

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Wieland, Peter; Fladung, Bernd; Bergheim, Volker

Tidedynamische und meteorologische Randbedingungen im Bereich des Schlick-Testfeldes Dithmarscher Bucht

Die Küste

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:
Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101208>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Wieland, Peter; Fladung, Bernd; Bergheim, Volker (1984): Tidedynamische und meteorologische Randbedingungen im Bereich des Schlick-Testfeldes Dithmarscher Bucht. In: Die Küste 40. Heide, Holstein: Boyens. S. 139-163.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Tidedynamische und meteorologische Randbedingungen im Bereich des Schlick-Testfeldes Dithmarscher Bucht

Von PETER WIELAND, BERND FLADUNG und VOLKER BERGHEIM

Zusammenfassung

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens über die Schlickbildung auf den Watten waren auch die wesentlichen natürlichen Randbedingungen zu ermitteln. Als Arbeitsgrundlage werden die Tidebewegung, meteorologische Abläufe, einige chemische Zustände und hydrologische Vorgänge in Form von Karten, Tabellen und Grafiken dargestellt. Einige spezielle Erscheinungen und Wechselbeziehungen werden ergänzend erläutert.

Summary

The dominant, naturally occurring boundary conditions for mud formation in the Dithmarsh intertidal zone were investigated in connection with an associated research project. This resulted in charts, tables and plots of tidal, meteorological, hydrological and some chemical conditions. Additional comments on particularly interesting observations and interrelationships between various phenomena are presented.

Inhalt

1. Anlaß und Aufgabe	139
2. Ergänzende Erläuterungen	142
2.1 Zur Meerwassertemperatur im Wattengebiet	142
2.2 Zur Wattoberflächentemperatur	147
2.3 Zum Salzgehalt und zur Eisbildung im Watt	156
3. Schriftenverzeichnis	163

1. Anlaß und Aufgabe

Durch das „Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen“ (KFKI) ist in den Jahren 1977 bis 1981 mit der Erforschung der Schlickbildung auf den Watten begonnen worden. Die maßgebenden natürlichen Gesetzmäßigkeiten sind ebenso komplex wie die Einflußparameter vielgestaltig sind, so daß die Aufgabe nur interdisziplinär eingrenzend zu lösen ist. Als Grundlage für die Arbeiten der verschiedenen, am Forschungsprojekt beteiligten Wissenschaftler werden nachfolgend einige wichtige Ergebnisse hydrologischer und meteorologischer Naturmessungen vorgelegt, die für die Interpretation und Beurteilung spezieller Erscheinungsbilder und Veränderungen gebraucht werden. Die ausgewählten Unterlagen in Form von Karten, Tabellen und Grafiken geben Zustände, Abläufe und Wechselbeziehungen

wieder. Sie erfassen überwiegend die Tidedynamik (Wasserstände, Strömungen), das Klima und die Witterung (Niederschläge, Lufttemperaturen, Wind, Sonnenscheindauer) sowie topographisch-hydrologische (z. B. Überflutungsdauer), meteorologisch-hydrologische (z. B. Wellenhöhen), chemische (Meerwassersalzgehalt) und hydrologisch-topographisch-meteorologische (z. B. Meerwassertemperaturen) Aussagen in Mittelwerten und teilweise in den Extremen.

Diese einzelnen Informationen sind überwiegend so weit aufbereitet oder ausgewertet dargestellt, daß sie ohne eine weitere Kommentierung verwertet werden können.

Eine ergänzende kurze Erläuterung wird zu den Meerwasser- und Wattoberflächentemperaturen sowie zur Eisbildung im Watt gegeben.

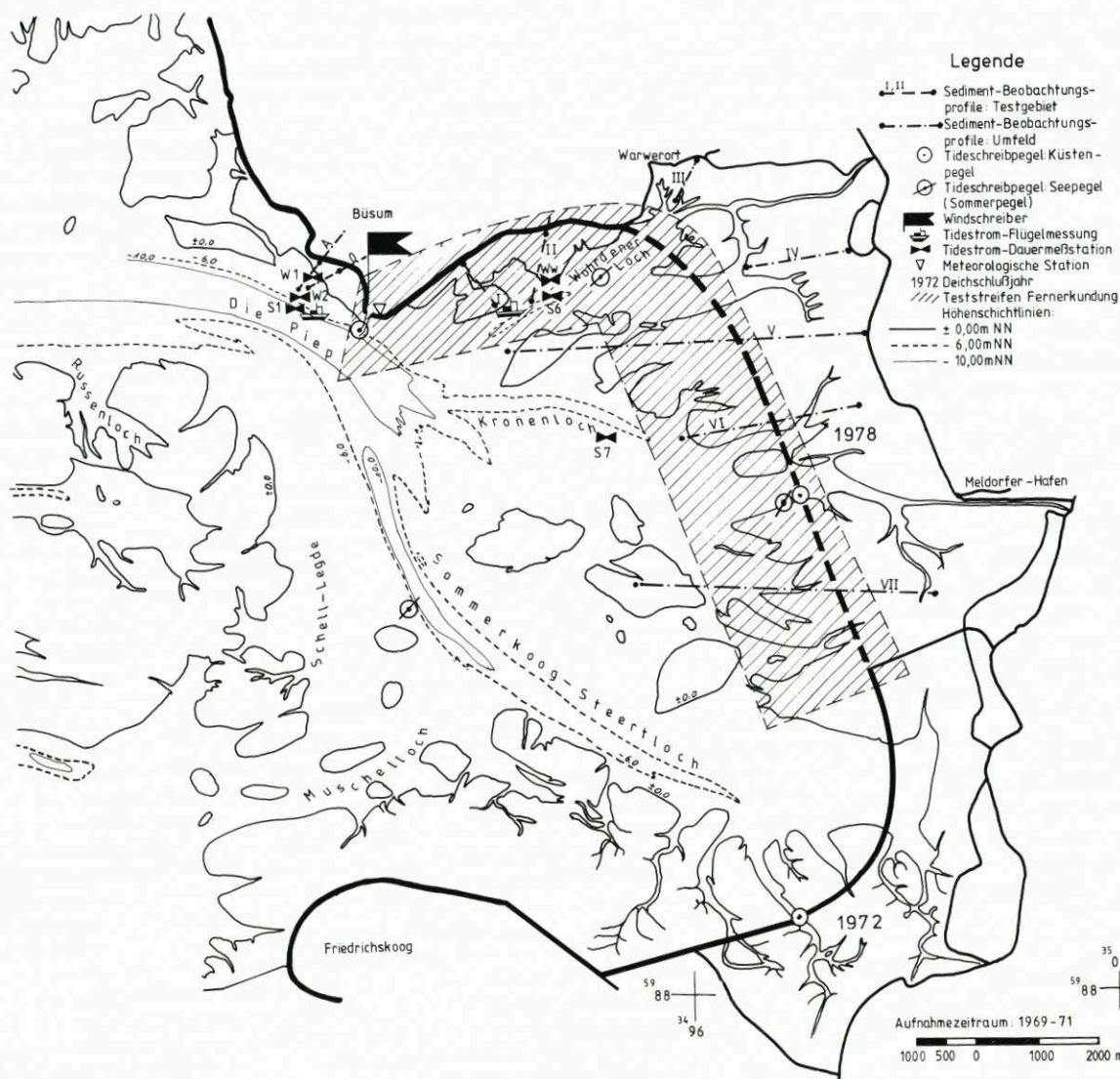


Abb. 1. Lageplan der Sediment-Beobachtungsprofile, Meßstationen und des Bildflugstreifens in der Dithmarscher Bucht

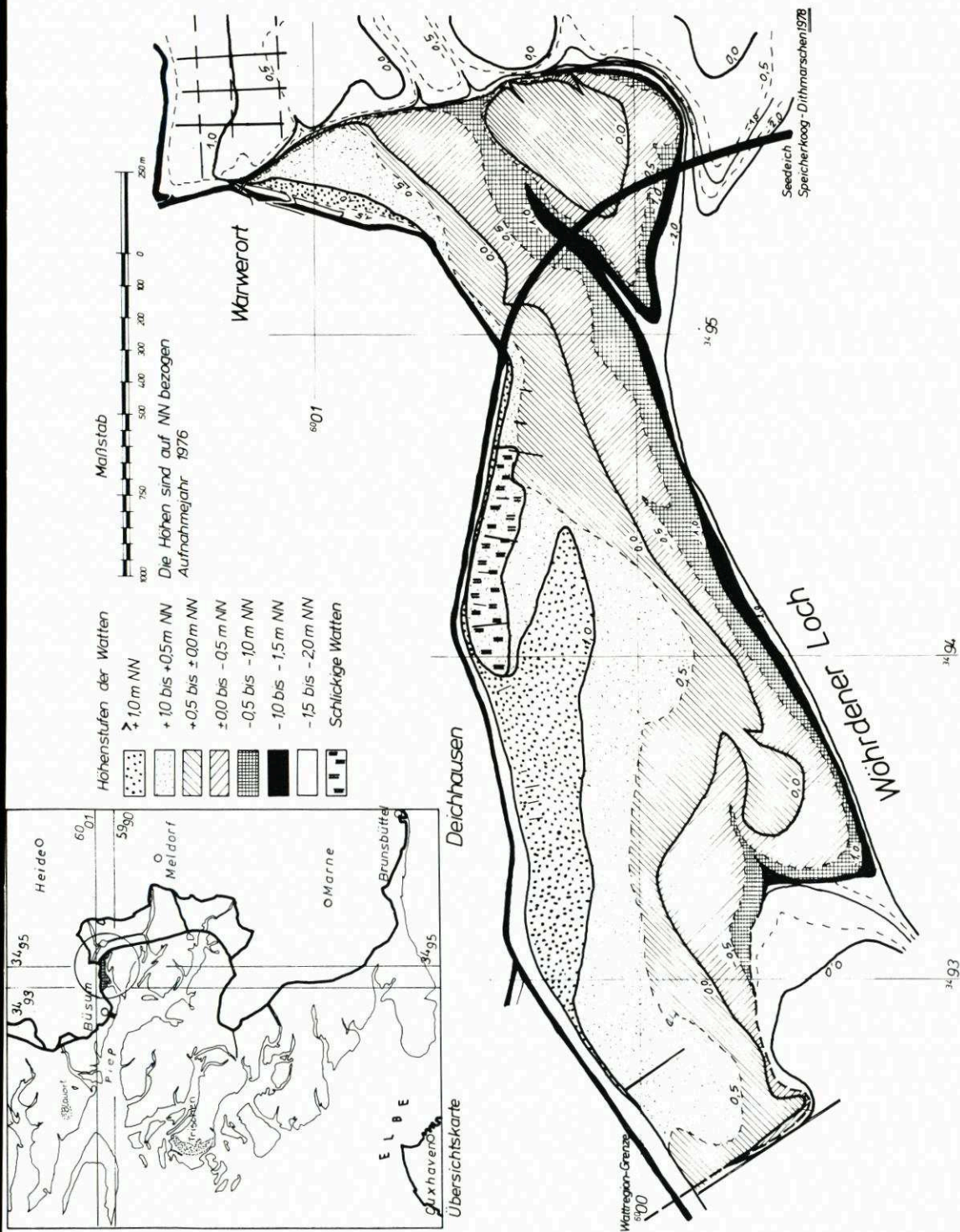


Abb. 2. Höhenstufen-Flächenkarte des Watts im Testgebiet vor Deichhausen/Warwerort

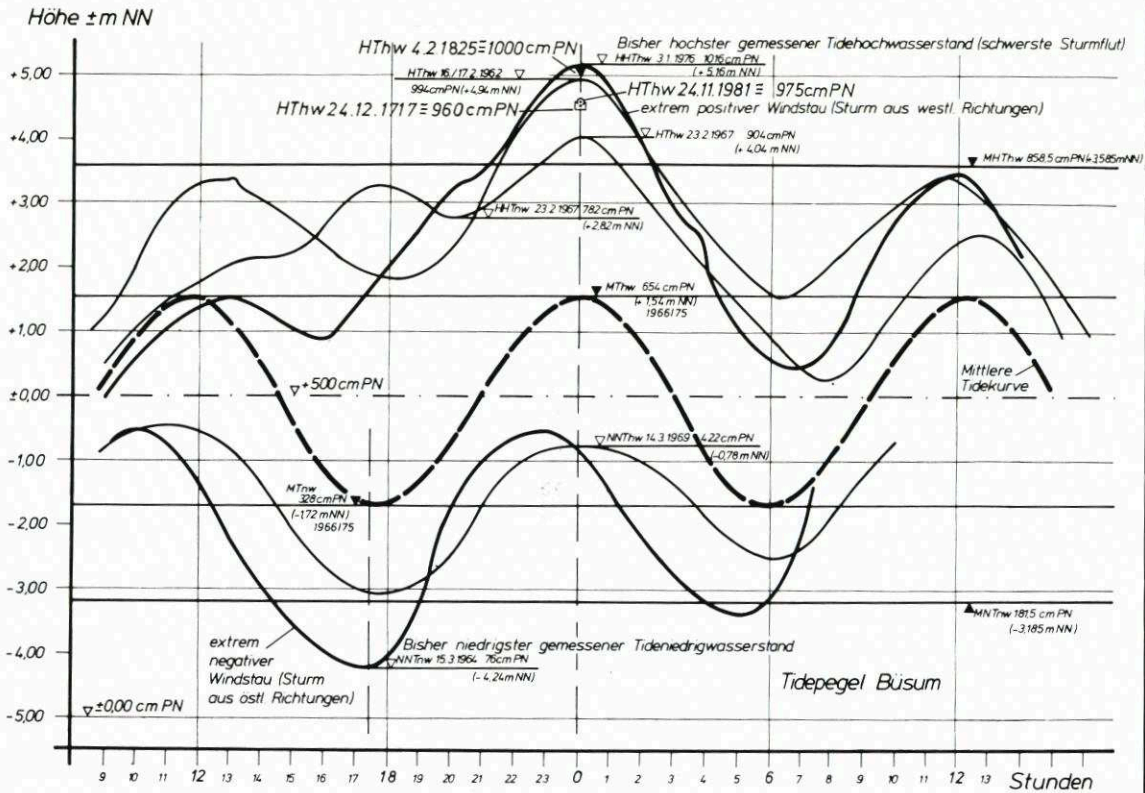


Abb. 4. Ganglinien extremer Tiden am Pegel Büsum

2. Ergänzende Erläuterungen

2.1 Zur Meerwassertemperatur im Wattengebiet

Kontinuierliche Meerwassertemperatur-Messungen wurden und werden an der Nordseeküste z. Zt. nur an wenigen Stellen und dort fast ausschließlich in tiefem Wasser – vor allem an Schleusen und Sperrwerken – höchstens zweimal am Tag tideunabhängig vorgenommen. Aus flachem Wasser, über küstennahem Watt sind kaum Meßergebnisse bekannt. Die dort auftretenden Meerwassertemperaturen wurden eingrenzend abgeleitet durch Literaturlauswertungen und ergänzende Einzelmessungen von den an der Dauermeßstation Büsum-Schleuse in 1,0 m Wassertiefe täglich um 7.00 h gemessenen Werten (WIELAND, 1982). Die Untersuchung ergab folgende Ergebnisse lokaler Einflüsse (Abb. 18–22, Tab. 3 u. 4):

Wassertiefe: Die Meerwassertemperaturen sind oberhalb der Wassertiefe von 1,0 m, vor allem unter dem Einfluß der Atmosphäre auf die Meeresoberfläche, mindestens ebenso hoch wie in 1,0 m Tiefe, in der Regel aber höher.

Tidegang: Vom Morgenniedrigwasser (6.00 h bis 10.00 h) bis zum Nachmittaghochwasser (14.00 h bis 18.00 h) wird das Meerwasser über den Watten bei sonnigem Wetter ($SD \geq 8 \text{ h/d}$) um etwa $0,5^\circ\text{C}$ und bei bewölktem Wetter ($SD \leq 4 \text{ h/d}$) um etwa $0,32^\circ\text{C}$ erwärmt. Vom Morgenhochwasser (6.00 h bis 10.00 h) bis zum Nachmittagniedrigwasser

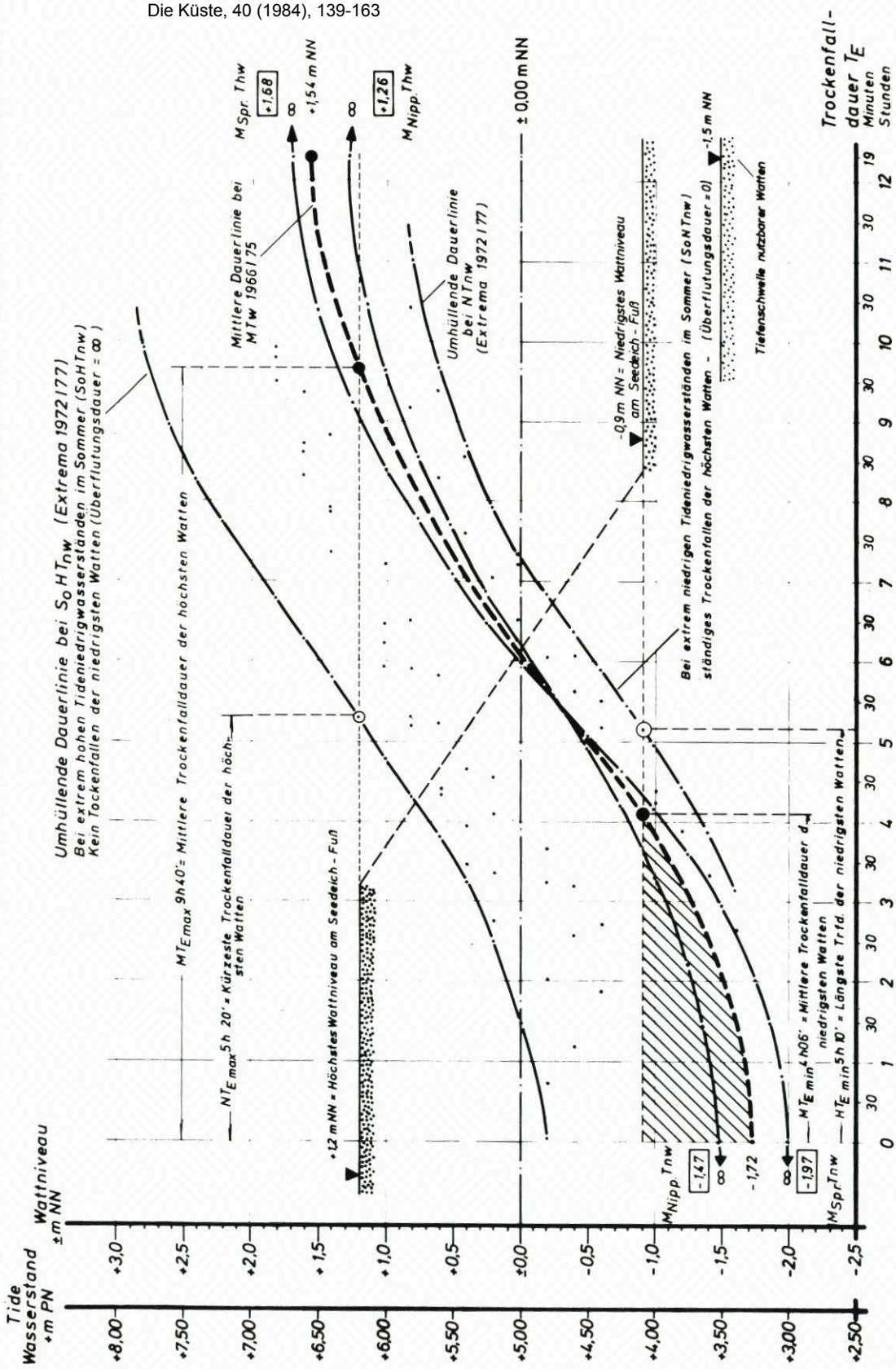


Abb. 5. Trockenfalldauer der Watten in Abhängigkeit vom Tidegang in Büsum

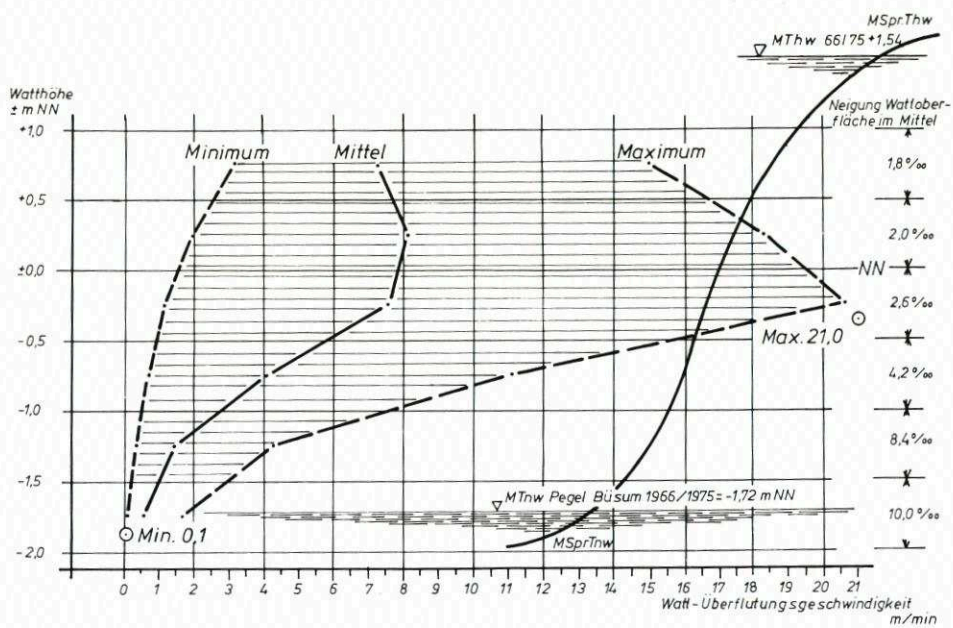


Abb. 6. Wandergeschwindigkeit des Tidesaumes während Flut in Abhängigkeit von Wathöhe, Wattneigung und Tidesteiggeschwindigkeit bei mittlerer Springtide in Büsum

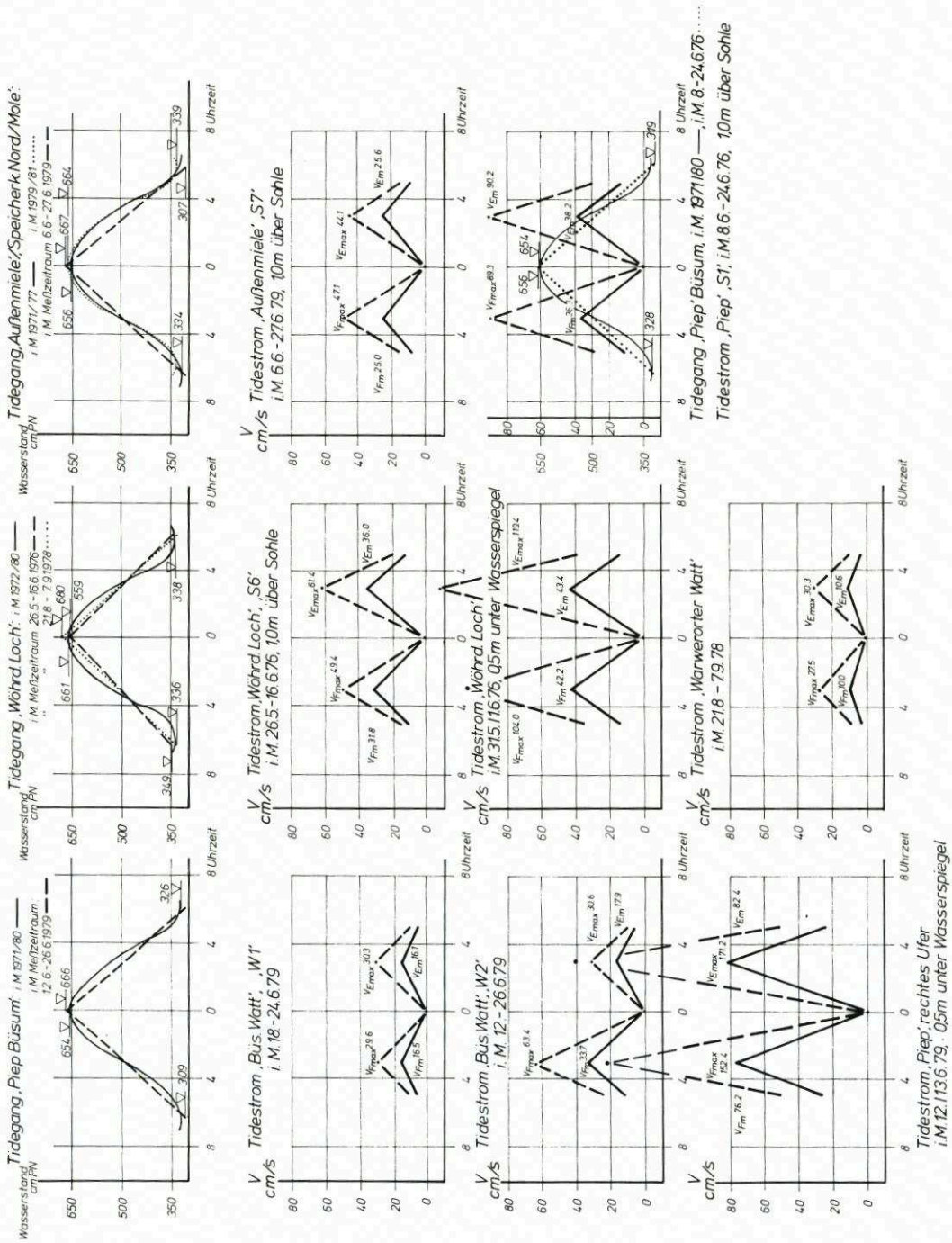


Abb. 7. Tidegang sowie mittlere und maximale Tidestromgeschwindigkeiten in der nördlichen Dithmarscher Bucht 1976 u. 1979

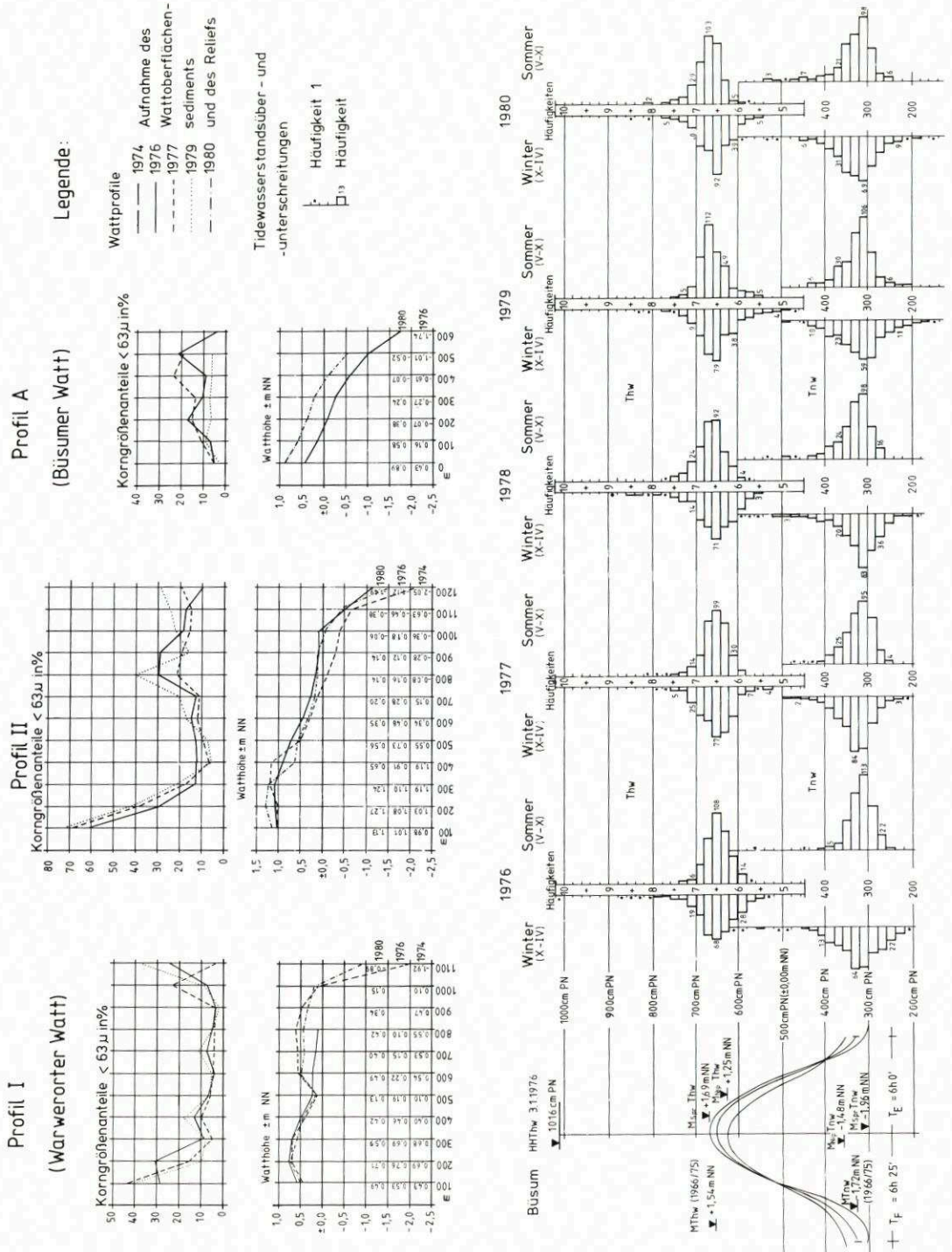


Abb. 8. Wattoberflächensediment im Tideeinfluß: Veränderungen 1974-1980 bei jährlich abweichenden Wasserstandsüber- und -unterschreitungshäufigkeiten am Pegel Büsum 1976-1980

(14.00 h bis 18.00 h) wird das Meerwasser über den Watten bei sonnigem Wetter um etwa 1,28 °C und bei bewölktem Wetter um etwa 0,46 °C erwärmt.

Tageszeit: Im Tagesverlauf erwärmt sich das Meerwasser während der Sommermonate vom 12. Juni bis 15. September zwischen 8.00 h und 20.00 h durchschnittlich um 1,2 °C mit dem Maximum um 16.00 h. Bei sonnigem Wetter beträgt die Erwärmung 1,48 °C, doppelt so viel wie bei bewölktem Wetter. Durchschnittlich steigt die Meerwassertemperatur im Tagesverlauf bei bewölktem Wetter von 7.00 h bis 14.00 h stündlich um 0,1 °C, ab 18.00 h sinkt sie wieder bis 19.00 h um 0,1 °C und danach bis 20.30 h um 0,2 °C. Der mittlere monatliche Tagesgang der Meerwassertemperatur kann im Sommer in den einzelnen Monaten und Jahren je nach Witterung bis zu 5,6 °C auseinander liegen (Abb. 9).

Watten: Das Wasser in der offenen Nordsee erwärmt sich im Frühjahr langsamer und kühlt im Herbst langsamer wieder ab als an der Wattenmeerküste. Der Unterschied ist im Sommermittel bei Sonnenwetter doppelt so hoch wie bei bewölktem Wetter. Im Einfluß der Watten erwärmt sich die Meerwassertemperatur bei Tage und bewölktem Wetter um mindestens 0,8 °C (Abb. 10-12).

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, daß die Meerwassertemperatur über dem Watt unmittelbar am Seedeichfuß in 30 cm Tiefe im Sommer mindestens 1 °C über derjenigen an der Dauermessstelle liegt.

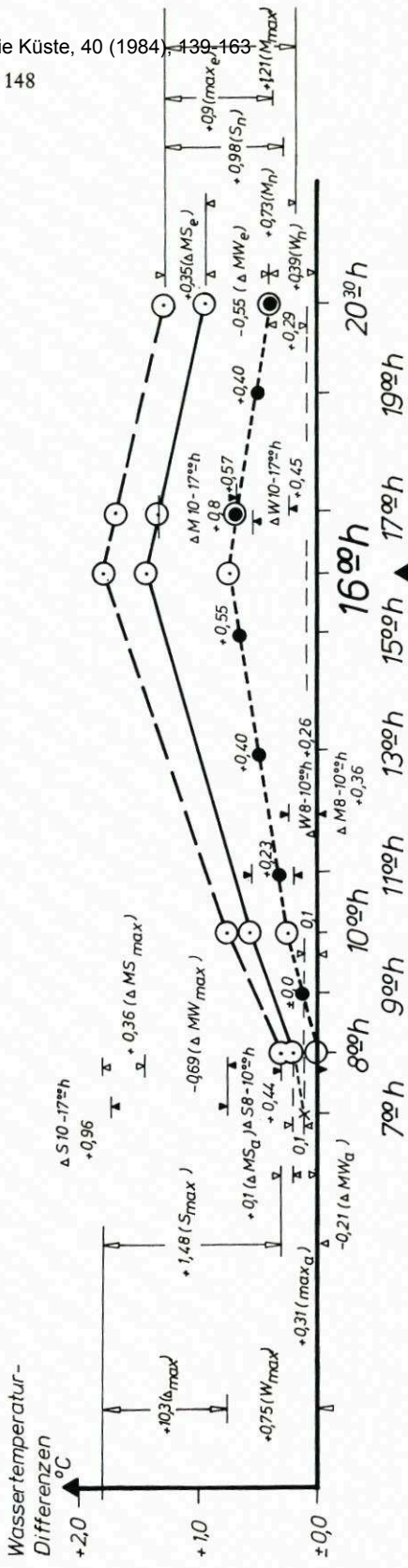
Im Mittel der Zehnjahresreihe 1967/76 waren +15 °C Meerwassertemperatur an der Dauermessstelle in Büsum-Schleuse um 7.00 h in 1,0 m Meßtiefe vom 7. Juni bis 20. September, also insgesamt 106 Tage lang, ununterbrochen überschritten.

2.2 Zur Wattoberflächentemperatur

Die Temperaturen unmittelbar an der Oberfläche der Watten, im Grenzbereich zwischen Boden, Wasser und Luft und in Abhängigkeit verschiedener Niveauhöhen, Sedimentzusammensetzung, wechselnd hoher und langer Meerwasserüberflutungen, Lufttemperaturen und Sonneneinstrahlung, sind entsprechend veränderlich.

Wegen der sehr viel geringeren Wärmekapazität der Luft gegenüber dem Wasser (Wasser = 50mal stärker) erwärmt ein hochgelegener, in der obersten Schicht trockener Wattboden tagsüber je nach Bewölkung und Sonnenstand rascher und erheblich stärker als ein tiefgelegener, sehr nasser Boden, und er gibt die Wärme schneller wieder ab. Dieses als *Albedo* bezeichnete Verhältnis von zurückgeworfener zu einfallender Globalstrahlung erfaßte ANDREWS (1976 u. 1980) erstmals beispielhaft im Wattgebiet zwischen Wesermündung und Jadebusen. Zunächst ist das *Albedo* über Wasser zur Hochwasserzeit sehr gering. Bei dem für wolkenfreien Himmel, Morgenhochwasser und Hochsommer gezeigten Beispiel stieg der Wert von etwa 7,5 % bei gerade noch geringer Wasserüberdeckung auf 11 % unmittelbar nach dem Trockenfallen um 9.30 h, mit zunehmender Austrocknung des Sandes bis gegen 12.00 h dann zunächst langsam weiter auf 11,7 % und ab Mittag stärker auf reichlich 14 % unmittelbar vor erneuter Überflutung, um mit der Wasserüberdeckung gegen 16.00 h abrupt wieder auf fast 8 % abzusinken (Abb. 10). Bewölkung und Sonnenstand verändern diesen *Albedo*-Tagesgang je nach Wolkenart und jahreszeitlicher Strahlungsintensität positiv oder negativ.

Die absolute Temperatur in der obersten Wattbodenschicht verläuft bei warmem Wetter und intensiver Strahlung entsprechend in Wellen mit hohen Amplituden während des Trockenfallens am Tage. In 2 cm Tiefe sind bei wolkigem bis fast klarem Himmel vom 20. bis 22. April 1975 nach rd. fünfstündigem Trockenfallen Temperaturerhebungen am Tage von



Temperatur-Tagesmaximum

Legende:

- Wetter sonnig (Sonnenscheindauer ≈ 8h/Tag)
- Wetter bewölkt (Sonnenscheindauer ≈ 4h/Tag)
- △----- Mittelwert sämtlicher Tage (einschl. teilbewölkt)

Maximaler Temperaturanstieg bei sonnigem Wetter = S_{max}
 " " " " " " " " = W_{max}
 " " " " " " " " = M_{max}

Netto-Temperaturanstieg 8⁰⁰h - 20³⁰h bei sonnigem Wetter = S_{η}
 " " " " " " " " = W_{η}
 " " " " " " " " = M_{η}

Meerwassertemperatur - Abweichung vom Mittelwert bei bewölktem Wetter (Sonnenscheindauer ≈ 4h/Tag)
 ± 0,0 + 0,23 + 0,40

Abb. 9. Tagesgang der Meerwassertemperatur über dem Watt in Wyk/Föhr im Mittel von Juni bis September 1967-1971 und 1974 bei verschiedenem Wetter

Temperaturdifferenzen von Tnw 6⁰⁰-10⁰⁰h zu Thw 14⁰⁰-18⁰⁰h bei sonnigem Wetter (SD \geq 8h/Tag) -

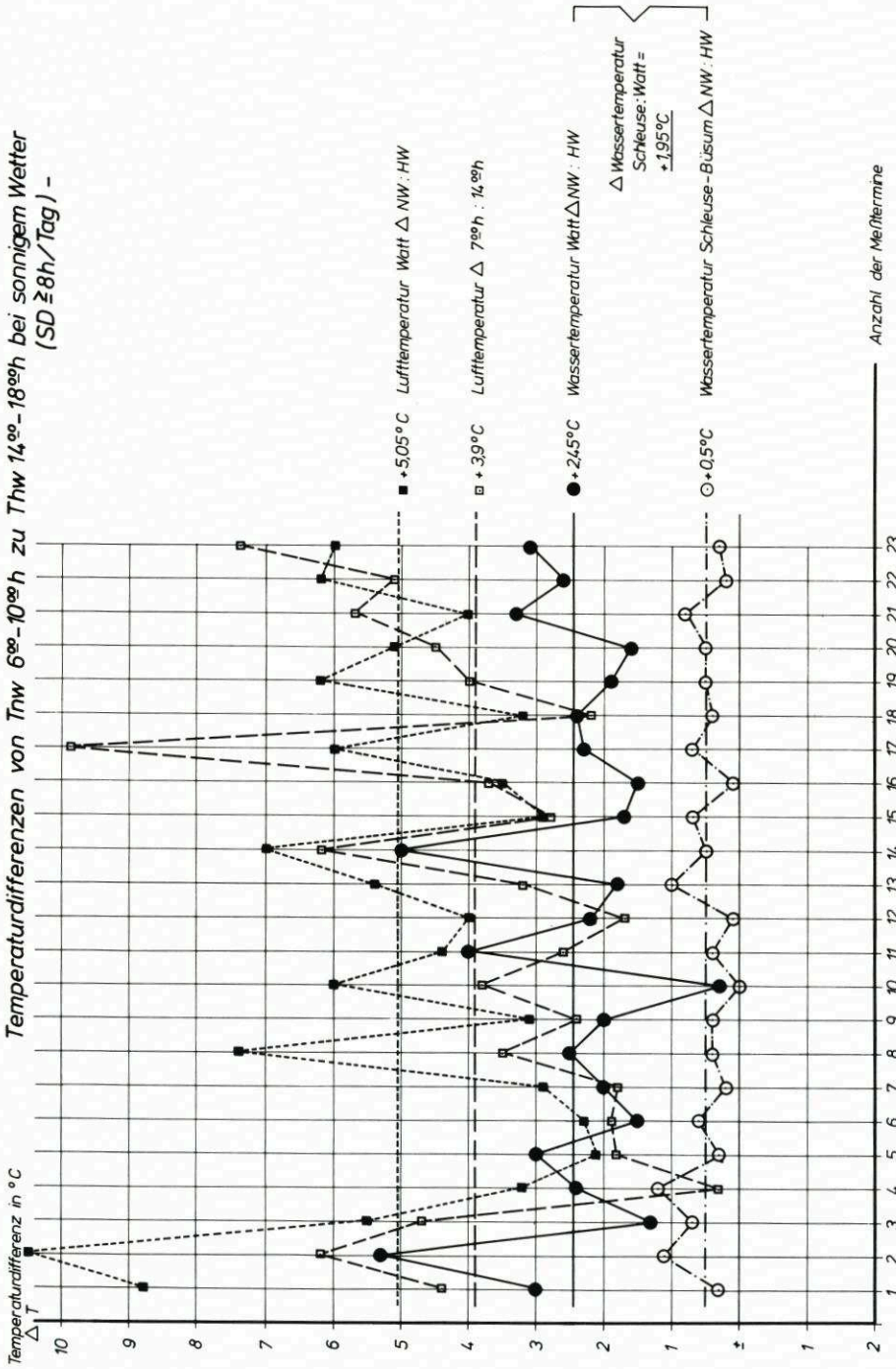


Abb. 10. Meerwassererwärmung über den Watten während Flut am Tage bei sonnigem Wetter in Büsum

- Temperaturdifferenzen von T_{NW} 6⁰⁰-10⁰⁰h zu T_{HW} 14⁰⁰-18⁰⁰h bei bewölkttem Wetter
($SD \approx 4h / Tag$) -

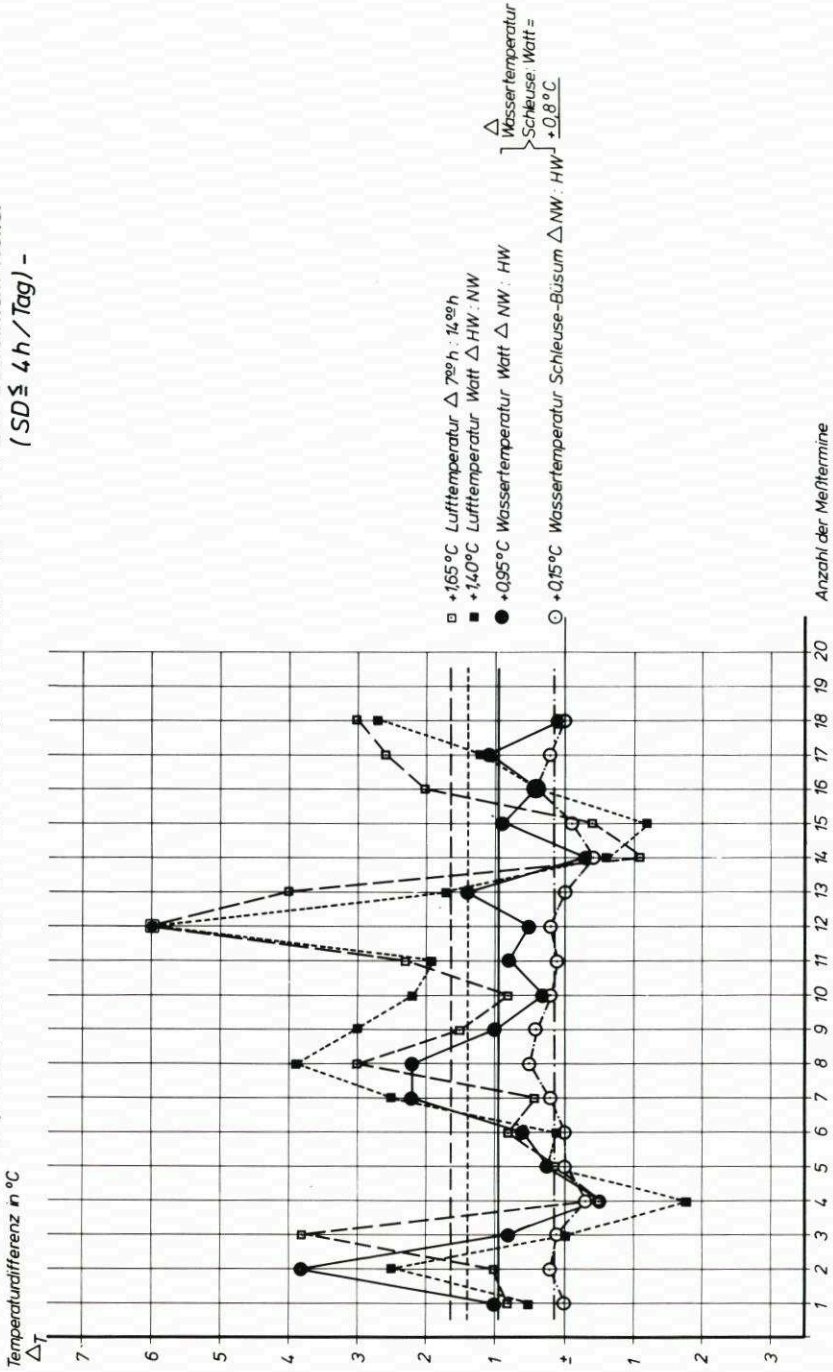


Abb. 11. Meerwassererwärmung über den Watten während Flut am Tage bei bewölkttem Wetter in Büsum

- Temperaturdifferenzen von Thw 6-10⁰⁰h zu Tnw 14-18⁰⁰h bei sonnigem Wetter
(SD \geq 8h / Tag) -

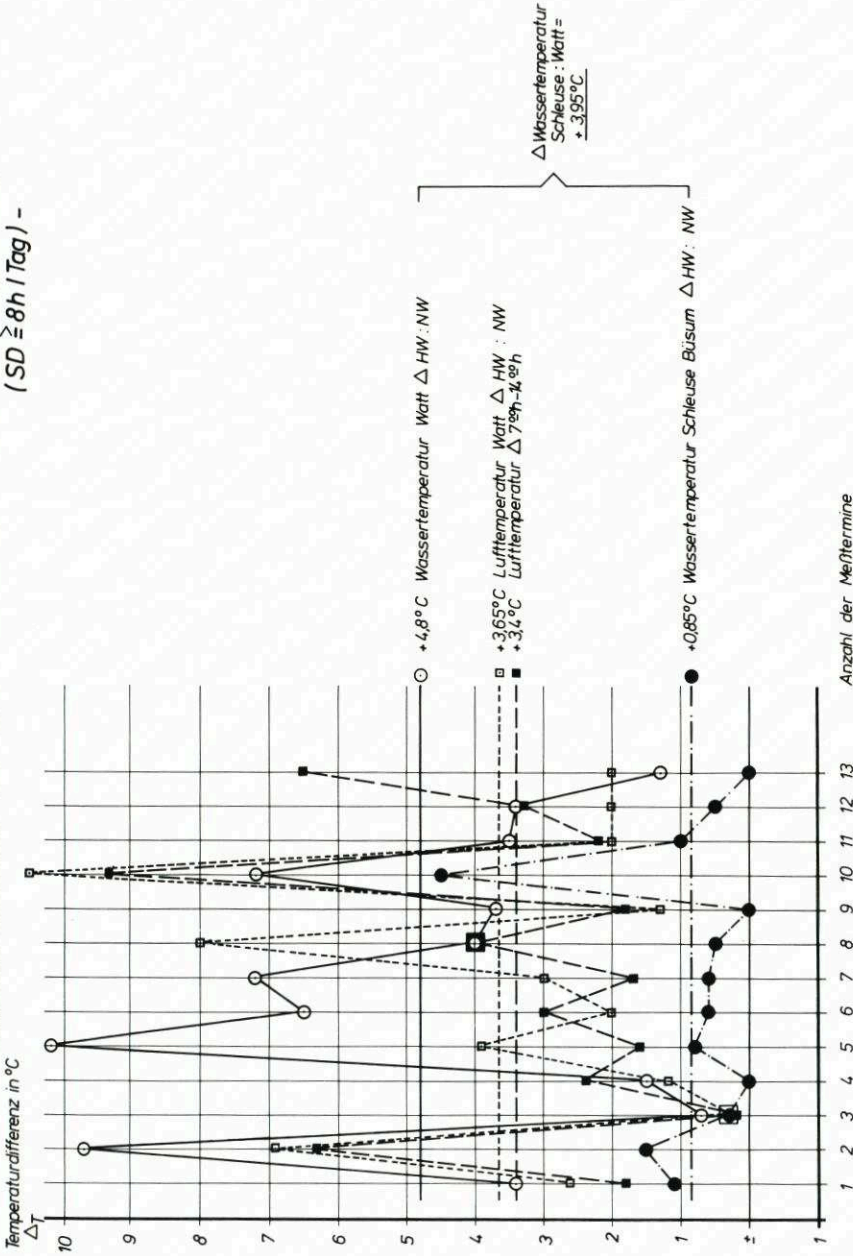


Abb. 12. Meerwassererwärmung über den Watten während Ebbe am Tage bei sonnigem Wetter in Buisum

Tab. 1. Termingleiche Luft- und Meerwassertemperaturen bei sonnigem und bewölktem Wetter vom 12. 6. bis 15. 9. 1974-1976 in Helgoland und Büsum

Wetter sonnig (SD \geq 8h/Tag)					Wetter bewölkt (SD \leq 4h/Tag)						
Temperaturen in °C					Temperaturen in °C						
Monat	Luft	Meerwasser			Sonnenschein-dauer h	Monat	Luft	Meerwasser			Sonnenschein-dauer h
	St Peter Tagesmittel	Helgoland 7 ⁰⁰ h	Schleuse 7 ⁰⁰ h	Büsum Watt 6-10 ⁰⁰ h			St Peter Tagesmittel	Helgoland 7 ⁰⁰ h	Schleuse 7 ⁰⁰ h	Büsum Watt 6-10 ⁰⁰ h	
Juni (12)	14,2	13,6	16,6	18,8	8,8	Juni (6)	8,8	9,7	11,0	9,8	3,2
	14,4	13,6	18,7	17,5	8,0		9,2	10,4	13,3	11,5	3,4
	16,7	14,0	16,5	17,7	14,9		12,7	11,3	17,6	17,0	1,2
	16,3	15,5	19,5	21,0	14,8		15,0	11,0	16,0	17,2	4,1
	16,6	14,1	15,8	18,9	14,6		13,8	14,4	19,0	16,5	4,1
	15,4	13,0	15,5	17,5	14,3		16,5	13,7	16,5	15,8	4,0
	17,0	13,0	15,5	18,2	9,3						
	11,2	9,7	10,3	10,6	11,3						
	15,9	11,9	17,5	20,3	12,9						
	18,2	17,2	21,8	22,0	14,9						
	17,3	16,8	21,5	22,0	15,0						
	17,6	16,8	21,6	23,0	14,8						
Mittel:	15,9	14,1	17,55	18,95	12,8	Mittel:	12,65	11,75	15,55	14,65	3,35
Juli (11)	17,6	15,7	17,0	17,2	12,9	Juli (11)	18,8	16,3	17,9	17,9	2,1
	15,2	15,6	16,2	16,7	12,2		15,2	14,0	16,7	16,5	4,1
	16,4	14,5	17,0	15,8	12,9		13,4	15,7	17,2	17,0	1,7
	15,8	14,7	17,5	18,4	14,1		15,2	15,8	16,7	16,8	0,0
	19,0	17,2	20,0	19,4	14,5		17,1	15,9	18,4	16,5	4,2
	16,6	15,6	18,0	17,3	10,2		15,0	15,7	18,5	17,7	4,2
	17,4	16,1	18,2	18,5	10,9		14,9	15,5	17,7	17,5	4,1
	16,3	16,7	18,5	21,6	14,9		16,0	16,1	19,1	17,0	4,0
	18,8	16,2	21,3	21,5	14,9		19,5	17,6	22,0	21,5	3,0
	20,2	17,8	21,9	20,5	11,2		15,9	15,1	17,8	17,5	4,3
	19,6	16,8	21,8	23,4	14,7		14,9	15,2	17,3	17,5	2,2
	Mittel:	17,55	16,1	18,85	19,1		13,05	Mittel:	16,0	15,7	18,1
August (11)	18,1	16,5	16,8	16,8	7,8	August (3)					
	15,4	16,4	16,2	16,8	8,8						
	14,4	17,6	19,0	19,0	10,4						
	13,8	17,0	18,5	17,0	9,7		14,8	16,2	16,9	15,5	4,0
	15,7	17,6	18,7	20,8	12,2		16,0	17,5	18,6	18,5	3,7
	16,2	17,5	18,6	20,0	11,9		17,4	18,4	19,5	18,6	3,5
	16,6	16,9	18,5	17,0	7,9						
	18,6	17,2	17,5	17,5	8,6						
	19,2	17,9	18,7	18,7	12,0						
	23,4	19,2	23,2	24,8	12,9						
	25,6	20,0	23,0	25,5	13,1						
	Mittel:	17,9	17,5	18,95	19,45		10,45	Mittel:	16,05	17,35	18,35
September (2)	15,8	15,0	14,2	15,6	7,7	September (3)	13,8	16,0	15,6	14,7	4,4
	9,3	14,5	11,3	13,9	7,5		11,8	15,0	14,7	14,7	2,1
Mittel:	12,55	14,75	12,75	14,75	7,6	Mittel:	13,10	15,35	14,8	15,0	3,0
Mittel Sommer	16,0	15,65	17,0	18,05	11,0	Mittel Sommer	14,45	15,05	16,7	16,2	3,3

8 °C (wolkig) bis 12,4 °C (wolkenlos) gemessen worden. In 15 cm Tiefe betragen diese Schwankungen nur mehr etwa 30 % derjenigen in 2 cm Tiefe. Bereits in 40 cm Tiefe erreicht die Tagesamplitude nur noch etwa einen halben Grad. In 60 cm Tiefe und nachts ist ein Tagesgang nicht mehr vorhanden (Abb. 9). In einer nahezu horizontalen Linie verläuft die Bodentemperatur ähnlich der Wassertemperatur im Spätherbst und Winter bei völlig bedecktem Himmel, niedrigen Lufttemperaturen, anhaltendem Niederschlag und stärkerem Wind.

Unmittelbar an der Wattoberfläche sind die Temperaturschwankungen sehr viel extremer als in den tieferen Schichten. Im strahlungsintensiven Frühjahr und im Sommer können sie bis zu 25 °C erreichen. Ebenso sind die Temperatureauschläge im Sandwatt größer als im

porenärmeren und wasserhaltigeren Schlickwatt. Sand besitzt in der obersten Schicht mit durchschnittlich $0,79 \times 10^{-6}$ eine deutlich höhere Temperaturleitfähigkeit als Schlick mit $0,45 \times 10^{-6}$ (Schlicksand = $0,51 \times 10^{-6}$). Dementsprechend geringer ist bei Sandwatt die Wärmekapazität je Volumeneinheit.

Die Höhenlagen der Meßpunkte im Watt, denen die mitgeteilten Ergebnisse entstammen, sind nicht genannt. Lediglich einen groben Anhalt liefert die fünfstündige Trockenfalldauer. Extrem hohe Wattten von +1,0 m NN können in bezug auf den Tidegang in Büsum durchschnittlich 8 Stunden lang wasserunbedeckt sein. Sie sind daher entsprechend stärker der Strahlung ausgesetzt als tiefe Wattten von -1,0 m NN mit durchschnittlich nur 3,5 Stunden Trockenfalldauer.

Im Sommer richtet sich die Wärmeaufnahme des Watts nach dem Wetter, insbesondere der Lufttemperatur und Himmelsbedeckung, wobei die Luftbewegung ein entscheidender Faktor ist, und nach dem Sonnenstand. Im Winter erfolgt immer eine etwa gleichmäßige Wärmeabgabe (Abb. 13 u. 14).

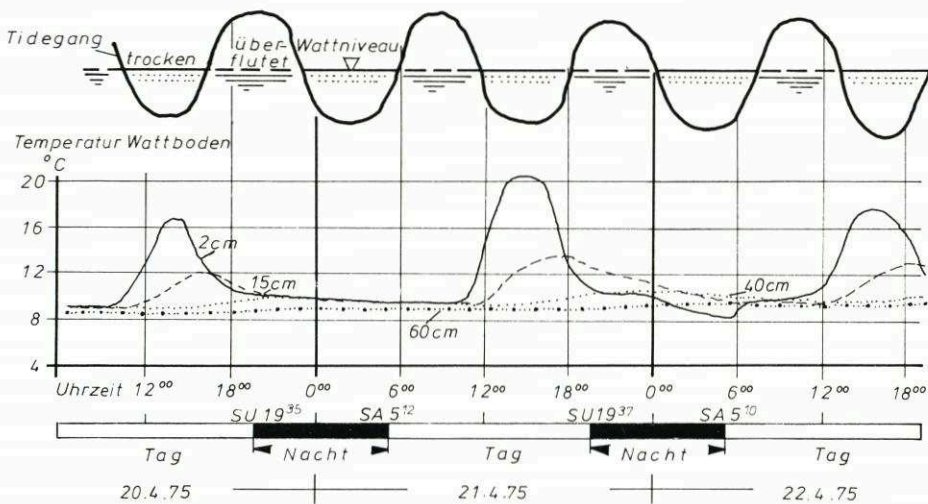


Abb. 13. Temperaturgang im feuchten, braunen Sandwatt in Abhängigkeit von Tidegang, Jahreszeit und Meßtiefe bei wolkeigem bis klarem Wetter (nach Andrews 1980)

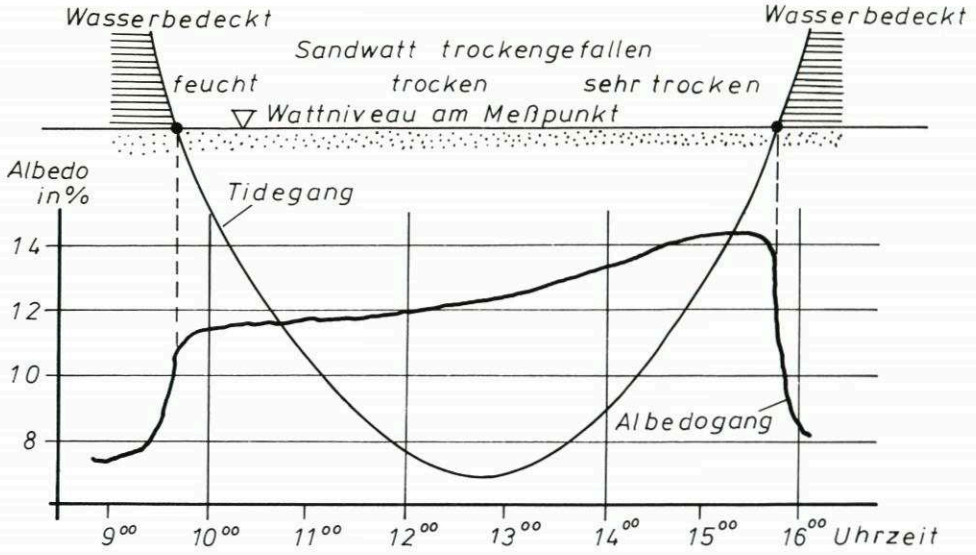


Abb. 14. Änderung der Albedo über braunem Wattsand unter wolkenfreiem Himmel im Tideeinfluß am 2. 8. 75 (nach Andrews 1983)

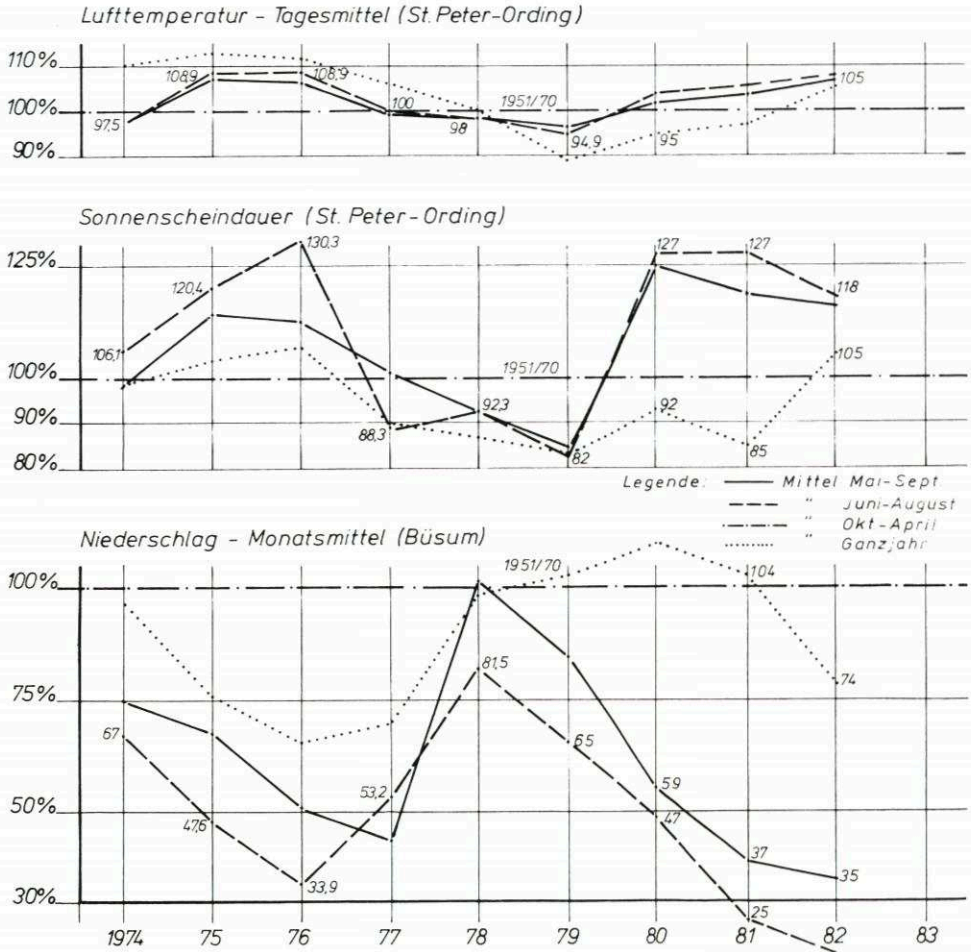


Abb. 15. Meteorologische Charakteristik der Jahre 1974 bis 1982 im Verhältnis zum 20jährigen Mittel 1951/70

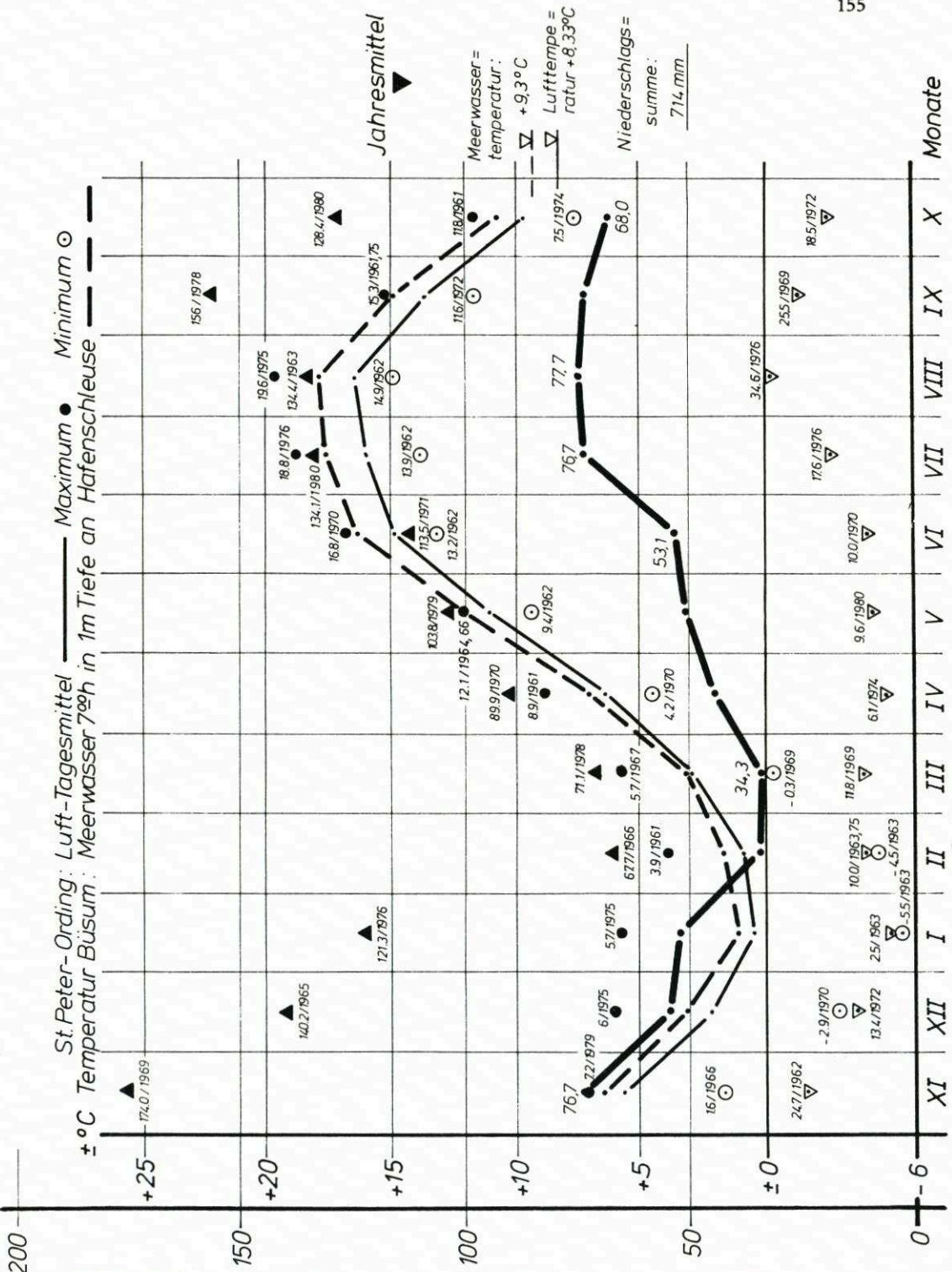


Abb. 16. Mittlere und extreme Niederschläge, Luft- und Meerwassertemperaturen 1961/80 in Büsum

Tab. 2. Überflutungs- und Trockenfallgeschwindigkeit der Watten in Abhängigkeit von ihrer Höhe, Neigung und vom Tidegang bei mittl. Springtide in Büsum

Höhenlage der Tide- und Wattstufen \pm mNN von / bis	Tidegang am Pegel Büsum bei mittlerer Springtide 1966/75				Neigung der Wattoberfläche (Westküste S.-H.)						Überflutungsge- schwindigkeit m/min.			Trockenfallge- schwindigkeit m/min.			
	Tidestieg		Tidefall		Anzahl Stichpr.	im Mittel		Minimum		Maximum		i.Mittel	Max.	Min.	i.Mittel	Max.	Min.
\bar{t}_E min	cm/min	\bar{t}_E min	cm/min	1:n		%	1:n	%	1:n	%							
+1,00 / +0,75	20	1,25	22	1,14	13	55,4	1,8	114,0	0,4	24,0	2,1	6,9	14,3	3,0	6,3	13,0	2,7
+0,75 / +0,50	18	1,39	20	1,25								7,7	15,8	3,3	6,9	14,3	3,0
+0,50 / +0,25	16	1,56	19	1,32	27	50,0	2,0	114,0	0,4	12,0	8,3	7,8	17,8	1,9	6,6	15,0	1,6
+0,25 / ± 0,00	15	1,67	17	1,47								8,4	19,0	2,0	7,4	16,8	1,8
± 0,00 / -0,25	13	1,92	16	1,56	29	38,6	2,6	105,0	0,9	6,0	16,7	7,4	20,2	1,1	6,0	16,4	0,9
-0,25 / -0,50	12,5	2,00	15	1,67								7,7	21,0	1,2	6,4	17,5	1,0
-0,50 / -0,75	14	1,79	13	1,92	24	23,4	4,2	64,0	1,5	4,0	25,0	4,2	11,5	0,7	4,5	12,3	0,8
-0,75 / -1,00	15	1,67	13	1,92								3,9	10,7	0,7	4,5	12,3	0,8
-1,00 / -1,25	18	1,39	14	1,79	19	11,8	8,4	34,0	2,9	3,0	33,3	1,6	4,7	0,4	2,1	6,1	0,5
-1,25 / -1,50	22	1,14	16	1,56								1,3	3,9	0,3	1,8	5,3	0,5
-1,50 / -1,75	28	0,89	22	1,14	14	10,0	10,0	27,0	3,7	2,0	50,0	0,9	2,4	0,2	1,1	3,1	0,2
-1,75 / -1,96	61	0,34										0,3	0,9	0,1	0,4	1,1	0,1
-1,75 / -1,98			58	0,40													

2.3 Zum Salzgehalt und zur Eisbildung im Watt

Der Gefrierpunkt von Wasser ist abhängig vor allem von seiner Dichte, Temperatur und dem Salzgehalt. Süßwasser erreicht die größte Dichte bei +4 °C und gefriert, wenn die Temperaturschwelle von ± 0 °C erreicht und unterschritten wird. Meerwasser mit einem Salzgehalt von 25 ‰ hat die größte Dichte bei etwa -1,4 °C. Wegen des Gemisches verschiedener Salze im Meerwasser, die bei sehr unterschiedlichen Temperaturen auskristallisieren, ist der Gefrierpunkt des Meerwassers nicht eindeutig festlegbar. Natriumsulfatlage ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10 \text{H}_2\text{O}$) wird z. B. bei -8,2 °C auskristallisiert, Natriumchlorid (NaCl) erst bei -23 °C. Unter -55 °C ist die restliche Mutterlauge völlig erstarrt (DIETRICH u. KALLE, 1965). Bis sämtliche Salze auskristallisiert sind, bleibt zwischen den bereits gebildeten Eiskristallen eine Salzlake eingeschlossen. Sie sickert wegen ihres gegenüber dem Eis schwereren Gewichts langsam nach unten aus. In die Hohlräume dringt Luft nach. Bei einem Meerwasser mit 33 ‰ Gesamtsalzgehalt beginnen sich reine Eiskristalle zu bilden, wenn die Wassertemperatur auf -1,8 °C gesunken ist. Das Eis bleibt also auch bei weiter absinkenden Temperaturen noch lange griesig, weich und brüchig.

Der Salzgehalt des Nordseewassers unmittelbar an der Küste liegt infolge des Süßwasserzuflusses vom Binnenland her etwa zwischen 18 ‰ und maximal 32 ‰ (Tab. 4), wobei jahreszeitliche Schwankungen beobachtet wurden, mit geringfügig höheren Werten im Sommer. Für das freie Meerwasser im Jadebusen ist eine Schwankungsbreite der Salinität von 22 bis 33 ‰ ermittelt worden (DÖRJES, 1970).

An der Wattoberfläche schwanken die Salzgehalte insbesondere durch die meteorologischen Einflußwirkungen teilweise stark. Im Katinger Watt an der Eidermündung sind unmittelbar nach dessen Bedeckung in der obersten Schicht von 0 bis 2 cm Tiefe zwischen rd. 26 und 85 ‰ NaCl ermittelt worden. Die angrenzende Tideeider hatte zur gleichen Zeit einen

Gehalt von 25 ‰ (WIELAND, 1973). Nach DÖRJES (1970) liegt der Salzgehalt des dem Tidewechsel unterliegenden Wattsediments infolge Kapillarwirkung und Verdunstung während der Trockenfalldauer um 3 bis 5 ‰ höher als das diese Watten überflutende Meerwasser. Bei intensiver Sonneneinstrahlung im Sommer kann diese Differenz im Extremfall bis zu 25 ‰ betragen. Im Winter ist die mittlere Differenz an Frosttagen infolge Ausfrierens höher als im Sommer, bei starken Niederschlägen niedriger. Im Lauwerzee-Polder (Niederlande) sind unmittelbar nach Deichschluß im Mai 1969 an der Wattoberfläche 25 bis 35 ‰ NaCl gemessen worden, im April 1970 waren es 25 bis 43 ‰, und erst danach sank der Wert durch Auswaschung langsam gleichmäßig ab (RIJKSDIENST v. IJSSELMEERP., 1971).

Da bei Lufttemperaturen um und unter $\pm 0^\circ\text{C}$ der Niederschlag zumeist als Schnee die Wattoberfläche erreicht, eine Auswaschung also kaum stattfindet, zum anderen aber das Ausfrieren einsetzt, kann davon ausgegangen werden, daß die Watten entlang der Küste an der Oberfläche generell einen geringfügig höheren, zumindest aber gleichhohen Salzgehalt aufweisen als das Meerwasser dort. Das erlaubt den Schluß, daß die Eiskristallbildung auf den Watten entlang der Küste unter dem Einfluß eines Meerwassers mit durchschnittlich 25 ‰ Salzgehalt etwa bei $-1,8^\circ\text{C}$ Wassertemperatur beginnt (WIELAND, 1982).

Nunmehr ist zu prüfen, ob, wann und wie lange mit einer Unterschreitung dieses Meerwassertemperatur-Schwellenwertes zu rechnen ist. Anhand der Pentadenwerte der Zehnjahresreihe 1967/76 ergibt sich, daß dies zu keiner Zeit der Fall war. Die niedrigste Meerwassertemperatur überhaupt betrug in insgesamt zwei Pentaden (16. bis 20. 1. 1972 und 15. bis 19. 2. 1970) $-1,7^\circ\text{C}$. Die längste ununterbrochene Reihe mit tiefsten Meerwassertemperaturen dauerte rd. 1,5 Monate (16. 1. bis 1. 3. 1970) bei mindestens $-1,2^\circ\text{C}$ und höchstens $-1,7^\circ\text{C}$. Vereinzelt, besonders in stärker von Süßwasser durchmischten Flußmündungsgebieten, kam es dennoch zur Eisbildung, zumal an Einzeltagen innerhalb der Extrempentaden etwas tiefere Temperaturen vorkamen. Ausnahmen hiervon sind in Extremwintern möglich, wie 1978/79 mit vor allem viel Schneefall, jedoch Lufttemperaturen von minimal nur $-11,4^\circ\text{C}$ (5. 1. 79) und Meerwassertemperaturen von minimal $-1,9^\circ\text{C}$ (6. bis 10. 1. 79) oder, wie im Januar und Februar 1963, mit täglichen Lufttemperatur-Minima bis über -20°C in St. Peter-Ording. Diese extremen Winter treten jedoch selten auf.

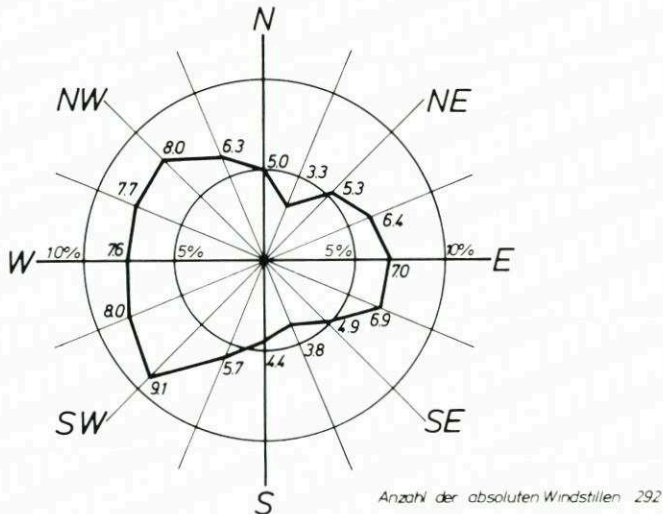
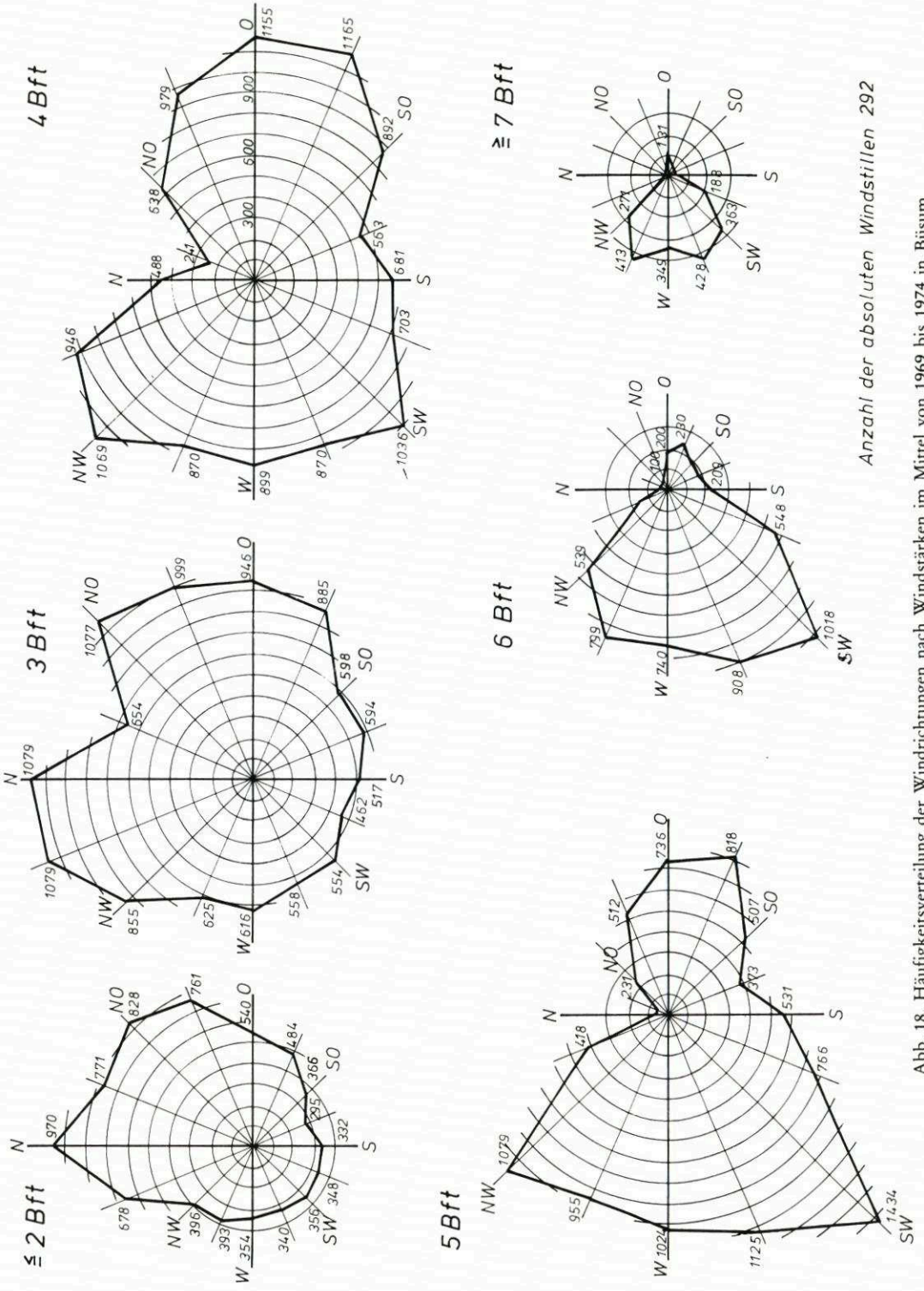


Abb. 17. Prozentuale Verteilung der Windrichtungen aller Windstärken im Mittel von 1969 bis 1974 in Büsum



Anzahl der absoluten Windstillen 292

Abb. 18. Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen nach Windstärken im Mittel von 1969 bis 1974 in Büsum

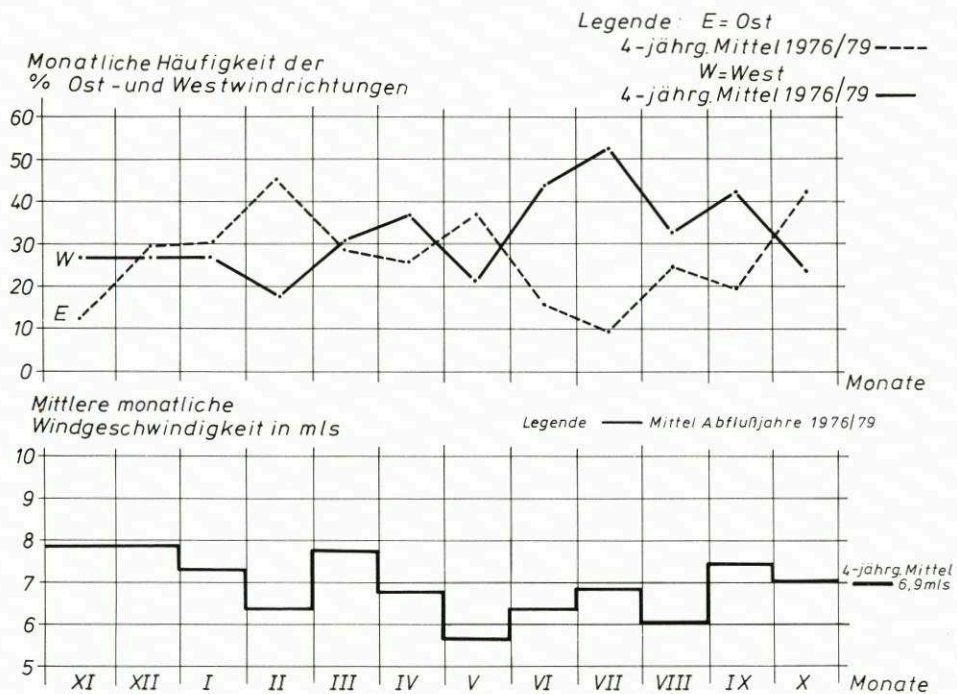


Abb. 19. Monatliche Verteilung der Ost- und Westwindhäufigkeiten und der Windgeschwindigkeiten im Mittel von 1969 bis 1974 in Büsum

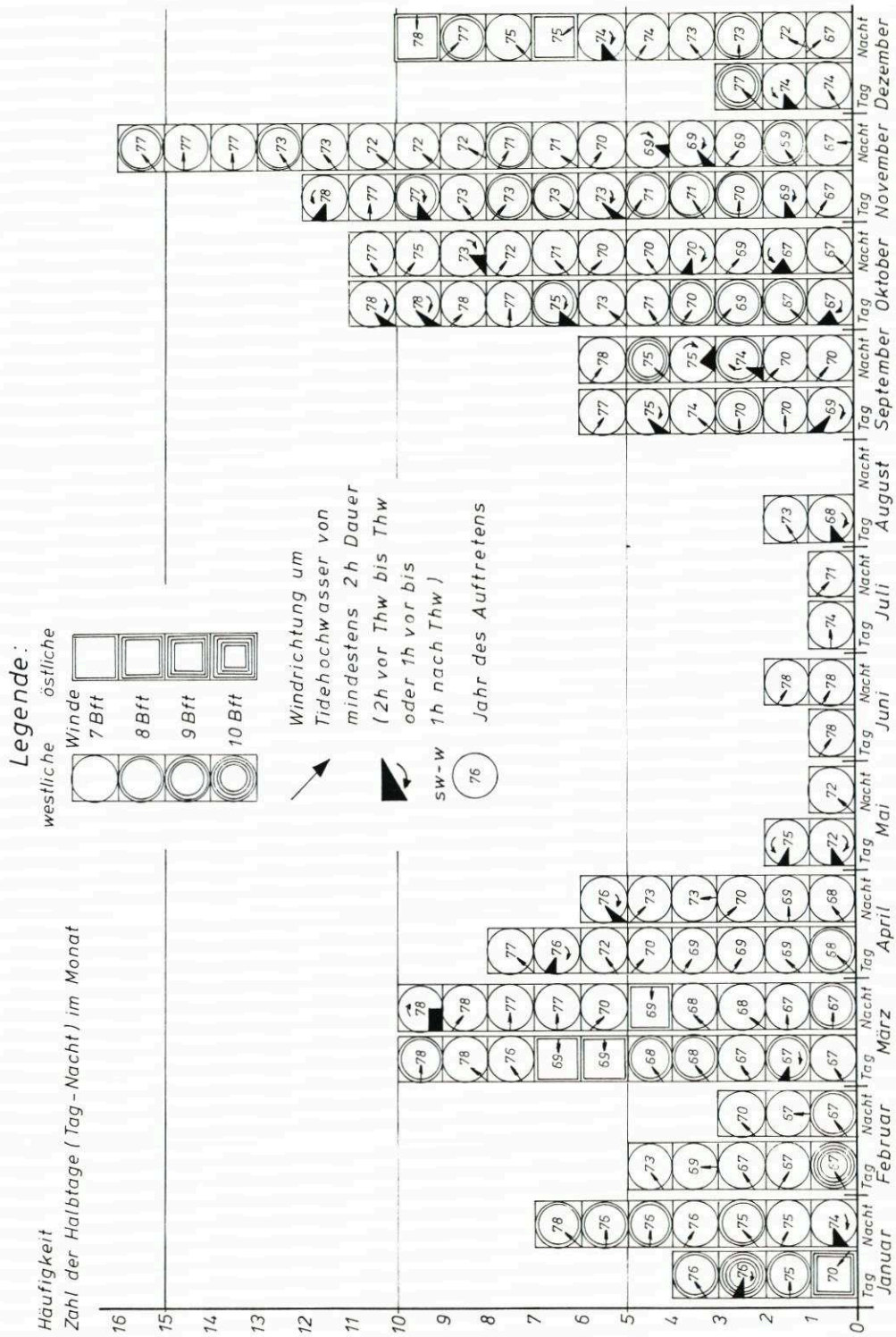


Abb. 20. Monatliche Verteilung der Starkwinde ≥ 15 m/S (Bft 7) um Hochwasser am Tage und nachts von 1967 bis 1978 in Büsum

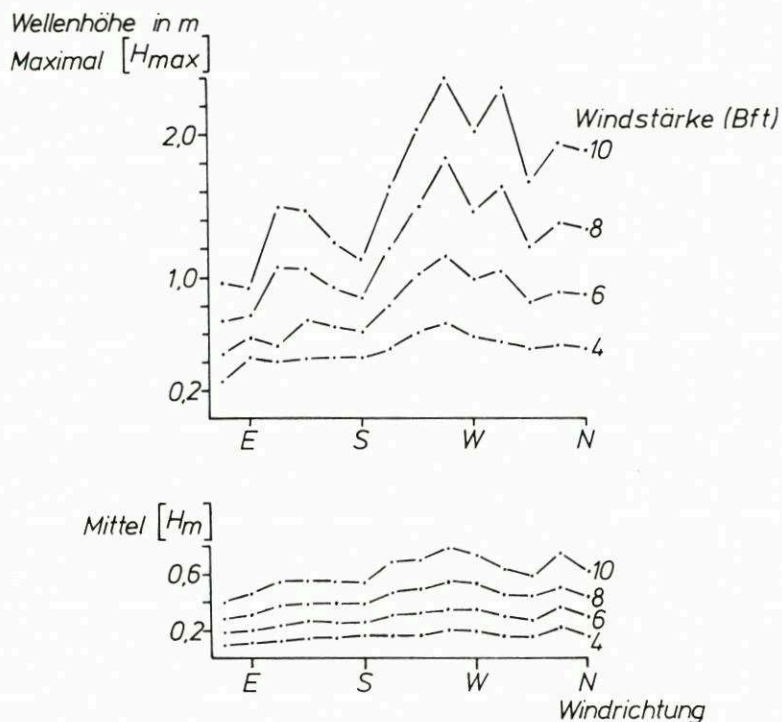


Abb. 21. Maximale und mittlere Wellenhöhen am Südrand des Büsumer Watts in Abhängigkeit von Windrichtung und -stärke (nach GIENAPP 1972)

Tab. 4. Prozentuale monatliche Häufigkeitsverteilung der Windstärken im Mittel von 1969 bis 1974 in Büsum

Monate	Windstillen	Windstärken in Beaufort										Summe in % der Bft 0-3 und Windstillen				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	11		
Januar	0,20	0,11	1,57	8,27	21,53	30,85	26,93	7,97	2,42	0,16						31,68
Februar	0,64	0,39	2,42	10,48	21,67	29,19	22,26	10,11	2,44	0,35	0,05					35,60
März	0,63	0,29	1,99	10,75	22,76	27,55	19,85	11,27	4,41	0,49						36,42
April	0,46	0,23	3,89	13,63	22,41	22,27	19,31	12,29	4,89	0,63						40,62
Mai	1,79	0,38	4,08	11,25	25,58	27,20	18,39	9,23	2,04	0,07						43,08
Juni	0,86	0,25	4,26	14,77	29,38	26,09	17,04	6,62	0,74							49,52
Juli	0,67	0,38	2,84	11,16	22,60	24,35	23,66	11,54	2,51	0,29						37,65
August	0,22	0,29	4,88	17,90	28,54	23,90	15,97	7,35	0,90	0,04						51,83
September	0,44	0,28	4,58	15,56	22,89	22,23	20,00	10,05	3,31	0,67						43,75
Oktober	0,49	0,40	4,88	16,26	27,84	21,42	14,45	9,09	4,05	1,10						49,87
November	0,14	0,07	1,67	6,85	14,17	21,64	21,16	18,91	10,88	4,24	0,25	0,02				22,90
Dezember	0,11	0,20	2,06	8,02	16,49	24,55	24,24	17,88	5,58	0,78	0,09					26,88
Jahr 69/74	0,56	0,27	3,26	12,08	23,01	25,09	20,26	11,02	3,68	0,73	0,03	0,0				

Als Basis diene das Zehnminutenmittel des Windschriebs Büsum

Tab. 3. Meerwassersalzgehalte im Gebiet der Dithmarscher Bucht 1977/78

Ort	Entnahme		MEZ	Tempera- tur °C	Meerwasserwerte		Gesamtsalz ‰
	Datum				pH	Chlorid mg/l	
Büsum, Badebecken-Ost (Meßtiefe 0,2m)	4. 5.77		14.25	-	7,9	13.380	24,18
	31. 8.77		15.10	-	7,5	16.095	29,08
	25.10.77		12,45	-	7,1	15.140	27,35
Büsum, Seegarten (Meßtiefe 0,2m)	4. 5.77		14.15	17,5	8,1	15.680	28,33
	31. 8.77		14.50	20,0	7,4	16.580	29,95
	25.10.77		12.40	11,5	7,0	14.915	26,95
	24. 1.78		14.10	-1,0	7,8	10.465	18,92
	7. 4.78		13.35	6,5	7,4	14.140	25,55
	2. 8.78		13.30	20,0	8,0	13.000	23,49
	12.10.78		9.15	12,0	8,0	13.020	23,53
Büsum, Ostwatt (Meßtiefe 0,2m)	31. 8.77		14.25	-	7,9	16.280	29,41
	25.10.77		12.05	-	7,1	14.930	26,98
	24. 1.78		13.50	-	7,7	12.060	21,80
	7. 4.78		13.15	-	7,5	13.130	23,73
	2. 8.78		13.10	-	8,6	13.850	25,03
	12.10.78		8.50	-	7,4	12.750	23,04
Warwerort, östl. Büsum (Meßtiefe 0,2m)	4. 5.77		13.30	15,5	7,9	16.810	30,37
	31. 8.77		14.05	20,0	7,2	16.485	29,78
	25.10.77		11.45	12,0	6,9	15.190	27,45
	24. 1.78		13.25	-0,5	7,7	10.965	19,82
	7. 4.78		12.50	6,5	7,2	12.630	22,83
	2. 8.78		12.35	20,0	8,4	11.330	20,48
	12.10.78		8.40	12,5	7,6	12.830	23,19
Hallig Helmsand Dithm. Bucht (Meßtiefe 0,2m)	4. 5.77		13.00	15,0	7,9	13.620	24,61
	31. 8.77		13.25	21,5	7,3	16.560	29,92
	25.10.77		11.00	12,0	7,1	12.940	23,39
	24. 1.78		12.45	0,0	7,7	12.840	23,24
	7. 4.78		12.00	6,5	7,3	12.795	23,12
	2. 8.78		11.55	20,0	8,4	10.240	18,51
	12.10.78		8.00	12,0	7,5	11.950	21,61
Wattstrom "Piep" querab Seegarten (Meßtiefe 1,0m)	5. 5.77		8.50	11,5	8,2	12.410	22,43
	24. 8.77		16.00	17,2	8,0	16.150	29,18
	3.11.77		12.30	10,2	8,0	13.860	25,05
	23. 1.78		12.00	0,6	8,0	14.780	26,71
	13. 4.78		9.40	5,8	8,1	14.000	25,30
	9. 8.78		16.25	18,9	8,4	16.140	29,16
	11.10.78		17.10	12,9	8,0	12.050	21,78
Priel "Wöhrdener Loch" südöstl. Büsum (Meßtiefe 1,0m)	5. 5.77		13.30	11,5	8,2	13.190	23,84
	24. 8.77		14.15	16,7	7,9	15.090	27,28
	3.11.77		15.20	10,1	8,0	14.030	25,35
	23. 1.78		11.35	0,5	8,0	12.760	23,06
	13. 4.78		17.10	6,2	8,1	14.090	25,46
	9. 8.78		16.00	19,0	8,3	14.040	25,37
	11.10.78		19.30	12,8	8,0	13.770	24,88
Mittelwert:	-	-	-	-	7,7	13.924	25,10

3. Schriftenverzeichnis

- ANDREWS, R.: Wärmehaushaltsuntersuchungen im Wattgebiet der Nordseeküste. DGM, H. 5, 1976.
- ANDREWS, R.: Wärmeaustausch zwischen Wasser und Wattboden. DGM, H. 2, 1980.
- DIETRICH, G. u. KALLE, K.: Allgemeine Meereskunde. Verlag Gebrüder Bornträger, Berlin, 1965.
- DÖRJES, J.: Das Watt als Lebensraum. Das Watt, Ablagerungs- und Lebensraum. Verlag Waldemar Kramer, Frankfurt a. M., 1970.
- FIGGE, K., KÖSTER, R., THIEL, H. u. WIELAND, P.: Schlickuntersuchungen im Wattenmeer der Deutschen Bucht – Zwischenbericht über ein Forschungsprojekt des KFKI. Die Küste, H. 35, 1980.
- GIENAPP, H.: Wellenmessungen im Seegebiet der Piep (Deutsche Bucht). Helgoländer wiss. Meeresuntersuchungen, H. 23, 1972.
- GUNNEBERG, E.: Wärmehaushalt der Küstengewässer. Unveröffentlichtes Manuskript, Vortrags-tage der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, vom 13. bis 14. Mai 1975.
- RIJKSDIENST voor de JJSSELMEERPOLDERS (Hrsg.): De Ontzilting van de Gronden in de Lauwers-zee bis Oktober 1970 und Mai 1971. Jahresberichte, unveröffentl., Baflo, 1971.
- SIEFERT, W.: Zusammenstellung der wichtigsten Meßdaten und Untersuchungsergebnisse 1964/77 aus dem Sahlenburger Watt. Studie Nr. 41, Strom- u. Hafengebäude Hamburg, Forschungs- und Vorarbeitenstelle Neuwerk, 1979.
- SIEFERT, W., FAHSE, H., MIESSNER, F., RICHTER, H.-H., TAUBERT, A. u. WIELAND, P.: Die Strömungsverhältnisse vor der Westküste Schleswig-Holsteins – Ergebnisse eines KFKI-Meßprogrammes. Die Küste, H. 35, 1980.
- SIEFERT, W., MIESSNER, F., RICHTER, H. H. u. WIELAND, P.: Triftströmungen vor der Küste zwischen Eider und Elbe. Die Küste, H. 38, 1983.
- WIELAND, P.: Grundlagen zur Gestaltung und Begrünung des eingedeichten Katinger Watts im Hinblick auf seine Nutzung für Erholungszwecke. Arbeitsbericht 29/1973, Marschenbau- amt Heide/Pegelaußenstelle Büsum, unveröffentl., 1973.
- WIELAND, P.: Untersuchung über Grundlagen zur Quantifizierung des natürlichen Erholungspotentials der deutschen Wattenmeerküste. Diss., Verlag R.b. Fischer, Frankfurt, 1982.
- WIELAND, P. u. FLADUNG, B.: Windstatistik Büsum 1969–1974. Wasser und Boden, H. 11, 1982.
- WIELAND, P.: Gewässerkunde und Küstenforschung in Büsum – Einblick und historischer Rückblick. Dithmarschen-Zeitschrift für Landeskunde und Landschaftspflege, H. 1, 1983.