

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Die Schrift darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

Weitere Untersuchungen über das Farbstreifen-Sandwatt.

Von ERICH SCHULZ und HELGA MEYER.

(Meereskundliche Arbeiten der Universität Kiel, Nr. 61.)

Nach der ersten Mitteilung über das Farbstreifen-Sandwatt [8]¹⁾ lag uns daran, mit einer Anzahl chemisch-hydrographischer und Wasserstands-Messungen das früher Vorgetragene zu erhärten und mit Beobachtungen durch alle Jahreszeiten fortzufahren. Fast alle Mitarbeiter unseres Instituts haben durch Gedankenaustausch und durch tätige Mithilfe uns dabei unterstützt. Dafür sei ihnen hier gedankt.

Nivellierung. Um unsere Messungen zu NN in Bezug bringen zu können, war es notwendig, an den Untersuchungsstellen zu nivellieren. Zu diesem Zwecke wurden Profile an der Vordüne beginnend quer über den Kniepsand gelegt, und zwar eins südlich des dreieckigen Resttumpels (Abb. 1) und eins nördlich. Außerdem wurde zum Vergleich im Norden des Kniepsandes, genauer: 250 m nordostw. von dem neuen Rettungsschuppen neben dem Norddorfer Ausgang, ein Profil durch das bei jedem Hochwasser überflutete Arenicola-Cardium-Watt gelegt. Für Angabe der Höhensteine, an die wir unsere Messungen anschlossen, sagen wir dem Marschenbauamt Husum und Herrn Inspektor ARFSTEN (Wyk a. Föhr) unseren besten Dank.

Wenn man die Länge der von uns ausgemessenen Profile auf die topographische Karte des Reichsamtes für Landesaufnahme von 1928 überträgt, so fällt sofort auf, daß der Kniepsand heute südl. des genannten Resttumpels ca. 150 m und nördl. ca. 100 m

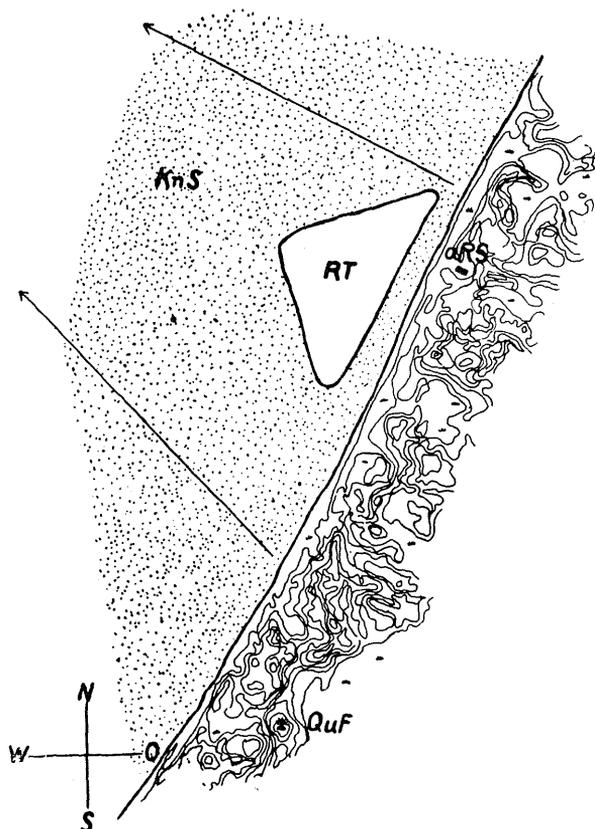


Abb. 1. Kartenskizze von einem Teil des Amrumer Kniepsandes. KnS Kniepsand, RT Resttumpel, aRS alter Rettungsschuppen, QuF Quermarkenfeuer. Die Pfeile geben die Richtung der Nivellierungsprofile I u. II an.

¹⁾ Die Nummern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluß dieser Arbeit.

schmäler ist, dagegen beim Norddorfer Ausgang um 200 m breiter. Wir erwähnen dies, um zu zeigen, wie sehr das ganze Gebiet mit seinen verschiedenen Lebensgemeinschaften noch in Bewegung ist. Ausführlicher wird über diese morphologischen Veränderungen, soweit sie sich in historischer Zeit zurückverfolgen lassen, Dr. KUNZ berichten. Sie sind zum mindesten im Norden der Insel jedem häufigeren Besucher bekannt. So daß man sich wundern darf, mit welchem Konservatismus trotzdem auf den meisten Karten von Amrum immer noch ein riesiger Kniephafen eingetragen wird, der heute gar nicht mehr besteht. Weshalb die Resttümpel sich gehalten haben, ist ein Fragekomplex für sich und wird hoffentlich auch eines Tages seine Lösung finden.

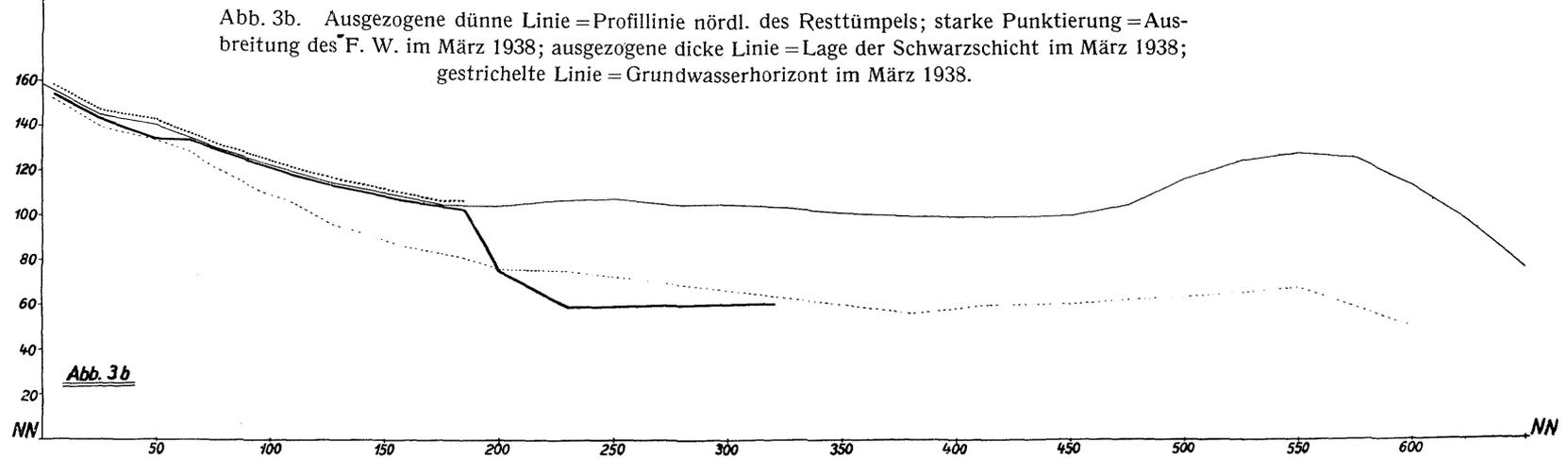
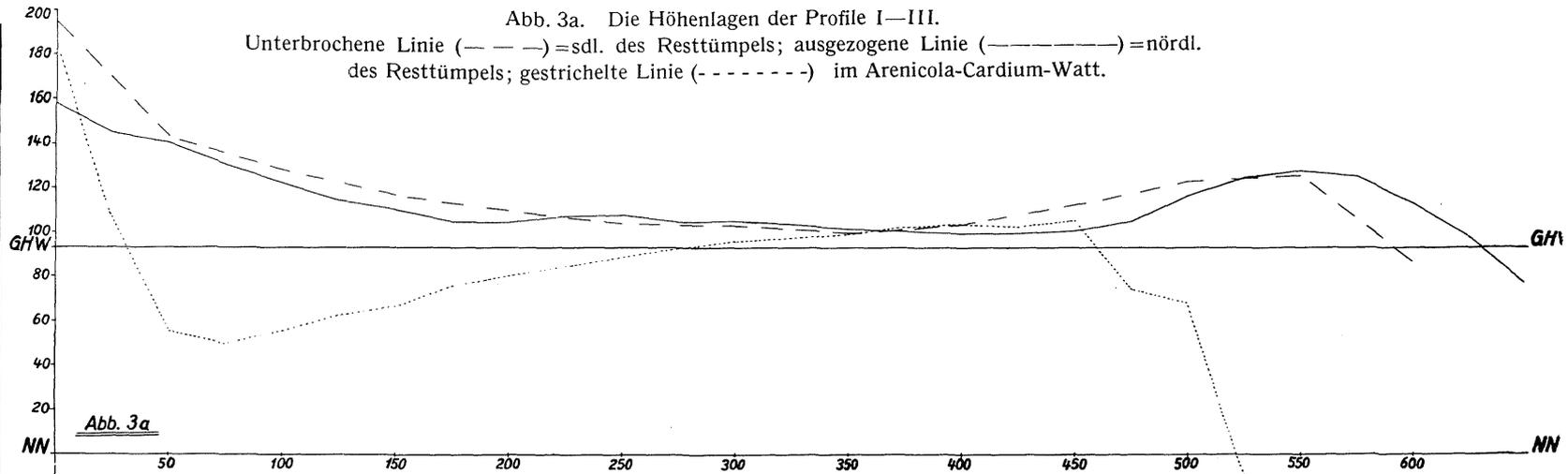
Auf der Abb. 3a (S. 323) sind die Nivellements-Profile südl. und nördl. des Resttümpels sowie durch das Arenicola-Cardium-Watt mit einer Überhöhung 1 : 100 eingetragen. Wir erkennen bei den ersten beiden Schnitten, daß das Gelände von dem Fuß der Vordüne her abfällt, dann von 170—400 m etwa sich in nahezu derselben Höhe hält, um anschließend zum locker gelagerten Sandaufschüttungswall wieder anzusteigen und schließlich viel steiler nach See hin abzufallen. Es ist ferner NN und GHW (gewöhnliches Hochwasser) eingetragen. Daraus ist ablesbar, daß die beiden genannten Profillinien über GHW liegen, dagegen im Bereich des Arenicola-Cardium-



Abb. 2. Profillinie III, Verlauf in Richtung des Pfeils.

Wattes, welches 40 m von der Honckenya-Zone am Fuße der Vordüne entfernt beginnt, das Gelände anfangs viel steiler abfällt, und zwar unter GHW, um dann allmählich anzusteigen. Auf vorstehender Abb. 2 wird dieses Gebiet auf einem Ausschnitt einer Luftaufnahme*) gezeigt. Die Aufnahme zeigt die Oberfläche des Sandes an der

*) Zur Veröffentlichung freigegeben durch RLM Nr. 32249.



betreffenden Profillinie in verschiedener Helligkeit; der dunkleren Schattierung entspricht die tiefere Lage.

Das Farbstreifen-Sandwatt (F.W.) nimmt im allgemeinen den von der Vordüne sanft abfallenden Hang ein, welcher auf den ersten beiden Profilen erkennbar ist, und erstreckt sich so flächenhaft südwärts über den ganzen Kniepsand. Seine Ausdehnung gen Westen im Bereiche der beiden Profillinien war wechselnd, wie folgende Beobachtungen zeigen. Im Juni 1937 reichte das F.W. bis zur 100 m-Linie westl. der Vordüne, im März 1938 bis zur 155 m-Linie, im Mai 1938 bis zur 100 m-Linie und im Oktober desselben Jahres fast bis zur 200 m-Linie, im Februar 1939 bis zur 60 m-Linie. Wir werden weiter unten die Gründe erörtern. Anschließend an das F.W. folgen gen Westen die Lebensräume, welche vor kurzem [9] als Bledius- und Muschelsand-Zone Erwähnung fanden.

Korngröße des Sandes. In der ersten Arbeit über das F.W. war in einer Tabelle (S. 364) gezeigt worden, daß das Material, welches den Kniepsand aufbaut, zum weitest größten Teil aus einem Feinsand von der Größenordnung 0,2 mm besteht. Dieser wird nach CORRENS durch gute kapillare Wasserbewegung charakterisiert. Es wurde nun noch einmal Material von den einzelnen Schichten des F.W. auf die Korngröße untersucht. Das Ergebnis ist auf der folgenden Tabelle 1 zu ersehen und stimmt mit den früher gewonnenen überein.

Tabelle 1.

Größenordnung	Oberfläche + Grünschicht	Oberfläche + Grünschicht + Rotschicht	Schwarzschicht	
0,5 mm	10,2%	1,4%	46,2%	2,2%
0,2 „	89,7%	98,6%	53,8%	97,8%
0,1 „	0,1%	0 %	0 %	0 %

Sie zeigt außerdem, daß die feinste Komponente (0,1 mm) nur oberflächennah vorkommt und die stärkste (0,5 mm) ihr Schwergewicht in der Schwarzschicht hat. Hinzugefügt sei ferner, daß das spezifische Gewicht von 6 Proben dieses Sandes bestimmt wurde, die Werte für s lagen zwischen 2,575 und 2,675.

Wasser- und Salzgehalt im Farbstreifen-Sandwatt. Da diese Schichten, mit Ausnahme der Schwarzschicht, wie gezeigt werden konnte, von einer reichen Tierwelt besiedelt werden, interessierte es uns, etwas über den Wasser- und Salzgehalt in Erfahrung zu bringen.

Zur Charakterisierung der einzelnen Schichten seien noch einige Ausmessungen der Schichthöhen (in mm) wiedergegeben.

F.W.-Stat.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Grau	3	2	3	2	13	1	4	2	4
Grün	5	3	2	2	1	6	2	2	1
Rot	1	1	1	1	1	2	1	2	3
Insgesamt	9	6	6	5	15	9	7	6	8

Unter der Rotschicht liegt die Schwarzschicht mit Schattierungen von dunkelgrau bis schwarz. Die Grau-Grünschicht hat also etwa eine Mächtigkeit von 5—10 mm, und

die Rotschicht wurde überall sehr dünn gefunden. Bei F.W.-Station V hatte Überwehung stattgefunden, wodurch der höhere Wert für die Grauschicht zu erklären ist.

Zur Wassergehaltsbestimmung wurde der wasserhaltige Sand gewogen, durch Auswaschen auf dem Filter von Salz befreit und wieder gewogen; der Gewichtsverlust wird als Wassergehalt in Gewichtsprozenten angegeben. Die Proben zur Feststellung des Salzgehaltes im Grundwasser wurden möglichst schnell nach dem Aufgraben entnommen, um eine Vermischung mit Sickerwasser aus den oberen Sandschichten zu verhindern. Der Salzgehalt wurde mit Silbernitrat titriert. Bei der Bestimmung des Salzgehaltes in den einzelnen Sandschichten selbst wurde so vorgegangen, daß eine abgewogene Menge des wasserhaltigen Sandes im Meßkolben auf ein bestimmtes Volumen mit Wasser verdünnt wurde. Die Verdünnung ließ sich dann, wenn in einer Parallelprobe der Wassergehalt ermittelt wurde, unter Berücksichtigung von Trockengewicht und spez. Gewicht berechnen. Bei der Benutzung einer etwa $n/50$ Silbernitratlösung zur Titration wurden befriedigende Ergebnisse erzielt.

In Tabelle 2 sind einige Werte zusammengestellt; wie wir sehen, nimmt im allgemeinen der Wassergehalt nach der Oberfläche hin ab.

Tabelle 2.

Station	H ₂ O %				S ‰	
	I	II	III	I	I	I
						Regen
Grauschicht	15,8	12,8	19,6	20,7	46,3	9,44
Grünschicht	16,2	17,3	19,9	22,4	33,4	9,50
Rotschicht	17,7	17,3	20,5	22,9	29,8	7,67
Schwarzschicht	18,6	21,75	19,8	22,2	23,0	2,70
Grundwasser	—	—	—	—	7,4	2,33
	Juni 1937			Aug. 37	Juni 37	Aug. 37

Über den Salzgehalt war 1936 die Vorstellung geäußert worden, daß ein starker Regen eine Aussüßung bringen würde und eine intensive Sonnenbestrahlung eine Erhöhung des Salzgehaltes. Wir finden diese Annahme in der Tabelle eindeutig bestätigt. Da Insolation und Verdunstung veränderliche Größe sind, werden auch die Wasser- und Salzgehaltswerte in den Schichten schon in relativ kurzen Zeitabständen sich ändern. Überraschen kann nur, wie hoch der Salzgehaltswert werden kann; wie müssen damit rechnen, daß die extremen Werte noch höher liegen, und so kann mit Recht der Hinweis auf die Enteromorphazone, welche durch OTTO [6] untersucht wurde, wiederholt werden. Es waren auch schon Werte über den Salzgehalt im Grundwasser unter dem F.W. mitgeteilt worden, welche damals ziemlich hoch lagen (27—30‰), aber sonst nichts besonderes ergaben. Weitere 21 Messungen konnten ausgewertet werden; sie zeigten einen viel größeren Schwankungsbereich, nämlich von 1,85—23,4‰. Es lag nun nahe, diese Werte zu vergleichen mit solchen anderer Untersuchungsstellen auf dem Kniepsand, wo kein F.W. ausgebildet war.

Lebensräume. Vorerst aber sei noch einmal auf die Aufeinanderfolge der Biotope Farbstreifen-Sandwatt, Bledius- und Muschel-Sandzone eingegangen. Scharfe Grenzen

von einer Biocoenose zur anderen sind infolge der stets wechselnden Außenbedingungen nicht zu erwarten. Wir haben auf dem Kniepsand 1. das F. W., welches früher (1936) nach Struktur und Aussehen charakterisiert wurde. 2. Die Bledius-Sandzone, oder was dasselbe ist, die Bledius-Dyschirus-Biocoenose, welche äußerlich an den Sandhäufchen und Sandtunnels [3. u. 12.] zu erkennen ist; sie umgibt das F. W. in der höheren Lage zur Düne hin und erstreckt sich meerwärts zum Teil in Niveauhöhe des F. W. auf den Muschelsand hinauf. Wie aber vor kurzem mitgeteilt wurde [9] zeigen Bledius- und Muschelsand gegenüber dem F. W. hinsichtlich ihrer Mikrofauna durchaus eigenes Gepräge, dagegen wird der Muschelsand nach unseren bisherigen Kenntnissen von einer verarmten Blediusand-Fauna besiedelt. Aus den schönen Untersuchungen LARSEN'S [3] entnehmen wir, daß der Feuchtigkeits- und Salzgehalt des Standortes für die Verteilung der Blediusarten- und -rassen von Wichtigkeit sind. So ist jene Zone in ihrer Einheit Bindeglied zwischen F. W. und Muschelsandzone, wobei die Verbindung in der Hauptsache durch Bledius hergestellt wird, der die Sandalgen als Nahrung bevorzugt. Wir haben 3. den Lebensraum Muschelsandzone dort, wo der Kniepsand Amrums aus dichten Lagen von Sand und Muschelschalen besteht, und zwar von der Oberfläche bis zum Grundwasserhorizont und noch tiefer. Letzteres ist vorwiegend der Fall im Bereich des Sandaufschüttungswalles am Westrande des Kniepsandes. Charakterisiert wird diese Zone noch dadurch, daß man hier beim Gehen meist fußtief einsinkt, also eine lockere Lagerung vorherrscht. Inwieweit sich der „Porenluft-Horizont“, den WOHLBERG [12] beschreibt und welchem auch eine lockere Lagerung des Sandes eigen ist, innerhalb des „Muschelsandes“ einordnen läßt, muß noch eine eingehendere Untersuchung zeigen. Als Beginn der Muschelsandzone könnte man die Gegend bezeichnen, wo Muschellagen nur erst unter der Oberfläche im Grundwasserhorizont und in evtl. vorhandener Schwarzsicht angetroffen werden. Um den Begriff des Muschelsandes noch quantitativ zu erhärten, haben wir eine Probe des normalen Muschelsandes mit Sand aus dem Bereich des F. W. verglichen, und zwar haben wir die im Sand vorhandene CaCO_3 -Menge als Maß genommen. Der Anteil der Kalkschalen am Sande ist in Gewichtsprozenten ausgedrückt: F. W.-Sand = 2,8%, Muschelsand = 13,52%.

Ca-Verhältnisse. Die Vermutung liegt nahe, daß das Wasser in diesem Bereich in bezug auf seinen Kalkgehalt abweichende Eigenschaften besitzt. Schon bei Betrachtung mit bloßem Auge fällt das Wasser durch eine milchig-weiße Trübung auf, eine photometrische Messung ergab eine 10—15 × so starke Absorption wie die eines trüben und planktonreichen Meerwassers bei Norddorf. Deshalb wurden an filtriertem Wasser eine Anzahl Calcium-Bestimmungen nach der von GRIPENBERG [1] angegebenen Methode vorgenommen. In Tabelle 3 sind die Ca-Werte mit den zugehörigen Cl-Werten eingetragen, zum Vergleich werden Ca-Werte von H_2O unterm Farbstreifenwatt hinzugefügt.

Das Ergebnis läßt sich am besten aus Abb. 4 ersehen: Auf der Ordinate sind die Cl-Werte aufgetragen, auf der Abszisse die gefundenen Ca-Werte in mg/L. Die eingezeichnete Gerade gibt die für das Ozeanwasser ermittelte Proportion Ca/Cl. an [11], dabei ist das Ozeanwasser schon eine an CaCO_3 übersättigte Lösung. Die Werte für Wasser unter Muschelsand (M. S.) wurden mit einem Kreuz, die für Wasser unter dem

Tabelle 3. Calciumgehalt des Grundwassers.

Nr.	Cl‰	Ca mg/L.	Herkunft
1	22,62	487	Muschelsand
2	28,15	515	„
3	30,88	555	„
4	31,20	654	„
5	34,50	648	„
6	34,55	657	„
7	36,10	676	„
8	36,25	634	„
9	1,95	48,9	Farbstreifenwatt
10	3,45	87,1	„
11	4,81	118,0	„
12	6,22	190,8	„
13	6,56	167,8	„
14	7,58	179,0	„
15	8,30	201,8	„
16	12,41	303,0	„

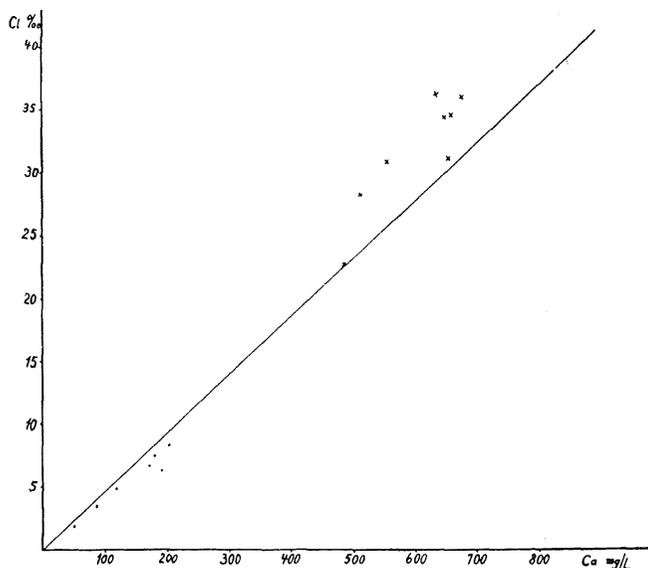


Abb. 4. Ca-Gehalt im Grundwasser.

Farbstreifenwatt (F.W.) mit einem Punkt eingezeichnet. Es zeigt sich nun, daß die M.S.-Werte sämtlich etwas nach links, die F.W.-Werte rechts von der Geraden zu liegen kommen, d. h. daß im ersten Falle weniger Ca in Lösung gefunden wurde als der Proportion Ca/Cl im Ozeanwasser entspricht, und daß im Wasser unter dem Farbstreifenwatt eine größere Menge Ca gelöst ist. Die Löslichkeit von CaCO_3 hängt vom pH ab. Nun werden im Farbstreifenwatt durch die Zersetzung der Organismen

Kohlensäure und andere saure Zersetzungsprodukte frei, das pH wird also herabgesetzt, und das Wasser hat eine größere Lösungsfähigkeit für CaCO_3 . Einige pH-Messungen ergaben Werte, welche erheblich unter dem des Meerwassers liegen. Damit finden die nach rechts verschobenen Punkte ihre Erklärung. Die Ca-Werte des M.S.-Wassers links der Geraden lassen sich folgendermaßen deuten: weiter unten wird gezeigt werden, daß in diesem Gebiet ein abnorm hoher Salzgehalt durch eine starke Verdunstung entsteht. Hierdurch und durch die geringe Zersetzung organischer Substanzen an dieser Stelle ist das Wasser kohlensäurearm, so daß die Lösungsfähigkeit für CaCO_3 herabgesetzt wird. In diesem an sich schon übersättigten Wasser wirken nun die Kalkschalen der Muscheln als Keime, die die Übersättigung aufheben und Calciumcarbonat zur Ausfällung bringen.

Salzgehalt im Grundwasser. Wir hatten oben davon gesprochen, daß es wünschenswert sei, Salzgehaltswerte von verschiedenen Untersuchungsstellen miteinander zu vergleichen. Zu diesem Zwecke wurden im März und Mai 1938 Untersuchungsprofile nördl. vom dreieckigen Resttümpel (Abb. 1) gelegt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 festgehalten; dort wo F. W. ausgebildet war, ist die Untersuchungsstelle durch Fettdruck, und wo Muschelsand sich fand, durch Kursivdruck hervorgehoben.

Tabelle 4.

März 1938				Mai 1938							
Entfern. von der Vordüne	Stat. I	Grundwasser		Entfern. von der Vordüne	Stat. I	Grundwasser		Sand			
		S‰	Abstand von der Oberfläche cm			S‰	Abstand von der Oberfläche cm	S‰	Abstand von der Oberfläche cm	S‰	Abstand von der Oberfläche cm
5	a	6,19	4	2	a	6,73	36	6,18	15	6,61	8
25	b	11,21	5	22	b	7,89	27	7,31	25	10,02	10
50	c	13,68	6	42	c	22,42	27	21,6	27	23,14	5
65	d	—	7	62	d	23,40	27	22,36	32	34,53	12
80	e	—	10	92	e	15,00	29	15,92	35	17,43	5
95	f	—	12	120	f	29,09	37	34,36	38	31,33	14
110	g	—	14	170	g	33,79	34	29,32	43	41,6	8
125	h	—	18	220	h	31,65	38	31,76	48	39,32	10
155	i	—	22	300	i	41,80	43	42,8	55	39,67	30
185	j	—	24	350	j	56,40	43	60,0	50	57,7	29
200	k	27,19	29	400	k	62,40	41	63,5	58	61,2	35
230	l	27,20	32	450	l	55,80	37	58,4	40	39,8	8
290	m	40,8	37	500	m	35,20	46	34,02	40	36,2	5
320	n	50,8	40	550	n	27,42	60	26,68	70	28,63	30
380	o	65,4	43	600	o	28,70	63	28,96	83	36,98	40
410	p	—	40	650	p	30,41	—	31,69	30	27,49	10
470	q	25,47	42								

Ein Vergleich der Salzgehaltswerte des Grundwassers zeigt zweifellos ein Ansteigen mit zunehmender Entfernung von der Honckenya-Zone. Das ist im großen und ganzen auch verständlich; je mehr wir uns der Uferlinie der offenen See nähern, desto geringer wird der Einfluß des süßen Grundwassers von der Düne her und desto stärker der des

Nordseewassers. In derselben Tabelle sind aber auch die Salzgehaltswerte eingetragen, welche im Mai 1938 an zwei verschieden tiefen Stellen im Sand oberhalb des Grundwasserspiegels gemessen wurden. Dabei zeigt sich nun, daß wir im Gebiet des Kniepsandes eine Schichtung von Wasserkörpern mit verschiedenem Salzgehalt haben. Die höchsten Werte werden im Bereich des Muschelsandes erreicht, und zwar vorwiegend nicht im Grundwasser selbst, sondern im Sand darüber, sie nehmen dann aber zur höher liegenden Entnahmestelle hin wieder ab. Ganz nahe der Oberfläche betrug der Salzgehalt in einem kürzlich mitgeteilten Fall [9] 40‰. Wenn diese Feststellung durch die abweichenden Werte an den Untersuchungsstellen *m* und *n* (500 bzw. 550 m von der Vordüne entfernt) nicht zutrifft, so ist zu bedenken, daß an diesen mit am weitesten außen gelegenen Stationen der Einfluß des Gezeitenwechsels und somit die Möglichkeit einer Auswaschung am größten ist; jedoch werden hier Verdunstung und Auswaschung lokal häufig verschieden sein, da sie den auflaufenden Flutwellen und diese wiederum der Windrichtung und -stärke unterliegen.

Unter dem F.W. liegen die Verhältnisse an den Untersuchungsstellen *b*, *c* und *d* anders; hier folgt über dem Grundwasser ein salzärmerer Horizont, dieser wiederum wird von einem salzreicheren überlagert. Bei *e* dagegen zeigen die Salzgehaltswerte vom Grundwasser zur Oberfläche hin ein Ansteigen: 15,00→15,92→17,43‰. Wenn wir damals nur diese Stelle und vielleicht noch *h* und *o* untersucht hätten, wäre die Schichtung uns nicht aufgefallen, welche an den übrigen Untersuchungsstellen erkennbar ist, und wir wären vielleicht zu der Verallgemeinerung verleitet worden, daß der Salzgehalt im Sande des Amrumer Kniepsandes vom Grundwasserhorizont bis zur Oberfläche hin zunimmt. Also dasselbe Bild im großen, wie wir es oben in Tab. 2 beim F.W. im kleinen Maßstabe gesehen haben.

Die Tab. 4 gibt die Werte für den Salzgehalt im Sande oberhalb des Grundwasserspiegels wieder, welche wir bei der einzigen in dieser Richtung angestellten Untersuchung erhielten. Aus ihr können wir nun die drei Wasserschichten ablesen, welche wir oben diskutierten. Wenn wir uns aber die Abstände der Entnahmestellen von der Oberfläche ansehen, welche daneben stehen, so müssen wir die Möglichkeit einer größeren Anzahl der Schichten zugeben. Fest steht, daß eine Schichtung verschieden salzhaltiger Wasserkörper unter dem Kniepsand existiert. Daß Niederschläge, Überflutungen mit Seewasser und Verdunstung die Schichtung verursachen, ist eine einfache und naheliegende Erklärung: ein Regen wird salzärmeren Horizont bewirken, starke Sonneneinstrahlung wird erhöhend wirken, und eine entsprechend hohe Flut ihrerseits wieder auswaschend. In der Nähe der Vordüne wird weiterhin als Einfluß ausübender Faktor der süße Grundwasserstrom dazukommen. Wünschenswert wäre noch eine eingehendere Untersuchung der Grundwasserbewegung auf dem Kniepsand; daß diese zeitlich gemessen gering ist, glauben wir vorerst sagen zu dürfen. Wir hatten für 16 Punkte an 3 Tagen eine Anzahl Messungen vorgenommen; leider reichten die Werte noch nicht aus, um sie wirklich auswerten zu können. Ein Zusammenhang mit den Gezeiten ist sehr wahrscheinlich [10].

Die relativ hohen Salzgehaltswerte, welche in der Tab. 4 vor allem im Bereich des Muschelsandes zu erkennen sind, lassen sich am einfachsten wohl folgendermaßen erklären. Da der Einfluß des süßen Grundwassers von der Düne her wegen der großen

Entfernung hier fehlt, verdunstet vorwiegend Meerwasser und die Salze bleiben im Sande zurück.

Oben wurde darauf hingewiesen, daß der Sand hier auch lockerer gelagert ist als sonst auf dem Kniepsand. Dazu ist zu sagen, daß an Amrums Westküste die Brandung durch vorgelagerte Sandbänke gebrochen wird, infolgedessen ein echter Brandungsstrand, wie er uns von Sylt und von der Kurischen Nehrung bekannt ist, nicht existiert. Hier wird der Sandstrand von dem aufprallenden Wasser festgestampft, die schäumenden Brandungswellen fluten hauptsächlich oberflächlich zurück und spülen dabei tiefe Abflußrinnen aus. Auf Amrum läuft dagegen das Flutwasser mit viel geringerer Kraft auf. Der Sandstrand ist höchstens in der eigentlichen Spülzone fester gelagert, dagegen im oberen Teil des Sandaufschüttungswalles und darüber hinaus lockerer. Diese lockere Lagerung wird aber einmal durch das versickernde Wasser noch gefördert, indem das Sickerwasser Luft mitreißt, welche an der Oberfläche wieder entweicht und häufig kleine Trichter zurückläßt, wenige cm tiefer aber eingeschlossen wird, andererseits dadurch, daß durch die zahlreich eingebetteten Muschelschalen Hohlräume geschaffen werden. Daß in einem so gut durchlüfteten Sand die Verdunstung beschleunigt wird, ist einleuchtend und macht die hohen Salzgehaltswerte verständlich. Wenn solche auch in fester gelagerten Böden vorkommen, z. B. an der Binnenlandsalzstelle Artern bis zur Auskristallisation, kann das nur bedeuten, daß dort andere Faktoren einflußreicher sind.

An vielen anderen mehr dünnennahen Stellen des Kniepsandes ist der Sand fester gelagert; doch spielt hier die gute Durchfeuchtung vom Grundwasser her die entscheidende Rolle.

Es war in den ersten Arbeiten über das F.W. ([8], S. 362) schon die Beobachtung mitgeteilt worden, daß die Schwarzschrift in Richtung der Sandwallaufschüttung tiefer lag. Dieses hat sich durchaus bestätigt und ist in einem Profil (Abb. 3b) graphisch noch einmal dargestellt worden. Man könnte daran denken, daß die lockere Lagerung des Sandes auch hier eine maßgebliche Rolle spielte, indem es nicht zur Bildung der Schwarzschrift (FeS) käme, weil die Oxydation für die Beseitigung der Schwarzfärbung sorgte. Das ist aber nur bedingt der Fall, denn einmal sickert infolge der lockeren Lagerung das Wasser tiefer ab, auch steigt der Grundwasserspiegel hier unter dem Sandaufschüttungswall nur wenig an (cf. Profil), zum anderen vermieden wir jegliche Verrostungserscheinungen, welche uns sonst im Bereich des F.W. ein häufiges und durchaus bekanntes Bild waren.

Schwefelwasserstoff und Farbstreifen-Sandwatt. Wir haben bisher wiederholt von der Schwarzschrift gesprochen und früher berichtet, daß es sich dabei um eine Schwarzfärbung durch FeS handelt. Die Bildung des Eisensulfids erklärt sich folgendermaßen: in Gegenwart organischer Substanz wird in dem O_2 -freien Bereich unter der Oberfläche das im Wasser gelöste Sulfat bakteriell zersetzt, wobei die Bakterien ihren Sauerstoffbedarf aus dem Sulfat decken. Der Schwefel wird also durch Reduktion des Sulfats frei. Das Endprodukt dieser Reduktion, der Schwefelwasserstoff, ist schon beim Graben in der Schwarzschrift an dem mehr oder minder intensiven Geruch wahrnehmbar. Die organische Substanz dient den Bakterien als Energiequelle, bei deren Zersetzung ebenfalls — freilich in sehr geringer Menge — Schwefelwasserstoff

frei werden kann. Durch Reaktion mit den im Wasser vorhandenen Eisen-Ionen kommt es zur Fällung des schwarzen Eisensulfids. Dieses ist eine bekannte und häufige Erscheinung; sie tritt z. B. in Aquarien, welche mit Feinsand gefüllt sind, trotz bester Durchlüftung des darüberstehenden Wassers auf. Die im Sand eingebettete organische Substanz beginnt zu faulen unter Entwicklung von H_2S , der bei ungestörter Lagerung des Sandes zum Teil als Gasblasen entweicht. Andererseits wird man in Bereichen, wo stete Wasserbewegung für Umlagerung des Sandes sorgt, z. B. an Brandungsufeln, nie dieser Erscheinung begegnen, und wenn gelegentlich mal ein mit FeS angereicherter Sand durch hohe Fluten aufgewühlt wird, wie dies z. B. im Winter 1938—39 zum Teil mit dem Kniepsand geschah, so zeigt sich eine ausgedehnte Verrostung der an der Oberfläche ausgebreiteten Schwarzschrift. Die Annahme der Beteiligung von organischer Substanz bei der Bildung der Schwarzschrift wird durch folgende Beobachtung gestützt. Im März 1938 fanden wir beim Graben auf dem Kniepsand häufiger als früher Doppelschichtung im F. W. Dieses war also mit Sand überweht oder überspült worden, und es hatte sich über dem zugedeckten F. W. ein neues gebildet. Wie wir jetzt wissen, besteht die Grünschrift aus beweglichen und unbeweglichen Cyanophyceen, und wir entdeckten nun an mehreren Stellen schon fast schwarzgefärbte alte Grünschrift. Hier war also der Prozeß noch im Gange, und er erklärte uns zugleich weitgehend eine andere Beobachtung in der Schwarzschrift; sie war nämlich meist nicht einheitlich schwarz, sondern wechselte zwischen mehr oder weniger dunklen schichtartigen Zonen. Diese zeigen Einlagerung und Abbau von organischer Substanz an, und man kann fast sagen, sie spiegeln die Geschichte der Entstehung des Kniepsandes wider. Wir glauben, daß jene Zonen 1. von ehemaligen Schichten herrühren und 2. von Überflutungen, welche große Mengen organischer Substanz (Plankton) mitbrachten und schichtartig ablagerten. Letztere werden wohl vorwiegend für Nachschub der organischen Substanz in Frage kommen.

Das den Kniepsand bei Springtiden oder Sturm überflutende Wasser lief an den Untersuchungsstellen wegen der geringen Höhenunterschiede nur zu ganz geringem Teil wieder zum Meere ab, das meiste verschwand durch Versickern und Verdunsten. Zur stürmischen und niederschlagreichen Zeit stand es tagelang auf dem Kniepsand. Daß allzu große und lang andauernde Feuchtigkeit für das F. W. ungünstig ist, glauben wir aus der Tatsache ableiten zu können, daß es dort nicht ausgebildet ist, wo stete oder nur für kurze Zeit unterbrochene Wasserbewegung herrscht. Eine gewisse Bestätigung findet diese Ansicht außerdem durch Beobachtungen, welche Dr. HOFFMANN im Februar 1939 machte. Der Kniepsand stand zum großen Teil durch Niederschläge, Grundwasseraustritte und Überflutungen unter Wasser; die Schichtung im F. W. war diffuser, zum Teil kaum noch erkennbar. Dazu kam, daß durch die Novembersturmflut erhebliche Sandmengen über das vorjährige F. W. ausgebreitet wurden, dieses zum Teil auch durch die darüber brandenden Wellen aufgearbeitet war. Soweit also sich an günstigeren Stellen das F. W. neu gebildet hatte, war es durch die neue Überschwemmung wieder in einen gewissen Zustand der Auflösung versetzt worden, worauf das Diffuserwerden der Schichtung hindeutete.

Wir erwähnten oben den Wechsel der Ausbreitung des F. W. gen Westen und glaubten, diesen mit den Jahreszeiten in Verbindung bringen zu müssen, und zwar

die größere Ausbreitung nach Westen im Frühjahr und im Herbst im Zusammenhang mit der größeren Niederschlagsmenge, und die geringere Ausdehnung im Winter bei zu großer Feuchtigkeit und während der Monate Mai—August mit der stärkeren Sonneneinstrahlung und der dadurch bedingten Austrocknung der Sandoberfläche, wodurch dem Winde mehr Angriffsfläche geboten wird.

Heftige Überschwemmungen des Kniepsandes zerstören das F. W. (cf. Abb. 3a und 3b, 1936) und sorgen zugleich für seine Verbreitung. Je mehr organische Substanz auf dem Kniepsand von dem überflutenden Wasser ausgebreitet wird, desto günstiger sind die Bedingungen zur Bildung der Schwarzschrift. Mit dem Vorhandensein einer oberflächennahen Schwarzschrift ist zugleich aber ein wichtiger Faktor zur Bildung des F. W. gegeben. Wie die graphische Darstellung (Abb. 3b) zeigt, hört das F. W. dort auf, wo die Schwarzschrift absinkt. Wenn optimale Bedingungen bestehen, finden wir auch ein schönes F. W. mit deutlicher Schichtung, so wie es auf dem südl. Teil des Kniepsandes, der etwas höher gelegen und älter ist, häufiger angetroffen wird. Wenn örtlich die schon früher ausgesprochene Voraussetzung vorhanden ist, daß der durch kapillaren Wasseraufstieg geschaffene Feuchtigkeitshorizont in die durchleuchtete Sandzone hinaufreicht und Schwarzschrift vorhanden ist, bildet sich F. W. Dieses unterstreicht eine weitere Beobachtung im März 1938 bei der Untersuchungsstelle n (320 m von der Vordüne). Hier wurde in einem kleinen Bereich F. W. angetroffen; 2,5 cm unter der Oberfläche fand sich eine linsenartige Schwarzschrift (Mächtigkeit: horizontal 50 cm, vertikal 10 cm), darunter folgte 40 cm grauer Sand, ehe die eigentliche zusammenhängende Schwarzschrift begann. Hier müssen wir eine vorübergehende Durchfeuchtung von oben her annehmen, so daß sich F. W. bilden konnte, natürlich auch nur vorübergehend. Denn wenn Feuchtigkeit von dem Grundwasser aufgestiegen und sich zersetzendes organisches Material vorhanden gewesen wäre, so bestände kein Grund, weshalb das F. W. an dieser Stelle nicht eine größere Ausdehnung entsprechend der Schwarzschrift in der Tiefe hätte haben sollen. Wie kann man nun die erwähnte fleckenartige Schwarzschrift erklären, welche hier lokal F. W. begünstigt hatte? Auch hier hilft die einfache Beobachtung; es ist nicht mikroskopisches Plankton der Lieferant der organischen Substanz gewesen, sondern ein auf den Strand gespültes und nachträglich in den Sand eingebettetes Tier oder — was wohl häufiger der Fall ist — ein Algenbüschel. Letzteres bestätigte Dr. HÖFFMANN durch Beobachtungen im Februar 1939.

Der penetrante Geruch der Schwarzschrift läßt einen hohen H_2S -Gehalt vermuten. Es wurden daher vom Grundwasser unter dem F. W. Proben zur Bestimmung von Schwefelwasserstoff genommen und dabei nach der von OHLE [5] angegebenen Methode verfahren, bei der am Ort der Probeentnahme der H_2S als CdS gefällt wird. Nach 24 Stunden wird der gelbe Niederschlag durch ein Cellafilter des „Stefi“-Apparates filtriert, in einen Erlenmeyer gespült, eine bekannte Jodmenge hinzugegeben und nach Zusatz von Salzsäure mit Natriumthiosulfat zurücktitriert. Durch die sofortige Bindung des H_2O an Ort und Stelle wird eine spätere Oxydation verhindert, und durch die Filtration wird der größte Teil jodbindender Substanzen entfernt. Da immerhin bei Gegenwart von viel organischer Substanz evtl. vorhandene grobdisperse Partikel auf dem Filter zurückbleiben, müssen die erhaltenen Zahlen als Annäherungswerte betrachtet werden.

Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 5. Wie zu erwarten war, nimmt der H_2S -Gehalt mit der Entfernung von der Düne ab, ein auffallend hoher Wert wurde der Düne am nächsten gemessen. Dort wo F. W. ausgebildet war, wurde als geringster Wert 1,03 und als höchster 16,9 gemessen; im Durchschnitt sind die Werte von ähnlicher Größe wie sie WOHLBERG [12] im Königshafen auf Sylt beobachtete. Es kann auch ein beträchtlicher H_2S -Gehalt gefunden werden, ohne daß an dieser Stelle F. W. ist oder sein muß. Wie schon öfter betont, kommt es bei der Bildung von F. W. auf mehrere Faktoren an.

Tabelle 5.

Zeit	Station	Entfernung v. d. Düne	S‰	F. W.	8H ₂ S mg/L.
Sept. 1937	I	5	0,90	+	16,9
	II	10	5,25	+	7,53
	III	15	6,86	+	6,18
	IV	35	6,88	+	5,06
	V	100	27,65	n. b.	0
	VI	315	17,00	+	1,80
Mai 1938	I b	22	7,89	+	7,46
	c	42	22,42	+	1,03
	d	62	23,40	+	2,44
	e	92	15,00	+	7,11
	f	120	29,09	—	4,60
	g	170	33,71	—	4,50
	i	300	41,80	—	0
	k	400	62,40	—	0
	l	450	55,80	—	0
	m	500	35,20	—	0
	n	550	27,42	—	0

Sauerstoffbestimmungen im Grundwasser des F. W. ergaben völlige Abwesenheit von O₂ oder ganz geringe Spuren. Das Grundwasser dagegen im Bereich des Muschel-sandes wies eine Sättigung von 60—70% auf.

Nach unseren Darlegungen hängt also die Ausbreitung des F. W. von dem Vorhandensein einer oberflächennahen Schwarzsicht ab, deren Wirksamkeit wiederum nur möglich ist, wenn die Feuchtigkeit im Sande genügend groß ist. Wie die graphische Darstellung (Abb. 3b) zeigt, ist durch den Druck des Grundwassers von den Dünen her für einen entsprechend oberflächennahen Grundwasserhorizont gesorgt. Mit der Entfernung von der Vordüne sinkt auch der Grundwasserhorizont langsam ab. So ist es auch durchaus verständlich, daß vor der Vordüne entlang das ganze Jahr hindurch für das F. W. die günstigsten Bedingungen vorhanden sind.

Wir haben in letzter Zeit nach dem Graben an den jeweiligen Untersuchungsstellen mindestens eine halbe Stunde gewartet, ehe wir die Entfernung des Grundwasserspiegels bis zur Oberfläche maßen, um einen gewissen ausgeglichenen Zustand zu erhalten. Diese Zeitspanne noch länger auszudehnen, war zwecklos, da oben schon angeführte Beobachtungen zeigten, daß ein Zusammenhang mit dem Tidenhub besteht.

Eine wünschenswerte Aufgabe wäre es noch, die chemisch-hydrographischen Daten eines Profils aus dem Arenicola-Cardium-Watt des Kniepsandes den oben erörterten gegenüberzustellen, um die Frage aufzuwerfen: warum gibt es hier kein F.W.? Feuchtigkeit und Schwarzsicht sind genügend vorhanden. Aber wie oben schon wahrscheinlich gemacht wurde, übt längere Wasserbedeckung einen nachteiligen Einfluß aus, so daß wir hierin den Hauptgrund für das Fehlen des F.W. sehen möchten.

Fauna. Nachdem wir im Voraufgehenden die Faktoren, welche die Bildung des F.W. entscheidend beeinflussen, und ihre zusammenwirkenden Kräfte auf dem Kniepsand kennengelernt haben, soll zum Schluß noch einmal auf die Fauna der bisher untersuchten Biotope eingegangen werden.

Bei Besprechung der Tab.2, in der der H_2O - und Salzgehalt in den einzelnen Schichten des F.W. angegeben war und aus der zum Teil die Schwankungen erkennbar waren, hatten wir auf die ähnlichen Verhältnisse in der Enteromorpha-Zone (E.Z.) hingewiesen. Die Artenübereinstimmung war früher [8] mit 22% angegeben. Wenn wir den Prozentsatz der Bionten gegenüberstellen, so haben wir im F.W. etwa 7% und in der E.Z. 3,15%. Diesen Unterschied können wir vielleicht folgendermaßen erklären: 1. Daß die extremen Milieubedingungen in der E.Z. doch noch höhere Anforderungen an die physiologischen Leistungen der Tiere stellen, als in den Biotopen des Kniepsandes. 2. Daß die Gesamtfauuna der E.Z. in ihrer Zusammensetzung verschiedenerartige Komponenten aufweist, z. B. die Anwesenheit von Land- und Süßwassertieren. Wenn wir diese in unserer Gegenüberstellung unberücksichtigt lassen, kämen wir schon auf das prozentuale Verhältnis 7 : 4.

Zur Fauna des F.W. können wir heute ergänzend berichten, daß es durch Zuchtversuche gelang, die seinerzeit unbekannte cyclorhappe Dipterenlarve zu bestimmen. Es handelte sich um die Muscide *Limnophora veterrima* (ZETTERSTEDT)¹⁾, für welche KARL [2] bisher folgende Verbreitung angibt: „An der Meeresküste an schlammigen Stellen des Strandes und am Rande brackiger Bach- und Flußmündungen“. Ferner stellte Prof. MEIXNER fest, daß es sich bei dem Acoel um *Avagina aurita* SCHULTZE handelte; die *Macrostomum*-Art beschrieb er als *M. spirale* kürzlich neu [4].

Der Bledius-Sand und die Enteromorpha-Zone enthalten gemeinsam nur fünf Nematoden-Arten, wovon drei nach unseren bisherigen Kenntnissen als Brackwasserarten bezeichnet werden. Der Muschelsand schließlich hat mit der Enteromorpha-Zone 1 Rotatorien- und 3 Nematoden-Arten gemeinsam.

Wieder zeigt es sich, daß bei einem Vergleich der Faunen von Lebensräumen mit extremen Lebensbedingungen die Nematoden die beste Handhabe bieten. Bei dem Acoel im Muschel- und Bledius-Sand handelte es sich ebenfalls um *Avagina aurita*, und im Bledius-Sand auch um *Macrostomum spirale*; hier muß aber noch berichtigt werden, daß es nicht *Carcharodopharynx spec.* heißen muß, sondern *Carcharodorhynchus subterraneus* [4, S. 137]. Von den Dipteren, welche den Kniepsand zu Millionen bis spät in den Herbst hinein (z. B. 30. 10. 1938) bevölkern, herrscht *Scatella subguttata* vor. Die Maden und Puppen fanden wir bisher nur im F.W., wo sie in den Grünalgen ihre Hauptnahrungsquelle haben. Diese sind aber auch bevorzugte Nahrung der

¹⁾ Die Bestimmung der Amrumer Tiere verdanken wir Herrn Rektor KARL, Stolp.

Bledius-Arten, denen als Erzfeinde die *Dyschirius*-Arten folgen, was nicht ausschließt, daß diese auch Nematoden und Dipterenlarven fressen. Ausführlicher berichtet darüber LARSEN [3].

Weiteres Vorkommen von Farbstreifen-Sandwatt. Es war selbstverständlich, daß wir nach Bekanntwerden mit dem F. W. auf dem Kniepsand von Amrum auch andernorts danach Ausschau hielten; dies geschah mit Erfolg zum ersten Mal auf Fehmarn im Juli 1937, wo sich an der Nordwestküste der Insel etwa 50 m vom Meeresstrand entfernt ein brackiger Binnentümpel fand, dessen sandige Uferzone ein deutliches F. W. aufwies. Der Grundwasserspiegel wurde bei 35 cm erreicht und der Salzgehalt betrug 9‰. Das F. W. war von der Spülzone ab etwa 2 m breit; anschließend, also auf dem ansteigenden Ufer, folgte eine reine Grünzone; hier, 2½ m von dem Ufer entfernt, wurde das Grundwasser erst bei 55 cm erreicht. Eine Materialprobe¹⁾ aus der Grünschlamm des F. W. ergab: häufig die Fliegenlarven, welche im Laboratorium weitergezüchtet wurden, von *Lamproscatella dichæta* Lw., *Scatella subguttata* MEIG., *Hydrophorus præcox* LEHM. und *Limnophora veterrima* (ZETT.); sehr häufig die Copepoden *Leptastacus spinicaudatus kliei* und *Horsielia trisetosa*; häufig das Rotator *Colurella colurus*, ebenso Oligochaeten (spec. adet.) und an Nematoden *Tripyloides marinus*, *Axonolaimis spinosus*, *Paracytholaimus dubiosus* und junge Exemplare von einer Oncholaimide, Rhabditide und *Theristus*; von den Turbellarien nur ein Exemplar *Provortex balticus*. Auch hier handelt es sich vorwiegend um euryhaline Arten. Einige davon werden auch ziemlich regelmäßig in Brackwasser-Lebensgemeinschaften angetroffen, wie *Horsielia trisetosa*, *Leptastacus spin. kliei*, *Tripyloides marinus*, *Axonolaimis spinosus* und *Provortex balticus*. Die drei auf Amrum gefundenen Fliegenarten fanden sich auch auf Fehmarn, außerdem war eine vierte verwandte Art vertreten.

Schließlich wurde F. W. bisher an der Kieler Außenförde am Bottsand beobachtet und auf Schleimünde, ferner durch Kollegen des Instituts an der Flensburger Förde und an der Eckernförder Bucht, ohne daß die Fauna und die Milieubedingungen näher untersucht wurden.

Wir glauben, mit dem vorstehenden Beitrag das Verständnis für das F. W. dadurch gefördert zu haben, daß allen den Fragen nachgegangen wurde, deren sichere Beantwortung bei der ersten Mitteilung (1936) noch aufgeschoben werden mußte. Wie so häufig, ging es auch uns so, daß im Laufe der Bearbeitung die eine Frage die andere auslöste, man sah sich einem Fragekomplex gegenüber, dessen einzelne Komponenten miteinander verkettet sind. Neue Fragen wurden schon angedeutet, auch nach deren Beantwortung wird weitere Forschung auf dem Kniepsand Amrums keineswegs gegenstandslos sein.

Als wir unsere Untersuchungen begannen, mußten wir es als Tatsache hinnehmen, daß dort, wo wir das F. W. zuerst fanden und untersuchten, vor 50 Jahren ein Kniephafen existierte, in dem Dreimastsegler vor Anker gehen konnten. Wenn wir behaupteten, daß der eingesandete Kniephafen den biologischen Zustand eines Arenicola-Cardium-Wattes durchlaufen hat, so folgerten wir dies aus dem, was wir heute in

¹⁾ Ihre Bestimmung nahmen dankenswerterweise wieder die Herren Dr. BRAUNS, Rektor KARL, Dr. KUNZ vor.

Norden des Kniepsandes — nördlich vom Norddorfer Wegausgang — gerade noch erkennen können. Wie der Kniepsand mit seinem außen gelegenen Aufschüttungswall nach N und NO wuchs, so folgte hinter ihm im Bereich zwischen der Hoch- und Niedrigwasser-Linie das Arenicola-Cardium-Watt, welches in seiner Ausdehnung mitwanderte. Über der Mittelhochwasser-Linie aber folgte sukzessiv das F. W., welches seine Spuren als dunkle Horizonte in der Schwarzschrift hinterließ.

Wenn die Kniepsandfläche sich weiter erhöht, z. B. durch Sandaufwehungen, welche mit Hilfe von *Triticum junceum* dann zu Primärdünen emporwachsen, ist auch das Schicksal des F. W. besiegelt. Ob die Weiterentwicklung des Kniepsandes diesen Weg geht, muß die Zukunft zeigen; wie der Augenschein lehrt, ist der Anfang dazu im Süden westl. von Nebel, wohl auf dem ältesten Teil des Kniepsandes, gemacht worden.

Wenn wir dies Gesamtgeschehen überblicken, so halten wir es nicht für wahrscheinlich, daß dem F. W. eine allzu bedeutende Rolle dabei zufällt; seine Wirksamkeit verschwindet, sobald die Voraussetzungen für seine Existenz fehlen. Ob aber die Zeretzungsstadien dieser organischen Substanz erdgeschichtlich die diagenetischen Vorgänge beeinflussen [7], wissen wir kaum und soll hier nicht weiter diskutiert werden.

Literaturverzeichnis.

1. GRIPENBERG, ST., 1937: A Simplified Method for the Determination of Calcium in Sea Water. Journ. du Conseil Vol. XII.
2. KARL, O., 1930: Thalassobionte und Thalassophile Diptera Brachycera. TNO.
3. BRO LARSEN, E., 1936: Biologische Studien über die tunnelgrabenden Käfer auf Skallingen. Vid. Med. Dansk. Naturh. For. Köbenhavn. 100.
4. MEIXNER, J., 1938: Turbellaria I. TNO.
5. OHLE, W., 1936: Zur Vervollkommnung der hydrochemischen Analyse. I. Angewandte Chemie 12.
6. OTTO, G., 1936: Die Fauna der Enteromorphazone der Kieler Bucht. Kieler Meeresf. 1.
7. RÜGER, L., 1929: Die Tätigkeit des Meeres und der Brandungswelle. Hdb. Bodenlehre.
8. SCHULZ, E., 1936: Das Farbstreifensandwatt und seine Fauna. Kieler Meeresf. 1.
9. —, 1938: Über eine Mikrofauna im oberen Litoral auf Amrum. Kieler Meeresf. 3.
10. THAMDRUP, E., 1935: Untersuchungen über die Grundwasserverhältnisse auf Skallingen. Geografisk Tidsskrift. 38. Köbenhavn.
11. WATTENBERG, H., 1933: Über die Titrationsalkalinität und den Calciumkarbonatgehalt des Meerwassers. Wiss. Erg. d. Deutschen Atlantischen Exped. 1925—27. Band VIII.
12. WOHLBERG, E., 1937: Die Wattenmeer-Lebensgemeinschaften im Königshafen von Sylt. Helgol. Wiss. Meeresuntersuchungen 1.