

Aerologische und Hydrographische Beobachtungen
der deutschen Marine-Stationen während der Kriegszeit 1914–1918.

Heft 2.

Hydrographische Untersuchungen.

B. Beiträge zur Kenntnis der Gezeiten
an der flandrischen Küste und auf der unteren Schelde.

Von

Prof. Dr. Bruno Schulz.

Hamburg — Deutsche Seewarte.

Mit 10 Textfiguren und 5 Tafeln.

Hamburg 1925.

Druck von Hammerich & Lesser, Altona.

Aerologische und Hydrographische Beobachtungen
der deutschen Marine-Stationen während der Kriegszeit 1914–1918.

Heft 2.

Hydrographische Untersuchungen.

B. Beiträge zur Kenntnis der Gezeiten
an der flandrischen Küste und auf der unteren Schelde.

Von

Prof. Dr. Bruno Schulz.

Hamburg-Deutsche Seewarte.

Mit 10 Textfiguren und 5 Tafeln.

Hamburg 1925.

Druck von Hammerich & Lesser, Altona.

Inhalt:

	Seite
I. Die Gezeiten in Ostende und Zeebrügge	3
1. Vorbemerkungen	3
2. Die Grundwerte der Gezeitenerscheinung bei verschiedenen Mondaltern	4
a. Mondflutintervall	4
b. Steig- und Falldauer	5
c. Höhe des Hoch- und Niedrigwassers, Tidenhub	7
d. Bemerkungen über die tägliche Ungleichheit in Höhe	9
3. Die Gestalt der Tidenkurven und ihre Abhängigkeit vom Mondalter	10
4. Die Beeinflussung der Grundwerte der Gezeitenerscheinung und der Tidenkurven durch den Wind	13
a. Extreme, Häufigkeit außergewöhnlich hoher und niedriger Wasserstände	13
b. Fälle starker Abtrift, darunter der niedrigste festgestellte mittlere Wasserstand	15
c. Fälle starken Aufstaus, darunter die Sturmflut vom 13./14. Januar 1916	18
II. Die Gezeitenströmungen vor der flandrischen Küste	23
1. Beobachtungen im Ostender Hafen, querab Ostende und querab Zeebrügge (Feuerschiff Wielingen)	23
2. Treibkörperbeobachtungen vor der flandrischen Küste zwischen Nieuport und Wenduyne	26
a. Methode	26
b. Diskussion der mit den einzelnen Treibkörpern festgestellten Strömungen	28
c. Zusammenfassung über die Abhängigkeit der Strömungen im Untersuchungsgebiet von Bodengestalt und Wind	38
III. Die Gezeitenströmungen in der Schelde zwischen Antwerpen und der holländischen Grenze	41
1.. Vorbemerkungen und Zusammenstellung des Materials	41
2. Beobachtungsreihe auf der Schelde bei Austruweel unterhalb von Antwerpen vom 31. Juli bis 16. August 1917, bei Temsche am 16./17. August und bei Lillo am 19. August 1917	45
3. Beobachtungsreihe auf der Schelde bei Lillo unweit der belgisch-holländischen Grenze vom 10. bis 25. Oktober 1917 .	52
4. Beobachtungsreihe auf der Schelde bei Lillo unweit der belgisch-holländischen Grenze vom 20. Juni bis 5. Juli 1918	56
5. Zusammenfassung der wichtigsten Erscheinungen	58
IV. Rückblick	62

1926.2546

16.669²

I. Die Gezeiten in Ostende und Zeebrügge.

1. Vorbemerkungen.

Die Gezeiten an der flandrischen Küste wurden in Ostende vom 1. Juli 1915, in Zeebrügge vom 1. Oktober 1915 ab bis zum 2. Oktober 1918 fortlaufend beobachtet, und zwar zunächst durch Lattenpegelablesungen, nach wenigen Monaten aber mit Hilfe von zwei Selbstschreibpegeln, System Ott. Für den gesamten Zeitraum liegen lückenlose Aufzeichnungen vor. Näheres hierüber, über die Lage der Pegel, deren Überwachung, die Lage und Kontrolle der Nullpunkte wurde bereits im ersten Teile der Bearbeitung der hydrographischen Beobachtungen eingehend mitgeteilt.¹⁾

Die Auswertung der Aufzeichnungen der Wasserstandsschwankungen in Ostende und auch in Zeebrügge erfolgte nach drei Richtungen.

1. wurden fortlaufend die stündlichen Wasserstandswerte entnommen, und zwar für Ostende für die Zeit vom 1. Mai 1915 bis 30. September 1918, für Zeebrügge vom 1. August 1915 bis 30. September 1918. Die Ostender Werte für etwa 400 Tage vom 1. August 1915 ab wurden von K. Hessen²⁾ zur Ableitung der harmonischen Konstanten benutzt. Zur Ableitung der harmonischen Konstanten nach der Börgen'schen Methode für die folgenden Jahre wurden für die Zeit von Anfang August 1916 bis Ende August 1917 und von Anfang August 1917 bis Anfang September 1918 für Ostende und auch für Zeebrügge fortlaufend Summenverzeichnisse hergestellt. Die Beendigung der Ableitung wurde aber unterbrochen, als nach freundlicher privater Mitteilung von K. Hessen dem Verfasser bekannt wurde, daß eine Neubearbeitung der Börgen'schen Methode dem Abschluß nahe sei. Nach Erscheinen der Abhandlungen von K. Hessen³⁾ wurden von H. Rauschelbach-Seewarte Einwände erhoben. Die Bearbeitung der Pegelbeobachtungen nach der Methode der harmonischen Analyse wurde deshalb verschoben, bis eine weitere Klärung der Methode erreicht ist⁴⁾. Es sollen dann die Konstanten für Ostende und Zeebrügge für je zwei Jahre abgeleitet werden, weiter ist beabsichtigt, unter Benutzung der neu gewonnenen Konstanten die Kurven für die Zeit von 1915 bis 1918 zu zeichnen und die B-R besonders nach dem Einfluß von Wind und Luftdruck zu untersuchen.

2. wurden die Grundwerte der Gezeitenerscheinung abgeleitet und ihre Abhängigkeit vom Mondalter und von meteorologischen Faktoren untersucht (vergl. Abschnitt I, 2 und I, 4).

3. wurden den gesamten Aufzeichnungen tidenstündliche Werte entnommen und diese zur Ableitung der periodischen und unperiodischen Schwankungen des mittleren Wasserstandes (vergl. Heft 1 dieser Veröffentlichungsreihe¹⁾ sowie zur Gewinnung mittlerer Gezeitenkurven benutzt (vergl. Abschnitt I, 3 und I, 4).

¹⁾ Bruno Schulz, Die periodischen und unperiodischen Schwankungen des Mittelwasserstandes an der flandrischen Küste (Oktober 1915 bis September 1918) in: Aerologische und Hydrographische Beobachtungen der Deutschen Marine-Stationen während der Kriegszeit 1914—1918. Heft 1. Hamburg 1920, auch Habilitationsschrift Hamburg 1920.

²⁾ vergl. Annalen der Hydrographie 1920. S. 179 ff.

³⁾ vergl. K. Hessen. Ueber die Börgensche Methode der harmonischen Analyse der Meeresgezeiten, deren Vereinfachung und Erweiterung. Annalen der Hydrographie usw. 1920. S. 1 ff., 73 ff., 123 ff., 177 ff.

K. Hessen. Ueber eine Methode, die harmonischen Konstanten der langperiodischen Tiden der Meeresgezeiten abzuleiten. Ebenda S. 441 ff.

⁴⁾ H. Rauschelbach. Harmonische Analyse der Gezeiten des Meeres. Eine Weiterentwicklung des Börgenschen Verfahrens I. Teil. Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte XLII. 1924, vergl. besonders S. 6 f.

Die Bevorzugung des Mondalters bei der Betrachtung der periodischen Änderungen der Grundwerte und der Tidenkurven ist durch den überragenden Einfluß der M_2 - und S_2 -Tide begründet ($AM_2 = 1.8$ m, $AS_2 = 0.5$ m), die alle anderen Tiden weit übertreffen, was u. a. auch in der Größe des Ausdrucks $\frac{K_1 + 0}{M_2 + S_2}$ hervortritt¹⁾, für den sich in Ostende bei Benutzung der Ergebnisse der erwähnten Hessen'schen harmonischen Analyse der bemerkenswert niedrige Wert von 0.06 ergibt.

2. Die Grundwerte der Gezeitenerscheinung und ihre Abhängigkeit vom Mondalter.

Als Grundwerte der Gezeitenerscheinung wurden angesehen 1) Mondflutintervall, 2) Dauer des Steigens und Fallens, 3) Höhe des Hoch- und Niedrigwassers sowie der Tidenhub. Die abgeleiteten Mittelwerte für die Jahre 1915/16, 1916/17, 1917/18 gelten jeweils für den Zeitraum vom 1. Oktober bis 30. September.

a) Das Mondflutintervall.

Das Mondflutintervall wurde berechnet als Differenz zwischen den Zeiten des Eintritts von Hochwasser und dem nächstgelegenen Meridiandurchgang des Mondes. Die astronomischen Daten wurden den Gezeitentafeln entnommen und nach Anbringung der durch die geographische Lage von Ostende und Zeebrügge sowie durch die benutzte Zeitart bedingten Korrekturen benutzt. Die für die einzelnen Jahre 1915/16, 1916/17, 1917/18 und für den Gesamtzeitraum 1915/18 gefundenen Mittelwerte sind nach Mondaltern getrennt in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1

a. Mittlere Mondflutintervalle von Ostende und Zeebrügge.

(in Minuten)

1. Ostende.

Mondalter:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Gesamt-mittel
1915—1916	+ 19.9	+ 3.0	- 10.2	- 26.6	- 36.5	- 44.3	- 49.0	- 46.2	- 28.0	+ 4.0	+ 30.0	+ 41.5	+ 37.5	+ 31.3	- 5.2
1916—1917	+ 23.4	+ 7.0	- 9.0	- 19.4	- 32.1	- 39.0	- 45.0	- 40.2	- 21.8	+ 7.4	+ 28.4	+ 42.0	+ 37.7	+ 31.4	- 2.1
1917—1918	+ 16.2	+ 3.9	- 10.1	- 27.3	- 35.8	- 41.5	- 43.2	- 43.5	- 28.4	+ 0.5	+ 29.1	+ 37.6	+ 35.2	+ 26.0	- 5.8
1915—1918	+ 19.8	+ 4.6	- 9.8	- 24.4	- 34.8	- 41.6	- 45.7	- 43.3	- 26.1	+ 4.0	+ 29.2	+ 40.4	+ 36.8	+ 29.6	- 4.4

2. Zeebrügge.

1915—1916	+ 36.0	+ 22.4	+ 8.8	- 3.0	- 16.5	- 27.3	- 34.3	- 32.0	- 14.7	+ 12.8	+ 40.8	+ 54.6	+ 50.5	+ 44.3	+ 10.1
1916—1917	+ 36.1	+ 26.5	+ 14.0	- 1.4	- 14.2	- 25.0	- 33.4	- 32.7	- 14.4	+ 14.0	+ 39.6	+ 52.9	+ 50.6	+ 47.7	+ 11.4
1917—1918	+ 42.9	+ 26.7	+ 16.2	+ 1.7	- 10.6	- 20.1	- 27.1	- 22.8	- 9.2	+ 17.5	+ 46.0	+ 57.1	+ 50.4	+ 46.7	+ 15.4
1915—1918	+ 38.3	+ 25.2	+ 13.0	- 0.9	- 13.8	- 24.1	- 31.6	- 29.2	- 12.8	+ 14.8	+ 42.1	+ 54.9	+ 50.5	+ 46.2	+ 12.3

b. Mittlere halbmonatliche Ungleichheit der Mondflutintervalle 1915/1918.

(in Minuten)

1. Ostende:	+ 24.2	+ 9.0	- 5.4	- 20.0	- 30.4	- 37.2	- 41.3	- 38.9	- 21.7	+ 8.4	+ 33.6	+ 44.8	+ 41.2	+ 34.0	0.0
2. Zeebrügge:	+ 26.0	+ 12.9	+ 0.7	- 13.2	- 26.1	- 36.5	- 43.9	- 41.5	- 25.1	+ 2.5	+ 29.8	+ 42.6	+ 38.2	+ 33.9	0.0
3. Ostende minus Zeebrügge:	- 2.0	- 3.9	- 6.1	- 6.8	- 4.3	- 0.7	+ 2.6	+ 2.6	+ 3.4	+ 5.9	+ 3.8	+ 2.2	+ 3.0	+ 0.1	0.0

Im Gesamtmittel ist das Mondflutintervall in Ostende -4.4 min, in Zeebrügge +12.3 min, das Hochwasser findet demnach in Zeebrügge 16.7 min, also etwas über eine Viertelstunde später als in

¹⁾ vergl. O. Krümmel, Handbuch der Ozeanographie II. Band. Stuttgart 1911, S. 266.

Ostende statt. Die Abhängigkeit vom Mondalter ist wie auch im übrigen Nordseegebiet beträchtlich. Die Extreme treten bei den Mondaltern 6 und 11 auf (Ostende —45.7 und +40.4 min, Zeebrügge: —31.6 und +54.9 min), sie unterscheiden sich um annähernd 1½ Stunden (Ostende: 86.1 min, Zeebrügge: 86.5 min)! Werden nicht die Mondflutintervalle selbst, sondern deren Abweichungen von den Mittelwerten (Tab. 1b), also ihre halbmonatlichen Ungleichheiten, betrachtet, so fällt die nahe Übereinstimmung zwischen den

Fig. 1.

**Halbmonatliche Ungleichheit der Mondflutintervalle
im dreijährigen Mittel 1915—1918**

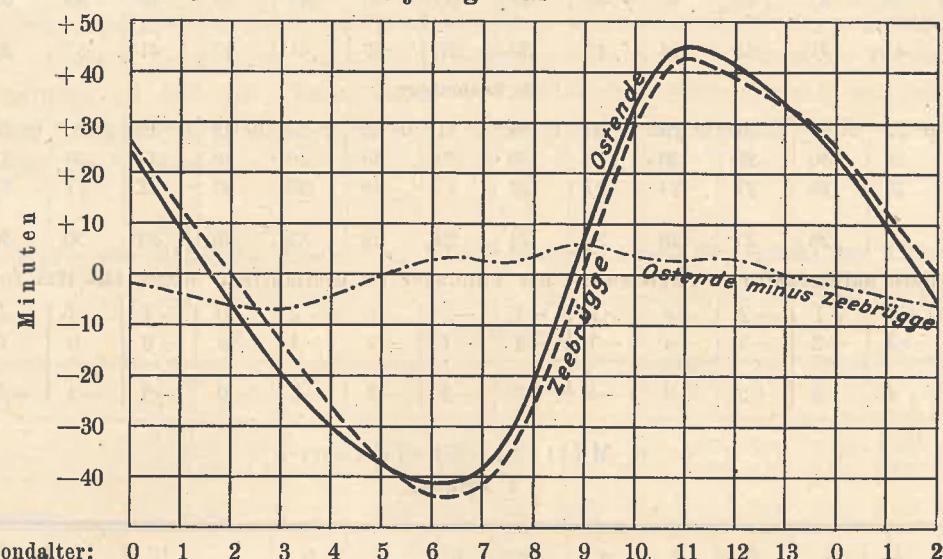


Tabelle 2.
Mittlere Fall-, Steig- und Tidendauer in Ostende und Zeebrügge.

a) Mittlere Falldauer.

1. Ostende.

Mondalter.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Gesamt-mittel
1915—1916	6 ^h 40 ^m	6 ^h 42 ^m	6 ^h 40 ^m	6 ^h 44 ^m	6 ^h 40 ^m	6 ^h 40 ^m	6 ^h 39 ^m	6 ^h 41 ^m	6 ^h 40 ^m	6 ^h 44 ^m	6 ^h 41 ^m	6 ^h 37	6 ^h 36	6 ^h 39	6 ^h 40 ^m
1916—1917	40	41	42	41	40	39	34	39	40	38	39	38	36	38	39
1917—1918	43	41	43	46	42	39	38	36	43	39	42	35	34	39	40
1915—1918	41	41	42	44	41	39	37	39	41	40	41	37	35	39	6 ^h 40 ^m

2. Zeebrügge.

1915—1916	6 ^h	27 ^m	6 ^h	27 ^w	6 ^h	26 ^m	6 ^h	25 ^m	6 ^h	26 ^w	6 ^h	26	6 ^h	31 ^m	6 ^h	33 ^m	6 ^h	34 ^m	6 ^h	43 ^m	6 ^h	38 ^m	6 ^h	30 ^m	6 ^h	29 ^m	6 ^h	24 ^m	6 ^h	30 ^m	
1916—1917	29		30		28		30		29		30		29		36		36		39		37		33		31		31		32		
1917—1918	25		26		27		24		27		22		27		28		33		36		32		27		29		27		28		
1915—1918	27		28		27		26		27		26		29		32		34		39		36		30		30		27		6 ^h	30 ^m	

3. Mittlere halbmonatliche Ungleichheit der Falldauer im dreijährigen Mittel 1915/1918 (in Minuten)

1. Ostende	+ 1	+ 1	+ 2	+ 4	+ 1	- 1	- 3	- 1	+ 1	0	+ 1	- 3	- 5	- 1	0
2. Zeebrugge	- 3	- 2	- 3	- 4	- 3	- 4	- 1	+ 2	+ 4	+ 9	+ 6	0	0	- 3	0
3. Ostende minus Zeebrugge	+ 4	+ 3	+ 5	+ 8	+ 4	+ 3	- 2	- 3	- 3	- 9	- 5	- 3	- 5	+ 2	0

b) Mittlere Steigdauer.

1. Ostende.

Mondalter:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Gesamt-mittel
1915—1916	5 ^b 38 ^m	5 ^b 39 ^m	5 ^b 35 ^m	5 ^b 35 ^m	5 ^b 39 ^m	5 ^b 40 ^m	5 ^b 46	5 ^b 46 ^m	5 ^b 56 ^m	5 ^b 56 ^m	5 ^b 54 ^m	5 ^b 52 ^m	5 ^b 47 ^m	5 ^b 45 ^m	5 ^b 45 ^m
1916—1917	39	37	37	39	41	44	45	53	56	58	58	52	48	45	47
1917—1918	41	39	36	38	39	41	45	50	54	58	55	54	49	40	46
1915—1918	39	38	36	37	40	42	45	50	55	57	56	53	48	43	46

2. Zeebrügge.

1915—1916	5 ^b	54 ^m	5 ^b	47 ^m	5 ^b	55 ^m	5 ^b	53 ^m	5 ^b	54 ^m	5 ^b	53 ^m	5 ^b	52 ^m	5 ^b	52 ^m	6 ^b	02 ^m	5 ^b	58 ^m	5 ^b	59 ^m	5 ^b	57 ^m	5 ^b	57 ^m	5 ^b	53 ^m	5 ^b	55 ^m
1916—1917	52	50	51	49	50	50	50	50	50	50	53	5	59	6	01	5	59	5	54	50	52	5	53							
1917—1918	54	55	52	53	56	57	56	56	56	56	6	03	5	54	6	03	6	02	52	56	5	56								
1915—1918	53	51	53	52	53	53	53	53	53	54	6	01	5	58	6	00	5	58	53	54	5	55								

3. Mittlere halbmonatliche Ungleichheit der Steigjauer im dreijährigen Mittel 1915/1918 (in Minuten)

1. Ostende	-7	-8	-10	-9	-6	-4	-1	+4	+9	+11	+10	+7	+2	-3	0
2. Zeebrugge	-2	-4	-2	-3	-2	-2	-2	-1	+6	+3	+5	+3	-2	-1	0
3. Ostende minus Zeebrugge	-5	-4	-8	-6	-4	-2	+1	+3	+3	+8	+5	+4	0	-2	0

c) Mittlere Dauer einer Tide im dreijährigen Mittel 1915—1918

Mondalter:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Gesamt-mittel
Ostende 12 ^b +	20 ^m	19	18	21	21	21	22	29	36	37	37	30	23	22	12 ^b 25 ^m
Zeebrugge 12 ^b +	20 ^m	19	20	18	20	19	22	26	35	37	36	28	22	21	12 ^b 25 ^m

d) Mittlere halbmonatliche Ungleichheit der Tidendauer (in Minuten)

Ostende	-5	-6	-7	-4	-4	-4	-3	+4	+11	+12	+12	+5	-2	-3
Zeebrugge	-5	-6	-5	-7	-5	-6	-3	+1	+10	+12	+11	+3	-3	-4
Ostende minus Zeebrugge	0	0	-2	+3	+1	+2	0	+3	+1	0	+1	+2	+1	+1

Da Fall- und Steigdauer beider zur Springzeit ihre kleinsten und zur Nippzeit ihre größten Werte haben, so schwankt auch die Tidendauer innerhalb eines halben Monats und zwar bei beiden Orten um den Betrag von 19 min. Die Übereinstimmung zwischen der Dauer der Tide bei den einzelnen Mondaltern in Ostende und Zeebrügge geht soweit, daß die Differenzen ihrer halbmonatlichen Ungleichheiten unbeträchtlich sind und in ihnen kein Gang mehr erkennbar ist. Das Gesamtmittel der Tidendauer ist in beiden Orten gleich dem theoretischen Wert, nämlich 12 h 25 min.

c) Höhe des Hoch- und Niedrigwassers, Tidenhub (vergl. Tabelle 3 und Tafel 1, Nr. 2)

Für diese Werte wurden zunächst zweijährige, später, als die Beobachtungen vorlagen, dreijährige Mittel abgeleitet. Vorweg sei bemerkt, daß die Hinzunahme des dritten Jahres die Werte nur ganz unbedeutend beeinflußte, so daß die Charakterzüge bei beiden Wertereihen gleich gut hervortreten, wie ein Vergleich der in Tabelle 3 zusammengestellten zweijährigen Mittel erkennen läßt. Die im folgenden angeführten Zahlenwerte beziehen sich auf das dreijährige Mittel.

Tabelle 3.

Mittlere Werte der Höhe des Hoch- und Niedrigwassers sowie der Größe des Tidenhubes.

a) im zweijährigen Mittel Oktober 1915—September 1917 (in Metern)

1) Hochwasser.

Mondalter:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Gesamt- mittel
Ostende	4.39	4.47	4.54	4.52	4.42	4.29	4.07	3.82	3.67	3.60	3.72	3.93	4.12	4.24	4.13
Zeebrügge	4.35	4.44	4.50	4.48	4.38	4.25	4.04	3.78	3.56	3.54	3.67	3.89	4.02	4.19	4.08
Ostende minus Zeebrügge	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.11	0.06	0.05	0.04	0.10	0.05	0.05

2) Niedrigwasser.

Ostende.....	+0.05	-0.05	-0.02	-0.03	+0.07	+0.18	+0.34	+0.45	+0.61	+0.68	+0.65	+0.48	+0.32	+0.14	+0.28
Zeebrügge	+0.25	+0.14	+0.18	+0.17	+0.24	+0.36	+0.52	+0.59	+0.65	+0.79	+0.78	+0.62	+0.46	+0.32	+0.43
Ostende minus Zeebrügge	-0.20	-0.19	-0.20	-0.20	-0.17	-0.18	-0.18	-0.14	-0.04	-0.11	-0.13	-0.14	-0.14	-0.18	-0.15

3) Tidenhub.

Ostende.....	4.34	4.52	4.56	4.55	4.35	4.11	3.73	3.37	3.06	2.92	3.07	3.45	3.80	4.10	3.85
Zeebrügge	4.10	4.30	4.32	4.31	4.14	3.89	3.52	3.19	2.91	2.75	2.89	3.27	3.56	3.87	3.65
Ostende minus Zeebrügge	0.24	0.22	0.24	0.24	0.21	0.22	0.21	0.18	0.15	0.17	0.18	0.18	0.24	0.23	0.20

b) im dreijährigen Mittel Oktober 1915—September 1918 (in Metern)

1) Hochwasser.

Absolute Werte Ostende	4.37	4.47	4.53	4.51	4.43	4.27	4.06	3.84	3.68	3.61	3.74	3.94	4.12	4.25	4.13
Absolute Werte Zeebrügge.....	4.34	4.45	4.50	4.48	4.39	4.23	4.04	3.81	3.60	3.57	3.71	3.91	4.04	4.21	4.09
Ostende minus Zeebrügge	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03	0.08	0.04	0.03	0.03	0.08	0.04	0.04
Halbmonatliche Ungleichheit Ostende	+0.24	+0.34	+0.40	+0.38	+0.30	+0.14	-0.07	-0.29	-0.45	-0.52	-0.39	-0.19	-0.01	+0.12	0.00
Halbmonatliche Ungleichheit Zeebrügge.....	+0.25	+0.36	+0.41	+0.39	+0.30	+0.14	-0.05	-0.28	-0.49	-0.52	-0.38	-0.18	-0.05	+0.12	0.00
Ostende minus Zeebrügge	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.00	-0.02	-0.01	+0.04	0.00	-0.01	-0.01	+0.04	0.00	0.00

2) Niedrigwasser.

Ostende	+0.03	-0.06	-0.04	-0.03	+0.05	+0.15	+0.32	+0.44	+0.60	+0.66	+0.65	+0.48	+0.32	+0.13	+0.26
Zeebrügge	+0.22	+0.14	+0.16	+0.17	+0.23	+0.33	+0.48	+0.60	+0.67	+0.79	+0.73	+0.64	+0.47	+0.32	+0.42
Ostende minus Zeebrügge	-0.19	-0.20	-0.20	-0.20	-0.18	-0.18	-0.16	-0.16	-0.07	-0.13	-0.08	-0.16	-0.15	-0.19	-0.16
Halbmonatliche Ungleichheit Ostende	-0.23	-0.32	-0.30	-0.29	-0.21	-0.11	+0.06	+0.18	+0.34	+0.40	+0.39	+0.22	+0.06	-0.13	0.00
Halbmonatliche Ungleichheit Zeebrügge	-0.20	-0.28	-0.26	-0.25	-0.19	-0.09	+0.06	+0.18	+0.25	+0.37	+0.31	+0.22	+0.05	-0.10	0.00
Ostende minus Zeebrügge	-0.03	-0.04	-0.04	-0.04	-0.02	-0.02	0.00	0.00	+0.09	+0.03	+0.08	0.00	+0.01	-0.03	0.00

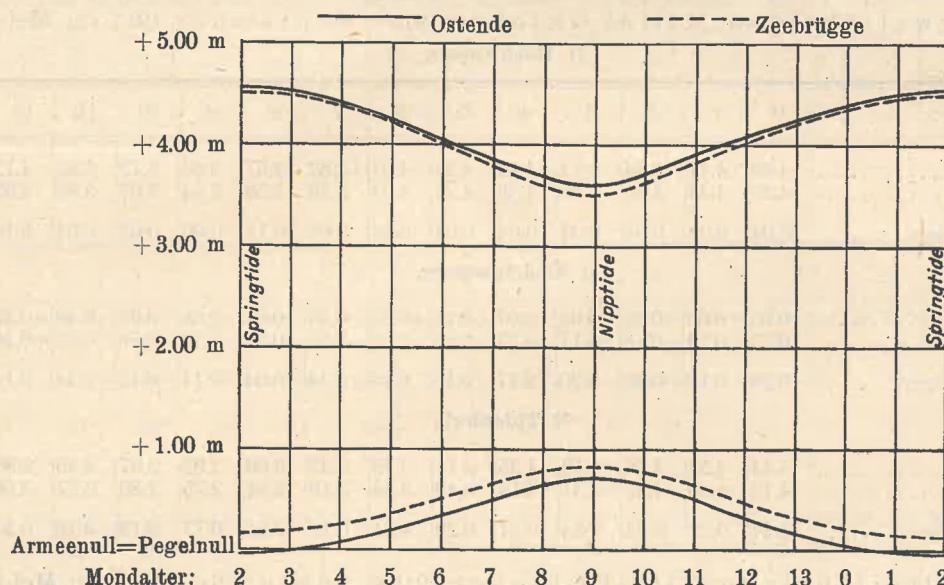
3) Tidenhub.

Ostende.....	4.34	4.53	4.57	4.54	4.38	4.12	3.74	3.40	3.08	2.95	3.09	3.46	3.80	4.12	3.87
Zeebrügge	4.12	4.31	4.34	4.31	4.16	3.90	3.56	3.21	2.93	2.78	2.98	3.27	3.57	3.89	3.67
Ostende minus Zeebrügge	0.22	0.22	0.23	0.23	0.22	0.22	0.18	0.19	0.15	0.17	0.11	0.19	0.23	0.23	0.20
Halbmonatliche Ungleichheit Ostende	+0.47	+0.66	+0.70	+0.67	+0.51	+0.25	-0.13	-0.47	-0.79	-0.92	-0.78	-0.41	-0.07	+0.25	0.00
Ungleichheit Zeebrügge	+0.45	+0.64	+0.67	+0.64	+0.49	+0.23	-0.11	-0.46	-0.74	-0.89	-0.69	-0.40	-0.10	+0.22	0.00
Ostende minus Zeebrügge	+0.02	+0.02	+0.03	+0.03	+0.02	+0.02	-0.02	-0.01	-0.05	-0.03	-0.09	-0.01	+0.03	+0.03	0.00

Der Tidenhub ist in Ostende im Mittel 3.87 m, in Zeebrügge ist er 20 cm geringer. Dies ist im wesentlichen durch den Unterschied in der Höhe des mittleren Niedrigwassers in beiden Orten bedingt, der 16 cm beträgt. Die Hochwasser unterscheiden sich im Mittel nur um 4 cm (vergl. Figur 2). — Die halbmonatliche Ungleichheit (vergl. Tabelle und Tafel 1, Nr. 2) ist wie allgemein in der Nordsee er-

Fig. 2.

Höhe des Hoch- und Niedrigwassers
im dreijährigen Mittel Okt. 1915—Sept. 1918



heblich.¹⁾ Der Nipptidenhub beträgt in Ostende 64.3%, in Zeebrügge 64.1% des Springtidenhubs gegenüber 40% am nördlichen Eingang zur Nordsee und über 75% in der Elbmündung. Die absoluten extremen mittleren Werte des Tidenhubs sind in Ostende 4.57 und 2.95 m, in Zeebrügge 4.34 und 2.78 m bei den Mondaltern 2 und 9.

Da beim Mondalter 2 und 9 mehrere Hoch- und Niedrigwasser eintreten, die nicht alle in strengem Sinne als zu Spring- und Nipptiden gehörig zu betrachten sind, wurde zur Feststellung des Nipp- und Springtidenhubes sowie der Hoch- und Niedrigwasserhöhen noch ein exakterer Weg beschritten. Unter Anwendung einer Springverspätung von 2 Tagen 3 Stunden²⁾ wurden aus den Eintrittszeiten von Voll- und Neumond sowie erstem und letztem Viertel die Spring- bzw. Nippzeit ermittelt und dann die Höhen des vorhergehenden und nachfolgenden Hoch- und Niedrigwassers ausgezogen. Die Mittelwerte ergaben die Höhe des Spring- bzw. Nipptidenhoch- und -niedrigwassers. Die für die einzelnen Jahre festgestellten Werte und die Gesamtmittel sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

¹⁾ vergl. die Darstellung von A. Merz in Nordseehandbuch, Südlicher Teil. Berlin 1923. S. 36.

²⁾ vergl. Gezeitentafel für 1918 S. 56.

Tabelle 4.
Höhe des Hoch- und Niedrigwassers sowie Größe des Tidenhubes zur Spring- und Nippzeit.

a) Ostende.

	Hochwasser m	Niedrig- wasser m	Tidenhub m
Nippzeit .	1915—1916	3.569	0.701
	1916—1917	3.623	0.678
	1917—1918	3.643	0.647
	1915—1918	3.612	0.675
Springzeit	1915—1916	4.574	+0.038
	1916—1917	4.508	-0.110
	1917—1918	4.513	-0.147
	1915—1918	4.532	-0.073

b) Zeebrügge.

	Hochwasser m	Niedrig- wasser m	Tidenhub m
Nippzeit .	1915—1916	3.531	0.828
	1916—1917	3.576	0.794
	1917—1918	3.633	0.797
	1915—1918	3.580	0.806
Springzeit	1915—1916	4.581	0.266
	1916—1917	4.441	0.072
	1917—1918	4.486	0.058
	1915—1918	4.503	0.132

Eine Abweichung gegenüber den für die Mondalter 2 und 9 ermittelten Werten ist vorhanden, doch ist diese gering wie aus folgender Zusammenstellung hervorgeht,

Tabelle 5.

Vergleich der für Spring- und Nippzeit sowie für die Mondalter 2 und 9 im dreijährigen Mittel 1915—1918 ermittelten Werte für Hoch-, Niedrigwasserhöhe und Tidenhub (in m.)

a) Ostende.

	Hochwasser	Niedrig- wasser	Tidenhub		Hochwasser	Niedrig- wasser	Tidenhub
I. Nippzeit . . .	3.61	0.67	2.94	I. Springzeit ..	4.53	-0.07	4.60
II. Mondalter 9.	3.61	0.66	2.95	II. Mondalter 2.	4.53	-0.04	4.57
I.—II.	0.00	+0.01	-0.01	I.—II.	0.00	-0.03	+0.03

b) Zeebrügge.

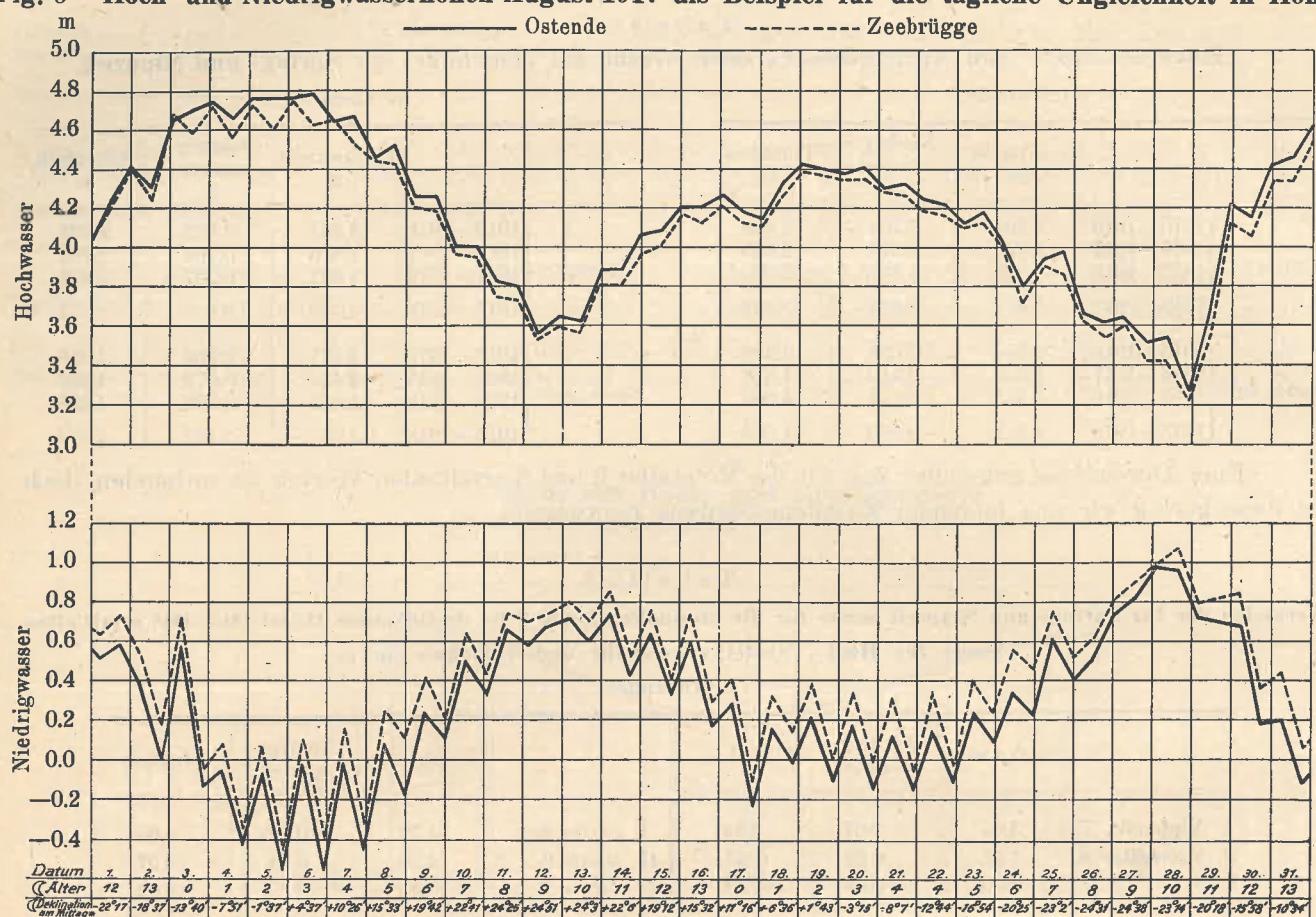
	Hochwasser	Niedrig- wasser	Tidenhub		Hochwasser	Niedrig- wasser	Tidenhub
I. Nippzeit . . .	3.58	0.81	2.77	I. Springzeit ..	4.50	0.13	4.37
II. Mondalter 9.	3.57	0.79	2.78	II. Mondalter 2.	4.50	0.16	4.34
I.—II.	+0.01	+0.02	-0.01	I.—II.	0.00	-0.03	+0.03

Die durch das letztere Verfahren gewonnenen Nipp- und Springtidenhübe liefern, wie zu erwarten, etwas extremere Werte als sie sich bei Sonderung nach dem Mondalter ergaben, die Unterschiede sind aber unbedeutend, nämlich bei beiden Orten zur Nippzeit 1 cm, zur Springzeit 3 cm.

d. Bemerkungen über die tägliche Ungleichheit in Höhe.

In Zeiten geringer Windwirkung, also vor allem im Mai, Juni, Juli und August war die tägliche Ungleichheit in Höhe in Ostende und Zeebrügge deutlich ausgebildet und zwar weitaus am meisten beim Niedrigwasser. In Figur 3 sind die beobachteten Höhen des Hoch- und Niedrigwassers für Ostende und Zeebrügge für den August 1917 als Beispiel für die tägliche Ungleichheit in Höhe angegeben. Der Verlauf der Kurven zeigt zunächst die Abhängigkeit vom Mondalter, außerdem tritt die tägliche Ungleichheit besonders beim Niedrigwasser klar hervor. Die größten Amplituden betragen beim Niedrigwasser etwa 50 cm. Auch beim Hochwasser ist die tägliche Ungleichheit zu erkennen, doch ist ihre Amplitude geringer und sie wird offenbar leichter durch Windwirkung verwischt. Zu Zeiten maximaler positiver und negativer Deklination des Mondes geht die tägliche Ungleichheit in Höhe durch Null und, wenn vorher das erste Niedrigwasser das niedrigere war, ist es nachher umgekehrt.

Fig. 3 Hoch- und Niedrigwasserhöhen August 1917 als Beispiel für die tägliche Ungleichheit in Höhe



*) im Greenwicher Meridian.

3. Die Gestalt der Tidenkurven und ihre Abhängigkeit vom Mondalter.

Die Auswertung der gesamten vorliegenden Wasserstandsbeobachtungen und -registrierungen nach Tidenstunden gab eine zuverlässige und verhältnismäßig einfache Möglichkeit, außer dem mittle-

Tabelle 6 Mittlere Gezeitenkurven von Ostende. Mondalter 0 — 13.

Errechnet aus tidenständlichen Wasserständen Oktober 1915 — September 1918.

Mondalter	Niedrig- wasser	Tidenstunden nach					Hoch- wasser	Tidenstunden nach					
		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
0	+ 0.03	0.38	0.92	1.53	2.62	4.03	4.37	4.09	3.41	2.35	1.31	0.43	
1	- 0.06	0.30	0.86	1.46	2.50	4.06	4.47	4.19	3.47	2.39	1.27	0.36	
2	- 0.04	0.32	0.90	1.48	2.60	4.10	4.53	4.26	3.51	2.42	1.31	0.38	
3	- 0.03	0.35	0.92	1.51	2.55	4.04	4.51	4.26	3.50	2.43	1.30	0.38	
4	+ 0.05	0.39	0.97	1.54	2.60	4.06	4.43	4.15	3.41	2.35	1.30	0.44	
5	+ 0.15	0.49	0.95	1.58	2.67	3.93	4.27	3.98	3.27	2.30	1.30	0.52	
6	+ 0.32	0.55	1.02	1.69	2.71	3.78	4.06	3.78	3.13	2.24	1.34	0.64	
7	+ 0.44	0.68	1.13	1.81	2.75	3.61	3.84	3.56	2.98	2.21	1.39	0.80	
8	+ 0.60	0.81	1.25	1.89	2.74	3.47	3.68	3.42	2.87	2.15	1.46	0.85	
9	+ 0.66	0.86	1.30	1.94	2.77	3.41	3.61	3.37	2.84	2.15	1.47	0.91	
10	+ 0.65	0.88	1.32	1.97	2.82	3.54	3.74	3.49	2.92	2.22	1.49	0.92	
11	+ 0.48	0.73	1.20	1.83	2.79	3.68	3.94	3.63	3.00	2.22	1.43	0.78	
12	+ 0.32	0.60	1.08	1.70	2.72	3.82	4.12	3.77	3.14	2.25	1.38	0.65	
13	+ 0.13	0.46	0.97	1.59	2.67	3.95	4.25	3.94	3.27	2.31	1.32	0.50	
Gesamt-Mittel		0.26	0.56	1.06	1.68	2.68	3.82	4.13	3.85	3.19	2.28	1.36	0.61

ren Wasserstände und seiner Änderung von Tidenstunde zu Tidenstunde auch den mittleren Verlauf der Tidenkurven für die einzelnen Mondalter abzuleiten. Es wurden für jeden Ort 14 Tabellen eingerichtet und hierin nach dem Mondalter getrennt sämtliche tidenständlichen Werte zusammengestellt. Die durch Mittelbildung gefundenen dreijährigen Mittel sind in den Tabellen 6 und 7 angegeben. Es war hiernach möglich, für jeden Ort und für alle Mondalter sowie für die Ge-

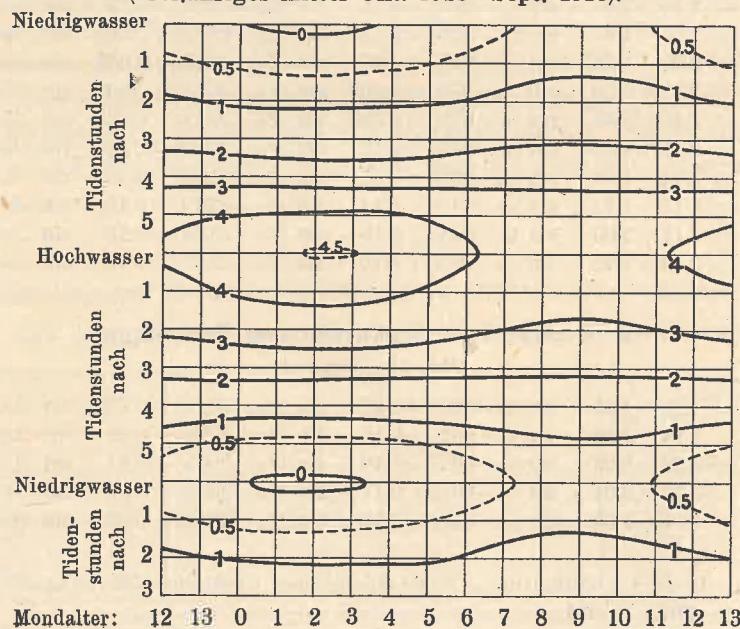
Tabelle 7 Mittlere Gezeitenkurven von Zeebrügge. Mondalter 0 — 13.
Errechnet aus tidenständlichen Wasserständen Oktober 1915 — September 1918.

Mondalter	Niedrig- wasser	Tidenstunden nach					Hoch- wasser	Tidenstunden nach				
		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
0	0.22	0.48	1.09	1.61	2.47	3.81	4.34	3.98	3.36	2.48	1.50	0.63
1	0.14	0.56	1.02	1.56	2.38	3.87	4.45	4.06	3.44	2.52	1.51	0.57
2	0.16	0.59	1.07	1.61	2.41	3.89	4.50	4.10	3.35	2.51	1.51	0.51
3	0.17	0.58	1.07	1.57	2.39	3.87	4.48	4.08	3.45	2.51	1.50	0.52
4	0.23	0.61	1.06	1.57	2.40	3.75	4.39	3.93	3.38	2.48	1.50	0.57
5	0.33	0.67	1.06	1.59	2.42	3.71	4.23	3.83	3.29	2.45	1.52	0.70
6	0.48	0.72	1.11	1.62	2.44	3.59	4.04	3.74	3.18	2.37	1.54	0.81
7	0.60	0.82	1.15	1.74	2.54	3.47	3.81	3.55	3.03	2.32	1.57	0.92
8	0.67	0.95	1.33	1.85	2.60	3.37	3.60	3.41	2.93	2.29	1.59	1.01
9	0.79	1.00	1.37	1.91	2.65	3.33	3.57	3.34	2.88	2.24	1.58	1.04
10	0.73	1.02	1.41	1.93	2.68	3.42	3.71	3.47	2.95	2.30	1.64	1.04
11	0.64	0.88	1.29	1.82	2.62	3.54	3.91	3.58	3.06	2.36	1.59	0.93
12	0.47	0.75	1.18	1.70	2.49	3.62	4.04	3.73	3.17	2.43	1.58	0.83
13	0.32	0.68	1.12	1.64	2.47	3.77	4.21	3.88	3.30	2.47	1.53	0.70
Gesamt-Mittel	0.42	0.74	1.17	1.69	2.50	3.64	4.09	3.76	3.20	2.41	1.55	0.77

samtliche mittlere Gezeitenkurven zu zeichnen. Die Spring- und Nippzeitkurven sind auf Tafel 1, Nr. 3 und die mittleren Tidenkurven auf Tafel 1, Nr. 4 dargestellt, jeweils gemeinsam für Ostende und Zeebrügge.

Die Tabellen und außerdem die Isoplethendarstellung in Fig. 4 zeigen, daß die Wasserstände zu den einzelnen Tidenstunden in regelmäßiger Weise zwischen den extremen Werten zur Spring- und

Fig. 4
Isoplethendarstellung der Höhe des Wasserstandes zu Ostende
in seiner Abhängigkeit von Tidenstunde und Mondalter.
(dreijähriges Mittel Okt. 1915—Sept. 1918).



Nippzeit schwanken. Die Amplitude ist in Ostende (Zeebrügge) am größten zur Zeit des Hochwassers mit 92 cm (93), kleiner zur Zeit des Niedrigwassers mit 72 (65) cm. Bei Niedrigwasser ist sie kleiner als zwischen etwa $\frac{1}{2}$ Stunden vor und $1\frac{1}{2}$ Stunden nach Hochwasser, aber größer als zu allen anderen Tidenzeiten. In Ostende ist die Schwankung etwa $1\frac{1}{2}$ Stunden vor und $3\frac{1}{2}$ Stunden nach Hochwasser am geringsten, nämlich annähernd Null, d. h. die Tidenkurven für alle Mondalter schneiden sich zu den genannten Zeiten in einem Punkte und zwar in den Niveaus 2.90 und 1.75 m. Das bedeutet, daß bei allen Mondaltern zu den angegebenen Tidenzeiten das Wasser das gleiche angegebene Niveau einnimmt. In Zeebrügge ist dies, wie aus der Darstellung der Nipp- und Springtidenkurven ersichtlich ist, zu annähernd den gleichen Zeiten in fast gleichen Niveaus der Fall.

Als noch nicht zu übersehen war, ob noch für ein drittes volles Jahr Pegelaufzeichnungen erlangt würden, wurden die zweijährigen Mittel der Wasserstände zu den einzelnen Tidenstunden benutzt, um die regelmäßige Gestalt der Gezeitenkurven und ihre Abhängigkeit vom Mondalter durch Gleichungen zur Veranschaulichung zu bringen. Da wie schon S. 7 erwähnt die zweijährigen Mittel sich nur unwesentlich von den dreijährigen Mitteln unterscheiden, wurde von einer Wiederholung der Rechnung für die dreijährigen Mittel als nicht lohnend abgesehen.

Zur Durchführung der Ausgleichung wurden den mit möglichster Sorgfalt für die einzelnen Mondalter unter Berücksichtigung der verschiedenen Steig- und Falldauern gezeichneten Gezeitenkurven je 24 gleichmäßig über die Kurven verteilte Wasserstandswerte entnommen und aus diesen der mittlere Wasserstand nach der Formel¹⁾ $h_m = \frac{1}{24} [h_0 + h_{24} + 4 \cdot (h_1 + h_3 + h_5 + \dots + h_{23}) + 2 \cdot (h_2 + h_4 + h_6 + \dots + h_{22})]$ ermittelt. Unter Benutzung dieser Werte für den mittleren Wasserstand wurden die Abweichungen des Wasserstandes vom Mittel für 24 gleichmäßig über die Tidenkurve verteilte Zeiträume für jedes Mondalter ermittelt. Diese Werte dienten zur Ableitung der Gleichungen. Es ergaben sich die folgenden Beziehungen:

1. Mittlere Gezeitenkurven von Ostende.

Mondalter:

Okt. 15 — Sept. 17.

0. $n = 2.15 + 2.13 \cdot \sin(\alpha - 91^\circ 2) + 0.16 \cdot \sin(2\alpha - 236^\circ 5) + 0.13 \cdot \sin(3\alpha - 1^\circ 1)$
1. $n = 2.13 + 2.20 \cdot \sin(\alpha - 91^\circ 9) + 0.16 \cdot \sin(2\alpha - 236^\circ 6) + 0.16 \cdot \sin(3\alpha - 351^\circ 2)$
2. $n = 2.18 + 2.22 \cdot \sin(\alpha - 90^\circ 7) + 0.16 \cdot \sin(2\alpha - 235^\circ 2) + 0.15 \cdot \sin(3\alpha - 7^\circ 5)$
3. $n = 2.16 + 2.21 \cdot \sin(\alpha - 91^\circ 8) + 0.16 \cdot \sin(2\alpha - 248^\circ 8) + 0.15 \cdot \sin(3\alpha - 15^\circ 9)$
4. $n = 2.18 + 2.12 \cdot \sin(\alpha - 91^\circ 0) + 0.16 \cdot \sin(2\alpha - 241^\circ 8) + 0.15 \cdot \sin(3\alpha - 13^\circ 7)$
5. $n = 2.16 + 2.01 \cdot \sin(\alpha - 91^\circ 0) + 0.15 \cdot \sin(2\alpha - 240^\circ 4) + 0.13 \cdot \sin(3\alpha - 3^\circ 5)$
6. $n = 2.12 + 1.83 \cdot \sin(\alpha - 90^\circ 4) + 0.15 \cdot \sin(2\alpha - 224^\circ 7) + 0.094 \cdot \sin(3\alpha - 3^\circ 6)$
7. $n = 2.09 + 1.65 \cdot \sin(\alpha - 88^\circ 4) + 0.12 \cdot \sin(2\alpha - 205^\circ 4) + 0.057 \cdot \sin(3\alpha - 8^\circ 3)$
8. $n = 2.11 + 1.50 \cdot \sin(\alpha - 87^\circ 7) + 0.096 \cdot \sin(2\alpha - 202^\circ 0) + 0.044 \cdot \sin(3\alpha - 2^\circ 6)$
9. $n = 2.11 + 1.43 \cdot \sin(\alpha - 87^\circ 6) + 0.095 \cdot \sin(2\alpha - 203^\circ 6) + 0.037 \cdot \sin(3\alpha - 6^\circ 2)$
10. $n = 2.15 + 1.50 \cdot \sin(\alpha - 87^\circ 6) + 0.10 \cdot \sin(2\alpha - 203^\circ 8) + 0.05 \cdot \sin(3\alpha - 7^\circ 6)$
11. $n = 2.16 + 1.63 \cdot \sin(\alpha - 88^\circ 7) + 0.11 \cdot \sin(2\alpha - 216^\circ 9) + 0.08 \cdot \sin(3\alpha - 11^\circ 8)$
12. $n = 2.13 + 1.73 \cdot \sin(\alpha - 89^\circ 7) + 0.14 \cdot \sin(2\alpha - 226^\circ 4) + 0.12 \cdot \sin(3\alpha - 11^\circ 0)$
13. $n = 2.13 + 2.00 \cdot \sin(\alpha - 90^\circ 9) + 0.15 \cdot \sin(2\alpha - 232^\circ 0) + 0.12 \cdot \sin(3\alpha - 6^\circ 2)$

$$\text{Gesamtmittel } n = 2.14 + 1.88 \cdot \sin(\alpha - 90^\circ 9) + 0.10 \cdot \sin(2\alpha - 253^\circ 8) + 0.10 \cdot \sin(3\alpha - 7^\circ 5)$$

2. Mittlere Gezeitenkurven von Zeebrügge.

Mondalter:

Okt. 15 — Sept. 17.

0. $n = 2.21 + 1.93 \cdot \sin(\alpha - 96^\circ 5) + 0.13 \cdot \sin(2\alpha - 281^\circ 7) + 0.17 \cdot \sin(3\alpha - 40^\circ 3)$
1. $n = 2.18 + 2.02 \cdot \sin(\alpha - 96^\circ 5) + 0.15 \cdot \sin(2\alpha - 275^\circ 0) + 0.22 \cdot \sin(3\alpha - 35^\circ 8)$
2. $n = 2.22 + 2.02 \cdot \sin(\alpha - 96^\circ 9) + 0.16 \cdot \sin(2\alpha - 290^\circ 8) + 0.21 \cdot \sin(3\alpha - 39^\circ 1)$
3. $n = 2.20 + 2.01 \cdot \sin(\alpha - 96^\circ 5) + 0.17 \cdot \sin(2\alpha - 286^\circ 4) + 0.21 \cdot \sin(3\alpha - 41^\circ 2)$
4. $n = 2.17 + 1.95 \cdot \sin(\alpha - 97^\circ 1) + 0.16 \cdot \sin(2\alpha - 281^\circ 2) + 0.19 \cdot \sin(3\alpha - 42^\circ 9)$

¹⁾ vergl. K. Hessen, Über die einheitliche Bearbeitung der Gezeitenerscheinungen in der Deutschen Bucht. Annalen der Hydrographie 1913. S. 456.

$$\begin{aligned}
 5. \quad n &= 2.18 + 1.85 \cdot \sin(\alpha - 95^\circ) + 0.15 \cdot \sin(2\alpha - 269^\circ) + 0.17 \cdot \sin(3\alpha - 32^\circ) \\
 6. \quad n &= 2.17 + 1.71 \cdot \sin(\alpha - 94^\circ) + 0.13 \cdot \sin(2\alpha - 262^\circ) + 0.12 \cdot \sin(3\alpha - 29^\circ) \\
 7. \quad n &= 2.12 + 1.55 \cdot \sin(\alpha - 94^\circ) + 0.11 \cdot \sin(2\alpha - 233^\circ) + 0.085 \cdot \sin(3\alpha - 10^\circ) \\
 8. \quad n &= 2.14 + 1.41 \cdot \sin(\alpha - 92^\circ) + 0.056 \cdot \sin(2\alpha - 214^\circ) + 0.078 \cdot \sin(3\alpha - 24^\circ) \\
 9. \quad n &= 2.14 + 1.35 \cdot \sin(\alpha - 90^\circ) + 0.066 \cdot \sin(2\alpha - 224^\circ) + 0.053 \cdot \sin(3\alpha - 24^\circ) \\
 10. \quad n &= 2.18 + 1.40 \cdot \sin(\alpha - 90^\circ) + 0.070 \cdot \sin(2\alpha - 239^\circ) + 0.076 \cdot \sin(3\alpha - 33^\circ) \\
 11. \quad n &= 2.17 + 1.56 \cdot \sin(\alpha - 93^\circ) + 0.093 \cdot \sin(2\alpha - 243^\circ) + 0.11 \cdot \sin(3\alpha - 28^\circ) \\
 12. \quad n &= 2.15 + 1.74 \cdot \sin(\alpha - 95^\circ) + 0.11 \cdot \sin(2\alpha - 257^\circ) + 0.14 \cdot \sin(3\alpha - 30^\circ) \\
 13. \quad n &= 2.17 + 1.85 \cdot \sin(\alpha - 95^\circ) + 0.12 \cdot \sin(2\alpha - 268^\circ) + 0.15 \cdot \sin(3\alpha - 30^\circ) \\
 \text{Gesamt Mittel } n &= 2.17 + 1.74 \cdot \sin(\alpha - 95^\circ) + 0.11 \cdot \sin(2\alpha - 266^\circ) + 0.14 \cdot \sin(3\alpha - 34^\circ)
 \end{aligned}$$

Das von $\sin \alpha$ freie Glied, die erste Konstante, ist das für das betr. Mondalter aus der mittleren Gezeitenkurve abgeleitete Mittelwasser. Die Amplituden der Sinusglieder sind sämtlich vom Mondalter abhängig mit einem Maximum zur Springzeit und einem Minimum zur Nippzeit. Aus Tafel 1, Nr. 5 ist dies näher zu ersehen. Das erste Sinusglied ist, wie aus der Gestalt der Gezeitenkurven schon zu ersehen ist, das überragende. Aber auch die wesentlich kleineren Amplituden des zweiten und dritten Gliedes sind deutlich vom Mondalter abhängig. Die Amplituden von Ostende sind beim 1. und 2. Gliede ausnahmslos größer als bei Zeebrügge. Auch die Phasen des ersten und zweiten Gliedes sind stark vom Mondalter abhängig, beim dritten Glied ist eine solche kaum festzustellen, vergl. Tafel 1, Nr. 5.

Es wurde versucht, die mittleren Gezeitenkurven nur unter Benutzung des ersten Gliedes darzustellen. Die $B-R = v$ zeigen jedoch beträchtliche Werte, wie Tafel 1, Nr. 6 am Beispiel von Ostende zeigt. Bei Benutzung des ersten und zweiten Gliedes wurden die Werte $B-R$ erheblich kleiner, bei Anwendung aller drei Glieder endlich wurde eine weitere wesentliche Verbesserung erreicht. Größere Abweichungen bis zu 18 cm waren nun nur noch zur Springzeit eine Tidenstunde vor Hochwasser vorhanden. Das letzte steile Ansteigen der Gezeitenkurve zur Springzeit ist mit den Gleichungen offenbar noch nicht voll erfaßt.

4. Die Beeinflussung der Grundwerte der Gezeitenerscheinung und der Gestalt der Tidenkurven durch den Wind.

a. Extreme, Häufigkeit außergewöhnlich hoher und niedriger Wasserstände.

Die in den beiden vorhergehenden Abschnitten mitgeteilten Mittelwerte teilen die Eigenschaft der meisten Mittel, daß die Einzelerscheinungen von ihnen z. T. beträchtlich abweichen. Bei der Untersuchung des Mittelwasserstandes hatte sich bereits ergeben, daß der Einfluß von Luftdruck und Wind an der flandrischen Küste sehr bedeutend ist. Da der Aufstau sowie die Abtrift und der Gezeitenvorgang sich überlagern, durch die Wasserstandsbeobachtungen aber gewissermaßen nur die Resultante beider Vorgänge zur Beobachtung gelangt, weichen zu Zeiten starker Windwirkung die Steig- und Falldauer usw. und auch die Gestalt der Tidenkurve von den für das betr. Mondalter festgestellten Mittelwerten ganz wesentlich ab.

Tabelle 8.

Die Extreme der Grundwerte der Gezeitenerscheinung in Ostende von Oktober 1915 — September 1918 und ihre mittlere vom Mondalter abhängige Schwankung.

	1. Mondflutintervall. min.		2. Steigdauer (h, m)		3. Falldauer (h, m)		4. Höhe des Hochwassers (m)		5. Höhe des Niedrigwassers (m)	
	absolute Extreme	mittlere Extreme*	absolute Extreme	mittlere Extreme*	absolute Extreme	mittlere Extreme*	absolute Extreme	mittlere Extreme*	absolute Extreme	mittlere Extreme*
größter Wert	+ 94	+ 40	7 ^h 15 ^m	5 ^h 57 ^m	8 ^h 15 ^m	6 ^h 44 ^m	5.58	4.53	+ 3.02	+ 0.66
niedrigster Wert	- 96	- 46	4 ^h 35 ^m	5 ^h 36 ^m	5 ^h 00 ^m	6 ^h 35 ^m	2.80	3.61	- 0.90	- 0.90
Amplitude	3 ^h 10 ^m	1 ^h 26 ^m	2 ^h 40 ^m	21 ^m	3 ^h 15 ^m	9 ^m	2.78	0.92	3.92	0.72

* vom Mondalter abhängige mittlere Extreme (vergl. S. 4, 6, 7.)

Die höchsten und niedrigsten Wasserstände, sowie die Häufigkeit des Auftretens außergewöhnlich hoher und niedriger Wasserstände in Ostende und Zeebrugge* nach Monaten geordnet

Tabelle 9. für den Zeitraum Oktober 1915 bis September 1918.

Höchstes Hochwasser	Okt.	Nov.	Dez. 15	Jan. 16	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez. 16	Jan. 17	Febr.	März	April
	4.60	4.98	5.14	5.58	4.96	4.90	4.80	4.48	4.70	4.71	4.90	5.35	5.10	5.10	5.08	4.64	4.80	5.30	4.82
	4.83	4.90	5.07	5.75	4.95	4.95	4.70	4.45	4.75	4.72	4.83	5.28	5.04	5.00	5.04	4.54	4.72	5.08	4.78
Häufigkeit des Auftretens der Hochwasserhöhen zwischen:																			
5.71 bis 5.80								1											
5.61 " 5.70																			
5.51 " 5.60								1											
5.41 " 5.50																			
5.31 " 5.40								1											
5.21 " 5.30								2	1										1
5.11 " 5.20								1	1										
5.01 " 5.10								1	1										1
4.91 " 5.00								2	2	1									1 1
4.81 " 4.90								2	1	2									1 1
4.71 " 4.80								6	5	3									2 2
4.61 " 4.70								1	3	2									4 3
4.51 " 4.60								5	8	6	9								1 1
	6	5	5	2	3	2	1	6	1	3	5	8	6	9	1	3	1	7	3
																			5
																			7
																			3
																			1
Häufigkeit des Auftretens der Niedrigwasserhöhen zwischen:																			
-0.01 bis -0.10	2	5	4	5	—	3	1	2	3	9	2	2	1	4	2	1	2	5	1
-0.11 "	-0.20	6	1	1	—	5	1	8	1	4	2	10	2	4	2	4	1	3	4
-0.21 "	-0.30	8	1	—	—	2	1	3	1	2	1	2	—	2	3	—	3	5	4
-0.31 "	-0.40	1	—	—	—	1	—	1	1	2	—	2	—	3	—	1	1	2	2
-0.41 "	-0.50	2	—	—	—	1	—	2	1	—	2	—	1	1	2	—	1	—	2
-0.51 "	-0.60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	1
-0.61 "	-0.70	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	3	—	1
-0.71 "	-0.80	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	1
-0.81 "	-0.90	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Niedrigstes Niedrigwasser																			
	-0.42	-0.12	-0.12	-0.42	-0.90	-0.42	-0.43	-0.42	-0.33	-0.61	-0.53	-0.35	-0.42	-0.38	-0.46	-0.74	-0.76	-0.80	-0.42
	-0.25	+0.08	+0.00	-0.27	-0.75	-0.21	-0.15	-0.20	-0.11	-0.45	-0.32	-0.22	-0.16	-0.10	-0.28	-0.60	-0.56	-0.56	-0.28

Höchstes Hochwasser	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez. 17	Jan. 18	Febr.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt. 15 – Sept. 18
	4.52	4.50	4.70	4.78	5.04	5.02	4.94	5.40	5.40	4.80	4.76	4.90	4.82	4.64	4.62	4.90	5.03	5.58
	4.48	4.48	4.66	4.54	5.06	4.96	5.60	5.50	5.26	4.76	4.74	4.85	4.65	4.74	4.72	4.90	5.06	5.75
Häufigkeit des Auftretens der Hochwasserhöhen zwischen:																		
5.71 bis 5.80																		1
5.61 " 5.70																		1 1
5.51 " 5.60																		3 1
5.41 " 5.50																		4 5
5.31 " 5.40																		3 1
5.21 " 5.30																		8 11
5.11 " 5.20																		20 17
5.01 " 5.10																		40 23
4.91 " 5.00																		78 61
4.81 " 4.90																		90 85
4.71 " 4.80																		13 7
4.61 " 4.70																		15 3
4.51 " 4.60	1	—	2	4	1	5	3	3	2	1	5	4	1	1	2	5	3	6
																		95 98
Häufigkeit des Auftretens der Niedrigwasserhöhen zwischen:																		
-0.01 bis -0.10	10	3	7	6	3	2	4	2	8	3	9	2	7	5	1	4	5	163 91
-0.11 "	-0.20	6	3	1	5	4	7	—	4	2	4	1	7	—	5	3	4	152 63
-0.21 "	-0.30	2	4	2	3	1	—	1	1	1	3	—	3	2	6	3	2	95 32
-0.31 "	-0.40	1	—	—	3	2	—	2	—	—	3	—	—	3	1	1	4	57 11
-0.41 "	-0.50	—	—	3	3	1	2	2	1	—	1	1	1	1	2	3	2	35 12
-0.51 "	-0.60	—	—	2	—	—	—	1	—	—	1	—	—	1	—	1	—	13 7
-0.61 "	-0.70	—	—	—	2	—	1	—	1	—	3	1	2	—	—	1	—	15 3
-0.71 "	-0.80	—	—	—	—	2	—	—	—	1	—	1	—	—	1	—	5	1
-0.81 "	-0.90	—	—	—	—	2	—	—	—	1	—	1	—	—	—	6	—	—
Niedrigstes Niedrigwasser																		
	-0.32	-0.26	-0.46	-0.54	-0.70	-0.90	-0.30	-0.66	-0.52	-0.84	-0.84	-0.58	-0.34	-0.38	-0.78	-0.52	-0.60	-0.90
	-0.10	-0.12	-0.30	-0.46	-0.50	-0.66	-0.10	-0.50	-0.30	-0.66	-0.54	-0.18	-0.12	-0.10	-0.16	-0.32	-0.30	-0.75

* Die für Zeebrugge gültigen Zahlen sind kursiv gedruckt.

In der Tabelle S. 13 sind die in dem dreijährigen Zeitraume tatsächlich vorgekommenen Extreme und die bei der Ableitung der Abhängigkeit vom Mondalter festgestellten mittleren Grenzwerte, wie sie auf S. 4, 6 und 7 gegeben sind, einander gegenübergestellt. Diese Zahlen zeigen auf das überzeugendste, daß die tatsächlichen Steig- und Falldauern usw. außerordentlich von den mittleren Werten abweichen können. Im Mittel schwankt während eines halben Mondumlaufes die Steigdauer nur um 21, die Falldauer nur um 9 Minuten, die absoluten Extreme haben Differenzen von 160 und 195 Minuten!

Wie sehr hier meteorologische Einflüsse von Bedeutung sind, zeigt Tabelle 9, in der die Häufigkeit der Hochwasserstände über 4.50 m und der Niedrigwasserstände unter 0.00 m angegeben ist, das ist mit sehr großer Annäherung die Häufigkeit des Vorkommens der Hoch- und Niedrigwasserhöhen jenseits der bei Untersuchung der Abhängigkeit vom Mondalter festgestellten Mittelwerte zur Springzeit (vergl. Tab. 4).

Von den während der drei Beobachtungsjahre vorgekommenen rund 4000 Hoch- und Niedrigwassern waren in Ostende rund 900 höher bzw. niedriger als die im Mittel für Springzeit gültigen Werte. Dies zeigt schon, daß die Abweichungen vom Mittel recht häufig sind, obgleich nur die Häufigkeit der Werte jenseits der Springzeit mittel betrachtet sind. Die geringeren Abweichungen sind z. T. durch astronomische Ursachen bedingt. Daß die extremen Hoch- und Niedrigwasserwerte aber wesentlich auf die Witterungsverhältnisse zurückzuführen sind, zeigt die Abhängigkeit der Häufigkeit von der Jahreszeit. Die größten Abweichungen fallen auf die Wintermonate. Im April, Mai, Juni, Juli, den Monaten mit der geringsten Luftbewegung sind auch die Abweichungen am wenigsten zahlreich und am kleinsten.

Einige ausgewählte typische Einzelfälle seien im folgenden eingehender betrachtet. Dabei konnte mehrfach die Gestalt der gleichzeitigen Tidenkurven auch an der holländischen Küste betrachtet werden, da das holländische Reichswasserbauamt im Haag die halbstündlichen und die extremen Wasserstände von Vlissingen, Hoek van Holland und Helder für die gewünschten Tage in entgegenkommender Weise zur Verfügung gestellt hatte.

b. Fälle starker Abtrift, darunter der niedrigste festgestellte mittlere
Wasserstand (29. bis 30. Oktober 1917*).

In den letzten Tagen des Oktober 1917 bestand nördlich von Schottland und westlich von Norwegen niedriger, über Frankreich und Nordwestdeutschland höherer Luftdruck. Über der ganzen Nordsee herrschten infolgedessen südliche Winde. An der flandrischen Küste drehte der Wind am 29. 10. morgens zwischen 3 und 5 Uhr von West auf Süd und blieb so bis zum 31. 10. 7 h V. Die zunächst schwachen Südwinde frischten am Vormittag des 30. Okt. auf bis 6 Beaufort, ebenfalls an der holländischen und deutschen Küste, vermutlich also über dem ganzen Gebiet der Hoofden und südlichsten Nordsee.

Der mittlere Wasserstand war in der gleichen Zeit niedriger als normal und fiel, wie Tafel 2, Nr. 7 zeigt, ständig bis ungefähr zu dem Zeitpunkte, wo die Südwinde ihren stärksten Einfluß ausübten. Vom 29. 10. abends bis 30. 10. abends war der mittlere Wasserstand am niedrigsten, in Ostende mit 1.52 m, in Zeebrügge mit 1.60 m, der mittlere Wasserstand war also in Ostende 62 cm und in Zeebrügge 59 cm unter den für Oktober festgestellten dreijährigen Mittelwerten (vergl. Tabelle 3 in Heft I S. 10/11). Das ist die stärkste Senkung des mittleren Wasserstandes während eines Doppeltidenzeitraumes, die an der flandrischen Küste von 1915 bis 1918 vorgekommen ist.

*) In Heft I, S. 14, Zeile 8 von oben steht infolge eines Druckfehlers 1916, dies ist auf 1917 zu berichtigen.

Tabelle 10.

Grundwerte der Gezeiten in Ostende und Zeebrugge am 29. bis 30. Oktober 1917.

a. Ostende.

Tag	Mond-alter	Hochwasser		Niedrigwasser		Steigdauer		Falldauer		Tiden-stieg (-fall)
		Höhe m	Anomalie cm	Höhe m	Anomalie cm	h m	min	h m	min	
29. 10. 1917	13	4.52	+ 27	+ 0.20	+ 7	5 ³⁰	- 13	7 ¹⁵	+ 36	4.32
		4.24	- 1	- 0.42	- 55	5 ⁰⁵	- 38	7 ²⁵	+ 44	(4.94) 4.66
30. 10. 1917	0	3.56	- 81	- 0.90	- 93	5 ¹⁵	- 24	7 ⁰⁰	+ 19	(5.14) 4.46
		4.44	- 3	- 0.82	- 85	5 ⁴⁰	+ 2	6 ²⁰	- 21	(4.38) 5.26
31. 10. 1917	1			- 0.02	+					(4.46)

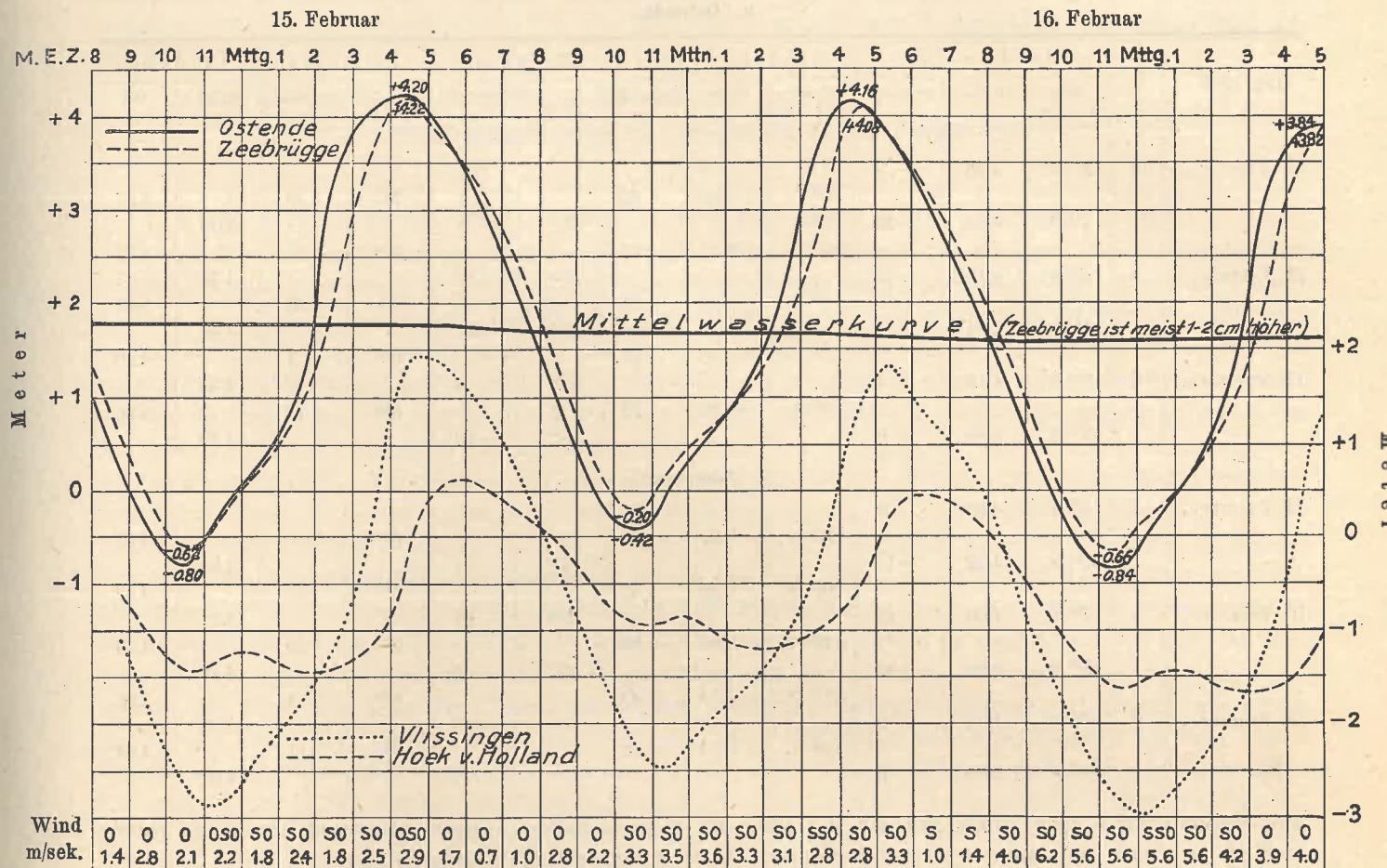
b. Zeebrugge.

29. 10. 1917	13	4.44	+ 23	+ 0.42	+ 10	5 ⁴⁵	- 9	6 ⁵⁰	+ 23	4.02
		4.18	- 3	- 0.22	- 54	5 ³⁰	- 24	7 ⁰⁰	+ 33	(4.66) 4.40
30. 10. 1917	0	3.52	- 82	- 0.66	- 88	5 ³⁰	- 23	6 ⁴⁰	+ 13	(4.84) 4.18
		4.38	- 7	- 0.60	- 82	5 ⁴⁵	- 6	6 ²⁵	- 3	(4.12) 4.98
31. 10. 1917	1			+ 0.18	+ 4					(4.20)

Die in der Tabelle 10 zusammengestellten Grundwerte der Gezeitenerscheinung an den beiden Tagen zeigten die durch die Übereinanderlagerung der Abtrift und der Gezeiten bedingten Abweichungen der Grundwerte von den Mittelwerten. Während der Senkung des mittleren Wasserspiegels war die Steigdauer abnormal kurz, die Falldauer ungewöhnlich lang, ebenso waren die Werte für den Tidenfall wesentlich größer als für den Tidenstieg. Nach Erreichen des niedrigsten Mittelwasserstandes und während der Hebung desselben kehrten sich diese Verhältnisse um. Hoch- und Niedrigwasser war während der stärksten Wirkung der Abtrift bis zu 90 cm niedriger als im Mittel, so daß also der Wasserspiegel während kürzerer Zeiträume als der oben betrachteten Doppeltide noch mehr als etwa 60 cm erniedrigt wurde. Es ergibt sich gleichzeitig, daß wie schon früher erwähnt wurde kurzdauernde Niveauschwankungen durch die angewandte Mittelwasserberechnung nicht voll erfaßt werden. Besser ist dies schon durch Benutzung der für die einzelnen Mondalter berechneten mittleren Hoch- und Niedrigwasser möglich. Bei Heranziehung von diesen ergibt sich, wie Tabelle 10 zeigt, daß in Ostende und Zeebrugge die Hoch- und Niedrigwasser im Maximum etwa 1 m unter den mittleren Werten des betreffenden Mondalters liegen können.

Auf Tafel 2, Nr. 7 sind für die betrachteten Tage die Gezeitenkurven außer für Ostende und Zeebrugge auch für Vlissingen, Hoek van Holland und Helder dargestellt. Die Wasserstandsänderung in Vlissingen geht ganz parallel der in Ostende und Zeebrugge. Bemerkenswert ist bei den drei Kurven von Ostende, Zeebrugge und Vlissingen, daß mehrfach während des Steigens kurz nach Niedrigwasser die Kurve eine kleine Einbuchtung zeigt, die besagt, daß zunächst ein schnelleres, dann vorübergehend aber ein verlangsamtes Steigen des Wasserstandes stattfindet. Vielleicht darf man darin ein Ausklingen der in Hoek van Holland festgestellten Agger-Erscheinung mit doppeltem Niedrigwasser sehen, welche in der auf Tafel 2, Nr. 7 dargestellten Gezeitenkurve zu erkennen ist. Bei Hoek van Holland handelt es sich allerdings um ein geringes Steigen nach dem ersten Niedrigwasser und um ein verstärktes weiteres Fallen. Das vorübergehende Steigen und das zweite Niedrigwasser wären nach der hier vertretenen Auffassung von Ostende bis Vlissingen durch die Einbuchtung der Gezeitenkurve nach dem Niedrigwasser noch schwach angedeutet. Diese abgeschwächte Aggererscheinung an der

Fig. 5
Wasserstandskurven am 15.—16. Februar 1918.



flandrischen Küste trat noch stärker am 15./16. Februar 1918 bei einer ähnlichen Senkung des Wasserspiegels hervor (vergl. Figur 5). Am 15. Februar 1918 und an den folgenden Tagen lag die flandrische Küste an der Südwestseite eines ausgedehnten Hochdruckgebietes, dessen Kern zunächst über Mittelschweden lag und sich allmählich nach Osten verlagerte. In Ostende und Zeebrügge herrschten infolgedessen beständige schwache östliche und südöstliche Winde, die eine beträchtliche Erniedrigung des Wasserstandes bewirkten. Der mittlere Wasserstand sank in Ostende auf 1.56 m, in Zeebrügge auf 1.59 m, also fast so weit wie in dem extremen Falle vom 29./30. Oktober 1917. Während aber damals durch die beständigen und über der ganzen Nordsee herrschenden Südwinde eine Erniedrigung des Wasserspiegels bewirkt war, ist jetzt durch die Ostwinde das Wasser von der Ostseite der Hoofden nach der Westseite getrieben. Leider waren Wasserstandskurven von der Westseite der Hoofden aus England nicht zu erhalten, sonst wäre es wahrscheinlich möglich gewesen, den Aufstau nachzuweisen und einen näheren Einblick in die Art der Wasserstandsschwankung in dem Becken der Hoofden zu bekommen.

Die starke Erniedrigung des Wasserspiegels war besonders zu den Niedrigwasserzeiten ausgeprägt, im Extremfalle sank das Wasser am 16. Februar 1.0 m unter das mittlere Niedrigwasser des betr. Mondalters und zwar sowohl in Ostende wie in Zeebrügge. Die Steigdauer war entsprechend verkürzt und die Falldauer verlängert, wie die Zahlen der Tabelle 11 im einzelnen zeigen,

Der Verlauf der Gezeitenkurven ist ähnlich dem am 29./30. Oktober 1917. Deutlicher noch als bei dem vorigen Beispiel trat bei Ostende und Zeebrügge die Einbuchtung der Gezeitenkurve während

Tabelle 11.

Grundwerte der Gezeiten in Ostende und Zeebrügge am 15./16. Februar 1918.

a. Ostende.

Tag 1918	Mondalter	Hochwasser			Niedrigwasser			Steigdauer		Falldauer		Tiden-	
		Zeit M.-E. Z.	Höhe m	Anomalie cm	Zeit M.-E. Z.	Höhe m	Anomalie cm	h	m	Anomalie m	h	m	Anomalie m
15. Februar..	4	3 ¹⁵ V.	4.46	+ 3	10 ³⁵ V.	- 0.80	- 85	5 ³⁵	— 5	7 ²⁰	+ 39	5.00	5.26
		4 ¹⁰ N.	4.20	- 23	10 ⁴⁰ N.	- 0.42	- 47						
16. Februar..	5	4 ⁰⁵ V.	4.16	- 11	11 ²⁰ V.	- 0.84	- 99	5 ²⁵	— 17	6 ³⁰	— 11	4.58	4.62
		4 ⁴⁵ N.	3.84	- 43	11 ²⁵ N.	- 0.36	- 51						
17. Februar..	6	5 ¹⁰ V.	4.10	+ 4	0 ⁰⁰ N.	- 0.20	- 52	5 ⁴⁵	0	6 ⁴⁰	+ 1	4.46	4.20
		5 ³⁵ N.	4.00	- 6									

b. Zeebrügge.

15. Februar..	4	4 ¹⁰ V.	4.35	- 4	10 ⁴⁵ V.	- 0.62	- 85	5 ⁴⁰	0	6 ³⁵	+ 8	4.84	4.97
		4 ²⁵ N.	4.22	- 17	10 ³⁵ N.	- 0.20	- 43						
16. Februar..	5	4 ⁴⁰ V.	4.08	- 15	11 ³⁰ V.	- 0.66	- 99	6 ⁰⁵	+ 23	6 ⁵⁰	+ 24	4.28	4.74
		5 ⁰⁰ N.	3.82	- 41	11 ²⁵ N.	- 0.14	- 47						
17. Februar..	6	5 ³⁰ V.	4.04	0	0 ¹⁰ N.	- 0.04	- 52	6 ⁰⁵	— 40	6 ²⁵	— 1	4.18	3.96
		5 ⁵⁵ N.	3.98	- 6									

des Steigens kurz nach Niedrigwasser, die oben als abgeschwächte Aggererscheinung bezeichnet wurde, hervor. In Hoek van Holland war das doppelte Niedrigwasser kräftig ausgebildet.

Den extremsten Gegensatz zu den beiden soeben betrachteten Fällen liefern

c. Fälle starken Aufstaus, darunter die Sturmflut vom 13./14. Januar 1916.

Die höchste Sturmflut während der Beobachtungszeit fand am 13./14. Januar 1916 statt. Sie bewirkte in Belgien beträchtliche Zerstörungen an dem das flandrische Küstengebiet schützenden Dünenwall. In Holland¹⁾ wurden einzelne Küstenstriche an der Zuiderzee weithin überschwemmt und das Wasser stieg bei manchen Orten höher als es je zuvor festgestellt worden war. Auch an der deutschen Nordseeküste waren die Wirkungen derartig, daß diese Sturmflut zu den schwersten gehört, die je an der deutschen Nordseeküste vorgekommen sind.²⁾

Ein am 12. Januar 7 h N nördlich der Britischen Inseln auftauchendes Minimum zog schnell südostwärts, der Kern lag am 13. Januar 8 h V über Südnorwegen, 2 h N über dem Skagerrack und 7 h N über Süd-Dänemark (vergl. die Wetterkarten bei Großmann und Gallé). An der flandrischen Küste drehte der Wind infolgedessen im Laufe beider Tage von Südwest über West nach NNW, am Abend

¹⁾ P. H. Gallé, De Storm van 13.—14. Januari 1916. Tijdschrift van het Kon. Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap. Tweede Serie, Deel XXXIII 1916. S. 351—363.

A. A. Beekmann, De Stormvloed van 13.—14. Januari 1916. Ebenda S. 364—394.

A. v. Horn, Die Sturmflut vom 13. und 14. Januar in den Niederlanden. Zentralblatt der Bauverwaltung 36. Jahrgang. 1916. S. 130—131.

²⁾ Großmann, Die Sturmfluten an der deutschen Noriseeküste am 13. Januar und 16./17. Februar 1916. Annalen der Hydrographie usw. 1916. S. 361—380.

des zweiten Tages drehte er nach Südwest zurück. Es folgte nun eine neue Depression, die aber nördlicher und zwar durch Mittelnorwegen und Mittelschweden zog. Diese verursachte in den dänischen Gewässern eine bemerkenswerte Sturmflut, die Gegenstand sorgfältiger Beobachtung und Bearbeitung geworden ist.¹⁾

In Ostende wurden folgende Windbeobachtungen gemacht:

Windbeobachtungen in Ostende am 13./14. Januar 1916.

	0 ^h	3 ^h	6 ^h	9 ^h	V 12 ^h N	3 ^h	6 ^h	9 ^h
13. I. 16.	SW 3	SW 5	WNW 6	WNW 7	WNW 7	WNW 8	NW 9	NW 9
14. I. 16.	NW 8	NW 8	NW 7	NNW 6	NNW 5	NNW 4	NW 3	SW 3

Infolge des Vorübergangs mehrerer Zyclonen zeigte die Kurve des mittleren Wasserstandes seit Anfang Januar 1916 einen sehr unruhigen Verlauf. Mehrfach sank dabei nach dem Abwandern einer Zyclone und dem Wiedereintritt von Winden geringerer Stärke der mittlere Wasserstand unter den mittleren Wert, so auch am 12. Januar. Durch den Einfluß des am frühen Morgen des 13. Januar unter starkem Auffrischen von SW nach WNW drehenden Windes trat jedoch eine schnelle Erhöhung ein, am Nachmittage (um 6 h) wurde mit 3.70 m in Ostende und 3.79 m in Zeebrügge der höchste im Laufe der ganzen Beobachtungszeit überhaupt eingetretene mittlere Wasserstand erreicht. Vergleichen wir diesen mit dem am 29./30. Oktober 1917 vorgekommenen Minimalwert (vergl. S. 15), so ergibt sich, daß die Schwankung des mittleren Wasserstandes im Laufe der dreibetrachteten Jahre in Ostende und Zeebrügge 2,2 m betrug.*). Der höchste mittlere Wasserstand war in Ostende 1.52 m, in Zeebrügge 1.58 m über den dreijährigen Mitteln für Januar, bei der stärksten Abtrift betrug die Senkung des mittleren Wasserspiegels nur etwa 60 cm, so daß die stärkste Abtrift nur etwa 40% des größten Aufstaus betrug. Nach dem Erreichen des größten Wertes sank das Niveau des mittleren Wasserstandes sehr schnell, am Abend des folgenden Tages war bereits wieder ein niedriger Minimalwert erreicht mit 1.91 m in Ostende und 1.84 m in Zeebrügge. Im Laufe der etwa 48 Stunden vom Abend des 12. bis zum Abend des 14. Januar schwankte der mittlere Wasserspiegel um 1.79 m in Ostende und 1.95 m in Zeebrügge! Die nächste am 15./16. Januar vorbereilende Zyclone, die im Kattegat besonders hohen Aufstau bewirkte (s. La Cour a. a. O.), verursachte eine abermalige beträchtliche Schwankung des Wasserspiegels, der höchste Wert des mittleren Wasserstandes, der erreicht wurde, war 2.65 m in Ostende und 2.66 m in Zeebrügge.

Während des Steigens und Fallens des mittleren Wasserstandes spielte sich auch der Gezeitenvorgang ab. In der folgenden Tabelle sind die diesen am meisten charakterisierenden Werte zusammengestellt, vergl. auch Tafel 2, Nr. 8. Infolge der Übereinanderlagerung beider Wasserbewegungen (Aufstau und Gezeit) wichen die resultierenden Schwankungen des Wasserstandes in charakteristischer Weise von den normalen ab. Zur Zeit der größten Windwirkung stieg das Wasser bis auf 5.58 m (5.75) über Pegelnnull, das sind die höchsten in den 3 Jahren erreichten Hochwasserwerte. Die Dauer des Steigens nahm mit wachsendem Tempo des Aufstaus zu und stieg von 5 h 30 m am 12. auf 7 h 15 m in der dem höchsten Hochwasser unmittelbar voraufgehenden Tide, die Falldauer dagegen nahm in der gleichen Zeit ab. Der größte Aufstau scheint ungefähr gleichzeitig mit dem höchsten Hochwasser stattgefunden zu haben, denn schon die folgende Falldauer ist wesentlich größer als die vorhergehende, besonders aber zeigt sich der Einfluß des zurückfließenden Wassers bei der nun folgen-

¹⁾ D. la Cour, Abnorme Vandstandsforhold i de Danske Forvande. Publicationer fra det Danske Met. Inst., Meddelelser Nr. 4. Kopenhagen 1917. vergl. auch H. Thorade. Die Sturmflut vom 15. und 16. Januar 1916 in den dänischen Gewässern. Annalen der Hydrographie usw. 1918. S. 234—238.

*) In Heft 1, S. 14 ist gesagt, daß der höchste mittlere Wasserstand am 2. Dezember 1917 aufgetreten sei; dies ist durch obige Angabe zu berichtigen, ebenso auch die dort gegebene Maximalschwankung des mittleren Wasserstandes durch obige Zahl. Die ebenda S. 17/18 durchgeführte Untersuchung über die Beziehung zwischen Wind und mittlerem Wasserstand konnte für die Sturmflut vom 13./14. Januar 1916 nicht ausgeführt werden, weil die Windregistrierungen erst später begannen.

Tabelle 12.

Grundwerte der Gezeiten in Ostende und Zeebrügge am 13./14. Januar 1916.

a. Ostende.

Tag 1916	Mond- alter	Hochwasser			Niedrigwasser			Steigdauer		Falldauer		Tiden- stieg m	
		Zeit M.E.Z.	Höhe m	Anomalie cm	Zeit M.E.Z.	Höhe m	Anomalie cm	h m	Anomalie min	h m	Anomalie min	stieg m	fall m
12. Januar	7	6 ³⁰ N.	3.53	- 31	1 ⁰⁰ N.	- 0.12	- 56	5 ³⁰	- 20	6 ²⁵	- 16	3.65	3.10
13. Januar	8	7 ³⁵ V.	4.43	+ 75	0 ⁵⁵ V.	0.43	- 17	6 ⁴⁰	+ 45	5 ²⁰	- 81	4.00	2.12
14. Januar	9	8 ¹⁰ N.	5.58	+ 190	0 ⁵⁵ N.	2.31	+ 171	7 ¹⁵	+ 80	6 ⁰⁰	+ 10	3.27	2.62
15. Januar	10	7 ⁴⁵ V.	3.68	+ 7	3 ⁰⁰ V.	2.96	+ 230	4 ⁴⁵	- 72	7 ⁵⁵	+ 75	0.72	3.27
		9 ⁰⁰ N.	3.04	- 57	3 ⁴⁰ N.	0.41	- 25	5 ²⁰	- 37	6 ²⁵	- 16	2.63	2.43
		9 ³⁵ V.	3.65	- 9	3 ²⁵ V.	0.61	- 4	6 ¹⁰	+ 14	6 ²⁵	- 16	3.04	2.37
		10 ⁰⁰ N.	4.46	+ 72	4 ⁰⁰ N.	1.28	+ 63	6 ⁰⁰	+ 4			3.18	

b. Zeebrügge.

12. Januar	7	6 ⁴⁵ N	3.51	- 30	1 ¹⁰ N.	- 0.03	- 63	5 ³⁵	- 19	6 ²⁵	- 9	3.54	2.89
13. Januar	8	7 ²⁰ V	4.41	+ 81	1 ¹⁰ V.	0.62	- 5	6 ¹⁰	+ 9	5 ⁵⁵	- 39	3.79	1.71
14. Januar	9	7 ⁵⁰ N	5.75	+ 215	1 ¹⁵ N.	2.70	+ 203	7 ³⁵	+ 94	7 ⁴⁰	+ 61	3.05	2.70
15. Januar	10	8 ¹⁵ V	3.47	- 10	3 ³⁰ V.	3.05	+ 226	4 ⁴⁵	- 73	7 ⁰⁰	+ 21	0.42	3.02
		9 ⁰⁵ N	3.05	- 52	3 ¹⁵ N.	0.45	- 34	5 ⁵⁰	- 8	6 ¹⁰	- 26	2.60	2.39
		9 ⁵⁰ V	3.62	- 9	3 ¹⁵ V.	0.64	- 9	6 ³⁵	+ 35	6 ²⁰	- 16	2.98	
		10 ⁰⁰ N	4.30	+ 59	4 ¹⁰ N.	1.51	+ 78	5 ⁵⁰	- 10			2.79	2.11

den Steigdauer, die ganz ungewöhnlich kurz ist (nur 4 h 45 m). Auch die folgenden Steig- und Falldauern zeigen sich stark beeinflußt, und zwar in entgegengesetzter Weise wie während der Zunahme der Höhe des mittleren Wasserstandes, die in der Tabelle gegebenen Anomalien der Steig- und Falldauern zeigen dies im einzelnen.

Nicht minder charakteristisch ist die Beeinflussung des Tidenstiegs und -falls. Während der Zunahme des Aufstaus war der Tidenstieg wesentlich größer als der Tidenfall, nach dem Erreichen des größten Aufstaus aber war zunächst das Umgekehrte vorhanden. Nach Erreichen des höchsten Hochwasserstandes senkte sich der Wasserspiegel sehr schnell, so daß die Gezeit vorübergehend stark zurückgedrängt wurde. Der Tidenstieg während des abnorm kurzen Steigens von 3.00 V bis 7.45 V betrug nur 0.72 m (0.42), das sind die niedrigsten überhaupt zur Beobachtung gelangten Werte.

Die Tafel 2, Nr. 8 dargestellte Gestalt der Tidenkurve war dementsprechend abnorm. Besonders auffallend ist der Abfall vom höchsten Hochwasser zum nächsten Niedrigwasser. In Zeebrügge kam es dabei zur fast vollständigen Ausbildung eines doppelten Niedrigwassers, auch in Ostende war dies angedeutet, dort auch beim dem höchsten Hochwasser vorhergehenden Niedrigwasser. In Vlissingen war die Änderung des Wasserstandes ganz ähnlich der an der flandrischen Küste. Auch in Hoek van Holland und Helder war die Gezeitenkurve gänzlich gestört, aber in ganz anderer Weise als bei den drei südl. gelegenen Orten. In Hoek van Holland war das auf den größten Aufstau folgende Hoch- und Niedrigwasser fast ganz unterdrückt und nur an einer Verlangsamung des Abflußvorganges erkennbar. Am 15. Januar aber war schon eine fast normale Gezeitenkurve wieder entwickelt, bei der auch das doppelte Niedrigwasser erkennbar war.

Zwei weitere Sturmfluten seien noch kurz betrachtet. Im Laufe des Nachmittags vom 24. November 1917 entwickelte sich über der Nordsee ein Teiltief, das am Abend über dem östlichen Skagerrak

lagerte. Am Morgen des folgenden Tages lag das Teiltief über Nordjütland und wanderte im Laufe des Tages bis zum Abend nach der mittleren Ostsee bei Gotland, am 26. November vormittags, war es nach Osten abgewandert. An der flandrischen Küste, in Blankenberghe, wurden folgende Windbeobachtungen gewonnen.

Stündliche Windbeobachtungen in Blankenberghe am 25. bis 26. November 1917.

Geschwindigkeit in m/sec.

	12—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	11—12	
25.XI.	Vm.	SW 12.2	SW 13.0	SW 13.5	SW 16.0	WSW 17.1	W 27.2	NW 27.2	NW 26.2	WNW 26.4	WNW 30.4	WNW 34.2	WNW 35.9
	Nm.	NW 33.6	NW 13.1	NW 30.0	NW 26.4	NW 24.0	NW 23.1	NW 23.3	NW 21.1	NW 22.2	NW 23.6	NW 28.6	NW 29.4
26.XI.	Vm.	NW 28.6	NW 28.1	NW 26.7	NW 27.5	NW 25.1	NW 25.0	NW 22.5	NW 23.9	NW 24.6	NW 23.8	NW 23.3	NW 21.2
	Nm.	NW 19.1	NW 16.4	NW 13.7	NW 13.0	NW 11.1	WNW 10.1	WSW 8.7	SSW 9.2	SW 9.4	SSW 11.0	SSW 11.9	S 13.7

Die Tabelle 13 gibt die Grundwerte der Gezeitenerscheinung in Ostende und Zeebrügge an diesen Tagen.

Tabelle 13.

Grundwerte der Gezeiten in Ostende und Zeebrügge am 24. bis 28. November 1917.

b. Zeebrügge.

24. November.	10	8 ⁴⁰ V.	3.84	+ 13	3 ⁰⁰ V.	1.04	+ 31	5 ⁴⁰	- 20	7 ²⁰	+ 44	2.80	3.28
		9 ⁵⁰ N.	4.20	+ 49	4 ⁰⁰ N.	0.56	- 17	5 ⁵⁰	- 10	6 ¹⁰	- 20	3.64	2.72
25. November.	11	11 ⁰⁰ V.	4.94	+ 103	4 ⁰⁰ V.	1.48	+ 84	7 ⁰⁰	+ 62	5 ⁶⁰	- 40	3.46	3.28
		11 ⁵⁵ N.	5.60	+ 169	4 ⁵⁰ N.	1.66	+ 102	7 ⁰⁵	+ 67	5 ⁸⁵	- 55	3.94	3.60
26. November.	12	11 ⁰⁰ V.	4.70	+ 66	5 ³⁰ V.	2.00	+ 153	5 ⁸⁰	- 23	6 ⁵⁵	+ 25	2.70	4.80
		11 ³⁰ N.	3.60	- 44	5 ⁵⁵ N.	- 0.10	- 57	5 ⁸⁵	- 18	6 ¹⁵	- 12	3.70	3.55
27. November.	13	11 ⁴⁵ V.	4.80	+ 59	5 ⁴⁵ V.	0.05	- 27	6 ⁰⁰	+ 6	6 ³⁰	+ 3	4.75	3.92
28. November.	0	0 ⁸⁰ V.	4.90	+ 56	6 ¹⁵ N.	0.88	+ 56	6 ¹⁵	+ 21			4.02	

Parallel mit dem Auffrischen des Windes an der flandrischen Küste setzt der Aufstau ein. Das Niedrigwasser um 3.50 h V am 25. Nov. ist bereits erhöht, weiterhin sind Hoch- und Niedrigwasser ungefähr gleich stark beeinflußt. Das Abflauen des Windes am 26. Nov. bewirkt sogleich eine Verminderung des Aufstaus, so daß schon am Nachmittag des 26. das Niedrigwasser keinen Aufstau mehr erkennen läßt.

Die Wetterlage vom 1.—4. Dezember 1917 sowie die gleichzeitigen Schwankungen des Wasserstandes und der Windstärke wurden bereits früher charakterisiert (vergl. Heft 1, S. 17 f.). Die Grundwerte des Gezeitenvorganges und die Anomalien gibt die folgende Zusammenstellung.

Tabelle 14.

Grundwerte der Gezeiten in Ostende und Zeebrügge am 1.—4. Dezember 1917.

a. Ostende.

Tag 1917	Mondalter	Hochwasser			Niedrigwasser			Steigdauer		Falldauer		Tiden-	
		Zeit M.-E. Z.	Höhe m	Anomalie cm	Zeit M.-E. Z.	Höhe m	Anomalie cm	h m	Anomalie m	h m	Anomalie m	stieg m	fall m
1. Dezember	2	2 ²⁰ V.	4.24	-29	9 ²⁰ V.	-0.34	-30			7 ⁰⁰	+ 18		4.58
		3 ⁰⁰ N.	4.20	-33	9 ²⁰ N.	0.66	+ 70	5 ⁴⁰	+ 4	6 ²⁰	-22	4.54	3.54
2. Dezember	3	2 ⁴⁵ V.	5.12	+ 61	9 ¹⁰ V.	1.30	+133	5 ²⁵	-12	6 ²⁵	-19	4.46	3.82
		3 ³⁵ N.	5.40	+ 89	8 ⁵⁵ N.	2.20	+233	6 ²⁵	+ 48	5 ²⁰	-82	4.10	3.20
3. Dezember	4	3 ⁴⁰ V.	5.04	+ 61	10 ²⁵ V.	1.54	+149	6 ⁴⁵	+ 65	6 ⁴⁵	+ 4	2.84	3.50
		4 ⁰⁰ N.	4.82	+ 39	10 ³⁰ N.	1.16	+111	5 ³⁵	- 5	6 ³⁰	-11	3.28	3.66
4. Dezember	5	4 ³⁰ V.	4.40	+ 13	11 ²⁰ V.	0.18	+ 3	6 ⁰⁰	+ 18	6 ⁵⁰	-11	3.24	4.22
		4 ⁵⁰ N.	4.12	-15	11 ⁰⁰ N.	0.20	+ 5	5 ³⁰	-12	6 ¹⁰	-29	3.94	3.92

b. Zeebrügge.

1. Dezember	2	2 ⁴⁰ V.	4.26	-24	9 ¹⁵ V.	-0.12	-28			6 ³⁵	+ 8		4.38
		2 ⁵⁰ N.	4.24	-26	9 ²⁰ N.	1.10	+ 94	5 ³⁵	-18	6 ³⁰	+ 3	4.36	3.14
2. Dezember	3	3 ²⁰ V.	5.25	+ 77	9 ³⁰ V.	1.80	+163	6 ⁰⁰	+ 8	6 ¹⁰	-16	4.15	3.45
		3 ⁵⁰ N.	5.50	+102	9 ⁰⁰ N.	2.40	+223	6 ²⁰	+ 28	5 ¹⁰	-76	3.70	3.10
3. Dezember	4	4 ³⁰ V.	5.10	+ 71	10 ³⁵ V.	1.60	+137	7 ³⁰	+ 97	6 ⁰⁵	-22	2.70	3.50
		4 ³⁰ N.	4.90	+ 51	10 ³⁰ N.	1.30	+107	5 ⁵⁵	+ 2	6 ⁰⁰	-27	3.30	3.80
4. Dezember	5	4 ⁴⁰ V.	4.40	+ 17	11 ²⁰ V.	0.20	-13	6 ¹⁰	+ 17	6 ⁴⁰	+ 14	3.10	4.20
		5 ¹⁰ N.	4.00	-23	11 ²⁵ N.	0.30	+ 3	5 ⁵⁰	- 3	6 ¹⁵	-11	4.20	3.64

Das charakteristische an dieser Sturmlege ist, daß der aufstauende Wind und damit auch der Aufstau des Wassers länger anhielt als am 13./14. Januar 1916. Die wie stets in dieser Arbeit für Doppel-tidenzeiträume berechneten mittleren Wasserstände erreichten an diesen Tagen die höchsten Werte in dem betrachteten dreijährigen Zeitraum mit Ausnahme der Sturmflut vom 13./14. Januar 1916.

Besonders bemerkenswert ist, daß der Tidenhub geringer war als normalerweise, die Erhöhung des Niedrigwassers war wesentlich beträchtlicher als zur Zeit des Hochwassers, anders also als bei dem vorher betrachteten Beispiel vom 24.—28. November 1917, wo Niedrig- und Hochwasser um den gleichen Betrag erhöht wurden.

II. Die Gezeitenströmungen vor der flandrischen Küste.

1. Beobachtungen im Ostender Hafen, querab Ostende und querab Zeebrügge (Feuerschiff Wielingen)

Die Versuche zur Förderung der Kenntnis der Temperatur- und Salzgehaltsverhältnisse vor der flandrischen Küste und ihrer Schwankungen infolge der Gezeitenströmungen beizutragen, litten ebenso wie die Strommessungen darunter, daß nur selten die Benutzung eines Fahrzeuges und dann nur für kurze Zeit möglich war. Es konnten folgende Beobachtungsmöglichkeiten für Temperatur und Salzgehalt des Wassers ausgenutzt werden:

1) vom 10. Juni 1916 bis zum 10. Januar 1917 täglich, dann bis Mitte September 1917 wöchentlich einmal am Kopfe der Westmole von Ostende und 400 m einwärts am Fuße dieser Mole;

2) wurden diese Werte vom Wasser an der Oberfläche und am Grunde verschiedener Teile des Ostender Hafens (Vorhafenkanal, Kai-Mitte, Seeschleuse-Pegelstation, Nordwestecke des Seebahnhofs), gewonnen vom 11. Mai bis 14. September 1917;

3) vom 19. März bis Mitte August 1917 2 Seemeilen querab Ostende auf gelegentlichen Torpedo-bootfahrten in 2- bis 3tägigen Abständen;

4) gelegentlich kurzer Strombeobachtungsreihen querab Ostende und Zeebrügge;

5) wurde die Wassertemperatur am Kopfe der Westmole von Blankenberghe vom 14. März bis zum 1. Oktober 1918 täglich 8 Uhr vormittags bestimmt.

Der Salzgehalt des Ostender Hafens ist in hohem Maße von zwei Faktoren abhängig, nämlich von dem Süßwasserzufluß, der durch die Schleuse zum Kanal Ostende-Brügge ganz unregelmäßig in den Hafen gelangt und außerdem von dem Grade der Vermischung der salzärmeren oberen mit den salzigeren tieferen Wasserschichten, also von dem Winde. Diese beiden Faktoren sind, wie eine Gruppierung des Materials nach Tidenstunden ergeben hat, von starkerem Einfluß als der Stand der Tide. Die von Mai bis September 1917 festgestellten Salzgehaltswerte weisen erhebliche Schwankungen auf, wie die folgenden Zahlen erkennen lassen.

Tabelle 15.

Schwankungen des Salzgehalts in einzelnen Teilen des Ostender Hafens.

Von Mai bis September 1917.

	Oberfläche	Grund
Vorhafenkanal	von 2.0 bis 29.0 %	von 21.8 bis 30.8 %
Kai, Mitte	" 2.4 " 28.5 "	" 18.3 " 31.9 "
Seeschleuse, Pegelstation	" 2.5 " 31.8 "	" 13.7 " 31.4 "
Seebahnhof, NW-Ecke	" 5.6 " 30.8 "	" 21.4 " 32.1 "

An der Oberfläche schwankt also der Salzgehalt nach diesen Beobachtungen von 2 bis 32‰, am Boden in erheblich geringerem Maße. — Die Temperaturen erreichten am 27. Juli ihre höchsten Werte mit 22.5° im Vorhafenkanal, seewärts trat im Juni bis August regelmäßig eine Abnahme auf, am genannten Tage betrug diese bis zum Kopf der Westmole 3.5°. Nimmt man die genannten Salzgehalte und schätzungsweise die Temperaturen 23° und 0° als Extremwerte an, so ergeben sich für die Dichte des Oberflächenwassers die Grenzwerte 0.991 und 1.026.

Auch in der Einfahrt in den Hafen, nämlich am Kopfe der Westmole und 400 m landeinwärts am Fuße derselben sind die Schwankungen des Salzgehalts noch erheblich. Die aus den täglichen Beobachtungen ermittelten zehntägigen Mittel und die Extreme sind in Tabelle 16 zusammengestellt.

Tabelle 16.

Mittel- und Extremwerte von Temperatur und Salzgehalt des Oberflächenwassers am Kopf und Fuß der Westmole von Ostende.

	Kopf der Westmole				Fuss der Westmole			
	zehntägige Mittel t °C	S ‰	Extremwerte t °C	S ‰	zehntägige Mittel t °C	S ‰	Extremwerte t °C	S ‰
10.—20. September 1916	15.5	28.9	17.2 14.3	30.2 27.2	15.5	19.1	17.4 13.8	28.0 10.9
21.—30. "	15.1	26.2	16.0 14.0	29.7 19.6	15.3	16.7	16.5 14.0	24.0 10.5
1.—10. Oktober 1916	14.8	31.0	15.4 14.0	33.5 28.7	14.8	21.3	15.3 13.8	26.6 18.7
11.—20. "	13.6	32.1	15.1 11.0	33.9 29.7	13.2	23.8	15.2 9.3	29.8 9.3
21.—31. "	10.1	30.0	10.5 9.0	33.2 26.4	10.6	20.4	10.1 8.3	26.2 10.7
1.—10. November 1916	10.5	31.2	11.5 9.7	33.7 24.8	10.0	18.4	10.9 9.2	26.4 13.3
11.—20. "	8.5	31.7	11.0 4.6	32.6 27.7	7.7	18.1	10.8 3.4	20.2 16.4
21.—30. "	6.8	28.9	7.8 5.8	32.4 23.7	5.9	16.5	7.0 3.8	21.3 13.8
1.—10. Dezember 1916	4.7	24.6	6.1 3.8	31.8 15.3	3.9	14.4	4.7 2.9	16.8 11.4
11.—20. "	4.3	27.2	5.0 3.2	31.8 15.6	3.5	10.2	4.9 2.0	15.0 6.5
21.—31. "	5.9	32.6	7.5 4.3	32.3 30.4	5.3	10.9	7.5 3.2	17.7 4.0
1.—10. Januar 1917	6.4	25.2	8.3 4.8	30.5 10.3	6.1	10.1	8.5 4.0	17.9 4.0
					6.0 (3. 8. 17)			32.1 (14. 9. 17)

Der Einfluß des Windes auf die Höhe des Salzgehalts war hier einwandfrei nachweisbar. Starke, besonders aufländige Winde bewirkten in der Einfahrt bereits eine starke Vermischung, hohe Salzgehalte waren die Folge. Bei ruhigem Wetter dagegen vermochte sich das salzärmere Wasser aus dem Hafen wenig vermischt oberflächlich bis zum Kopf der Mole und auch weiter hinaus auszubreiten. Dies war vom Strande aus kenntlich an einer Schaufumlinie, die sich an der Grenze zwischen salzreichem und aus dem Hafen kommendem salzärmerem Wasser bildete. Dieser Schaumstreifen entstand zunächst an der Mole, verlagerte sich aber allmählich immer weiter seewärts. — Die Änderung des Salzgehaltes mit wachsender Entfernung von der Küste wurde gelegentlich einiger Motorbootfahrten von der Mole aus seewärts auf einer Linie senkrecht zur Küste verfolgt. In Tabelle 17 sind zwei Reihen als Beispiele dieser Beobachtungen gegeben.

Tabelle 17.

Temperatur und Salzgehalt auf einer Linie von der Einfahrt in den Ostender Hafen aus seewärts senkrecht zur Küste.

Entfernung vom Molenkopf	23. Oktober 1916		28. Dezember 1916	
	t °C	S ‰	t °C	S ‰
0 m	10.3	26.98	4.3	31.60
500 "	10.1	27.75	5.6	32.43
1300 "	11.0	32.36	5.6	32.38
1700 "	11.0	22.48	5.6	32.48
2300 "	11.0	32.47	—	—
2900 "	11.0	32.54	5.6	32.32
3500 "	11.0	32.52	—	—
4200 "	11.2	32.61	5.6	32.95
Wind, See	SO 2, geringe Dünung		SW 5, Seegang 4	

Die Versuche, hydrographische Serien querab von Ostende zu bekommen, litten sehr darunter, daß aus militärischen Gründen nachts überhaupt nicht beobachtet werden konnte und außerdem das jeweils zur Verfügung gestellte Schiff häufig kurz nach Beginn der Beobachtungen dringend für andere Aufgaben gebraucht wurde.

Zu folgenden Zeiten konnten Beobachtungen gewonnen werden.

1916: ¹⁾ 29. VII. 9^h V.—6^{1/2} N. (A), ²⁾ 31. VII. 6^{1/2} V.—2^{1/2} N. (B), ³⁾ 10. VIII. 11^h V.—4^h N. (B), ⁴⁾ 18. VIII. 8^h V.—4^{1/2} N. (A).
1917: ⁵⁾ 29. VI. 8^{1/2} V.—2^{1/2} N. (A), ⁶⁾ 3. VII. 8^{3/4} V.—3^{1/2} N. (A).

Beide Fahrten wurden etwa 4 Stunden nach Ostender Hochwasser ausgeführt. Die geringe südöstliche Luftbewegung gestattete im ersten Falle die Ausbreitung des ausgesüßten Hafenwassers bis über die Molenköpfe hinaus, bei den frischen SW-Winden am 28. 12. 16 dagegen trat am Molenkopf selbst schon weitgehende Vermischung ein. —

Die von Mitte März bis Mitte August 1917 2 Seemeilen querab Ostende gesammelten Wasserproben ergaben als Extremwerte des Salzgehalts 28.9 und 33.7%.

Der Beobachtungsort war der östliche Teil der vor Ostende gelegenen „Stroombank“; in den mit A bezeichneten Fällen wurde südlich der Bank ($\varphi = 51^{\circ} 15.3' N.$, $\lambda = 2^{\circ} 56.3' O.$), $\frac{1}{4}$ Seemeilen querab der Küste, Tiefe 5.5 m beobachtet, in den mit B bezeichneten nördlich der Bank ($\varphi = 51^{\circ} 15.6' N.$, $\lambda = 2^{\circ} 56.2' O.$), 1 Seemeile querab der Küste, Tiefe 5 m. Beobachtet wurden an der Oberfläche und 1 m über dem Grunde fortlaufend Stromrichtung und -stärke mit dem Ekman-Merz-Strommesser, außerdem bei mehreren Reihen halbstündlich Temperatur und Salzgehalt.

Die aus den Beobachtungen abzuleitenden Ergebnisse sind in Tabelle 18 zusammengestellt.

Tabelle 18.

Zeit	Mondalter	Flutstrom						Der Strom kentert vom Flut- z. Ebbstrom, n.H.W. v. Ostende	Ebbstrom						Der Strom kentert vom Ebb- z. Flutstrom, v.H.W. v. Ostende	Wetter. See.			
		Maximale Geschwindigkeit in Sm.		Höchster Salzgehalt		Temperatur-extreme			Maximale Geschwindigkeit in Sm.		Niedrigster Salzgehalt		Temperatur-extreme						
		Oberfl. Grund	Oberfl. Grund	Min. Max.	Oberfl. Grund	Oberfl. Grund	Min. Max.		Oberfl. Grund	Oberfl. Grund	Oberfl. Grund	Oberfl. Grund	Min. Max.	Oberfl. Grund					
1916																			
29.VII. 9 ^h V.-6 ^{1/2} h N.	13	1.6	1.1	30.32	30.55	17.7	18.2	3 ^{3/4} h	3 ^{3/4} h	1.6	1.5	29.90	29.92	17.7	17.7	1 ^{3/4} h	2 h		
31.VII. 6 ^{1/2} h V.-2 ^{1/2} h N.	1	—	—	—	—	—	—	3 ^{1/2} h	3 ^{1/2} h	1.8	1.5	29.90	29.90	17.9	19.0	1 ^{3/4} h	1 ^{1/2} h		
10.VIII. 11 ^h V.-4 ^h N.	11	—	—	—	—	—	—	3 ^{3/4} h	3 ^{3/4} h	—	—	—	—	—	—	—	leichte östliche bis nördliche Winde, See 2		
18.VIII. 8 ^h V.-4 ^{1/2} h N.	5	—	—	—	—	—	—	3 ^{3/4}	3 ^{1/2}	2.6	2.0	—	—	—	—	1 ^{1/2}	1 ^{1/2} schwache, böige nordwestliche Winde, See 3		
1917																			
29.VI. 8 ^{1/2} h V.-2 ^{1/2} h N.	9	—	—	33.75	34.09	16.1	17.1	3 ^{1/2}	3 ^{1/2}	—	—	—	—	—	—	—	schwache umlaufende Winde, See 2		
3.VII. 8 ^{3/4} h V.-3 ^{1/2} h N.	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 ^{3/4} h	1 ^{3/4} h schwache nordöstl. Winde		

Im April 1916 wurden zweimal je 24 Stunden hindurch hydrographische Beobachtungen $\frac{1}{2}$ Seemeilen querab der Zeebrügger Schleuse auf dem Feuerschiff „Wielingen“ gewonnen, nachdem am 17. Januar 1916 bereits eine kürzere Beobachtungsreihe zur Ausprobierung der Methoden ausgeführt worden war. Es wurden festgestellt: Temperatur, Salzgehalt, Stromgeschwindigkeit an der Oberfläche und am Grunde, außerdem die Stromrichtung nur an der Oberfläche. Die Tiefe schwankte zwischen 10.3 und 16 m je nach Lage des Feuerschiffes und dem Stande der Tide.

Die Wasserproben wurden mit der Meyer'schen Schöpfflasche, bezw. mit einer Pütze geschöpft, die Temperaturbestimmung erfolgte sofort nach Hochbringen der Probe, der Salzgehalt wurde später im Observatorium durch Titration festgestellt, Stromrichtung und -geschwindigkeit wurden mit dem Ekman-Merz-Strommesser gemessen. Zur Kontrolle der Bestimmung der Stromrichtung wurde bei jeder Beobachtung ein Treibkörper ausgeworfen und in Zweifelsfällen nach dessen Bewegung die Richtung des Oberflächenstromes geschätzt. Der Abstand der einzelnen Beobachtungsreihen betrug meist 1 Stunde, in Nähe der Kenternszeiten $\frac{1}{2}$ Stunde. Die Ergebnisse der Beobachtungen sind auf Tafel 2, Nr. 9 und 10 dargestellt.

Die Kurven der Stromgeschwindigkeit zeigen den regelmäßigen Wechsel von Flut- und Ebbstrom. Am 2. und 3. April bei Mondalter 0 und 1, also kurz vor Springzeit schwankten die maximalen Geschwindigkeiten an der Oberfläche zwischen 2.5 und 2.9, dicht über dem Grunde zwischen 2.1 und 2.9 Seemeilen. Bei der zweiten Beobachtungsreihe, die beim Mondalter 8 und 9, also zur Nippzeit gewonnen wurde, waren die Werte für die Oberfläche 2.1 bis 2.3, nur eine Beobachtung ergab einen Wert von 3.1 Seemeilen, am Grunde waren die höchsten Werte 1.4 bis 2.0 Seemeilen. Es war also die Wasserbewegung in Nähe der Springtide unverkennbar stärker als zur Nippzeit. — Aus dem vorliegenden Material ergibt sich, daß das Kentern vom Ebb- zum Flutstrom $2\frac{1}{2}$ bis $3\frac{1}{2}$ Stunden vor dem Eintritt des Hochwassers in Zeebrügge, das Kentern vom Flut- zum Ebbstrom $2\frac{1}{2}$ bis $3\frac{3}{4}$ Stunden nach Hochwasser in

Zeebrügge stattfand. Der Flutstrom war nach ONO, der Ebbstrom nach WSW gerichtet. Das Drehen des Stromes beim Kentern erfolgte, wie einwandfrei festgestellt werden konnte, links herum.

Die regelmäßige Änderung der Stromrichtung bedingt charakteristische Schwankungen des Salzgehaltes. Der Flutstrom führt salzhaltigeres Wasser vom Gebiet des Kanals, der Ebbstrom salzärmeres Wasser aus dem Mündungsbereich der Schelde heran. Infolgedessen tritt beim Kentern vom Flutstrom zum Ebbstrom, also in dem Augenblick der stärksten Einwirkung des Flutstromes, der höchste, umgekehrt beim Kentern vom Ebb- zum Flutstrom der niedrigste Salzgehalt auf. Die Extremwerte in den einzelnen Tiden sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Tabelle 19.

Extremwerte des Salzgehaltes (%) zur Kenterungszeit bei Feuerschiff „Wielingen“

2.-3. April 1916

26.-27. April 1916

	Oberfläche Einzelwerte	Mittel	Grund Einzelwerte	Mittel	Oberfläche Einzelwerte	Mittel	Grund Einzelwerte	Mittel
Höchste { Salzgehalte	29.8; 31.3	30.6	31.1; 31.6; 31.4	31.4	29.8; 30.2	30.0	31.2; 30.9	31.0
Niedrigste }	28.4; 28.6	28.5	28.8; 28.7	28.8	28.7; 28.4	28.6	29.2; 28.9	29.0

Die Mittelwerte deuten an, daß die höchsten Salzgehaltswerte in Nähe der Springzeit höher, die niedrigsten Salzgehaltswerte niedriger sind als zur Nippzeit. Dies ist auch zu erwarten, da bei größerer Geschwindigkeit des Flut- und Ebbstromes, die zur Springzeit vorhanden ist, dann auch der Einfluß des Kanalwassers bzw. des Scheldewassers stärker in Erscheinung treten muß als zur Nippzeit.

Bei den Wassertemperaturen läßt sich sowohl an der Oberfläche wie am Grunde eine tägliche Periode erkennen, außerdem fällt auf, daß im Laufe von 3½ Wochen die gesamte Wassermasse um etwa 3° wärmer geworden ist.¹⁾

2. Treibkörperbeobachtungen vor der flandrischen Küste zwischen Nieuport und Wenduyne.

a. Methode.

Die Strombeobachtungen von einem verankerten Schiff aus haben den großen Vorteil, daß kontinuierliche Reihen erhalten werden. Über die regionalen Änderungen, insbesondere über die Beeinflussung der Strömungen durch wechselnde Tiefenverhältnisse wie in dem der flandrischen Küste vorgelagerten, an Bänken reichen Meeresgebiet ist bei Benutzung verankerter Schiffe nur Aufschluß zu erhalten, wenn eine größere Zahl von Fahrzeugen verwandt wird, wie es nach dem Kriege gelegentlich in den Priegebieten der deutschen Nordseeküste geschehen ist. An der flandrischen Küste war dieser Weg ausgeschlossen, weil Fahrzeuge westlich der Ostender Einfahrt sich ohne feindliche Gegenwirkung bei gutem Wetter nicht aufhalten konnten, außerdem die erforderlichen Fahrzeuge sowie Personal und Instrumentarien nicht in so reichem Maße zur Verfügung standen.

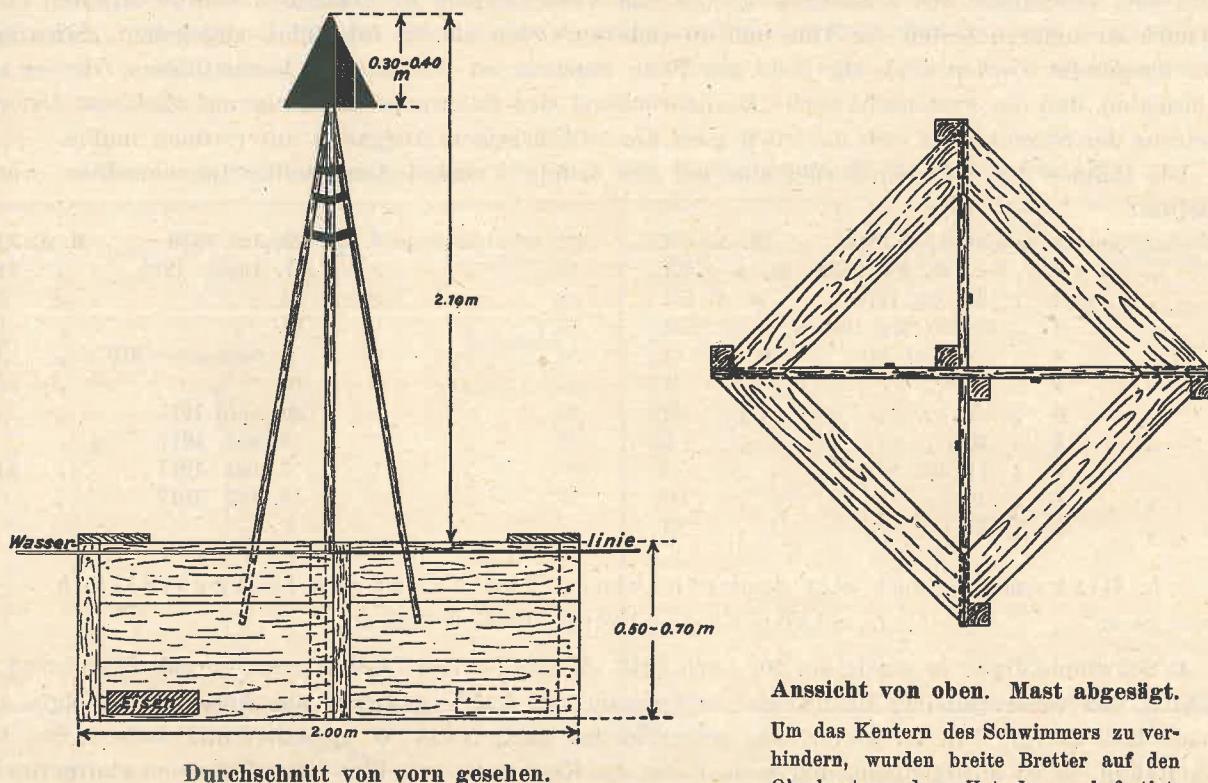
Es wurde deshalb eine andere, außerdem zweckmäßiger Untersuchungsmethode gewählt, für welche die Vorbedingungen an der flandrischen Küste in seltenem Maße gegeben waren. Die Aufstellung moderner Entfernungsmesser (Langbasisinstrumente) und die genaue Ausmessung großer Basisstrecken bis über 2 km Länge für artilleristische Zwecke wies auf die Möglichkeit, die Lage von Treibkörpern in regelmäßigen Zeitabständen zu messen und dadurch Stromrichtung und -stärke zu bestim-

¹⁾ Es sei hier hingewiesen auf die hydrographischen Beobachtungen, die G. Gilson am 7./8. IX. 1906 auf der Reede von Ostende während der Dauer einer Doppeltide ausgeführt hat, und welche ein gutes Beispiel für die Änderung der hydrographischen Verhältnisse infolge der Gezeitenströme sind: Gustave Gilson, Exploration de la mer sur les côtes de la Belgique. Première série. Recherches sur le milieu marin et ses variations au voisinage de la côte belge: Mémoires du musée royal d'histoire naturelle de Belgique t. IV. Bruxelles 1907. vergl. das ausführliche Referat von W. Brennecke, Stündliche Änderungen der hydrographischen und biologischen Verhältnisse auf der Reede von Ostende (7./8. September 1906), Annalen der Hydrographie usw. 1908. S. 116—124.

men. Ein dahingehender Vorschlag fand das Interesse der beteiligten Dienststellen und im Sommer 1916 und 1917 konnten auf die genannte Weise Strommessungen ausgeführt werden.

Die Herstellung geeigneter Schwimmkörper machte zunächst einige Schwierigkeiten. Einige von der Werft in Wilhelmshaven durch die Freundlichkeit der Herren Oberbaurat Krüger und Baurat Hermeking zur Verfügung gestellte Schwimmkörper, die zu Messungen in der Jade¹⁾ benutzt worden waren, erwiesen sich als zu klein, um von Land aus verfolgt werden zu können. Nach längeren Versuchen wurde endlich das in Figur 6 dargestellte Modell als geeignet gefunden. Die Maße und die nähere Erklärung sind in der Figur angegeben. Um den Windeinfluß unbedeutend zu halten, wurden Beob-

Fig. 6
Schwimmkörper
für Strommessungen an der flandrischen Küste 1916/17



Durchschnitt von vorn gesehen.

Die Toppzeichen — Dreieck, Viereck, Rombus, stehendes und liegendes Kreuz, runde Scheibe usw. — bestehen aus einem leichten, schwarz bemalten und mit Segeltuch bezogenen Holzrahmen. Um den Unterbau des Treibkörpers möglichst ganz im Wasser zu halten, sind dessen Unterkanten außen mit Eisenplatten beschwert, dadurch wird außerdem ein ruhigeres Liegen im Wasser erzielt.

Achtungen nur bei ruhigem Wetter ausgeführt, außerdem war der das Toppzeichen tragende Mast so gebaut, daß er dem Winde möglichst wenig Widerstand bot, endlich war der Unterbau durch Eisenstücke beschwert, so daß er fast völlig untertauchte. Die artilleristischen Meßgeräte reichten aus, um die doch verhältnismäßig kleinen Toppzeichen und das dünne Gestänge des Mastes meist bis auf 15 km, in einem Falle bis auf 22 km Entfernung zu verfolgen! Um Kunde von den an Land getriebenen Treibkörpern zu erhalten, war der Wunsch um Benachrichtigung über Zeit und Ort des Strandens auf einem beschrifteten Holzschild angegeben. In den Fällen, wo die Körper in dem von deutscher Seite besetzten

Annsicht von oben. Mast abgesägt.

Um das Kentern des Schwimmers zu verhindern, wurden breite Bretter auf den Oberkanten des Unterbaues befestigt.

¹⁾ W. Krüger, Meer und Küste bei Wangeroog und die Kräfte, die auf ihre Gestaltung einwirken. Zeitschrift für Bauwesen 1911. Berlin 1911.

Teile der flandrischen Küste gelandet sind, ist diese Benachrichtigung auch erfolgt. Insgesamt wurden 31 Schwimmkörper ausgesetzt, in manchen Fällen konnte aber die Messung überhaupt nicht begonnen werden, entweder wegen einbrechender Diesigkeit oder wegen plötzlicher anderer Inanspruchnahme der Batterien. In 21 Fällen gelang die Beobachtung kürzere oder längere Zeit hindurch. Die Messungen geschahen fast ausschließlich von den Batterien Tirpitz (Kapitänleutnant v. Pelken) und Hindenburg (Kapitänleutnant Roßbach) aus. Sie waren nur dadurch möglich, daß beide Batteriekommandeure sowie die übrigen Offiziere der Batterien und außerdem besonders auch das beteiligte Personal in den Beobachtungsständen der gestellten Aufgabe lebhaftes Interesse entgegenbrachten und die mühselige Arbeit der ständigen Verfolgung der Treibkörper mit großer Ausdauer durchführten, und auch des Wiederaufsuchens der Treibkörper, wenn durch andere militärische Aufgaben oder durch die Dunkelheit Unterbrechungen der Beobachtungen notwendig wurden. Die Ortsbestimmung der Schwimmer erfolgte fortlaufend vom Zeitpunkte des Aussetzens an bis zum Verschwinden in Abständen von 10 Minuten. Daß nicht auch zu anderen Zeiten der Tide und an anderen Orten als im folgenden angegeben, Schwimmkörper ausgesetzt worden sind, lag nicht am Plan, sondern an den ganzen Verhältnissen, die es mit sich brachten, daß die wissenschaftliche Beanspruchung der Fahrzeuge in bezug auf Zeit und Ort des Aussetzens der Stromkörper sich natürlich ganz den militärischen Aufgaben unterordnen mußte.

Die Bahnen der Schwimmkörper sind auf den Tafeln 3 und 4 dargestellt. Im einzelnen wurde beobachtet:

1. Schwimmkörper A	am	10. April 1916	(M. A. VII.)	12. Schwimmkörper M	am	28. Juli 1916	(M. A. XIII.)
2. " B	"	27./28. Mai 1916	(M. A. X./XL.)	13. "	N	7. August 1916	(" VIII.)
3. " C	"	29. Mai 1916	(M. A. XII.)	14. "	O	10. "	(" XI.)
4. " D	"	29./30. Mai 1916	(M. A. XII./XIII.)	15. "	P	16. "	(" III.)
5. " E	"	7. Juni 1916	(M. A. VI.)	16. "	Q	1. September 1916	(" IV.)
6. " F	"	17. "	(" II.)	17. "	R	16. "	(" IV.)
7. " G	"	19. "	(" III.)	18. "	S	26. April 1917	(" IV.)
8. " H	"	26. "	(" X.)	19. "	T	9. Mai 1917	(" II.)
9. " I	"	11. Juli 1916	(" X)	20. "	U	3. Juli 1917	(" XIII.)
10. " K	"	18. "	(" III.)	21. "	V	4. Juli 1917	(" O.)
11. " L	"	21. "	(" VI.)				

b. Diskussion der mit den einzelnen Treibkörpern festgestellten Strömungen (vergl. Tafel 3 und 4).

1. Schwimmkörper A wurde am 10. April 1916 (Mondalter 7) $9\frac{1}{2}$ h V $2\frac{2}{3}$ Sm. querab Breedene a. M. ausgesetzt, das vorhergehende Hochwasser in Ostende war 5.45 V gewesen, das Aussetzen erfolgte also 4 h nach HW (vergl. Taf. 3). Der Strom war zunächst nach N 115° W gerichtet und hatte $\frac{1}{2}$ Sm. Geschwindigkeit, es ist anzunehmen, daß soeben erst die Kenterung von Flut- zum Ebbstrom stattgefunden hatte. Die größte Geschwindigkeit des Ebbstromes war 1.6 Sm., die Richtung des Ebbstromes war mit großer Gleichmäßigkeit N 120 bis 125° W. 2 h vor dem nächsten Hochwasser kenterte der Strom, und zwar rechts herum; der Treibkörper befand sich 6 km querab von Middelkerke. Der Transport kanalwärts betrug insgesamt $7\frac{2}{3}$ Sm. Da, wie erwähnt, das Aussetzen kurz nach dem Kentern von Flut zur Ebbe stattgefunden haben dürfte, wird man als Gesamtversetzung eines Wasserteilchens durch diesen Ebbstrom die Strecke von 8 Seemeilen ansehen können. Der sich entwickelnde Flutstrom war sehr weit nördlich nach N 30° O gerichtet, also nicht dem Ebbstrom entgegengesetzt parallel, wie es bei zahlreichen anderen Treibkörpern beobachtet werden konnte. Während des ganzen Ebbstroms war der Schwimmkörper nördlich der Stroombank parallel zur Küste bewegt worden, befand sich während des Kenterns mitten zwischen der Bank von Nieuport und der Stroombank, durch den Flutstrom wurde er quer über das östliche Ende der Bank von Nieuport hinweggetrieben. Um $\frac{1}{8}$ h N kam der Schwimmkörper außer Sicht. Daß eine erwähnenswerte Beeinflussung seiner Bahn durch den Wind stattgefunden hätte, erscheint in anbetracht der geringen Windstärken unwahrscheinlich, es wurde in Ostende beobachtet: am 10. 4. 16 6 h V : NW 1; 11 h V : N 2 4 h N : 2; 7 h N : SO 1; 9 h N : S 1. Der mittlere Wasserstand dieses Tages (1.94 m) wich, wie bei diesen geringen Windstärken zu erwarten, nur unbedeutend vom Mittel (2.09 m) ab.

Methodisch bemerkenswert ist, daß dieser Treibkörper ständig gleichzeitig von den Batterien Tirpitz und Hindenburg beobachtet wurde. Die Ergebnisse beider Beobachtungsreihen sind auf Tafel 3 eingetragen, die Übereinstimmung ist, wie ein Blick auf die Tafel zeigt, ausgezeichnet. Nur während des Kenterns zeigt sich eine nennenswerte Abweichung. Auch in späteren Fällen, wo vorübergehend gleichzeitige Messungen ganz unabhängig von einander ausgeführt worden waren, war die Übereinstimmung stets sehr gut. Die günstigen Ergebnisse dieser Kontrollen sind als ein Beweis für den hohen Grad von Genauigkeit der Beobachtungen und die große Sorgfalt und Zuverlässigkeit des Personals in den Beobachtungsständen anzusehen.

2. Der nächste Schwimmkörper (B) wurde am 27. Mai 1916 (Mondalter 10) 9 h V, 2 h vor H. W. ausgesetzt (vergl. Taf. 4). Der Wind schwankte an diesem und dem folgenden Tage zwischen W und NNO 0 bis 2 Beaufort. Der mittlere Wasserstand war an beiden Tagen sehr gleichmäßig 2.15 m über Armeenull. Als Beispiel für die gewonnenen Ergebnisse seien im folgenden die nach Eintragung der Bahn des Treibkörpers in eine Karte von gleichem Maßstabe der Tafeln 3 und 4 abgeleiteten Strömungen vollständig wiedergegeben.

Tabelle 20.

Richtung und Geschwindigkeit der Trift des Treibkörpers B am 27./28. Mai 1916.

Zeit der Ortsbestimmung	Strom nach	Geschwindigkeit sm/stde	vor bzw. nach H. W. in Ostende	Bemerkungen	Zeit der Ortsbestimmung	Strom nach	Geschwindigkeit sm/stde	vor bzw. nach H. W. in Ostende	Bemerkungen
9 ⁰⁰ V.	N 55° O	0.3	2 ⁰⁰ vor	ausgesetzt	4 ⁰⁰	N 120° W	1.3	5 ⁰⁰ nach	
10	N 35° O	0.4		4 km querab	4 ¹⁰	"	1.5		
20	"	0.6	1 ³⁰ vor	Ostender Mole	5 ²⁰	N 140° W	2.0	5 ²⁰ vor	
30	"	0.7			5 ⁵⁰	N 120° W	2.0		
40	N 50° O	0.8			6 ⁰⁰				
50	"	1.0			10	"	1.8		
10 ⁰⁰	"	1.1	1 ⁰⁰ vor		20	"	2.0	5 ⁰⁰ vor	
10	"	1.3			30	"	2.0		
20	"	1.3			40	"	2.0		
30	"	1.3	0 ³⁰ vor		50	"	2.0		
40	"	1.3			7 ⁰⁰	N 110° W	2.1		
50	"	1.4			7 ⁴¹		1.8		
11 ⁰⁰	N 55° O	1.4	0 ⁰⁰	H. W. 11 ⁰⁰ V	8 ⁰⁰	N 115° W	1.2	3 ³⁰ vor	
10	"	1.5			8 ³⁰	"	1.0	3 ¹⁰ vor	
20	"	1.5			9 ⁰⁰	N 95° W	0.4	2 ¹⁰ vor	
30	N 60° O	1.5	0 ³⁰ nach		9 ³⁰	N 10° O	0.3	1 ¹⁰ vor	
40	"	1.5			10 ⁰⁰ N.				
50	"	1.5			28. Mai				
0 ⁰⁰ N.	"	1.4	1 ⁰⁰ nach		8 ⁰⁹ V.	N 140° W	1.5	3 ^{3/4} h vor	
10	"	1.4			2 ⁹	N 145° W	1.2		
20	N 65° O	1.4			9 ⁰⁰	N 180° W	0.7		
30	"	1.5	1 ³⁰ nach		9 ³⁰	N 150° O	0.4		
40	"	1.4			10 ⁰⁰	N 120° O	0.3	2 ^h vor	
50	"	1.3			10 ³⁰	N 50° O	1.1		
10 ⁰⁰	"	1.2	2 ⁰⁰ nach		11 ⁰⁰	N 60° O	1.2	1 ^h vor	
10	"	1.0			11 ³⁰	N 50° O	1.3		
20	"	0.8			12 ⁰⁰	N 60° O	1.3		
30	"	0.6	2 ³⁰ nach		8 ⁰	N 55° O	1.2		
40	N 60° O	0.8		Strom kentert links	1 ⁰⁰	N 45° O	1.1	1 ^h nach	
50	"	0.6		herum 4 1/2 km querab	8 ³⁰	"	0.8		
20 ⁰⁰	N 35° O	0.4	3 ⁰⁰ nach	Den Haan	2 ⁰⁰	"	0.7	2 ^h nach	
10	N 20° O	0.3			8 ⁰	"	0.4		
20	"	0.4	3 ³⁰ nach		3 ⁰⁰	N 35° O	0.3	3 ^h nach	
30	N 20° W	0.2			8 ³⁰	N 135° W	0.5		
40	N 90° W	0.3			4 ⁰⁰	N 120° W	0.7	4 ^h nach	
50	"	0.3			8 ⁰	N 125° W	1.2		
3 ⁰⁰	"	0.6	4 ⁰⁰ nach		5 ⁰⁰	N 135° W	1.2	5 ^h nach	
10	"	0.5			6 ⁰⁰	N 140° W	0.8	6 ^h nach	
20	N 110° W	0.6	4 ³⁰ nach		6 ²⁰				
30	"	0.8							
40	"	0.9							
4 ⁰⁰	N 120° W	1.2	5 ⁰⁰ nach						

Bei Beginn der Messungen (2 Stunden vor H. W.) herrschte bereits Flutstrom, die Geschwindigkeit betrug nur 0.3 Sm., und es ist anzunehmen, daß soeben die Kenterung von Ebb- zum Flutstrom beendet war. Der Flutstrom setzte nach N 55° bis 65° O, die größte erreichte Geschwindigkeit betrug 1.5 Sm. Als Zeitbeginn des Kenterns zum Ebbstrom ist 2.00 N anzusehen, von 3.30 N an herrschte einwandfrei Ebbstrom, so daß das Kentern etwa $1\frac{1}{2}$ Stunden dauerte. Die Versetzung des Treibkörpers durch den Flutstrom betrug $5\frac{1}{2}$ Sm, die Dauer des Flutstromes 5 Stunden, seine mittlere Geschwindigkeit also 1.14 Sm. Die Länge der Bahn des Treibkörpers während des $1\frac{1}{2}$ Stunden dauernden und links herum erfolgenden Kenterns betrug nur 0.6 Sm, die mittlere Geschwindigkeit also 0.4 Sm. Der Ebbstrom, dessen größte Geschwindigkeit 2.1 Sm war, führte den Treibkörper in einer der Flutbewegung entgegengesetzt ihr fast genau parallelen Bahn in $5\frac{1}{2}$ Stunden insgesamt $8\frac{1}{2}$ Sm nach SW $\frac{1}{2}$ W. Von dem Beginn der ersten Flutstromperiode bis zum Beginn der zweiten war also eine Versetzung parallel der Küste kanalwärts um insgesamt 2.8 Sm, also um 0.2 Sm in der Stunde, eingetreten. Das Kentern vom Ebb- zum Flutstrom erfolgte rechts herum.

Am nächsten Morgen (28. Mai) wurde der Treibkörper in fast der doppelten Entfernung von der Küste querab Middelkerke wieder gesichtet. Während der inzwischen erfolgten Flut- und Ebbebewegung war er beträchtlich seewärts bis auf die Ostender Bank getrieben worden. In der Folgezeit aber bis zum Abend hin erfolgte eine wesentliche Versetzung nach der Küste zu. Zunächst herrschte Ebbstrom. Der darauf (2 h vor H.W.) einsetzende Flutstrom erreichte eine größte Geschwindigkeit von 1.3 Sm, und brachte in 5 Stunden eine Versetzung um $4\frac{2}{3}$ Sm. Während des nun folgenden Ebbstromes kam der Schwimmkörper außer Sicht. Obgleich in diesem Augenblick der Ebbstrom erst $2\frac{1}{2}$ Stunden gedauert, sich also erst etwa halb ausgewirkt hatte, war der Schwimmkörper doch bereits fast um die ganze Strecke, die ihn der Flutstrom nach NO gebracht hatte, zurück verfrachtet worden, so daß auch hier wie am Tage vorher die durch den Ebbstrom zurückgelegte Strecke wesentlich größer war als die Versetzung durch den Flutstrom. Am Vortage war das Verhältnis dieser beiden Werte etwa 1.5 : 1, am 28. Mai wird der Unterschied kaum geringer gewesen sein.

Außer der regelmäßigen Versetzung des Treibkörpers infolge der Gezeiten war demnach erstens eine Verfrachtung kanalwärts, zweitens eine große Veränderung der Entfernung von der Küste zu beobachten. Der Betrag der ersten Bewegung läßt sich recht gut feststellen. Vergleichen wir den Ort des ersten Kenterns vom Ebb- zum Flutstrom mit dem, an welchem 25 Stunden also eine Doppeltide später das entsprechende Kentern stattfand, so ergibt sich eine Versetzung kanalwärts um $4\frac{1}{4}$ Sm. Vergleichen wir aber das erste Kentern vom Flut- zum Ebbstrom mit dem 25 Stunden später erfolgenden, so haben wir eine Versetzung in gleicher Richtung um $5\frac{1}{4}$ Sm. Die mittlere Versetzung kanalwärts war $4\frac{3}{4}$ Sm in 25 Stunden oder 0.19 Sm in der Stunde. Daß der Reststrom kanalwärts gerichtet war, steht im Einklang mit den meteorologischen Verhältnissen. Nach den Wetterkarten der Deutschen Seewarte herrschten am 25. und 26. Mai an der flandrischen Küste W- und WSW-Winde von 2—3 Bft. Der mittlere Wasserstand war an diesen Tagen 2.07 und 2.06 m. Am 27. und 28. Mai lag über England, Frankreich und auch über Skandinavien hoher Luftdruck, über Oesterreich und Mitteldeutschland war niedriger Druck, der sich in einer flachen Mulde bis über die mittlere Nordsee ausdehnte und die beiden genannten Hochdruckgebiete trennte. Über der südwestlichen Nordsee und über den Hoofden bildeten sich infolgedessen nördliche Winde aus. In Ostende wurde beobachtet: am 27. Mai 6 h V : NW 2, 11 h V : N 1, 4 h N : NNW 2, 9 h N : NNO 2; am 28. Mai 2 h V : NNW 1, 6 h V : NW 1, 11 h V : W 1, 4 h N : NW 2, 9 h N : NNO 1. Der mittlere Wasserstand stieg auf 2.15 m am 27. Mai und blieb am folgenden Tage in gleicher Höhe. Es hatte sich dann offenbar ein Gleichgewicht herausgestellt zwischen den Mengen des in den Bereich der flandrischen Küste hineingetriebenen und des kanalwärts fortgeföhrten Wassers.

Für die wechselnde Entfernung von der Küste ist dagegen anscheinend der Einfluß der Bänke maßgebend gewesen. Während der ersten Tide erfolgte die Trift des Schwimmkörpers innerhalb der großen Ostender Reede und führte im östlichen Teile bis dicht an die Bank von Wenduyn heran. Die Bahn war annähernd parallel der Küste, bei der Kenterung von Ebbé zur Flut war der Körper nur 1 Sm

weiter von der Küste entfernt als bei der Kentierung von Flut zur Ebbe. Während der folgenden Tide wurde die Trift nur ganz im Anfang und gegen Ende beobachtet, sie führte den Schwimmkörper über die Bank von Nieuport hinweg bis an den südlichen Rand der Bank von Ostende. Der nun folgende Wechsel von Flut- und Ebbstrom, also die dritte Tide, führte den Körper wieder zurück über die Bank von Ostende nach der Bank von Nieuport. Wir werden annehmen können, daß der Treibkörper am Ende der dritten Tide wieder ungefähr gleich weit von der Küste entfernt war wie am Ende der ersten Tide. — Nach den Triften der Schwimmkörper A und B hat die Gezeitenströmung querab Middelkerke und Ostende über den Bänken von Nieuport und Ostende offenbar eine quer über diese hinweggerichtete Komponente, ist in der großen Ostender Reede aber parallel der Küste gerichtet.

3. Schwimmkörper C wurde am 29. Mai 1916 (Mondalter 12) an ungefähr der gleichen Stelle wie B ausgesetzt, also nördlich der Strombank, 2 Sm querab vom Ostender Hafen, jedoch $2\frac{1}{2}$ Stunden nach Hochwasser (3 h N). Zuerst war noch geringer Flutstrom, 3½ Stunden nach H.W. trat Kentierung ein und zwar rechts herum. Der von 4¼ Stunden nach Hochwasser an ausgebildete Ebbstrom erreichte eine Maximalgeschwindigkeit von 2.0 Sm. Die eingeschlagene Richtung (zunächst N 135—130° W, dann N 120—115° W) führte den Treibkörper immer dichter an die Strombank heran. Vom Erreichen der 5m-Linie an führte die Bahn schräg über die Bank hinweg, es trat also zur bisherigen Richtung eine quer über die Bank setzende Komponente hinzu (N 145° W). Auf der Südseite der Strombank, von der 10m-Linie an, folgte der Treibkörper wieder ungefähr der gleichen Richtung (N 115—110° W) wie nördlich von dieser. Die Geschwindigkeit war während des Ueberquerens der Strombank etwas vermindert (etwa um 0.2—0.3 Sm). Als der Treibkörper außer Sicht kam (3 h vor H.W.), hatte die Geschwindigkeit des Ebbstromes schon sehr abgenommen (auf 0.7 Sm) und das Kentern stand dicht bevor. Die Gesamtversetzung durch den Ebbstrom betrug 7 Sm.

4. Schwimmkörper D wurde ebenfalls am 29. Mai 1916 und zwar $\frac{1}{2}$ Stunde später als der Schwimmkörper C ausgesetzt, also 3 h nach H.W. und zwar querab Mispelburg (Tafel 3, ganz rechts), nur $1\frac{2}{3}$ Sm von der Küste entfernt. Da die Strombank aber schräg auf die Küste zusetzt und bei Den Haan endet, lag dieser Treibkörper bei Beginn der Trift über tieferem Wasser als C. Auch hier kenterte der Flutstrom sogleich und zwar ebenfalls rechts herum. Der einsetzende Ebbstrom führte den Treibkörper nur wenig dichter an die Strombank heran und zwar nicht so weit, daß eine Beeinflussung der Bahn durch die Bank eingetreten wäre. Die maximale Geschwindigkeit des Ebbstromes war 2.2 Sm. Besonders bemerkenswert ist dabei, daß diese große Geschwindigkeit nördlich der Strombank zur

Tabelle 21.

Vergleich der gleichzeitigen Ebbströmungen im freien Fahrwasser der Großen Reede von Ostende und in Nähe und über der Strombank am 29. Mai 1916.

(Wind: Still, SW2, NNW1, NNO2; mittlerer Wasserstand in Ostende 2.11 m)

Zeit vor oder nach Hochwasser in Ostende:	Im freien Fahrwasser der Grossen Reede von Ostende (Schwimmkörper D)			In Nähe und über der Strombank (Schwimmkörper C)		
	Strom nach:	Stromgeschwindigkeit sm/stde	Bemerkungen	Strom nach:	Stromgeschwindigkeit sm/stde	Bemerkungen
3h 30m nach	N 125° O	0.2	Tiefe	N 120° W	0.2	
4h 00m "	N 125° W	0.7	ständig	N 150° W.	0.5	
4h 30m "	N 120° W	1.0	zwischen	N 135° W	1.0	
5h 00m "	N 120° W	1.5	5 und 10 m	N 130° W	1.4	
5h 30m "	N 115° W	1.8		N 125° W	1.8	
6h 00m "	N 115° W	2.0		N 115° W	2.0	
5h 30m vor	N 115° W	2.1		N 135° W	1.3	
5h 00m "	N 115° W	2.0		N 145° W	1.2	
4h 30m "	N 115° W	2.2		N 140° W	1.0	
4h 00m "	N 120° W	2.2		N 115° W	1.3	
3h 30m "	N 130° W	1.8		N 115° W	1.0	

Am Nordrande der Strombank (Tiefe > 5 m)
über der Strombank (Tiefe < 5 m)
südlich der Strombank (Tiefe > 10 m)

gleichen Zeit auftrat, als über der Bank selbst mit Schwimmkörper C eine Herabsetzung der Geschwindigkeit festgestellt wurde. Aus der Bahn von C unmittelbar nördlich, über und unmittelbar südlich der Stroombank ergeben sich für die Geschwindigkeiten des Ebbstromes unverkennbar niedrigere Werte als auf dem Wege von D nördlich der Stroombank. Die Treibkörper C und D legten von dem Kentern von Flut zur Ebbe an im Laufe von 5 Stunden die auf Tafel 3 dargestellten Wege bis zu den durch ein Kreuz bezeichneten Punkten zurück. Waren sie beim Kentern noch $3\frac{1}{2}$ Sm von einander entfernt gewesen, so hatten sie sich nach 5 Stunden bis auf $1\frac{1}{2}$ Sm genähert. C legte in diesen 5 Stunden $6\frac{1}{2}$ Sm, D $8\frac{1}{2}$ Sm zurück, der erstere hatte also eine mittlere Geschwindigkeit von $1\frac{1}{4}$ Sm, der letztere von $1\frac{1}{2}$ Sm!

In obiger Tabelle sind die mit beiden Schwimmkörpern gleichzeitig in den verschiedenen Gebieten festgestellten Strömungen zusammengestellt. Es ergibt sich, daß, solange auch Schwimmkörper C sich über tieferem Wasser befand, die Geschwindigkeiten beider Treibkörper gleich waren, also bis 6 h nach H.W., nur die Richtung war bereits beeinflußt. Sobald aber C in das Gebiet mit geringerer Tiefe als 5 m kam, nahm die quer zur Stroombank gerichtete Komponente der Stromrichtung stark zu und außerdem nahm die Geschwindigkeit bedeutend ab. Nach Passieren der Bank wurde die Geschwindigkeit zwar zunächst größer, blieb aber wesentlich geringer als im Gebiet nördlich der Stroombank, so daß jedenfalls bei dieser Ebbe die Stromgeschwindigkeit nördlich der Stroombank größer war als südlich derselben, am geringsten aber über der Stroombank selbst.

Leider konnte D an diesem Tage nicht weiter beobachtet werden. Am nächsten Morgen ($6\frac{1}{2}$ Stunden nach H.W.), wurde er wieder gesichtet. D befand sich nun querab Middelkerke und war näher an die Küste herangekommen. Es liegt die Vermutung nahe, daß der Treibkörper im Verlaufe der Ebbe am vorhergehenden Abend sich der Stroombank noch weiter genähert hat und seine Bahn daher durch diese beeinflußt worden ist. Als D in Sicht kam, war der Ebbstrom voll ausgebildet, sein Weg führte parallel der Bahn von C am vorhergehenden Tage schräg über die Sandbank hinweg, auch hier war eine Verminderung der Geschwindigkeit des Ebbstroms zweifellos vorhanden. Die folgende Tabelle zeigt dies näher.

Tabelle 22.
Ebbstrom über und südlich der Stroombank am 30. Mai 1916.
(Schwimmkörper D)

Uhrzeit S. Z.	Zeit vor oder nach Hochwasser von Ostende	Strom nach	Strom- geschwindig- keit sm/stde	Bemerkungen	Strom in der Großen Reede von Ostende eine Tide vorher (auch Körper D)
7 ²⁰ V. 30	6 ^h 30 ^m nach	N 130° W	0.9		
40		N 140° W	1.0		
50	5 ^h 30 ^m vor	"	1.1		
			0.8		
8 ⁰⁰		N 150° W	0.8		
10	5 ^h 00 ^m vor	N 160° W	1.1		
20		"	1.0		
30		N 150° W	0.7		
40	4 ^h 30 ^m vor	"	0.9		
50		N 135° W	1.2		
9 ⁰⁰		N 125° W	1.3		
10	4 ^h 00 ^m vor	N 120° W	1.1		
20		N 115° W	1.7		
30		"	1.4		
40	3 ^h 30 ^m vor	N 110° W	1.6		
50		N 115° W	1.5		
10 ⁰⁰		"	1.4		
10	3 ^h 00 ^m vor	N 110° W	1.5		
20		N 115° W	1.3		
30		"	1.1		
40	2 ^h 30 ^m vor	N 120° W	0.7		
11 ⁰⁰ 25		"	0.35	aus Sicht, 3 km nördlich der Mole von Nieuport	

Ein Vergleich der Geschwindigkeiten des Ebbstromes über der Stroombank mit den in der letzten Spalte angegebenen in der unmittelbar vorhergehenden Tide im Fahrwasser der Großen Reede von Ostende beobachteten läßt die Beeinflussung erkennen. Sobald der Treibkörper die Stroombank überquert hatte, verschwand die auf die Küste zu gerichtete Komponente und die Geschwindigkeit wurde größer.

Auch bei diesem Treibkörper war wie bei B eine Versetzung kanalwärts vorhanden. Wird der Endpunkt der Triftkurve von D am 29. Mai abends mit der Lage des Treibkörpers zur gleichen Tidestunde (3 h 30 min vor HW.) am 30. Mai vormittags, also eine Tide später, verglichen (auf Tafel 3 mit einem Kreuz bezeichnet), so ergibt sich eine Verlagerung des Treibkörpers nicht allein etwa 1 Sm näher an die Küste heran, sondern auch 1½ Sm weiter kanalwärts. Daraus folgt ein kanalwärts gerichteter Reststrom von 0.14 Sm in der Stunde, er war also etwas schwächer als am 27./28. Mai. Dies steht im Einklang mit den meteorologischen Verhältnissen. Es hatte sich nämlich inzwischen die Rinne tiefen Drucks über der Nordsee verflacht. In Holland, Nordfrankreich und vermutlich auch über den Hoofden herrschte besonders am 29. Mai Windstille. In Ostende wurde beobachtet am 29. Mai 2 h V : Windstille; 6 h V : SW 2; 8 h V : SW 2; 11 h V : NNW 1; 4 h V : NNW 2; 9 h V : NNO 2; am 30. Mai 2 h V : NO 1; 6 h V : NNW 2; 11 h V : N 2. Der Aufstau an der Küste ließ unter diesen Umständen etwas nach. Am 27. und 28. Mai war der mittlere Wasserstand noch 2.15 m gewesen, für den 29. und 30. Mai wurden 2.11 und 2.09 m festgestellt. Das Abflauen der nördlichen Winde über der südwestlichen Nordsee und den Hoofden wirkte sich also an der flandrischen Küste in einem Nachlassen des Windstaus und einer Abnahme des kanalwärts gerichteten Reststromes aus. Es ist bemerkenswert, daß trotz der Abnahme des Windstaus an der Küste der Ebbstrom über der Stroombank eine Ablenkung zur Küste aufwies. Es darf dies als ein Anzeichen dafür angesehen werden, daß nicht der Wind diese Veränderung der Entfernung von der Küste bewirkt hat, sondern daß vielmehr die Tiefenverhältnisse den Strom beeinflussen und zwar sowohl in bezug auf Richtung wie auf Stärke.

5. Treibkörper E (vergl. Tafel 3) wurde, um den Einfluß der Stroombank noch weiter zu untersuchen, am 7. Juni (Mondalter 6) näher der Küste als die übrigen ausgesetzt und zwar am Nordrande der Stroombank, auf der 5 m-Linie. Von Beginn der Beobachtung (4 h 30 min nach H.W.) an bis fast zum Schluß herrschte Ebbstrom, der zuerst von der Stroombank fort, kurze Zeit ihr parallel und dann quer über die Bank hinweg führte. Die Geschwindigkeit überschritt 1 Sm nicht. Die Gesamtversetzung parallel der Küste durch den Ebbstrom von 4½ h nach H.W. bis zu 3 h vor dem nächsten H.W. betrug nur 2¼ Sm und die gesamte Triftstrecke 2½ Sm, so daß sich als mittlere Geschwindigkeit der niedrige Wert von 0.6 Sm ergibt. Der Wind war während der Beobachtungszeit SW 3, der mittlere Wasserstand des Tages gleichmäßig 2.11 m. Die Geschwindigkeit des Ebbstroms war z. T. offenbar durch den Einfluß der Stroombank vermindert worden, in erster Linie aber durch die entgegengesetzt gerichteten Winde, hinzu kam der Einfluß der Nähe der Nippzeit. In diesem Falle wirkten alle drei Einflüsse nach der gleichen Richtung, nämlich auf Schwächung des Ebbstromes.

6. Der Treibkörper F (vergl. Tafel 4) wurde wieder nördlich der Stroombank, 2¼ Sm querab der Ostender Hafeneinfahrt ausgesetzt und zwar am 17. Juni 1916 (Mondalter 2) 1 h vor H.W. Die Trift war ganz ähnlich der von Treibkörper B. Die maximale Flutgeschwindigkeit war 1.8 Sm, das Kentern erfolgte links herum, der Ebbstrom erreichte eine größte Geschwindigkeit von 2.2 Sm. Beide Werte sind größer als sie von Schwimmkörper B, der beim Mondalter 10 trieb, erreicht wurden, auch die mittlere Flut- und Ebbstromgeschwindigkeit war größer. Die von F 1 h vor H.W. bis zum Kentern zurückgelegte Flutstromtrift war ¾ Sm länger als der von B in gleicher Zeit zurückgelegte Weg, entsprechende Werte gelten auch für die Ebbstromtrift. — Abends kam der Schwimmkörper fast genau an der gleichen Stelle außer Sicht, an der er am Morgen ausgesetzt worden war. Am nächsten Vormittag wurde er 3 h 15 m nach H.W. mit dem Ebbstrom treibend nur 1 Sm querab vom Palasthotel in Ostende wieder gesichtet, er befand sich nun auf der 5 m-Linie der Südseite der Stroombank (vergl. Tafel 3 und 4). Es ist anzunehmen, daß der Treibkörper durch den Ebbstrom des Vortages bis an die Stroombank getrieben und weiterhin von quer über die Bank gerichteten Bewegungskomponenten beeinflußt worden ist. Die

Ebbstromtrift südlich der Stroombank führte immer mehr von der Bank ab, die Richtung und Geschwindigkeit ließen keine Beeinflussung durch diese mehr erkennen, die Richtung war N 125° — 115° W, die größte Geschwindigkeit des Ebbstromes 2.7 Sm! Leider geriet der Schwimmkörper um $10\frac{1}{2}$ h V außer Sicht, um 6 h N desselben Tages wurde er bei Lombartzyde-Bad an Land getrieben.

Die Versetzung des Treibkörpers nach SW parallel der Küste war in diesem Falle ganz erheblich. Werden z. B. die Orte 6 h nach H.W. verglichen, so ergibt sich im Laufe einer Tide eine Versetzung kanalwärts um 5% Sm, also um 0.46 Sm in einer Stunde.

An beiden Tagen lagerte über England hoher Druck, das Tiefdruckgebiet lag über Finnland. Über der ganzen Nordsee, besonders in deren westlichem Teile, herrschten daher nördliche Winde. In Ostende wurde beobachtet: am 17. Juni 1916 6 h V : O 2, 11 h V : NNO 2, 4 h N : NNO 4 9 h N : NO 3, 18. Juni 2 h V : NO 4, 6 h V : NNO 4, 11 h V : NNO 3, 4 h N : NNO 3, 9 h N : NNO 2.

Die mittleren Wasserstände waren an beiden Tagen 2.00 und 2.08 m. Der kanalwärts gerichtete Reststrom findet also in den meteorologischen Verhältnissen seine Erklärung, es fand ein lebhafter Wassertransport in genannter Richtung statt, bei dem, wie aus dem mittleren Wasserstande zu schließen ist, kein Aufstau an der Küste stattfand, sondern die gesamten durch den Wind in den Bereich der flämischen Bänke herangeführten Wassermassen wieder zum Abfluß gelangten mit einer Geschwindigkeit von fast $\frac{1}{2}$ Sm in der Stunde.

7. Der Treibkörper G (vergl. Tafel 3) liefert ein besonders gutes Beispiel für das Vorhandensein von quer zur Küste und den Sänden gerichteten Bewegungskomponenten. Die Aussetzung erfolgte am 19. Juni 1916 beim Mondalter 3 $2\frac{1}{2}$ Sm querab vom Ostender Schloß, der Ebbstrom mit der maximalen Geschwindigkeit von 1.8 Sm führte den Schwimmkörper nach N 110° W, nach $1\frac{1}{4}$ Stunden aber kam er schon aus dem Gesichtskreis, nach 24 Stunden (am 20. Juni) wurde er 0.9 Sm querab Mariakerke, also südlich der Stroombank, wieder gesichtet und trieb mit dem Ebbstrom parallel der Küste, die maximale Geschwindigkeit betrug 1.2 Sm, nach $1\frac{1}{2}$ Stunden kam er wieder aus Sicht. Am gleichen Tage 8 h N wurde er 2 Sm querab vom Ostender Kurhaus wieder gesehen, mußte also, wahrscheinlich während des Kenterns, die Stroombank abermals überquert haben. Am folgenden Tage 11 h V wurde G bei Breedene an Land getrieben. — Leider konnte der Treibkörper immer nur kurze Strecken verfolgt werden, so daß die Einzelheiten der Trift nicht feststellbar sind. Aus dem Vergleich der zu gleichen Tidenzeiten erreichten Positionen geht hervor, daß der parallel der Küste gerichtete Reststrom ganz unbedeutend gewesen ist. Die Winde waren zur Beobachtungszeit nur schwach, am 19. Juni 11 h V : W 1, 4 h N : WSW 2, 9 h N : N 3, am 20. Juni 2 h V : N 1, 6 h V : WNW 2, 11 h V : SW 2, 4 h N : SSW 2. Der mittlere Wasserstand zeigte aber in diesen Tagen eine bemerkenswerte Veränderung. Für den 18. Juni galt der Wert 2.08 m, für die Dauer der Beobachtungen aber der mittlere Wert 2.25 m. Dieser Aufstau war offenbar die Begleiterscheinung der durch die Verlagerung des Schwimmkörpers angedeuteten küstenwärts gerichteten Bewegung.

8. Treibkörper H (vergl. Taf. 4) wurde am 26. Juni 1916 (Mondalter 10) 2 h vor H.W. 2 Sm querab vom Ostender Palast-Hotel, also nördlich der Stroombank, ausgesetzt. Der Flutstrom war nach N 40° bis 55° O gerichtet mit 1.8 Sm maximaler Geschwindigkeit. Während des Kenterns zum Ebbstrom, $2\frac{1}{2}$ Sm querab Den Haan über der Wenduyne Bank, war die Versetzung quer zur Bank beträchtlich ganz im Gegensatz zu den durch die Treibkörper B und F ganz in der Nähe, also südlich der Bank festgestellten Befunden. Der Ebbstrom war nach N 125° — 140° W, also dem Flutstrom entgegengesetzt, gerichtet, die größte Geschwindigkeit betrug 2.0 Sm. Das Kentern zum Flutstrom erfolgte rechts herum, wie es weiter westlich in gleicher Weise bei A und B stattgefunden hatte. — Wenn wir annehmen, daß im Moment des Aussetzens des Treibkörpers das Kentern von Ebbe zur Flut gerade beendet war, ist auch diesmal ein Schluß auf die resultierende Versetzung während einer Tide möglich, sie ist genau nach Norden gerichtet und beträgt 0.9 Sm. Es hat also keine Verfrachtung kanalwärts stattgefunden, es ist im Gegenteil der Transport durch den Flutstrom parallel der Küste noch um einen geringen Betrag größer als durch den Ebbstrom in entgegengesetzter Richtung. Die Luftbewegung an diesem Tage war sehr schwach, es wurde in Ostende beobachtet 6 h V : W 1, 11 h V : SSW 1, 4 h N : W 3, 6 h N : N 1, 9 h N : O 1.

Der mittlere Wasserstand war 2.11 m. Der unbedeutende Reststrom parallel zur Küste wird dadurch zu erklären sein, daß die Wirkung der westlichen Winde durch die darauf folgende nördliche und östliche Luftbewegung z. T. wieder aufgehoben wurde.

9. Die Trift J (vergl. Tafel 4) war durchaus abweichend von den bisherigen, sie verlief nördlich der Stroombank auf der Großen Reede von Ostende. Die Aussetzung erfolgte am 11. Juli 1916 (Mondalter 10) $1\frac{1}{4}$ h nach H.W., $2\frac{1}{2}$ Sm querab der Ostender Einfahrt. Der Flutstrom hatte eine maximale Geschwindigkeit von 1.8 Sm. Das Kentern zum Ebbstrom erfolgte links herum und zwar von $4-5\frac{1}{2}$ h nach H.W. Die Ebbströmung zeichnete sich durch auffallend geringe Geschwindigkeit aus, der Mittelwert für die ganze $4\frac{1}{2}$ Stunden, von $5\frac{1}{2}$ h nach H.W. bis 3 h vor dem nächsten H.W. dauernde Ebbebewegung war nur 0.5 Sm, die maximale Geschwindigkeit 0.9 Sm. Die Gesamtversetzung durch die Ebbströmung war nur 2.3 Sm, bei Treibkörper B war die Versetzung durch die eine Stunde länger dauernde Ebbströmung mehr als $3\frac{1}{2}$ mal so groß, nämlich $8\frac{1}{2}$ Sm! Die durch J festgestellte Ebbströmung war also auffallend durch niedrige Geschwindigkeit, kurze Dauer und außerdem auch durch ihre Richtung, die eine Komponente nach der Küste zu aufwies ($N 140^{\circ}-150^{\circ} W$). Die Kenterung zum Flutstrom (rechts herum) erfolgte von $2\frac{1}{4}$ h bis $2\frac{1}{4}$ h vor H.W. Der Flutstrom entwickelte sich im Gegensatz zum Ebbstrom normal, seine größte Geschwindigkeit war 1.8 Sm. Bei diesem Treibkörper trat also zum ersten Mal eine beträchtliche resultierende Versetzung nach NO auf. Leider kam er schon 1 h vor H.W. außer Sicht, nimmt man aber für die Zeit von 1 h vor bis $1\frac{1}{4}$ h nach H.W. eine Fortdauer der zuletzt erreichten Flutstromgeschwindigkeit von 1.8 Sm an, so ergibt sich bei Benutzung der Orte, die $1\frac{1}{4}$ h nach H.W. erreicht waren, während des Ablaufs einer Tide ein Transport von 7.7 Sm nach NO! — Der Wind war an diesem Tage: W 3—4, der mittlere Wasserstand 2.10 m, ebenso auch am Tage vorher und nachher. Wenn auch der Wasserstand unverändert blieb, so war die Wasserbewegung parallel der Küste erheblich beeinflußt, der Reststrom parallel der Küste fort betrug 0.6 Sm in der Stunde.

10. Stromkörper K (vergl. Tafel 3) wurde am 18. Juli 1916 (Mondalter 3) $1\frac{1}{4}$ Sm querab Maria-kerke-Bad 5 h 40 m nach H.W., also bei Ebbstrom über der 5-m-Linie am Nordrand der Stroombank ausgesetzt. Die Beeinflussung der Trift durch die Stroombank trat in gleicher Weise hervor wie bei den Schwimmkörpern C, D und E. Zu Beginn, 5 h 40 min nach H.W. herrschte Ebbstrom ($N 135^{\circ} W$), der über der Bank nach links drehte (bis $N 150^{\circ} W$), südlich der Bank aber wieder annähernd der ursprünglichen Richtung folgte ($N 125^{\circ}-130^{\circ} W$). Die Geschwindigkeit am Nordrande der Bank betrug 1.5 Sm, über der Bank 1.0—1.3 Sm und südlich von ihr wieder 1.5 Sm. Nach 2 Stunden, 4 h vor H.W., kam der Treibkörper 1 Sm querab Middelkerke außer Sicht. Der Wind war an diesem Tage recht gleichmäßig N 1—2, der mittlere Wasserstand an den Tagen vorher, nachher und am 24. Juli selbst 2.00 m. Der Reststrom war wegen der kurzen Beobachtungsdauer nicht feststellbar.

11. Die Trift L (21. Juli 1916, Mondalter 6) ergab in bezug auf das Verhältnis von Flut- und Ebbstrom das Gegenteil von J (vergl. Tafel 3). Die Aussetzung erfolgte $2\frac{1}{2}$ Sm querab vom Ostender Kurhaus während des Kenterns von Flut- zum Ebbstrom. Der letztere, der eine maximale Geschwindigkeit von 2.0 Sm erreichte, führte den Treibkörper $8\frac{1}{4}$ Sm kanalwärts mit einer geringen von der Küste fortgerichteten Komponente. Das Kentern vom Ebb- zum Flutstrom erfolgte wie die vom Flut- zum Ebbstrom links herum. Der sich entwickelnde Flutstrom erreichte eine Maximalgeschwindigkeit von nur 1.5 Sm und bewirkte einen Transport von nur $4\frac{1}{4}$ Sm. Das Kentern zum Ebbstrom erfolgte abermals links herum. Die Versetzung kanalwärts war bedeutend, sie betrug während einer Tide $3\frac{1}{2}$ Sm, also 0.3 Sm in der Stunde, sie war halb so groß wie die entgegengesetzt gerichtete des Treibkörpers J. Die Windverhältnisse waren durchaus abweichend von denen am 11. Juli. Es wurde beobachtet: 6 h V : O 1, 11 h V : Stille, 4 h N : N 1, 9 h N : N 2. Gleiche Winde sind nach der Luftdruckverteilung für die gesamte Nordsee, besonders deren westlichen Teil anzunehmen. Der mittlere Wasserstand war am 18. Juli 2.06 m, am 19.: 1.99 m, am 20.: 1.99 m, am 21.: 1.97 m, es trat also eine zwar geringe, aber ständige Erniedrigung des Wasserspiegels ein, der, wie aus der Trift von L folgt, ein Wassertransport kanalwärts parallel ging.

12. Treibkörper M wurde am 28. Juli 1916 (Mondalter 13) bei H.W. 2 Sm querab vom Schloß in Ostende ausgesetzt (vergl. Tafel 4). Der Flutstrom lief normal, annähernd parallel der Küste mit 1.3 Sm maximaler Geschwindigkeit. Das Kentern erfolgte rechts herum, dadurch gelangte der Treibkörper in die Nähe der Stroombank, der Ebbstrom führte ihn über sie hinweg. Während der Überquerung war die Stromgeschwindigkeit herabgesetzt, sie betrug auf der Nordseite der Bank 1.5—1.6 Sm, über derselben 1.2—1.3 Sm und südlich von ihr 1.7—2.0 Sm. Die Verminderung der Geschwindigkeit trat ungefähr zur Niedrigwasserzeit ein, also zu einer Zeit, wo der Ebbstrom in der Regel am kräftigsten ausgebildet ist. Auch hier war demnach die Trift über die Bank durch die gleiche Veränderung der Bahn charakterisiert wie in früheren Fällen. Der Reststrom war nicht feststellbar. — Der mittlere Wasserstand war an diesem Tage 2.17 m, an den drei vorhergehenden Tagen 2.13 m, hatte also eine sehr gleichmäßige Höhe. Die Luftbewegung war, mit nördlichen Winden Stärke 2—3, gering.

13. Treibkörper N (vergl. Tafel 3) wurde am 7. August 1916 (Mondalter 8) 6 h nach H.W. ausgesetzt und zwar 2 Sm querab vom Palast-Hotel in Ostende. Die Trift ging zunächst nach N 120° W mit 1.7—1.8 Sm Geschwindigkeit, dann erfolgte Drehung nach N 145°—155° W und Überquerung der Stroombank, gleichzeitig sank die Geschwindigkeit bis auf 0.9 Sm zu einer Tidenzeit, wo sich sonst der Ebbstrom in vollster Entwicklung befindet. Vor Erreichung der Südseite der Bank mußte die weitere Verfolgung aufgegeben werden. Der Wind war N und NNO 1—2, der mittlere Wasserstand 2.04 m, der Reststrom war nicht feststellbar.

14. Schwimmkörper O (ausgesetzt 2½ Sm querab Batterie Hindenburg am 10. August 1916, Mondalter 11, bei H.W.) hatte eine ebenfalls ganz im Gegensatz zur Trift J stehende Bahn (vergl. Tafel 4). Der Flutstrom ging parallel der Küste mit nur 1.1 Sm Maximalgeschwindigkeit. Nach dem rechts herum erfolgten Kentern entwickelte sich ein Ebbstrom (max. Geschw. 1.4 Sm) mit auf die Küste zu gerichteter Bewegungskomponente (N 130—150° W), die Stroombank wurde dabei überquert. Das Kentern zum Flutstrom erfolgte links herum. Im Gegensatz zu J war der Ebbstrom kräftiger als der Flutstrom ausgebildet. Der Einfluß der Wetterlage prägte sich hier klar aus. Der Wind war am 10. August O bis NNW 1—2, der mittlere Wasserstand 2.12 m, am 11. Juli waren bei nahezu gleichem Wasserstand westliche Winde von 3—4 Beaufort Stärke.

15. Treibkörper P liefert wieder ein Beispiel für eine Versetzung kanalwärts und besonders quer zur Küste. Er wurde am 16. August 1916 (Mondalter 3) 4 h vor H.W. etwa 3 Sm querab vom Ostender Schloß ausgesetzt und trieb zunächst mit dem Ebbstrom (Maximalgeschwindigkeit 1.9 Sm) (vergl. Tafel 3 und 4). Nach dem Kentern (links herum) erreichte der Flutstrom eine größte Geschwindigkeit von 2.2 Sm. Das darauf folgende Kentern zum Ebbstrom erfolgte im Uhrzeigersinn. Kurz nach dem Einsetzen des Ebbstromes kam der Treibkörper aus Sicht. (9.50 N). Am nächsten Tage (3 h N) wurde er 5 Sm querab Middelkerke, also in fast dreifachem Abstand von der Küste wieder gesichtet und trieb mit dem Flutstrom (Maximalgeschwindigkeit 1.9 Sm). Werden auch hier Positionen der Treibkörper zu gleichen Tidenzeiten im Abstande einer Tide miteinander verglichen (gewählt wurde 2½ h nach H.W.), so ergibt sich eine geringe Verlagerung kanalwärts und zwar um 1½ Sm, also um 0.1 Sm in einer Stunde, gleichzeitig hatte die Entfernung von der Küste um 2 Sm zugenommen. — Der Wasserstand war im Falle begriffen, am 14. August war der mittlere Wasserstand 2.30 m, am 15. 8. 2.34 m und am 16. 8. 2.24 m, so daß also am 16. eine Tendenz zur Wasserbewegung von der Küste fort bestanden haben muß. Der Aufstau am 14. und 15. war durch S- bis SW-Winde von der Stärke 3—5 bewirkt worden. Am Tage der Strommessung herrschten bis mittags südliche Winde von 1—3 Bft., dann drehten die Winde unter Abflauen nach West, abends nach Ost. Die starke Abtrift von der Küste, vielleicht auch der geringe Reststrom kanalwärts, wird auf den nachlassenden Aufstau zurückzuführen sein.

16. Schwimmkörper Q wurde am 1. September 1916 (Mondalter 4) 4½ h vor H.W. 2 Seemeilen querab vom Palasthotel in Ostende ausgesetzt (vergl. Tafel 4). Durch den bereits abflauenden Ebbstrom wurde er auf die Stroombank getrieben, dort kenterte die Strömung 1¼—2¼ Stunden vor H.W. links herum. Der parallel der Küste gerichtete Flutstrom führte den Treibkörper bald wieder von der Stroombank

fort in tieferes Wasser. Kurz vor dem Kentern zum Ebbstrom geriet er außer Sicht. Der gesamte infolge des 5½ Stunden anhaltenden Flutstroms zurückgelegte Weg war abnorm lang, nämlich 11½ Sm, daraus ergibt sich eine mittlere Geschwindigkeit von 2.1 Sm (!), die größte auftretende Geschwindigkeit war 3.1 Sm. Das ist die größte mit den Treibkörpern überhaupt festgestellte Geschwindigkeit. Der mittlere Wasserstand war an diesem Tage und auch den zunächst vorhergehenden Tagen wenig veränderlich (2.23 m). Der Wind kam aus S bis SW mit der Stärke 2—3 Bft., war also der Förderung des Flutstromes günstig. Der Treibkörper war leider nicht lange genug sichtbar, um eine Feststellung des Reststromes zu ermöglichen, doch kann kein Zweifel sein, daß dieser vorhanden und vom Kanal fortgerichtet war ähnlich wie beim Schwimmkörper J.

17. Die kurze Trift des Stromkörpers R (16. September 1916, Mondalter 4) zeigt wieder den Einfluß der Bank auf die Stromrichtung. Südlich der Bank kenterte der Strom vom Ebb- zum Flutstrom (vergl. Tafel 3).

18. Stromkörper S (vergl. Tafel 3) wurde am 26. April 1917 (Mondalter 4) 5½ Stunden nach H. W. ausgesetzt. Der Ebbstrom führte ihn an die Stroombank heran und über sie hinweg. Der Einfluß der Bank auf die Richtung und Geschwindigkeit war die gleiche, wie sie in früheren Fällen festgestellt worden war. Nach mehrstündiger Unterbrechung wurde der Körper während des Flutstromes wieder gesichtet, das Kentern zum Ebbstrom erfolgte links herum. Die größte Geschwindigkeit des ersten Ebbstromes war 2.4 Sm, des folgenden Flutstromes 1.8 Sm. Die folgenden Flutströmungen müssen jedoch größere Geschwindigkeiten als die Ebbströmungen gehabt haben, denn im Laufe des 28. April landete der Treibkörper östlich der Blankenberger Mole, 11 Sm östlich der beobachteten Kenterung von Flut zur Ebbe. Der Zusammenhang mit dem Winde ist unverkennbar. An den Tagen vom 22.—25. April und auch am 26. April herrschten während der Beobachtungszeit nördliche Winde von der Stärke 2 bis 4 Bft., welche den Ebbstrom förderten. Am Abend des 26. April drehte der Wind nach West. Am 27. und 28. April herrschten Westwinde von 2—4 Bft. Unter deren Einfluß hatte der Flutstrom eine größere mittlere Geschwindigkeit als der Ebbstrom, so daß sich ein nach NO gerichteter Reststrom ausbildete, wodurch das Strandene des Treibkörpers so weit im Osten verständlich ist.

19. Stromkörper T (ausgesetzt am 9. Mai 1917, beim Mondalter 2, 2²/₃ Sm querab vom Ostender Schloß, 4½ Stunden vor H.W.) blieb in seiner ganzen Bahn nördlich der Stroombank, allerdings in wechselndem Abstande (vergl. Tafel 3). Der Ebbstrom war ungefähr über der 10-m-Linie kräftig ausgebildet, die größte festgestellte Geschwindigkeit betrug 2.8 Sm. Beim Kentern zum Flutstrom (links herum) kam der Treibkörper über die 5-m-Linie und blieb dort auch während des N 52°—56° O gerichteten Flutstromes, die Geschwindigkeit war aber geringer, im Maximum nur 1.5 Sm. Das Kentern zum Ebbstrom erfolgte abermals links herum, der Körper kam dadurch in größere Entfernung von der Bank, der Ebbstrom erreichte schnell die Geschwindigkeit von 1.6 Sm, der Maximalwert und die Gesamtversetzung konnten nicht festgestellt werden, da die Beobachtung wegen zunehmender Dunkelheit eingestellt werden mußte. Die herrschenden Winde (N 3—4) waren einer stärkeren Ausbildung des Ebbstromes und der Entwicklung eines kanalwärts gerichteten Reststromes günstig. In Ostende wurde eine geringe Abtrift festgestellt, der mittlere Wasserstand dieses Tages war 2.03 m.

20. Stromkörper U wurde am 3. Juli 1917 (Mondalter 13) 1½ Sm querab der Ostender Hafeneinfahrt auf der 5m-Linie auf der Nordseite der Stroombank 4½ h vor H. W. ausgesetzt (vergl. Tafel 3). Es herrschte Ebbstrom, zunächst nach N 127° W mit 1.6—1.7 Sm. Der Strom drehte bald links bis N 143° W und nahm an Geschwindigkeit ab. Ob dies in diesem Falle auf den Einfluß der Stroombank zurückzuführen ist, ist nicht nachweisbar, da der Höhepunkt des Ebbstroms bereits überschritten war. Südlich der Bank, auf der Kleinen Ostender Reede, zeigte der Ebbstrom zunächst die Tendenz zur Rechtsdrehung in die auf der Nordseite der Bank eingenommene Richtung (bis N 136° W), kenterte darauf in entgegengesetztem Sinne, also links herum. Der Flutstrom führte wieder an die Stroombank heran, über dieser war der Strom wieder durch eine quer zur Bank setzende Komponente abgelenkt. Die Richtung des Flutstroms war südlich der Bank N 52° O, über ihr N 45° O und auf der Nordseite N 53° O. Querab Breedene trat Kenterung, und zwar wieder links herum, ein. Die Gesamtversetzung

durch den 5 h währenden Flutstrom betrug $4\frac{1}{2}$ Sm, die mittlere Geschwindigkeit also etwas weniger als 1 Sm. Der folgende Ebbstrom war kräftiger ausgebildet. Wird bei beiden Ebbbewegungen die gleiche Tidenzeit von $4\frac{1}{2}$ h vor H.W. betrachtet, so läßt sich eine Verfrachtung im Laufe der einen Tide um 3 Sm kanalwärts feststellen, also um $\frac{1}{4}$ Sm in der Stunde. — Der mittlere Wasserstand war an diesem Tage und auch an den beiden vorhergehenden sehr gleichmäßig 2.00 m. Der Wind schwankte zwischen O und NNO, Stärke 1—2. An den beiden Tagen vorher wehte der Wind aus N bis NNO mit der Stärke 3—5. Die Verstärkung des Ebbstroms und die Versetzung kanalwärts ist hiernach durch die Windverteilung begründet.

21. Stromkörper V (ausgesetzt am 4. Juli 1917, beim Mondalter 0 auf der nördlichen 5 m-Linie der Stroombank querab Mariakerke, 5 h vor H. W.) wurde wie bei allen früher in ähnlicher Lage beobachteten Stromkörpern durch den Ebbstrom über die Bank hinweggeführt, kenterte links herum, trieb dann mit dem Flutstrom zunächst mit größerer Geschwindigkeit, über der Bank aber wesentlich langsamer. Die Kenterung zum Ebbstrom erfolgte rechts herum. Der Ebbstrom auf der Südseite der Kleinen Osterender Reede hatte eine gegen die Küste gerichtete Komponente, wodurch der Treibkörper abends 11 h bei Westende-Bad an Land getrieben wurde. — Der Wind war NO bis N 1—2, der mittlere Wasserstand 2.11 m.

c. Zusammenfassung über die Abhängigkeit der Strömungen im Untersuchungsgebiet von Bodengestalt und Wind.

Bei der Einzelbetrachtung der Triften der Schwimmkörper traten drei Tatsachen besonders auffallend hervor, nämlich 1. die Beeinflussung der Triften durch die Bänke, 2. die große Abhängigkeit der Gezeitenströmungen und des Reststromes vom Winde, 3. die Veränderlichkeit des Drehungssinnes der Kenterung.

1. Der Einfluß der Bänke äußert sich darin, daß in ihrem Bereich der Gezeitenstrom verlangsamt und außerdem quer zur Erstreckung der Bänke abgelenkt wird. Beide Tatsachen traten bei den verschiedensten Wetterlagen und an ganz verschiedenen Orten (Stroombank, Bank von Ostende, Nieuport, Wenduyne) mit großer Regelmäßigkeit ein, sie sind durch zahlreiche Einzelheiten bewiesen, vergl. die Bahnen der Treibkörper A, B, C, D, E, F, H, K, M, N, O, S und deren Diskutierung.

2. Die Richtung des Gezeitenstromes an den einzelnen Orten, sowohl in tieferem Wasser wie auch über den Bänken, war von großer Beständigkeit. Die Wirkung des Windes zeigte sich weniger in der Beeinflussung der Richtung als vielmehr ganz im wesentlichen in der Dauer und der Stärke des Flut- und Ebbstromes, also in der durch diese bewirkten Gesamtversetzung. Obgleich die Winde während der untersuchten Triften nur schwach bis mäßig waren, liegen die Extreme recht weit auseinander. Während Treibkörper A bei schwachen nördlichen Winden durch den Ebbstrom eine Gesamtversetzung von 8 Sm erfuhr, war diese bei Treibkörper J während mäßiger westlicher Winde nur 2 bis 3 Sm! Beide Triften fanden in der Großen Reede von Ostende statt, die erstere beim Mondalter VII, die zweite beim Mondalter X, also annähernd gleichweit von Nipptide entfernt. Die Zusammenstellung zu gleichen Tidenzeiten gewonnener Beobachtungen in Tabelle 23 zeigt dies deutlicher.

Im ersten Falle war der Ebbstrom 4 h nach H.W. bereits ausgebildet und war auch 2 h vor H.W. noch vorhanden, bei J aber konnte der Ebbstrom erst 2 Stunden später festgestellt werden, außerdem war er bereits 2 Stunden früher wieder verschwunden. Die erreichten Maximalgeschwindigkeiten waren 1.6 und 0.8 Sm/stde. Bei den mäßigen westlichen Winden war der Ebbstrom also nicht allein wesentlich schwächer, sondern dauerte auch erheblich kürzere Zeit als bei den nördlichen Winden während der Trift von A.

Einen entsprechenden Gegensatz zeigen die Triften von L und Q, bei beiden konnten außer einem erheblichen Teil der Ebbstromtriften auch die Flutstromtriften festgestellt werden. In der Tabelle 24 sind einige der gewonnenen Ergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 23.

Richtung und Geschwindigkeit der Strömung bei den Treibkörpern A und J von 4 h nach bis 2 h vor Hochwasser zu Ostende.

Treibkörper A, 10. April 1916 (Mondalter 7)			Treibkörper J, 11. Juli 1916 (Mondalter 10)		
Wind: N 2			Wind: W 3 — 4		
Uhrzeit h m	Tidenzeit h m	Strömung	Uhrzeit h m	Tidenzeit h m	Strömung
9.40 V.	4.00 nach H. W.	N 115° W 0.5 Sm/stde	2.00 N.	4.00 nach H. W.	N 65° O 0.5 Sm/stde
10.15 "	4.30 " "	" 125° " 0.6 "	2.30 "	4.30 " "	" 35° " 0.2 "
10.45 "	5.00 " "	" 125° " 0.8 "	3.00 "	5.00 " "	" 110° W 0.2 "
11.15 "	5.30 " "	" 125° " 1.2 "	3.30 "	5.30 " "	" 135° " 0.3 "
11.45 "	6.00 " "	" 125° " 1.4 "	4.00 "	6.00 " "	" 135° " 0.5 "
0.15 N.	6.00 vor H. W.	" 113° " 1.5 "	4.30 "	6.00 vor "	" 140° " 0.5 "
0.45 "	5.30 " "	" 130° " 1.5 "	5.00 "	5.30 " "	" 140° " 0.6 "
1.15 "	5.00 " "	" 120° " 1.6 "	5.30 "	5.00 " "	" 130° " 0.7 "
1.45 "	4.30 " "	" 120° " 1.5 "	6.00 "	4.30 " "	" 150° " 0.8 "
2.15 "	4.00 " "	" 120° " 1.5 "	6.30 "	4.00 " "	" 140° " 0.6 "
2.45 "	3.30 " "	" 120° " 1.3 "	7.00 "	3.30 " "	" 140° " 0.3 "
3.15 "	3.00 " "	" 120° " 1.5 "	7.30 "	3.00 " "	" 145° " 0.2 "
3.45 "	2.30 " "	" 120° " 1.0 "	8.00 "	2.30 " "	" 75° O 0.5 "
4.15 "	2.00 " "	" 120° " 0.5 "	8.30 "	2.00 " "	" 70° " 0.8 "
4.45 "	1.30 " "	" 70° " 0.5 "	9.00 "	1.30 " "	" 65° " 1.4 "
5.15 "	1.00 " "	" 15° " 0.5 "	9.30 "	1.00 " "	" 65° " 1.8 "

Tabelle 24.

Richtung und Geschwindigkeit der Strömung bei den Treibkörpern L und Q von 4½ h vor bis ½ h nach Hochwasser zu Ostende.

Treibkörper L, 21. Juli 1916 (Mondalter 6)			Treibkörper Q, 1. September 1916 (Mondalter 4)		
Wind: N 1—2			Wind: S—SW 2—3		
Uhrzeit h m	Tidenzeit h m	Strömung	Uhrzeit h m	Tidenzeit h m	Strömung
2.20 N	4.30 vor H. W.	N 110° W 2.0 sm/stde.	11.20 V	4.30 vor H. W.	N 105° W 0.7 sm/stde.
2.50 "	4.00 " " "	" 120° " 1.7 "	11.50 "	4.00 " " "	" 130° " 1.1 "
3.20 "	3.30 " " "	" 115° " 1.7 "	0.20 N	3.30 " " "	" 135° " 0.9 "
3.50 "	3.00 " " "	" 140° " 1.4 "	0.50 "	3.00 " " "	" 135° " 0.9 "
4.20 "	2.30 " " "	" 130° " 1.3 "	1.20 "	2.30 " " "	" 140° " 0.5 "
4.50 "	2.00 " " "	" 170° " 0.7 "	1.50 "	2.00 " " "	" 170° O 0.3 "
5.20 "	1.30 " " "	" 115° O 0.7 "	2.20 "	1.30 " " "	" 65° " 1.1 "
5.50 "	1.00 " " "	" 60° " 1.1 "	2.50 "	1.00 " " "	" 60° " 1.7 "
6.20 "	0.30 " " "	" 70° " 1.2 "	3.20 "	0.30 " " "	" 55° " 2.2 "
6.50 "	0.00 " " "	" 60° " 1.3 "	3.50 "	0.00 " " "	" 55° " 2.3 "
7.20 "	0.30 nach " "	" 60° " 1.4 "	4.20 "	0.30 nach " "	" 55° " 3.1 "
7.50 "	1.00 " " "	" 75° " 1.3 "	4.50 "	1.00 " " "	" 55° " 2.5 "
8.20 "	1.30 " " "	" 55° " 1.0 "	5.20 "	1.30 " " "	" 50° " 2.7 "
8.50 "	2.00 " " "	" 55° " 0.7 "	5.50 "	2.00 " " "	" 50° " 2.5 "
9.20 "	2.30 " " "	" 45° " 0.4 "	6.20 "	2.30 " " "	" 50° " 2.2 "
9.50 "	3.00 " " "	" 20° W 0.2 "	6.50 "	3.00 " " "	" 50° " 2.1 "

Bei L war die Gesamtversetzung durch den Flutstrom 4½, bei Q dagegen 11½ Sm, also 7 Sm mehr. Im ersten Falle begünstigten nördliche Winde die Ausbildung des Ebbstroms und hemmten den Flutstrom, bei Q wurde der Flutstrom durch die Süd- bis Südwestwinde gefördert und der Ebbstrom gehemmt. Die Stromangaben in der Tabelle zeigen dies näher. Den Werten 2.0 und 1.1 Sm/stde für den Maximalebbstrom stehen die Werte 1.4 und 3.1 Sm/stde für die größten Flutstromgeschwindigkeiten gegenüber, außerdem hatte der Flutstrom bei Q eine längere Dauer.

In gleicher Weise wie die Flut- und Ebbströmung war auch die resultierende Wasserversetzung, der Reststrom, stark abhängig vom Winde am Orte und über der Nordsee. Die Beobachtungsmethode, die eine Verfolgung des Schwimmkörpers nur bei klarem, sichtigem Wetter und bei Windstärken unter etwa 5 Beaufort gestattete, brachte es mit sich, daß Messungen vor allem bei nördlichen bis östlichen Winden stattfanden, bei diesen waren die genannten Bedingungen am ehesten erfüllt. Die bei der Einzelbetrachtung der Stromkörper durch Vergleich der Positionen bei gleichen Tidenzeiten im Abstande von ein oder zwei Tiden festgestellten Versetzungen stellen daher durchaus nicht mittlere Verhältnisse dar.

Da aus der obigen Diskussion der einzelnen Triftbahnen hervorging, daß die wechselnde Entfernung von der Küste in hohem Maße durch den Einfluß der Bänke verursacht war, der Wind jedenfalls eine geringe Rolle spielte im Vergleich mit seinem Einfluß auf die küstenparallel gerichteten Wasserbewegungen, wurde die resultierende Versetzung in zwei Komponenten zerlegt in eine senkrecht und in eine parallel zur Küste. Die erstere ist eingehend bei den einzelnen Treibkörpern betrachtet. Die Geschwindigkeiten der parallel der Küste gerichteten Restströme sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 25.

Durch Treibkörper festgestellte Restströme parallel der flandrischen Küste.

Schwimmkörper	Reststrom		vorwiegende Winde
	kanalwärts sm/stde	scheldewärts sm/stde	
B	0.19		nördlich 1—2
D	0.14		nördlich 1—2
F	0.46		nordöstlich 3—4
G	0.0		umlaufend 1—3
H	0.0		umlaufend 1—3
J		0.6	westlich 3—4
L	0.3		nordöstlich 0—2
P	0.1		umlaufend 1—3
Q		Betrag : ?	südwestlich 2—3
U	0.25		nordöstlich 1—2

Die Beobachtungen ergeben demnach, daß Winde aus dem Quadranten von Nord bis Ost einen kanalwärts gerichtetem Reststrom, Winde zwischen Süd und West einen entgegengesetzt gerichteten Reststrom verursachen. Bei Windstärken 1—2 Beaufort war die Geschwindigkeit 0.2—0.3 Sm/stde, bei 3 bis 4 Beaufort etwa $\frac{1}{2}$ Sm/stde! Das sind recht hohe Beträge, sie zeigen, ebenso wie die zahlreichen oben gegebenen Beispiele, in welch hohem Maße im Bereich der flämischen Bänke der Wind die Strömung beeinflußt. Es bestätigen diese durch Messungen gefundenen Tatsachen die Erfahrungen der flandrischen Fischer, die übereinstimmend die große Abhängigkeit der Strömungen vom Winde betonten, wie durch Befragen festgestellt wurde.¹⁾

Da im Bereich der flandrischen Küste westliche und südwestliche Winde überwiegen, ist der Reststrom im Mittel vom Kanal fortgerichtet. Hierfür liefern die am 2. Mai 1899 durch G. Gilson bei Feuerschiff „Westhinder“²⁾ ausgesetzten Flaschenposten den experimentellen Beweis. Es wurden an diesem Tage 50 Flaschen bei Beginn der Flut und 50 Flaschen bei Beginn der Ebbe ausgesetzt. Von diesen 100 Flaschenposten waren bis zum 31. Mai 1900, also im Laufe eines Jahres, 53 wieder ge-

¹⁾ Für die Gebiete in größerer Entfernung von der Küste geht das gleiche aus den Beobachtungen auf den Feuerschiffen Wandelaar, Wielingen und West-Hinder hervor, die M. Petit in methodisch und inhaltlich sehr beachtenswerten Arbeiten sorgfältig diskutiert hat in: Annales des travaux publics de Belgique, tome XLIX und LI, Bruxelles 1892 und 1894.

²⁾ G. Gilson, Exploration de la mer sur les côtes de la Belgique en 1899. Extrait des Mémoires du Musée royal d'histoire naturelle de Belgique. Tome I. Bruxelles 1900. Außer den oben erwähnten sind noch 400 Flaschenposten bei „Westhinder“ ausgesetzt worden, deren Bearbeitung aber noch nicht erschienen ist.

funden worden. Während der ersten zwei Wochen herrschten nordöstliche Winde und der Reststrom war kanalwärts gerichtet, wie fünf während dieser Zeit östlich von North-Foreland und bei Calais gefundene Flaschenposten beweisen. Die Strömungen haben zu dieser Zeit unter dem Einflusse ähnlicher meteorologischer Verhältnisse gestanden wie die meisten Schwimmkörpertriften in den Jahren 1916 und 1917. — Alle übrigen 48 Flaschenposten sind aber nordöstlich von Feuerschiff „Westhinder“ gefunden worden, drei im Meere, 43 an der Küste von Holland und der westfriesischen Inseln, eine bei den Halligen und eine bei Husum. Die meisten wurden im September an Land gespült, die letzten, von denen Nachricht kam, landeten in der zweiten Hälfte des Oktober 1899 an der schleswig-holsteinischen Westküste. Einen experimentellen Beweis in großartigem Umfange liefert die Natur selbst durch die langsame Verlagerung der Bänke vor der flandrischen Küste, die P. de Mey in einer umfangreichen Arbeit behandelt hat.¹⁾

3. Die schwachen Strömungen zur Zeit der Kenterung sind in ihrer Richtung den Einflüssen durch den Wind natürlich ganz besonders ausgesetzt und das Wechseln des Drehungssinnes der Stromänderung während des Kenterns dürfte außer von der Lage zu den Bänken in erster Linie auf die wechselnde Beeinflussung durch den Wind zurückzuführen sein.

III. Die Gezeitenströmungen in der Schelde zwischen Antwerpen und der holländischen Grenze.

1. Vorbemerkungen.

Zwei Gründe führten dazu, die hydrographischen Untersuchungen auf die Schelde auszudehnen, außer praktischen Gesichtspunkten vor allem der Wunsch, die an der Küste gewonnenen Erkenntnisse durch Beobachtungen auf einem Tidenfluß zu ergänzen. Zwar ließen sich diese räumlich und zeitlich nicht so umfangreich ausführen, wie es gewünscht wurde, doch war es dank der durch den Hafenkommandanten von Antwerpen Kontreadmiral Louran und den Vorstand des Strom- und Hafenbauamts Antwerpen Geh. Baurat Löwer (Hamburg) bereitwilligst gewährten Unterstützung dreimal möglich, je einen Zeitraum von etwa 14 Tagen umfassende Beobachtungsreihen auf der Schelde zu gewinnen. Innerhalb der vierzehntägigen Reihen wurden die Beobachtungen zu geeigneten Zeiten auf etwa einen Tag unterbrochen, um den Beobachtern eine Ruhepause zu geben. An den Beobachtungen haben sich in erster Linie bei den ersten beiden Reihen die Vermessungsmaate Förster und Palm, bei der dritten Reihe Ober-Vermessungssteuermann Exner mit Personal seiner Vermessungsgruppe beteiligt. Außerdem bin ich Herrn G. Knödel, Hamburg, der damals beim Strom- und Hafenbauamt in Antwerpen tätig war, wegen mancher Hilfeleistung zu Dank verpflichtet.

Die Strombeobachtungen wurden mit von der Firma Max Marx & Berndt, Berlin, gelieferten Ekman-Merz-Starkstrommessern ausgeführt. Trotz starker Belastung war es zur Zeit des ausgebildeten Flut- und Ebbstromes wegen zu großer Stromgeschwindigkeit nicht möglich, die Strommesser gänzlich horizontal zu halten²⁾, was für ein einwandfreies Arbeiten der Magnetnadel unbedingt Voraussetzung ist. Es wurde die Einrichtung getroffen, daß der Strommesser außer an der über die Winde und Meßrad laufenden Drahtlitze an einer Hanfleine befestigt war, mit welcher der Strommesser beim Abtreiben gegen den Strom soweit herangeholt wurde, daß die Litze einigermaßen senkrecht stand. Doch ließen sich Schwankungen um 5 bis 20° trotz ständiger Beaufsichtigung nicht vermeiden, da das Heranziehen mit der Hanfleine und die Feststellung des Drahtwinkels von verschiedenen Personen ausgeführt werden mußten. Diese Schwankungen ließen aber die Magnetnadel nicht zu einer ruhigen Einstellung kommen, sie bewirkten außerdem, daß die Nadel von der Fächereinteilung der Kompaßdose festgehalten

¹⁾ P. de Mey, Etude sur l'amélioration et l'entretien des ports en plage en sable et sur le régime de la côte de Belgique. 1 Band Text, 1 Band Atlas. Paris 1894.

²⁾ Das später eingeführte Gelenk am Halse des Strommessers, durch das auch bei größeren Geschwindigkeiten der Strommesser leicht wagerecht gehalten werden kann, war damals noch nicht eingeführt.

A. Aus der Beobachtungsreihe auf der Schelde querab Austruweel Juli—August 1917 abgeleitete Ergebnisse.

1. Flutstrom.

2. Ebbstrom.

B. Aus der Beobachtungsreihe auf der Schelde unterhalb Lillo (Oktober 1917) abgeleitete Ergebnisse.

Flutstrom

2. Ebhstrom.

B. Aus der Beobachtungsreihe auf der Schelde unterhalb Lillo (Oktober 1917) abgeleitete Ergebnisse.

1. Flintstrom

Mondalter	Tag 1917	Mittlere Dauer des über 1/2 Std. starken Stromes in Stunden	Größte erreichte Geschwindigkeit in m/sec.	Mittlere Geschwindig- keit während der gan- zen Dauer des Stromes in m/sec.				Durch die Flächeneinheit des Querschnitts während der ganzen Dauer des Stromes Wassermege in cbm				Durch die Flächeneinheit des Querschnitts während der ganzen Dauer des Stromes Wassermege in cbm				Mittlerer Salz- gehalt während der ganzen Dauer des Stromes (‰)	Durch die Flächen- einheit Querschnitts. See- hundurchström. Seewasser- menge von 35‰ in m ³						
				Ober- fläche	1 m über Grund	4 m Tiefe	1 m über Grund	Ober- fläche	4 m Tiefe	1 m über Grund	Ober- fläche	4 m Tiefe	1 m über Grund	Ober- fläche	4 m Tiefe								
10.	X.	6.1	5.4	5.4	1.07	0.96	0.94	0.72	0.69	0.61	15800	15100	13300	13.24	13.96	-	9.97	10.92	4460	4120			
11.	X.	6.1	5.7	5.4	0.65	0.61	0.47	0.53	0.45	0.37	11700	9900	8000	13.59	14.31	-	11.19	11.80	3690	2680			
12.	XIII.	6.0	5.4	6.1	1.15	0.97	0.77	0.67	0.69	0.49	14500	14900	10500	13.53	14.76	-	9.36	10.16	3850	3020			
13.	14.	10.	0	5.8	5.3	5.6	1.30	0.97	0.93	0.80	0.77	0.73	16800	16100	15900	12.68	13.37	-	6.93	7.57	3250	3270	
14.	16.	10.	II.	5.6	5.3	5.5	1.28	1.28	1.14	0.79	0.62	0.60	15900	12400	12000	11.20	13.91	-	7.30	8.04	3280	2730	
15.	18.	10.	II.	5.8	5.5	5.5	1.18	1.37	0.89	0.74	0.68	0.57	15500	14200	11900	11.04	14.02	-	6.79	7.62	2970	2560	
16.	19.	10.	III.	5.7	5.4	5.6	1.36	1.09	1.06	0.85	0.78	0.67	17500	15900	13700	11.24	13.12	-	7.72	8.52	3820	3300	
17.	19.	10.	III.	5.7	5.6	5.8	1.43	1.15	1.02	0.82	0.81	0.70	0.64	16900	14400	13000	11.25	13.22	-	7.02	7.31	3290	2690
18.	20.	10.	IV.	5.6	5.2	5.2	1.20	1.09	0.84	0.74	0.71	0.61	14900	14200	12900	11.11	13.22	-	7.36	8.35	3100	2910	
19.	24.	24.	VIII.	5.2	4.8	5.1	0.92	0.78	0.64	0.58	0.53	11900	10900	9900	9.69	10.72	-	6.24	6.90	2090	1920		
20.	25.	10.	IX.	6.5	5.3	5.0	1.08	0.89	0.79	0.67	0.59	0.44	15600	13800	10300	11.53	11.71	-	7.45	7.76	3280	2230	
				5.8	5.4	5.5							0.72	0.66	0.57								

2. Ebbstrom.

Tabelle 28.
C. Aus der Beobachtungsreihe auf der Schelde unterhalb Lillo (Juni—Juli 1918) abgeleitete Ergebnisse.

Flutstrom

wurde. Die Richtungsangaben erwiesen sich daher als unbrauchbar. Nachdem außerdem ein Strommesser infolge zu starker Belastung verloren gegangen war, wurde auf die Beobachtung der Stromrichtung ganz verzichtet. Dies konnte auch ohne große Bedenken geschehen, weil der Strom jedenfalls an der Oberfläche parallel der Stromrinne lief. Auf die Untersuchung von Einzelheiten, wie des Drehungssinnes vom Flut- zum Ebbstrom usw. mußte, von der Oberfläche abgesehen, verzichtet werden. Die Strombeobachtungen beschränkten sich also fast ganz auf das hier für die Schiffahrt wichtigste Element, die Stromgeschwindigkeit. Die zunächst vorhandenen Bedenken, ob diese auch bei größeren Geschwindigkeiten trotz nicht immer völlig vertikaler Lage des Propellers hinreichend genau sein würden, wurden durch Vergleichsmessungen mit dem Reelingslogg zerstreut, die bei den in der Oberfläche angestellten Parallelbeobachtungen völlige Uebereinstimmung ergaben, so daß die Beobachtungen der Stromgeschwindigkeit jedenfalls innerhalb der Genauigkeit der Reelingsloggmethoden genau sind. — Die Messungen mit dem Strommesser wurden fortlaufend nacheinander an der Oberfläche, in einer Mitteltiefe und 1 m über dem Grunde durchgeführt, so daß nach Ablauf etwa einer halben Stunde jeweils die neue Serie begann. Bei der letzten, der dritten Reihe, wurde nur an der Oberfläche und 1 m über dem Boden beobachtet.

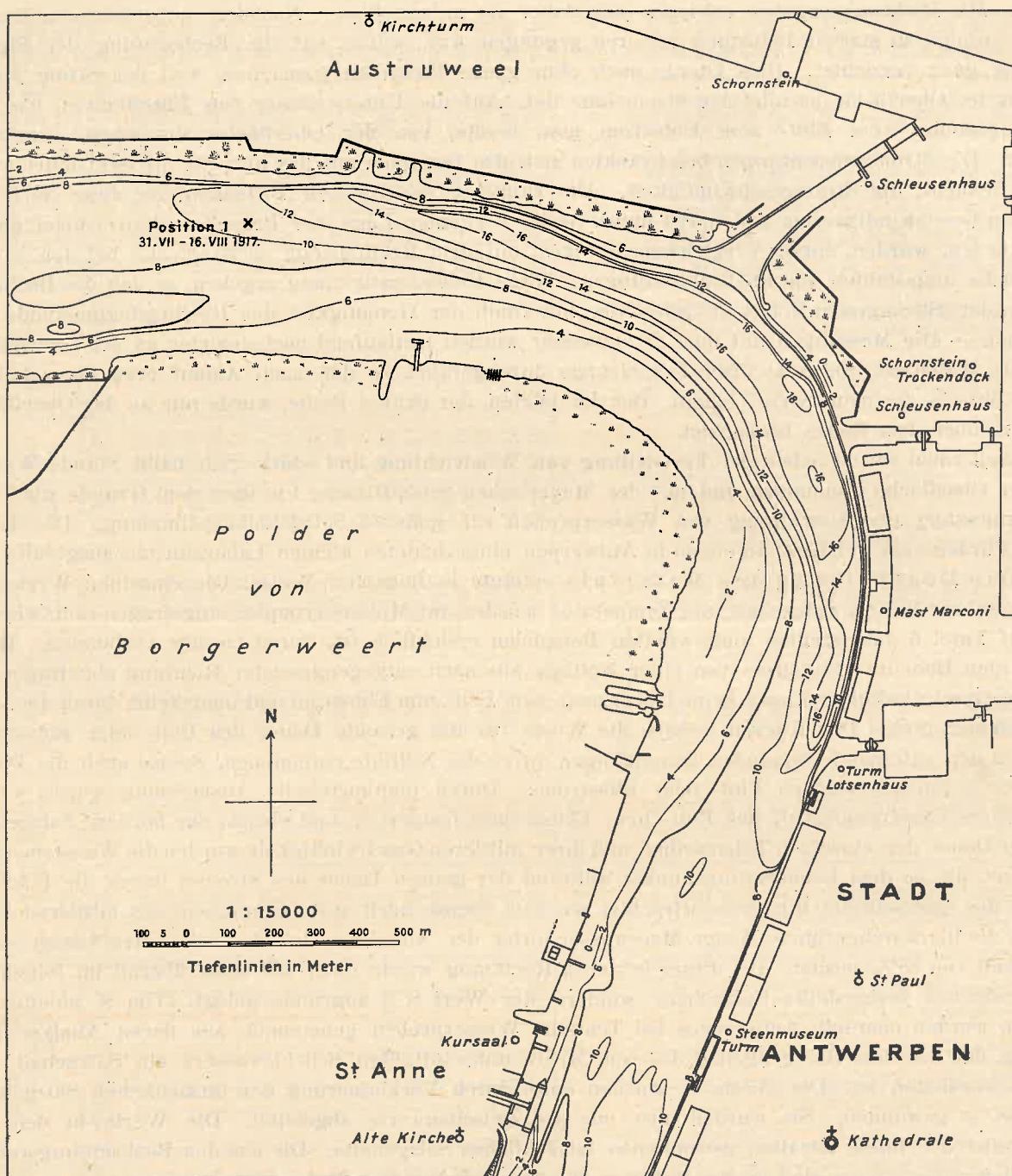
Außerdem wurde neben der Feststellung von Windrichtung und -stärke jede halbe Stunde Wasser von der Oberfläche genommen und mit der Meyer'schen Schöpfflasche 1 m über dem Grunde zur Temperaturmessung und Gewinnung von Wasserproben zur späteren Salzgehaltsbestimmung. Die Titrationen wurden vom Verfasser in einem in Antwerpen eingerichteten kleinen Laboratorium ausgeführt.

Die Bearbeitung des Materials erfolgte in folgender Weise: Die einzelnen Werte für Stromgeschwindigkeit, Salzgehalt und Temperatur wurden auf Millimeterpapier eingetragen und, wie aus den auf Tafel 5 dargestellten ausgewählten Beispielen ersichtlich ist, durch Gerade verbunden. Hierbei wurden Ebb- und Flutstrom von einer Nulllinie aus nach entgegengesetzter Richtung abgetragen, so daß die Geschwindigkeitskurve beim Uebergang vom Flut- zum Ebbstrom und umgekehrt durch die Nulllinie hindurchging. Den Kurven wurden die Werte für die gesamte Dauer des Flut- oder Ebbstroms zwischen den aufeinanderfolgenden Durchgängen durch die Nulllinie entnommen, ebenso auch die Dauer des über $\frac{1}{2}$ Sm/stde starken Flut- oder Ebbstroms. Durch planimetrische Ausmessung wurde weiter die mittlere Geschwindigkeit des Flut- bzw. Ebbstromes festgestellt und ebenso der mittlere Salzgehalt. Aus der Dauer der einzelnen Tidenströme und ihrer mittleren Geschwindigkeit wurden die Wassermengen abgeleitet, die an dem Beobachtungspunkte während der ganzen Dauer des Stromes durch die Flächen-einheit des Querschnitts hindurchverfrachtet wurden, ebenso auch unter Benutzung des mittleren Salzgehalts die hierdurch geführte Menge Meerwasser unter der Annahme, daß das reine Meerwasser einen Salzgehalt von 35‰ besitzt. Bei dieser letzteren Rechnung wurde nicht wie sonst überall im folgenden der tatsächlich festgestellte Salzgehalt, sondern der Wert S' ¹⁾ zugrunde gelegt. Um S' ableiten zu können, wurden oberhalb Antwerpens bei Temsche Wasserproben genommen, aus deren Analyse hervor ging, daß aus dem Halogengehalt des vom Meere unbeeinflußten Scheldewassers ein Salzgehalt von 0.08‰ abzuleiten ist. Die Werte S' wurden dann durch Verkleinerung der tatsächlichen Salzgehalte um 0.08‰ gewonnen. Sie wurden aber nur als Zwischenwerte abgeleitet. Die Werte in den Tabellen sind die durch Titration gewonnenen tatsächlichen Salzgehalte. Die aus den Beobachtungsreihen abgeleiteten Ergebnisse sind in den Tabellen 26—28 zusammengestellt.

2. Beobachtungsreihe auf der Schelde bei Austruweel unterhalb von Antwerpen vom 31. Juli bis 16. August 1917, bei Temsche am 16/17. August und bei Lillo am 19. August 1917.

Als erster Beobachtungsort (Position 1) wurde ein im Stromstrich gelegener Punkt auf der Schelde unterhalb von Antwerpen gewählt, genauer 1500 m unterhalb der Kattendyk-Schleuse und 170 m querab vom Deich des rechten Flußufers. Die Position ist auf Figur 7 verzeichnet. Die auf der Karte ange-

¹⁾ vergl. Martin Knudsen, Über die Bestimmung von S' , Meersalzgehalt des Brackwassers. Publications de circonference Nr. 56. Kopenhagen 1911.



Figur 7. Lauf der Schelde bei und unmittelbar unterhalb von Antwerpen.

(Die um 0.3 m vergrößerten Tiefenzahlen der Karte ergeben die Tiefen unter mittlerem Niedrigwasser).

gegebenen Tiefen sind das Ergebnis einer vom Strom- und Hafenbauamt Antwerpen im März 1916 durchgeföhrten Aufnahme. Die Karte wurde von Herrn Geh. Baurat Loewer freundlichst zur Verfügung gestellt, ebenso wie auch die Grundlage zur Figur 8. Der Punkt lag, in der Achse des Flusses gemessen, 75 km von Vlissingen entfernt. Die Tiefe war dort 10.8 m unter Antwerpener Null. Da dieses 0.3 m unter dem mittleren Niedrigwasser an der Kattendyk-Schleuse gelegen ist, betrug die Tiefe am Ort rund 11 m unter mittlerem Niedrigwasser. Das Hochwasser ist an der Kattendyk-Schleuse zur Spring-

zeit 5.2 m über Antwerpener Null, und es haben also die Tiefen an der Beobachtungsstelle etwa von 11 m bis 16 m geschwankt. Ein geeignetes Fahrzeug wurde vom Strom- und Hafenbauamt Antwerpen zur Verfügung gestellt und an der angegebenen Stelle verankert. Beobachtet wurde innerhalb folgender Zeiten:

1.	31. Juli 1917	6 ^{1/2} h V.	bis 1. August	6 ^{1/2} h V. (Mondalter 12)
2.	2. August	6 ^{1/2} h V.	" 3.	5 ^{1/2} h V. (" 13—0)
3.	4. "	9 ^{1/2} h V.	" 5.	7 ^{1/2} h V. (" 1—2)
4.	5. "	6 ^{1/2} h N.	" 7.	5 ^{1/2} h V. (" 2—4)
5.	8. "	7 ^{1/2} h V.	" 9.	7 ^{1/2} h V. (" 5—6)
6.	11. "	6 ^{1/2} h V.	" 13.	8 ^{1/2} h V. (" 8—10)
7.	15. "	6 ^{1/2} h V.	" 16.	7 ^{1/2} h V. (" 12—13)

Im Anschluß hieran wurde vom 17. August 8^{1/2} h V bis 18. August 2 h V (M. A. %) während einer vollen Tide bei Temsche, also oberhalb von Antwerpen beobachtet, halbwegs zwischen Antwerpen und Dendermonde. Weiterhin wurde ein Beobachtungspunkt weiter unterhalb von Antwerpen gewählt, und zwar 2000 m N 40° W von der Hafeneinfahrt nach Lillo und 550 m querab vom Deich am rechten Flussufer, also nördlich der Bank von Doel und dicht an der holländischen Grenze auf 12 m Tiefe; hier wurde am 19. August (M. A. 2) von 8^{1/2} h V bis 9 h N beobachtet (s. Figur 8).

An den ersten Beobachtungstagen herrschten westliche bis nördliche Winde bewirkt durch Teiltiefs, die von den Hoofden über Holland südostwärts zogen, am 2. und 3. August mäßige bis frische südwestliche Winde. Am 4. August wehten, durch ein südlich lagerndes Tief verursacht, südliche bis östliche Winde, am 5. August und den beiden folgenden Tagen wehten schwache Winde aus nordwestlicher bis nördlicher, am 8. und 9. schwache Winde aus südlicher bis östlicher Richtung. Vom 11. August ab bis zum Ende der Beobachtungen herrschte über der Nordsee, England und westlich England tiefer Druck, der schwache bis mäßige südliche und südwestliche Winde über dem Mündungsbereich der Schelde im Gefolge hatte. Fast ausschließlich herrschten nur schwache bis mäßige Winde. Die meteorologischen Verhältnisse waren also insofern günstig, als die astronomischen Ursachen der Wasserbewegungen einigermaßen rein in Erscheinung treten konnten.

Beobachtungen querab Austruweel.

(Vergl. Tabelle 26 und Tafel 5, Nr. 13.)

a) Dauer des Flut- und Ebbstromes.

Die nach der oben angegebenen Methode ermittelte Dauer des Flut- und Ebbstromes ergab im Mittel aller Beobachtungen 5.6 h für den Flutstrom und 7.0 h für den Ebbstrom. Eine Beziehung zum Mondalter ist angedeutet. Werden die Werte der Mondalter 1—3 und 8—10 zusammengefaßt, so ergeben sich für den Flutstrom die Zeiten 5.5 h und 5.8 h, für den Ebbstrom 7.1 h und 7.0 h, also der Flutstrom dauert zur Nippzeit etwa $\frac{1}{4}$ Stunde länger als zur Springzeit, die Dauer des Ebbstromes ändert sich in entgegengesetztem Sinne, aber weniger stark. Die vorliegende Beobachtungsreihe ist wegen ihrer Kürze nicht geeignet, eine verlässliche Abhängigkeit der Dauer des Tidenstromes vom Mondalter zu geben, zumal hier die meteorologischen Verhältnisse von starkem Einfluß sind. Da aber die Steig- und Falldauer an der Kattendyk-Schleuse in Antwerpen eine Abhängigkeit vom Mondalter im gleichen Sinne aufweist, können wir annehmen, daß auch längere Beobachtungsreihen obiges Ergebnis dem Charakter der Erscheinung nach bestätigen werden. M. Rochet¹⁾ gibt für Antwerpen die folgenden mittleren Werte:

Tabelle 29.

Mittlere Werte für Steig- und Falldauer sowie den Tidenhub bei Antwerpen nach M. Rochet.

(19jähriges Mittel)

Meridiandurchgang des Mondes ..	0 ³⁰	1 ³⁰	2 ³⁰	3 ³⁰	4 ³⁰	5 ³⁰	6 ³⁰	7 ³⁰	8 ³⁰	9 ³⁰	10 ³⁰	11 ³⁰
Mittlere Steigdauer.....h. min.	5 ¹²	5 ¹⁹	5 ²⁸	5 ²⁵	5 ²⁸	5 ³⁵	5 ³⁴	5 ³²	5 ²⁶	5 ³³	5 ²⁸	5 ²⁴
Mittlere Falldauer.....h. min.	7 ¹⁸	7 ⁰⁶	7 ⁰²	7 ⁰⁰	6 ⁵⁷	6 ⁵⁰	6 ⁵¹	6 ⁵³	6 ⁵⁹	6 ⁵²	6 ⁵⁷	7 ⁰¹
Mittlerer Tidenhub in m	4.62	4.64	4.62	4.52	4.36	4.11	3.88	3.77	3.92	4.19	4.39	4.52

¹⁾ M. Rochet, La marée dans l'Escaut. Des inégalités semimensuelles relatives aux heures et aux hauteurs. Annales des travaux publics de Belgique. 62. année II. Série, tome X. Bruxelles 1905.

Die Steigdauer ist zur Springzeit am kürzesten, zur Nippzeit treten die größten Werte auf, umgekehrt ist es mit der Falldauer. Im übrigen stimmen auch die Gesamtmittel der Steig- und Falldauer mit denen der Dauer des Flut- und Ebbstromes soweit überein, wie es sich bei der kurzen Dauer der Strombeobachtung erwarten läßt. Die mittlere Steigdauer ist 5.3 h (Flutstrom 5.6 h), die mittlere Falldauer 7.0 h (Ebbstrom 7.0 h).

b) Kenterndes Stromes.

Zwischen dem Flut- und Ebbstrom und umgekehrt ist einige Minuten hindurch völlige Stromstille, doch schnell erreicht der neue Strom nach seinem Einsetzen größere Geschwindigkeiten. Wird nun die Dauer des Flut- bzw. Ebbstromes von größerer Geschwindigkeit als $\frac{1}{2}$ Sm/stde betrachtet, so ergeben sich im Mittel für die Oberfläche folgende Werte: Flutstrom 5.1 h, Ebbstrom 6.8 h. Für beide zusammen ein um 0.7 h kleinerer Wert als sich als Summe der Gesamtdauer von Flut- und Ebbstrom ergibt¹⁾. Etwa 40 Minuten ist demnach im Laufe von $12\frac{1}{2}$ h der Strom schwächer als $\frac{1}{2}$ Sm. Die nähere Betrachtung des Beobachtungsmaterials zeigt, daß sich diese Zeit gleichmäßig auf das Kentern von Flut- zum Ebbstrom und umgekehrt verteilt, so daß für die Oberfläche gilt: Während der Kenterungszeiten tritt einige Minuten hindurch Stromstille ein und 20 Minuten lang bleibt der Strom schwächer als $\frac{1}{2}$ Sm.

Dicht über dem Boden ist die Zeit geringerer Stromstärke etwas länger. Als mittlere Dauer des über $\frac{1}{2}$ Sm starken Flutstromes ergibt sich wie für die Oberfläche 5.1 h, für den Ebbstrom nur 6.5 h, die Gesamtdauer des über $\frac{1}{2}$ Sm starken Stromes ist 11.6 h. Da die Gesamtdauer des Flut- und Ebbstromes 12.6 h beträgt, ist der Strom während einer Tide etwa 1 Stunde schwächer als $\frac{1}{2}$ Sm. Etwa 1 m über dem Boden bleibt der Strom zur Kenterungszeit ungefähr 30 Minuten schwächer als $\frac{1}{2}$ Sm.

c) Die Maximalwerte der Geschwindigkeiten (vergl. Tafel 5, Nr. 15).

Die größten Werte der Geschwindigkeiten traten zur Springzeit beim Flutstrom auf mit Werten von 1.7—1.8 m/sec, das entspricht einer Geschwindigkeit von etwa $3\frac{1}{2}$ Sm/stde. Da die meteorologischen Verhältnisse dem Flutstrom nicht besonders günstig waren, sollte man für den Ebbstrom die größten Stromgeschwindigkeiten erwarten, da dieser durch das Oberwasser gefördert wird; zur Nippzeit waren (wie die Figur zeigt) die Maximalwerte beim Ebbstrom größer. Faßt man die Mondalter 1—3 als Springzeit und 8—10 als Nippzeit zusammen, so ergeben die zu diesen Zeiten angestellten Beobachtungen als mittlere Maxima der Stromgeschwindigkeiten folgende Werte:

Tabelle 30.

Maxima der Stromgeschwindigkeit zur Spring- und Nippzeit.

	Oberfläche	6 m Tiefe	1 m über Grund
Flutstrom	Springzeit 1.59 m/sec = 3.1 Sm/stde	1.63 m/sec = 3.2 Sm/stde	1.13 m/sec = 2.2 Sm/stde
	Nippzeit 1.05 „ = 2.0 „	1.07 „ = 2.1 „	0.84 „ = 1.6 „
Ebbstrom	Springzeit 1.44 „ = 2.8 „	1.42 „ = 2.8 „	1.09 „ = 2.1 „
	Nippzeit 1.15 „ = 2.2 „	1.21 „ = 2.4 „	0.92 „ = 1.8 „

Der Gegensatz zwischen Spring- und Nippzeit ist hier wie auch bei den Kurven der maximalen Geschwindigkeit in der Figur stark ausgeprägt. Von der Oberfläche bis 6 m Tiefe nahm in der Regel das Maximum etwas zu, weiterhin bis zum Boden aber stark ab. Zur Springzeit betrugen die Höchstwerte der Geschwindigkeit 1 m über dem Boden etwa 75% der Oberflächenwerte, zur Nippzeit etwa 80%;

¹⁾ Aus längeren Beobachtungsreihen würde sich ohne Zweifel der Wert 12.4 für die Dauer einer ganzen Tide ergeben, hier wurde jedoch mit dem sich aus den vorliegenden Beobachtungen ergebenden Wert gerechnet.

es ist dies ein Beispiel dafür, daß mit wachsender Geschwindigkeit der Einfluß der Reibung am Boden wächst.

d) Mittlere Geschwindigkeiten (vergl. Tafel 5, Nr. 15).

Die Beziehung zwischen den Höchstwerten der Geschwindigkeit des Flut- und Ebbstromes zur Springzeit läßt bereits erkennen, daß die für die Navigation wichtigen Gipfelwerte der Geschwindigkeit über die tatsächlichen durch Flut und Ebbe sowie den Abfluß bewirkten Wasserbewegungen kein klares Bild geben. Besser tun dies die Werte für die mittlere Geschwindigkeit während der ganzen Dauer des Flut- und Ebbstromes. Bei diesen durch planimetrische Ausmessung gewonnenen Werten fallen Zufälligkeiten, die durch den zeitlichen Abstand der Einzelmessungen bedingt sind, weit weniger ins Gewicht. Die mittleren Geschwindigkeiten des Flut- und Ebbstromes sind an der Oberfläche zur Springzeit 0.92 und 1.05 m/sec. (1.8 und 2.0 Sm/stde), zur Nippzeit 0.65 und 0.83 m/sec (1.3 und 1.6 Sm/stde). Der Ebbstrom hat also auch zur Springzeit eine größere mittlere Geschwindigkeit als der Flutstrom; die Figur zeigt, daß dies bei allen Mondaltern der Fall ist. Ueber die Aenderung mit der Tiefe gibt Tabelle 31 Aufschluß:

Tabelle 31.

Mittlere Geschwindigkeit des Flut- und Ebbstromes zur Spring- und Nippzeit.

	Oberfläche	6 m Tiefe	1 m über Grund
Flutstrom {	Springzeit .. 0.92 m/sec = 1.8 Sm/stde	0.93 m/sec = 1.8 Sm/stde	0.66 m/sec = 1.3 Sm/stde
	Nippzeit 0.65 " = 1.3 "	0.68 " = 1.3 "	0.53 " = 1.0 "
Ebbstrom {	Springzeit .. 1.05 " = 2.0 "	1.00 " = 1.9 "	0.76 " = 1.5 "
	Nippzeit 0.83 " = 1.6 "	0.84 " = 1.6 "	0.71 " = 1.4 "

Vorwiegend scheint in 6 m Tiefe die Geschwindigkeit etwas größer zu sein als an der Oberfläche. In Nähe des Bodens beträgt zur Springzeit die Geschwindigkeit etwas über 70% der Geschwindigkeit an der Oberfläche, zur Nippzeit über 80 %. Also auch hier tritt wie bei den Höchstgeschwindigkeiten die Tatsache hervor, daß die Abnahme der Geschwindigkeit von der Oberfläche bis zum Boden prozentual umso stärker ist, je größer die absoluten Werte der Geschwindigkeit sind.

e. Durch Flut- und Ebbstrom verfrachtete Wassermengen.

Das in den mittleren Werten der Geschwindigkeit des Flut- und Ebbstromes hervortretende Überwiegen des letzteren ist tatsächlich noch größer als die Geschwindigkeitswerte anzeigen, da auch die Dauer des Ebbstromes größer ist als die des Flutstromes, die mittleren Werte waren 7.0 h und 5.6 h. Wenn also statt der mittleren Geschwindigkeiten die durch deren Multiplikation mit der Zeit errechneten durch die Flächeneinheit (1 m^2) des Querschnittes an dem Beobachtungspunkte hindurchverfrachteten Wassermengen betrachtet werden, tritt der Unterschied zwischen Flut- und Ebbstrom noch weit mehr hervor. Auf Tafel 5, Nr. 16 sind für die Oberfläche und 1 m über dem Boden die Wassermengen in ihrer Abhängigkeit vom Mondalter durch Kurven, die durch graphische Ausgleichung gewonnen wurden, dargestellt. Die durch den Flut- und Ebbstrom an der Oberfläche transportierten Wassermengen waren zur Springzeit: 18 800 und 27 400 cbm, zur Nippzeit: 13 300 und 20 700 cbm. Dicht über dem Boden waren die Wassermengen entsprechend der niedrigeren mittleren Geschwindigkeit geringer. Der Verlauf der Kurven zeigt die enge Abhängigkeit der transportierten Wassermengen vom Mondalter, eine Erscheinung, die nur infolge der günstigen meteorologischen Verhältnisse so gut hervortreten konnte. — Die Differenz zwischen den durch den Flut- und Ebbstrom beförderten Wassermengen ergibt die an der betreffenden Stelle des Querschnitts zum Abfluß gelangte Wassermenge. Aus dem parallelen Verlauf der Kurven in der Figur ist zu schließen, daß wie zu er-

warten die Abflußmenge unabhängig vom Mondalter ist. Außerdem geht aus den Kurven hervor, daß sich die Abflußbedingungen während der Beobachtungszeit nicht wesentlich geändert haben, sonst hätte sich dies in einem stärker abweichenden Verlauf der Kurven zeigen müssen. Der Abstand der beiden zur Darstellung gelangten Kurvenpaare zeigt, daß nicht nur die durch die Gezeitenkräfte bewirkten Wasserverfrachtungen durch die Reibung am Boden behindert werden, sondern auch die zum Abfluß gelangende Menge Scheldewassers. Während der Dauer einer vollen Tide wurden an der Oberfläche im Mittel etwa 8000 cbm Scheldewasser seewärts bewegt, 1 m über dem Boden nur etwa 5000 cbm, also nur etwa 65 %.

f. Salzgehalt.

Eine Beeinflussung durch Seewasser war während jeder Tide feststellbar. Die höchsten Salzgehalte traten zur Zeit des Kenterns vom Flut- zum Ebbstrom, die niedrigsten beim Kentern vom Ebb- zum Flutstrom auf. Die während der einzelnen Tiden erreichten Höchstwerte schwanken an der Oberfläche zwischen 2.65 und 0.28 ‰, 1 m über dem Boden zwischen 3.04 und 0.26 ‰, die niedrigsten Salzgehalte an der Oberfläche und am Boden zwischen 0.25 und 0.08 ‰. Die durch Planimetrierung festgestellten mittleren Salzgehalte während der Dauer der einzelnen Ebb- und Flutströme schwanken an der Oberfläche zwischen 1.12 und 0.11 ‰, in Nähe des Bodens zwischen 1.52 und 0.12 ‰. Weder bei den Extrem- noch bei den Mittelwerten ist irgend eine Abhängigkeit vom Mondalter erkennbar. Die vorhandenen Schwankungen des Grades der Beimischung mit Meerwasser während der einzelnen Tiden scheinen ganz von den meteorologischen Verhältnissen abhängig zu sein. Die westlichen bis nördlichen Winde der ersten Beobachtungstage scheinen Meerwasser in erhöhtem Grade in die Schelde getrieben zu haben, wofür die hohen Salzgehaltswerte an diesen Tagen sprechen. Am 4. 8. war der Salzgehalt bei südlichen bis östlichen Winden merklich niedriger; bei den schwachen Winden aus nordwestlicher bis nördlicher Richtung des 5. 8. und der beiden folgenden Tage blieb der Salzgehalt auf ähnlicher Höhe wie am 4. 8. Vom 11. 8. ab wurde das Meerwasser durch die südlichen und südwestlichen Winde offenbar stark zurückgetrieben, denn die Maximal- wie Mittelwerte des Salzgehalts waren wesentlich niedriger als vorher.

Betrachten wir die Menge des den jeweils durch den Flut- und Ebbstrom verfrachteten Wassermengen beigemischten reinen Meerwassers von 35 ‰, so tritt hier natürlich ebensowenig eine Abhängigkeit vom Mondalter und in gleicher Weise die Beeinflussung durch die meteorologischen Verhältnisse hervor wie bei den Salzgehaltswerten, obgleich in den insgesamt transportierten Wassermengen die Abhängigkeit von astronomischen Einflüssen stark hervortrat, wie oben ausgeführt wurde. Im Mittel wurden während der Beobachtungszeit die folgenden Seewassermengen durch den Flut- bzw. Ebbstrom transportiert:

Durch die Flächeneinheit des Querschnitts hindurchfließende Menge Seewasser von 35 ‰ in m³.

Oberfläche		1 m über Grund	
Flutstrom	Ebbstrom	Flutstrom	Ebbstrom
123	152	114	120

Die durch den Flutstrom flußaufwärts verfrachteten Mengen Meerwassers müssen im Mittel den durch den Ebbstrom flußabwärts transportierten gleich sein, denn es ist ja kein dauernder Transport von Seewasser landeinwärts vorhanden, ebenso wenig wird Seewasser vom Lande nach dem Meere befördert. Wenn trotzdem nach obigen Zahlen an der Oberfläche die durch den Ebbstrom beförderte Seewassermenge größer ist als die durch den Flutstrom bewegte, so ist dabei zu berücksichtigen, daß dies nur für einen Punkt an der Oberfläche des Querschnitts festgestellt ist und es ist anzunehmen, daß an anderen Stellen des Querschnittes das umgekehrte Verhältnis besteht.

g. Die Wassertemperaturen

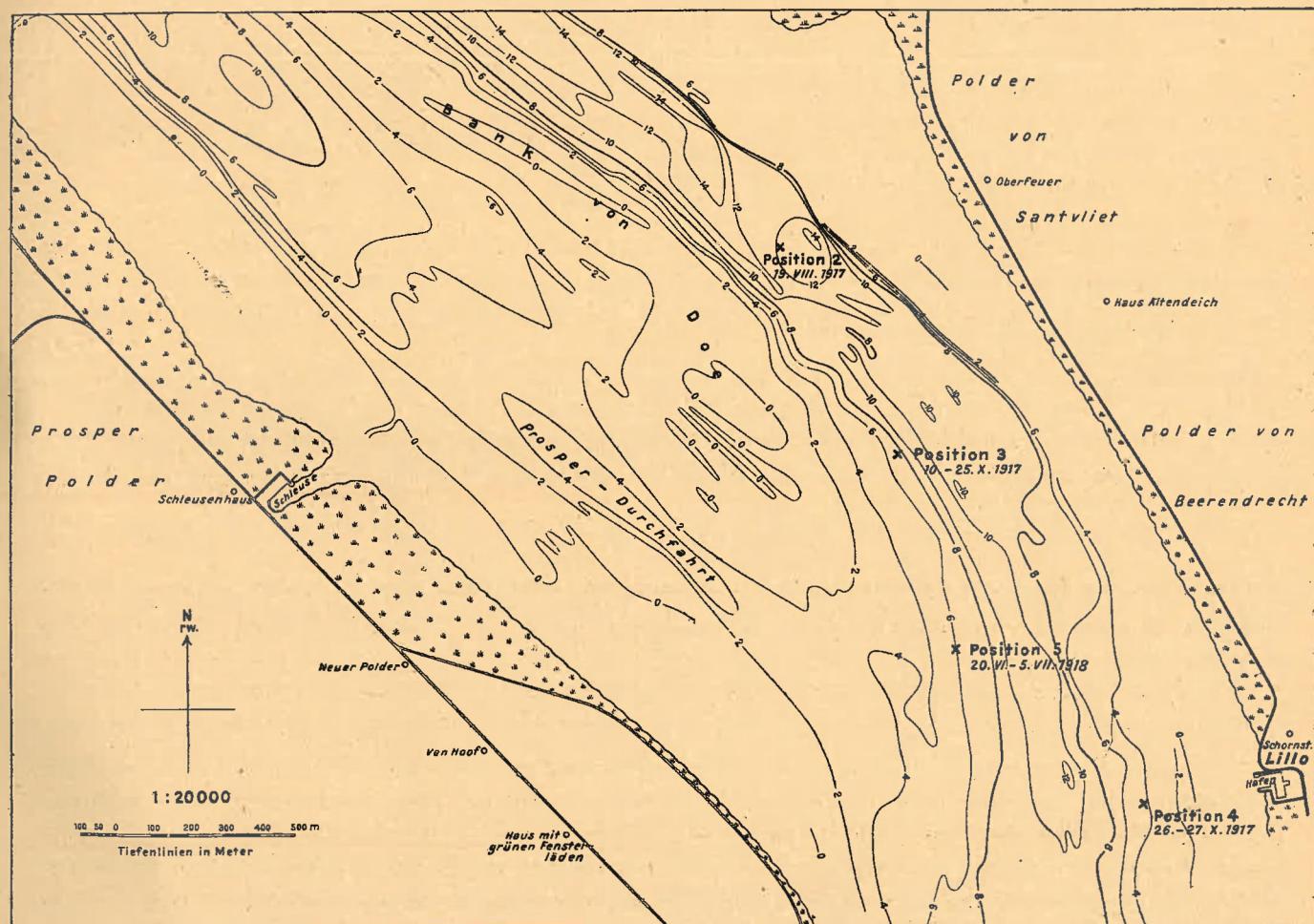
an der Oberfläche und am Boden schwankten zwischen 17.0 und 20.5°, die tägliche Amplitude zwischen 0.6 und 2.0°.

Beobachtungen bei Temsche (Tamise).

Die am 17. und 18. August während einer Tide ausgeführten Beobachtungen ergaben für den Flut- und Ebbstrom eine Maximalgeschwindigkeit von 1.4 m/sec = 2.7 Sm/stde. Die Dauer des Flutstromes läßt sich nicht genau angeben, da ein Kentern nicht einwandfrei erfaßt wurde. Der Ebbstrom dauerte 7.6 Stunden. Der Salzgehalt war an der Oberfläche und am Grunde während der ganzen Tide unverändert 0.08 ‰. Der diesem Werte zu Grunde liegende Chlorgehalt ist als dem Scheldewasser eigentümlich anzusehen und ist benutzt worden zur Ableitung der S'-Werte für die Berechnung der weiter flußabwärts im Scheldewasser vorhandenen Meerwassermenge. Die Wassertemperaturen bewegten sich zwischen 18 und 19.5°.

Beobachtungen bei Lillo.

Von dieser kurzen, am 19. August zur Springzeit (Mondalter 2) auf Position 2 (vergl. Figur 8) ausgeführten Beobachtungsreihe sei nur erwähnt, daß der Maximalwert der Geschwindigkeit für den Flutstrom 1.14 m/sec = 2.2 Sm/stde, für den Ebbstrom 1.46 m/sec = 2.8 Sm/stde betrug. Der Salz-



Figur 8. Lauf der Schelde bei und unterhalb von Lillo.

(Die um 0.3 m vergrößerten Tiefenzahlen der Karte ergeben die Tiefen unter mittlerem Niedrigwasser).

gehalt schwankte an der Oberfläche zwischen 7.03 und 1.80 ‰, 1 m über dem Boden zwischen 8.77 und 1.82 ‰. Die Wassertemperatur schwankte zwischen 18.6 und 19.1°.

3. Beobachtungsreihe auf der Schelde bei Lillo unweit der belgisch-holländischen Grenze vom 10.—27. Oktober 1917.

(vergl. Tabelle 27 und Tafel 5, Nr. 14).

Es wurde ein Beobachtungspunkt in der Nähe von der Beobachtungsstelle im August 1917 gewählt (vergl. Figur 8, Position 3). Er war 1400 m N 47° W von der Hafeneinfahrt nach Lillo gelegen und 550 m querab vom Deich am rechten Flußufer, also am Ostabhang der Bank von Doel und dicht an der holländischen Grenze. In der Achse des Flusses gemessen betrug die Entfernung bis Vlissingen etwas über 60 km. Die Tiefe war dort 7 m unter Antwerpener Null. Da der Springtidenhub bei Lillo etwa 5 m ist, schwankten die tatsächlichen Tiefen während der Beobachtungszeit etwa zwischen 7 und 12 m. Es wurde nicht genau im Stromstrich beobachtet, sondern am Westrande der Fahrtrinne. Die Maximaltiefe der Schelde im durch den Beobachtungspunkt gehenden Querschnitt betrug 10½ m (vergl. Figur 8). Beobachtet wurde während folgender Zeiten:

1.	10. Oktober 1917	3 ^h	N. bis	11. Oktober 4 ^h	N. (Mondalter 9/10)
2.	13.	"	11 ^h	V. "	14. " 11 ^h V. (" 12/13)
3.	15.	"	4 ^{1/2} ^b	N. "	16. " 4 ^h N. (" 13/0)
4.	17.	"	3 ^{1/2} ^b	N. "	20. " 4 ^{1/2} ^b N. (" 1/4)
5.	22.	"	7 ^{1/2} ^b	N. "	23. " 0 ^{1/2} ^b N. (" 6/7)
6.	24.	"	2 ^h	N. "	25. " 2 ^h N. (" 8/9)
7.	26.	"	4 ^h	N. "	27. " 9 ^h V. (" 10/11)

Über die meteorologischen Verhältnisse ist bei Behandlung des Salzgehaltes (vergl. S. 54) Näheres gesagt.

a. Dauer des Flut- und Ebbstromes.

Die mittlere Dauer des Flut- und Ebbstromes ist 5.8 und 6.7 Stunden, der Unterschied ist also der geringeren Entfernung vom Meere entsprechend bereits weniger stark als bei Austruweel. Die Werte zur Spring- und Nippzeit sind für den Flutstrom 5.7 und 6.0 Stunden, für den Ebbstrom 6.6 und 7.0 Stunden. Die für den Flutstrom angedeutete Abhängigkeit ist die gleiche wie sie bei Austruweel festgestellt wurde, der Ebbstrom verhält sich entgegengesetzt, wobei allerdings in Betracht zu ziehen ist, daß nur zwei Werte der Dauer des Ebbstroms zur Nippzeit zur Beobachtung gelangten, der Mittelwert für Nippzeit also besonders unsicher ist. Für Liefkenshoek, das an der Schelde gegenüber von Lillo gelegen ist, gibt M. Rochet¹⁾ die folgenden Werte für Steig- und Falldauer sowie für den Tidenhub.

Tabelle 32.

Mittlere Werte für Steig- und Falldauer sowie den Tidenhub bei Liefkenshoek nach M. Rochet (19jähriges Mittel).

Meridiandurchgang des Mondes ..	0.30	1.30	2.30	3.30	4.30	5.30	6.30	7.30	7.30	9.30	10.30	11.30
Mittlere Steigdauer.....h. min.	5.46	5.44	5.44	5.46	5.56	5.58	5.55	6.00	5.55	5.52	5.49	5.45
Mittlere Falldauer.....h. min.	6.39	6.41	6.41	6.39	6.29	6.27	6.30	6.25	6.30	6.33	6.36	6.38
Mittlerer Tidenhub m.....	4.93	4.94	4.94	4.77	4.61	4.37	4.11	3.95	4.07	4.28	4.63	4.82

Die Steigdauer hat ein Maximum zur Nippzeit, verhält sich also wie die Dauer des Flutstromes; die Falldauer hat ein Maximum zur Springzeit. Es ist anzunehmen, daß eine längere Strombeobachtungsreihe dieses Ergebnis auch für die Dauer des Ebbstromes haben würde, wie es bei den Beobachtungen in der Nähe von Antwerpen der Fall war. Die mittlere Steig- und Falldauer bei Liefkenshoek ist 5.8 und 6.6 Stunden, also nahe übereinstimmend mit der festgestellten Dauer des Flut- und Ebbstromes.

¹⁾ a. a. O.

b. Kenterndes Stromes.

Auch hier herrschte zur Stromkenterungszeit einige Minuten hindurch Stromstille und wurden danach schnell größere Stromgeschwindigkeiten erreicht. Die Dauer des über $\frac{1}{2}$ Sm starken Flutstromes betrug an der Oberfläche 5.4 h, 1 m über Grund 5.5 h, die Dauer des über $\frac{1}{2}$ Sm starken Ebbstromes 6.3 und 6.2 h. Während einer vollen Tide war der Strom demnach an der Oberfläche etwa 50 Minuten hindurch langsamer als $\frac{1}{2}$ Sm/stde. Im Mittel war der Strom zur Kenterung etwa 25 Minuten lang schwächer als $\frac{1}{2}$ Sm/stde.

c, d. Maximal- und Mittelwerte der Geschwindigkeiten.

Im Gegensatz zu den bei Austruweel festgestellten Tatsachen war hier die Geschwindigkeit des Ebbstromes nicht nur in den mittleren sondern auch in den Maximalwerten größer als die des Flutstromes (vergl. Tafel 5, Nr. 17). Die größten Geschwindigkeiten des Ebbstromes waren an der Oberfläche $1.64 \text{ m/sec} = 3.2 \text{ Sm/stde}$, die des Flutstromes $1.43 \text{ m/sec} = 2.8 \text{ Sm/stde}$. Die folgende Tabelle zeigt die gefundenen Geschwindigkeiten nach Spring- und Nippzeit getrennt für die verschiedenen Tiefen:

Tabelle 33.

Maxima und Mittelwerte der Geschwindigkeit des Flut- und Ebbstromes zur Spring- und Nippzeit.

1. Mittlere Maxima der Stromgeschwindigkeit.

	Oberfläche	4 m Tiefe	1 m über Grund
Flutstrom	Springzeit ... $1.32 \text{ m/sec} = 2.6 \text{ Sm/stde}$	$1.22 \text{ m/sec} = 2.4 \text{ Sm/stde}$	$1.00 \text{ m/sec} = 1.9 \text{ Sm/stde}$
	Nippzeit $0.93 \text{ " } = 1.8 \text{ " }$	$0.81 \text{ " } = 1.6 \text{ " }$	$0.71 \text{ " } = 1.4 \text{ " }$
Ebbstrom	Springzeit ... $1.57 \text{ " } = 3.0 \text{ " }$	$1.13 \text{ " } = 2.2 \text{ " }$	$0.96 \text{ " } = 1.9 \text{ " }$
	Nippzeit.... $1.22 \text{ " } = 2.4 \text{ " }$	$1.05 \text{ " } = 2.0 \text{ " }$	$0.69 \text{ " } = 1.3 \text{ " }$

2. Mittelwerte der Stromgeschwindigkeit.

	Oberfläche	4 m Tiefe	1 m über Grund
Flutstrom	Springzeit ... $0.80 \text{ m/sec} = 1.5 \text{ Sm/stde}$	$0.80 \text{ m/sec} = 1.5 \text{ Sm/stde}$	$0.62 \text{ m/sec} = 1.2 \text{ Sm/stde}$
	Nippzeit $0.64 \text{ " } = 1.2 \text{ " }$	$0.58 \text{ " } = 1.1 \text{ " }$	$0.49 \text{ " } = 1.0 \text{ " }$
Ebbstrom	Springzeit ... $1.02 \text{ " } = 2.0 \text{ " }$	$0.70 \text{ " } = 1.4 \text{ " }$	$0.63 \text{ " } = 1.2 \text{ " }$
	Nippzeit.... $0.77 \text{ " } = 1.5 \text{ " }$	$0.66 \text{ " } = 1.3 \text{ " }$	$0.47 \text{ " } = 0.9 \text{ " }$

Von der Oberfläche bis zu 4 m Tiefe nahm die Stromgeschwindigkeit sowohl in den Höchst- wie den Mittelwerten deutlich ab im Gegensatz zu den Beobachtungen in der Nähe von Antwerpen, wo in 6 m Tiefe der Strom entweder gleich oder sogar stärker war als an der Oberfläche. — Dicht über dem Boden war im Mittel die Stromgeschwindigkeit etwa 70% der an der Oberfläche vorhandenen. Eine Abhängigkeit der Änderung der Stromgeschwindigkeit mit der Tiefe von den absoluten Werten der Geschwindigkeit, die bei Austruweel deutlich erkennbar war, ließ sich hier nicht feststellen.

e. Durch Flut- und Ebbstrom verfrachtete Wassermengen.

Die Dauer des Ebb- und Flutstromes war bei Lillo weniger verschieden als in der Nähe von Antwerpen, aber gleichzeitig war die Geschwindigkeit des Ebbstromes in stärkerem Grade der des Flutstromes überlegen, so daß der Unterschied in der Menge des durch die Einheit des Querschnitts hindurchgeföhrten Wassers ähnlich dem bei Antwerpen festgestellten war. Ungefähr 7600 m^3 Wasser wurde durch den Ebbstrom mehr stromabwärts befördert als durch den Flutstrom flußaufwärts. Während einer

Tide gelangten also an der Oberfläche im Mittel durch die Einheit des Querschnitts 7600 m³ Scheldewasser zum Abfluß. Dicht über dem Boden nur etwa 2000 m³. Der parallele Verlauf der Kurven zeigt, daß die zum Abfluß gelangende Wassermenge während der ganzen Beobachtungszeit die gleiche war. Aber beachtenswert ist, daß hier dicht über dem Boden nur etwa 26% von der an der Oberfläche abfließenden Wassermenge zum Abfluß gelangten, in Nähe von Antwerpen war 65% gefunden worden!

f. Salzgehalt.

Eine Beeinflussung durch Meerwasser war immer nachweisbar. Die höchsten Salzgehalte zur Zeit des Kenterns vom Flut- zum Ebbstrom schwankten an der Oberfläche zwischen 13.59 und 9.69‰, 1 m über dem Grunde zwischen 14.76 und 10.72‰; die niedrigsten Salzgehalte zur Zeit des Kenterns vom Ebb- zum Flutstrom an der Oberfläche zwischen 6.98 und 2.00, dicht über dem Boden zwischen 7.76 und 2.03‰. Die mittleren Salzgehalte schwankten zwischen 11.19 und 5.86‰ an der Oberfläche und 11.80 und 6.21‰ 1 m über dem Boden. Auch hier war irgend eine Abhängigkeit vom Mondalter nicht erkennbar, dagegen erwiesen sich die meteorologischen Verhältnisse als von bestimmendem Einfluß. Die vom 8. bis zum 11. Oktober herrschenden, vorzugsweise frischen bis stürmischen West- bis Nordwestwinde, welche durch über der inneren Deutschen Bucht und dem Kattegat lagernde Tiefs veranlaßt waren, trieben offenbar Seewasser in die Schelde mündung hinein und bewirkten an der Beobachtungsstelle höhere Salzgehalte, im Maximum an der Oberfläche bis 18½‰. Am 12. verursachte ein über England lagerndes Tief südliche und südwestliche Winde, die ein niedrigeres Minimum des Salzgehalts am Ende der ersten Ebbe des 13. 10. zur Folge hatten. Durch am 13. 10. erneut auftretende West- und Nordwest-Winde und wechselnde schwache südliche bis nördliche Winde am 14. 10. wurde ein weiterer Abfluß von Seewasser aus der Schelde an diesen Tagen verhindert, der Salzgehalt hielt sich ungefähr auf gleicher Höhe. Vom 15. bis zum 24. 10. wehten über dem Mündungsbereich der Schelde schwache bis frische Winde aus südlichen Richtungen, die einem Abfluß des aufgestauten Meerwassers aus dem Unterlauf der Schelde günstig waren, der Salzgehalt nahm ständig ab bis zu 9.69‰ und 2.00‰ an der Oberfläche zu den Kenterungszeiten. Am 25. 10. morgens setzten stürmische Westwinde ein. Die einzige unter ihrem Einflusse stehende zur Beobachtung gelangte Halbtide (ein Flutstrom) wies bei der Kenterung zum Ebbstrom bereits eine Steigerung des Salzgehalts um etwa 2‰ auf, die Beobachtungen mußten dann leider wegen zu starken Sturmes abgebrochen werden (vergl. aber die Beobachtungen vom 26. und 27. Oktober).

Die Menge des durch den Flut- und Ebbstrom transportierten Seewassers von 35‰ war natürlich erheblich größer als dicht bei Antwerpen. Die mittleren Werte sind folgende:

Durch die Flächeneinheit des Querschnitts dicht der belgisch-holländischen Grenze hindurchfließende Menge Seewasser von 35‰ in m³.

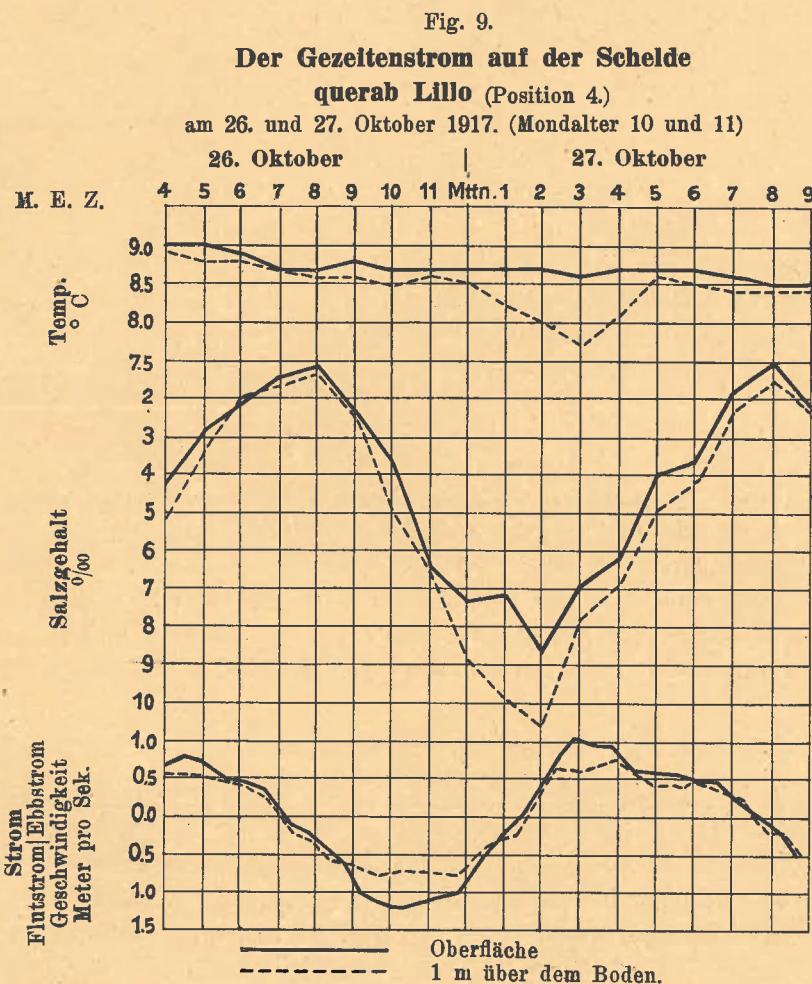
Flutstrom	Oberfläche		1 m über Grund	
	Flutstrom	Ebbstrom	Flutstrom	Ebbstrom
3370	4890		2860	3410

Auch hier war die durch den Ebbstrom beförderte Menge Seewasser zweifelsfrei größer als die durch den Flutstrom stromaufwärts geführte und zwar war diese Erscheinung hier noch weit ausgeprägter als in der Nähe von Antwerpen und sogar am Boden vorhanden.

g. Beobachtungen querab von Lillo am 26. und 27. Oktober 1917 (Position 4, vergl. Figur 8).

Auf Position 3 mußten die Beobachtungen am Nachmittag des 25. Oktober wegen zu starken Sturmes abgebrochen werden. Es gelang aber, das Schiff am Nachmittag des 26. Oktober etwa 300 m querab der Hafeneinfahrt nach Lillo auf 4½ m Tiefe erneut zu verankern. Die stürmischen West- bis Nordwestwinde waren vorüber, es herrschten während der Beobachtungszeit frische bis mäßige SW-Winde.

Der Flutstrom erreichte sowohl an der Oberfläche wie am Grunde größere Geschwindigkeiten als der Ebbstrom (s. Figur 9), und zwar war dies sowohl bei den Maxima der Fall wie auch bei den mittleren Werten. Da außerdem beide fast gleiche Dauer hatten (Flutstrom 6.2 h, Ebbstrom 6.3 h), so wurde an dieser Stelle mehr Wasser stromauf als stromab geführt. Trotz des hier noch fortdauernden Aufstaus und trotz des zweifellos in der ganzen unteren Schelde am 25. bewirkten Aufstaus, der sich wie erwähnt bei Position 3 bereits durch Erhöhung des Salzgehalts kenntlich machte, war hier in größerer



Nähe des Ufers der Salzgehalt nur niedrig, das Maximum betrug an der Oberfläche nur $8\frac{1}{2}\text{ ‰}$ am Grunde $10\frac{1}{2}\text{ ‰}$. Am Ende der Ebbe sank er bis auf 1 ‰ . Trotz des unmittelbar vorhergehenden Aufstaus hatte der Salzgehalt hier so niedrige Werte, wie sie auf Position 3 während der ganzen Beobachtungsreihe nicht erreicht wurden. Dies läßt darauf schließen, daß die Entfernung vom Ufer und die Lage zum Stromstrich von großem Einfluß auf die Höhe des Salzgehalts sind. — Eine geplante Untersuchung über die Änderung der hydrographischen Verhältnisse in der Schelde bei Lillo mit der Entfernung vom Ufer konnte leider nicht mehr zur Durchführung kommen. —

h. Die Wassertemperaturen an der Oberfläche und am Grunde schwankten zwischen 9.0° und 13.0° , die tägliche Amplitude zwischen 0.4 und 1.6° .

4. Beobachtungsreihe auf der Schelde bei Lillo unweit der belgisch-holländischen Grenze vom 20. Juni bis 5. Juli 1918.

Der Beobachtungspunkt, Position 5 (vergl. Figur 8), war aus äußeren Gründen nicht ganz der gleiche wie im Oktober 1917. Er lag auf $6\frac{1}{2}$ m Wassertiefe 900 m in N $65^{\circ}W$ von der Einfahrt nach Lillo und 700 m vom Deich des rechten Flußufers entfernt. Bei einem Springtidenhub von 5 m schwankte die Tiefe also zwischen $6\frac{1}{2}$ und $11\frac{1}{2}$ m. Beobachtet wurde während folgender Zeiten:

1. 20. Juni 1918 9^h V. — 22. Juni 11^b V. (Mondalter $\frac{10}{12}$)
2. 25. „ 8^h V. — 27. „ 9^h N. („ $\frac{1}{3}$)
3. 29. „ 9^h V. — 30. „ 10^h V. („ $\frac{5}{6}$)
4. 2. Juli „ 8^h V. — 5. Juli 10^h V. („ $\frac{8}{11}$)

Dieses Mal beschränkten sich die Beobachtungen ganz auf die Oberfläche und 1 m über dem Boden.

a. Dauer des Flut- und Ebbstromes.

Die Dauer von Flut- und Ebbstrom waren noch mehr angeglichen als im Vorjahr. 6.0 und 6.5 Stunden sind die Mittelwerte. Die Werte zur Spring- und Nippzeit sind für den Flutstrom 5.7 und 6.1 Stunden, für den Ebbstrom 6.7 und 6.3 Stunden. Die Abhängigkeit ist während dieser Beobachtungsperiode also gleich der bei den Strombeobachtungen in der Nähe von Antwerpen festgestellten und gleich der aus den von M. Rochet veröffentlichten Werten für die Steig- und Falldauern zu folgernden.

b. Kentern des Stromes.

Auch diesmal wurde während des Kenterns einige Minuten währende völlige Stromstille beobachtet. Das Anwachsen zu größeren Geschwindigkeiten erfolgte etwas langsamer. Die Dauer des über $\frac{1}{2}$ Sm starken Flutstromes betrug an der Oberfläche 5.4, am Grunde 5.1 Stunden, des Ebbstromes 5.8 und 5.9 Stunden. Während einer Tide war der Strom also an der Oberfläche 1.3, dicht über dem Boden 1.5 Stunden schwächer als $\frac{1}{2}$ Seemeile, bei jeder Kenterung also an der Oberfläche etwa 40, am Boden 45 Minuten hindurch, demnach $\frac{1}{4}$ Stunde länger als während der Beobachtungsperiode des Vorjahrs.

c, d. Maximal- und Mittelwerte der Geschwindigkeit.

(vergl. Tafel 5, Nr. 19).

Die größten beobachteten Geschwindigkeiten traten zur Springzeit auf und zwar an der Oberfläche beim Flutstrom mit $1.55 \text{ m/sec} = 3.0 \text{ Sm/stde}$, beim Ebbstrom mit $1.94 \text{ m/sec} = 3.8 \text{ Sm/stde}$. Dies ist die größte während der drei Beobachtungsperioden überhaupt gemessene Geschwindigkeit. Die mittleren Werte für Spring- und Nippzeit für Oberfläche und 1 m über dem Boden gibt folgende Tabelle.

Tabelle 34.

Maxima und Mittelwerte der Geschwindigkeit des Flut- und Ebbstromes zur Spring- und Nippzeit.

1. Mittlere Maxima der Geschwindigkeit.

	Oberfläche	1 m über Grund
Flutstrom {	Springzeit ... 1.31 m/sec = 2.5 Sm/stde	1.06 m/sec = 2.0 Sm/stde
	Nippzeit 1.30 „ = 2.5 „	0.92 „ = 1.8 „
Ebbstrom {	Springzeit ... 1.76 „ = 3.4 „	1.14 „ = 2.2 „
	Nippzeit 1.49 „ = 2.9 „	0.93 „ = 1.8 „

2. Mittelwerte der Stromgeschwindigkeit.

	Oberfläche	1 m über Grund
Flutstrom	Springzeit ... 0.76 m/sec = 1.5 Sm/stde	0.61 m/sec = 1.2 Sm/stde
	Nippzeit 0.82 " = 1.6 "	0.51 " = 1.0 "
Ebbstrom	Springzeit ... 1.07 " = 2.1 "	0.68 " = 1.3 "
	Nippzeit 0.93 " = 1.8 "	0.63 " = 1.2 "

Auffallend ist bei dieser Beobachtungsreihe, daß der Flutstrom zur Nippzeit nicht schwächer war als zur Springzeit, im Gegenteil war die mittlere Geschwindigkeit des Flutstromes zur Nippzeit sogar größer. Beim Ebbstrom und dicht über dem Boden auch beim Flutstrom trat dagegen wie bei den früheren Beobachtungen die halbmonatliche Ungleichheit deutlich hervor. Die Geschwindigkeit am Boden betrug 60—80% von der an der Oberfläche festgestellten.

Die Ursache für die abnorm großen Geschwindigkeiten des Flutstroms zur Nippzeit sind die meteorologischen Verhältnisse. Zur Springzeit (25.—27. 6.) wehten schwache bis mäßige Winde aus wechselnden Richtungen, die festgestellten Verhältnisse dürften den mittleren annähernd entsprechen. Zur Nippzeit (2.—4. 7.) wehten beständige mäßige bis starke nördliche Winde, welche den Flutstrom förderten und, wie die Betrachtung des Salzgehalts zeigen wird, Meerwasser in erhöhtem Maße in die Flußmündung hineintrieben. Diese Beeinflussung durch den Wind trat an der Oberfläche sehr stark, am Boden aber fast gar nicht mehr hervor. Die Verwischung der halbmonatlichen Ungleichheit beim oberflächlichen Flutstrom infolge der meteorologischen Verhältnisse ist eine Bestätigung für die Behauptung von L. van Brabandt:¹⁾ „L'action du vent sur les marées est considérable, à tel point que les niveaux extrêmes mensuels des marées hautes et des marées basses relèvent principalement de cette influence, et non des causes astronomiques, du moins dans la partie d'aval des rivières.“

e. Durch Flut- und Ebbstrom verfrachtete Wassermengen (vergl. Tafel 5, Nr. 20).

Die in der Nippzeit durch den Flutstrom flußaufwärts beförderte Wassermenge war infolge der geschilderten abnormen Witterungsverhältnisse ungefähr gleich der durch den Ebbstrom flußabwärts transportierten (vergl. Tabelle 28). Der Abfluß war also an der Oberfläche fast völlig unterbunden, wenigstens an der betrachteten Stelle des Querschnitts. In der Tiefe dagegen fand Abfluß statt.²⁾ Um zu einem annähernd normale Verhältnisse darstellenden Kurvenpaar zu kommen, wurde zunächst die Kurve entworfen, welche die durch den Ebbstrom beförderten Wassermengen in ihrer Abhängigkeit vom Mondalter darstellt und die zweite Kurve für den Flutstrom in annähernd dem Abstande gezeichnet, wie er durch die Beziehungen zwischen Flut- und Ebbstrom zur Springzeit gegeben sind (Tafel 5, Nr. 20). Es wurde hierbei die aus den beiden früheren Beobachtungsreihen bereits bekannte Tatsache benutzt, daß die zum Abfluß gelangende Wassermenge vom Mondalter unabhängig ist. Das die Abfluß-

¹⁾ L. van Brabandt, Récapitulations annuelles et décennals des observations de marées faites dans le service spécial de l'Escaut maritime et de ses affluents soumis à la marée pendant la période 1901—1910. Annales des travaux publics de Belgique 69. année II. Série, tome XII. Bruxelles 1912.

²⁾ Bei entsprechender Wetterlage kann natürlich auch durch den Flutstrom mehr Wasser stromaufwärts geführt werden als durch den Ebbstrom in entgegengesetzte Richtung. Dies war z. B. bei der bis 1908 größten Sturmflut vom 12. März 1906 der Fall. Damals betrug das Hochwasser bei Lillo 7.4 m (5.1), bei Antwerpen 7.2 m (5.2), bei Temsche 6.8 m (5.0), (in Klammern ist die Höhe des mittleren Springhochwassers gegeben). Große Ueberschwemmungen waren die Folge. Beachtenswerte kartographische Darstellungen der Ueberschwemmungen sind gegeben in: H. Gellens, L. van Brabandt, J. Melotte, A. Weyts, J. Pierrot. La Marée-Tempête du 12 mars 1906 dans le Bassin de l'Escaut maritime. Annales des travaux publics de Belgique 65. année, II. série, tome XIII. Bruxelles 1908.

verhältnisse in Nähe des Bodens darstellende Kurvenpaar wurde in engster Anlehnung an die tatsächlichen Beobachtungen gezeichnet. An der Oberfläche gelangten während einer Tide etwa 8000 m^3 zum Abfluß, am Boden etwas über 30 % davon, nämlich 2500 m^3 . Es wurden also die gleichen Verhältnisse festgestellt wie im Vorjahr.

f. Salzgehalt.

Die höchsten Salzgehalte während der einzelnen Tiden schwankten an der Oberfläche zwischen 16.42 und 14.25‰, am Boden zwischen 17.50 und 15.35‰, die niedrigsten Salzgehalte an der Oberfläche zwischen 9.43 und 7.55‰, am Boden zwischen 10.23 und 7.94‰. Die mittleren Salzgehalte schwankten zwischen 13.19 und 11.01‰ an der Oberfläche und zwischen 13.89 und 11.72‰ am Boden. Der Einfluß der vorherrschenden Winde auf die Höhe des Salzgehalts trat wieder deutlich hervor. Die zu Beginn der Beobachtungen schwachen bis mäßigen nördlichen bis westlichen Winde frischten am 21. 6. auf und brachten eine Erhöhung des Salzgehalts. Nach Zurückdrehen des Windes am 22. herrschten am 23. 6. starke nordwestliche Winde, der Salzgehalt nahm weiter zu. Vom 25. 6. bis 2. 7. wehten schwache bis mäßige Winde aus wechselnden Richtungen, der Salzgehalt nahm ab und blieb auch niedriger als am 23. 6. In den letzten Beobachtungstagen, am 3. und 4. Juli, wehten mäßige bis starke nördliche Winde, die wie oben erwähnt den Flutstrom förderten und den Salzgehalt erhöhten. Am 5. Juli war die Windstärke geringer, es wehten schwache westliche Winde, der Salzgehalt nahm ab, wie an dem festgestellten niedrigeren Salzgehalt zur Kenterungszeit von Ebb- zum Flutstrom am Morgen des 5. Juli nachweisbar ist.

Die Menge des transportierten Seewassers geht aus folgender Tabelle 35 hervor:

Tabelle 35.

Durch die Flächeneinheit des Querschnitts bei Beobachtungsstelle 5 hindurchfließende Menge Seewasser von 35 ‰ in m^3 :

Oberfläche		1 m über Grund	
Flutstrom	Ebbstrom	Flutstrom	Ebbstrom
5990	8050	4490	5690

Die durch den Ebbstrom beförderte Seewassermenge war auch hier größer als die durch den Flutstrom flußaufwärts gebrachte.

g. Die Wassertemperaturen

bewegten sich zwischen 17.8 und 14.3° , die Tagesamplituden zwischen 1.2 und 2.4° .

5. Zusammenfassung der wichtigsten Erscheinungen.

Die Haupttatsachen der Änderungen des Wasserstandes in dem von den Gezeiten beherrschten Mündungsgebiet der Schelde sind nach den von L. van Brabandt¹⁾ veröffentlichten Mittelwerten in folgender Tabelle zusammengestellt und zwar für die Orte Lillo, Antwerpen (Kattendyk), Temsche (Tamise), Gentbrügge, die in der Achse des Flußlaufes gemessen etwa 63, 77, 98, 160 km von der Mündung der Schelde bei Vlissingen entfernt sind.

¹⁾ L. van Brabandt, Récapitulations annuelles et décennales des observations de marées faites dans le service spécial de l'Escaut maritime et de ses affluents soumis à la marée pendant la période 1901—1910. in: Annales des Travaux publics de Belgique 69. année, II. Serie, tome XII. 1912, Bruxelles 1912.

Tabelle 36.

Grundwerte der Gezeiten für Lillo, Antwerpen, Temsche, Gentbrügge am Unterlauf der Schelde im Mittel der Jahre 1901—1910 nach L. van Brabandt.

	Lillo	Antwerpen (Kattendyk)	Tamise	Gentbrügge
Mittleres Hochwasser.....	4.78 m	4.80 m	4.71 m	4.38 m
Mittleres Niedrigwasser.....	0.29 m	0.31 m	0.48 m	2.80 m
Verspätung des Hochwassers gegenüber H. W. von Vlissingen	2 ^h 1 ^m	2 ^h 20 ^m	3 ^h 15 ^m	6 ^h 31 ^m
Verspätung des Niedrigwassers gegenüber N. W. von Vlissingen.....	2 ^h 15 ^m	2 ^h 52 ^m	3 ^h 59 ^m	8 ^h 58 ^m
Mittlere Steigdauer	5 ^h 39 ^m	5 ^h 23 ^m	5 ^h 10 ^m	3 ^h 28 ^m
Mittlere Falldauer.....	6 ^h 46 ^m	7 ^h 2 ⁿ	7 ^h 15 ^m	8 ^h 57 ^m
Mittlerer Tidenhub.....	4.49 m	4.49 m	4.23 m	1.58 m
Höchstes Hochwasser	12. 3. 06 7.36 m	12. 3. 06 7.15 m	12. 3. 06 6.85 m	26. 1. 10 27. 1. 10 } 5.57 m 28. 2. 10 }
Niedrigstes Hochwasser.....	2. 2. 02 2.73 m	2. 2. 02 2.73 m	15. 1. 05 2.74 m	14. 10. 10 2.79 m
Höchstes Niedrigwasser.....	28. 1. 01 3.30 m	28. 1. 01 3.27 m	28. 1. 01 3.30 m	27. 1. 10 5.45 m
Niedrigstes Niedrigwasser.....	29. 12. 08 -0.73 m	29. 12. 08 -0.75 m	29. 12. 08 -0.58 m	25. 8. 01 1.55 m
Springzeit { Mittl. Hochwasser.....	5.14 m	5.15 m	5.02 m	4.55 m
Springzeit { Mittl. Niedrigwasser.....	0.16 m	0.19 m	0.46 m	2.86 m
Springzeit { Mittl. Hub	4.98 m	4.96 m	4.56 m	1.69 m
Nippzeit { Mittl. Hochwasser.....	4.33 m	4.37 m	4.29 m	4.14 m
Nippzeit { Mittl. Niedrigwasser.....	0.49 m	0.47 m	0.50 m	2.67 m
Nippzeit { Mittl. Hub	3.84 m	3.60 m	3.79 m	1.47 m

Die Eintrittszeit der extremen Wasserstände verspätet sich flußaufwärts immer mehr, und zwar nimmt die Verspätung beim Niedrigwasserstärker zu als beim Hochwasser. Beträgt bei Lillo noch der Unterschied der Verspätungen von Hoch- und Niedrigwasser 14 min, so bei Antwerpen schon 32, bei Temsche 44, bei Gentbrügge 147 min. Das gleiche ist nach den vorliegenden Beobachtungen mit der Eintrittszeit des Flut- und Ebbstromes der Fall. Während der ersten und dritten Beobachtungsreihe wurden durch einen Selbstschreibpegel bei Lillo Aufzeichnungen des Wasserstandes ausgeführt. Es konnten daher die Eintrittszeiten der extremen Wasserstände in Lillo mit den Zeitpunkten des Beginns des jeweiligen Ebb- und Flutstromes verglichen werden. Das Ergebnis ist in Tabelle 37 zusammengestellt. Bei der geringen Entfernung des Pegels bei Lillo von der Strombeobachtungsstelle der dritten Serie (Position 5, s. Figur 8) sind die Werte für die horizontale und die vertikale Bewegung des Wassers mit hinreichender Genauigkeit als für den gleichen Ort gewonnen zu betrachten.

Eine Abhängigkeit der Verspätung vom Mondalter ist hieraus nicht zu erschließen. Im Mittel setzte bei Lillo der Flutstrom $\frac{1}{2}$ Stunde nach Niedrigwasser, der Ebbstrom $\frac{3}{4}$ Stunden nach Hochwasser am Ort ein. Für Austruweel ergab sich, daß der Flutstrom 66 min nach dem Niedrigwasser in Lillo, der Ebbstrom 65 min nach dem Hochwasser in Lillo einzettete. Aus den in Tabelle 36 gegebenen Mittelwerten von van Brabandt ist zu entnehmen, daß das Hochwasser in Antwerpen 19 min und das Niedrigwasser 37 min später als in Lillo eintritt. Benutzen wir dies, so können wir mit hinreichender Genauigkeit die auf Lillo bezogenen Angaben auf Antwerpen umrechnen. Wir finden dann, daß während der Strombeobachtungsreihe bei Austruweel der Flutstrom $\frac{1}{2}$ Stunde nach Niedrigwasser am Ort und der Ebbstrom $\frac{3}{4}$ Stunden nach Hochwasser am Ort begann. Die Verspätungen des Beginns von Flut- und Ebbstrom gegenüber dem Eintritt von Niedrig- und Hochwasser am Ort waren also bei Lillo und Austruweel annähernd gleich. Daß dies jedoch nicht überall auf der Schelde der Fall ist, können wir einer weiteren Untersuchung von L. van Brabandt entnehmen.

Tabelle 37.

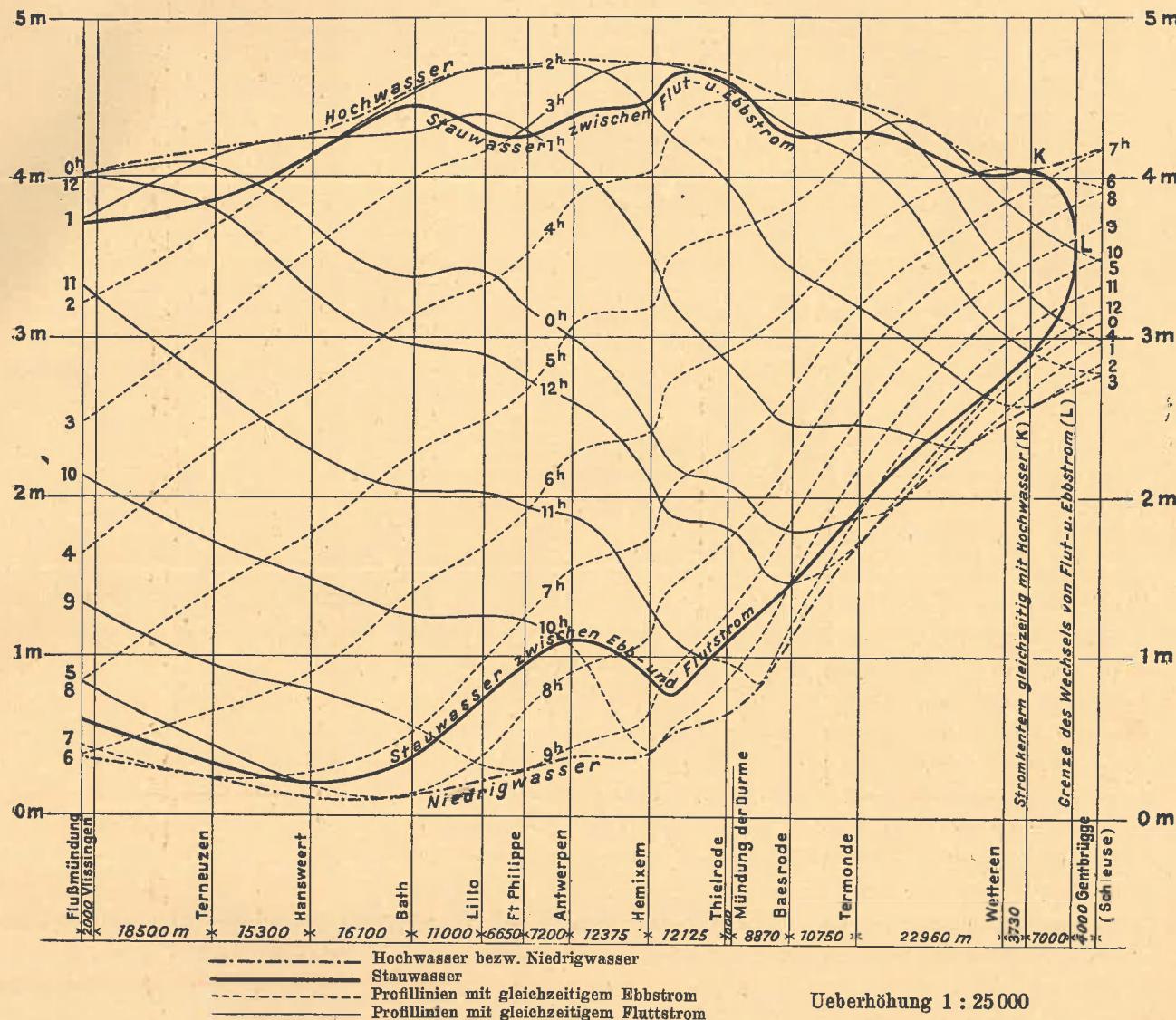
Verspätung des Beginns von Flut- und Ebbstrom auf der Schelde bei Lillo (Position 5) und bei Austruweel (Position 1) gegenüber dem Niedrig- und Hochwasser der Schelde bei Lillo.

Mondalter	1. Bei Lillo vom 20. Juni—5. Juli 1918		2. Bei Austruweel vom 31. 7.—16. 8. 1917	
	Verspätung des Beginns vom		Verspätung des Beginns vom	
	Flutstrom gegenüber dem Niedrigwasser bei Lillo	Ebbstrom gegenüber dem Hochwasser bei Lillo	Flutstrom gegenüber dem Niedrigwasser bei Lillo	Ebbstrom gegenüber dem Hochwasser bei Lillo
0	35	40	100	60
1	25	25	60	70
2	50, 30	60, 35	60, 60	50, 70
3	30, 35	45, 40	65	75
4	—	—	60	70
5	25	60	70	70
6	25	45, 40	60	60
7	—	—	—	—
8	35	35	60, 35	60
9	35, 35	65, 60	65, 70	60, 60
10	25, 55, 40	30, 70, 60	75	65
11	35, 55	20, 46, 40	—	—
12	30, 25	45	70, 80, 65	65, 70
13	35	55	65, 70	80, 70
Mittel:	35 Minuten	46 Minuten	66 Minuten	65 Minuten

Van Brabandt hat den Zeitpunkt des Stromkenterns vom Flut- zum Ebbstrom und umgekehrt sowie die Beziehung zum Hoch- und Niedrigwasser am Ort für das ganze Gebiet von Vlissingen bis Gentbrügge näher untersucht.¹⁾ Das interessante Ergebnis sei in Figur 10 nach einer von v. Brabandt selbst gegebenen Darstellung wiedergegeben. Um diese zu erhalten, wurden auf den für die einzelnen Orte gezeichneten Ordinaten bei den jeweils erreichten Wasserständen die Zeiten angegeben, wann sie erreicht wurden und zwar in Stunden nach Hochwasser in Vlissingen. Durch Interpolation konnten dann die Linien des in den einzelnen Stunden nach Hochwasser bei Vlissingen von der Oberfläche eingenommenen Niveaus gezeichnet werden. Weiterhin wurden die Momente des Stromkenterns eingetragen und durch eine Linie verbunden. Aus dem Kurvenverlauf geht in Übereinstimmung mit dem oben Ausgeföhrten hervor, daß das Hochwasser sowie der Beginn des Ebbstromes sich flußaufwärts schneller fortpflanzen als das Niedrigwasser und der Beginn des Flutstromes, weiter aber, daß die Verspätungen des Beginns von Flut- und Ebbstrom gegenüber dem Eintritt von Niedrig- und Hochwasser nicht überall gleich sind. Die größten Werte treten zwischen Lillo und Hemixen auf, also in unserem Untersuchungsgebiet. An mehreren Stellen des Scheldelaufes, und zwar oberhalb und unterhalb von Antwerpen, tritt Hoch- bzw. Niedrigwasser gleichzeitig oder nahezu gleichzeitig mit Kentern zwischen Flut- und Ebbstrom bzw. Ebb- und Flutstrom ein. Insbesondere für unsere Strombeobachtungsorte ergibt sich aus der graphischen Darstellung folgendes: In Lillo setzt der Ebbstrom $\frac{3}{4}$ Stunden nach Hochwasser am Ort ein, der Flutstrom $\frac{1}{2}$ Stunde nach Niedrigwasser, bei Austruweel 1 Stunde und $\frac{3}{4}$ Stunden. Diese Werte stimmen mit den aus der 14tägigen Reihe 1918 abgeleiteten befriedigend überein (vergl. Tabelle 37).

¹⁾ L. van Brabandt, Note sur les étages de courant dans l'onde marée et sur leurs lieux géométriques. Annales des travaux publics de Belgique. 65. année. II. série, tome XIII. Bruxelles 1908. S. 175—219. (Die allgemein gehaltene Arbeit enthält in ihrem Schlusstext eine Anwendung auf die Schelde.) Ähnliche Kurven waren vorher für die Elbe veröffentlicht worden von J. F. Bubendey und M. Buchheister in: Charakteristische Kennzeichen eines Tideflusses mit besonderer Anwendung auf den Elbstrom. VII. Internationaler Schiffahrts-Kongreß Brüssel 1898. Ebenso für Bremerhaven von L. Franzius in: Charakteristische Kennzeichen eines Tideflusses ebenda, für die Gironde und Garonne von de Franchimont ebenda, für den Hugli und Mersey von L. F. Vernon-Harcourt ebenda.

Fig. 10
Wasserstandshöhen und Stauwasser auf der unteren Schelde nach L. van Brabandt.



Die Zeiten geben die Anzahl Stunden nach Hochwasser in Vlissingen.

Die Ungleichheit der Dauer des Flut- und Ebbstromes nahm von Antwerpen bis Lillo ab parallel mit der entsprechenden Änderung der Steig- und Falldauer (vergl. Tabelle 26—28).

Während der Kenterungszeiten war bei Antwerpen der Strom im Mittel 20 Minuten hindurch schwächer als $\frac{1}{2}$ Seemeile, bei Lillo während der Reihe 1917 25 Minuten, im Jahre 1918 etwa 40 Minuten. Man könnte geneigt sein, hieraus eine Änderung für ein langsameres Kentern flußabwärts zu entnehmen, doch werden für die Dauer des Kenterns auch die Lage zum Stromstrich und die Gestalt des Querschnittes vom Flussbett von Bedeutung sein, so daß aus den Differenzen obiger Werte kaum ein Schluß zu ziehen ist.

Über die Maxima der Geschwindigkeit an der Oberfläche ist zusammenfassend zu sagen, daß normalerweise zur Springzeit mit einem Ebb- und Flutstrom von 3 bis $3\frac{1}{2}$, zur Nippezeit von 2 bis $2\frac{1}{2}$ Sm/stde zu rechnen ist. Bei entsprechender Wetterlage können die Geschwindigkeiten aber wesent-

lich größer werden, der größte während der drei Beobachtungsperioden festgestellte Wert ist 3.8 Sm/stde, sicher kommen noch höhere Werte vor.

Die mittlere Geschwindigkeit während der ganzen Dauer des Flut- und Ebbstromes beträgt zur Springzeit $1\frac{1}{2}$ bis 2 und 2 Sm/stde, zur Nippzeit $1\frac{1}{5}$ bis $1\frac{1}{2}$ und $1\frac{1}{2}$ bis 2 Sm/stde. — Von der Oberfläche aus nimmt die Geschwindigkeit zunächst etwas zu, weiterhin bis zum Boden bis auf etwa $\frac{3}{4}$ bis $\frac{3}{5}$ der Oberflächenwerte ab.

Die durch den Flut- oder Ebbstrom beförderten Wassermengen erwiesen sich als in hohem Maße abhängig vom Mondalter, doch kam es vor, daß dies durch die meteorologischen Verhältnisse verwischt wurde. Es erwies sich, daß die am Boden zum Abfluß gelangende Wassermenge bei Austruwel etwa 65 %, bei Lillo etwa 30 % der an der Oberfläche abfließenden Wassermenge betrug. Besonderswert ist, daß die Abhängigkeit der beförderten Wassermengen vom Mondalter am Boden trotz der absolut geringeren Mengen stabiler zu sein scheint als an der Oberfläche.

Das zum Abfluß gelangende Wasser, also die Differenz zwischen den durch Flut- und Ebbstrom beförderten Wassermengen, war unabhängig vom Mondalter, dagegen in hohem Maße abhängig von den meteorologischen Verhältnissen. Bei entsprechenden Wetterlagen war in zwei Fällen die durch den Flutstrom transportierte Wassermenge gleich oder sogar größer als die durch den Ebbstrom beförderte, d. h. der Abfluß war Null oder sogar negativ. Außer von den meteorologischen Verhältnissen wird die Abflußmenge auch von den Zuständen des gesamten Zuflussgebietes abhängen, doch konnte das hier nicht näher nachgewiesen werden.

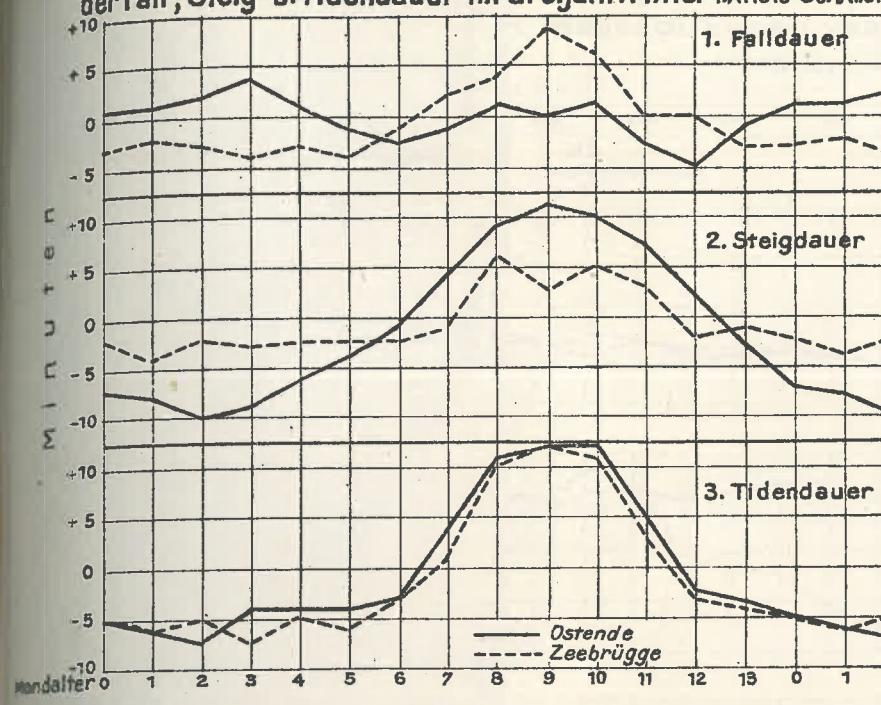
Ebensowenig wie die Menge des zum Abfluß gelangenden Wassers ließ die Menge des dem Scheldewasser beigegebenen Meerwassers irgend eine Abhängigkeit vom Mondalter erkennen. Dagegen beeinflußten die meteorologischen Verhältnisse die Menge des beigemengten Meerwassers in hohem Maße, wie sich in zahlreichen Fällen nachweisen ließ.

Rückblick.

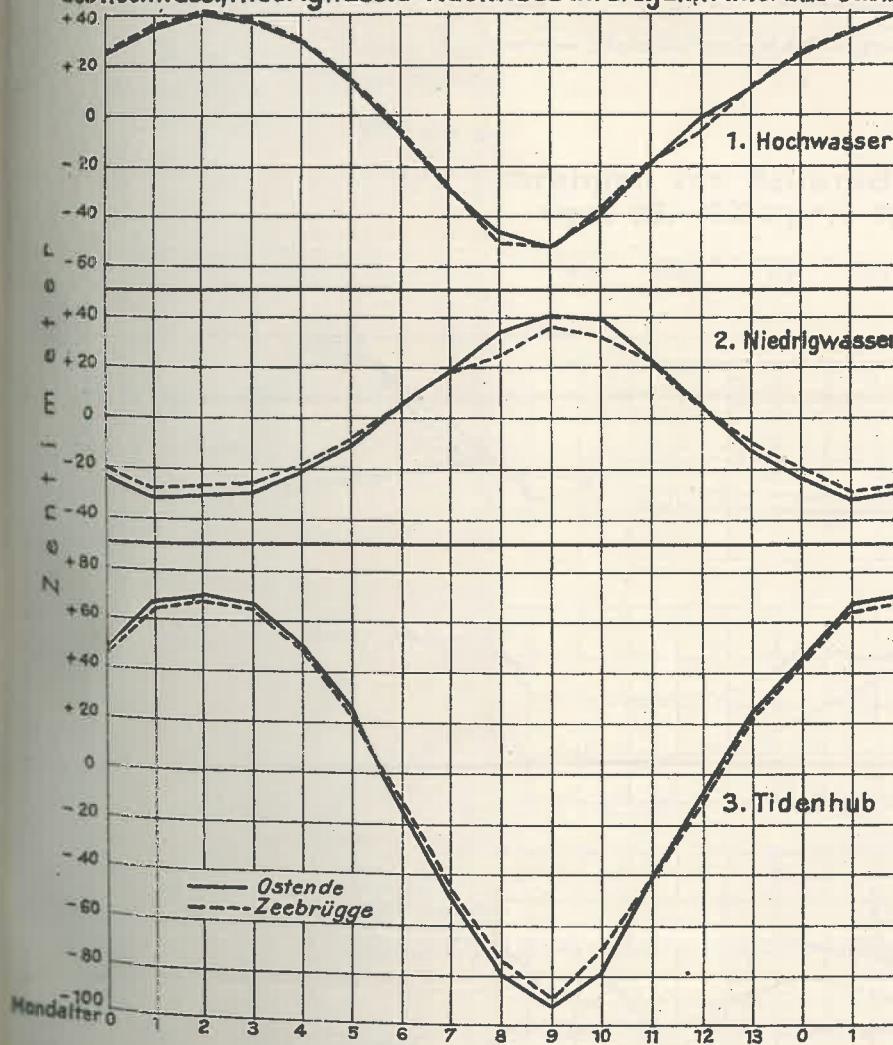
1. Wegen der Ergebnisse der Untersuchung über die periodischen und unperiodischen Schwankungen des Mittelwasserstandes sei auf die Zusammenstellung in Heft 1, S. 27 verwiesen.
2. Für Mondflutintervall, Steig- und Falldauer, Höhe des Hoch- und Niedrigwassers sowie Tidenhub von Ostende und Zeebrugge werden dreijährige Mittel für die einzelnen Mondalter wie auch Gesamtmittel gegeben, die Bedeutung der täglichen Ungleichheit wird an einem Beispiel gezeigt
3. Aus tidenstündlichen Wasserstandswerten von Ostende und Zeebrugge werden zwei- und dreijährige Mittel für jedes Mondalter und auch die Gesamtzeit abgeleitet. Die dreijährigen Mittel werden in Tabellen gegeben, außerdem insgesamt 30 aus den zweijährigen Mitteln abgeleitete Gleichungen der Gezeitenkurven.
4. Werden die während der Beobachtungszeit vorgekommenen Extreme der Grundwerte der Gezeiten gegeben und die Beeinflussung der Grundwerte und der Gestalt der Gezeitenkurven durch die meteorologischen Verhältnisse an einigen Beispielen von starker Abtrift und starkem Aufstau gezeigt, darunter auch an der Sturmflut vom 13./14. Januar 1916.
5. Wird in Ostende und Zeebrugge eine kurz nach Niedrigwasser eintretende kurze Verlangsamung des Steigens festgestellt, die vielleicht als abgeschwächte Aggererscheinung aufzufassen ist. Diese war am ausgeprägtesten während der Sturmflut vom 13./14. Januar 1916.

6. Im Ostender Hafen, querab von Ostende und von Zeebrügge werden Temperatur-, Salzgehalts-, und in einigen Fällen auch Strombeobachtungen angestellt.
 7. Mit Hilfe von Schwimmkörpern, die mit den Langbasisinstrumenten der Küstenartillerie verfolgt wurden, wurde die Strömung vor der flandrischen Küste beobachtet und die Wirkung des Windes und der Bodengestalt festgestellt. In mehreren Fällen konnte der Reststrom erschlossen werden vergl. die Zusammenfassung S. 38).
 8. Auf der unteren Schelde wurden mehrere Strombeobachtungsreihen zwischen Temsche und der Grenze ausgeführt und darauf gegründet die Stromgeschwindigkeit an der Oberfläche, am Grunde und in einer Mitteltiefe dargestellt, weiter die durch die Einheit des Querschnitts an den Beobachtungsstellen verfrachteten Brackwasser- und Seewassermengen, sämtlich in ihrer Abhängigkeit vom Mondalter und den meteorologischen Verhältnissen.
-

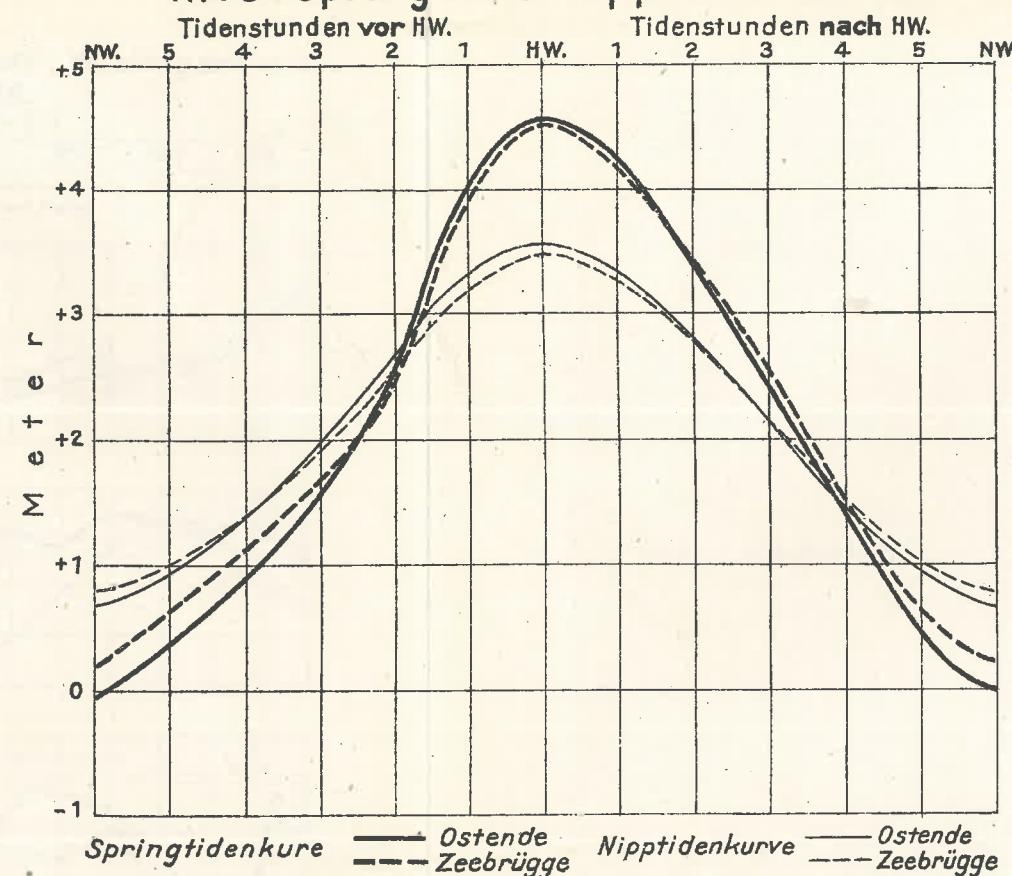
**Nr. 1. Halbmonatliche Ungleichheit
der Fall-, Steig- u. Tidendauer im dreijähr. Mittel 1.X.1915-30.IX.1918**



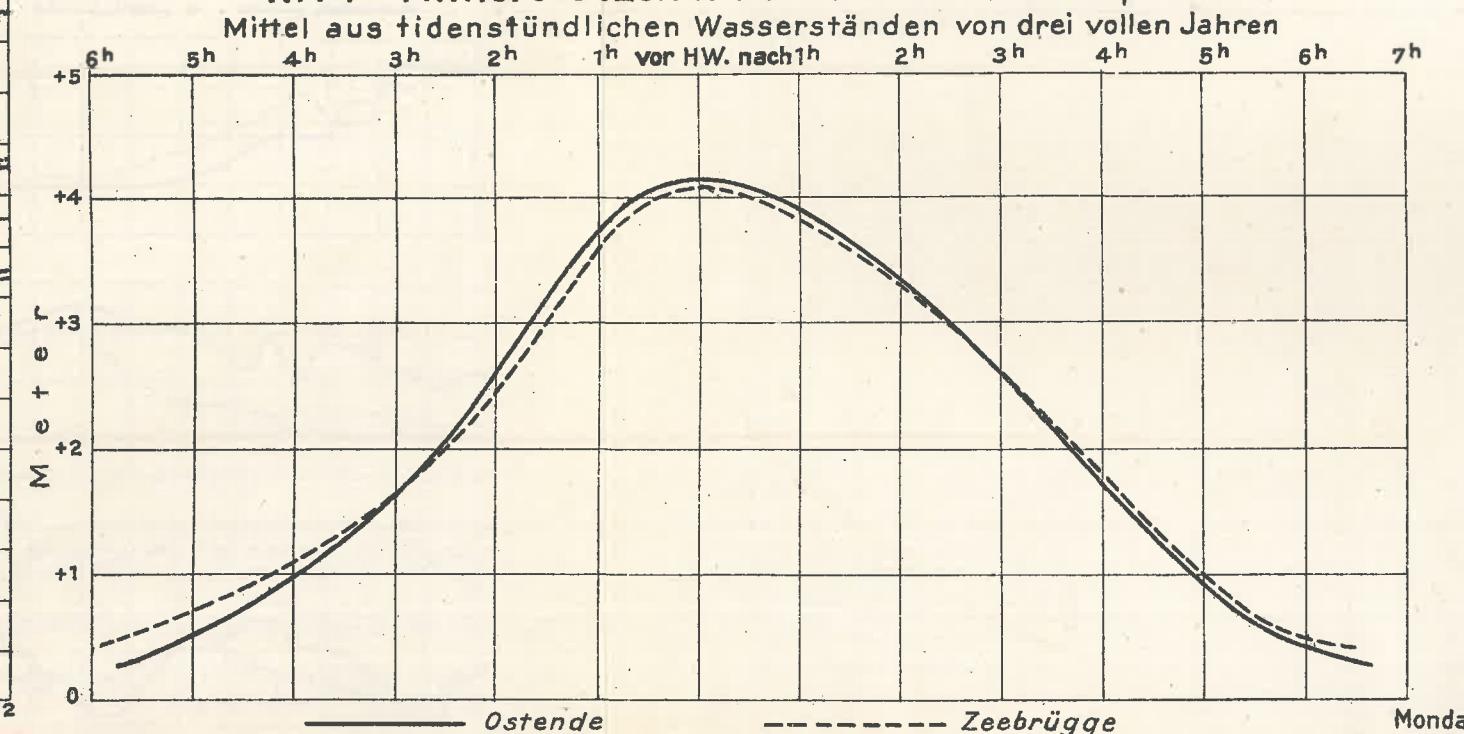
**Nr. 2. Halbmonatliche Ungleichheit
des Hochwass., Niedrigwass. u. Tidenhubs im dreijähr. Mittel 1.X.15-30.IX.18.**



Nr. 3 Spring- und Nipptiden-Kurven



Nr. 4 Mittlere Gezeitenkurven. Okt. 1915 - Sept. 1918.



Faktor der Glieder der Ausdrücke für die ausgeglichenen Gezeitenkurven

Meter

2.30

2.20

2.10

2.00

1.90

1.80

1.70

1.60

1.50

1.40

Mondalter

40°

20°

0°

340°

300°

280°

260°

240°

220°

200°

180°

160°

140°

120°

100°

80°

60°

40°

20°

0°

340°

300°

280°

260°

240°

220°

200°

180°

160°

140°

120°

100°

80°

60°

40°

20°

0°

340°

300°

280°

260°

240°

220°

200°

180°

160°

140°

120°

100°

80°

60°

40°

20°

0°

340°

300°

280°

260°

240°

220°

200°

180°

160°

140°

120°

100°

80°

60°

40°

20°

0°

340°

300°

280°

260°

240°

220°

200°

180°

160°

140°

120°

100°

80°

60°

40°

20°

0°

340°

300°

280°

260°

240°

220°

200°

180°

160°

140°

120°

100°

80°

60°

40°

20°

0°

340°

300°

280°

260°

240°

220°

200°

180°

160°

140°

120°

100°

80°

60°

40°

20°

0°

340°

300°

280°

260°

240°

220°

200°

180°

160°

140°

120°

100°

80°

60°

40°

20°

0°

340°

300°

280°

260°

240°

220°

200°

180°

160°

140°

120°

100°

80°

60°

40°

20°

0°

340°

300°

280°

260°

240°

220°

200°

180°

160°

140°

120°

100°

80°

60°

40°

20°

0°

340°

300°

280°

260°

240°

220°

200°

180°

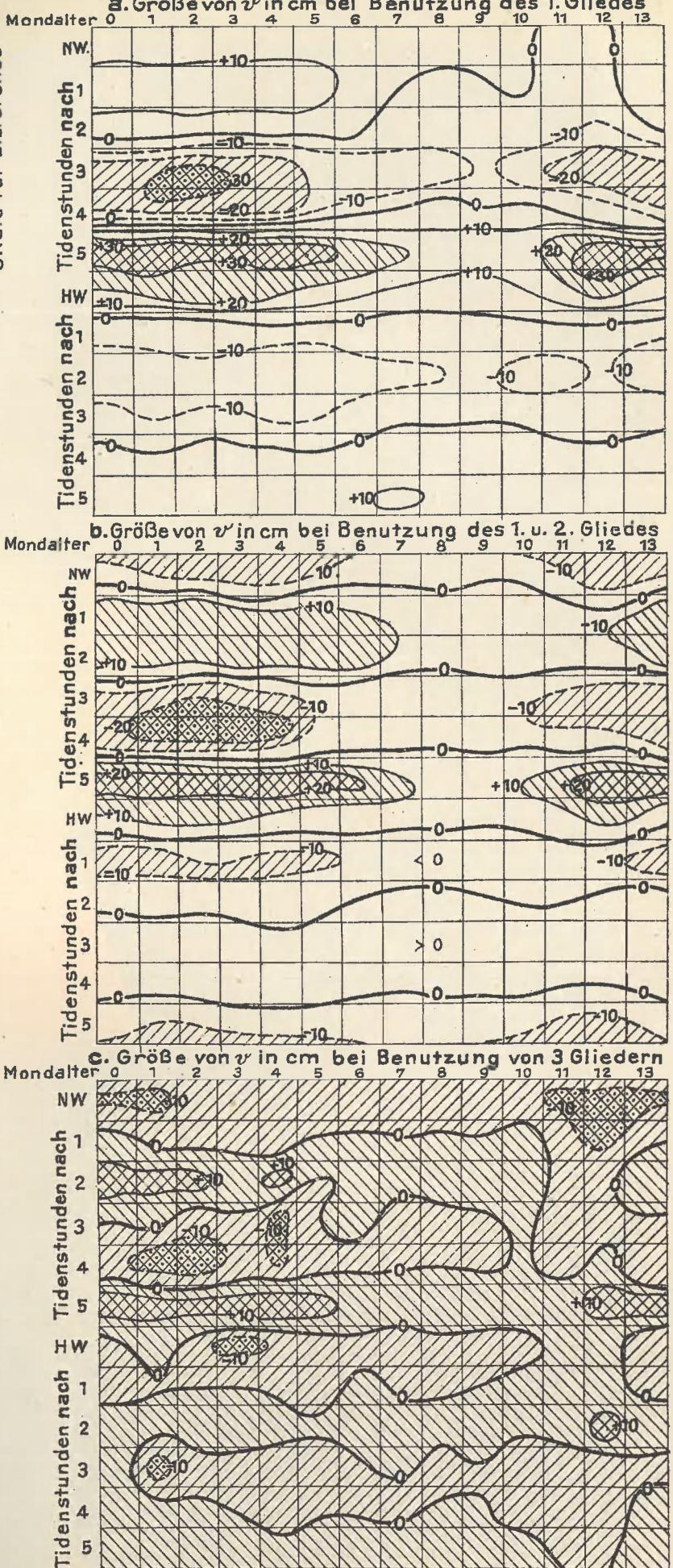
160°

140°

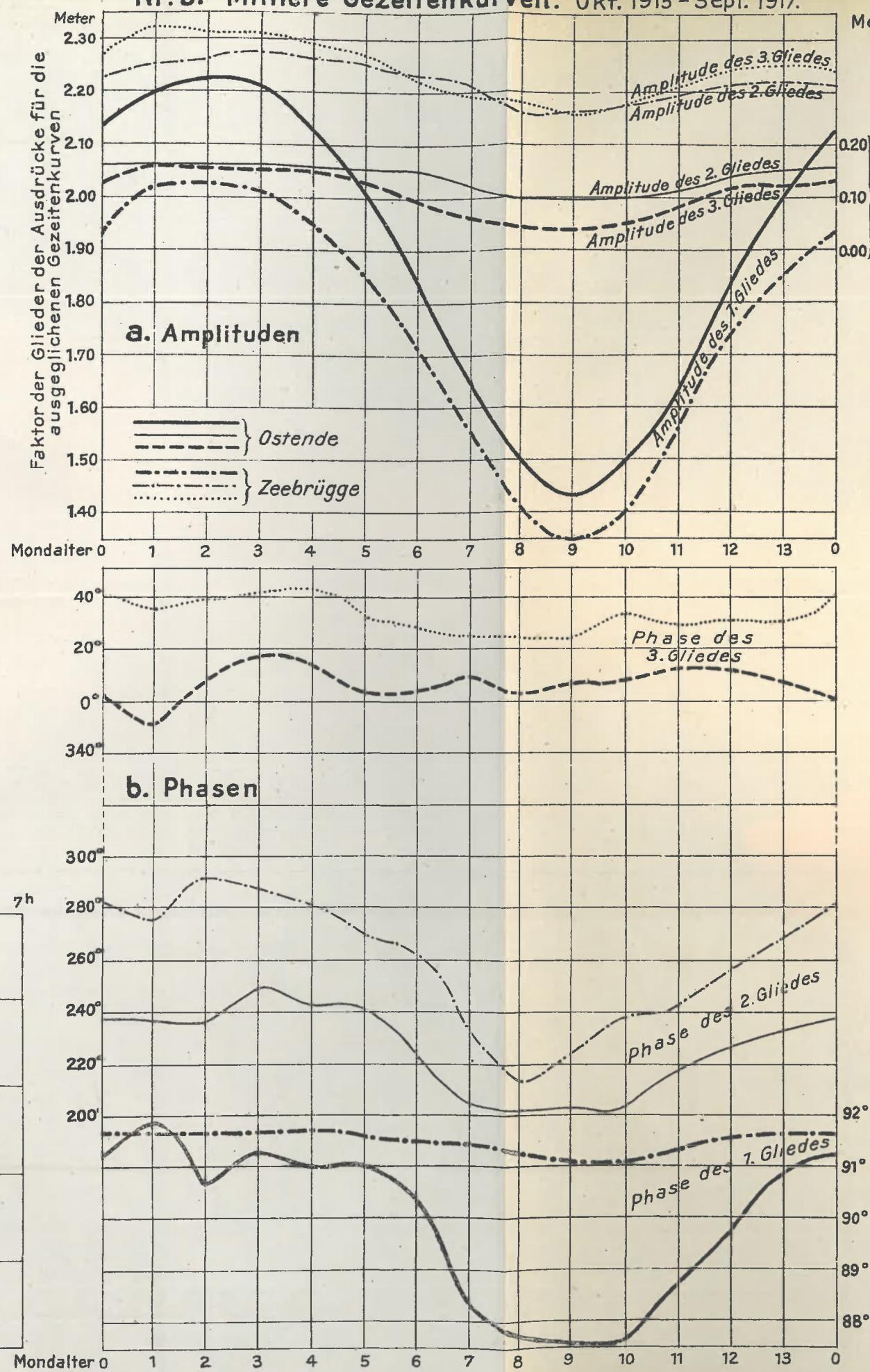
120°

Nr. 6. Ausgleichung der mittleren Gezeitenkurven
von Ostende Okt. 1915 - Sept. 1917.

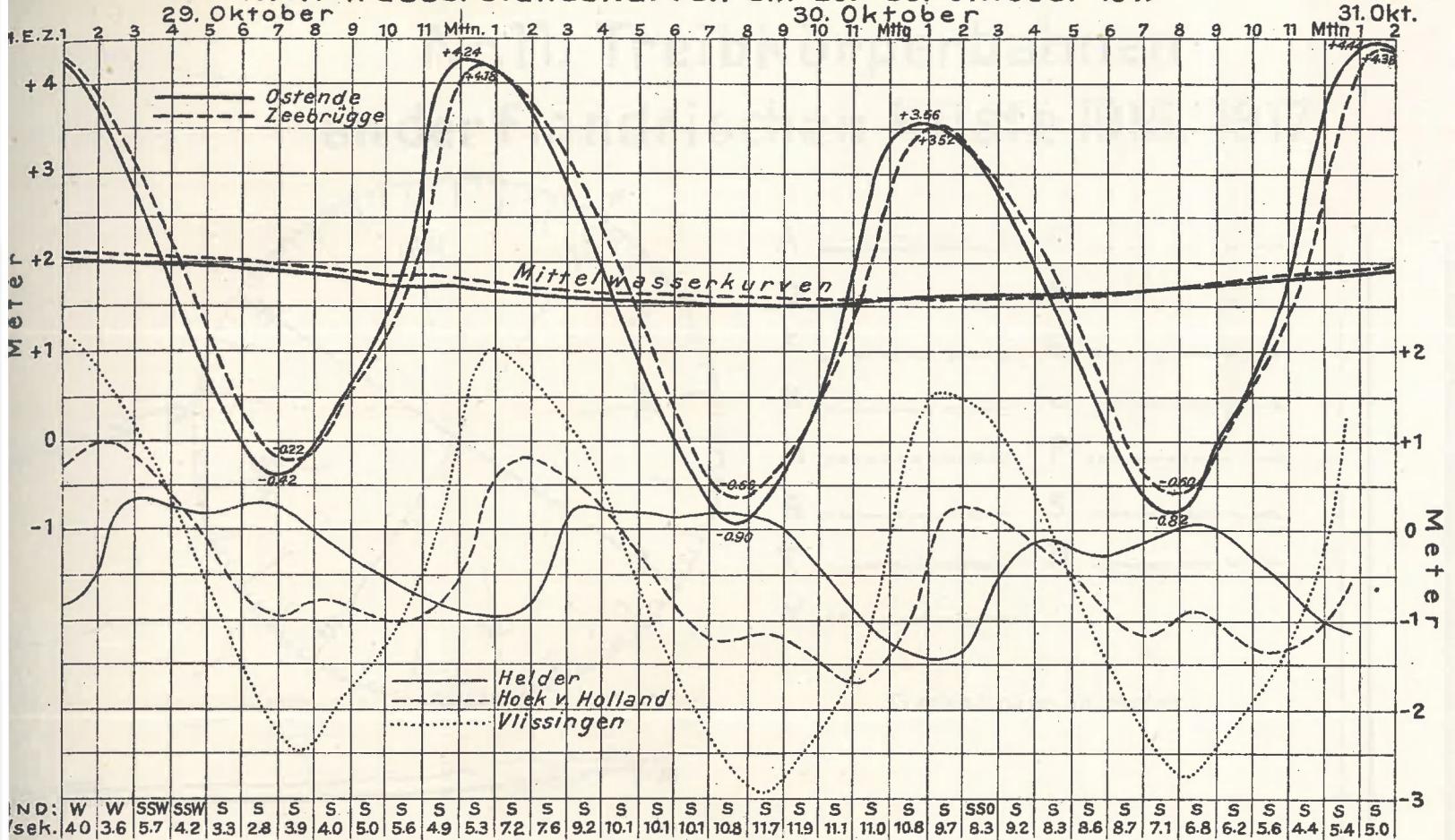
a. Größe von v' in cm bei Benutzung des 1. Gliedes



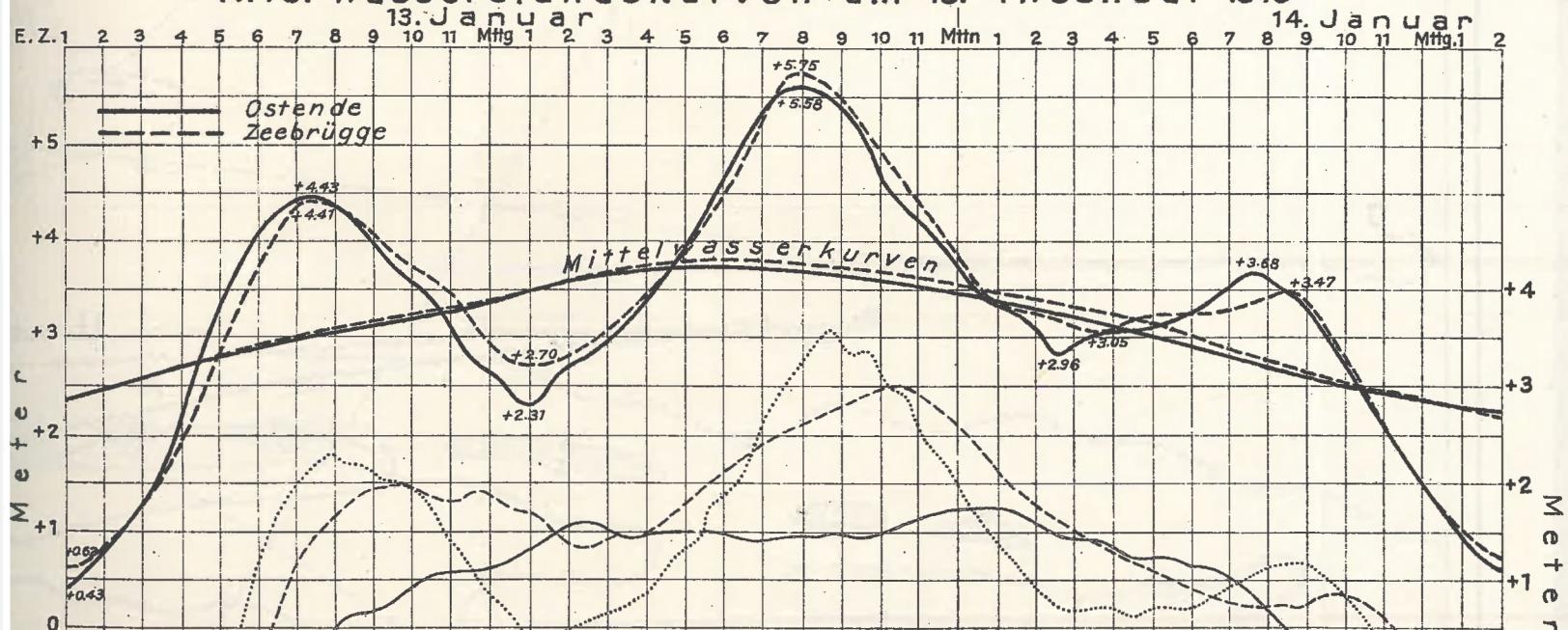
Nr. 5. Mittlere Gezeitenkurven. Okt. 1915 - Sept. 1917.



Nr. 7. Wasserstandskurven am 29.-30. Oktober 1917

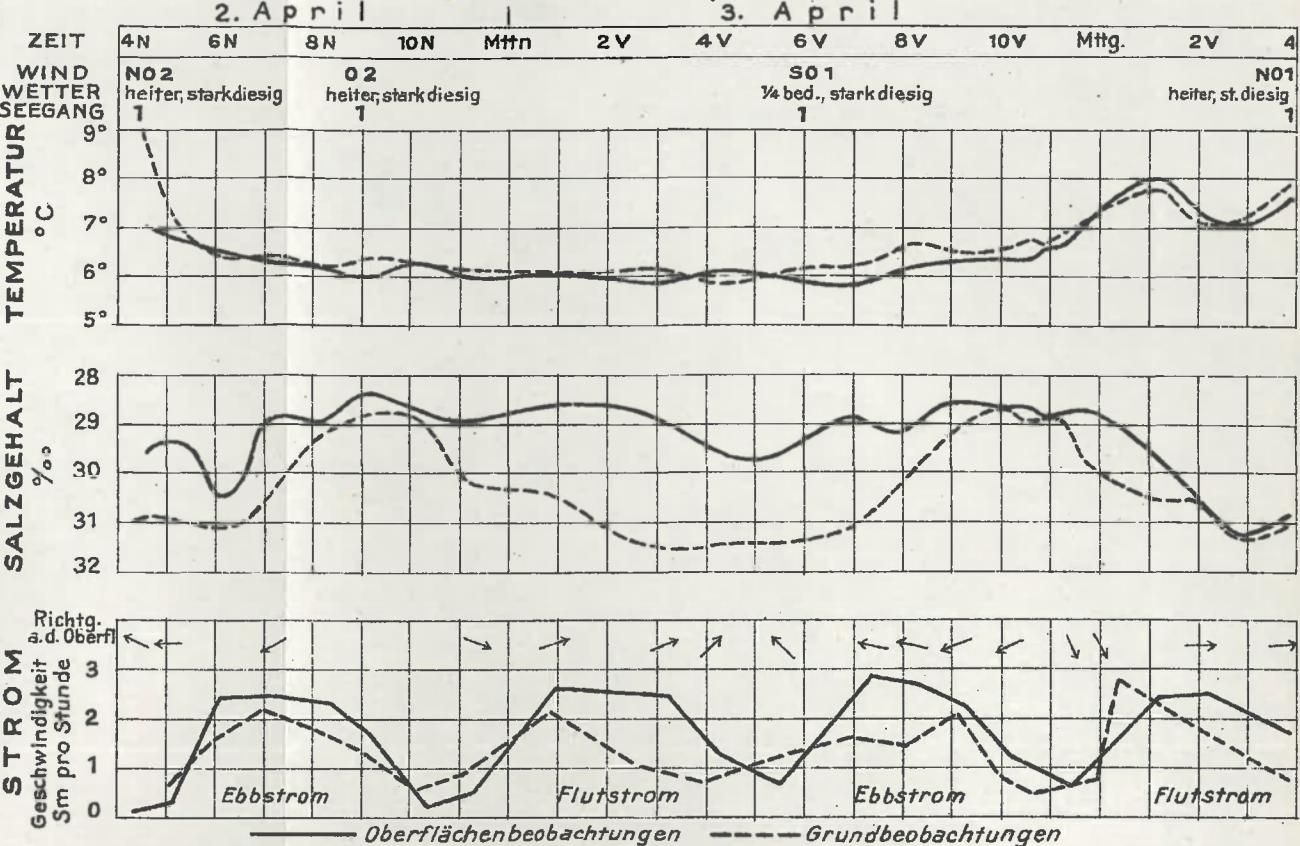


Nr. 8. Wasserstandskurven am 13.-14. Januar 1916

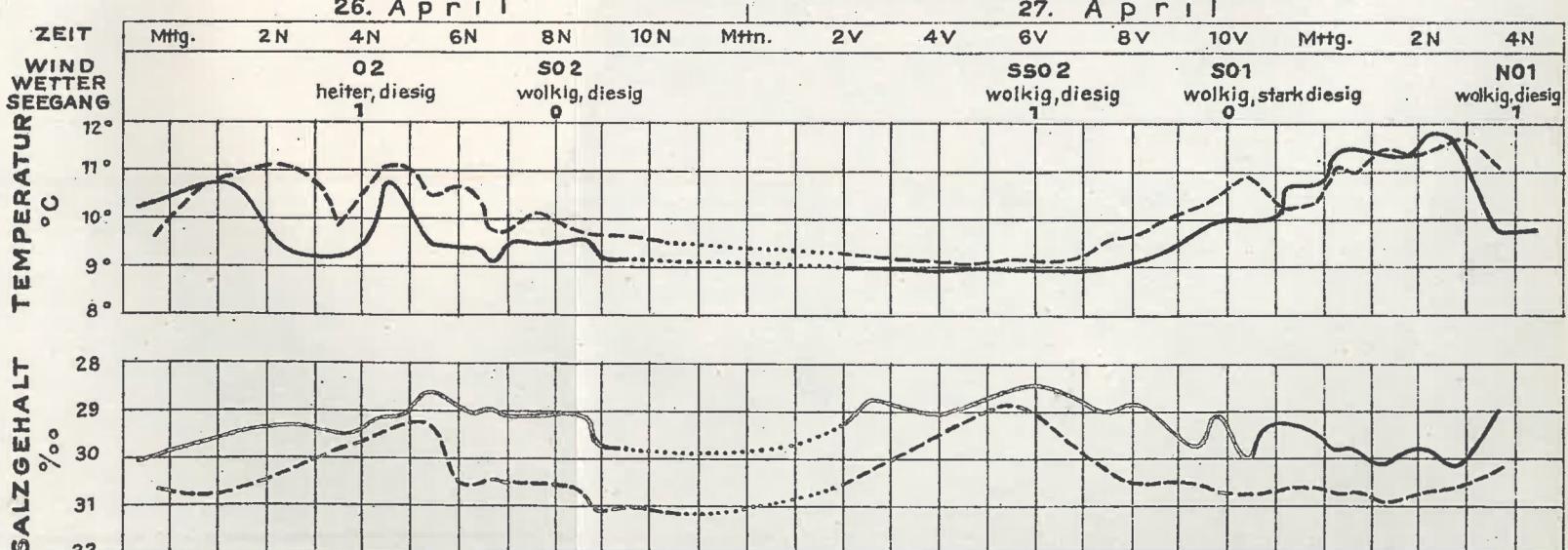


Nr. 9. Beobachtungen von Feuerschiff „Wielingen“ aus

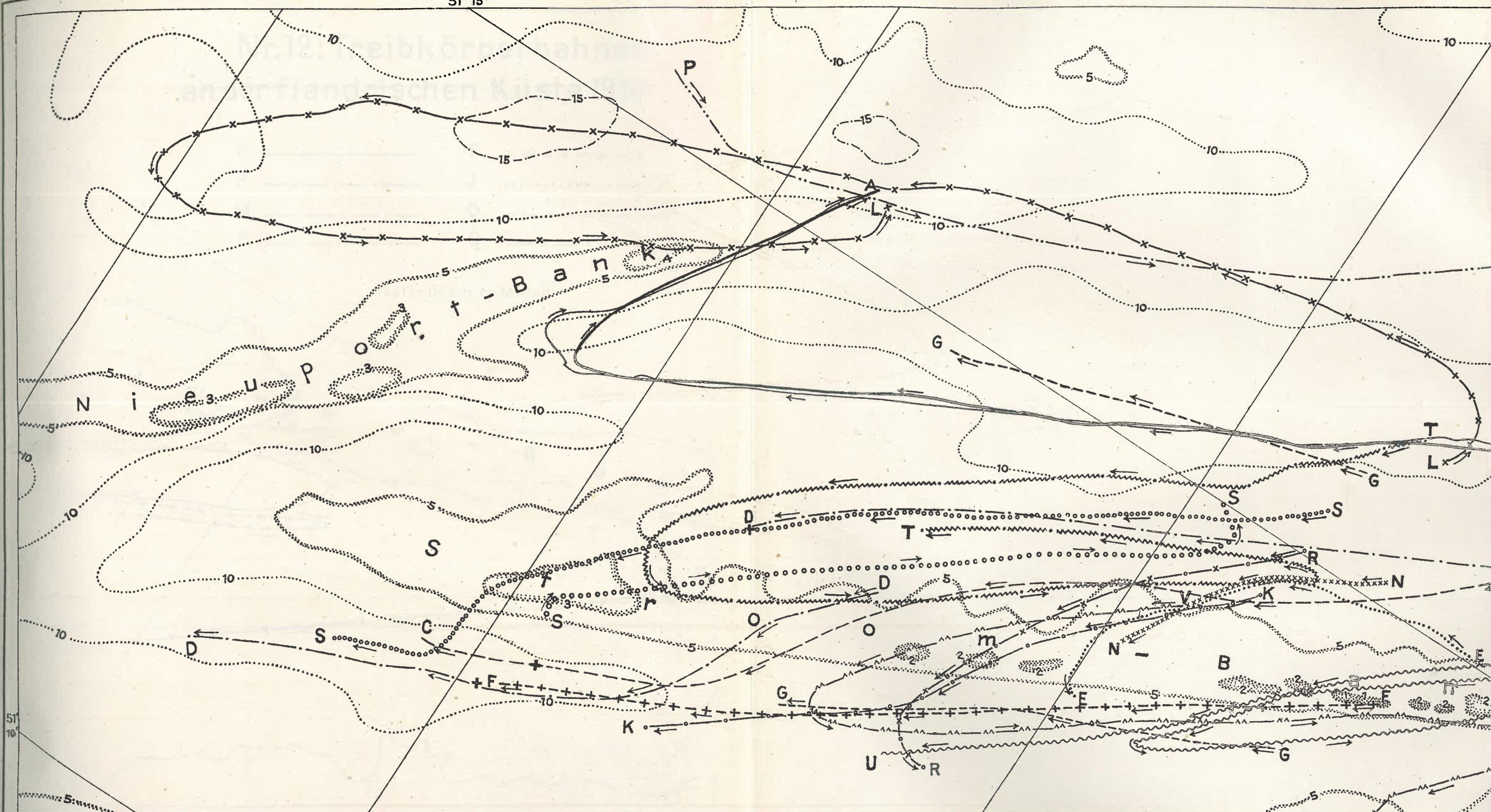
om 2.-3. April 1916.



Nr. 10. Beobachtungen von Feuerschiff „Wielingen“ aus vom 26.-27. April 1916.

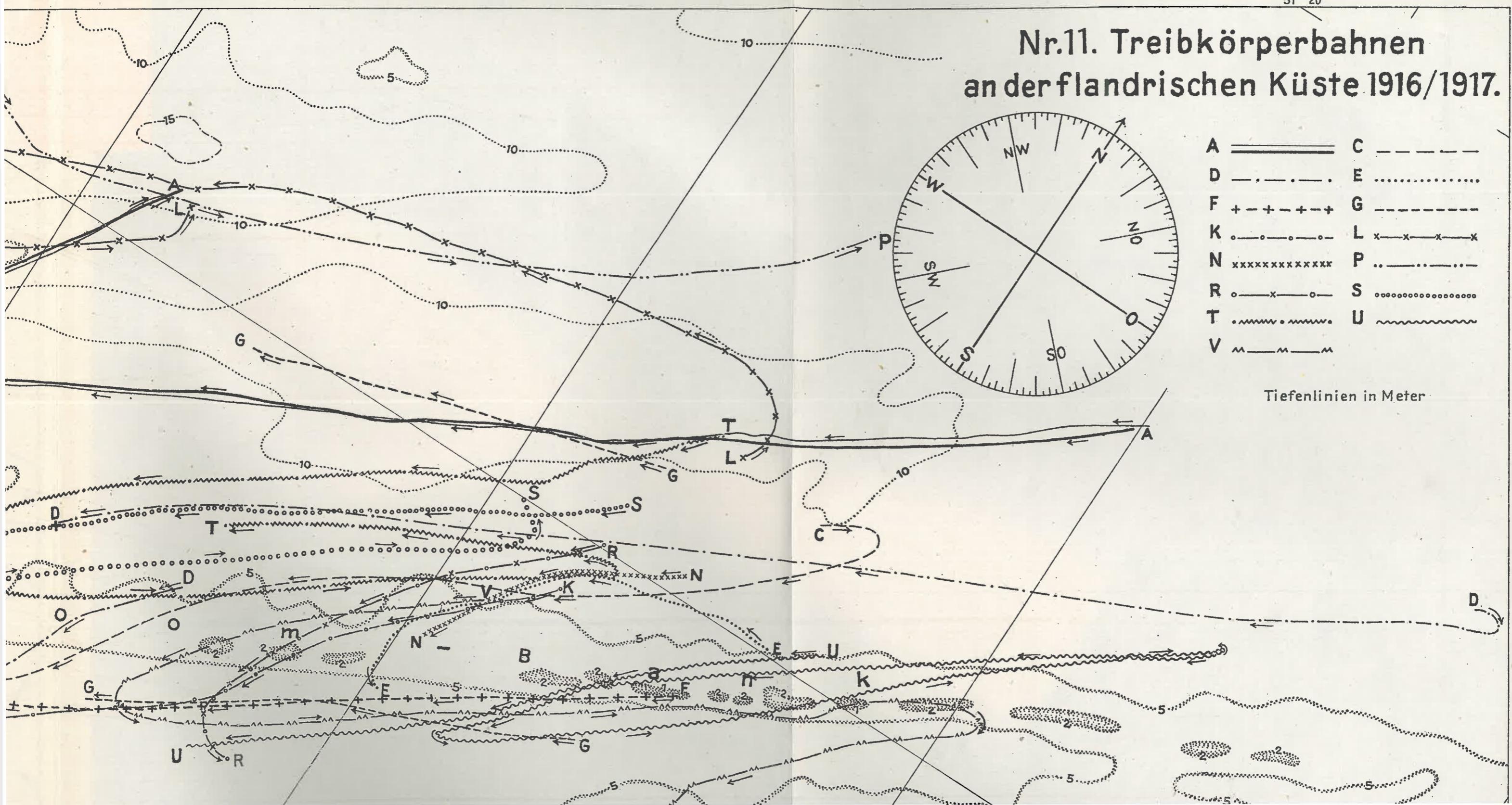


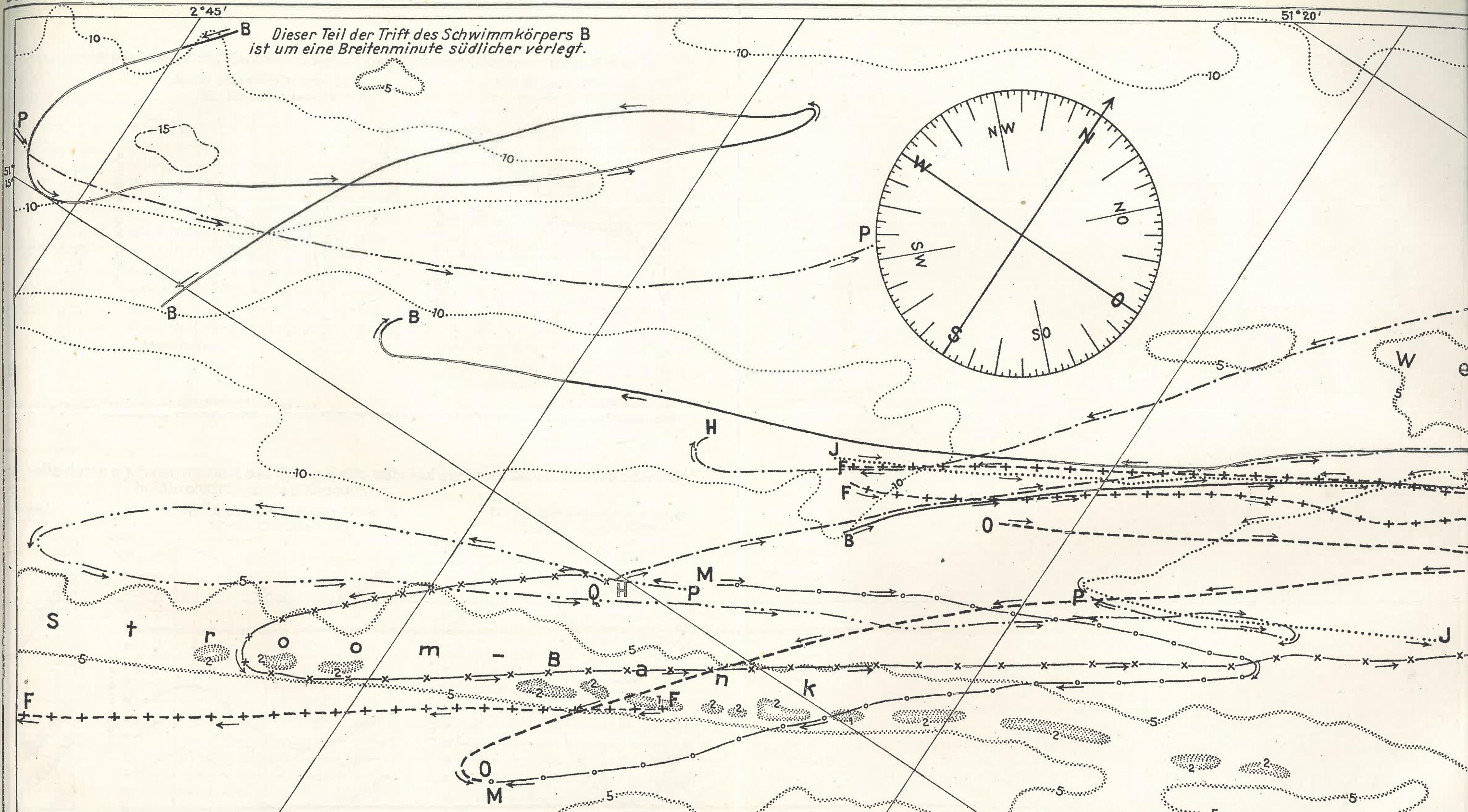
51°15'



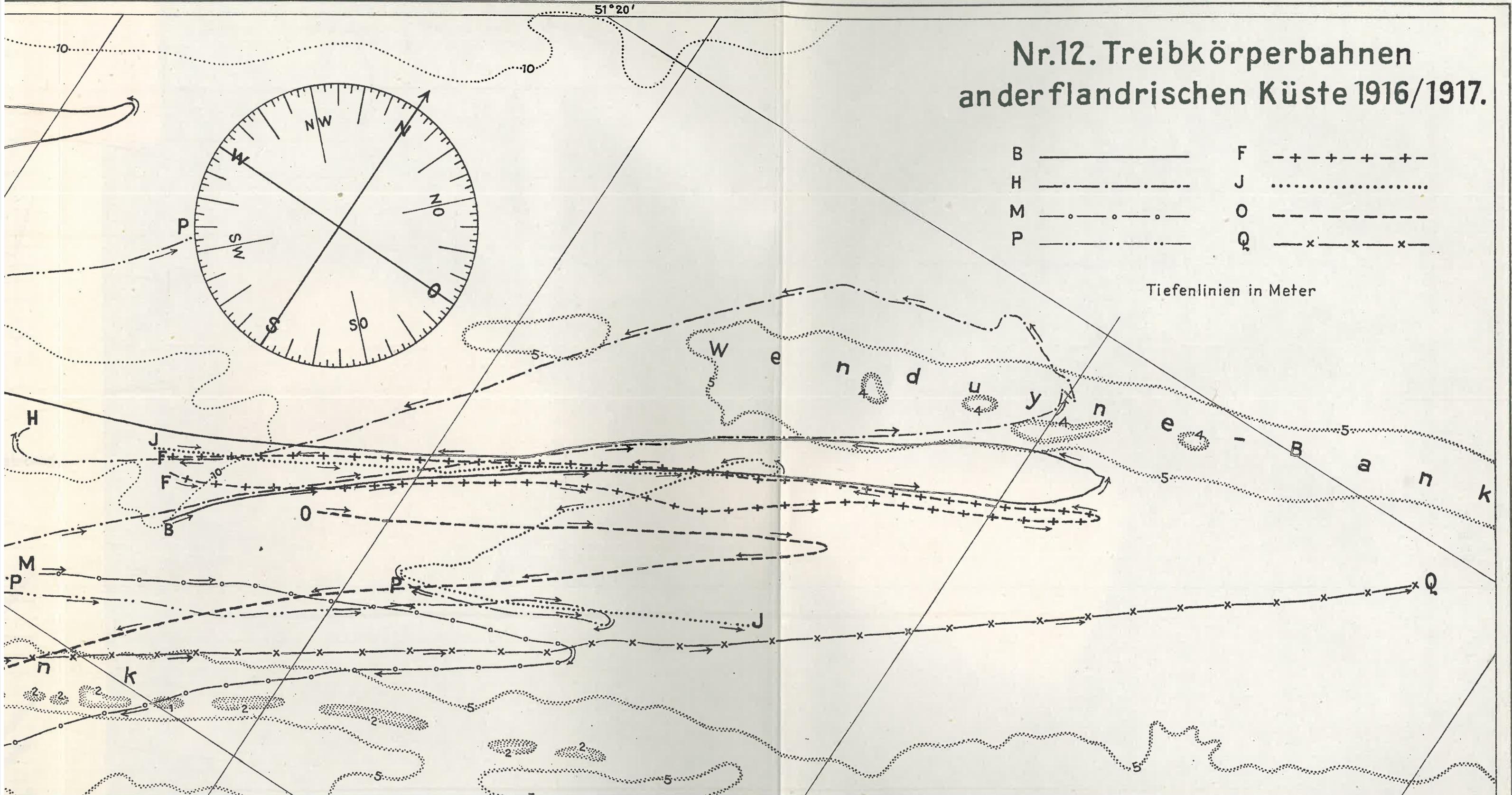
51° 20'

Nr. 11. Treibkörperbahnen
an der flandrischen Küste 1916/1917.

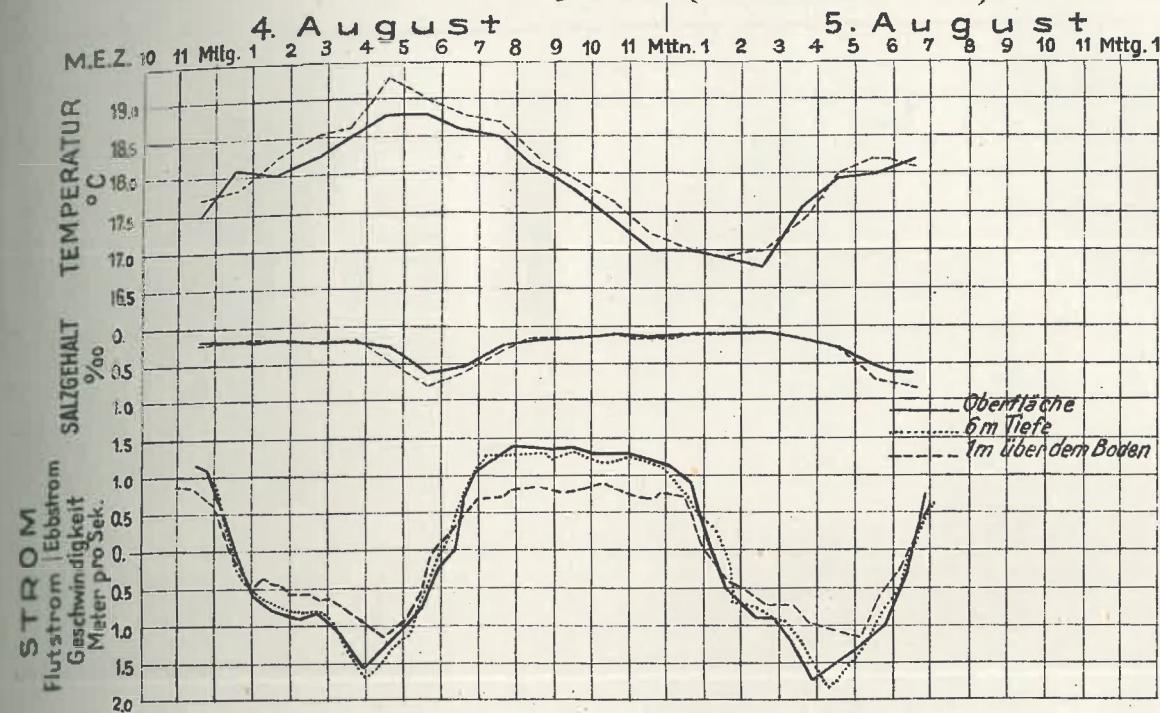




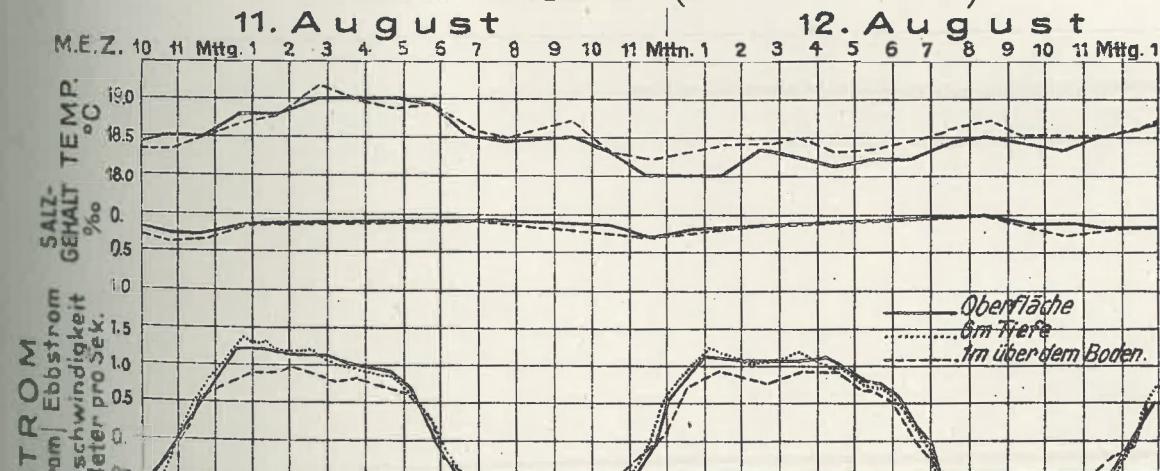
Nr. 12. Treibkörperbahnen
an der flandrischen Küste 1916/1917.



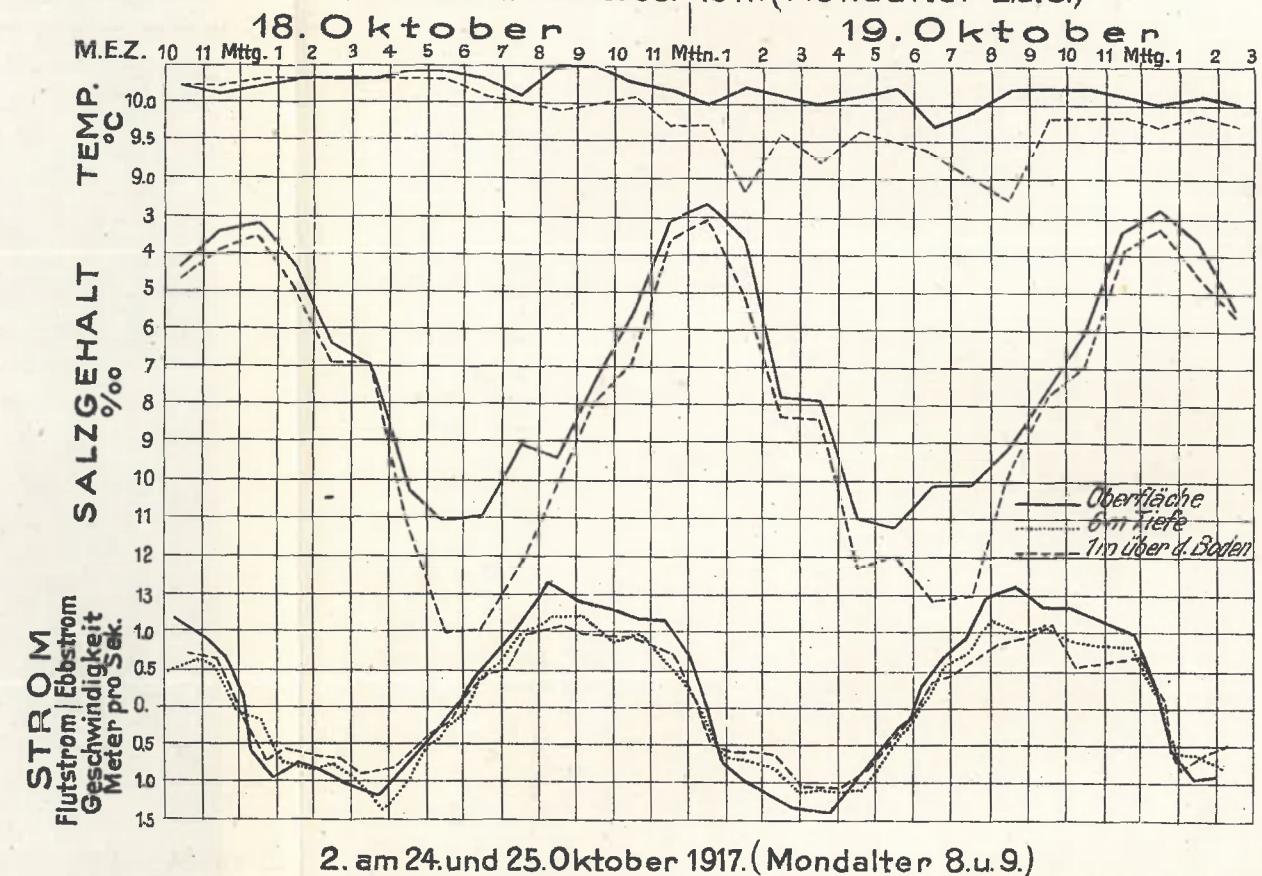
Nr. 13. Der Gezeitenstrom auf der Schelde,
unterhalb Antwerpens bei Austruweel (Position 1).
1. am 4. und 5. August 1917. (Mondalter 1.u.2.)



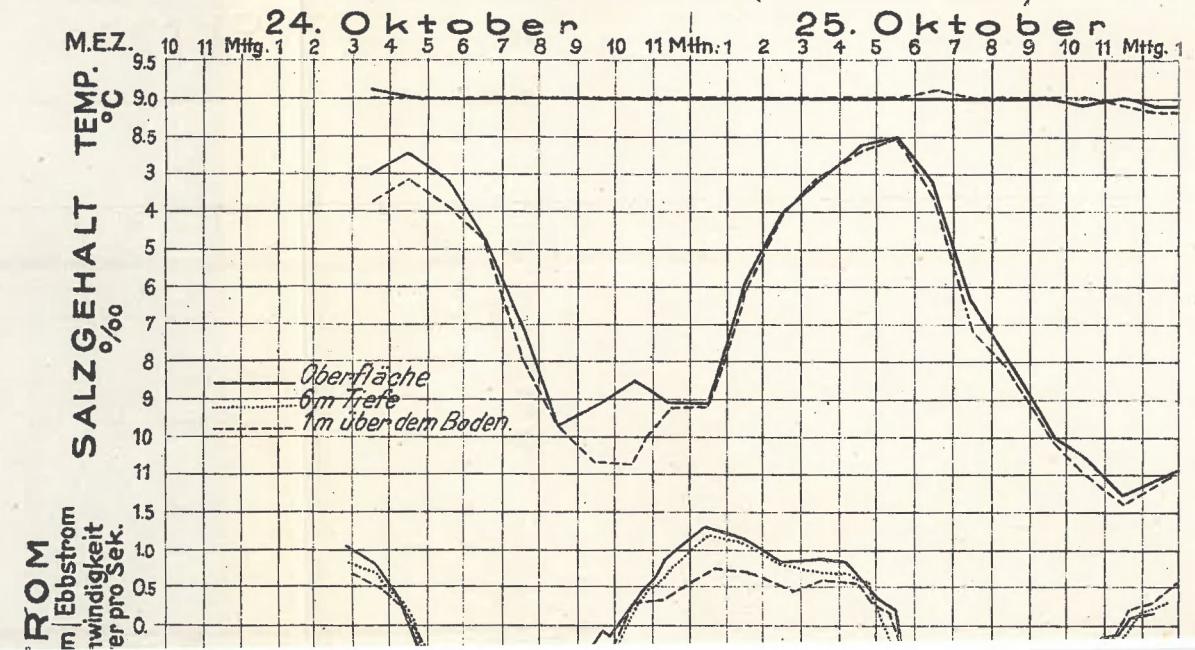
2. am 11. und 12. August 1917. (Mondalter 8.u.9.)



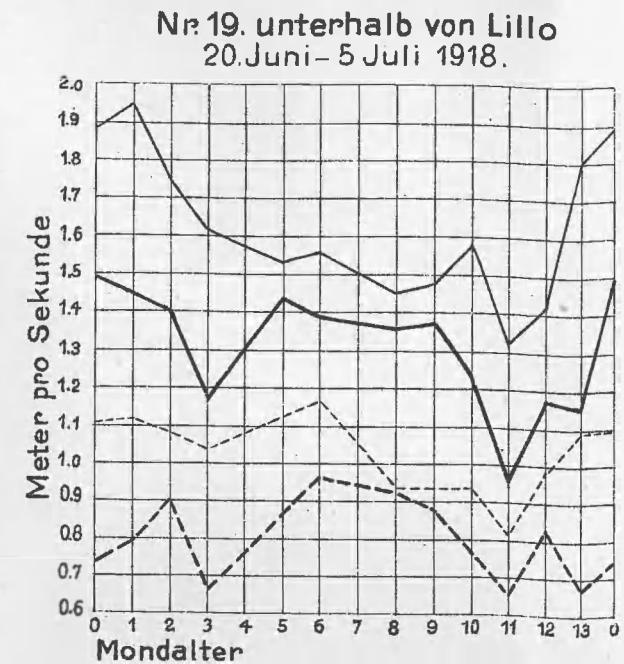
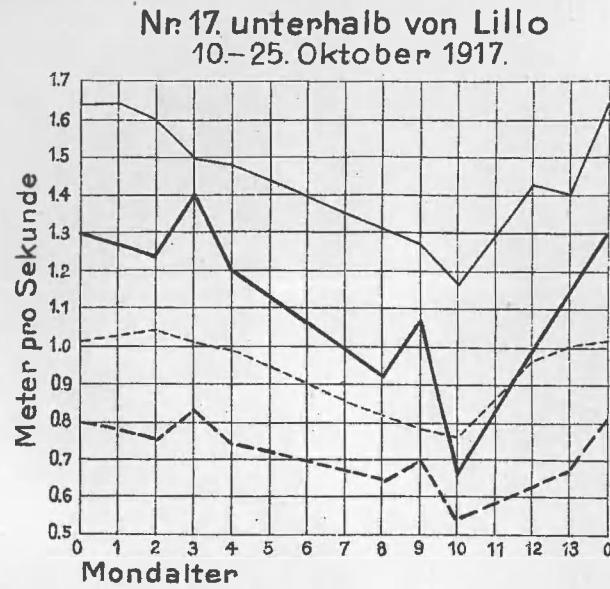
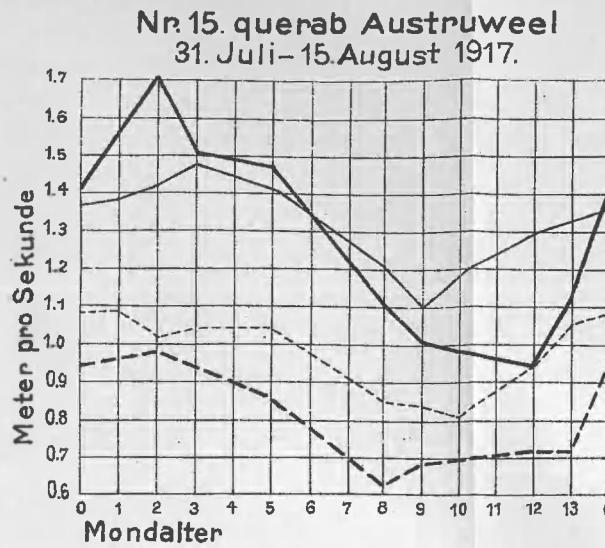
Nr. 14. Der Gezeitenstrom auf der Schelde unterhalb Lillois,
unweit der belgisch-holländischen Grenze (Position 3).
1. am 18. und 19. Oktober 1917. (Mondalter 2.u.3.)



2. am 24. und 25. Oktober 1917. (Mondalter 8.u.9.)



Nr. 15.17.19. Maximale und mittlere Werte der Geschwindigkeit des Flut-und Ebbstromes auf der Schelde.



Maximale Geschwindigkeiten: ————— Ebbstrom
— Flutstrom Mittlere Geschwindigkeiten: - - - Ebbstrom
— Flutstrom

Nr. 16.18.20. An der Beobachtungsstelle durch die Flächeneinheit des Querschnitts während der vollen Dauer des Flut-oder Ebbstromes hindurchströmendes Wasser.

