich  $480 \text{ km}^3$  in die Ostsee. Große Zuflüsse sind z.B. die Newa, die bei St.Petersburg in die Ostsee mündet, die Weichsel, die über Polen zufließt und die Oder, die in Deutschland in die Ostsee mündet. Der Zustrom des Flusswassers bewirkt in den Mündungsregionen eine Anhebung des Wasserstandes bis ca. 35 cm. Die dadurch resultierende Oberflächenneigung bewirkt im Mittel einen Ausstrom von Wasser über das Kattegat in die Nordsee. Durch die Süßwasserzufuhr hat das Ostseewasser eine geringere Dichte als das salzigere Nordseewasser. Dieser Dichteunterschied bewirkt ein zusätzliches Druckgefälle, welches ein Einstömen des schwereren Nordseewassers verursacht. Dieses schiebt sich unter das leichtere Ostseewasser, während das Oberflächenwasser durch den Öresund in Richtung Kattegat ausfließt. Die Strömungsgeschwindigkeit der Oberflächenschicht beträgt dabei einige wenige cm/s, während sich das Tiefseewasser mit weniger als 1 cm/s bewegt. Dieses Strömungsverhältnis bewirkt einen Nettoausstrom von durchschnittlich  $450 \text{ km}^3$  pro Jahr in die Nordsee.

Charakteristisch für die innere Ostsee sind einzelne Zirkulationsmuster in den oberflächennahen Schichten. Antrieb hierfür ist vor allem der Wind, der die Wassermassen entweder direkt durch Reibung bewegt, oder indirekt, durch Windstau, Gefällsströmungen erzeugt. Zwischen den einzelnen Becken der Ostsee findet hingegen relativ wenig Transport von Wasser statt. Im Finnischen Meerbusen und in der nördlichen Bottnischen Bucht sind kaum stabile Strömungen zu beobachten. Die Vereisung des Meeres hält hier zum Teil über sechs Monate im Jahr an und verhindert somit das Vorkommen relevanter Strömungen.

### 3.8 Gezeiten der Meere

#### Einflüsse:

- Anziehungskräfte zwischen Erde und Mond
- Erddrehung
- Anziehungskräfte zwischen Erde und Sonne
- Geografie
- Erdneigung

#### Grundphänomen: Anziehungskräfte zwischen Erde und Mond:

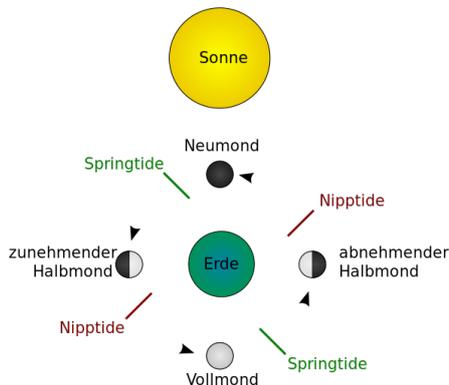
Die Gravitationskraft des Mondes zerzt an der Materie des Planeten. Durch die Abstandsabhängigkeit entstehen die Gezeiten. Auf der Mondseite ist die Gravitationskraft des Mondes etwas stärker als die des Erdmittelpunktes, wodurch Flutberge entstehen. Auf der gegenüber liegenden Seite verliert das Meer an Boden wodurch auch dort Flutberge entstehen, aber etwas schwächer. Die Bereiche zwischen den Flutbergen sind die Ebbetäler. Da das Wasser von dort zu den Flutbergen hingezogen wird, sinkt der Meeresspiegel.

#### Erddrehung:

Ohne die Erddrehung würden Flut und Ebbe nicht über den Planeten wandern, sondern an einer Stelle bleiben. Die Erde dreht sich östlich unter den Flutbergen hindurch, so dass die Flutberge westlich über den Planeten wandern. Die Zeit bis ein Punkt der Erde wieder dem Mond zugewandt ist, beträgt 24 Stunden und 50 Minuten. Die Tide, das ist die Zeit zwischen Flut und Flut oder Ebbe und Ebbe, beträgt also 12 Stunden und 25 Minuten.

#### Anziehungskräfte zwischen Erde und Sonne:

Das Verhältnis ist ähnlich wie beim Mond, aber weniger stark. Die Gravitationskraft der Sonne, die auf die Materie der Erde wirkt beträgt nur 46% der Kraft, die durch den Mond wirkt. Die Sonne ist hauptsächlich für die Verstärkung oder die Abschwächung der Gezeiten verantwortlich. Besonders zu beachten sind dabei die Zeiten, in denen Sonne, Mond und Erde auf einer Bahn stehen, also Neumond und Vollmond. Zu diesen Zeiten entstehen Springtiden, bei denen besonders stark ausgeprägte Ebbe und Flut zustande kommen. Bei zunehmendem Halbmond oder abnehmendem Halbmond entstehen dagegen Nipptiden. Dort sind Ebbe und Flut besonders schwach ausgeprägt.

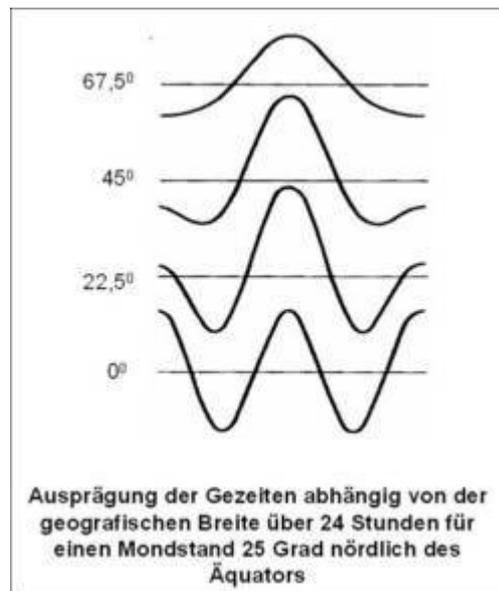


#### Geografie:

Die Gezeiten sind abhängig von der Größe und der Tiefe eines Gewässers. So ist der Unterschied zwischen Ebbe und Flut (Tidenhub) im Pazifik zum Beispiel unter einem Meter. Was aber auch sehr wichtig ist, ist die Form der jeweiligen Küste und die Anbindung der Gewässer an die Ozeane. Das kann man gut an dem Vergleich zwischen Ostsee und Nordsee sehen. Der Tidenhub der Nordsee beträgt mehrere Meter, da die Anbindung zum Ozean sehr gut und ungestört ist, während der Tidenhub der Ostsee sehr schwach ist, da sie nur eine kleine und verzweigte Verbindung zum Ozean besitzt. Richtung Festland sind die Gezeiten besonders stark zu sehen, da die Auswirkung bei flachem Gewässer höher ist. Auch der Wind spielt eine Rolle. Bei ablandigem Wind drängt er das Wasser auf das Meer zurück und das Watt bleibt länger trocken. Bei Seewind hingegen wird das Wasser an das Festland gedrückt. Besonders gefährlich wird es, wenn der Seewind aus Westen kommt und sich mit dem Flutberg verbindet. Dann entstehen Sturmfluten. Insgesamt können die die Schwankungen des Meeresspiegels von wenigen Zentimetern bis mehreren Metern betragen. Der Rekord wurde am Bay of Fundy festgestellt. Der Tidenhub beträgt dort bis zu 14 Metern.

#### Erdneigung:

Die Mondbahn ist relativ zur Erdbahn gekippt. Dadurch entstehen Asymmetrien. Die Flutberge liegen zwar immer auf der Verbindungslinie zwischen Erde und Mond, aber nicht immer auf der Äquatorlinie. Die



Flutberge wechseln periodisch ihre Lage zum Äquator.

**Quellen:**

Welt der Physik:

<http://www.weltderphysik.de/gebiet/planeten/atmosphaere/meere/gezeiten/>

Wikipedia:

[http://de.wikipedia.org/wiki/Gezeiten#/media/File:Tide\\_schematic\\_de.svg](http://de.wikipedia.org/wiki/Gezeiten#/media/File:Tide_schematic_de.svg)

### 3.9 Seestärke und Bestimmung

So wie Beaufort durch Beobachtung der See und der Auswirkung des Windes auf diese hat der deutsche Kapitän Peter Petersen 1927 eine Skala von 0 bis 9 für den Zustand der See in Abhängigkeit von Wellenhöhe, Gischt, Schaumbildung etc. aufgestellt.

Auch wenn für den Seegang der Wind die treibende Kraft ist reicht die Windstärke allein nicht aus um diesen zu beschreiben das verschiedene weitere Faktoren diese stark beeinflussen. Ausschlaggebend für die Entstehung von Wellen sind zusätzlich noch die Distanz, über welche der Wind auf das Wasser einwirkt (auf dem Maschsee werden sich keine meterhohen Wellen auftürmen), sowie die Dauer des einwirkenden Windes (eine Böhe erzeugt noch keinen Seegang) und in Küstennähe begrenzt die Wassertiefe zusätzlich die Wellenhöhe (Brandung). Daher kann man nur auf dem offenen Meer von einer Proportionalität des Seegangs und der Windstärke ausgehen.

Wellen entstehen durch Reibung des Windes an der Wasseroberfläche.

Hier sorgt die Kelvin-Helmholz-Instabilität, das aus kleinen Störungen (welche es in der Natur immer gibt) kleine Welle werden. Dabei wird der Kamm der Welle durch den darüber strömenden Wind nach oben gezogen, das Tal nach unten gedrückt (ähnlich wie beim Flugzeugflügel). Je nach Einwirkdistanz, Dauer, Windgeschwindigkeit und Wassertiefe bilden sich dann Wellen, die sich wiederum zu Größeren verbinden können. Es gilt hierbei: Tiefwasserwellen eher flach und lang, Flachwasserwellen kurz und steil.

Unter Umständen können sich Wellen zu abnormal großen Wellen zusammenschließen.

Wenn eine Welle mindestens 3 mal so groß wie die umgebenden Welle wird, spricht man von einer Freakwave oder Kaventsmann (>30m möglich aber sehr selten).

Wellen können aus ihrem Entstehungsgebiet herausrollen und ein Wellenbild ergeben, welches eigentlich nicht zum vorherrschenden Wind passt, dieses nennt man dann Dünung.

Quellen:

<http://www.vierte-flottille.de/hp/wind/wind.html>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserwelle>

### 3.10 Sturmfluten in der Ostsee

Der Begriff "Sturmflut" ist an der Ostseeküste eigentlich nicht ganz korrekt, da die Gezeiten in der Ostsee nur sehr schwach ausgeprägt sind. In Kiel gibt es beispielsweise nur einen Tidenhub (Unterschied zwischen Ebbe und Flut) von 18 Zentimetern. Die richtige Bezeichnung wäre demnach Sturmhochwasser. Da jedoch in den Medien und im täglichen Sprachgebrauch häufig die erste Bezeichnung verwendet wird, werde ich dies in dieser Ausarbeitung ebenfalls tun.

#### Klassifikation von Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste

Vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) gibt es eine Klassifikation von Sturmflutstärken für die deutsche Ostseeküste:

Leichte Sturmflut	1 – 1,25 Meter über dem MWS
Mittlere Sturmflut	1,25 – 1,5 Meter über dem MWS
Schwere Sturmflut	1,5 – 2 Meter über dem MWS
Sehr schwere Sturmflut	mehr als 2 Meter über dem MWS

MWS = mittlerer Wasserstand

Eine leichte Sturmflut tritt in der Regel etwa ein bis zweimal im Jahr auf, während eine schwere Sturmflut in etwa nur alle 5 Jahre auftritt.

#### Entstehung

Sturmfluten entstehen an der Ostseeküste meist infolge von starken Windereignissen wie Stürmen oder Orkanen. Diese treten hauptsächlich im Winter auf, sodass auch hier die Gefahr von stärkeren Sturmfluten am größten ist. Entscheidend für den absoluten Wasserstand in der Ostsee ist der Füllungsgrad der Ostsee. Durch starke Westwinde kann viel Wasser über das Kattegat von der Nordsee in die Ostsee transportiert werden. Die Ostsee ist für den "Badewanneneffekt" berühmt. Dieser Effekt entsteht immer dann, wenn starke Winde zu einem Wasseraufstau in bestimmten Regionen der Ostsee führen. Lässt der Wind nun nach oder dreht im schlimmsten Falle sogar auf die entgegengesetzte Richtung, schwappt das Wasser zurück und sorgt für Hochwasser, dort wo es ankommt.

Die Küstenform kann verstärkend auf Sturmfluten wirken. Vor allem golfartige Meere, trichterartige Flussmündungen oder lang gestreckte Seen sind anfällig für Sturmfluten. Hier kann das aufgestaute Wasser nicht zur Seite ausweichen und steigt dementsprechend noch höher. Beispiele an der deutschen Ostseeküste sind die Kieler Förde, die Lübecker Bucht oder der Greifswalder Bodden.

#### Sturmfluttypen

An der deutschen Ostseeküste gibt es zwei markante Sturmfluttypen, die bestimmen Großwetterlagen unterliegen.

##### Die Nordwestlage

07DEC2013 00Z  
**500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)**

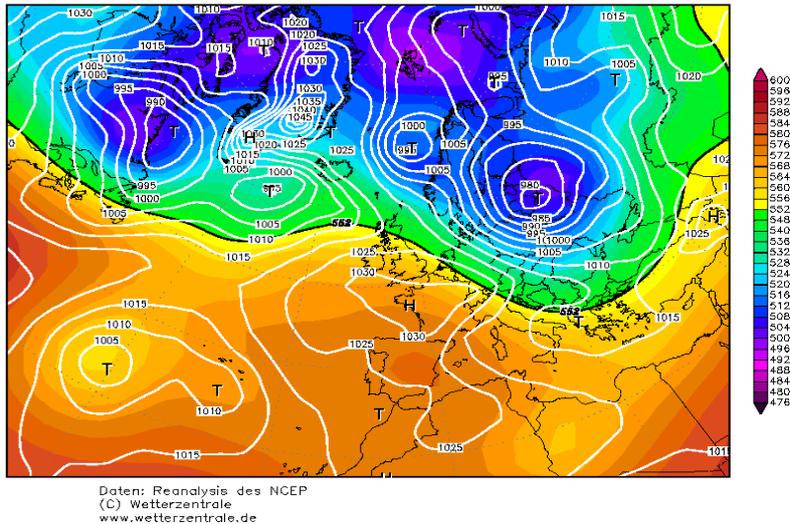


Abbildung 1: Wetterlage am 07. Dezember 2013

Die Nordwestlage entsteht meist auf der Rückseite von Sturm- oder Orkantiefs, die von der Nordsee über Südkandinavien in die Ostsee ziehen. Durch den starken Druckgradient auf der Rückseite entsteht ein Sturmfeld auf der Ostsee. Das Oberflächenwasser wird mit dem Nordwestwind an die Küste gedrückt und sorgt für eine kurze, aber markante Sturmflut. Davon betroffen sind vor allem die Gebiete von der Mecklenburger Bucht bis nach Rügen. Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Rückseite von Orkantief "XAVER", welches am Nikolaustag zuvor an der Nordsee bereits für mehrere Sturmfluten nacheinander gesorgt hatte.

**Die Nordostlage**

13NOV1872 00Z  
**500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)**

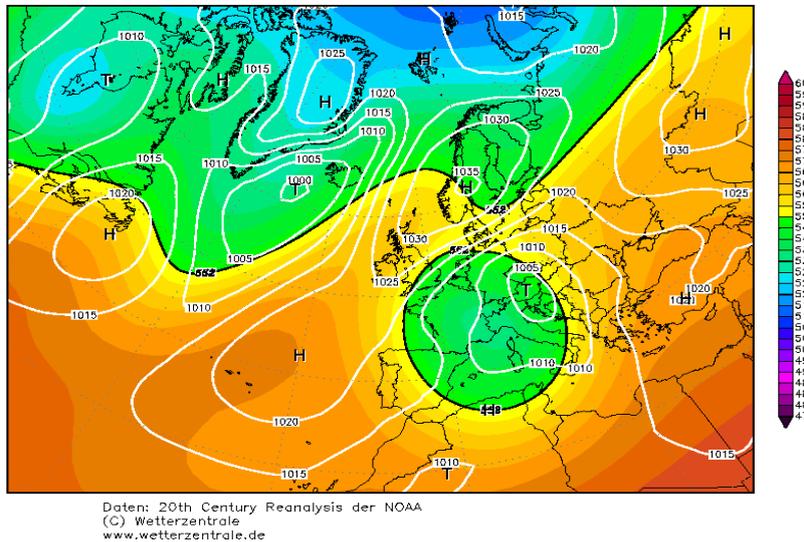


Abbildung 2: Wetterlage am 13. November 1872

Die Nordostlage gilt im Allgemeinen als die gefährlichere Lage der beiden Sturmfluttypen. Das hat mehrere Gründe. Zum einen ist die Wetterlage beständiger. Sie entsteht, wenn ein starkes Hoch über Skandinavien liegt und ein Mittelmeertief auf der Vb-Zugbahn nach Norden zieht. Dabei bleibt es meist über Tschechien, Polen oder Ostdeutschland liegen und bringt dort kräftige Niederschläge. Zur gleichen Zeit baut sich ein kräftiger Luftdruckgradient über der Ostsee auf und Nordostwind setzt ein. Ein weiterer Grund für die Gefährlichkeit der Nordostlage sind die langen Windwege. Während es bei der Nordwestlage nur wenige hundert Kilometer sind, kann der Wind bei der Nordostlage zwischen 750 und 1000 Kilometer über der freien Ostsee zurücklegen. So können sich größere Wellen bilden und es kann eine kräftigere

Strömung entstehen. Das Wasser wird dann in die Buchten der deutschen Ostseeküste gedrückt und staut sich dort an. Dieser sogenannte "Trichtereffekt" ist ein weiterer Grund für die gefährlichere Nordostlage.

### **Die Ostseesturmflut von 1872**

Zu einer besonders verheerenden Sturmflut kam es im November 1872. Tagelanger Südwestwind hatte viel Wasser in dem baltischen und finnischen Meerbusen angestaut. An der dänischen und deutschen Ostseeküste kam es zu extremen Niedrigwasser. Wie Abbildung 2 zeigt, drehte der Wind dann auf Nordost und das Wasser schwappte so schnell zurück, dass es nicht mehr rechtzeitig in die Nordsee ablaufen konnte. Es kam zu der schwersten an der Ostsee beobachteten Sturmflut mit Wasserständen bis 3,3 Meter über dem MWS.

Die Folgen waren katastrophal – allein in Deutschland wurden achtzig Meilen Küstenlinie verwüstet. Es entstand ein Schaden von etwa 11,5 Millionen Euro und in Europa gab es mindestens 271 Tote. Auch circa 600 Schiffe fielen der Sturmflut zum Opfer, mehr als 15 000 Menschen wurden obdachlos. Besonders hart traf es Eckernförde: Das Wasser drückte in die weit geöffnete Bucht und überschwemmte die Stadt fast komplett. Mehrere Häuser wurden komplett zerstört.

Eine derartige Sturmflut kommt laut Untersuchungen nur etwa alle 150 Jahre vor. Käme es heute allerdings zu einer solchen Flut, wären die Schäden aufgrund der dichteren Besiedlung der Ostseeküste wahrscheinlich weitaus größer.

Quellen:

[http://de.wikipedia.org/wiki/Ostseesturmhochwasser\\_1872](http://de.wikipedia.org/wiki/Ostseesturmhochwasser_1872)

[http://www.bsh.de/de/Produkte/Buecher/Berichte\\_/Bericht39/Bericht39D.pdf](http://www.bsh.de/de/Produkte/Buecher/Berichte_/Bericht39/Bericht39D.pdf)

<http://www.scinexx.de/dossier-detail-33-6.html>

<http://www.ikzm-d.de/showaddon.php?text=386>

## 3.11 Meereis

### Einleitung

Allgemein kommt Meereis in den Polargebieten, saisonal auch außerhalb dieser (z.B. Ostsee, skandinavischen Fjorden,..) vor. Es ist Teil von allem festem Wasser auf der Erde, der Kryosphäre.

Insgesamt ~ 6.5 % der Weltmeere ( $\approx 22,5$  Millionen  $\text{km}^2$ ) ist von Meereis bedeckt, wodurch es eine große Rolle für das Klima spielt.

### Wie gefriert Meerwasser?

Durch das im Meereis enthaltene Salz liegt der Gefrierpunkt bei  $-1,9^\circ\text{C}$ . Da das Salz nicht in das, beim Gefrieren des Wassers entstehende, Kristallgitter eingebaut wird, verbleibt es in der Umgebung. Innerhalb des Eises bildet sich ein Laugenkanalsystem. Der Salzgehalt in Meerwasser beträgt ~ 35 Promille, was etwa 3,5 % entspricht, in Meereis ist der Wert deutlich geringer. Dort beträgt der Salzgehalt beträgt nur ~ 3-5 Promille (~0,3 - 0,5%).

Vor Beginn der Eisbildung ist keine Konvektion vorhanden, durch die Eisbildung jedoch erhöht sich der Salzgehalt und dadurch die Dichte des umliegenden Wassers. Die daraus resultierende Konvektion ist wichtig für die thermohaline Zirkulation.

### Meereistypen:

Es gibt insgesamt fünf unterschiedliche Meereistypen, die stark von der Meeresoberfläche abhängen.

Auf einer bewegten Oberfläche entsteht Frazil-Eis, es zeichnet sich durch feine Eisnadeln/ -plättchen aus, die sich zu einem suppenartigem Eisschlamm verdichten.

Durch weiteres Wachstum entsteht so genanntes Pfannkucheneis (siehe Bild).



Dieses ist meist kreisförmig und kann bis zu drei Meter groß werden. Man erkennt diese Eisart an ihrem wulstigem Rand. Wenn kein Seegang vorhanden ist bildet sich Neueis in Form einer geschlossenen Eisdecke, auch Nilas genannt. Dieses wird durch von unten anfrierendendes Wasser dicker und kann eine Dicke von bis zu zwei Meter erreichen. Es bildet sich so genanntes einjähriges Eis.

Bricht eine geschlossene Eisfläche auf, so entstehen Eisschollen.

Dicht aneinander geordnete Eisschollen nennt man Packeis, welches vom Eisdrift betroffen ist.

Schieben sich Eisschollen oder Packeis übereinander können meterhohe Presseishügel entstehen.

Allgemein wird eine Unterscheidung in ein- und mehrjähriges Eis:

Einjähriges Eis umfasst nahezu das gesamte Meereis und ist auf niedrigen geografischen Breiten zu finden. Im Vergleich dazu befindet sich mehrjähriges Eis in höheren geografischen Breiten und taut erst wenn Eisdrift aufgetritt.

### Auswirkungen auf Klima

Auftretendes Meereis behindert den Austausch von latenter und sensibler Wärme zwischen dem Ozean und der Atmosphäre.

So verhindert schon eine dünne Eisdecke den Wärmefluss fast vollständig.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass Eis eine hohe Albedo ( $\sim 0,9$ ) hat, somit wenig einfallende Sonnenenergie (kurzwellige Strahlung) absorbiert wird. Dadurch kommt die Eis-Albedo-Rückkopplung zustande.

### Leben im Eis

Es gibt viele Arten von Leben in Meereis von denen Formen von Plankton dominieren. Es kommen sowohl autochthone (= nur dort vorkommend), als auch temporär dort lebende Arten vor. Auf dem Eis kommen Lebewesen in Pressendrücken, Schneeaufgaben und Schmelzwasserpfüten vor, während in dem Eis vorkommen Lebewesen im dort vorhandenen Laugekanalsystem leben. Ein weiterer belebter Ort befindet sich unter der Eisdecke, an der Algen siedeln.

Quellen: -

[http://www.muk.uni-hannover.de/fileadmin/imuk/images/lehre/2010\\_Segelexkursion\\_web.pdf](http://www.muk.uni-hannover.de/fileadmin/imuk/images/lehre/2010_Segelexkursion_web.pdf)

-[http://de.wikipedia.org/wiki/Meereis#cite\\_note-Stroeve2012-1](http://de.wikipedia.org/wiki/Meereis#cite_note-Stroeve2012-1)

## 3.12 Vereisung der Ostsee

### Allgemeines:

Die Ostsee ist ein circa 415 000 Quadratkilometer großes Binnen- und Brackwassermeer (Meere mit einem Salzgehalt von 0,1% bis 1%). In der westlichen Ostsee liegt jedoch ein höherer Salzgehalt aufgrund des Wasseraustausches mit der Nordsee vor.

### Eisbildung:

Eisbildung allgemein findet statt, wenn die Oberflächentemperatur unter den Gefrierpunkt sinkt, welcher wiederum in Abhängigkeit zum Salzgehalt des Wassers steht.

Die direkte lineare Beziehung äußert sich folgendermaßen: bei einem Salzgehalt von 2% liegt der Gefrierpunkt bei  $-1^{\circ}\text{C}$ , bei einem Salzgehalt von 4% bei  $-2^{\circ}\text{C}$ . Da die Ostsee relativ salzarm ist, gefriert sie vergleichsweise schnell zu.

### Voraussetzungen:

Dafür müssen allerdings bestimmte Voraussetzungen vorliegen, so zum Beispiel eine Wetterlage, die längerfristig den Wind aus dem Norden (Skandinavien) und dem Osten (Russland) zu uns heranträgt und dabei kalte Polarluft mit sich führt. Unter diesem Polarhoch sinken die Temperaturen stark ab und die Oberflächentemperaturen des Wassers fallen unter den Gefrierpunkt.

### Vereisung:

Die Vereisung beginnt meist in geschützter Lage, so zum Beispiel in Buchten und breitet sich von dort aus. In milden Wintern jedoch schreitet die Vereisung nicht weiter vor, allerdings kann in sehr kalten und heftigen Wintern auch das komplette Meer zufrieren.

Die Eisbildung im offenen Meer geht allerdings anders vonstatten als in Buchten. Zunächst entstehen in der oberen Wasserschicht Eiskristalle, die an die Oberfläche steigen und dort mit anderen aneinander frieren. Durch den Wellengang und die ständige Durchmischung der Schichten werden die Eisplatten immer wieder auseinandergerissen, es entsteht ein sogenannter ‚Eisbrei‘, der bei ausreichend kalten Temperaturen schließlich doch zu unregelmäßigen Eisschichten zusammen friert (Treibeis, Packeis). Genauer beschrieben ist der Vorgang unter dem Stichpunkt ‚Eisbildung‘ zu finden.

### Vorkommen:

Nicht in jedem Winter tritt die Vereisung gleichermaßen auf. Meistens zugefroren im Winter ist der Bottenwiek (teilweise mehr als 200 Tage im Jahr) und der Bottensee, der finnische Meerbusen und der Rigaer Meerbusen (mehrere Wochen lang).

Weiter südlich findet die Vereisung, wie schon erläutert, nur in strengen Wintern statt. Dabei ist die Ostsee in den letzten 100 Jahren nur drei Mal komplett zugefroren: 1939/40, 1941/42, 1946/47.

Somit ist eine Komplettvereisung in den letzten 50 Jahren nicht mehr aufgetreten. Möglicherweise lässt sich das auf die globale Erwärmung und den damit zusammenhängenden Klimawandel zurückführen, ausreichende Studien und Forschungsreihen gibt es zu diesem Thema bisher allerdings nicht.

### Phänomen:

Ein Vorbote für das Einsetzen der Vereisung ist der sogenannte Seerauch (Nebeltyp: Verdunstungsnebel), der entsteht, wenn kalte Polarluft über das offene und im Gegensatz zur Luft wärmere Wasser fließt.

### Eisvorhersage:

Da der Schiffsverkehr durch die Vereisung in der Ostsee stark beeinträchtigt wird, gibt es die Eisvorhersage, die die Eisdicke, die Verbreitung und den Drift des Treibeises vorhersagt.

Zudem existiert der sogenannte Baltic Sea Ice Code (BSIC), der den Zustand des Meereises mit beschreibt.

### Baltic Sea Ice Code:

AB – Amount and arrangements of sea ice

SB – Stage of ice development

TB – Topography or form of ice

KB – Navigation conditions in ice

### Quellen:

Hans Häckel: Meteorologie

<http://www.tiesel.de/klimaostsee1.html>

<http://www.bsis-ice.de/material/schluesssel.pdf>

### 3.13 Die Framdrift

#### Nordpolexpedition

Von 1893-1896 leitete Fridtjof Nansen eine Expedition, die das Ziel verfolgte, den Nordpol mit Hilfe der natürlichen Eisdrift des arktischen Ozeans zu erreichen. Fridtjof Nansen wurde am 10 Oktober 1861 in Oslo geboren und starb am 13 Mai 1930. Er war norwegischer Polarforscher, Zoologe und Diplomat.

Die Idee für die Fram-Expedition kam Fridtjof Nansen im Jahr 1884, als die Überreste des im Juni 1881 vor der Nordküste Sibiriens gesunkenen amerikanischen Kriegsschiffes „US Jeannette“ an der Südwestküste Grönlands gefunden wurden. Anhand dieses Fundes stellte der norwegische Meteorologe Henrik Mohn die Theorie einer Strömung durch das Packeis im Nordpolarmeer, der sogenannten transpolaren Driftströmung, auf. Basierend auf dieser Theorie entwickelte Nansen den Plan sich mit einem Schiff im Packeis einfrieren zu lassen und mit Hilfe der Drift den Nordpol zu erreichen.

Mit der finanziellen Unterstützung sowohl durch die norwegische Regierung, als auch durch öffentliche Institutionen und letztlich private Sponsoren, wurde schließlich ein Schiff, „Die Fram“ (norwegisch: vorwärts), vom schottischen Bootsbauer Colin Archer konstruiert, welches anstatt vom Eis zerdrückt zu werden aufgrund seiner Form von selbigem angehoben wird. Somit kann es vom Eis mit transportiert werden. Das Schiff war ein Dreimastschoner und hatte einen dreieckig, abgerundeten, glatten Rumpf, um vom Eis angehoben zu werden. Gleichzeitig besaß es die Möglichkeit, das Ruder und die Propeller einziehen zu können und keinen Kiel um vor dem Eis und flachen Gewässern geschützt zu sein. Des Weiteren wurde das Schiff gut isoliert, damit die Besatzung für die lange Expedition eine warme Unterkunft besitzt.

Am 24 Juni 1893 verließ die Fram den Hafen von Christiania. Die Besatzung bestand neben Nansen aus weiteren zwölf Expeditionsteilnehmern.

Die erste Etappe der Expedition war der Weg von Norwegen entlang der Küste Richtung Osten bis zu den Neusibirischen Inseln. Dort sollte die Fram im Packeis einfrieren. Im Oktober 1893 trat die Fram letztendlich bei 78°N ins Packeis ein. Bis Ende 1893 trieb sie im Packeis. Allerdings bewegte sie sich mal in Richtung Norden und mal in Richtung Süden. Erst im Januar 1894 war die Bewegung ausschließlich nordwärts gerichtet.

Da Nansen befürchtete mit Hilfe des driftenden Eises den Nordpol nicht zu erreichen, begannen er und Frederik Johansen die Reise zum Nordpol mit Skiern und Schlittenhunden fortzuführen. Am 8 April 1895, auf einer Breite von 86°13.6'N, mussten die beiden allerdings ca. 74km vor dem Ziel umkehren, weil absehbar war, dass die Nahrungsvorräte nicht ausreichen würden um die Reise bis zum Nordpol fortzusetzen. Damit hatten sie trotzdem den bestehenden Nordrekord gebrochen.

Während einer beschwerlichen Reise kehrten die nach Franz-Josef-Land zurück und überwinterten dort. Sie errichteten sich ein Winterquartier in einer Höhle im Schnee und ernährten sich fortan von Walrossen, Robben und Bären.

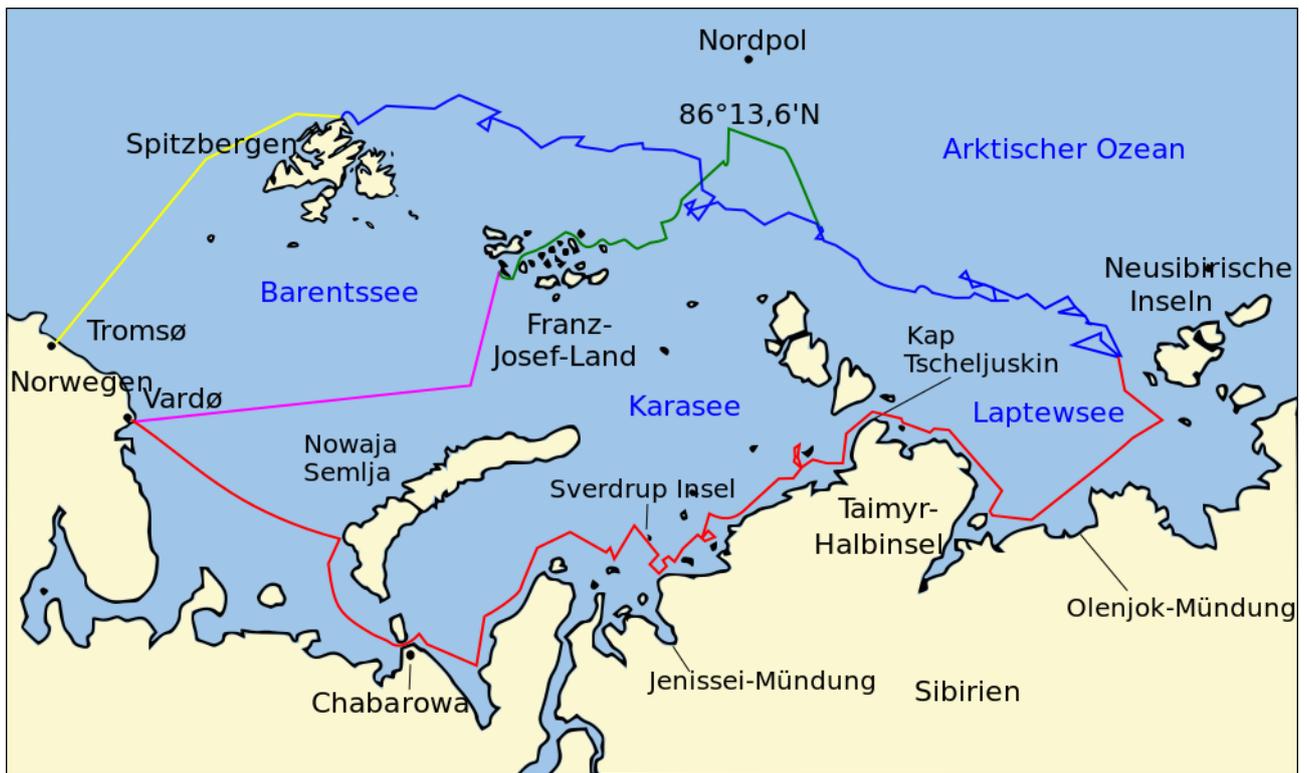
Am 19 Mai 1896 setzten sie ihren Weg in Richtung Südwesten fort.

Am 17 Juni trafen sie auf Frederick Jackson, der eine Expedition durch Franz-Josef-Land durchführte. Mit ihm erreichten sie letztendlich am 13 August 1896 Vardø.

Nachdem Nansen und Johansen im März 1895 die Fram verlassen hatten, driftete das Schiff mit dem Eis weiter und nahm meteorologische, magnetische und ozeanografische Messungen auf. Im November 1895 erreichte die Fram auf einer Breite von 85°55' N den nördlichsten Punkt ihrer Expedition. Im Juni 1896 wurde die Fram erstmals vom Packeis freigegeben und entkam ihm zwei Monate später nördlich von Spitzbergen endgültig. Daraufhin begab sie sich auf Rückweg nach Norwegen.

Obwohl die Expedition das Hauptziel, an den Nordpol zu gelangen, nicht erreicht hatte, erbrachte sie weitreichende Erkenntnisse in Bezug auf die Geografie des Nordpols. Ab diesem Zeitpunkt war geklärt, dass die Nordpolarregion anstatt durch größere Landmassen, durch driftendes Packeis gekennzeichnet ist. Zudem ist der Ozean sehr tief und es existieren polare Strömungen. Somit wurde die Theorie von Henrik Mohn bestätigt.

#### Routen der Framexpedition zwischen 1893 -1896.



Rot: Die Fahrt der Fram von Vardø entlang der sibirischen Küste bis zu den Neusibirischen Inseln und ins Packeis (Juli bis September 1893).

Blau: Eisdrift der Fram von den Neusibirischen Inseln bis nach Spitzbergen (September 1893 bis August 1896).

Grün: Der Marsch von Nansen und Johansen bis zu einer Breite von  $86^{\circ}13,6'N$  (damaliger Nordrekord) und der anschließende Rückweg nach Franz-Josef-Land (März 1895 bis Juni 1896)

Rosa: Rückfahrt von Nansen und Johansen von Franz-Josef-Land nach Vardø (August 1896)

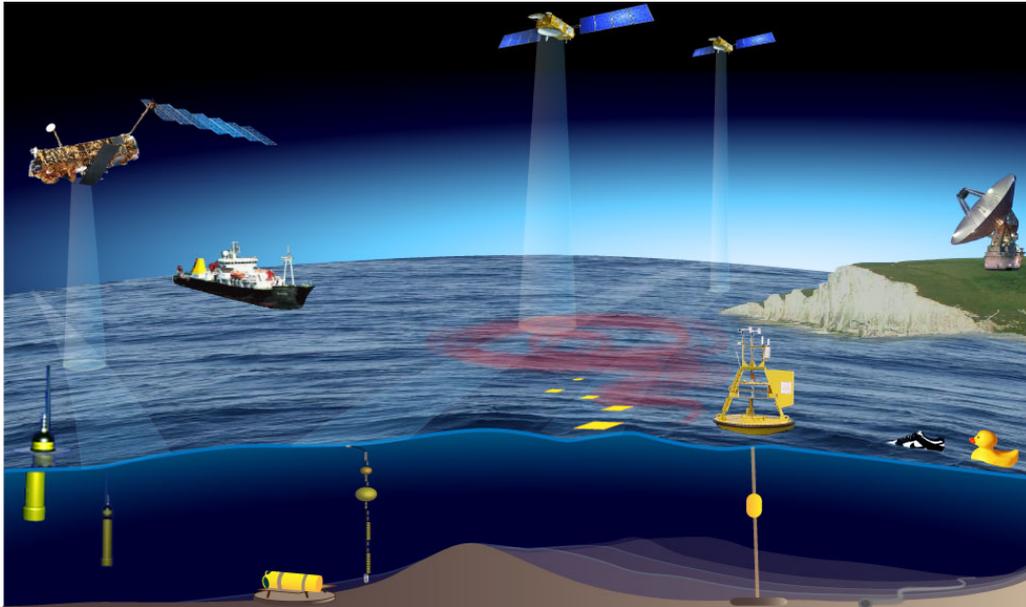
Gelb: Rückfahrt der Fram von Spitzbergen nach Tromsø (August 1896).

#### Quellen:

Wikipedia - Nansens Fram-Expedition, 18.04.2011: [http://de.wikipedia.org/wiki/Nansens\\_Fram-Expedition](http://de.wikipedia.org/wiki/Nansens_Fram-Expedition), 15.05.2015

## 4 Messung von Meeresströmungen

Die Messung von Meeresströmungen ist interessant, um Vorhersagen über die Ausbreitung von Schwebstoffen oder Verschmutzungen treffen zu können. Außerdem ist sie wichtig für die Schifffahrt, da Meeresströmungen einen großen Einfluss auf die Reisedauer haben können. Vor mehreren hundert Jahren wurden die Strömungen bestimmt, in dem man den Versatz zweier Schiffe bestimmt hat. Heutzutage wird dies mit Strömungsmessern erreicht, hierzu gibt es zwei Methoden: Die Euler'sche Messung, d.h. die Strömung wird an festen Messpunkten gemessen und die Lagrange-Methode, d.h. in der Strömung fließt ein Driftkörper mit, der Messung vornimmt. Im Folgenden werden einige Messmethoden vorgestellt, die auch in dem Bild zu finden sind:



Es werden Messungen auf einem Schiff bzw. von Schiffen vorgenommen. Dies geschieht über den Versatz zweier ankommender Schiffe, wobei sich eins treiben lässt und das andere den Kurs hält. Dann gibt es das Argo/Jason-Programm, hierbei sind ungefähr 3800 Treibbojen in den Weltmeeren unterwegs. Diese Bojen treiben in 1000 m Tiefe und tauchen alle 10 Tage in 2000 m Tiefe ab, um beim Aufstieg an die Meeresoberfläche Temperatur, Leitfähigkeit und Druck zu messen. Hieraus kann die Dichte bestimmt werden, die sehr wichtig ist, um großskalige Strömungen in den Meeren zu verstehen. Diese großskaligen Strömungen entstehen durch horizontale Dichteunterschiede. Dieses Messgerät ist unten links im Bild zu finden. Außerdem können Strömungen über Druckmessungen am Meeresboden bestimmt werden. Die Drucksensoren erfassen dabei Bewegungen der über ihnen liegenden Wassermassen, die durch Strömungen und Winde zustande kommen. Messmethode ist im Bild am Meeresboden zu finden. Des Weiteren gibt es Verankerungen im Meeresboden, an denen Strömungsmesser in verschiedenen Tiefen befestigt werden. Diese Messgeräte messen dann den Betrag und die Richtung der Strömung sowie die Temperatur und den Salzgehalt. Auf dem Bild ist es der untere Teil der Boje. Der obere Teil der Boje dient dazu, um Daten nahe der Wasseroberfläche zu erfassen, d.h. Messung von Windgeschwindigkeit/Windrichtung, Messung der Lufttemperatur/der relativen Feuchte, Messung der Regenmenge. Außerdem werden Messungen knapp unterhalb der Oberfläche durchgeführt, wie die Messung der Temperatur und Leitfähigkeit. Nun werden noch Messungen mit Driftkörpern durchgeführt, d.h. es werden an einem bestimmten Ort Plastikkarten in den Ozean ins Meer geworfen und an das zuständige Institut vom Finder mit dem Ankunftsort zurückgeschickt. Dies kann auch durch zufällige Driftkörper wie Plastikentens geschehen. Mit Farbstoffen und Tracern werden Oberflächenströmungen vermessen. Die Ausbreitung wird dann von Schiffen, Flugzeugen und teilweise Satelliten registriert. Jetzt kommen einige eher theoretische Ansätze der Messung von Meeresströmungen. Zuerst die Messung mittels eines akustischen Dopplerströmungsmesser, welcher Schallimpulse aussendet, die von Teilchen im Wasser reflektiert werden und die Veränderung der Schallausbreitung (Doppler-Effekt) kann durch den Unterschied der Laufzeiten bestimmt werden. Zweitens gibt es die Messung mit Satellitenaltimetrie, hierbei wird das Meeresniveau mittels Radaraltimetern bestimmt. Die Laufzeitdifferenz von Mikrowellenimpulsen gibt Aufschluss über Richtung und Geschwindigkeit von Strömungen. Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Messung von Meeresströmungen sehr wichtig ist. Bei Ölkatastrophen muss sehr genau bekannt sein, in welche Richtung das Öl fließen wird, um dies zu verhindern. Außerdem ist es

sehr wichtig für die Schifffahrt, um eine möglichst effiziente Route zu planen, damit möglichst wenig Treibstoff verbraucht wird.

Quellen: <http://www.seos-project.eu/modules/oceancurrents/oceancurrents-c06-p01.de.html>, 28.09.2015 (Bild)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Argo>, 28.09.2015

## 5 Wetterlage

Di, 26.05.15

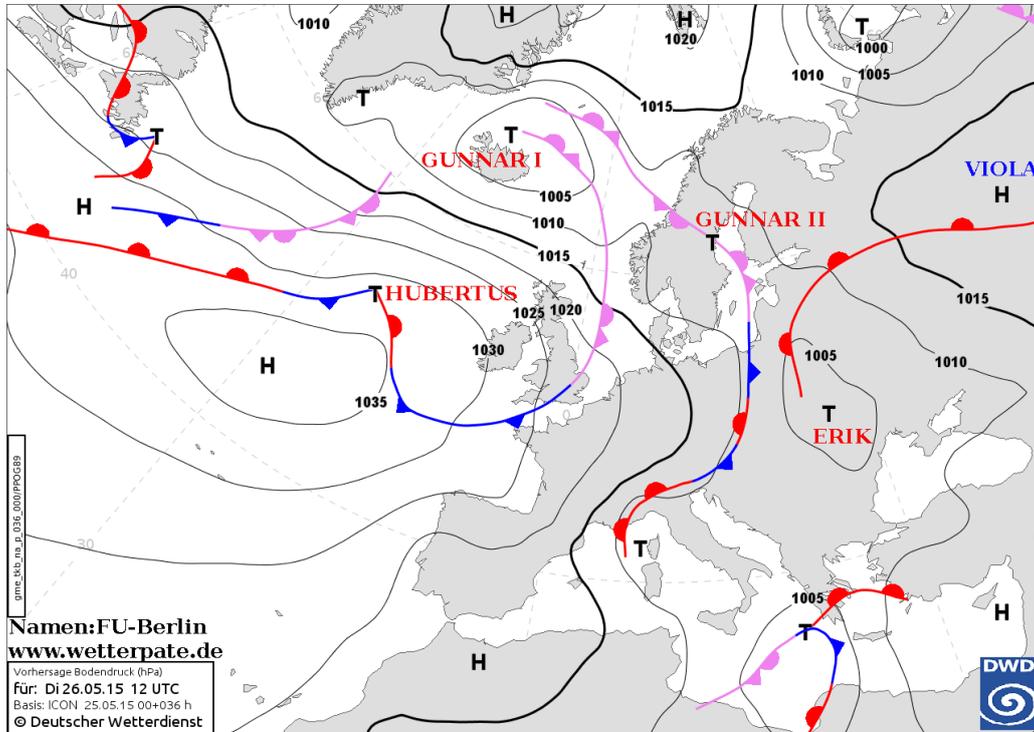


Abbildung 1: Wetterlage am 26.05.15 um 14 Uhr

Zwischen Tiefdruckgebieten von Island bis zum Balkan und einem Hochdruckgebiet über dem Atlantik stellte sich über der Ostsee eine zyklonale Nordwestlage ein. Dabei strömte Höhenkaltluft von der Nordsee zu uns und sorgte am Dienstag für Schauer. Der Wind kam aus West bis Nordwest mit Windstärke 4 bis 5.

Mi, 27.05.15

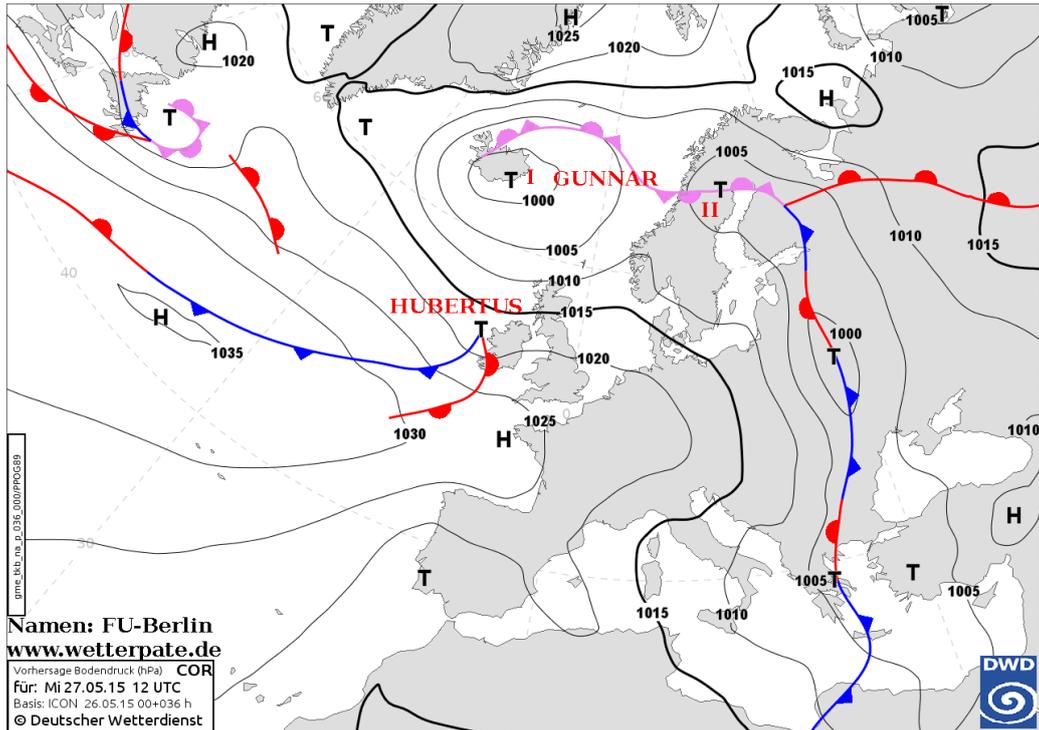


Abbildung 2: Wetterlage am 27.05.15 um 14 Uhr

Am zweiten Tag änderte sich nur wenig an der Wetterlage. Wir verblieben weiterhin in der Nordwestströmung, wobei der Hochdruckeinfluss geringfügig zunahm. So gab es nur am Morgen noch Schauer, tagsüber blieb es dann trocken. Der Wind kam aus West mit Windstärke 4.

Do, 28.05.15

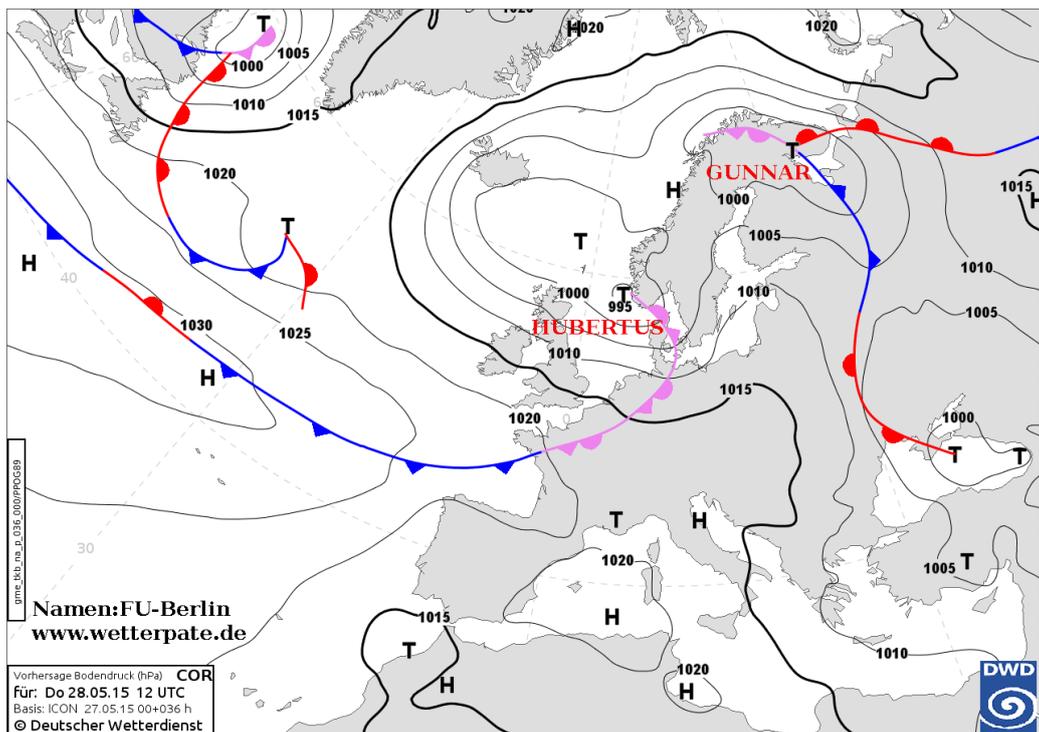


Abbildung 3: Wetterlage am 28.05.15 um 14 Uhr

Am Donnerstag überquerte uns etwa zur Mittagszeit die Okklusionsfront des Tiefs HUBERTUS, welches zu dem Zeitpunkt vor der norwegischen Küste auf der Nordsee lag. Es gab schauerartig verstärkten Regen und sogar ein leichtes Gewitter. Nachmittags lockerte es dann wieder auf und die Sonne kam heraus. Der Wind wehte vor der Front aus Süd mit Windstärke 3 bis 4, frischte während der Front mit Windstärke 5 bis 6 stark auf und ließ dann wieder nach und dreht auf West.

Fr, 29.05.15

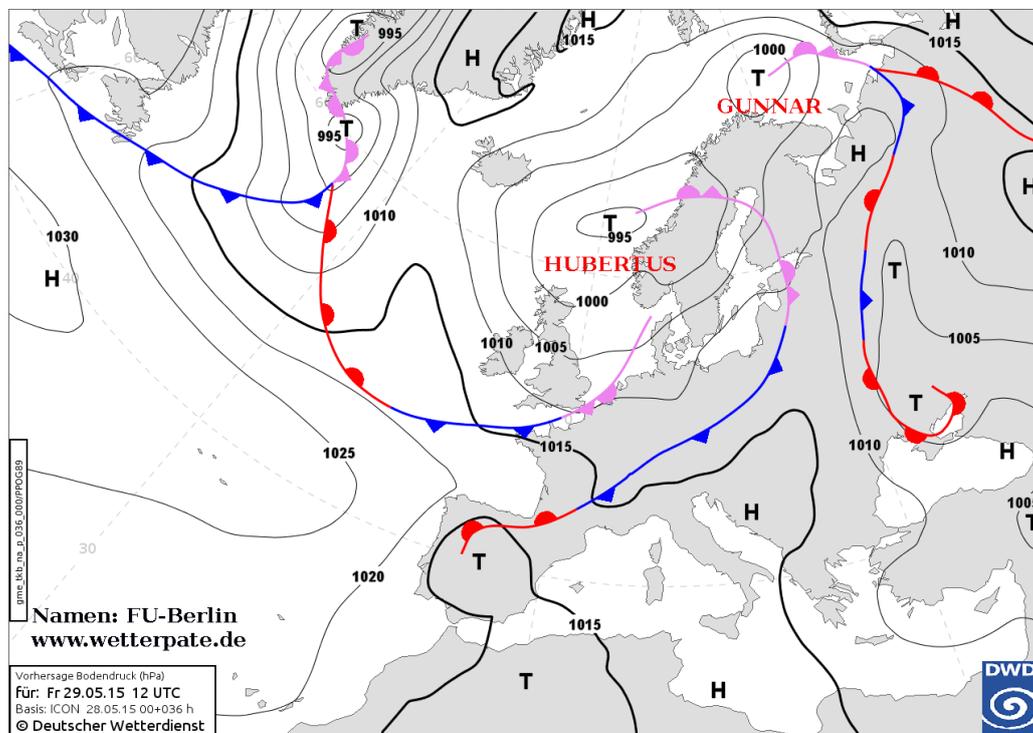


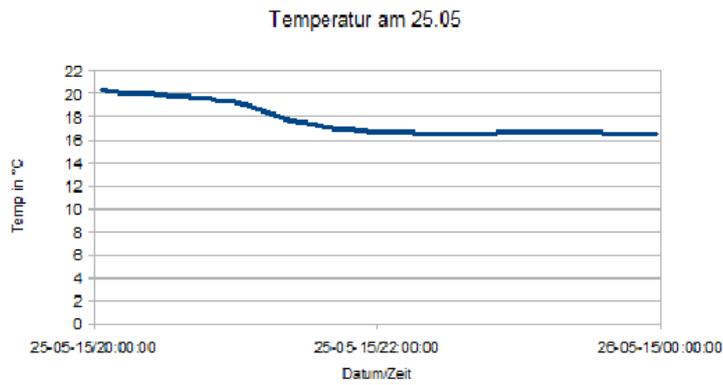
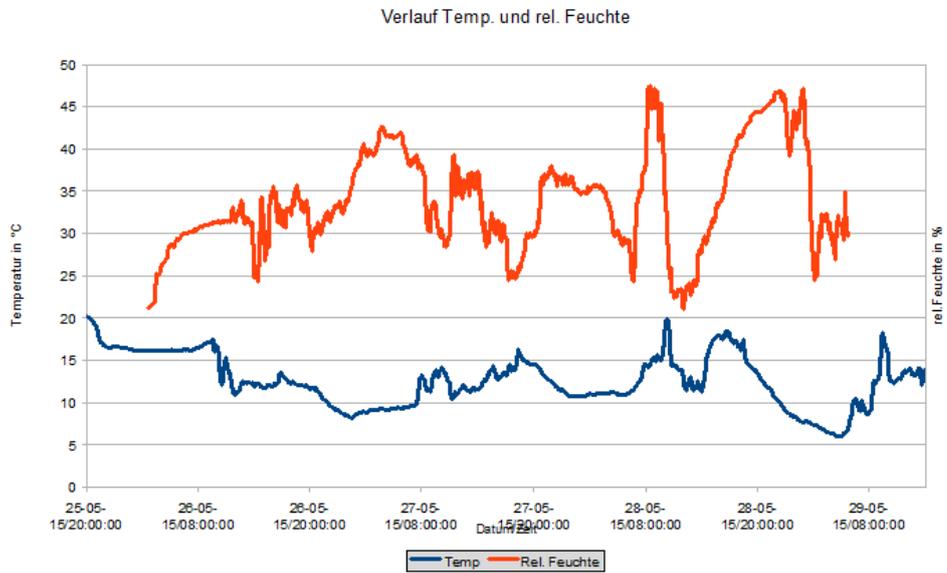
Abbildung 4: Wetterlage am 29.05.15 um 14 Uhr

Am letzten Tag stellte sich dann eine zyklonale Westströmung ein. Bei einem Wechsel aus Sonne und Wolken gab es auch kurze Schauer. Erst auf der Rückreise aus Kiel erreichte uns die Frontbewölkung einer Okklusion eines Tiefs westlich von Irland. Im Verlauf setzte dann auch Regen ein. Der Wind weht mit Stärke 3 bis 4 aus West, in den Schauern gab es Windstärke 5 bis 6.

Quelle Karten: Deutscher Wetterdienst (DWD)

# 6 Auswertung der Temperatur und relativen Feuchte

,gemessen auf dem Schiffsdeck



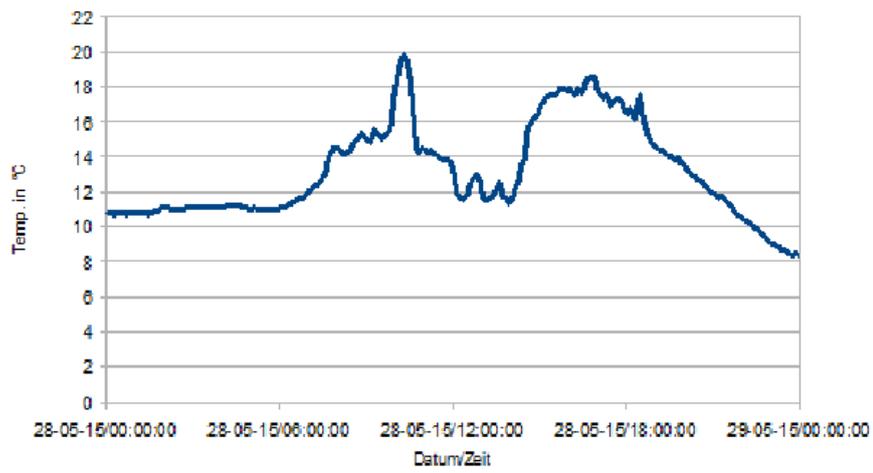
Temperatur am 26.05



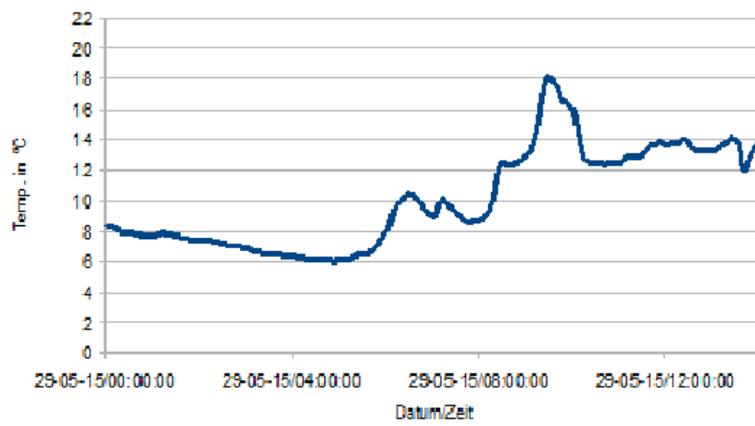
Temperatur am 27.05



Temperatur am 28.05



Temperatur am 29.05



7 Fotos









