

promet

1'79

meteorologische fortbildung

Sturmfluten und Seegang II



Herausgeber

Deutscher Wetterdienst

HauptschriftleiterM. Schlegel
Frankfurter Straße 135
6050 Offenbach am Main**Redaktionsausschuß**A. Cappel (Neustadt a.d.W.)
F. Defant (Kiel)
H.-W. Georgii (Frankfurt)
K. H. Hinkelmann (Mainz)
H. Hinzpeter (Hamburg)
E. Lingelbach (Offenbach)
H. Reiser (Offenbach)
H.-P. Schmitz (Berlin)
R. Simonis (Offenbach)
S. Uhlig (Traben-Trarbach)
F. Wippermann (Darmstadt)**Titelbild:**

“Gegenan” bei schwerer See. Erhebliche Fahrtbehinderung durch stürmische Gegenwinde. (Foto u. Copyright: Dr. F. Krügler, Hamburg)

promet erscheint im Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes – Zentralamt – Frankfurter Straße 135, 6050 Offenbach am Main. Bezugspreis pro Jahrgang (4 Hefte) DM 28,-, Einzelheft DM 7,50.

Für den Inhalt der Arbeiten sind die Autoren verantwortlich. Alle Rechte bleiben vorbehalten.

Druck: Schön & Wetzel GmbH, Offenbacher Landstraße 368, 6000 Frankfurt (Main).

ISSN 0340 - 4552

9. Jahrgang, Heft 1, 1979

Thema der Hefte 4'78 und 1'79:

Sturmfluten und Seegang

(Fachliche Redaktion: H.P. Schmitz, Berlin)

Beiträge (Fortsetzung von Heft 4'78)

	Seite
Vorbemerkungen	1
3 Seegang und Seegangsvorhersage	
H. WALDEN	
3.1 Die Entwicklung des Seegangs	2
H.P. SCHMITZ	
3.2 Energieübertragung und -ausbreitung in Oberflächenwellen	5
H. CARLSON	
3.3 Die JONSWAP-Experimente vor Sylt	7
K. RICHTER	
3.4 Seegangsvorhersageverfahren	8
H. KRUHL	
3.5 Seegangskarten	11
4 Routenberatung für die transatlantische Schifffahrt	
H.P. SCHMITZ	
4.1 Routenberatung als ökonomisches und wissenschaftlich-technisches Problem	13
H. KRUHL	
4.2 Die Anwendung der Seegangskarten in der Schiffsroutenberatung	14
H.P. SCHMITZ	
5 Wünschenswerte Weiterentwicklung in der Sturmflut- und Seegangsvorhersage	17
Aus der Weltorganisation für Meteorologie (WMO)	
Second WMO statement on modification of the ozon layer due to human activities and some possible geophysical consequences	17
Aus dem Deutschen Wetterdienst	
GOES 1 in Betrieb	20
Aus dem Geophysikalischen Beratungsdienst der Bundeswehr	
Nachsichttechnik, ein Problem für die Geophysikalische Einsatzberatung (G. LÜTKEBOHMERT)	20
Das interessante Satellitenbild	
Strahlstromachsen im Satellitenbild (H. WOICK)	23
Zum Berufsbild des Meteorologen und Wetterberaters	
Der Meteorologe als Dozent im Fachbereich Seefahrt (H. PRÜGEL)	25

Thema dieses Heftes

Sturmfluten und Seegang II

Vorbemerkungen

Das vorhergehende Heft (4'78) und das vorliegende befassen sich mit zwei meteorologischen Effekten auf Meeresoberflächen, die man zunächst weitgehend unabhängig voneinander betrachten sollte,

A mit den durch Luftdruckgradienten und durch den mittleren Tangentialschub des Windes bedingten Anteilen an Wasserstandsänderungen im Meer und an seinen Küsten, den "surges",

B mit den winderzeugten Schwerewellen an der Wasseroberfläche, dem Seegang, der infolge (nichtlinearer) Wechselwirkung mit der oberflächennahen Strömung und durch die Brandung an sanft ansteigenden Küsten zur Erhöhung von Sturmflutwasserständen beitragen kann.

Es scheint zweckmäßig, zunächst eine Einordnung beider Vorgänge hinsichtlich ihrer räumlichen und zeitlichen Ausdehnung, ihres "scales", vorzunehmen, wobei wir auf das Promet-Heft 1/2 von 1971 hinweisen. Diese Einordnung bestimmt zugleich die Disposition unserer Darlegungen.

Die Wasserstände

Der Effekt A entsteht durch die Arbeitsleistung des synoptischen Bewegungsfeldes der Atmosphäre und verursacht einen synoptic-scale-Vorgang im Meer. Der "mittlere" (=synoptische) Tangentialschub des Windes, im folgenden kurz Windschub genannt, leistet mit Hilfe mikroturbulenter Vorgänge Arbeit an dem "mittleren" (=synoptischen) Bewegungsfeld des Meeres und ermöglicht dadurch eine Zunahme seiner potentiellen Energie, z.B. durch einen Anstau des Meereswassers an einer Küste. Die räumliche Ausdehnung der Vorgänge dieses scales umfaßt auch im Meer Größen wie das Areal der Nordsee.

Die (astronomisch bedingten) Gezeiten mit ihrer rund 12stündigen Periode sind ebenfalls ein Bewegungsvorgang im Meer in diesem synoptischen scale. Die Bewegungsfelder für die Gezeiten, für Windschub- und Luftdruckeffekte gehören größenordnungsmäßig zusammen und sind wegen ihrer Wechselwirkung (über die nichtlinearen Terme in den Bewegungsgleichungen) höchstens zum Behelf getrennt zu behandeln und daher, streng genommen, nicht superponierbar (wie lineare Vorgänge). Das erschwert Analysen und Vorhersagen von Wasserständen; die Gezeiten sind simultan zu berücksichtigen. Bei Wasserstandsvorhersagen für die Ostsee sind sie allerdings ohne Belang.

Der Seegang

Während Windstaueffekte und andere in den synoptischen scale gehörige Vorgänge erst nach "längerer" (meist mehrstündiger) und räumlich ausgedehnter Einwirkung der Atmosphäre eintreten, erhalten wir einen kleinen seegangserzeugenden Windeffekt B schon nach wenigen Minuten – auch auf kleinen Wasserflächen wie einem Binnensee. Die Seegangsanföschung ist in hohem Maße ein Effekt des turbulenten Zusatzfeldes der Atmosphäre, eine Arbeitsleistung nicht ihrer mittleren, sondern ihrer augenblicklichen, mikroturbulenten Normal- und Tangentialspannungen, wodurch auf dem Meer Fluktuationen in der Größenordnung der dortigen Mikroturbulenz hervorgerufen werden; sie sind nur nicht ganz so ungeordnet wie diese, was man an der bevorzugten Ausbreitung der Oberflächenwellen um die Windrichtung erkennt. Daß die Energie des turbulenten Zusatzfeldes der Luft und die Fluktuationsenergie der Wellen letztlich aus der des mittleren (synoptischen) Windfeldes stammen, ändert nichts an dem mikroskaligen Charakter des Bewegungsfeldes der einzelnen Welle. Auch ihre Energie ist "subskalig" in Bezug auf das synoptische Feld.

Das gesamte Seegangsfeld, welches von einer Zyklone erzeugt wurde, hat allerdings annähernd deren oder sogar größere Ausmaße und kann daher als Phänomen im synoptischen scale angesehen werden, seine Vorhersage als Aufgabe der synoptischen Meteorologie.

Der Seegang in Vorhersage- und Klimamodellen

Da in Betrachtungen zur Wechselwirkung Ozean–Atmosphäre der Seegang weitgehend gleichzusetzen ist mit einer (ggf. starken) Mikroturbulenz an der Wasseroberfläche, diese ihrerseits wesentlich die turbulenten Flüsse von Impuls, sensibler und latenter Wärme sowie den Übergang kinetischer Energie zwischen Wasser und Luft beeinflusst, sehen manche Seegangsfachleute die Notwendigkeit, eine Seegangsberechnung in alle Modelle aufzunehmen, die air-sea-interaction-Effekte in Rechnung stellen.

Trotz der möglichen nichtlinearen Wechselwirkung zwischen Seegang und Strömung kommt es aber in diesen Modellen wesentlich auf die mit dem Seegang verbundene Fluktuationsbewegung, weniger auf den Seegang im Detail an. Außerdem haben diese Modelle noch sehr viele andere unvollkommene Stellen in ihrer Physik und Numerik, so daß dort eine Parameterisierung des Austauscheffekts des Seegangs vorläufig ausreichen dürfte.

(Die Fußnoten sind Ergänzungen der Fachredaktion.)

3 Seegang und Seegangsvorhersage

H. WALDEN, Hamburg

3.1 Die Entwicklung des Seegangs

Was ist Seegang?

Unter **Seegang** versteht man die vom Winde aufgeworfenen Oberflächenwellen des Meeres, die allerdings unter dem Einfluß äußerer Bedingungen ein sehr unterschiedliches Aussehen annehmen können.

Wir bezeichnen sie mit **Windsee**, solange der Seegang wesentlich durch den am Orte und in seiner Nachbarschaft herrschenden Wind bestimmt wird. Die Windsee ist gekennzeichnet durch die Ungleichmäßigkeit der einzelnen Wellen. Ihre Kämme sind "scharfkantig"; Brecher treten auf.

Zur **Dünung** wandeln sich diese Windwellen um, wenn der Wind aussetzt, oder wenn sie das Windgebiet verlassen; denn die Energie eines einmal entstandenen Wellenfeldes verlagert sich in gleichbleibender Richtung über oft große Strecken weiter. Hauptmerkmale der Dünung sind die größere Regelmäßigkeit der Wellen, die große Länge der Kämme und die langgestreckte, runde Form des Wellenprofils.

Brandung entsteht, wenn die Wellen der Windsee oder der Dünung in flaches Wasser einlaufen oder auf Küsten stoßen. Auf wenig geneigtem Strand werden die Wellen langsam steiler; sie kippen schließlich über oder brechen. An Felsküsten brandet die See mit hohen Spritzern und Gischt-fahren. Dabei kann teilweise auch eine Reflexion der Wellen eintreten (Abb. 3.3). Reflektierte Wellen überlagern sich den neu ankommenden, bedingen verstärkte Turbulenz vor dem Kliff und Vergrößerung der Wassertiefen h durch Abtransport des aufgeschwemmten Sandes, küstenparallel und seawärts.

Energieübergang vom Wind- zum Wellenfeld

Bei der Anfachung der Oberflächenwellen wird Energie aus der Atmosphäre auf die oberen Schichten des Meeres übertragen; sie wird dort umgewandelt und teilweise, z.B. bei der Bildung von Brechern, verbraucht; schließlich wird sie beim Brandungsvorgang in andere Energieformen überführt, z.B. in Reibungswärme.

Welches die entscheidenden Vorgänge beim Übergang der Energie aus der bewegten Luft auf das Wasser sind, ist nicht bis ins letzte bekannt. Wahrscheinlich spielen die wichtigste Rolle die auf die Wasseroberfläche normal gerichteten Schwankungen des Luftdruckes im Zusammenhang mit der Turbulenz in der bewegten Luft (s. z.B. H. U. ROLL 1956; B. KINSMANN 1965; G. DIETRICH et al. 1975). Nach der zwar plausiblen, heute allerdings als unzureichend erwiesenen (z.B. O. M. PHILLIPS 1977; Y. TOBA 1978) "Abschirmtheorie" von J. JEFFREYS (1925) werden die Wellen als Folge der Verschiedenheit des Winddrucks auf die lee- und luvwärtigen Flanken einer (vorhandenen) Welle angefacht. Auch die (tangential) Schubspannung an der Grenzfläche Luft/Wasser dürfte an der Wellenerzeugung und -vergrößerung beteiligt sein (vgl. z.B. KINSMANN 1965,

S. 299). Bei welcher horizontalen Mindestgeschwindigkeit die Wellenanregung beginnt, ist ebensowenig endgültig geklärt wie der eigentliche Anfachungsvorgang.

Die vier Hauptphasen der Seegangsentwicklung

Kapillarwellen

Beginnt eine Luftbewegung ausreichender Geschwindigkeit – z.B. 0,7 m/s in ~ 6 m Höhe – über eine glatte Wasseroberfläche zu streichen, so entstehen zuerst sehr kleine Kräuselwellen (engl. ripples), deren Täler – anders als bei Schwerewellen – "spitz" und deren Kämme relativ flach sind. Bei ihnen ist die rücktreibende Kraft nicht die Erdschwere, sondern bei den starken Krümmungen der Wasseroberfläche, die hier auftreten, die Oberflächenspannung. Diese Kapillarwellen sind weniger als 1 mm hoch und kürzer als 1,72 cm (Wellenhöhe H = Vertikalabstand vom Tal zum Kamm; Wellenlänge λ = Horizontalabstand von Kamm zu Kamm. Die Abbildung 3.1 (nach H. U. ROLL) zeigt die Beziehung zwischen Wellenlänge und -geschwindigkeit (über "tiefem" Wasser). Sie weist auch aus, daß die sog. Grenzwellenlänge von 1,72 cm Länge die geringste Geschwindigkeit (23,1 cm/s) besitzt. Es gibt hier einen Wellenlängenbereich, bei dem sowohl die Oberflächenspannung als auch die Schwerkraft als rücktreibende Kräfte wirksam sind ("Tiefes" Wasser ist definiert durch die Bedingung, daß die Wassertiefe $h \gg \lambda$).

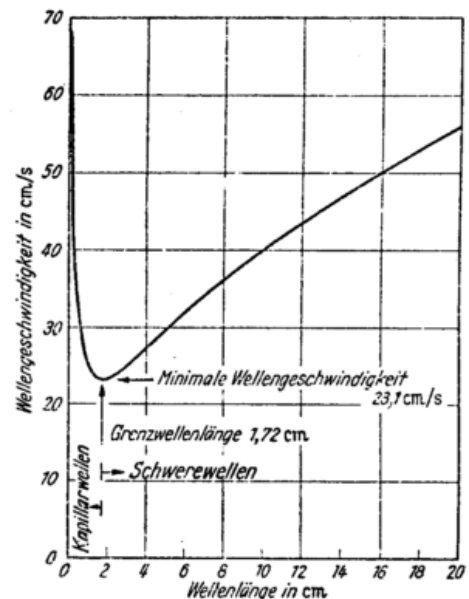


Abb. 3.1: Zusammenhang zwischen Wellenlänge und -geschwindigkeit bei Kapillar- und Schwerewellen. (Aus: H. U. ROLL 1956).

Windsee

Dieser Entstehungsphase der Windwellen folgt die Entwicklung der durch Schwerewellen verschiedener Größe, Länge und Richtung gekennzeichneten Windsee. Bei anhaltender Windwirkung wird in Abhängigkeit von der Zeit Energie im Wasser akkumuliert, was dazu führt, daß neben kleinen Wellen mehr und mehr größere und schließlich einzelne große Wellen im Seegang auftreten. Weil die Ansammlung von Energie nur stattfinden kann, solange die vorhandenen Wellen unter Windeinfluß bleiben, und weil sich andererseits die Wellenenergie selbst verlagert (mit $1/2$ Laufgeschwindigkeit c der Wellen), ist das Wachsen der Windsee abhängig von der Größe des Windfeldes, der Länge des Anfachungsweges (im Englischen = "fetch"), der Anfachungsdauer und von dem Verhältnis zwischen Windfeld- und Wellenenergieverlagerung. — Das im Anfachungsbereich vorherrschende Wellenprofil ähnelt weitgehend dem einer Trochoide (spitzer Kamm, relativ weites Tal).

Man nennt eine Windsee "ausgereift" für eine bestimmte Windgeschwindigkeit, wenn bei beliebig langem Fetch (und beliebig langer Windwirkdauer) die Energiezufuhr durch diesen Wind und Energiedissipation im Wasser gleich groß sind. Der Seegang nimmt dann nicht mehr weiter zu, solange die Windgeschwindigkeit nach Betrag und Richtung gleich bleibt. Im tiefen Meer wurden bei schwerem Sturm, sehr langem Fetch und sehr langer Wirkdauer im Seegang einzelne, bis zu 34 m hohe "out-size"-Wellen beobachtet. Ein solcher Seegang enthält Wellen aller Größen, Längen, Geschwindigkeiten und vieler Laufrichtungen um die Hauptwindrichtung herum. Daraus ergibt sich die "Wildheit" der Sturmsee.

Nur statistische Methoden und Wahrscheinlichkeitsrechnung gestatten es, diesen Seegang durch relativ wenige Werte ausreichend zu charakterisieren und zu prognostizieren. Die "kennzeichnende" Wellenhöhe (significant height) H_s ist eine statistisch ermittelte Größe, die gemäß internationaler Vereinbarung folgendermaßen bestimmt wird: Für einen Beobachtungszeitraum an einem Ort teilt man alle vorkommenden Wellen, welche mittlere Oberflächenniveaus anschnitten, der Größe nach in drei Gruppen ein; H_s ist die Durchschnittshöhe der Wellen, die dem Drittel der höchsten Wellen angehören. Entsprechend läßt sich eine kennzeichnende Wellenperiode T_s ermitteln, die als durchschnittlicher Zeitabstand zwischen dem Durchlauf zweier aufeinanderfolgender Käme dieser Wellen an einem festen Punkt definiert ist (s. WALDEN und GERDES 1958; WALDEN 1970; NEUMANN und PIERSON 1966).

Man kann sich die Windsee nach einem Fourier-Prinzip zusammengesetzt denken aus unendlich vielen echtperiodischen Schwingungen unterschiedlicher Amplitude, Periode (oder Länge), Phase und Richtung. Mit Hilfe verschiedener Verfahren, z.B. Autokorrelation oder Fast-Fourier-Transformation (FFT) ist es möglich, die Verteilung der einzelnen Partialschwingungen zukommenden Energie in Abhängigkeit z.B. von der Periode T darzustellen. Das Ergebnis ist das "Energiespektrum" (Abb. 3.6 im Beitrag 3.3). Erlauben es die Meßdaten, auch die Verteilung der Energie auf die Laufrichtungen festzustellen, so ergibt sich das sog. Richtungs- oder "zweidimensionale" Spektrum (Abb. 3.2), das alle etwa für Vorhersagezwecke benötigten Informationen über den Seegang enthält.

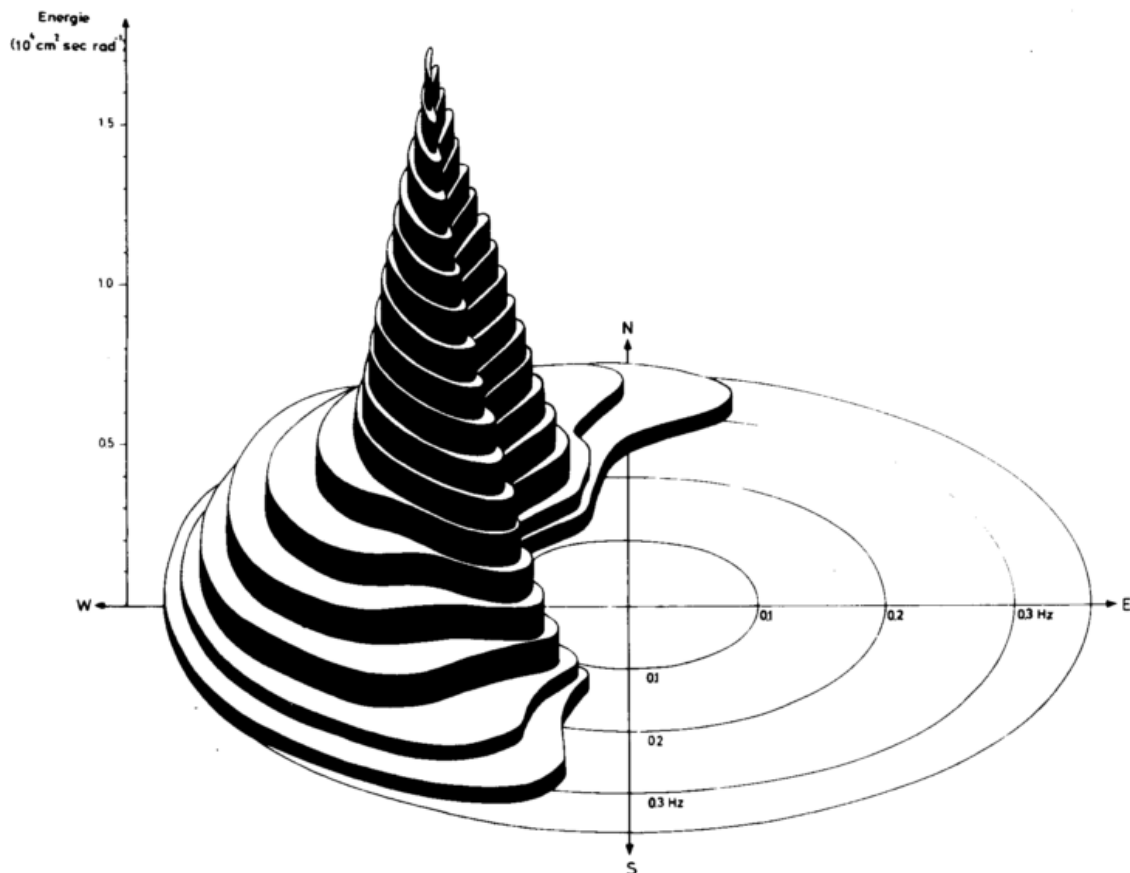


Abb. 3.2: Richtungsspektrum des Seegangs (zur besseren "räumlichen" Erkennbarkeit in Stufen dargestellt) bei Westwind im nördl. Nordatlantik. Entwurf: K. RICHTER (Aus: H. WALDEN 1970).

Dünung

Über "tiefem" Wasser, $h \gg \lambda$, ist die Wellen- oder Phasengeschwindigkeit c (= Geschwindigkeit, mit der die Wellenkämme fortschreiten ohne einen Transport von Wasser)

$$c = \frac{\lambda}{T} = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \text{ oder } c^2 = \frac{g}{2\pi} \lambda = \frac{g}{2\pi} cT, \quad c = \frac{gT}{2\pi}$$

(g Schwerebeschleunigung)

c nimmt also mit $\sqrt{\lambda}$ bzw. mit der Periodendauer T zu (= normale Dispersion). Eine Gruppe von Wellen oder ein Wellenfeld und dessen Wellenenergie pflanzen sich jedoch nicht mit der Geschwindigkeit c der Kämme, sondern mit $c/2$ fort. Hört die Windwirkung auf die (sich verlagernden) Wellen auf, so kommt es zu einem Sortierungsprozeß dadurch, daß die langen Wellenkomponenten dank ihrer relativ großen Gruppengeschwindigkeit $c_g = c/2$ (= Geschwindigkeit der Energie) vorneweg laufen, die kürzeren zurückbleiben. Es bildet sich "Dünung" mit langen, abgerundeten Kämmen und geringer werdender Steilheit δ (= Wellenhöhe H /Wellenlänge λ). Die Reibung bei der Orbitalbewegung der Wasserteilchen und der Reibungswiderstand der Luft tragen neben der seitlichen Ausbreitung der Dünung dazu bei, daß ihre Steilheit δ mit zunehmendem "Alter" der einzelnen Wellen geringer wird. Je stärker die Auflösung in "Partialwellen" fortschreitet, umso mehr nähern sich die Wellenprofile der Sinusform; und die Richtungen werden immer einheitlicher, so daß sich schließlich in Näherung eine "Wellblechform" ergibt.

Dünungswellen können über 10 m hoch sein; für ozeanische Dünung sind Perioden zwischen 11 und 17 s typisch, gelegentlich werden 30 s erreicht. Dünungen können große Strecken durchlaufen. F. E. SNODGRASS et al. (1966) untersuchten die Entwicklung der in der Nähe von Neuseeland in Stürmen entstandenen Dünung während ihrer Verlagerung über den gesamten Pazifik bis vor Alaska.

Dünung und die von ihr an den Küsten erzeugte hohe Brandung läßt sich aus dem Energiespektrum vorhersagen unter der Voraussetzung, daß sie unterwegs nicht durch den Einfluß starker Winde verändert (oder sogar vernichtet) wird. Umgekehrt gelingt es, aus der Periode und Laufrichtung der Dünung den Sturm zu lokalisieren, aus dem sie hervorgegangen ist.

Treffen Wellensysteme verschiedener Richtung zusammen, von denen zumindest eines immer Dünung sein muß, so entsteht die für die Schifffahrt gefährliche *Kreuzsee*, in der ein erheblicher Teil der Wellenenergie in Turbulenzenergie übergeht.

Flachwasserwellen und Brandung

Wird eine Wassersäule von einer Welle überlaufen, so vollführen die Wasserteilchen annähernd kreisförmige Bewegungen. Der Durchmesser dieser "Orbitalbahnen" nimmt mit zunehmendem Abstand von Wasseroberfläche nach einem exponentiellen Gesetz ab. In der Tiefe der halben Wellenlänge beträgt der Orbitalbahndurchmesser nur noch 4% desjenigen an der Oberfläche.

Sobald die Wassertiefe $h \leq 0,8 \lambda$, wird die Wellenbewegung wesentlich durch den Meeresboden gestört, ihre Phasengeschwindigkeit $c = \sqrt{gh}$ lediglich tiefenabhängig. Unter

den damit einsetzenden Flachwasserbedingungen werden die Wellen an der Meeresoberfläche kürzer und steiler; die Brecherhäufigkeit steigt. Nähert sich eine Gruppe von Wellen über flach ansteigendem Grund dem Strand, so stellen sich ihre Kämme wegen der geringeren Phasengeschwindigkeit bei flacherem Wasser allmählich nahezu parallel zu den Tiefenlinien (= Refraktion); der Abstand von Kamm zu Kamm wird kleiner, die einzelne Welle steilt sich auf, um schließlich – bevorzugt bei einem Verhältnis von Wellenhöhe zu Wassertiefe 3 : 4 – zu branden. Häufig geschieht dies durch Überkippen des aufgesteilteten Wellenkammes nach vorn. Es wurden solche stürzenden Brecher von mehr als 14 m Höhe beobachtet. Selbst aus langer flacher Dünung können sich sehr hohe Brandungsbrecher entwickeln. Ihre zerstörende Gewalt besteht auch im Aufwühlen der Schorre. Beispielsweise wurde in Wick (Schottland) im Jahre 1877 ein 2600 t schwerer, fest verankerter Wellenbrecher aus Steinen und Beton im Sturm als Ganzes von seinem Fundament weggetragen.

Besondere Beeinflussungen des Seegangs

Auch im offenen Meer, weit abseits der Küsten, laufen die Entwicklungsphasen (Kräuselwellen, Windsee, Dünung, Brandung) selten ungestört ab. Änderungen der Windrichtung und -stärke bewirken Übergangszustände; z.B. ist bei abnehmenden Wind häufig nicht mehr zwischen eigentlicher Windsee und Dünung zu unterscheiden. Dünung kann unter dem Einfluß von Winden, die sie auf ihrem Wege u.U. in sehr großer Entfernung von ihrem Entstehungsgebiet antrifft, verändert oder zerstört werden. Gegenläufige Strömungen können Windsee und Dünung stark aufsteilen. Bekannt ist die gefährliche Aufsteilung des Seeganges im Bereich des Agulhas-Stromes vor der Ostküste des südlichen Afrikas. – Öl, Plankton usw. verändern die physikalischen Bedingungen für die Entstehung von Kräuselwellen und vermindern die Brecherhäufigkeit. Besondere Dämpfungerscheinungen treten auch auf, wenn Oberflächenwellen auf Meereis treffen. – An steilen Hindernissen im Meer, z.B. an Küstenvorsprüngen oder an Wellenbrechern, kann es zu Diffraktion (Beugung) kommen, d.h. zu einer scharfen Drehung der Laufrichtung (vgl. Abb. 3.3). So können die Wellenzüge eine Insel umlaufen und auf der rückwärtigen Inselseite Kreuzseen bilden. Derartige Effekte muß eine "lokale" Seegangsvorhersage für enge Küstenbereiche mitberücksichtigen.

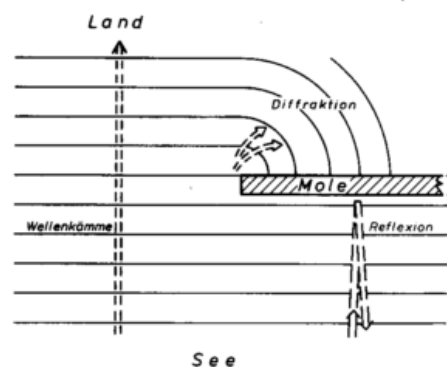


Abb. 3.3: Schematische Darstellung von Diffraktion und Reflexion an einem Wellenbrecher.

3.2 Energieübertragung und -ausbreitung in Oberflächenwellen

Effekte der Wechselwirkung Welle – Welle

Die klassische Theorie der Oberflächenwellen setzt bewußt relativ kleine Wellenhöhen H voraus, um die Beschleunigung in den Bewegungsgleichungen durch Vernachlässigung der advektiven Anteile $(\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v}$ (z.B. $u \partial u / \partial x, w \partial u / \partial z$) durchgreifend zu linearisieren und daher (mit der Kontinuitätsgleichung) zu einer linearen Wellengleichung zu gelangen.

Mit der linearen Approximation realer Wellen begibt man sich allerdings der Möglichkeit, die zusätzlichen Effekte erwähnter nichtlinearer Terme zu berücksichtigen, die sich (über tiefem Wasser) für den Energieübergang zwischen Wellen verschiedener Periode und Länge von wesentlicher physikalischer Bedeutung erwiesen, insbesondere bei der Entwicklung der Windsee (s. nachfolgende Beiträge!). Der durch Mitführung der advektiven Beschleunigungsterme bedingte nichtlineare Zusatz in der Wellengleichung gestattet zwar noch wellenähnliche Lösungen, jedoch mit kleinen räumlichen und zeitlichen Änderungen der Wellenhöhen H und Phasengeschwindigkeiten c .

Die Möglichkeiten der in der linearen Theorie ausgeschlossenen Wechselwirkung zwischen zwei Wellenzügen 1 und 2, die harmonisch und im Aufpunkt z.Zt. $t = 0$ in Phase sein mögen, lassen sich durch das Zusammensetzen ihrer Orbitalbahngeschwindigkeiten in x -Richtung gemäß $u = u_1 + u_2$ in der Beschleunigungskomponente $du/dt = \partial(u_1 + u_2)/\partial t + (u_1 + u_2) \partial(u_1 + u_2)/\partial x + w \partial(u_1 + u_2)/\partial z$ im Prinzip veranschaulichen: der zweite Term rechts liefert neben anderen Summanden z.B. $u_1 \partial u_2 / \partial x$, also mit unserer Voraussetzung (harmon. Wellen, Abb. 3.4 oben) eine Proportionalität zu

$$\begin{aligned} & \sin k_1(x - c_1 t) \cdot \cos k_2(x - c_2 t), \\ & \text{oder zu } \sin(k_1 x - \omega_1 t) \cdot \cos(k_2 x - \omega_2 t) = \\ & = \frac{1}{2} \sin[(k_1 - k_2)x - (\omega_1 - \omega_2)t] + \\ & + \frac{1}{2} \sin[(k_1 + k_2)x - (\omega_1 + \omega_2)t] \end{aligned}$$

Dabei sind die $k_i = 2\pi/\lambda_i$ die Wellenzahlen, $c_i = \lambda_i/T_i = \omega_i/k_i$ die Phasengeschwindigkeiten, λ_i die Wellenlängen, T_i die Perioden, $\omega_i = 2\pi/T_i = c_i k_i$ die Kreisfrequenzen unserer beiden Wellenzüge $i = 1, 2$.

Setzen wir nun noch $k_1 - k_2 = k_3 = 2\pi/\lambda_3, k_1 + k_2 = k_4 = 2\pi/\lambda_4, \omega_1 - \omega_2 = \omega_3 = 2\pi/T_3, \omega_1 + \omega_2 = \omega_4 = 2\pi/T_4$, wird $u_1 \partial u_2 / \partial x$ proportional zu $\sin(k_3 x - \omega_3 t) + \sin(k_4 x - \omega_4 t) = \sin k_3(x - c_3 t) + \sin k_4(x - c_4 t)$, mit $c_3 = \frac{\omega_3}{k_3} = \frac{\lambda_3}{T_3}, c_4 = \frac{\omega_4}{k_4} = \frac{\lambda_4}{T_4}$ als den neuen Phasengeschwindigkeiten, Wellenlängen und Perioden. Das sind aber zwei neue Wellen 3 und 4, wogegen $\partial(u_1 + u_2)/\partial t$ den alten Wellen 1 und 2 mit $c_1 = \lambda_1/T_1, c_2 = \lambda_2/T_2$ proportional bleibt.

Laufen nun im Wasser außer unseren Wellen 1 und 2 noch 3 und 4 mit den abweichenden Perioden T_3 und T_4 und

Wellenlängen λ_3 und λ_4 , besteht die Möglichkeit, deren Energie aufgrund der von 1 und 2 ausgehenden Beschleunigung in dem Maße zu erhöhen, in dem z.B. $u_1 \partial u_2 / \partial x$ mit $\partial u_3 / \partial t$ bzw. $\partial u_4 / \partial t$ übereinstimmt; ggf. kann ein resonanzähnlicher Effekt eintreten wie bei einem im Rhythmus seiner Eigenfrequenz angestoßenen linearen Oszillator. Diese nichtlineare Wechselwirkung zwischen vier, meist mehreren Wellen führt im Anfachungsgebiet, dessen Wellenvielfalt wir aus vielen harmonischen Partialwellen zusammensetzen, letztlich zur Amplifizierung der langperiodischen, ohne erkennbar die Gesamtenergie aller Teilwellen zu ändern (s. Beitrag 3.3). – Die moderne Wellentheorie übernimmt die nichtlinearen Effekte in der dynamischen (Bernoullischen) Beziehung für die Wasseroberfläche (als Näherung entwickelt nach der Oberflächenneigung bis zu Termen dritter Ordnung). In ihr erzeugen drei Wellen mit $k_1, k_2, k_3, \omega_1, \omega_2, \omega_3$ Fluktuationen mit den Wellenzahlen $k_1 \pm k_2 \pm k_3$. Eine dynamisch interessante Möglichkeit für einen Resonanzeffekt ist dann (neben anderen) z.B. $k_1 + k_2 - k_3 = k_4; \omega_1 + \omega_2 - \omega_3 = \omega_4$.

In Übereinstimmung mit den Beobachtungen steht, daß die nichtlineare Wechselwirkung zwischen den Partialwellen (mit längenabhängigen Phasengeschwindigkeiten c) zu einer ständigen Umgestaltung der Oberflächenform des Wassers führt; die Partialwellen zeigen eine "schwache" Abhängigkeit voneinander. Die zugehörige "Theorie der schwachen Wechselwirkung" entwickelten – fast gleichzeitig – K. HASSELMANN und O. M. PHILIPPS.

Während eine Akkumulation der Wellenenergie im Rahmen der Wechselwirkung bei den längeren Wellen stattfindet, erfolgt ihre Zerstreuung vorwiegend über die kurzen Wellen, die – auch bei Amplifizierung – infolge Turbulenz insbesondere beim Überbrechen nach Überschreitung der Höchststeilheit $\delta_{\text{Max}} = 1/8$ rasch abgebaut werden. – Zur größeren "Lebensdauer" der *langen* Wellen trägt die Tatsache bei, daß sie eine umso geringere Dämpfung durch Reibung erfahren, je länger sie sind, was z.B. die Dünnung zeigt. Ihre Dämpfung über tiefem Wasser ist etwa proportional λ^{-2} .

Die Wellenenergie über "tiefem Wasser"

Die Wellenenergie besteht

- aus der (verfügbaren) potentiellen Energie infolge der Auslenkung $\zeta(x, y, t)$ der Wasseroberfläche aus der Ruhelage $\zeta = 0$, sie ist proportional $g\rho\zeta^2$ (ρ Dichte des Wassers),
- aus der kinetischen Energie, welche die Wasserteilchen infolge ihres Umlaufs auf ihren (nicht völlig geschlossenen) Orbitalbahnen (einmal während einer Periode T) besitzen. Im Falle harmonischer Wellen (Abb. 3.4, oben) hat sie pro Flächeneinheit – unabhängig von der Phase – den Wert $\frac{1}{4} g\rho (H/2)^2$, wie in Abbildung 3.4, unten, dargestellt.

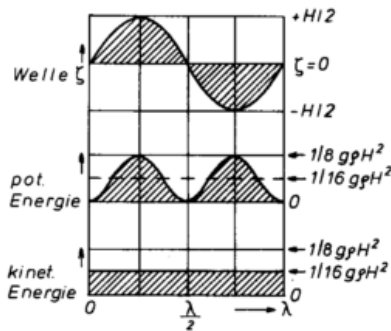


Abb. 3.4: Energieanteile in einer harmonischen Oberflächenwelle, oben (s. Text). Mitte: potentielle, unten: kinetische Energie längs einer Wellenlänge λ .

In harmonischen Wellen (Abb. 3.4, oben $\zeta(x, t_0) = \frac{H}{2} \sin k(x - ct_0)$, $t_0 = 0, T, 2T, \dots$) ist die verfügbare (in kinetische Energie umsetzbare) potentielle Energie im Mittel einer Wellenlänge ebenso groß wie die kinetische, aber sie variiert mit $\zeta^2(x, t_0)$ zwischen 0 bei $x = 0, x = \lambda/2$ ($\zeta = 0$) und $0,5 g \rho (H/2)^2$ bei $x = \lambda/4, 3\lambda/4$ ($\zeta = H/2, -H/2$), wie in Abb. 3.4 in der Mitte dargestellt.

Die Wellenenergie schreitet nicht wie die Oberflächenform mit der Wellengeschwindigkeit c fort, sondern mit der Geschwindigkeit einer Wellengruppe, eines in Fortpflanzungsrichtung begrenzten Wellenfeldes, bestehend aus Wellen einer vorherrschenden Länge, wie es aus einem Anfachungsgebiet als Dünung heraustritt. Das ist — auch nach der Beobachtung — in etwa damit erklärbar, daß das vor der ersten Welle des Feldes zunächst als ruhend anzunehmende Wasser in Bewegung versetzt werden muß. Um die notwendige potentielle und kinetische Energie für eine halbe Wellenlänge bereitzustellen, nämlich $1/16 g \rho H^2$, stirbt an der Vorderseite unseres Wellenfeldes im Verlauf der Periode T , in welcher der Kamm um λ vorankäme, um eine halbe Wellenlänge ab. Eine neue Anfachung durch Wind und eine Wechselspielwirkung mit Wellen anderer Abmessung ausgeschlossen, dazu Energiedissipation durch Turbulenzreibung ignoriert, bleibt aber die Gesamtenergie des Wellenfeldes erhalten und zwar dadurch, daß — ebenfalls im Verlauf einer Periode — an der hinteren Begrenzung des Wellenfeldes die potentielle und kinetische Energie für eine halbe Wellenlänge abgezogen wird. Auch am hinteren Ende des Wellenfeldes stirbt dadurch im Verlauf von T eine halbe Wellenlänge ab. Die Grenzen des Wellenfeldes wandern demnach wie seine Energie nur mit der halben Phasengeschwindigkeit c (der Wellenkämme und -täler) des Feldes. Die sog. Gruppengeschwindigkeit $c_g = c/2$ ist daher maßgeblich für eine optimale Anfachung eines vorhandenen Seegangs. Stimmen mit seiner Laufrichtung die Richtung des anfachenden Windes und mit seiner Gruppengeschwindigkeit die Verlagerungsgeschwindigkeit des Windfeldes weitgehend überein, kann pro Zeiteinheit besonders viel Energie aus diesem Windfeld von dem mit diesem Windfeld wandernden Wellenfeld aufgenommen werden, dadurch seine Wellenenergie in gleicher Zeit stärker anwachsen als bei anderen Windfeldverlagerungen (s.a. WALDEN 1956, 1970).

Wie aus unseren obigen Energieangaben entnehmbar, ist die Wellenenergie, kinetische wie potentielle, im Mittel

über λ dem Quadrat der Wellenhöhe H proportional. Hohe Wellen haben somit eine größere Energie als niedrige gleicher Länge und Periode, können aber mit langen und kurzen Perioden T bzw. kleinen und großen Frequenzen $f = 1/T$ auftreten. Es ist daher naheliegend, die Wellenenergie über einer Flächeneinheit des Ozeans pro Perioden- bzw. Frequenzintervall, z.B. 1 Hz, des Wellenspektrums (= Energiedichte) darzustellen, wie es in Abb. 3.5 (ähnlich in Abb. 3.3) geschieht. Die Maxima in Abbildung 3.5 liefern jeweils diejenige Frequenz f_m , bei der die Wellenhöhen am größten sind. Da im wesentlichen $c = \frac{g}{2\pi} T = g/2\pi f$ und $c^2 = g\lambda/2\pi$, also $\lambda = g/2\pi f^2$, sind mit dieser Frequenz f_m sogleich Geschwindigkeit c_m und Länge λ_m der Wellen bekannt, zu denen sie gehört. f_m, c_m und λ_m behalten in Dünung über tiefem Wasser ihren ursprünglichen Wert weitgehend wegen der praktisch fehlenden Wellen-Wellen-Wechselwirkung; sie ändern sich aber in der Windsee mit dem Fetch und der Windwirkdauer infolge der eingangs erörterten Wechselwirkungseffekte, wie z.B. die JONSWAP-Beobachtungen (s. Beitrag 3.3) bestätigen haben.

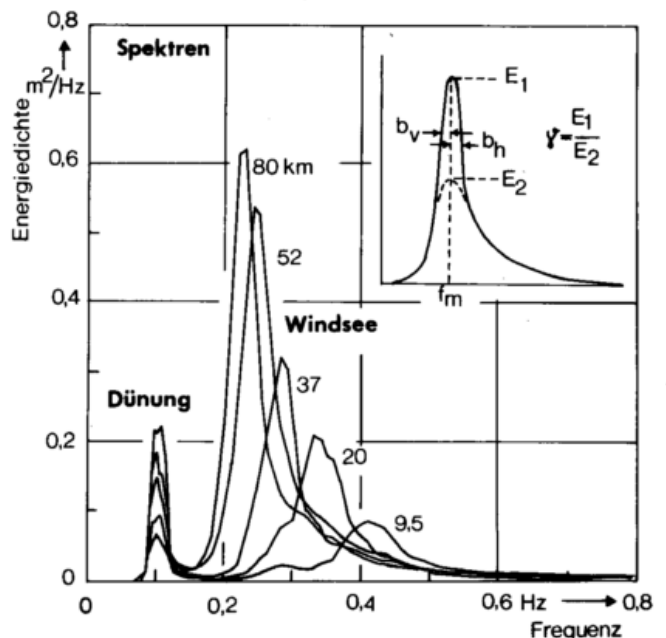


Abb. 3.5: An verschiedenen Meßstationen westlich von Sylt gemessene Seegangsspektren; Windsee bei ablandigem Wind. Die Windsee-Energie liegt zwischen $f = 0,2$ und etwa $0,45$ Hz (Perioden T zwischen etwa $2,2$ und 5 s). Die Dünung besaß eine Periode $T = 10$ s oder $\frac{1}{T} = f = 0,1$ Hz; ihre Energie wird durch abnehmende Wassertiefe gedämpft.

3.3 Die JONSWAP-Experimente vor Sylt

Das JONSWAP-Konzept

Durch Seegang und Brandung erlitten Landungstruppen im 2. Weltkrieg an den Küsten pazifischer Inseln schwere Verluste. Seitdem wurde – zunächst in den USA, dann auch in Japan und Europa – die Erforschung des Seegangs vorangetrieben. Dabei wurden in den ersten zwanzig Jahren die wichtigsten Fortschritte durch theoretische Untersuchungen und durch die Auswertung der Protokolle langjähriger Beobachtungen von Ozean-Wetterschiffen und von Feuerschiffen erzielt. Exakte Messungen des Seegangs gelangen nur vereinzelt. Erst im Jahre 1968 wurde das erste große Feldexperiment zur systematischen Messung des Seegangs gestartet und in den Jahren 1969, 1973, 1975 und 1977 fortgesetzt. Zu diesem Unternehmen JONSWAP (Joint North Sea Wave Project) kamen fast alle auf dem Gebiet des Seegangs arbeitenden Wissenschaftlergruppen aus Europa, Kanada und den USA zusammen, um im Seegebiet westlich der nordfriesischen Insel Sylt die Physik des Seegangs zu untersuchen. Die Abbildung 3.6 vermittelt einen Eindruck vom Einsatz und von der Verteilung von Meßstationen, Schiffen und Flugzeugen während der mehrwöchigen Meßkampagne im Herbst 1975. Die Experimente zielten darauf ab, zu erfahren, wie der Seegang seine Energie aus dem Wind gewinnt, wie sich diese Energie auf die Komponenten des komplexen Seegangs verteilt und wie sie von den Wellen forttransportiert und an andere Bewegungsvorgänge im Meer – Strömungen, Turbulenz – abgegeben wird. Dieser Energiehaushalt von unter dem Ein-

fluß des Windes wachsenden Wellen wurde unter idealen Bedingungen bei ablandigen Ostwinden studiert, da bei solchen Windlagen die Strecke, die die Wellen unter dem Wind zurücklegen, leeseitig durch die Küste begrenzt und daher genau bekannt ist. Ein zweites Ziel der Untersuchungen war, zu klären, wie aus westlichen Richtungen auf die Küste zulaufende Dünungen ihre Energie verlieren, wenn sie in flacheres Wasser kommen.

Auf die verschiedenen Verfahren, mit denen man den Seegang messen kann, soll hier nicht eingegangen werden. Es sei lediglich gesagt, daß während der JONSWAP-Experimente fast alle zur Zeit möglichen Methoden, mit denen die Bewegung der Meeresoberfläche erfaßt werden kann, eingesetzt wurden: Messung der Beschleunigung durch Bojen, des Wasserstandes mit Widerstandsdrähten und Laserstrahlen, des Druckes am Meeresboden und der von der bewegten Wasseroberfläche zurückgestreuten Radarimpulse. Neben dem Seegang wurden selbstverständlich auch die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung sowie die kurzzeitigen Schwankungen der Windgeschwindigkeit und des Luftdrucks an verschiedenen Punkten des Meßgebiets erfaßt. Aus der Messung der Bewegung der Meeresoberfläche läßt sich errechnen, wieviel Energie im Seegang steckt und wie sich diese Energie auf die verschiedenen Wellenkomponenten des Seegangs verteilt. Diese Wellenkomponenten haben Schwingungsdauern im Bereich zwischen einer und zwanzig Sekunden und Wellenlängen zwischen einem und sechshundert Metern. Von den kurzen Rippelwellen, die nur einen ganz geringen Anteil der Energie des Seegangs enthalten, soll hier abgesehen werden.

Es konnte nachgewiesen werden, daß das Wechselspiel der Seegangskomponenten untereinander dafür sorgt, daß die Form des Spektrums während des Anwachsens der Wellen immer die gleiche bleibt. Die Druckschwankungen in der Luft leisten an der Meeresoberfläche Arbeit und "pumpen" so Energie in den Seegang. Dieser Energiefluß in den Seegang ist zunächst proportional zum Seegangsspektrum, d.h. eine bestimmte Wellenkomponente wächst um so stärker, je höher sie schon ist – eine Folge der raschen Zunahme des Windes mit der Höhe in der Prandtl-Schicht. Wenn das Spektrum des Seegangs, wie die Messungen zeigen, trotzdem nicht im Maximum stetig wächst, sondern das stärkste Wachstum immer bei den längsten Wellenkomponenten des Spektrums beobachtet wird, so liegt das daran, daß die im Hauptteil des Spektrums aufgenommene Energie durch die Seegangskomponenten selbst umverteilt und dabei auf die langen Wellen übertragen wird. Dieser Energieaustausch läßt sich exakt, wenn auch sehr kompliziert und nur mit Hilfe elektronischer Großrechner berechnen. Diese theoretischen Rechnungen verifizieren und erklären somit das in Abbildung 3.5 gezeigte Bild des Wachstums des Seegangs.

Ebenfalls in Abbildung 3.5 ist zu sehen, wie eine in flacheres Wasser einlaufende Dünung durch die Einwirkung des Meeresbodens gedämpft wird. Die Bewegung einer Wasserwelle greift fühlbar bis in eine Wassertiefe, die der halben

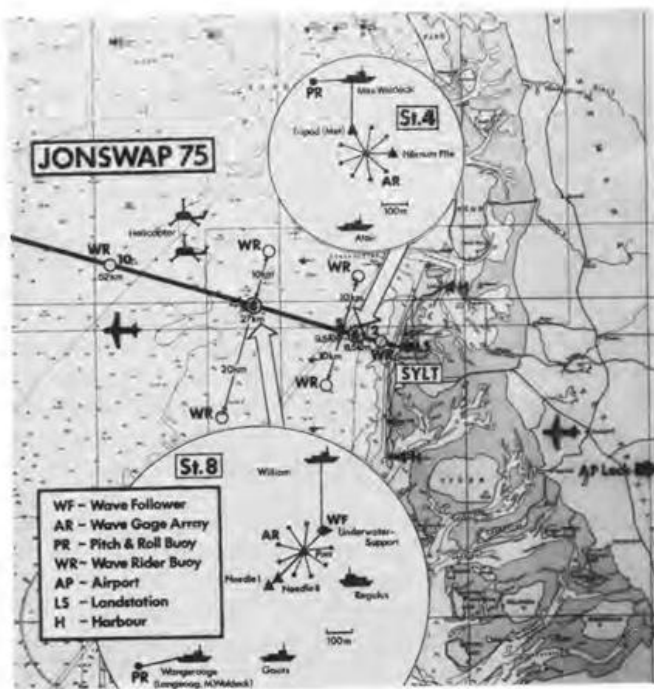


Abb. 3.6: Aufbau des Meßgebietes während des JONSWAP-Experiments im Herbst 1975.

Wellenlänge gleicht, durch; dann beginnt diese Dünung den Meeresboden zu fühlen und verliert in Wechselwirkung mit ihm Energie.

Vor den JONSWAP-Experimenten war man überwiegend der Meinung, daß sich die Dämpfung der Dünung durch Reibungsverluste der Wellenbewegung am Meeresboden erklären läßt. Die Auswertung der Messungen vor Sylt zeigte überraschend, daß bei den dort vorliegenden Wassertiefen und Bodenverhältnissen Reibung nicht der vorherrschende Dämpfungsmechanismus sein kann. Das Problem bleibt vorläufig ungelöst. Es scheint, als ob je nach den Bodenverhältnissen verschiedene Mechanismen bei der Dämpfung der Dünung konkurrieren. Neben der Reibung kann die Rückstreuung der einlaufenden Dünung an den Unregelmäßigkeiten des Meeresbodens möglich sein, oder die Dünung kann Wasserbewegungen in den Poren des Sediments verursachen und dadurch Energie verlieren. Sie kann auch im Meeresuntergrund seismische Wellen erzeugen und so gedämpft werden. Zur Zeit werden diese Fragen weiter wissenschaftlich untersucht.

Die wesentlichen Meßergebnisse

Abbildung 3.5 zeigt Seegangsspektren, die in Entfernungen zwischen 9,5 und 80 km vor der Küste gemessen wurden. Die Kurven zeigen, daß sich die Energie der Windsee in diesem Fall über einen Frequenzbereich zwischen 0,2 und 0,5 Hz verteilt; gleichzeitig ist eine anlaufende Dünung mit

einer Schwingungsperiode von 10 Sekunden vorhanden. Die Abbildung zeigt exemplarisch die wesentlichen Eigenschaften der Entwicklung der Windsee:

Man sieht, wie bei konstantem ablandigem Wind die Gesamtenergie des Seegangs (sie ist proportional der Fläche unter der Spektrumskurve) mit wachsender Entfernung von der Küste zunimmt, während die Frequenz des Maximums des Spektrums abnimmt. Der wachsende Seegang wird immer langweiliger und höher. Weiterhin sieht man in Abbildung 3.5, daß Wellen der Frequenz 0,4 Hz in 9,5 km Abstand von der Küste energiereicher, d.h. höher, sind als weiter draußen; desgleichen sind Wellen von 0,35 Hz bei 20 km Entfernung höher als bei größeren Abständen. Es zeigt sich also, daß die Wellen einer bestimmten Wellenlänge bei konstantem Wind während ihres Wachstums nicht gleichmäßig (monoton) zu einer ausgereiften Gleichgewichtshöhe heranwachsen, sondern daß sie diese Höhe zunächst überschreiten und sich erst später auf ihre Endhöhe einpegeln. Das aber heißt, daß die Wellen während ihrer Entwicklung nicht nur Energie aufnehmen, sondern auch abgeben. Es läßt sich erschließen, daß diese Energie zum größten Teil weder an den Wind zurückgegeben noch an ozeanische Strömungen oder Turbulenz abgegeben wird, sondern im Seegang verbleibt, indem sie auf Wellen anderer Wellenlängen übertragen wird. *Der Energieaustausch innerhalb des Seegangs spielt bei der Entwicklung der Wellen eine entscheidende Rolle.* Diesen Mechanismus aufgeklärt zu haben, war ein bahnbrechendes Ergebnis der JONSWAP-Untersuchungen in der Erforschung des Seegangs.

K. RICHTER, Hamburg

3.4 Seegangsvorhersageverfahren

Nutzen einer Seegangsvorhersage

Zweifellos stören die winderzeugten Oberflächenwellen der Meere die meisten Tätigkeiten des Menschen in See, im Küstenvorfeld und an den Küsten. Nur zu häufig führen extreme Sturmwellen auch heute noch zu Katastrophen mit hohen Verlusten an Menschen und Sachwerten.

Ein zuverlässiges Seegangsvorhersageverfahren läßt daher einen hohen ökonomischen Nutzen erwarten: Durch frühzeitige Warnungen können Gefahren abgewendet und durch Beratung die Effizienz aller Operationen in See erhöht werden.

Eine besondere Bedeutung gewinnt beim Seegang neben der Vorhersage das "Hindcasting", d.h. die Berechnung von zurückliegenden Seegangszuständen aus historischen Winddaten. Auf diese Weise können langfristige Vorhersagen des Seeganges gewonnen werden. Für die meisten Seegebiete gibt es nämlich keine Seegangsmessungen, die statistisch gesicherte Aussagen über das "Wellenklima" oder Angaben über Extremwerte, z.B. die Höhe und Periode der "Jahrhundertwelle", gestatten. Bei den nationalen Wetterdiensten gibt es aber über Jahrzehnte gesammelte Windstatistiken, die mit einem numerischen Seegangs-"Vorhersage"-

Modell in Wellenstatistiken umgerechnet werden können. Mit der zunehmenden Nutzung der Meere werden Extremwertstatistiken, d.h. genaue Angaben über die Häufigkeit und Art von extremen Wellenbelastungen, die ein Schiff oder ein Bauwerk in See während seiner Lebenszeit von ca. 20 Jahren zu erwarten hat, als Berechnungsgrundlage für die Konstruktion dringend benötigt.

Außer für Schiffbau, Off-Shore-Industrie, Öl- und Naturgasproduktion in See, Schifffahrt, Fischerei, Küstenschutz und militärische Anwendungen ist die Seegangsvorhersage für viele weitere Anwendungsmöglichkeiten von Bedeutung.

Bisherige Seegangsvorhersageverfahren

Die ersten Seegangsvorhersageverfahren wurden gegen Ende des zweiten Weltkrieges von SVERDRUP und MUNK (1947) in den USA entwickelt. Sie beruhten auf Erfahrungs- und Beobachtungswerten und gestatteten bestimmte charakteristische Seegangparameter wie mittlere Wellenhöhe und mittlere Periode aus Windgeschwindigkeit, Windstreichlänge über dem Meer (Fetch) unter Berücksichtigung der Windwirkdauer zu berechnen oder aus Tabellen zu entnehmen.

Die spektrale Natur des Seegangs, d.h. die Tatsache, daß der komplexe Seegang nicht aus einer Sinuswelle einheitlicher Wellenlänge bzw. Periode besteht, sondern durch Überlagerung vieler Wellen verschiedener Amplitude A und Periode T (bzw. Frequenz $f = 1/T$) darstellbar ist, wurde 1955 von PIERSON, NEUMANN und JAMES zum ersten Mal in die Seegangsvorhersage eingeführt. Heute gibt es sowohl spektrale Modelle als auch Modelle, die einzelne Seegangparameter vorhersagen. Allen Modellen ist gemeinsam, daß sie auf Computern gerechnet werden müssen und auf der Integration der sog. Energiebilanz-Gleichung für Seegang beruhen:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \vec{c}_g \cdot \nabla_h E = S = S_{in} + S_{diss} + S_{nl}$$

E ist die Energie der Wellenkomponente mit der Frequenz f und der Laufrichtung θ am Ort x_i zur Zeit t ; und $|\vec{c}_g| = g/4\pi f$ ist die Gruppengeschwindigkeit dieser Komponente. S ist die Summe der von außen auf das System einwirkenden Kräfte, die sowohl die Wellen anfachen (S_{in}) als auch dämpfen (S_{diss}) oder aber auch für die Umverteilung der Energie innerhalb des Seegangsspektrums – wie im Beitrag 3.3 von CARLSON beschrieben – sorgen. Dieser Umverteilungsprozeß wird meist durch S_{nl} (nichtlineare Wechselwirkung) charakterisiert. Die Gleichung beschreibt exakt die zeitliche Entwicklung des Seegangsspektrums an jedem Ort des Vorhersagegebietes.

Das Problem der Seegangsvorhersage liegt nun darin, die richtige Quellfunktion S zu finden. In den meisten Vorhersagemodellen wird mit einigen auf verschiedenen Theorien beruhenden Ansätzen für S_{in} und zusätzlichen Termen die Quellfunktion S so angepaßt, daß bei Vergleich mit Naturbeobachtungen die geringsten Differenzen auftreten. Die JONSWAP-Messungen zeigten, daß S_{nl} der beherrschende Term in der Energiebilanz ist, und die anderen gegenüber dieser nichtlinearen Wechselwirkung zu vernachlässigen sind. Überdies ist S_{nl} auf einer zwar komplizierten, aber klaren physikalischen Grundlage berechenbar.

Ist man sich über die Quellfunktion S im klaren, übernimmt der Computer den Rest der Arbeit. Leider ist die Leistungsfähigkeit auch der größten Computer beschränkt. Umfangreiche Rechnungen kosten Zeit und Geld. Spektrale Seegangmodelle verbrauchen viel Computerzeit. So benutzt ein typisches spektrales Modell ca. 1500 Gitterpunkte. Das Spektrum wird in 14 Frequenz- und 24 Richtungsbänder aufgeteilt. Bei jedem Zeitschritt muß die Energiebilanz-Gleichung für jedes der $14 \cdot 24 = 336$ Spektralelemente gelöst werden. Wir denken dabei an das Vorgehen von V. J. CARDONNE, W. J. PIERSON und E. G. WARD (1976). Ein Ableger dieses Modells wird routinemäßig als "Spectral Ocean Wave Model" (SOWM), bei der Environmental Prediction Research Facility, Monterey, Calif. gerechnet, übrigens auch im Hindcasting-Verfahren, um "a Northern Hemisphere twenty year (1956–1975) deep water wave spectral climatology" zu erstellen. Eine gigantische Anstrengung der angewandten maritimen Meteorologie.

Neuere Seegangsvorhersagemethoden

Die Ergebnisse der JONSWAP-Untersuchungen führten zu einer radikalen Vereinfachung: Es zeigte sich, daß Seegangsspektren – wie von CARLSON beschrieben – alle

eine ähnliche Form haben, ferner die Richtungsverteilung in einer bestimmten Form um die Windrichtung konzentriert ist. Es gelang, das Spektrum mit nur 5 Parametern zu beschreiben. Die wichtigsten sind die Peakfrequenz f_m sowie ein Parameter, der die Energie im hochfrequenten Teil des Spektrums beschreibt. Hinzu kommen 3 Formparameter b_v, b_h und γ (s. Abb. 3.5 im Beitrag 3.2 rechts oben). Es ist nun möglich, die Energiebilanz-Gleichung auf einen Satz von 5 Gleichungen für diese 5 Parameter zu transformieren. Damit hat man die Berechnung der oben genannten 336 Frequenzelemente auf 5 reduziert (s. H. GÜNTHER et al. 1977).

Für "einfache" Windfelder, d.h. sich nur langsam ändernde und nahezu homogene Windfelder, sind die Formparameter konstant und das Vorhersageproblem beschränkt sich auf die Berechnung nur eines einzigen Parameters, z.B. der Peakfrequenz (s. K. HASSELMANN et al. 1976). Seltsamerweise funktioniert dieses Verfahren auch bei kreisförmigen, sich langsam verlagernden Hurricans, wenn man statt des sonst geradlinigen Fetches den Radius des Hurrican-Windfeldes zur Berechnung ansetzt (s. V. J. CARDONNE et al. 1977). In der Nordsee sind die Verhältnisse leider häufig komplizierter. Beim Durchgang von Fronten treten plötzlich Sprünge in Windstärke und Richtung auf, denen das Seegangsfeld nur mit einer gewissen Verzögerung folgen kann. Diese Änderungen kann man nur unter Zuhilfenahme aller 5 Parameter erfassen.

Deshalb ist der Kern des von der NORSWAM (North Sea Wave Model)-Gruppe, einem losen Zusammenschluß von Seegangsexperten der Nordseeanliegerstaaten, entwickelte Seegangsvorhersageverfahren ein 5-Parameter-Windsee-Modell. Neben der Windsee, d.h. den unmittelbar unter dem Einfluß des Windes stehenden Wellen, muß man selbstverständlich Dünungen berücksichtigen, die sich – unabhängig vom Wind – über große Entfernungen ausbreiten können.

Vorhersage der Dünung

Sind die Dünungen (wie in Abb. 3.6, bei CARLSON, links) von der Windsee im Spektrum klar getrennt, kann man ihre Entwicklung ohne Zuhilfenahme der Energiebilanz-Gleichung nach den klassischen Gesetzen der Wellenausbreitung vorhersagen. Es bietet Vorteile, die Dünungen nicht wie die Windsee mit einem numerischen Differenzenverfahren zu berechnen, sondern ihre Energie längs vorgegebener Charakteristiken mit der Gruppengeschwindigkeit zu verlagern. Die Kombination von Differenzen- und Charakteristiken-Verfahren führte zu dem neuen Namen "Hybridmodell".

Leider wird das Bild komplizierter, wenn sich Dünungs- und Windseebereich im Spektrum überlappen. Bei Windstärkesprüngen springt ebenfalls die Grenze zwischen Windsee und Dünung zu anderen Frequenzen. Als Grenzfrequenz $f_{gr} = 0,13 g/|v_o|$ ergibt sich nahezu die, bei der (in 10 m Höhe) die Windgeschwindigkeit v_o gleich der Laufgeschwindigkeit \vec{c} der Wellen ist (*). Nimmt der Wind z.B. ab, rückt diese Grenze im Spektrum zu größeren Frequenzen f und Teile der bisherigen Windsee links von der neuen Grenze werden wegen der fehlenden Anregung durch den

*) Im Falle v_o/\vec{c} folgt mit $\frac{1}{f_{gr}} = T_{gr} = \frac{2\pi}{g} c_{gr}$ und $2\pi = \frac{0,82}{0,13}$ für $v_o = 0,82 \vec{c}_{gr}$.

Wind zur Dünung und müssen nach dem Charakteristikenverfahren weitergerechnet werden. Im umgekehrten Fall kann eine alte Dünung neu angeregt werden.

In diesen Fällen wird die Energie zwischen Windsee und Dünung umverteilt unter Wahrung der Gesamtenergie und der JONSWAP-Form für die Windsee. Vergleiche mit Messungen zeigen, daß die Natur für diese Umverteilung 1–3 Stunden benötigt, während das Modell den Vorgang sofort vollzieht. Es müssen also noch Relaxationszeiten eingebaut werden. Abbildung 3.7 zeigt einen Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Wellenparametern und Spektren für den Durchgang von zwei Fronten im Meßfeld Sylt.

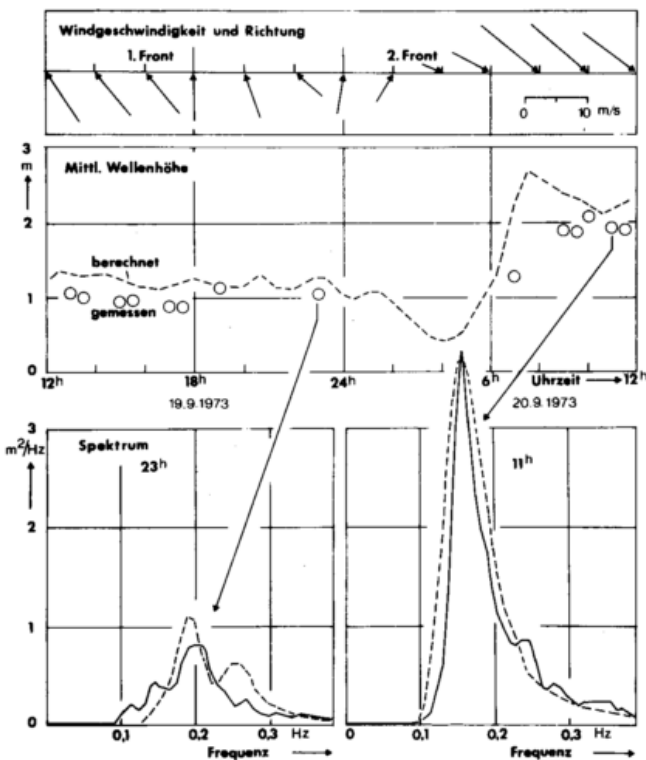


Abb. 3.7: Vergleich zwischen beobachtetem und berechnetem Seegang auf Station 9 im Meßfeld vor Sylt vor und nach dem Durchgang zweier Fronten. Oben: lokale Änderung des Windvektors (Abflauen, Drehung um 180°). Mitte: zeitl. Änderung der Wellenhöhe. Unten: lineares Seegangsspektrum nach dem Durchzug der 1. und 2. Front.

Der gegenwärtige Stand der Entwicklung und Verwendung numerischer Seegangsvorhersagen

Bisher ist das NORSWAM-Modell noch nicht für Flachwasser geeignet. Dazu müssen die Refraktion und die Dämpfung der Wellen durch den Bodeneinfluß berücksichtigt werden. Obgleich der Mechanismus der Dämpfung –

wie bereits im vorangehenden Beitrag 3.3 erwähnt – noch nicht restlos aufgeklärt ist, kennt man doch die Dämpfungsraten, die man anzusetzen hat.

Selbstverständlich ist eine genaue Kenntnis des Windfeldes von entscheidender Bedeutung für die Genauigkeit der Seegangsvorhersage. Der Seegang reagiert sehr nuanciert auf Änderungen des Windes. Man darf allerdings nicht argumentieren, daß es keinen Sinn habe, die mit einem Seegangsvorhersageverfahren mögliche Genauigkeit zur Berechnung etwa der Wellenhöhen weiter zu treiben, als es dem gegenwärtig bekannten mittleren Fehler der Windgeschwindigkeit in Windangaben entspricht. Im Fall des "Hindcasting" von Extremwertstatistiken können einseitig Abweichungen von den richtigen Werten entstehen, wenn das Berechnungsverfahren falsch ist, und zwar unabhängig vom mittleren statistischen Fehler der Windgeschwindigkeit. Es scheint allerdings, daß die Genauigkeit der Seegangsvorhersage schon jetzt durch die Genauigkeit der Windvorhersage begrenzt wird, zweifellos ein Anlaß für die Meteorologen, sich der numerischen Seegangsvorhersage anzunehmen.

In der Bundesrepublik Deutschland wird gegenwärtig versucht, eine operationelle Seegangsvorhersage, also eine routinemäßige Vorhersage in Form eines Dienstes auf der Basis des NORSWAM-Modells zu installieren. In Frankreich läuft seit 7 Jahren beim französischen Wetterdienst routinemäßig ein spektrales numerisches Verfahren für den Nord-Atlantik (R. GELCI et al. 1970). In den USA wurde ein umfangreiches Modell für den Golf von Mexico entwickelt (V. J. CARDONNE et al. 1976). Es wird für "Hindcasting"-Studien von Hurrikans und seit 1976 experimentell auch für Hurrikan-Seegangsvorhersagen verwendet. Es gibt eine Version für den Nord-Atlantik und eine für den Nord-Pazifik. Eine reduzierte Version wird von der Environmental Prediction Research Facility in Monterey, Calif. routinemäßig für die Beratung der Marine betrieben.

Es gibt bereits seit 1976 Seegangsvorhersagedienste auf kommerzieller Basis, die z.T. speziell zur Unterstützung der Operationen der Off-Shore Öl- und Gasindustrie entwickelt wurden. Gegenwärtig werden außer Nord-Atlantik und Nord-Pazifik die Gebiete Golf von Alaska und die Nordsee beraten. Die Beratung erstreckt sich auch auf die Vorhersage der Bewegungen von Spezialfahrzeugen im Seegang, wie von Halbtauchern, Bohrschiffen, Pontons usw. *).

Alle hier genannten operationellen Seegangsvorhersageverfahren verwenden mehr oder weniger empirische Ansätze für die Quellfunktion. Die neue Generation der parametrischen Verfahren verspricht Einsparungen an Rechenzeit und wegen der besseren Beschreibung der physikalischen Zusammenhänge bei der Entwicklung des Seegangsspektrums eine genauere Vorhersage des zu erwartenden Seegangs.

*) Nach dem Gesetz über den Deutschen Wetterdienst § 3, Abs. 1 b vom 11. 11. 52 in der Bundesrepublik eine Aufgabe des DWD (Seewetteramt).

3.5 Seegangskarten

Für manche Anwendungen erweist sich eine synoptische Darstellung des Seegangs in sog. Seegangskarten als vorteilhaft (s. Beitrag 4.2 zur Schiffsroutenberatung). Die Analyse der Karten stößt aber wegen der geringen Anzahl der Messungen und der erheblichen Ungenauigkeit der Seegangsbeobachtungen auf Schwierigkeiten. Darum werden Nachberechnungen zur Verifizierung und zur Datenergänzung in meldungsarmen Räumen vorgenommen. Als Ausgangsmaterial dienen in der Regel neben den aktuellen Wetterkarten noch diejenigen bis etwa 12 Stunden vor dem Analysetermin (VERPLOEGH 1976). Man entnimmt aus den Unterlagen die Größen, die den Seegang bestimmen, vor allem den Windweg, die Windwirkdauer, die Windgeschwindigkeit. Ähnlich wird bei der Erstellung von Seegangsvorhersagekarten verfahren, jedoch legt man anstelle von aktuellen Wetterkarten die Vorhersagekarten (im Meeresniveau) zugrunde. Die zusätzlichen Seegangswerte, die man – wie erwähnt – zur Analyse einer Seegangskarte benötigt, werden manuell oder mit Hilfe einer EDV-

Anlage ermittelt. Die Seegangsvorhersagekarten werden meistens unter Verwendung des vorhergesagten Luftdruckfeldes (im Meeresniveau) im Programm für die Seegangsberechnung konstruiert.

Die meisten Länder mit maritim-meteorologischen Diensten erstellen routinemäßig Seegangskarten und verbreiten sie als Faksimile an die Schifffahrt. Die Darstellung des Karteninhalts ist zwar nicht ganz einheitlich, aber doch recht ähnlich (Abb. 3.8). Fast alle Karten zeigen Linien gleicher – kennzeichnender – Wellenhöhe in Höhenintervallen von 1 oder 2 m. Ferner sind häufig Pfeile eingetragen, die die Laufrichtung der Wellen angeben; in einigen Karten wird durch Ziffern an den Pfeilen die Wellenperiode mitgeteilt. Einige Analysen unterscheiden sogar zwischen Windsee- und Dünungssystemen (letztere gestrichelt), wie in der hier wiedergegebenen niederländischen Karte (Abb. 3.8). Die Unterscheidung kann wichtig sein, da Windsee und Dünung sehr verschiedene Wirkungen haben können.

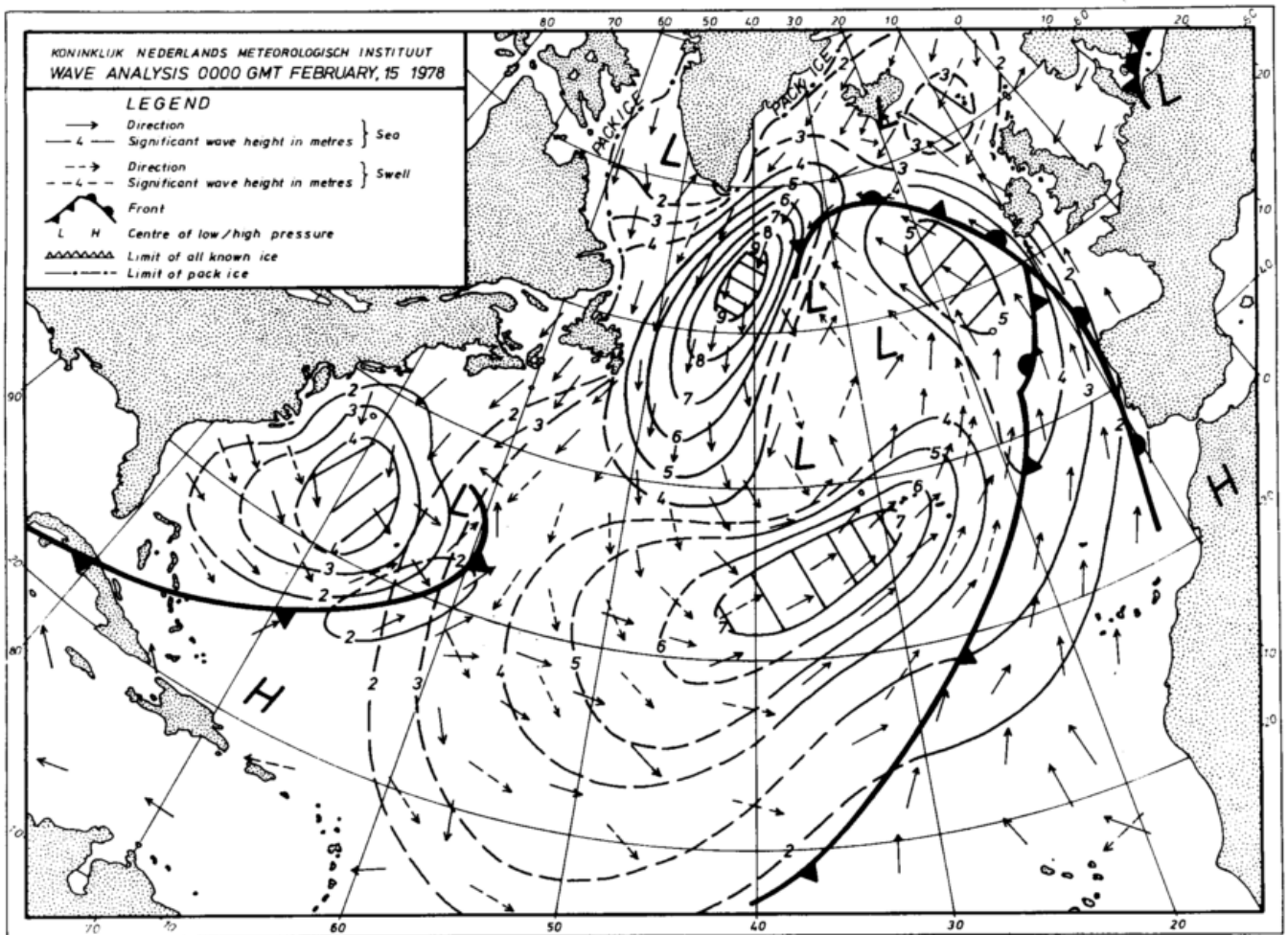


Abb. 3.8: Beispiel für eine Seegangskarte; Dünung gestrichelt (s. Text).

Literatur zu Abschnitt 3

- CARDONE, V. J.; ROSS, D. B.; AHRENS, M. R.
An experiment in forecasting hurricane generated sea states. In: 11th Tech. Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology, Dec. 13-16, 1977, Miami Beach/Fl. — Boston/Mass. 1978, S. 688-695.
- CARDONE, V. J.; PIERSON, W. J.; WARD, E. G.
Hindcasting the directional spectra of hurricane generated waves. J. Pet. Techn., April 1976, S. 385.
- DIETRICH, G.; KALLE, K.; KRAUSS, W.; SIEDLER, G.
Allgemeine Meereskunde. Berlin/Stuttgart 1975.
- GELCI, R.; DEVILLAZ, E.
Le calcul numérique de l'état de la mer. Houille Blanche 25 (1970) S. 2.
- GÜNTHER, H.; ROSENTHAL, W.; RICHTER, K.
Parametrical numerical wave prediction tested in wind situations varying in space and time. Proceed. of "Nato Symposium on Turbulent Fluxes through the Sea Surface, Wave Dynamics and Predictions", Marseille. (Im Druck)
- Hydraulics Research Station
Numerical wave climate study for the North Sea (NORSWAM). Report No. EX 775 and EX 776 (1977).
- HASSELMANN, K. et al.
Measurements of wind wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). Erg.-H. Dt. Hydrogr. Z. (A) Nr. 12 (1973).
- HASSELMANN, K.; ROSS, D. B.; MÜLLER, P.; SELL, W.
A parametrical wave prediction model. J. Phys. Oceanogr. 6 (1976) S. 200.
- JEFFREYS, H.
On the formation of water waves by wind. Proc. Roy. Soc. London, Ser. A 107 (1925) S. 189.
- KINSMAN, B.
Wind waves, their generation and propagation on the ocean surface. Englewood Cliffs, N. J. 1965.
- NEUMANN, G.; PIERSON, J.
Principles of physical oceanography. Englewood Cliffs, N. J. 1966. S. 326 ff.
- PHILLIPS, O. M.
The dynamics of the upper ocean. Cambridge, England 1977.
- PIERSON, W. J.; NEUMANN, G.; JAMES, W. J.
Practical methods for observing and forecasting ocean waves by means of wave spectra and statistics. H. O. Pub. No. 603 (1955), U.S. Navy Hydrographic Office, Washington.
- ROLL, H. U.
Oberflächenwellen des Meeres. In: Handbuch der Physik, Bd. 48, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1956.
- RICHTER, K.; ROSENTHAL, W.; GÜNTHER, H.
Physik und Vorhersage des Seegangs. Meerestechnik 8 (1977) S. 127.
- SNODGRASS, F. E. et al.
Propagation of ocean swell across the Pacific. Philos. Trans. Roy. Soc. (A) 259 (1966) S. 431.
- SVERDERUP, H. U.; MUNK, W. H.
Wind, sea and swell — theory of relations for forecasting. H. O. Pub. No. 601 (1947), U.S. Navy Hydrographic Office, Washington.
- TOBA, Y.
Stochastic form of the growth of wind waves in a single-parameter representation with physical implications. J. Phys. Oceanogr. 8 (1978) S. 494.
- VERPLOEGH, G.
Handbook of wave analysis and forecasting. WMO-No. 446 (1976).
- WALDEN, H.
Stau der Wellenenergie im wandernden Windfeld. Dt. Hydrogr. Z. 9 (1956) S. 225, 280.
- WALDEN, H.; GERDES, H. U.
Die Größe der kennzeichnenden Periode in der Windsee. Ann. Meteorol. 8 (1958) S. 217.
- WALDEN, H.
Der Seegang und seine Vorhersage. In: G. Dietrich (Hrsg.), Erforschung des Meeres. Frankfurt/M. 1970. S. 65 ff.

4 Routenberatung für die transatlantische Schifffahrt

H. P. SCHMITZ, Berlin

4.1 Routenberatung als ökonomisches und wissenschaftlich-technisches Problem

Schiffsroutenberatung – eine volkswirtschaftliche Aufgabe

Angesichts der zunehmenden Größe der Frachtschiffe und des höheren technischen Aufwands sowie der damit verbundenen Zunahme der Unterhaltskosten – auch für ein wartendes Schiff – ist ein möglichst ökonomischer Einsatz der verfügbaren Tonnage das verständliche Streben staatlicher wie privater Reeder. Dabei soll das Schiff aber so eingesetzt und seine Ladung derart befördert werden, daß beiden kein vermeidbarer Schaden entsteht, und sei es nur Kondenswasserbildung am Ladegut. Ferner sollten Be- und Entladung bei Ankunft im Hafen möglich sein, u.a. nicht durch starke Vereisung von an Deck befördertem sperrigem Frachtgut verzögert werden.

Dies führt dazu, daß man – ähnlich wie im Flugverkehr – z.Zt. des Auslaufens diejenige optimale Reiseroute ermittelt, die mit den zu diesem Zeitpunkt verfügbaren Informationen möglich ist. Für Schiffe, die von deutschen Häfen auslaufen, bieten sich gelegentlich gleich zwei bedingt vorteilhafte Routen an, denn bei der Reise von hier nach der nordamerikanischen Ostküste kann neben einer Fahrt durch den Kanal eine solche um Schottland herum günstig sein, je nach Jahreszeit und Verhalten sehr wetterwirksamer Tiefs auf dem Nordatlantik.

In den USA und den Niederlanden erhalten zumindest sämtliche vom Staat bereederten Schiffe Routenberatungen für derartige Reisen – auch auf dem Pazifik. Die Zahl der Routenberatungen in den USA betrug 1975 etwa 4000, in der Welt etwa 10 000. Sie steigt trotz größer werdender Schiffseinheiten an, weil auch die privaten Reeder zunehmend Gebrauch von Routenempfehlungen machen.

In einer WMO-Mitteilung von 1976 wird die durch oben erwähnte Beratungen im Jahr 1975 in den USA geschätzte Ersparnis mit rd. 13 Mio \$ angegeben. Alle Routenberatungen auf der Welt im Jahre 1975 haben eine geschätzte Gesamtersparnis von 32 Mio \$ bewirkt. Sie sind von so hoher wirtschaftlicher Bedeutung, daß sich Zusatzkosten für ihren Ausbau, für ihre wissenschaftliche Verbesserung schnell amortisieren würden.

Die drei Teilaufgaben der Routenberatung

Der Seegang als wesentliche Behinderung der maschinengetriebenen Schifffahrt (s. a. nachfolgenden Beitrag 4.2) verlangt für seine Vorhersage zunächst eine Wetter-, insbesondere Windvorhersage für die Wasseroberfläche, und zwar für die gesamte Zeit der Überfahrt, z.B. eine Woche. Die Wet-

ter- und Seegangsdaten müssen schließlich mit den "technischen Fähigkeiten" des zu beratenden Schiffes zur optimalen Route verwertet werden. Die Routenberatung für transatlantische Reisen zerfällt also in drei nacheinander zu lösende Aufgaben:

- eine mittelfristige Wettervorhersage,
- eine mittelfristige Seegangsvorhersage,
- die eigentliche Routenberatung.

Eine *Wettervorhersage* für etwa eine Woche hofft man in den nächsten Jahren u.a. durch Einführung von mehr Physik in die vorhandenen baroklinen Modelle sowie durch Verbesserung ihrer Horizontal- und Vertikalauflösung zu erhalten, u.a. auch beim Europäischen Zentrum für Mittelfristige Wettervorhersage. Eine Verlängerung und nutzbringende Kontrolle würde ein Zusatzmodell auf statistischer Basis liefern. Dieser Weg dürfte kaum schlechtere Resultate liefern als die jetzige Analogmethode, sofern man einige bekannte klimatologische Gegebenheiten berücksichtigt.

Obwohl die Wettervorhersage für 1 Woche nicht sicher sein wird, sollte man aus der vorausberechneten Bodendruckverteilung unter Berücksichtigung klimatologischer und "seegangstatistischer" Kenntnisse, ausgehend von der Windverteilung, eine physikalisch-numerische *Seegangsvorhersage* für den Zeitraum einer Schiffsreise über den Nordatlantik anstreben. Zunächst wird man 24 bis 48stündige Seegangsvorhersagen berechnen wie z.B. beim DHI in Entwicklung (s. Beitrag 3.4) und sie später, bei praktischem Erfolg, entsprechend verlängern. Für die deutsche Schifffahrt nach Nordamerika ist es allerdings wichtig, schon beim Verlassen des Hafens zu wissen, ob die Fahrt durch den Kanal oder um Schottland herum die günstigere ist, was bei den relativ geringen Geschwindigkeiten der Schiffe erst mit einer Seegangsprognose für mehrere Tage möglich wird. Solange die numerische Vorhersage das nicht leistet, muß durch die Heranziehung von statistischen Kenntnissen über den Seegang bei den gegebenen Großwetterlagen eine ggf. wiederholte zeitliche Ergänzung durch eine "Witterungsnavigation" (RODEWALD) geliefert werden. Dabei ist zu erwähnen, daß im Falle ausreichender Verfügbarkeit einer EDV in Hamburg auch eine Objektivierung dieser bislang im wesentlichen aufgrund persönlicher Erfahrung, insbesondere von H. KRÜHL, praktizierten Methode möglich sein sollte.

Die eigentliche *Routenberatung* kombiniert die vorhergesagten meteorologischen und ozeanographischen Bedingungen mit den technischen des Schiffes, wobei Schiffsform,

Maschinenstärke, Ladung, Forderungen bezüglich Ankunftszeit usw. zum wirtschaftlichsten Reiseweg zu kombinieren sind, der jedoch nicht der schnellste zu sein braucht, es aber häufig sein wird. Allerdings muß diese dritte Aufgabe in Zusammenarbeit mit Nautikern und Schiffbau-technikern gelöst werden, wenn sie fachlich vollkommen behandelt werden soll. Ist im Seewetteramt oder DHI eine EDV hierfür verfügbar, genügt eine einmalige – hinreichend allgemeine – Programmierung des Problems und die Eingabe der erforderlichen Schiffsdaten, um mit der vorausgegangenen Seegangsberechnung den für Schiff und Ladung günstigsten Kurs zu ermitteln.

Zu den feststehenden in die EDV einzugebenden Daten des zu beratenden Schiffes gehört unseres Erachtens auch ein Diagramm, wie es in Abbildung 4.1 (nach G. VERPLOEGH 1967) zeigt. Es stellt die Maximalgeschwindigkeit eines Schiffstyps in Abhängigkeit von der Höhe und der Lauf-

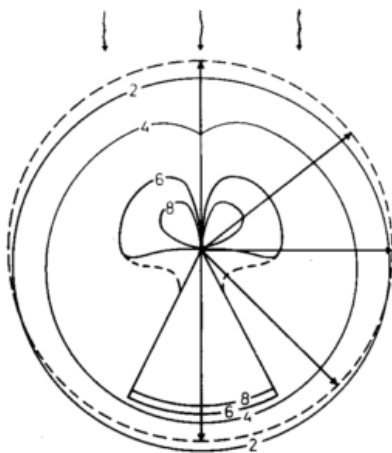


Abb. 4.1: Maximalgeschwindigkeit eines speziellen Schiffstyps für Wellenhöhen 0 m (gestrichelt), 2, 4, 6 und 8 m und den jeweiligen Schiffskurs relativ zur Laufrichtung des Seegangs, hier von der Oberkante der Abb. nach unten. Nach G. VERPLOEGH (1967).

H. KRÜHL, Hamburg

4.2 Die Anwendung von Seegangskarten in der Schiffsroutenberatung

Als die Menschen begannen, zur See zu fahren, benutzten sie den Wind als Antriebsmittel ihrer Boote und fürchteten Stürme, aber auch Flaute als Gefahren. Seitdem Schiffe mit Maschinen betrieben werden, stellt der Wind nur noch ein Hindernis oder eine Gefährdung dar. In jüngster Zeit, seit der Mensch in zunehmendem Maße in Großprojekten komplizierte technische Operationen auf See durchführt und das Meer zum Wirtschaftsraum wird, treten Windsee und Dünung an die erste Stelle der Risiken. Der Wind rückt an die zweite Stelle und behält seine Bedeutung als Ursache des Seegangs.

richtung des Seegangs relativ zum Schiffskurs als Vektor vom Mittelpunkt zu den ausgezogenen Linien dar, die den Wellenhöhen 2, 4, 6, 8 m entsprechen. Auf dem gestrichelten Kreis liegt die Spitze des Schiffsgeschwindigkeitsvektors, wenn Seegang ausbleibt (Wellenhöhe 0 m).

Nehmen wir an, die Wellen kämen (von der Bildoberkante) aus Norden, dann würde ein Nordkurs des Schiffes bei 2 m Wellenhöhe mit geringer, bei 4 m mit erheblicher Fahrtreduktion verbunden sein. Bei 6 und 8 m Wellenhöhe wäre ein Nordkurs nicht mehr einzuhalten; das Schiff müßte NNW oder NNE steuern.

Ist der Schiffskurs NW oder NE, bedingen 4 m Wellenhöhe ebenfalls eine große, 6 und 8 m eine extrem hohe Geschwindigkeitsreduktion; aber dieser Kurs wäre noch befahrbar.

Anders liegen bei 6 m und größeren Wellenhöhen die Möglichkeiten für einen Schiffskurs zwischen E und SSE oder W und SSW. Diese Kurse sind nur für Höhen < 6 m befahrbar, da ein Welleneinfall quer (dwars) und schräg achterlich das Schiff ungünstig schwanken läßt. Ein leichter Fahrtgewinn ist jedoch bei 2 m Wellenhöhe möglich.

Dieser Gewinn bei Wellenhöhen um 2 m tritt insbesondere auf Süd-Kursen zwischen SSW und SSE auf; doch höhere Wellen veranlassen auch bei diesen Kursen eine – allerdings mäßige – Fahrtreduktion.

Dieses Diagramm – nach Form, Größe und Antrieb des Schiffes verschieden – berücksichtigt allerdings noch nicht die Wellenlängen oder -perioden, die natürlich auch noch einen Effekt bezüglich der Befahrbarkeit eines Kurses relativ zu den Wellen bedingen. Auch das Verhalten des Schiffes in einer ggf. vermeidbaren Kreuzsee würde eine vollkommene Routenberatung in Rechnung stellen.

Bereits die Berücksichtigung von Details (wie das Diagramm Abb. 4.1) für jedes Schiff oder zumindest jeden Schiffstyp erforderte bei rationeller Routenberatung einen Computer, dem die aktuelle Wetter- und Seegangsvorhersage verfügbar sein, der seine Empfehlungen im Hindcasting-Verfahren laufend kontrollieren müßte, um zur Verbesserung seiner Arbeitsprogramme anzuregen.

Die heute existierenden Seegangs- und Seegangsvorhersagekarten sind daher wichtige Unterlagen für die meteorologische Navigation auf See. Auf diesem Gebiet unterscheidet man die kurzfristige Navigation – die z.B. in einem Ausweichen vor ungünstigem Seegang besteht – von der mittelfristigen. Als bekannteste Anwendung der letzteren gilt die Befolgung optimaler Routen in der transozeanischen Schifffahrt. Wenn ein Schiff den Hafen verläßt, um den Ozean zu überqueren, stehen ihm theoretisch beliebig viele Wege zur Verfügung. Um die günstigste Route zu ermitteln, ist bereits vor Antritt der Reise die Kenntnis der zu erwar-

tenden meteorologischen und ozeanographischen Größen während der ganzen Überfahrtszeit erforderlich. Eine mittelfristige Seegangsprognose ist also notwendig.

Eine optimale Route ist nicht in jedem Falle mit einem Weg kürzester Reisezeit gleichzusetzen, vielmehr wird sie in der Regel als wirtschaftlichster Kurs verstanden. Es ist kaum ökonomisch, schwere Schäden an Schiff und Ladung in Kauf zu nehmen, um ein paar Stunden an Reisezeit zu gewinnen. Zwar ermittelt man die optimale Route als Weg kürzester Reisezeit, aber unter Beachtung bestimmter Nebenbedingungen; z.B. könnte bei einem Schiff in Ballast vorgegeben werden, daß auf dem Kurs 3 m Wellenhöhe von der Seite für längere Zeit nicht überschritten werden soll. Von allen Wegen, die diese Forderung erfüllen, ist dann der zeitlich kürzeste Weg zu wählen.

Die kürzeste Reisezeit ergibt sich theoretisch nach der Formel (KRUHL 1974)

$$t = \int_0^S \frac{1}{v} ds \Rightarrow \text{Min.}$$

Die Reisezeit t hängt von der Geschwindigkeit v des Schiffes über Grund ab. Die Geschwindigkeit v wird von verschiedenen Größen bestimmt. Diese gliedern sich erstens in naturbedingte Umwelteinflüsse, zweitens in nautisch-schiffahrtstechnische und wirtschaftliche Größen. Zur ersten Gruppe gehören Wind und Seegangsentwicklung während der Überfahrt, Meeresströmungen, Nebelverhältnisse, See-Eisentwicklung, Vereisungsgefahr der Schiffe; zur zweiten Gruppe zählen Schiffstyp und -geschwindigkeit, Ausrüstung, Tiefgang, Verhalten des Schiffes im Seegang, Waren, Beladungszustand, Einstellung des Kapitäns zu gewissen Routen. Viele der Größen treten nicht nur fahrt-reduzierend, sondern auch als Nebenbedingung auf, manche werden nur als Nebenbedingung verwendet.

Die Fahrtreduktion eines Schiffes wird zu etwa 70% vom Seegang bewirkt. Davon ausgehend entwickelte R. W. JAMES 1957 ein Verfahren zur Bestimmung des Weges kürzester Reisezeit. Mit dieser Veröffentlichung begann der moderne Schiffsrouten-Beratungsdienst. JAMES ermittelte zunächst die Schiffsgeschwindigkeit für zahlreiche Schiffstypen und verschiedene Dienstgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Wellenhöhe, und zwar getrennt nach achterlichem, seitlichem und vorderlichen Seegang (Abb. 4.2).

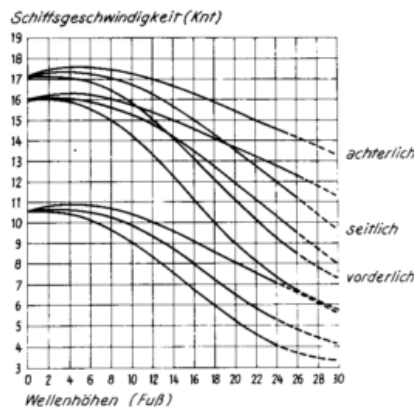


Abb. 4.2: Fahrtreduktion des Schiffes in Abhängigkeit von der Wellenhöhe und Laufrichtung der Wellen zum Schiffskurs. Nach R. W. JAMES (1957).

Dazu wertete er die in den Schiffstagebüchern eingetragenen zurückgelegten Wegstrecken und beobachteten Seegangsdaten aus. Wegen der Unsicherheit der Angaben wurde nicht nach Wellenperiode, Windsee und Dünung unterschieden. Diese empirisch gewonnenen Daten geben aber noch mehr an als nur die Fahrtreduktion durch Seegang. Auch die Windeinwirkung ist größenordnungsmäßig erfaßt, ebenso die freiwillige Fahrtreduktion in hohem Seegang durch den Kapitän zur Vermeidung von Schäden und von überhöhtem Brennstoff-Verbrauch. Damit sind bereits in den weiter unten beschriebenen Routenkonstruktionen teilweise ökonomische Gesichtspunkte berücksichtigt.

Fährt das Schiff gegen den Seegang an, so macht sich sofort eine schwache, bei höherem Seegang eine starke Fahrtreduktion bemerkbar (Abb. 4.2). Bei seitlichem Seegang erfolgt erwartungsgemäß keine ganz so starke Fahrtreduktion. Aber sogar bei See von achtern nimmt die Fahrt des Schiffes bei höheren Wellen deutlich ab. Nur im Bereich von 1 bis 2 m macht sich je nach Schiffstyp und Reisegeschwindigkeit eine kleine Geschwindigkeitserhöhung bemerkbar. Mit Hilfe der besprochenen Diagramme kann man ermitteln, welche Strecke das Schiff bei einem bestimmten Seegang in einer vorgegebenen Zeit zurücklegt. Natürlich darf sich der Seegang während des gewünschten Zeitabschnitts nicht allzu sehr ändern. Die Erfahrung zeigt, daß 12stündige Intervalle genügen. So kann man Seegangskarten in der Folge von 00 Uhr und 12 Uhr GMT benutzen. Vom Ausgangspunkt (Scilly-Inseln in Abb. 4.3) wird ein Bündel von Strahlen entworfen. Aus dem mittleren Seegang auf jedem Strahl und der Richtung zur einfallenden See läßt sich die Schiffsgeschwindigkeit und damit die zurückgelegte Strecke in 12 Stunden bestimmen. Die Verbindungslinie der Endpunkte aller Strahlen – eine Isochrone (time front) – zeigt den Standort des Schiffes nach der vorgegebenen Zeit unter dem Einfluß des Seeganges. Annähernd senkrecht zur Isochrone werden erneut Strahlen gezeichnet, und unter Verwendung der entsprechenden Seegangskarte wird dann die Isochrone für den nächsten Zeitabschnitt ermittelt. Das Verfahren wird solange fortgesetzt, bis eine Isochrone oder Zwischenisochrone durch den Zielpunkt hindurchgeht. Ein vom Zielhafen zurück zum Ausgangspunkt gezeichneter Strahlzug ergibt den Weg kürzester Reisezeit. Wenn dieser Weg bereits alle Nebenbedingungen erfüllt, so stellt er die gesuchte optimale Route dar (Abb. 4.3). Diese kann außerordentlich vom Großkreis oder vom Weg kürzester Entfernung abweichen. In Abbildung 4.3 verläuft die optimale Route stellenweise 20 Breitengrade südlicher als der Großkreis und ist ca. 800 sm länger als dieser. Das liegt an dem hohen Seegang (mehr als 8 m, Abb. 4.3), der auf dem Weg zwischen dem Westausgang des Kanals und Neufundland angetroffen wird. Die Fahrtreduktion wird an der Drängung der Isochronen südöstlich von Neufundland sichtbar.

Die ermittelten Routen erinnern an Lichtstrahlen in einem Medium unterschiedlicher optischer Dichte. Während sich aber das Licht von seiner Punktquelle wegen der Unabhängigkeit seiner Geschwindigkeit von der Richtung kreis- oder kugelförmig ausbreitet, ist die Geschwindigkeit des Schiffes (je nach Einfall des Seeganges) verschieden, also richtungsabhängig. Dadurch ergibt sich eine schwach elliptische Verlagerung der gedachten Schiffe, die von einem der Brennpunkte erfolgt. Das hat zur Folge, daß die Strahlen bei der Routenkonstruktion meist leicht schräg auf den

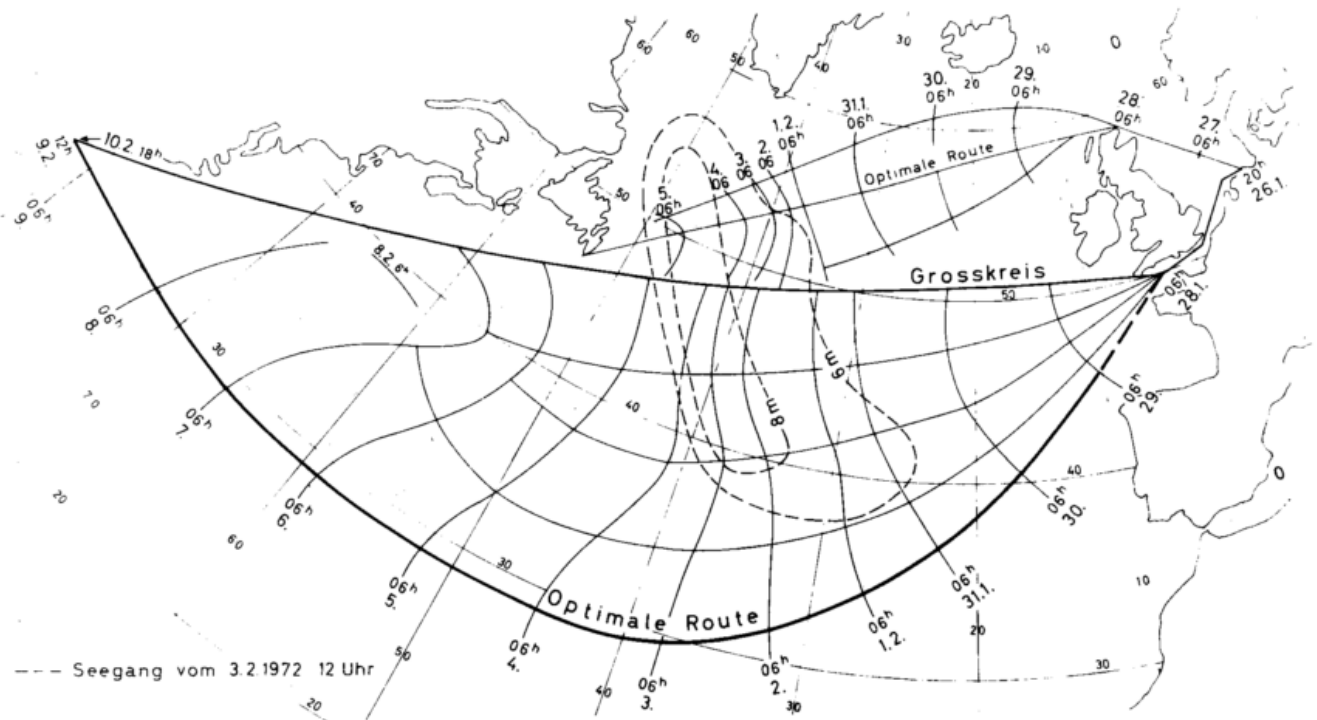


Abb. 4.3: Weg kürzester Reisezeit von den Scilly-Inseln nach Jacksonville.

Isochronen enden, die Lichtstrahlen stehen dagegen senkrecht auf der Wellenfront (NAGLE 1961). Eine andere Eigenschaft, die aus der geometrischen Optik bekannt ist, wird an einem geschlossenen hohen Seegangsbereich erkennbar. Führt der Großkreis vom Ausgangspunkt zum Ziel quer durch das Seegangsfeld, so wirkt es auf die Strahlzüge der Routen wie eine Brennlinsen. Die Kurse konvergieren hinter dem Seegangsbereich in einer Brennlinsenlinie oder einem Brennpunkt. In Abbildung 4.3 ist dieser Vorgang südlich von Neufundland deutlich zu erkennen. Über solch ein Konvergenzbereich führt natürlich keine optimale Route zum Ziel; es sei denn, der Brennpunkt deckt sich bereits mit dem Zielhafen. Dann stellt er einen singulären Punkt dar, d.h., das Schiff kann auf vielen verschiedenen Wegen in derselben kürzesten Reisezeit zum Ziel gelangen. Isochronen und Strahlen beziehen sich natürlich auf eine Kugeloberfläche. Die Darstellung auf einer Wetterkarte bringt daher zusätzliche Ungenauigkeiten mit sich. Diese lassen sich durch die Anwendung numerischer Methoden vermeiden. Entsprechende Verfahren sind entwickelt worden (BIJLSMA 1975). Jedoch ist eine analytische Bestimmung des Weges kürzester Reisezeit erst dann sinnvoll, wenn die Güte der Windvorhersage- und damit Seegangsvorhersagekarten für den 6. bis 8. Tag (Atlantik) etwa die der heutigen 24stündigen erreicht hat. Die praktische Routenbestimmung basiert heute noch auf Zirkulationsbetrachtungen. Das geschilderte graphische Verfahren dient aber einmal als heuristisches Prinzip, zum anderen wird es für die nachträgliche Auswertung von Reisen auf Grund gegebener Seegangskarten angewendet. Nur auf diese Weise läßt sich der Erfolg einer Reise beurteilen und können Erfahrungen gesammelt werden.

Literatur zu Abschnitt 4

BIJLSMA, S. J.

On minimal-time ship routing. Meded. en Verh. K. Nederl. Meteorol. Inst., De Bilt, No. 94 (1975).

JAMES, R. W.

Application of wave forecasts to marine navigation. U.S. Navy Hydrographic Office, Washington, D.C. (1957).

KRUHL, H.

Meteorologische Navigation auf See/Schiffsroutenempfehlungen. Hochschule für Nautik, Bremen, Denkschr. z. 175. Jahrestag d. Gründung (1974).

NAGLE, F. W.

Ship routing by numerical means. U.S. Navy Weather Research Facility, Norfolk, Va. NWRP 32-0362-042.

VERPLOEGH, G.

Weather routing of ships. WMO-Bulletin 16 (1967) S. 139-145.

5 Wünschenswerte Weiterentwicklung in der Sturmflut- und Seegangsvorhersage

1. Das numerische Hindcasting von Sturmfluten ist heute zwar etwas weiter fortgeschritten, wird aber in der Bundesrepublik schon seit 1956 (anwendungsfrei) betrieben.
2. Es müßte ein schlüssiger Beweis für die Leistungsfähigkeit objektiver Methoden erbracht werden. Um dem zu entsprechen, empfehlen wir folgendes Vorgehen:

Mit intensiven Vorbereitungen zur routinemäßigen numerischen Sturmflut- und Seegangsvorhersage sollte sofort begonnen werden, zumal heute für diese beiden Aufgaben

- wissenschaftlich fundierte, (zweimal) täglich praktikierbare Verfahren bekannt sind und in infinitesimalen Schritten verbesserbar sind,
- mit der bisherigen versuchsweisen, rein akademischen Erprobung derselben erfahrungsgemäß noch lange kein Vorgehen für den Routinedienst zu entwickeln ist; das wird nur im Rahmen eines laufenden Betriebs möglich, der erst aufgrund ständiger wissenschaftlicher, technischer und organisatorischer Verbesserung wirklich "verbrauchergerechte" Produkte liefert (sogar in Extremfällen),
- hinreichende Computerkapazität z.Zt. beim Deutschen Wetterdienst in Offenbach verfügbar scheint, zumindest für die Vorbereitungsphase,
- dort zugleich fast alle wichtigen Ausgangsdaten (See-

gangs- und Wetterbeobachtungen, Wetteranalysen und mehrere -vorhersagen, in digitaler Form abrufbar) für Sturmflut- und Seegangsvorhersagen in erprobter Weise bereitstehen. Wasserstandsbeobachtungen wären nach dort transferierbar, die Gezeitendaten (hier erforderlich nur M_2 - und S_2 -Tide) leicht in den Offenbacher Computer einbaubar.

Die übliche Vorhersage der astronomischen Tide könnte hiervon völlig unabhängig beim DHI weiterlaufen. In Offenbach würde man speziell die Seegangsvorhersage und die numerische Sturmflutvorhersage für die Nordseeküste (evtl. Elbe und Weser) produzieren. Wie weit später diese Aufgabe auch an einem anderen Ort, z.B. in Hamburg, geleistet werden könnte, ist ein technisches, finanzielles und organisatorisches Problem, auf dessen Lösung aber nicht gewartet werden sollte, da mit diesem Zuwarten kostbare Entwicklungs- und Erprobungszeit ungenutzt bliebe.

Wenn die zuständigen Bundesbehörden aus personellen und finanziellen Gründen die vorgeschlagene Entwicklung von praktisch erprobten, unmittelbar im Routinedienst anwendbaren Modellen nicht leisten können, sollte auch diese Aufgabe im Rahmen von Forschungsvorhaben (ggf. beim SFB 94) sobald als möglich in Angriff genommen werden. Dadurch könnten wesentliche Teile der deutschen Meeresforschung baldiger Anwendung zugeführt werden.

Seit Jahren beschäftigt die Fachwelt und noch mehr die Öffentlichkeit die Frage, ob die Ozonschicht (mit einer maximalen Ozonkonzentration in 20–25 km Höhe) durch die zunehmenden anthropogenen Einflüsse nicht zerstört werden könnte, was unabsehbare Folgen nicht nur für das atmosphärische Geschehen, sondern auch für das Leben auf der Erde hätte. Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) hat deshalb ein globales Ozonforschungs- und Überwachungsprojekt ins Leben gerufen, das zur Klärung dieser wichtigen Frage beitragen soll. Die bisherigen Erkenntnisse, gestützt auf zahlreiche Untersuchungen von Experten, hat die WMO im November 1978 in einem "Zweiten Statement über die Beeinflussung der Ozonschicht durch die Aktivitäten des Menschen" zusammengefaßt und der Öffentlichkeit mitgeteilt.

Nachfolgend wird dieses Statement im Originaltext wiedergegeben.

Aus der Weltorganisation für Meteorologie (WMO)

Second WMO statement on modification of the ozone layer due to human activities and some possible geophysical consequences*)

General

1. In recent years there has been increasing concern as to the effects of the pollution of the stratosphere, and in particular the possibility of a reduction in the amount of ozone present at these levels due to photochemical reactions involving certain trace substances, the concentrations of which are being increased due to man's activities. This concern arises from the danger of increased solar ultra-violet

radiation penetrating to the Earth's surface and from the possibility of climatological consequences.

2. With WMO acting as co-ordinating agency, station networks to measure both total ozone and its vertical distribution have been considerably expanded. During the past two to three

*) The first statement on this subject issued by WMO was dated 26 November 1975.

decades much work has been done in defining the structure and energetics of the stratosphere, in studying winter warmings and other special phenomena, in developing vertical profiles and global distributions of ozone and in refining photochemical and radiation calculations.

3. Ozone is of major importance in the meteorology of the stratosphere, since by virtue of its absorption of solar ultra-violet radiation and the resulting heating effect it largely determines the basic temperature structure and general circulation of this region. Moreover, since it behaves essentially as an inert tracer in the lower stratosphere, observations of its distribution provide considerable information on transport mechanisms in this region and also on transfer between the stratosphere and troposphere. If the ozone formation and destruction processes were determined solely by the photochemical reactions involving only the oxygen species (the Chapman reactions) no effects resulting from human activities would be expected.

4. However, improved observations of the vertical distribution of ozone obtained during and after the International Geophysical Year made it clear that the pure oxygen photochemistry did not completely explain the actual processes found to be taking place, and subsequently the importance of stratospheric trace gases was discovered in controlling the ozone balance. This led to the conclusion that ozone might be less stable against outside man-made influences than had previously been believed.

The role of trace gases in the photochemistry of ozone

5. Ozone is formed at stratospheric levels as a result of the photodissociation of molecular oxygen, and according to present knowledge the oxides of Nitrogen (NO_x) and oxides of chlorine (ClO_x) through their catalytic cycle represent a considerably greater sink for it than does the classical reaction $\text{O} + \text{O}_3$ at levels below the stratopause. Oxides of hydrogen (HO_x), which are mainly derived from water vapour and methane have the effect of reducing the amount of ozone above amount 45 km; below this level, however, the destruction of ozone is mainly through rather complicated interactions between three trace gas families, HO_x , NO_x and ClO_x . A change in the con-

centration of one family (for example ClO_x) is strongly dependent on, and will itself influence the concentrations of the other families. This is one of the main reasons for the still rather large uncertainly limits of the predicted changes in the ozone layer described below.

6. The main natural source of NO_x in the stratosphere is thought to be the oxidation of nitrous oxide (N_2O) (of biological origin at the Earth's surface) by excited oxygen atoms which themselves are a product of the photodissociation of ozone. The strength of the natural N_2O source is not yet well established. Other natural sources of stratospheric NO_x are cosmic rays and solar proton events.

7. In the case of the catalytic cycle of ClO_x , the ozone destruction is accelerated by increasing HO_x , but retarded by the presence of methane and nitric oxide. Although the amount of ClO_x in the stratosphere seems to be small, it has a considerable effect on the ozone balance.

Effects due to human activities

NO_x increase due to aircraft flying in the stratosphere

8. There is considerable continuing research into the direct injection of NO_x into the stratosphere by fleets of supersonic and other aircraft and the consequent effect on the ozone layer. Although there remain considerable uncertainties in details of both measurements and theory, the role of NO_x is sufficiently well established to be able to state with reasonable confidence that:

- currently planned SSTs, due to their lower flight altitudes of 17 km and their limited numbers (30-50 projected) will have a **negligible** effect on the ozone layer;
- a large fleet of aircraft flying at altitudes below 25 km is predicted to have an **insignificant** effect on the global ozone amount;
- although the emissions of oxides of nitrogen in the lower stratosphere are now considered to be less important, there remain sufficient scientific uncertainties to urge continuation of ongoing research programmes aimed at better understanding these effects.

NO_x increase due to increased production of nitrous oxide at the surface.

9. It has been theorized that increased use of agricultural fertilizers and/or of nitrogen-fixing vegetation might affect the nitrogen cycle and result in an increase in the amounts of nitrous oxide (N_2O) released from the surface into the atmosphere. This would then lead to an increase of NO_x in the stratosphere and hence a change in the ozone distribution.

10. Because of the extreme complexity of this problem, involving as it does the whole global nitrogen cycle, uncertainties regarding the consequences on the ozone layer are still very great. A particularly important problem in this respect is the extent of the natural N_2O sources of which little is currently known.

- There is no likelihood of a significant change in the ozone layer in the near future as a result of changing agricultural practices, but the matter deserves continued study because of possible long-term effects.

Chlorofluoromethanes

11. The continued release into the atmosphere of chlorofluoromethanes, especially CFCl_3 (Fluorocarbon 11) and CF_2Cl_2 (Fluorocarbon 12) is predicted to result in an increasing amount of ClO_x in the stratosphere. Since the removal rate of ClO_x is slow, it is to be expected that the stratospheric ClO_x concentration will continue to increase for many years even after all emissions of chlorofluoromethanes into the atmosphere ceased. Thereafter the recovery rate would be very slow.

12. Several model estimates have been made of the time-history of the influence of man-made ClO_x on the average amount of ozone. The calculations involve concentrations of the important atmospheric constituents taken or derived from the available observations, and the best current estimates of chemical reaction rates.

13. On an average world-wide basis these calculations indicate that the present depletion of ozone due solely to CFCl_3 and CF_2Cl_2 already added to the stratosphere is of the order of two per cent.

– the long-term steady-state effect of a continued release at the 1977 world rate of release would be about 15 per cent average ozone depletion, with an uncertainty range from about 4 to 30 per cent. This is on the assumption that there are no other major sinks for the chlorofluoromethanes.

14. Thus whilst a fuller understanding of the chemistry involving chlorine in the stratosphere will require further measurements and calculations, the present evidence supports the view that an undiminished rate of release of chlorofluoromethanes into the atmosphere will lead to a significant reduction in stratospheric ozone.

Other causes of modifications to the ozone layer

15. All gaseous compounds which can release chlorine to the stratosphere are potential agents for the destruction of ozone. Among these are naturally-produced methylchloride (CH_3Cl) and other chlorocarbons significant in chlorine chemistry such as CH_3CCl_3 . Another potential factor is the expected carbon dioxide increase due to human activities, whereby the warming of the troposphere and cooling of the stratosphere would result in a modest increase in the total ozone. It is not at all certain that scientists have identified all potential modifiers of the stratospheric ozone layer.

Possible consequences of ozone depletion

16. Those possible consequences of changes in the ozone layer which have been suggested and estimated on the basis of the limited data available may be divided into the biological influences on man, animals and crops of increased ultra-violet radiation in the wavelength 280–320 nm (UV-B) and climatological consequences.

Biological effects

17. A reduction in the ozone column would result in an increase of UV-B radiation received at the ground, and theoretical calculations using both absorption and scattering by ozone and other atmospheric constituents have indicated an approximate magnification factor of about two between percentage changes in the ozone column and percentage changes in UV-B radiation in clear sky conditions. In other

words a reduction of 15 per cent in ozone would be likely to result in an increase of about 30 per cent in UV-B (or “erythemal”) radiation.

Climatological consequences

18. Because solar ultra-violet radiation is very strongly absorbed by ozone, the temperature of the stratosphere is largely maintained by a balance between absorption of solar radiation by ozone and emission of atmospheric infra-red radiation by ozone, carbon dioxide and water vapour. One-dimensional models estimate that, corresponding to the cited steady-state reduction of 15 per cent in the total ozone column, there may be local decreases of ozone by as much as 45 per cent at levels of about 40 km. This local ozone depletion would result in a local temperature decrease of about 10°C .

19. Calculations again using one-dimensional models indicate that the associated temperature change at ground level would be a fraction of a degree (and probably not directly detectable). However, it has been suggested that the large stratospheric temperature changes can result in structural changes in the tropospheric planetary-scale waves and hence result in changes in regional climate. Because of the complexity of the stratosphere-troposphere interactions, it is not possible at this time to infer with any reliability what the full consequences of these changes would be on the Earth's climate, and more intensive studies are necessary.

20. The chlorofluoromethanes and some other halogen compounds have strong absorption bands in the part of the infra-red spectrum where the other trace gases are quite transparent, and therefore an increase in the amount of these compounds in the troposphere would cause a warming by their additional “greenhouse” effect. It has been estimated that a continued release of chlorofluoromethanes at the 1977 rate, taken in isolation of other factors, could in this way produce an average temperature rise at the surface of 0.5°C . Such a change in the mean global temperature may well be of significance.

The need for more observations and research

21. On the basis of the current evidence, the threat of a considerable

depletion of the ozone layer in the future is now widely recognized. The foregoing review of present knowledge has shown clearly that there is a lack of understanding in a number of important aspects. Whilst this lack of understanding results in a considerable divergence of opinion as regards the details of the problem, the prudent course of action at present seems to be to step up efforts immediately so as to reduce the scientific uncertainties as rapidly as possible.

22. Although knowledge of the distribution of ozone is much greater than that of the other trace constituents involved in stratospheric photochemistry, an intensive observational effort is needed as a matter of urgency to establish the basis for continued long-term monitoring of ozone and for obtaining the necessary detailed knowledge of the vertical distribution which is needed for improving understanding. Also urgently needed are simultaneous *in situ* measurements of the important trace gases to test and evaluate chemical reaction schemes employed in theoretical models. Parent substances of the ozone-destroying radicals should be monitored to establish trends. Measurements of the extra-terrestrial solar flux as a function of wavelength between 180 and 350 nm and its variations in time are also of fundamental importance. To complement biological studies on the effects of solar UV-B radiation, monitoring of radiation in this spectral range is needed.

23. In order to guarantee the high standard of the observational programme, and to obtain a maximum return on the efforts invested therein, a research programme should be interwoven to endeavour to improve understanding of the various aspects concerning atmospheric ozone. In addition to the various specific problems which can be tackled by fairly small groups, the research programme should facilitate broad-scale projects of a strongly inter-disciplinary character to study:

- (a) The chemical inter-relationships of the chlorine, hydrogen and nitrogen compounds, the complete carbon and nitrogen cycles and their possible changes due to human activities;
- (b) The coupling between the stratospheric chemical composition, heating rates and circulation in

- conjunction with the transport of relevant gases and tropospheric-stratospheric exchange processes;
- (c) The influence on climate of changes in stratospheric composition, involving quantitative treatment of the associated feed-back systems;

(d) Biological consequences of changes in solar UV-B radiation on the global ecosystem.

24. There is therefore a continuing and pressing need for a co-ordinated international programme under the leadership of WMO to monitor and

study all aspects of the stratospheric environment relevant to ozone. The continued collaboration of Members and international bodies such as UNEP and ICSU is essential to the success of this programme.

20 October 1978

Aus dem Deutschen Wetterdienst

GOES 1 in Betrieb

Seit dem 1. Dezember 1978 befindet sich der geostationäre US-Wettersatellit GOES 1 (= Geostationary Operational Environmental Satellite) über dem Indischen Ozean in Betrieb. Er wird, gemäß einer Vereinbarung mit der NOAA, von der Europäischen Space Agency (ESA) kontrolliert. Seine genaue Position ist 0°N , 58°E .

Der Satellit soll während des FGGE bis Ende November 1979 Wolkenbilder vom Indischen Ozean und Mittleren Osten liefern. Die Bilder werden im DWD auf Umwegen über den Satelliten METEOSAT empfangen und in

der Analysen- und Vorhersagezentrale im Zentralamt des DWD verwendet.

Damit ist das für das FGGE geplante weltumspannende System der 5 geostationären Satelliten nunmehr vollständig. Es besteht aus den Satelliten:

Name	Betreiber	Position
GOES 1	ESA + NOAA	58°E
GMS	Japan	140°E
GOES 2	NOAA	75°W
GOES 3	NOAA	135°W
METEOSAT	ESA	0°E

Aus den Bilddaten der Satelliten werden durch die jeweiligen Bodenstationen routinemäßig Winde berechnet und innerhalb weniger Stunden nach dem Beobachtungstermin über das Global Telecommunication System verbreitet (ausgenommen GOES 1).

Die von GOES 2 und GOES 3 stammenden Winde werden bereits routinemäßig zur numerischen Analyse und Vorhersagen im DWD verwendet. Die von METEOSAT und GMS (= Geostationary Meteorological Satellite) stammenden Winde werden im DWD empfangen und zur Zeit noch auf ihre Qualität hin überprüft.

Aus dem Geophysikalischen Beratungsdienst der Bundeswehr

Nachtsichttechnik, ein Problem für die geophysikalische Einsatzberatung

Einführung

„Allwettereinsatz- und Nachtkampffähigkeit“ der Waffensysteme sind zu unverzichtbaren Forderungen aller modernen Truppenteile an die Wehrtechnik geworden. Hieraus könnte man folgern, daß eine geophysikalisch-meteorologische Beratung beim Einsatz derartiger Waffensysteme immer bedeutungsloser wird. Das Gegenteil ist der Fall. In der Praxis zeigt es sich, daß nahezu alle mit den erwähnten Attributen versehenen Waffen- und Aufklärungssysteme sehr wohl wetterabhängig und in ihrer Einsatzfähigkeit durch Umwelteinflüsse beschränkt sind.

Allerdings werden die für den Einsatz dieser modernen Systeme erforderlichen Wetter-Mindestbedingungen im-

mer weiter „zurückgeschraubt“, was zur Folge hat, daß die Anforderungen an die Genauigkeit und Zuverlässigkeit geophysikalisch-meteorologischer Analysen und Prognosen steigen. Ausserdem kommen in zunehmendem Maße meteorologische Einflußgrößen ins Spiel, die bisher mit den meteorologischen Routinebeobachtungen (Synops, Metars, Temps usw.) nicht oder nur unzureichend erfaßt werden.

Beratung des Einsatzes von Nachtsicht-Geräten

Die Industrie hat in den letzten Jahren Geräte entwickelt, die es der Truppe gestatten, die hohe Zahl der Nachtstunden (etwa 4000 Stunden/Jahr, Dämmerungszeiten ausgenommen) zu-

mindest teilweise zur Aufklärung, zum Transport, für Instandsetzungsarbeiten und für Kampfeinsätze nutzbar zu machen. Hierzu gehören:

- Nachtsicht-Fernsehgeräte (Low-Light-Television, LLTV)
- Restlichtverstärker (Bildverstärker, Biv-Geräte)
- LASER (Entfernungs- und Zielzuweisungsgeräte)
- Infrarot-Filme (IR-Filme)
- IR-Pfeil- und -Zielverfolgungsgeräte
- Wärmebildgeräte (Forward Looking Infrared, FLIR)
- Mikrowellen- und Radargeräte.

Mit diesen Geräten wird nahezu der gesamte Bereich des elektromagnetischen Spektrums von Ultraviolett bis in den Dezimeterwellenbereich ausgenutzt (s. Tab. 1).

Tabelle 1

Geräte- Hauptarbeits- system bereich	Wellenlängen- bereich
(a), (b) optischer Be- reich	0,38–0,78 μm
(c) optischer und naher Infrarot- bereich	0,38–3,0 μm
(d) nahes Infrarot	0,78–3,0 μm
(e) mittleres und	3,0–8,0 μm
(f) thermales IR	8,0–25 μm
(g) Mikrowellen, Zentimeter- und Dezimeter- wellen	10^3 – 10^4 μm 10^4 – 10^5 μm 10^5 μm

Bei nahezu allen Geräten handelt es sich um sogenannte Passiv-Bildsysteme, die ohne den Einsatz von verräterischen aktiven Strahlungs- bzw. Beleuchtungsquellen auskommen. Ausnahmen sind Laser- und Radargeräte. Die übrigen Systeme nutzen die stets vorhandene elektromagnetische Strahlung (reflektierte und emittierte) von Objekten bzw. die Strahlungsunterschiede (Kontraste) zwischen Zielobjekten und deren Umgebung aus. Allerdings – und hier liegt die Problematik für den Anwender – werden sowohl die Größe des Strahlungsstromes auf der Übertragungstrecke als auch die Kontraste im Gelände durch Witterungseinflüsse in vielfältiger Weise beeinflusst:

Je nach dem augenblicklichen Zustand der Atmosphäre treten wechselnde Streuungs- und Absorptionsverluste auf, während Art und Zustand von Erdboden, Bewuchs und Zielobjekten die natürlichen Kontraste bestimmen (s. Abb. 1).

Die Einsatz-Reichweiten und die Abbildungsqualität der Nachtsichtgeräte

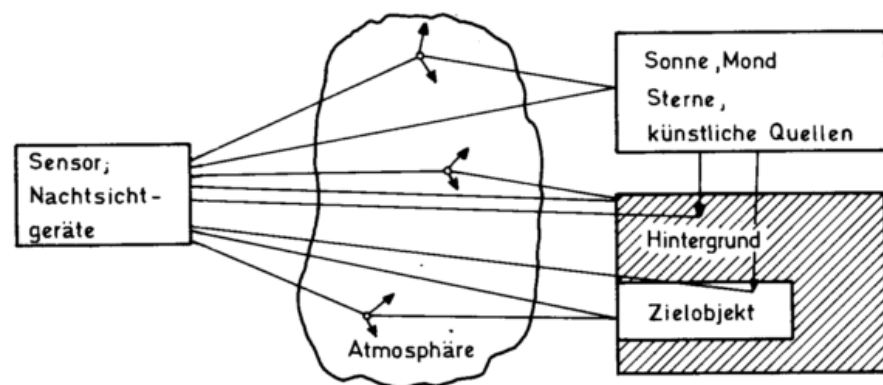


Abb. 1: Blockschaltbild für die Vorgänge bei Nachtsicht-Systemen

werden somit durch meteorologische Parameter beeinträchtigt. Für die Truppe ist die Kenntnis von Art und Größe dieser Beeinträchtigung von hoher Notwendigkeit.

BiV-Brillen-Sichtvorhersage

Im Amt für Wehrgeophysik arbeitet man beispielsweise zur Zeit an der Entwicklung eines Verfahrens zur geophysikalischen Beratung von Hubschrauber-Nachttiefvlügen mit BiV-Brillen (Bildverstärkerbrillen).

Diese Brillen sind hochminiaturisierte Restlichtverstärker von etwa Fernglasgröße, die direkt vor die Augen geschwaltet werden. Mit Hilfe dieser Brillen ist es möglich, einen völlig unbeleuchteten Hubschrauber im Tiefflug durch die dunkle Nacht zu manövrieren. Die Flüge werden als Schleich- oder Konturenflüge nahezu in Baumwipfelhöhe durchgeführt.

Für den Berater ergeben sich mehrere Probleme:

1. In der *Einsatz-Planungsphase* (Formulieren des Einsatzbefehles), d.h. etwa 10–12 Stunden vor Startzeit, ist die Frage zu beantworten, ob ein Flugeinsatz mit BiV-Brillen auf einer vorgegebenen Flugstrecke überhaupt durchführbar sein wird. Aus dem für die folgende Nacht vorhergesagten Wetterablauf muß der Berater bereits vormittags ableiten, ob flugausschließende Wettereinflüsse (Turbulenz, Vereisung, Gewitter) auftreten und ob die Sichtbedingungen für BiV-Brillen einen vorgegebenen Schwellenwert überschreiten werden.
2. In der *Einsatz-Vorbereitungsphase*, d.h. etwa eine Stunde vor Startzeit, wird außer der normalen Flugwetterberatung mit Start-/Landewet-

ter-, Wind-, Turbulenz- und Vereisungsvorhersage die Frage nach den zu erwartenden BiV-Brillen-Sichtbedingungen entlang der Flugstrecke für einen Zeitraum von meist 2–3 Stunden gestellt. Aus astronomischen, meteorologischen, phänologischen und topographischen Daten muß hier eine rasche Aussage über die Orientierungsmöglichkeit im Gelände, die Erkennbarkeit von Hindernissen (Leitungsmasten, Türme, Bäume) und einen möglichen Blendeinfluß von Mondschein und heller Straßenbeleuchtung gegeben werden.

Alle diese Aussagen lassen sich dann zu einem Gesamteindruck der Nachtsichtgeräte bzw. zu einer codierten Nacht-Sichtstufe für den fliegerischen Einsatz von BiV-Brillen zusammenfassen. Eine solche Bewertungszahl ist für die Anwendung bei der Truppe aussagekräftiger und unmißverständlicher als Sichtweiten- und Beleuchtungsstärkeangaben.

3. Eine anschließende detaillierte *Wetterüberwachung während des Fluges* ist für die Absicherung des Einsatzes von gleicher Wichtigkeit wie die zuvor gegebene Einsatzberatung.

Hier müssen von der örtlichen Geophysikalischen Beratungsstelle nicht nur alle verfügbaren Hilfsmittel (Wetterradar, Sonderwettermeldungen, Hilfsbeobachtungsposten u.a.) genutzt werden, sondern es müssen auch fundierte Kenntnisse der lokalen topometeorologischen Effekte vorliegen, d.h. der auf der Flugstrecke durch Untergrund und Bewuchs bewirkten Wettermodifizierungen.

Die verwendeten BiV-Brillen arbeiten vorwiegend im optischen Bereich mit einem Empfindlichkeitsmaximum, das im Rotbereich liegt. Das hat zur Folge, daß z.B. rote Lampen (Hindernissebelegung oder Anti-collision-lights von Flugzeugen) intensiver bzw. auf weitere Entfernung wahrgenommen werden als weiße und gelbe Lampen.

Man darf davon ausgehen, daß die mit dem Auge wahrzunehmenden Sichtverschlechterungen (z.B. Nebel- oder Wolkenbildung) sich ebenfalls bei der BiV-Brillen-Sicht als Verschlechterung auswirken. Wie stark die entsprechende Sichtverschlechterung ist, hängt

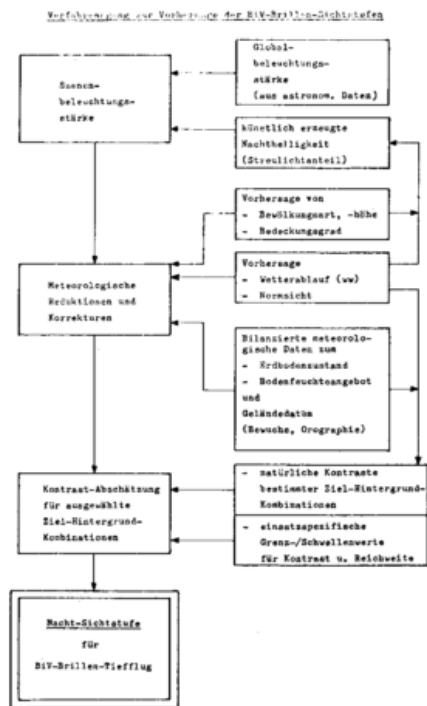


Abb. 2: Verfahrensgang zur Vorhersage der BiV-Brillen-Sichtstufen

nicht mehr nur vom Rückgang der meteorologischen Sichtweite, sondern auch von der Art des Nebels, der Wolken usw. ab, d.h. von den Tröpfchengrößen- und -verteilungen.

Eine Vorhersage dieser BiV-Brillen-Sichtbedingungen ist ein wesentlicher Teil der geforderten Einsatzberatung, denn bei einer örtlichen Sichtverschlechterung unter einen noch festzulegenden Grenzwert muß der Flug abgebrochen werden. Eine Außenlandung des Hubschraubers ist in solchen Fällen beim Flug mit BiV-Brillen kaum noch durchführbar; eine Landung ohne BiV-Brille ist aber völlig unmöglich, da die natürliche Nachtsicht (Augenlicht) bestenfalls einige Meter beträgt.

Es bleibt der Besatzung in solchen Fällen also nur die Einleitung eines Steigfluges und Übergang zum Instrumentenflug mit seinen Gefahren (Vereisung) und Schwierigkeiten (Flugsicherungsprobleme).

In Abbildung 2 ist schematisch der Verfahrensgang für die Vorhersage einer BiV-Brillen-Sichtstufe dargestellt. Als Ausgangswerte gehen dabei die aus astronomischen Daten im Amt für Wehrgeophysik zentral berechneten stündlichen Werte der Globalbeleuchtungsstärke ein. Näheres siehe bei I. Weiss in Promet 4/77. Das dort

angegebene Verfahren einer Nachtsichtvorhersage (für Augenlicht) ist ausschließlich für die Beratung von Bodentruppen anwendbar und berücksichtigt noch nicht die Streulichtanteile und Einflüsse des Erdbodenzustandes und Bewuchses. Diese Globalbeleuchtungsstärken werden entsprechend der jeweiligen lokalen und meteorologischen Gegebenheiten korrigiert bzw. reduziert. Mit Hilfe bekannter Kontraständerungsbeziehungen lassen sich dann für einzelne wichtige Ziel-Hintergrund-Kombinationen die Erkennbarkeits-Reichweiten abschätzen und mit den für den speziellen taktischen Einsatz erforderlichen Mindestwerten für Kontrast bzw. Erkennungsreichweite vergleichen. Eine der nachstehenden Nacht-Sichtstufen ist schließlich festzulegen:

- 1 = Tiefflug ist auch ohne BiV-Brille durchführbar
- 2 = ausgezeichnete Sichtbedingungen, leichter Blendeeinfluß ist möglich
- 3 = gute Sichtbedingungen
- 4 = ausreichend, gute Geländekenntnis erforderlich
- 5 = schwierig, nur bei sehr guter Geländekenntnis noch durchführbar
- 6 = Nachttiefflug mit BiV-Brille nicht durchführbar

Vorstehende Definitionen stellen zunächst nur Vorschläge dar.

Konsequenzen

Es ist sicher, daß der Berater bei den hier genannten Aufgabenkomplexen ohne den Einsatz neuer Beratungsverfahren und -Hilfsmittel überfordert ist. Mit Wetterkarten im Maßstab 1:5 Mill. oder auch 1:2 Mill. (taktische Bereichskarten im GeophysBDBw) ist eine meist lokale und kleinräumige Nachttiefflug-Beratung kaum mehr möglich.

Es wäre hier daran zu denken, für die einzelnen taktischen Einsatzberatungen spezifische, programmierte Beratungsverfahren zu entwickeln, die mit Hilfe kleiner, vorprogrammierter Taschen- oder Tischrechner auf den einzelnen Beratungsstellen angewendet werden können.

Eine möglichst exakte Vorhersage des Wetterablaufes bleibt dem Berater hierdurch natürlich nicht erspart, aber die logisch-richtige Verknüpfung der

vielen Einzeldaten zu einer gezielten Aussage wäre ihm erleichtert.

Aus den von der Truppe verstärkt geforderten Nachteinsatz-Beratungen ergeben sich Konsequenzen auch für die Wetterbeobachtungs- und -meldenetze.

- Mit Einführung der modernen Nachtsichttechnik entsteht ein erhöhter Bedarf an nächtlichen Wetterbeobachtungen. Die Einstellung der Beobachtungen an zahlreichen Stationen während der Nachtstunden ist zukünftig nicht mehr tragbar. Möglicherweise kann hier auch ein verstärkter Einsatz von automatischen Beobachtungsstationen (vereinfachte Ausführungen, Messung einiger weniger Parameter) an besonders interessierenden Geländepunkten mit telemetrischer Datenübertragung zur nächsten Hauptbeobachtungsstation weiterhelfen, wie er in den Meßnetzen von Industrie und Forschungsinstituten seit Jahren praktiziert wird.

- Die bislang beobachteten/gemessenen meteorologischen Parameter reichen in Zukunft nicht mehr aus zur Beratung aller taktischen Einsatzarten. Selbst bei dem einen, hier ausgewählten Beispiel des BiV-Brillen-Einsatzes ist aufgrund von nächtlichen Sichtweite-Schätzungen anhand von unscharf definierten Objekten (Sichtzielen) oder Lampen unbekannter Lichtstärke nur mehr wenig auszusagen.

Weit aussagefähiger bezüglich der atmosphärischen Trübung ist die "Normsicht", die Tag und Nacht nach den gleichen physikalischen Meßvorschriften bestimmt wird.

Zusätzlich werden aktuelle (und vorhergesagte) Daten über Tröpfchen-Hauptstrahlen und Flüssigwassergehalte von Dunst, Nebel und Wolken benötigt, ebenso Niederschlagsintensitäten mit hoher zeitlicher Auflösung (für Mikrowellen- und Radarausbreitungsberatungen).

Solange aus den meteorologischen Routinebeobachtungsnetzen solche Daten nicht zu erhalten sind, muß man sich wohl oder übel mit aus den ww-Verschlüsselungen abgeleiteten Intensitätsangaben behelfen. Das Ziel muß aber eine baldige Erweiterung des Meßprogrammes sein.

G. LÜTKEBOHMERT, Traben-Trarbach

Das interessante Satellitenbild

Strahlstromachsen im Satellitenbild

Strahlstromachsen sind in Satellitenbildern oft gut erkennbar. Das Bild vom 27.01.1979, 13.05z von TIROS-N (der erste Satellit der neuen Generation amerikanischer polarumlaufender Satelliten) ist ein Beispiel dafür, das durch Radiosondenaufstiege zudem belegt ist.

Über Hannover (s. Abb. 1) liegt die Kante hochreichender Bewölkung (mit Schattenwurf) einer Warmfront, die am Boden südlich von München in west-östlicher Richtung verläuft. Die Cross-Section (Abb. 2) von Schleswig nach Meiningen von 12z zeigt die Lage der Jet-Achse fast genau über Hannover. Durch die Zirkulation quer zur Frontalzone in Höhe der Jetachse ergibt sich absinkende Luftbewegung (mit hohen Taupunktdifferenzen) auf der kalten Seite des Jets und Aufsteigen mit Wolkenbildung auf der warmen Seite. So bildet sich entlang der Jetachse die Wolkenkante und das verschneite Norddeutschland ist bis auf ein Nebelgebiet in der Elbmündung weitgehend wolkenfrei.

H. WOICK, Offenbach

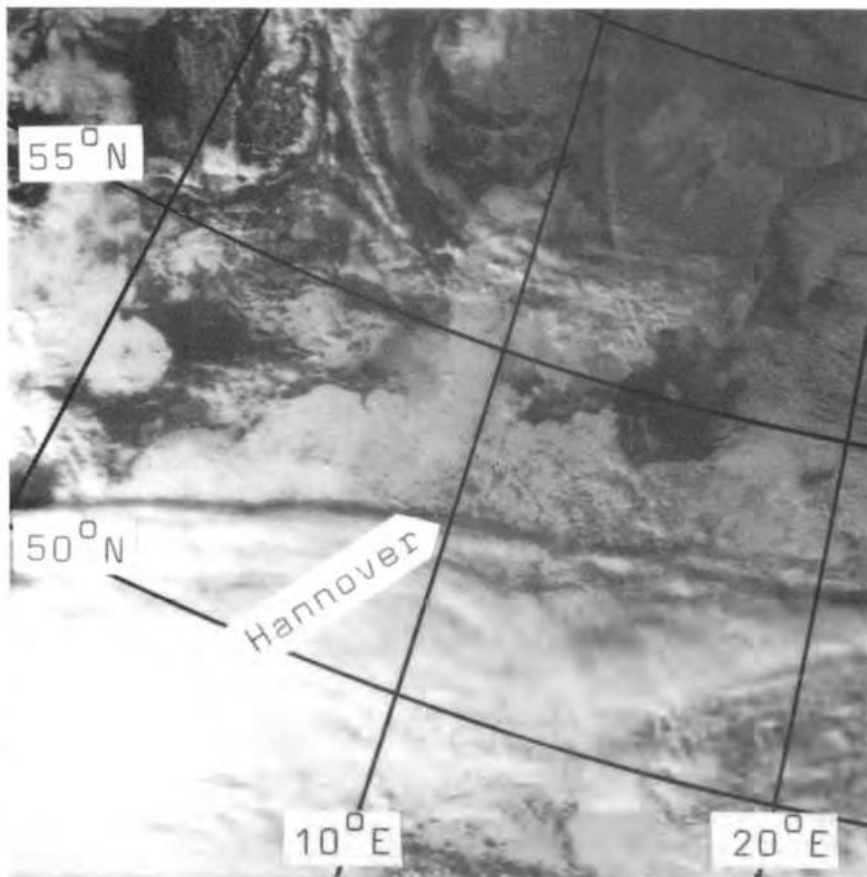


Abb. 1: Aufnahme TIROS-N vom 27.01.1979, 13.05z (Ausschnitt)

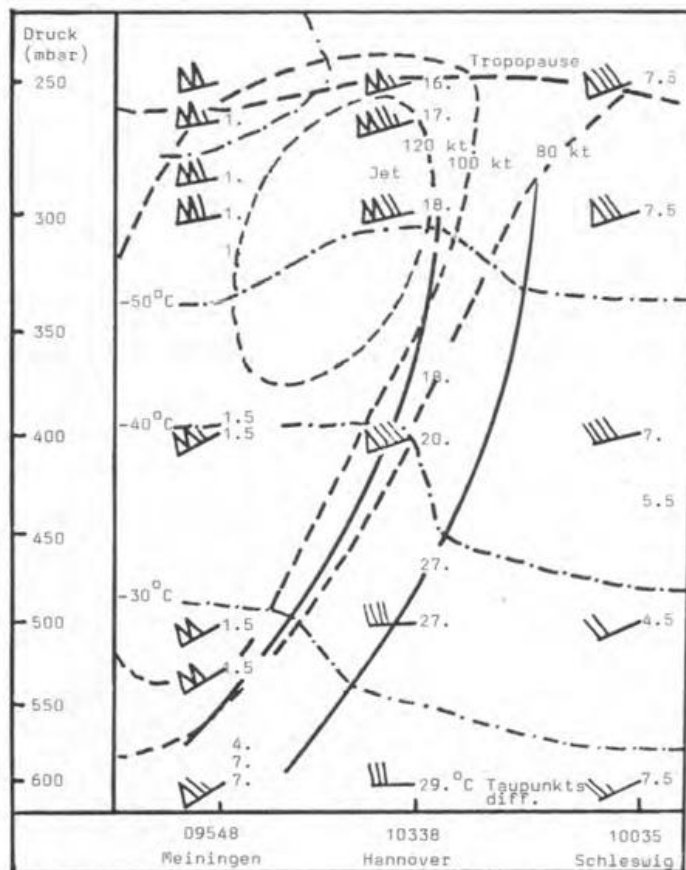


Abb. 2: Cross-Section vom 27.01.1979, 12z.

Literatur

KURZ, M.: Synoptische Meteorologie. Leitfäden f. d. Ausbildung im DWD Nr. 8 (1977) S. 46 ff.

100jährige Wiederkehr der Gründung der Bayerischen Meteorologischen Centralstation

Am 6. Oktober 1878 genehmigte König LUDWIG II. auf Schloß Berg einen "Allerunterthänigsten Antrag von Seiten des Staatsministerium des Innern, für Kirchen- und Schulangelegenheiten, die Errichtung einer meteorologischen Centralstation in München mit 34 Beobachtungsstationen an verschiedenen Orten Bayerns betreffend." Damit war der Form nach die Meteorologische Centralstation, 1917 in Bayerische Landeswetterwarte umbenannt, gegründet worden. Die Beobachtungen von ursprünglich 32 meteorologischen Stationen, wir würden heute Klimastationen sagen, wurden ab 1. Januar 1879 regelmäßig durchgeführt und erstmals im Jahre 1880 veröffentlicht *). Der amtliche Wetterdienst in Bayern blickt damit auf eine 100jährige Tradition zurück.

Aus Anlaß dieses Ereignisses hatte der Präsident des Deutschen Wetterdienstes ehemalige und jetzige Mitarbeiter, Vertreter von Behörden und Institutionen aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verkehr, mit denen der Deutsche Wetterdienst eng zusammenarbeitet, zu einem Festakt in der Bayerischen Akademie der Wissenschaften am 23. November 1978 eingeladen. Ein Empfang der Bayerischen Staatsregierung, vertreten durch den Staatssekretär Dr. Georg Freiherr von WALDENFELS, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr, in der Residenz schloß sich daran an.

Die Bayerische Meteorologische Centralstation ist, wie die Deutsche Seewarte und die Centralstationen, Wetterbüros bzw. Landeswetterwarten in anderen Ländern des ehemaligen Deutschen Reiches, eine der Wurzeln des heutigen Deutschen Wetterdienstes. Erstmals war mit ihr eine eigene Behörde in Bayern geschaffen worden, der die Betreuung eines Meßnetzes für wissenschaftliche und praktische Zwecke anvertraut worden war. Der Aufbau des Netzes konnte rasch erfolgen, weil es Vorgänger gegeben hat-

te. Die Pfälzische Meteorologische Gesellschaft hatte 1780 die ersten Stationen gegründet. In der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts gab es die Versuche, über die Kreisärzte und die Akademie der Wissenschaften Beobachtungsnetze zu schaffen und zu unterhalten. Der Astronom J. v. LAMONT und der Forstwissenschaftler E. EBERMAYER schufen 1841 bzw. 1864 eigene Netze. Aus diesen Netzen konnte die neue Anstalt einen Grundstock von Stationen bilden.

Den letzten Anstoß zur Gründung der Centralstation gab 1873 der Wiener Internationale Meteorologen-Kongreß. Der Antrag erfolgte auf Anregung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, der die Centralanstalt noch Jahrzehnte angegliedert blieb. Darin wird die Schaffung der Centralstation mit ihrem Beobachtungsnetz u.a. wie folgt begründet: "Die Meteorologie ist eine Wissenschaft, welche in den letzten 40 Jahren einen außerordentlichen Aufschwung genommen hat... Sie besitzt nicht nur an sich und wegen darauf fußenden physikalischen Geographie und Klimatologie hohes wissenschaftliches Interesse, sondern auch eine eminent praktische Bedeutung. Abgesehen von dem unberechenbaren Nutzen, welche die Schifffahrt schon jetzt aus der Meteorologie zieht, ist eine rationelle Land- und Forstwirtschaft und eine wirksame Gesundheitspflege in vielfachen Beziehungen ohne meteorologischer Grundlage nicht möglich ... Die Resultate der meteorologischen Untersuchungen sind aber nur dann verwertbar, wenn sie von einer genügenden Anzahl sorgfältig ausgewählter Stationen in jedem Lande geliefert werden, die Beobachter nach einem einheitlichen Plan und mit genau verglichenen Instrumenten arbeiten, und wenn ihre Beobachtungen in möglichst einheitlicher übersichtlicher Form rasch veröffentlicht werden." Gewiß auch heute noch gültige Grundsätze!

Die Centralstation begann mit einem außerordentlichen Zuschuß von 12.500 Mark und ab 1879 mit einer "Personalexigenz" von 14.800 Mark und einer "Realexigenz" von 8.600

Mark jährlich. Zum ersten Direktor wurde Prof. Wilhelm v. BEZOLD bestimmt, der 1885 einem Ruf nach Berlin folgte. Er begann seine Arbeit mit dem Adjunkten und seinem Nachfolger Dr. Carl LANG und dem Hausdiener IRLBECK in der Gabelsbergerstraße, in der sich 1934 immer noch die Landeswetterwarte mit 21 Mitarbeitern befand. Ein eigenes Gebäude ist ihr nie beschieden gewesen. Die Zahl der betreuten Klimastationen war auf 69 angewachsen. Das eigentliche Niederschlagsnetz gehörte ab 1898 zum Hydrotechnischen Büro (Landesstelle für Gewässerkunde). Heute gibt es in Bayern einschl. der hauptamtlichen Stationen 129 Stationen mit laufenden Beobachtungen sowie 881 Niederschlagsmeßstellen.

Die Aktivitäten des Dienstes wuchsen sehr rasch über die Betreuung des Beobachtungsnetzes hinaus. Schon 1881 wurde die Vorhersagetätigkeit aufgenommen, wobei die Prognosen durch Zeitung, Post und Telegramm, ab 1924 auch durch den Rundfunk verbreitet wurden.

Schon Ende des vorigen Jahrhunderts wurden unter Dr. Fritz ERK, der nach Carl Lang die Centralstation von 1893 bis 1909 leitete, die wissenschaftlichen Ballonfahrten durchgeführt. Ab 1903 fanden dann laufend die berühmten Münchener Registrierballonfahrten statt, die Ende der 20er Jahre durch die Wetterflüge in Nürnberg-Fürth und München ergänzt wurden. Die dritte Dimension der Atmosphäre wurde auch durch Beobachtungen auf Bergstationen wie auf der Zugspitze (seit 1900) und dem Kalmit sowie mehreren anderen Stationen vom Wendelstein bis in den Bayerischen Wald erfaßt. Diese aerologischen Beobachtungen lieferten nicht nur der Wissenschaft viele neue Erkenntnisse, sondern waren auch für den Flugwetterdienst bedeutsam, für den in Fürth 1921 die erste Flugwetterwarte Deutschlands eingerichtet wurde.

Die Centralstation und später die Landeswetterwarte hatten von 1909 bis 1934 in Prof. Dr. A. SCHMAUSS einen Direktor, der sie zu einer der führenden wissenschaftlichen Institutionen auf dem Gebiet der Meteorologie in Deutschland machte. Ihm ist u.a. auch die Einrichtung des von Prof.

*) „Beobachtungen der meteorologischen Stationen im Königreich Bayern, 1. Jahrgang 1879“, München 1880.

R. GEIGER geschaffenen Fachgebietes der Mikrometeorologie und Forstmeteorologie zu verdanken.

Im Jahre 1934 ging die Bayerische Landeswetterwarte, wie alle anderen Landeswetterwarten, in den Reichswetterdienst auf. Die Entwicklung des Nachrichtenwesens, des Verkehrs,

besonders der Luftfahrt, erforderten einen einheitlichen Wetterdienst im Deutschen Reich, den schon Prof. LINKE 1929 für notwendig hielt. Der Direktor der Landeswetterwarte, Prof. Dr. A. SCHMAUSS, behielt nur seinen Lehrstuhl an der Universität München, wo er weiter erfolgreich forschend und lehrend tätig war. Einen eigenen bayer-

ischen Wetterdienst hat es danach nicht mehr gegeben; ein Versuch gleich nach dem 2. Weltkrieg scheiterte am Einspruch der Besatzungsmacht. Die weitere Geschichte des Wetterdienstes in Bayern deckt sich mit der Geschichte des Deutschen Wetterdienstes nach dem 2. Weltkrieg.

J. van EIMERN, München

Zum Berufsbild des Meteorologen und Wetterberaters

Der Meteorologe als Dozent im Fachbereich Seefahrt

Die Ausbildung der Kapitäne und Schiffsoffiziere in der großen Fahrt (AG), d.h. weltweit mit allen Schiffsarten, wird heute an Fachhochschulen durchgeführt und zwar im Fachbereich Seefahrt. Ihm sind meist Fachschulzüge für die Ausbildung der Nautiker in mittlerer und kleiner Fahrt (AM bzw. AK) angeschlossen. Das mittlere Fahrtgebiet reicht bis ins Mittelmeer, die kleine Fahrt bis zum Ärmelkanal und der Irischen See. Es ist notwendig, den Nautikern in ihrer Ausbildung meteorologische Kenntnisse zu vermitteln, die sie nicht nur befähigen, die Wetterberichte zu verstehen, sondern auch aus dem Beobachten des Wetters und den an Bord vorhandenen Informationen eigene Prognosen zu erstellen, insbesondere, wenn Wetterberichte nicht vorliegen oder aber das beobachtete Wetter nicht mit dem im Wetterbericht geschilderten übereinstimmt.

Etwa 1956 eröffnete sich im Fachbereich Seefahrt der Dozentenberuf auch dem Meteorologen, wobei allerdings erwartet wurde, daß dieser außerdem andere Ausbildungsfächer übernahm, z.B. Physik, Mathematik oder Navigation. Bis dahin war der Wetterkunde-Unterricht an den Seefahrtsschulen entweder von Naturwissenschaftlern oder von Kapitänen durchgeführt worden, die in besonderen Lehrgängen ("Seewarten-Kursen") für diese Aufgabe vorbereitet worden waren.

Nach der Gründung der Fachhochschulen übernahm der Fachbereich Seefahrt die Ausbildung der Nautiker

in der großen Fahrt, wobei sehr bald die früher zweigeteilte theoretische Ausbildung (A5 und A6) in ein durchgehendes, sechssemestriges Studium (AG) umgewandelt wurde. Die notwendige praktische Fahrzeit der jungen Nautiker wurde vor das Studium gelegt, wobei der Offiziersanwärter gleichzeitig in die Tätigkeit als Wetterbeobachter auf See eingewiesen wird, als der er später als Schiffsoffizier zur Erfüllung der internationalen Pflichten der Handelsschiffahrt beitragen muß. Die in dieser Vorausbildung erworbenen Grundkenntnisse müssen im Studium dann ausgeweitet und vertieft werden, wobei dem Nautiker bewußt werden muß, daß von der Güte seiner

Arbeit als Wetterbeobachter auf See die Güte der Wetterberichte in seinem jeweiligen Fahrtgebiet entscheidend beeinflusst werden kann.

Ehe auf die meteorologische Ausbildung der Nautiker und damit die Aufgaben der Meteorologie-Dozenten näher eingegangen wird, soll auf die Einstellungs Voraussetzungen hingewiesen werden, wobei hier in Anlehnung an die Bestimmungen des Hamburger Fachhochschulgesetzes vorgegangen werden soll. In anderen Küstenländern sind die Verhältnisse wegen der Anbindung an das Hochschulrahmengesetz ähnlich. Es muß aber erwähnt werden, daß z.Zt. die Dozenten der Hamburgischen Fachhochschule noch nicht den Professorentitel führen, den in Bremen und Niedersachsen bereits vor längerer Zeit ein großer Teil der Dozenten verliehen bekam. Bemerkenswert sei weiterhin, daß sich die entsprechenden nautischen Ausbildungsstätten in Bremen und Bremerhaven "Hochschule für Nautik" nennen und selbstständige Institute sind.



Abb. 1: Wetterinformationsstand in der Eingangshalle des Fachbereichs Seefahrt in Hamburg

Der Bewerber muß seine Hochschulbildung mit gutem Erfolg abgeschlossen (Diplom-Meteorologe) und möglichst promoviert haben. Außerdem muß er eine pädagogische Eignung nachweisen, z.B. durch die akademische Lehrbefähigung. Eine Tätigkeit als Hochschulassistent erfüllt diese Anforderung. Bei aus der meteorologischen Praxis kommenden Bewerbern ist eine mindestens fünfjährige Tätigkeit nachzuweisen, wobei natürlich die Aussichten von Bewerbern, die im Seewetteramt und womöglich auch als Bordmeteorologen gearbeitet haben, besonders gut sind. Weiterhin fordert das Hochschulgesetz a) besondere Befähigung zu wissenschaftlicher Arbeit und darüberhinaus b) zusätzliche Leistungen. Die Befähigung zu a) wird durch eine überdurchschnittliche Promotion oder eine gleichwertige wissenschaftliche Leistung erwiesen, die zusätzliche Leistung zu b) durch eine Habilitation oder gleichwertige wissenschaftliche Leistung oder durch besondere Leistungen bei der Anwendung oder Entwicklung wissenschaftlicher Erkenntnisse und Methoden in mindestens 5jähriger Tätigkeit, davon mindestens 3 Jahre außerhalb der Hochschule. Diese Anforderungen beziehen sich auf das am 1.1.1979 in Kraft getretene Hamburgische Hochschulgesetz.

Gewünscht ist eine praktische Erfahrung in ausreichender Fahrzeit auf See, die auch während der Tätigkeit im Fachbereich Seefahrt erworben werden kann, wobei dann aber die Seereisen in den Semesterferien gemacht werden müssen. Im allgemeinen stellen Reedereien Plätze auf ihren Schiffen zur Verfügung, wobei der Dozent entweder als Gast der Reederei kostenfrei oder gegen eine Beteiligung an den Verpflegungskosten mitfährt.

Der Dozent für Meteorologie braucht heute keine zusätzliche Lehrbefähigung in anderen Fächern mehr. Es ist aber notwendig, daß er in der Navigation so bewandert ist, daß er die Grundlagen der meteorologischen Navigation in ihrer ganzen Breite beherrscht. Dazu gehören mindestens: Kursbestimmung, Kursverwandlung, Besteck-, Strom- und Großkreisrechnung. Außerdem sollen ihm die Verfahren der technischen Navigation geläufig und die geophysikalischen Einflüsse darauf bekannt sein. Die Verwendungsmöglichkeit des Radargerätes als Hilfsmittel zur Ortung von Fronten, markanten Böen und tropi-

schen Orkanen, sowie dessen Störungen durch meteorologische Einflüsse müssen ihm selbstverständlich auch bekannt sein.

Aus der Ozeanographie sind vor allem die Gebiete Seegang, Meeresströmungen, Eis und Eisberge wichtig; aber auch über Salzgehalt, Dichte des Meerwassers, Oberflächen- und Tiefentemperaturen sind ausreichende Kenntnisse erforderlich. Wenn auch die Laderaummeteorologie weitgehend im Fach Seemannschaft behandelt wird, so muß doch der Meteorologe die Grundlagen dazu vermitteln. Hier sind wegen der Verschiedenheit der Ladungsgüter und der meteorologischen Einflüsse chemische Grundkenntnisse wichtig.

Die **Stoffpläne** der meteorologischen Ausbildung der Nautiker enthalten folgende Gebiete:

Fachbereich Seefahrt

AG, Meteorologie I (4h/Woche im 3. oder 4. Semester): Aufbau, Wärme und Wasserhaushalt der Atmosphäre; Luftdruck, Wind, Wetterelemente; Grundlagen der Laderaummeteorologie. Planetarisches Windsystem, Meeresströmungen; meteorologische Instrumente an Bord, Schiffswettermeldung; Zyklonentheorie, Boden- und Höhenwetterkarten, Zeichnen von Bordwetterkarten; Seegang, Seegangskarten; tropische Stürme und Orkane; Wetterberichte, Warndienste.

Meteorologie II (2h/Woche im 4. oder 5. Semester): Grundlagen der Wettervorhersage; Analyse und Vorhersage des aktuellen Wetters; Wetterdienst und WMO; Unterlagen für die meteorologische Arbeit an Bord; Eis auf den Weltmeeren; meteorologische Navigation, Routenwahl und Routenberatung; Übungen in der Wettervorhersage.

Exkursion: Seewetteramt.

Fachschulzug

AM, Wetterkunde (4h/Woche im 3. Semester): Die Grundgrößen des Wetters; meteorologische Instrumente, Messungen, Beobachtungen, Wetterschlüssel. Wetter und Klima. Planetarisches Windsystem. Hoch- und Tiefdruckgebiete, Zyklonen. Typische lokale Winde und Stürme. Das Wetter in tropischen Orkanen. Meeresströmungen, Seegang, Seegangskarten. Analysenfunk und Bordwetter-

karten. Wetterdienst. Eis auf den Weltmeeren, Eisdienst.

Bemerkung: Die Einbeziehung außer-europäischer meteorologischer Erscheinungen in die AM-Ausbildung ist notwendig, weil Kapitäne AM auch als Wachoffiziere in weltweiter Fahrt eingesetzt werden können.

AK, Wetterkunde (4h/Woche im 3. Semester): Wetter und Klima; die Wetterelemente, ihre Beobachtung und Messung. Druckgebilde, Luftmassen, Fronten, Zyklonen; planetarisches Windsystem. Typische Wetterlagen im europäischen Bereich. Übungen im Auswerten von Wetterberichten und Wetterkarten. Nebel- und Sturmwarnungen, Eismeldungen. Seewetterdienst. Grundlagen meteorologischer Navigation im Bereich europäischer Randmeere. Meeresströmungen im europäischen Raum.

Die AG Ausbildung läuft über 6 Semester (Regelstudienzeit). Die Studenten belegen die im Regelstudium geforderten Fächer nach eigener Wahl bei den im jeweiligen Semester anbietenden Dozenten. Am Ende jedes Semesters ist der erfolgreiche Besuch der Veranstaltung durch eine Klausur nachzuweisen, die der Dozent beurteilt. Die Termine für die Klausuren werden durch die Prüfungskommission festgelegt. Wird die Klausur nicht ausreichend beurteilt, kann sie zu Beginn des nächsten Semesters wiederholt werden. Reichen die Leistungen auch dann nicht aus, muß der Student die Veranstaltungen erneut belegen. Bei der Meldung zum Abschlußexamen sind die erworbenen Scheine über die Einzelfächer mitinzureichen. Das Abschlußzeugnis enthält außer den Fachnoten die Leistungsnachweise, sowie Thema und Beurteilung einer größeren Abschlußarbeit. Es schließt mit einer Gesamtnote. Außerdem erhält der Absolvent eine Graduierung zum Wirtschaftsingenieur für Seeverkehr. In Bremen und Bremerhaven erfolgt die Graduierung zum Diplom-Nautiker. Nach Vorlage des Abschlußzeugnisses erhält der Nautiker beim Seemannsamt sein Patent als "Schiffsoffizier auf großer Fahrt (AGW)", das nach 2 Jahren Fahrzeit als Wachoffizier in das Patent "Kapitän auf großer Fahrt" umgewandelt wird. —

Neben der Lehrtätigkeit bietet sich dem Dozenten im Fachbereich Seefahrt ein weites Arbeitsfeld an: Er ist intern auf eine enge Zusammenarbeit mit den Kollegen der Fachgebiete Physik, Seemannschaft, Navigation

und Chemie angewiesen, für die er als Fachmann auf geophysikalischem Gebiet an der Lösung übergreifender Probleme mitarbeiten kann. Nach außen kann er nicht nur als Kontaktperson zum Wetterdienst wirken, sondern durch praxisbezogene wissenschaftliche Arbeiten an der Entwicklung der meteorologischen Navigation, an der Verbesserung der meteorologischen Versorgung der Schifffahrt durch die Wetterdienste, sowie der Ausweitung der Kenntnisse über meteorologische Einflüsse auf Schiffsbetrieb und Ladung tätig sein. Darüberhinaus bleibt es ihm unbenommen, im Rahmen seiner Interessengebiete in der Meteorologie Forschung zu betreiben.

Für die Veröffentlichung praxisbezogener Arbeiten gibt es eine Reihe von Fachzeitschriften, von denen hier einige genannt seien: "Der Wetterlotse", "Der Seewart", "Hansa", "Schiff und Hafen", "Deutsche Küstenschifffahrt". Letztere versorgt vor allem die Seeleute der mittleren und kleinen Fahrt mit Informationen. Da der Dozent im Fachbereich Seefahrt aber auch im angeschlossenen Fachschulzug lehren kann, findet er aus den dabei gemachten Erfahrungen Gelegenheiten, hier auch an der Information der fahrenden Nautiker über die Lösungen ihrer Probleme mitzuwirken.

Die Arbeitsbedingungen im Fachbereich Seefahrt sind gut. Für die Meteorologie steht in Hamburg ein eigener Hörsaal zur Verfügung, der mit Anzeigeräten für Wind, Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit, einem Registriergerät "Combimet", Barograph und verschiedenen Barometern, sowie Diaprojektor, Overheadprojektor und einer Fernsehanlage mit drei Monitoren ausgerüstet ist, mit deren Hilfe man den Hörern Wetterkarten und anderes Anschauungsmaterial vorführen kann. Für Filmvorführungen ist ein gesonderter Hörsaal des Fachbereiches verfügbar. Im Vorbereitungs- und Sammlungsraum der Meteorologie befindet sich ein Hellfaxgerät mit Funkempfänger zur Aufnahme aktueller Wetterkarten, das auch automatische Aufnahmen außerhalb der Dienststunden nach freier Wahl ermöglicht. Weiterhin besteht die Möglichkeit, über den angeschlossenen Fachschulzug der Bordfunkerausbildung aktuelle Wetterberichte und Analysen aufnehmen zu lassen.

Die Verhältnisse in der Seeschifffahrt bedingen, daß die meteorologische Ausbildung der Nautiker ihren Schwerpunkt auf die synoptische Meteorologie legen muß. Sehr wichtig ist dabei die Beobachtung des Himmels. Da die nautischen Ausbildungsstätten für die

Ausbildung in astronomischer Navigation durchweg über sehr gut gelegene Aussichtsplattformen verfügen, kann der Meteorologe hier den Hörern oft durch direkte Anschauung die Verbindung zwischen der Beobachtung und der Wetterlage bzw. speziellen theoretischen Deutungen vermitteln.

Die Lehrverpflichtung des Dozenten umfaßt 18 Stunden pro Woche zu je 45 Minuten, die meist zu Doppelstunden zusammengelegt sind. Der Umfang seiner wissenschaftlichen Tätigkeit neben der Lehre ist nicht festgelegt. Es wird erwartet, daß der Dozent an den Aufgaben der Selbstverwaltung mitarbeitet. In seinem Fach kann er Auswahl und Beschaffung des Lehrmaterials im Rahmen der gegebenen finanziellen Möglichkeiten bestimmen. Der Fachbereich besitzt eine umfangreiche Fachbibliothek. Der Umfang der meteorologischen Literatur wird wesentlich von den Anforderungen des Fachdozenten für sein Fach bestimmt.

Der Bedarf an Meteorologie-Dozenten ist natürlich gering, da jeder Fachbereich Seefahrt dafür nur eine Dozentenstelle hat. Der Wetterkunde-Unterricht an den Fachschulzügen wird weitgehend von Dozenten der Physik und Navigation erteilt.

H. PRÜGEL, Hamburg

Institute stellen sich vor

Habilitationen, Promotionen und Diplom-Hauptprüfungen im Fach Meteorologie an den Universitäten der Bundesrepublik Deutschland und West-Berlins im Jahre 1978

Freie Universität Berlin

Diplom-Hauptprüfungen

BUCHWALD, K.-D.

Eine synoptische Klimatologie der Polarregion mit Hilfe der Spektralanalyse von Radiosondendaten (1956–1960).

GABLER, Th.-A.

Eine synoptische Klimatologie der Stationen Athen, Belgrad, Stockholm und Sodankyla mit Hilfe der Spektral-

analyse von Radiosondendaten (1956–1960).

GOERKE, R.

Über die Abhängigkeit und Auswirkung von Kühlschwadern am Beispiel des Heizkraftwerkes Berlin-Lichterfelde.

HEIMANN, D.

Ein einfaches Modell zur Simulation regionaler Windsysteme.

HOHENFELDT, R.-D.

Oberflächentemperaturbestimmungen mit dem Strahlungsthermometer KT 4.

KERATH, G.

Eine Untersuchung zum Bioklima Berlins.

KRAUSE, J.

Eine spektrale Untersuchung der Berliner Radiosondenaufstiege (Winter/Jahr 1965–1977).

MÖLLER, H.-J.

Untersuchungen über die mittlere tägliche Maximumtemperatur in Sp- und S-Luftmassen für Berlin-Dahlem und deren Vorhersage.

MÜLLER, K.

Eine synoptische Klimatologie der Stationen Aughton, Berlin, Smolensk und Wakkanai mit Hilfe der Spektralanalyse von Radiosondendaten (1956–1960).

OTT, W.

Methoden der spektralen Korrelationsanalyse.

SCHERER, B.

Ein einfaches Modell zur Berechnung von Kühlturmschwaden.

TEPPER, H.

Untersuchung der SO₂-Immissionssituation West-Berlins und der Bedeutung der SO₂-Advektion von externen Quellen bei südlichen Windrichtungen.

WÜMLING, D.

Eine spektrale Untersuchung der Berliner Radiosondenaufstiege (Sommer/Jahr 1965–1977).

Universität Bonn

Promotionen

BAADER, H.-R.

Eine Klimatologie des Ersten Hauptsatzes.

DEDENBACH, D.

Ein numerisches Verfahren zur Lösung des Gleichungssystems stationärer Klimamodelle mit hoher spektraler Auflösung und seine Anwendung auf ein globales zonalsymmetrisches Bilanzmodell der Atmosphäre.

FLEER, H.

Statistische Analysen und Telekonnectionen der Niederschlagsschwankungen in der Tropenzone. (Ein Beitrag zur Kenntnis der Walker-Zirkulation.)

Diplom-Hauptprüfungen

BONANATI, N.

Die 27tägige Schwingung der zonalen m=2 Welle – ein Leuchtturmeffekt der Sonne?

HILLEBRAND, Ch.

Statistische Untersuchungen von Niederschlagsreihen in Mitteleuropa und von Gebietsmitteln für den Niederrhein.

KATZSCHNER, L.

Der Energieübergang Meer–Luft: Ströme fühlbarer und latenter Wärme anhand der Daten des Feuerschiffs "Elbe I".

SCHUMACHER, P.

Ein Vergleich der Wolkenbedeckung zwischen Bodenbeobachtungen und Satelliten-Bildern mit Hilfe von sogenannten "All-Sky-Photos".

SCHWEITZER, B.

Variabilität und räumliche Korrelation des Niederschlags im indischen Subkontinent.

TREIS, V.

Der Einfluß von Wolken auf die solaren und terrestrischen Strahlungsflüsse – Eine Empfindlichkeitsuntersuchung – und die Einführung eines neuen Wolkenmodells.

TREMPEL, U.

Eine klimatologische Auswertung der meteorologischen Beobachtungen deutscher Handelsschiffe vor der Westküste Südamerikas im Zeitraum 1869–1970.

Technische Universität Braunschweig

Promotion

REHN, H.-W.

Schrägausbreitung von Wellen im heißen Plasma des solaren Windes.

Diplom-Hauptprüfung

GRÜNEWALD, K.

Bestimmung von Strömen aus feldlinienparallelen Teilchenflüssen $E \ll$

40 keV und der mit diesen Strömen einhergehenden Magnetfelder.

Technische Hochschule Darmstadt

Diplom-Hauptprüfungen

EIFLER, N.

Simulation der atmosphärischen Grenzschicht mit einem "Second-Order-Closure"-Modell im trockenen Fall.

FUCHS, H.

Bestimmung der Globalstrahlung aus synoptischen Bodenbeobachtungen.

GERTH, W.P.

Empirische Eigenvektoren zur Vorhersage des Bewölkungsgrades.

HAAS, W.

Bestimmung von Ausbreitungsklassen (Schadstoffkonzentrationen).

HEESE, M.

Zur Berechnung von Vertikalgeschwindigkeit und Druckstörung in mesoskaligen Simulationsmodellen mit unterschiedlicher oberer Randbedingung.

MAIER, U.

Simulation einer feuchten atmosphärischen Grenzschicht durch ein "Second-Order-Closure"-Modell.

WEINGÄRTNER, H.

Der Zusammenhang zwischen Bodewind und geostrophischem Wind in Abhängigkeit von Richtung und Betrag des geostrophischen Windes, thermischer Schichtung, Baroklinität und Orographie.

Universität Frankfurt a.M.

Promotionen

GROSCH, M.L.

Ein Beitrag zur Konstitution atmosphärischer eisbildender Kerne.

PRENOSIL, Th.

Untersuchungen zur Bestimmung der universellen Funktionen der Monin-Obuchow-Theorie aus einem "Second-Order-Closure"-Modell für die Prandtl-Schicht.

Diplom-Hauptprüfungen

CLAÛDE, H.-J.

Untersuchung der Konzentrationsverteilung von Schwefelwasserstoff in der unteren Troposphäre.

KIRSCH, B.

Zusammenhänge zwischen Drucktendenz und Vertikalbewegungen im Mesoscale. Bedeutung tageszeitgebundener Wettervorgänge.

MAHLER, J.

Der Einfluß der Orographie auf die Nebelbildung und die Häufigkeit gleichzeitigen Nebelauftretens an mehreren Stationen.

MÖLLER, H.

Experimentelle Untersuchung zur Auswaschung von Spurenstoffen aus der Atmosphäre durch natürlichen Niederschlag.

NEUBER, E.

Messung leichter Kohlenwasserstoffe in der Atmosphäre.

PERSEKE, C.

Die Gesamtschwefeldeposition in der Bundesrepublik Deutschland auf der Grundlage von Meßdaten des Jahres 1974.

PRENOSIL, Th.

Die Bestimmung der "universellen" Funktionen der Monin-Obuchow-Theorie aus einem numerischen Prandtl-Schicht-Modell.

ROHBOCK, E.

Messung des gasförmig organischen Bleianteils in verunreinigter Atmosphäre.

ROOS, M.

Der Kohlendioxidaustausch Atmo-

sphäre-Ozon nach Messungen auf dem Nordatlantik.

ZENNER, J.

Kritische Bewertung der Theorien über die Entstehung und Verbreitung nachleuchtender Wolken und Perlmutterwolken.

Universität Freiburg

Promotion

SCHOTT, R.

Untersuchungen über die Energiehaushaltskomponenten in der atmosphärischen Grenzschicht am Beispiel eines Kiefernbestandes in der Oberrheinebene.

Universität Göttingen

Diplom-Hauptprüfungen

BROLL, A.

Sondierungen der thermodynamischen Struktur der atmosphärischen Grenzschicht.

KRENZIEN, E.

Halbtägige solare Gezeiten in der atmosphärischen Grenzschicht.

PINTEROWITSCH, W.

Das luftelektrische Feld – Konstruktion und Test einer geeigneten Meßapparatur.

Universität Hamburg

Promotion

PETERS, G.

Über die Entwicklung eines indirekten akustischen Meßverfahrens für das Windfeld in der planetarischen Grenzschicht.

Diplom-Hauptprüfungen

GEBAUER, M.

Emission von Wolken im Mikrowellenbereich elektromagnetischer Strahlung.

HILL, H.-G.

Untersuchungen über Windmaxima innerhalb der stabilen Grenzschicht.

PAETZOLD, D.

Statistische Untersuchungen der numerischen Routine-Vorhersagen des Baroklinen Trockenen Modells des Deutschen Wetterdienstes.

PROBST, C.-S.

Untersuchungen über nichtlineare Wellenwechselwirkungen in einem verarmten barotropen Spektralmodell.

SCHLESE, U.

Der Einfluß der turbulenten vertikalen Flüsse sensibler Wärme am Boden auf die Zyklonenentwicklung in einem numerischen Modell.

SCHRÖTER, J.

Versuch einer Objektivierung bekannter Stabilitätskriterien mit Hilfe vorhandener Mastprofilmessungen.

Technische Universität Hannover

Diplom-Hauptprüfungen

BANGERT, H.

Die relative Nachtfrostgefährdung in Nordwestdeutschland und ihre Vorhersagbarkeit.

GOEDECKE, H.

Zum Wärmehaushalt von einzelnen, dünnen Blättern im Freiland, in Gewächshäusern und Klimakammern.

HAAKE, B.

Starkwindfelder auf der Rückseite von Zyklonen und der Einfluß des Twisting-Terms auf ihre Entstehung.

KÖHLER, K.-H.

Vergleichende Untersuchungen zum Bodenwärmestrom und zur Temperaturverteilung in drei verschiedenen Straßenabschnitten und einer Wiese während der Wintermonate.

LÖPMEIER, F.-J.

Sandtransport auf Dünen.

Universität (TH) Karlsruhe

Diplom-Hauptprüfungen

AXENFELD, F.

Profile von Wind, Temperatur und Feuchte in der atmosphärischen Grenzschicht.

KEMPF, F.

Der thermodynamische Energiehaushalt eines Luftvolumens in Tsumeb (SWA).

MAST, G.

Universelle Profile der planetarischen Grenzschicht eines Steppengebietes in der Trockenzeit.

MÖCKEL, Ch.

Ozon – seine Entstehung, Verteilung und Abhängigkeit von meteorologischen Parametern.

SCHMIEDERER, A.

Statistische Analyse der lokalklimatischen Verhältnisse im Bereich einer Hangaufforstung bei Tauberbischofsheim.

SIEGLE, B.

Die Luftbewegung im Rheintal bei Karlsruhe.

Universität Kiel

Diplom-Hauptprüfungen

EHRHARDT, O.

Eine Klimatologie der Kieler Bucht.

MENGELKAMP, H.T.

Wind-, Temperatur- und Feuchteprofile über der Ostsee während eines Meßprojektes "Kieler Bucht" 1976. (Ber. IfM-Kiel Nr. 50.)

OSTHAUS, A.

Die Struktur der stehenden Temperatur- und Geopotentialwellen im Januar und Juli und die durch sie hervorgerufenen Transporte von sensibler Energie und Drehimpuls. (Ber. IfM-Kiel Nr. 46.)

STRÜFING, R.

Die Struktur der atmosphärischen Temperatur- und Geopotentialwellen

und die durch sie hervorgerufenen Transporte von sensibler Energie und Drehimpuls während eines vierteljährigen Winterzeitraumes November 1967 – Januar 1968. (Ber. IfM-Kiel Nr. 52.)

Universität Köln

Promotionen

KERSCHGENS, M.

Berechnungen des solaren Strahlungstransportes in Atmosphäre und Ozean mit Hilfe einer Zweistrommethode.

SPOHR, G.-U.

Messungen der Polarisation von Streulicht über Wasserflächen.

Diplom-Hauptprüfungen

MOESER, W.

Bestimmung der effektiven Bedeckung und der Höhe von Wolken mit Hilfe einer bispektralen Methode unter Verwendung von Daten des geostationären Satelliten SMS-1.

PREUSS, H.-J.

Bestimmung der kurzwelligen Strahlungsbilanz am Boden aus Messungen des Satelliten Nimbus 3.

WARMBIER, G.

Echo-Sondierungen in der planetarischen Grenzschicht über dem Stadtgebiet von Köln mit einem Schallpulsgeber (SODAR).

Universität Mainz

Promotion

BRESS, P.

Analytische und numerische Bestimmung von Austauschkoefizienten mittels der Bilanzgleichung der turbulenten kinetischen Energie.

Diplom-Hauptprüfungen

BECKER, H.-G.

Eine Hierarchie atmosphärischer Prognosemodelle unter Einschluß orographisch bedingter Einflüsse

LEHMANN, M.

Messungen des Flüssigwassergehaltes von Aerosolteilchenproben als Funktion der relativen Feuchte

ROOS, H.-G.

Ein Meß-System zur Sondierung der Grenzschicht über einer Stadt.

Universität München

Habilitation

QUENZEL, H.

Beiträge zur Fernerkundung in aerosolhaltigen Atmosphären.

Promotionen

ENDERS, G.

Topoklimatologie "Alpenpark Königssee", Modell einer theoretischen Standortuntersuchung.

HARTJENSTEIN, G.

Die lineare Parametrisierung der Makroturbulenz eines quasi-geostrophischen Zirkulationsmodells.

HENNEMUTH, B.

Statistische Beschreibung der Anisotropie und Inhomogenität der atmosphärischen Turbulenz.

Diplom-Hauptprüfungen

GASSNER, M.

Energiebilanz und Verdunstung eines Fichtenwaldes im Jahr 1972.

MILLER, M.

Berücksichtigung der Feuchte in der Theorie stehender planetarischer Wellen.

REITZ, G.

Messungen des Stroms latenter Wärme mit dem Lyman- α -Humidiometer.

SOMIESKI, F.

Ein Modell zur numerischen Simulation des Temperaturverhaltens eines Hauses.

ZIEGLER, B.

Die Ausbreitung von Wärme und Feuchte im Bereich einer Großstadt.

Problem- und Diskussionsecke

Eine heilige Kuh ist schlachtreif – die Sprache der Meteorologen

(Eine Ergänzung zu den Ausführungen von D. KARNETZKI in Promet, Heft 2/3 '78, S. 63)

Die Betrachtungen von K. sind wohl nur als Parodie auf allgemeine Wettervorhersagen gedacht. Denn laienhafte journalistische Primitivitäten werden herausgestellt, fachliche Gedanken fehlen.

Vorhersagen werden in genau der gleichen Sprache geschrieben wie vor hundert Jahren. Das "beschämt etwas", meint K. – Es ist noch schlimmer! Die Sprache LUTHERS ist fast ein halbes Jahrtausend alt, und es besteht die beschämende Gefahr, daß nach hundert Jahren in Wetterberichten immer noch unsere Sprache verwendet wird. Diese heilige Kuh ist heute schon ein zähes Vieh, schlachten lohnt nicht mehr. Aber hat sich unsere Sprache schon so verändert, daß Vorhersageformulierungen altmodisch klingen? Doch sie hat! Lesen wir Boulevard-Zeitungen und vergleichen wir damit die Sprache GOETHES! Zwar klingt durchaus nicht so "old-fashioned", was der Meister einst

schrrieb, aber "Okay" und "Television" findet man nicht.

Sollte sich die Sprache des Meteorologen nicht auch am *Inhalt* orientieren? Es gibt heute Vorhersagen, die nach Information und Sprache mit den Berichten NEUMAYERS, van BEBERS und KÖPPENS gar nichts mehr gemein haben und einen gewaltigen Fortschritt darstellen. Ich meine die numerischen Vorhersagekarten aller Art. Aus dieser Sicht wäre die heilige Kuh schon vor Jahrzehnten krepirt.

K. fragte leider zu Recht: "Versteht der Leser oder Zuhörer eines Wetterberichtes den Meteorologen?" – und stellt fest, daß die "Fachausdrücke gelegentlich arg langweilig" sind. Als progressiver Meteorologe hatte ich schon vor Jahren Massenmedien Hilfe bei blumigen und spannenden Vorhersagen versprochen – sofern vorher bei Verkehrsberichten ausprobiert wird, wie sie ankommen. Man könne doch zur Abwechslung einmal von Giraffenhals oder Ringelnatter an Stelle von Zebrastreifen sprechen. Das ist nicht so arg langweilig! Und was

heißt schon "flüssiger Verkehr"? Sind das in der Sonne geschmolzene Fahrzeuge auf der Autobahn oder hat das was mit Sex zu tun? Man sollte sich verständlich ausdrücken! Bisher Fehl-anzeige auf diesen Vorschlag.

Auch die anderen Kulturnationen haben ähnliche Probleme. K. zitiert Untersuchungen. Danach wäre nicht nur eine alte Kuh, sondern eine ganze Rinderherde schlachtreif.

K. kritisiert nicht nur, er gibt auch eine Lösung an, nämlich Meteorologen in der Anwendung der "Gesetze des Journalismus auf die Routinevorhersagen" zu schulen. Vielleicht geht man sogar noch einen Schritt weiter und stellt auf jedem Wetteramt einen Journalisten ein? Er könnte sich zur Formulierung vom Meteorologen Fakten geben lassen, braucht es aber nicht.

Übrigens weiß ich noch eine andere Lösung: Mehr Zeit und Raum für den Meteorologen, um das Wetterbild von verschiedenen Seiten zu beleuchten. Doch für diese Verbesserungen sind die Massenmedien noch nicht fortschrittlich genug.

H. KRUHL, Reinbek b. Hamburg

Wichtige Neuerscheinungen

BRYSON, R. A.; MURRAY, Th. J.

Climates of hunger. Mankind and the world's changing weather. Madison/WIS: The Univ. of Wisconsin Pr. 1977. 173 S.

GLANTZ, M. H. (Ed.)

Desertification: Environmental degradation in and around arid lands. Boulder/CO: Westview Press 1977. 346 S. = Westview special studies in natural resources and energy management.

GOUDIE, A.

Environmental change. Oxford: Clarendon Press 1977. 244 S. = Contemporary Problems in Geography.

HEYER, E.

Witterung und Klima. Eine allgemeine Klimatologie. 4., durchges. Aufl. Leipzig: BSB B.G. Teubner Verl.-Ges. 1977. 460 S. 16 Bildtaf. 2 Faltbl.

KOTSCH, W. J.

Weather for the mariner. 2.ed. Annapolis/MD: Naval Institute Press 1977. 276 S.

PORTER, R. W.

The versatile satellite. Oxford: Oxford Univ. Press 1977. 173 S.

WALKER, J. C. G.

Evolution of the atmosphere. New York: Macmillan; London: Collier Macmillan 1977. 318 S.

WEISCHET, W.

Einführung in die Allgemeine Klimatologie. Stuttgart: B. G. Teubner 1977. 256 S.

CHAMBERLAIN, J. W.

Theory of planetary atmospheres: An introduction to their physics and chemistry. New York: Academic Press 1978. 330 S. = International Geophysics Series. Vol. 22.

- GRIBBIN, J. (Ed.)
Climatic change. Cambridge: Cambridge University Press 1978. 280 S.
- HENTSCHEL, G.
Das Bioklima des Menschen. Berlin: VEB Verl. Volk u. Gesundheit 1978. 183 S. = Thesaurus-Reihe.
- HOLLAND, H. D.
The chemistry of the atmosphere and oceans. New York: Wiley 1978. 351 S.
- HORNE, R. A.
The chemistry of our environment. New York: Wiley-Interscience 1978. 869 S.
- MONTEITH, J. L.
Grundzüge der Umweltphysik (Übers. a. d. Engl.) Darmstadt: Steinkopf 1978. 183 S.
- OKE, T. R.
Boundary layer climates. London: Methuen & Co. Ltd. 1978. 372 S.
- PRUPPACHER, H. R.; KLETT, J. D.
Microphysics of clouds and precipitation. Dordrecht: D. Reidel 1978. 714 S.
- RASCHKE, E. u.a.:
Energiehaushalt und Zirkulation der Atmosphäre. Bericht über ein von 1970 bis 1977 gefördertes Schwerpunktprogramm. Boppard: Harald Boldt Verl. 1978 = DFG-Forschungsbericht.
- REUTER, H.
Die Wissenschaft vom Wetter. 2. neubearb. Aufl., Heidelberg u.a.: Springer Verlag 1978. 160 S.
- SCHNEIDER, St. H.
Klima in Gefahr. Strategien zur Beherrschung des Wetters. In Zsarb. mit Lynne E. Mesirov. Frankfurt a.M.: S. Fischer 1978. 396 S.
- SCORER, R. S.
Environmental aerodynamics. Chichester: Ellis Horwood Ltd. 1978. 488 S.
- TICKEL, C.
Climatic change and world affairs. Oxford: Pergamon Pr. 1978. 78 S. = Harvard Studies in International Affairs. Nr. 37.
- Weltorganisation für Meteorologie
Internationaler Wolkenatlas. Ge-kürzte Ausgabe. Neuaufl. d. dt. Übers. aus d. J. 1957. Offenbach a.M.: Deutscher Wetterdienst 1978. 70 S. 72 Bl. Bildtaf.
- HILLER, D.H.
Water at the surface of the earth. An introduction to ecosystem hydrodynamics. New York u.a.: Academic Press 1977. XII, 557 S. (= International Geophysics Series. 21.)
- CHAMBERLAIN, J.W.
Theory of planetary atmospheres. An introduction to their physics and chemistry. New York u.a.: Academic Press 1978. XIII, 330 S. (= International Geophysics Series. 22.)
- World Meteorological Organization
Compendium of meteorology. For use by class I and class II meteorological personnel. Vol. 2, Pt. 2: Aeronautical meteorology. Prep. by B.J. Retallek. Geneva: WMO 1978. VI, 126 S. = WMO-No 364.
- Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland.
Im Auftrag der DFG unter Gesamtleitung v. R. Keller hrsg. v. U. de Haar u.a. Boppard: H. Boldt Verlag 1979. Atlas u. Textband.
- PEARSON, R.
Climate and evolution. London u.a.: Academic Press 1978. XI, 274 S.
- REITER, E.R.
Atmospheric transport processes. Pt. 4: Radioactive tracers. Oak Ridge: Technical Information Center, U.S. Department of Energy 1978. V, 605 S.
- FAUST, R.
Das Bioklima in Nordrhein-Westfalen. Erläuterungen zu den Karten der bioklimatischen Wertstufen (thermischer Komplex) und der Sonnenstrahlung als bioklimatischer Wirkungsfaktor. Bad Salzuflen: Verein z. Förderung d. Kurortklimadienstes u. d. Kurortklimaforschung im Lande Nordrhein-Westfalen 1979. 8 S. Text, 2 Kt. (M. 1 : 500 000).

Hinweise auf Tagungen

Internationales Alfred-Wegener-Symposium vom 25.–29.02.1980 in Berlin

Meteorologische Themenkreise

- 1) Remote-Sensing
Meteorologische Satelliten, Radar, Lidar, Mikrowellen
- 2) Strahlung und Wolken
Mikrophysik der Wolken, Wolkendynamik, Paläoklima (Klimatrends, Klimamodelle)
- 3) Maritime Meteorologie, Ozeanographie
- 4) Hohe Atmosphäre und solar-terrestrische Beziehungen

Vortragsanmeldungen werden bis 31.05.1979 erbeten an

Prof. Dr. H. Fortak
Freie Universität Berlin – Theoretische Meteorologie
Thielallee 49
1000 Berlin 33

Symposium über meteorologische Maßnetze und mesoskaliges Klima

vom 12.–15.10.1980 in Mannheim aus Anlaß der Gründung der Societas Meteorologica Palatina vor 200 Jahren.

Weitere Informationen werden von der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft e.V., Zweigverein Frankfurt, versandt.

Institute stellen sich vor	
Habilitationen, Promotionen und Diplom-Hauptprüfungen im Fach Meteorologie an den Universitäten der Bundesrepublik Deutschland und West-Berlins im Jahre 1978	27
Problem- und Diskussionsecke	
Eine heilige Kuh ist schlachtreif – die Sprache der Meteorolo- gen (Ergänzungen zum Beitrag von D. KARNETZKI in Promet H. 2/3 '78, S. 63) (H. KRUHL)	31
Wichtige Neuerscheinungen	31
Hinweise auf Tagungen	32

Heft 4'78 enthielt zum Thema "Sturmfluten und Seegang I" (Fachliche
Redaktion: H.P. SCHMITZ) folgende Beiträge:

H.P. SCHMITZ	
Sturmfluterzeugende Vorgänge in der Nordsee	
H.P. SCHMITZ	
Zur Frage der Häufigkeit und Änderung der Höhe von Sturmflut- wasserständen	
H. KRUHL	
Sturmflut-Wetterlagen	
H.P. SCHMITZ	
Vorhersageverfahren und ihre Probleme	
R. ANNUTSCH	
Über das empirisch-statistische Sturmflutvorhersageverfahren des Deutschen Hydrographischen Instituts	
N.S. HEAPS	
Ein engmaschiges numerisches Modell für die Nordsee	
G. FISCHER	
Ergebnisse der Sturmflutvorhersagen. Modellierung im Sonderfor- schungsbereich 94 (Meeresforschung Hamburg)	
N.S. HEAPS	
Praktische Gesichtspunkte zur Sturmflutvorhersage	

Druckfehlerberichtigung für Heft 4'78:

2. Umschlagseite, unter 1.2: Sturmflutwasserständen (statt: Sturmflut-
wasserschäden)
3. Umschlagseite, Anschrift von Prof. Dr. N.S. Heaps: ...Sciences (statt
Studies)
- S. 6, li. Sp., 13. Z. v.o.: Süderelbe (statt Südelbe)

**Anschriften der Autoren der Beiträge zum
Thema dieses Heftes:**

Dipl.-Phys. H. Carlson
Dr. K. Richter
Deutsches Hydrographisches Institut
Bernhard-Nocht-Str. 78
2000 Hamburg 4

Dr. H. Kruhl
Bunzlauer Weg 1
2057 Reinbek bei Hamburg

Prof. Dr. H.P. Schmitz
Institut für Geophysikalische Wissenschaften
der FU Berlin – Fachrichtung Meteorologie
Thielallee 50
1000 Berlin 33

Dr. H. Walden
Tinsdaler Kirchenweg 233a
2000 Hamburg 36

Manuskriptsendungen werden erbeten an:
Deutscher Wetterdienst
Hauptschriftleitung "promet"
Frankfurter Straße 135
6050 Offenbach a.M.