

Balans van het slibtransport in de
Nederlandse rivieren en langs de
kust; chemische samenstelling van

het slib

door

H. Postma

NEDERLANDS INSTITUUT VOOR ONDERZOEK DER ZEE

PUBLICATIES EN VERSLAGEN:

nummer 1957-1

Balans van het slibtransport in de
Nederlandse rivieren en langs de
kust; chemische samenstelling van

het slib

door

H. Postma

Intern verslag

Werkgroep Slibtransport

april 1957

NEDERLANDS INSTITUUT VOOR ONDERZOEK DER ZEE

PUBLICATIES EN VERSLAGEN:

nummer 1957-1

Rechten voorbehouden

Van interne verslagen zijn nadruk of aanhalingen slechts toegestaan met uitdrukkelijke toestemming van het NIOZ.

Balans van het slibtransport in de
Nederlandse rivieren en langs de
kust; chemische samenstelling van
het slib

(Balance of the silt transport in the Dutch rivers and
along the Dutch coast; chemical composition of the silt).

door

H. Postma

1. Over de vraag, wat men precies onder "slib" dient te verstaan heerst weinig eenstemmigheid. De twee voornaamste redenen hiervoor zijn, ten eerste, dat slib een verzamelnaam is voor een mengsel met een groot aantal componenten van verschillende mineralogische en chemische samenstelling, ten tweede, dat men slib als licht materiaal wil onderscheiden van zand en ander zwaar materiaal, terwijl de grens tussen beide niet scherp is te trekken.

Strikt genomen lijkt het daarom niet juist de vraag te stellen naar de herkomst en het transport van "het slib": een bepaalde component van het slib, b.v. de fijn verdeelde kalk, kan van geheel andere herkomst zijn dan een andere component, b.v. het ijzeroxyde. Het zou dus eerder voor de hand liggen te vragen naar de herkomst en het transport van elk der componenten afzonderlijk.

Neemt men één component er uit, dan kan bovendien van deze component een gedeelte van andere herkomst zijn en op andere wijze worden vervoerd dan een ander gedeelte, enzovoort. Het gestelde probleem blijkt, langs deze weg redenerende, uiteen te vallen in een groot aantal afzonderlijk vragen, die elk op zichzelf moeten worden beantwoord.

Stelt men ondanks deze bezwaren toch de vraag naar herkomst en transport van "het slib" als geheel, dan is dat met het vertrouwen, dat globaal genomen toch wel een of meer hoofdbronnen zullen kunnen worden aangewezen, waar het grootste deel van het

slib van afkomstig is, dat verder die componenten van het slib toch globaal genomen wel op dezelfde manier en langs dezelfde weg zullen worden vervoerd en dat, tenslotte, dit slib min of meer als zodanig op bepaalde plaatsen wordt afgezet.

Voor een deel althans lijkt dit vertrouwen gewettigd, omdat men er van tevoren van uit kan gaan, dat de grote rivieren en met name de Rijn tot de hoofdbronnen voor de slibaanvoer zullen behoren. Verder blijkt er in de praktijk de gemeenschappelijke opinie te zijn, dat men onder "slib" dát deel van het zwevend materiaal moet beschouwen, dat een "effectieve" korrelgrootte kleiner dan 40-60 micron heeft, d.w.z. dat zich gedraagt als zand kleiner dan deze diameter. Dit materiaal wordt ook bij zwakke stromen nog gemakkelijk getransporteerd en toont in het algemeen een vrij geringe concentratie-toename naar de bodem toe.

Vanuit dit gezichtspunt gezien bestaat het zwevende materiaal in de rivieren en het sediment in de havens vrijwel geheel uit slib; alleen in het buitenste deel van de Buitenhavens van IJmuiden en Den Helder is een belangrijk percentage van het materiaal zand met korrelgroottes boven 40-60 μ . Bij rustig weer is in de Noordzee aan het oppervlak het overgrote deel van het materiaal kleiner dan 40-60 micron; dicht bij de bodem zal tijdens harde stroom een vrij grote hoeveelheid zand met grotere diameter aanwezig zijn. In de Waddenzee en vooral in de zeegaten kan een zeer groot deel van het zwevende materiaal groter zijn dan 40-60 micron.

2. Al naar het doel van het onderzoek, kan men het slib van chemisch, biologisch of geologisch standpunt uit in fracties verdelen. Bij de chemische fractionering kijkt men uitsluitend naar de chemische

verbindingen, die in het slib voorkomen. Men bepaalt dan, bijvoorbeeld, de hoeveelheid SiO_2 zonder er op te letten of deze stof uit zand, klei of diatomeeënschalen afkomstig is. Bij de geologische fractionering past men een voorbehandeling toe, waarbij conglomeraten van deeltjes eerst zoveel mogelijk worden gedeutereerd. Soms worden organische stof en kalk vooraf geheel verwijderd. Eerst daarna wordt de korrelgrootteverdeling bepaald. Bij het biologische onderzoek ligt de nadruk juist op deze conglomeraten en daarnaast op een zo goed mogelijk onderscheiden van de organische componenten, vooral de levende.

Al deze methoden van bewerking hebben hun voor- en nadelen. Bij de studie van het transport van het slib is het om voor de hand liggende redenen van groot belang de deeltjes niet eerst in kleinere te ontleden, of deze bewerking pas uit te voeren nadat men eerst de natuurlijke korrelgrootte-samenstelling, resp. bezinkingssnelheid, heeft bepaald.

3. Gegevens over de chemische samenstelling van zwevend slib en bodemsediment zijn te putten uit gedeeltelijk mogelijk toegankelijke literatuur; daarom wordt hieruit een steekproef gegeven in de volgende tabel (tabel I).

Het SiO_2 -gehalte varieert met de hoeveelheid zand, die in het monster aanwezig is. Als op de bodem of in het zwevende materiaal geen zand groter dan 40-60 micron aanwezig is, daalt het SiO_2 -gehalte tot omstreeks 50%; nog lagere SiO_2 -waarden worden gevonden als de organische stof, beoordeeld naar het gloeiverlies, een quantitatief belangrijke rol gaat spelen, zoals b.v. in het IJsselmeer het geval is. Men dient hierbij te bedenken, dat het gloeiverlies niet

Tabel I. Chemische analyse van zwevend materiaal en bodemmonsters

Nr.	Plaats	% van het droge materiaal							Ontleend aan:		
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	CO ₂	gloei- verlies		Org. stof	
zwevend materiaal											
1.	Marsdiep, 1 m + bodem 30-7-1953.	65.8	2.5	4.6	6.8	0.9	-	17.5	-	Gegevens Zoöl. Station	
2.	Marsdiep, oppervlak 30-7-1953.	54.6	4.2	3.9	5.9	1.1	-	29.9	-	Gegevens Zoöl. Station	
3.	Waddenzee bij Den Oever, 1 m + bodem 30-7-1953	55.6	4.0	5.7	6.0	1.9	-	26.3	-	Gegevens Zoöl. Station	
4.	idem, oppervlak 30-7-1953	53.2	4.1	5.0	6.8	1.6	-	27.0	-	Gegevens Zoöl. Station	
5.	IJsselmeer bij Den Oever	23.5	4.8	3.2	4.6	1.9	-	59.8	-	Gegevens Zoöl. Station	
6.	Rijn, Jaargemiddelde	-	-	-	8.4	-	-	24.0	-	Waterleiding, Amsterdam	
7.	Engelse Kanaal, West, jaargemiddelde, opp.	22	7	10	7	-	5	<u>+40</u>	-	AMSTRONG en ATKINS	
bodemmonsters											
1.	Binnendeel Buiten- haven IJmuiden	50.4	10.4	4.6	11.8	0.8	10.1	7.4	4.2	SCHEELE	
2.	Petroleumhaven Pernis	50.2	9.2	4.8	9.9	-	7.1	9.8	8.2	SCHEELE	
3.	Waddenzee, Jade	49.1	8.8	7.7	7.8	1.9	5.6	1.5	2.0	STOCKFISH en EENADE	
4.	Waddenzee, Dollart	63.2	7.4	4.2	5.7	0.3	4.8	-	-	SCHEELE	
5.	Waddenzee, zandwad bij Omdraai	90.9	0.8	0.8	2.2	0.4	-	3.9	-	Gegevens Zoöl. Station	
6.	Noordzee, Zuid; zand- monster	89.2	---	6.4	--	2.2	0.5	1.2	1.3	-	KUPPERS, 1908
7.	Noordzee, Noord; slib- monster	51.6	---	19.8	--	9.7	2.7	5.6	9.5	-	KUPPERS, 1908
8.	Noordzee, bij IJmuiden	55.0	12.1	6.6	7.8	0.7	6.8	-	<u>+11</u>	SCHEELE	

uitsluitend door de verbranding van organische stof, maar daarnaast door het ontwijken van een groter of kleiner deel van de koolzuur en het chemisch gebonden water, wordt veroorzaakt.

Het gehalte aan organische stof, beoordeeld naar het gloei-verlies, is groter in het zwevende materiaal dan in de bodemonsters. Dit is een gevolg van het feit, dat in de bodem een deel van de organische stof (welke vrijwel uitsluitend in het water wordt gevormd) wordt ontleed, terwijl verder dit materiaal de lichtste fractie van de zwevende stof vertegenwoordigt en dus niet gemakkelijk wordt afgezet.

Zien we af van de genoemde variaties, dan blijkt de chemische samenstelling van monsters van zeer verschillende herkomst betrekkelijk constant te zijn. Dit betekent, aan de ene kant, dat men langs deze chemische weg niet zal kunnen uitmaken waar het slib vandaan komt; aan de andere kant houdt het in, dat bijvoorbeeld het in onze havens afgezette materiaal chemisch niet essentieel verschilt van hetgeen in grote gebieden buiten deze havens in suspensie en op de bodem aanwezig is. Het is dus denkbaar dat al dit materiaal uit één hoofdbron afkomstig is.

4. Voor het probleem van de herkomst van het slib is kennis van de slibverdeling in de Noordzee van het grootste belang. Volgens de kaart van de zuidelijke Noordzee van JARKE (1955) worden bezuiden 54° N op de bodem geen slibafzettingen aangetroffen; het fijnste materiaal is "Feinsand" met de meeste zandkorrels tussen 125 en 250 micron. In het water bestaat er, volgens gegevens van JOSEPH (1953), DIETRICH (1953) en KREY (1953), een nauw verband tussen zoutgehalte en hoeveelheid slib. De hierbij gereproduceerde

figuren, ontleend aan JOSEPH en DIETRICH en betrekking hebbend op het oppervlaktewater, laten dit zeer duidelijk zien. Op de kaartjes zijn geen slibconcentraties, maar extinctieverschillen aangegeven. Er blijkt echter een lineair verband te zijn tussen extinctie en totale hoeveelheid slib. Wel is dit verband anders voor het Nederlandse kustwater (een extinctie van 0.8 correspondeert hier met 2.8 mg/l slib) dan voor het centrale Noordzeewater benoorder 53.5° N (0.8 is hier 7 mg/l) en het Engelse kustwater (0.8 is hier 4.4 mg/l), maar dit doet aan het feit van een vrijwel ideaal verband tussen zoutgehalte en slibgehalte niet af.

Volgens KREY (1952) bestaat een soortgelijk nauw verband tussen zout- en slibgehalte op het traject Elbmond-Helgoland in de Duitse Bocht.

De voor de hand liggende conclusie uit bovengenoemde gegevens is, dat het in de zuidelijke Noordzee zwevende slib regelrecht uit de rivieren afkomstig is; het materiaal in suspensie langs de Nederlandse kust moet afkomstig zijn uit Rijn, Maas en Schelde en dat in de tong van Lowestoft naar het NO uit de Theems. Immers, wanneer een depôt ergens op de bodem van de Noordzee veel slib leverde, of wanneer veel slib werd aangevoerd door het Nauw van Calais of uit de noordelijke Noordzee, zou men een geheel ander slibpatroon verwachten en geen of een minder nauw verband tussen slib en hoeveelheid rivierwater.

Het Nederlandse kustwater bestaat uit een mengsel van rivierwater met zeewater dat door het Nauw van Calais de Noordzee binnenkomt en een zoutgehalte heeft van omstreeks 35^o/oo. In deze laatste watermassa is het slibgehalte, blijkens de figuren, 0.3 mg/l of lager

(Ext. = 0.2 of lager). Tabel II geeft een indruk van de toename van het slibgehalte met dalend zoutgehalte:

Tabel II
27-2- tot 3-3- 1952.

Zoutgehalte ‰	Extinctie	Slibgehalte mg/l
35	0.15	0.1
34	0.2	0.3
33	0.3	0.6
32	0.35	0.8
31	0.40	1.2
30	0.60	2.0
29	0.80	2.8
0 (interpolatie)	-	± 17

Interpolatie naar een zoutgehalte van 0‰, levert een slibgehalte op voor het onvermengde rivierwater van 17 mg/l. Het spreekt vanzelf, dat deze interpolatie van twijfelachtige waarde is, aangezien geen gegevens voor het zoutgehaltetraject tussen 0 en 29‰ ter beschikking staan. Het lijkt echter op grond van deze beschouwing waarschijnlijk, dat het slibgehalte van het rivierwater tussen bijvoorbeeld 10 en 25 mg/l moet hebben gelegen en een dergelijke uitkomst is, gezien in het licht van de gemeten slibwaarden in onze rivieren, niet onbevredigend.

Het lijkt op grond van de gegevens van DIETRICH en JOSEPH in ieder geval veelbelovend een soortgelijk onderzoek te verichten in het gebied dicht onder de Nederlandse kust. Uit dit onderzoek zal

moeten blijken of het verband tussen zoutgehalte en slibgehalte ook opgaat voor de laatstgenoemde zône. Tevens zal men dienen na te gaan in hoeverre weersomstandigheden en getij hier invloed op het slibgehalte uitoefenen.

5. Uitgaande van de (voorlopige) conclusie dat het slibgehalte langs de kust in direct verband staat met de rivierafvoer is het van belang een voorlopige slibbalans op te stellen (tabel III).

Tabel III
Slibbalans

	Water m ³ /jaar	Slib mg/l	Droog slib tonnen/jaar	Ontleend aan:
Nauw van Calais	1700 x 10 ⁹	0.2	340.000	<u>Carruthers,</u> 1935 <u>Joseph,</u> 1953
Boven-Rijn (1940 -1950)	67 x 10 ⁹	34.0	2300.000	<u>Santema,</u> 1953
Maas	7 x 10 ⁹	43 ?	300.000	<u>Kalle,</u> 1945
Schelde	3 x 10 ⁹	40 ?	120.000	<u>Kalle,</u> 1945
Totale aanvoer			3060.000	
Aanslibbing havens Nieuwe Waterweg	-	-	1250.000	<u>Santema,</u> 1954
Totale aanvoer naar ons kustwa- ter door rivieren	77 x 10 ⁹	-	1470.000	
Hiervan door IJsselmeer			250.000	<u>Postma,</u> 1954
Aanslibbing haven IJmuiden			610.000	Rijkswater- staat
Aanslibbing haven Den Helder			200.000	

Het slib uit de havens van de Nieuwe Waterweg wordt op het land verder verwerkt, en komt dus niet in zee terug, terwijl dat uit de havens van IJmuiden en Den Helder weer terug in zee wordt gestort.

Hoewel er blijkens de tabel voldoende slib langs onze kust naar het Noorden wordt gevoerd om de aanslibbing in de haven van IJmuiden te dekken, valt het toch op dat deze haven zo'n groot deel van dit slib weet te vangen. Ook om dit te verklaren is een nader onderzoek naar het slibtransport in de kustzône gewenst.

Vraagt men zich vervolgens af, wat het verdere lot is van de 1.5 millioen ton slib, die jaarlijks langs onze kust door de reststrook naar het Noorden wordt gevoerd, dan blijkt uit het voorgaande, dat dit slib langs de open Nederlandse kust nergens een definitieve rustplaats kan vinden. Bovengenoemde hoeveelheid zou dus in zijn geheel aan de Waddenzee ten goede kunnen komen.

Men zou graag willen weten hoe effectief dit gebied het slib weet te vangen. De Waddenzee bezit enkele eigenschappen, die het als slibvang-gebied zeer geschikt maken. Ten eerste zijn er een aantal plaatsen, waar de waterbeweging gering genoeg is voor de afzetting van slib; ten tweede is door onderzoek en theoretische overwegingen waarschijnlijk gemaakt, dat er een accumulatie-mechanisme bestaat welke het slib in de richting van de kust ophoopt; ten derde wordt door de zeegaten met iedere vloed zeer veel Noordzeewater naar binnen gebracht, waarna het slib dat zich in dit water bevindt aan het bovengenoemde accumulatie-proces wordt onderworpen; ten vierde worden zeer grote hoeveelheden slib vastgelegd door schelpdieren in de vorm van betrekkelijk zware faeces. Wat dit laatste

betreft, schat VERWEY (1952), dat alleen al in het gebied bewesten de lijn Harlingen-Terschelling jaarlijks 0.3 miljoen ton slib op deze wijze wordt verwerkt; voor de gehele Nederlandse Waddenzee is deze hoeveelheid zeker het dubbele van dit getal.

Verder moet worden opgemerkt, dat het hydrologische proces, hetwelk in een riviermond als de Nieuwe Waterweg het zoute water langs de bodem rivieropwaarts stuwt, in principe ook werkzaam moet zijn langs onze kust, zij het dan ook op kleinere schaal, omdat de zoutgehalteverschillen tussen bodem en oppervlak geringer zijn. Op dezelfde wijze waarop het zwevend materiaal hierdoor langs de bodem rivieropwaarts wordt gebracht, zou daarom ook langs de Noordzeebodem het slib een bewegingscomponent in de richting van de kust kunnen bezitten. Hierdoor wordt veel van vooral het zwaardere slib betrekkelijk dicht langs de kust naar het Noorden gevoerd en kan het dus binnen de invloedssfeer van de Waddenzee komen.

De Schrijver van dit overzicht is op grond van deze overwegingen geneigd aan te nemen dat de Waddenzee in staat is een groot deel van het zwevende slib voor onze kust aan te trekken en vast te houden.

Literatuur

- Armstrong, F.A.J. and Atkins, W.R.G., 1950: The suspended matter of sea water. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 29, 139-143.
- Atkins, W.R.G., 1938: Measurement of Submarine daylight. *Journal du Conseil*, 13, p. 37.
- Atkins, W.R.G., Jenkins, P.G. and Warren, F.J., 1954: The suspension matter in sea water and its seasonal changes as affecting the visual range of the Secchi disc. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 33, 497-509.
- Bodé, C., Diatomeen und Schlick. *Festschr. Naturf. Ges. (Emden)*, 97, 1915, 110 p.
- Brandt, K. und Raben, E., 1920: Zue Kenntnis der chemischen Zusammensetzung des Planktons. *Wiss. Meeresunters. Kiel*, 19, 175-210.
- Brockmann, Chr., 1935: Diatomeen und Schlick im Jade-Gebiet. *Abh. Senck. naturf. Ges.*, 430, 1-64.
- Brockmann, Chr., 1940: Diatomeen als Zeitfossilien in Küstenablagerungen. *Westküste*, 2, 2/3.
- Bruyn, C.M.A. de, 1957: Electrosmotisch onderzoek van enige slibmonsters uit de Benedenrivieren. *Rapp. Lab. voor Grondmechanica*. 9 pp.
- Canter Cremers, J.J., 1921: Enige beschouwingen over de waterbeweging en de beweging van vaste stoffen in benedenrivieren, getoetst aan uitkomsten van waarnemingen en aan de uitwerking van uitgevoerde verbeteringswerken in de Waterweg van Rotterdam naar zee. *De Ingenieur*, 36, 741-761.
- Canter Cremers, J.J., 1908: Invloed van het verschil in soortelijk gewicht van zout en zoet water op stroming en verplaatsing van vaste stoffen in Benedenrivieren. *De Ingenieur*, 23, p. 946.

- Carruthers, J.N., 1935: The flow of water through the Straits of Dover, part II. Fishery Investigations, Ser. II, Vol. 14, nr. 4, 1-67.
- Crommelin, R.D., 1948: Een onderzoek naar de aard en herkomst van het slib in de Westerschelde en enige aanverwante gebieden. Rapport Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Dal, P.H., 1952: Oriënterende sediment-volume metingen. Rapp. Keramisch Instituut T.N.O., 7 pp.
- Dal, P.H., 1952: Keramische verwerking van havenslib. Rapp. Keramisch Instituut T.N.O., 8 pp.
- Dal, P.H., 1952: Beschouwing en literatuur over de coagulatie van slib. Rapp. Keramisch Inst. T.N.O., 20 pp.
- Damas, D., 1934: Le rôle des organismes dans la formation des vases marines. Trav. Inst. Beneden, Liège, 26, pp. 172.
- Dammers, D.N., 1937: Rapport betreffende metingen en waarnemingen in en buiten de haven van IJmuiden, in 1937 verricht. Rapport Rijkswaterstaat.
- Dietrich, G., 1953: Verteilung, Ausbreitung und Vermischung der Wasserkörper in der südwestlichen Nordsee auf Grunde der Ergebnisse der "Gause"-Fahrt im Februar-März, 1952. Ber. Dtsch. Wiss. Komm. Meeresf. 13, 104-129.
- Doeglas, D.J., 1950: De interpretatie van korrelgrootte-analysen. Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnbouwk. Gen., 15, 247-328.
- Favejee, J.C.L., 1951: On the origin of the "Wadden" mud. Meded. Landbouwhogeschool, 51 (5), 113-141.
- Ferguson, H., 1943: Verslag over de waarnemingen van het Rijksoptnemingsvaartuig "Oceaan" in het Zeegat van Texel; 1938-1939. Rapport Rijkswaterstaat, Den Haag.
- Francis-Boeuf, Cl., 1947: Recherches sur le milieu fluvio-marin et les dépôts d'estuaire. Ann. de l'Inst. Océanogr., 1947, 23, (3).

- Gerritsen, F., 1955: De waterbeweging in het zuidelijk deel van het Eemsestuarium. Rapport Centr. Studied. Rijkswaterstaat CSD55-LN, 14 p. 30 bijlagen.
- Glangeaud, L., 1938: Transport et sédimentation dans l'estuaire et à l'embouchure de la Gironde. Caractères pétrographiques des formations fluviatiles, saumâtres littorales et néritiques. Bull. Soc. Géol. Fr., 8, 599-630.
- Glangeaud, L. et Bonichon, Yvette, 1939: Sur les causes dynamiques des variations de turbidité et du débit solide dans la Garonne maritime et la Gironde, au cours de la marée. C. Rendus Académie Sciences, 208, 1072.
- Goedecke, E., 1936: Der Kalkgehalt im Oberflächenwasser der Unterelbe und Deutschen Bucht. Arch. Deutsch. Seewarte, 40, 1, 1.
- Gry, Helge, 1941: An apparatus for mechanical micro-analyses of sand. Medd. fra Dansk Geol. Förening, København, 10, 17.
- Gry, Helge, 1942: Das Wattenmeer bei Skallingen; no. 1. Quantitative Untersuchungen über den Sinkstofftransport durch Gezeiterströmungen. Folia Geogr. Danica, 11, 1-138.
- Hagen, 1856: Über die Flut- und Bodenverhältnisse des preussischen Jadegebietes. Monatsber. preuss. Akad. Wiss. Berlinp. 339.
- Hansen, K., 1952: Preliminary report on the sediments of the Danish Wadden Sea. Medd. Skalling-Laboratoriet, 13, p. 1-26.
- Häntzschel, W., 1939: Tidal flat deposits (Wattenschlick) in Trask, P.D., blz. 195 (Recent marine sediments, Tulsa; Amer. Assn. Petrol. Geol.).
- Herrmann, 1943: Über den physikalischen und chemischen Aufbau von Marschboden und Watten verschiedenen Alters. Westküste, 72-119.
- Jarke, J., 1956: Der Boden des südlichen Nordsee. 1. Eine neue Bodenkarte des südlichen Nordsee. Deutsche Hydrogr. Zeitschr., 2, 1-9.

- Jerlov, N.G., 1953: Influence of suspended and dissolved matter on the transparency of sea water. *Tellus*, 5, 59-65.
- Jones, D. and Wills, N.S., 1956: The attenuation of light in sea and estuarine waters in relation to the concentration of suspended solid matter. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 35, 431-444.
- Jorgensen, W. and Utterback, C.L., 1939: Periodic changes in spectral scattering and spectral transmission of daylight in tidal waters. *J. Mar. Res.*, 2, 30-37.
- Joseph, J., 1950: Durchsichtigkeitsregistrierungen als ozeanographische Untersuchungsmethode. *Dtsch. hydrogr., Zeitsch.*, 3, 70-77.
- Joseph, J., 1953: Die Trübungsverhältnisse in der südwestlichen Nordsee während der "Gauss"-Fahrt im Februar-März, 1952. *Ber. Dtsch. Komm. Meeresforsch.*, 13, 93-103.
- Kalle, K., 1945: Der stoffhaushalt des Meeres. 251 blz.
- Köppen, R., 1950: Zur Schlickbildung in Küstengewässern. *Kolloid-Zeitschr.*, Darmstadt, 118, H. 3, 173-174.
- Körner, B., 1955: Die Sinkstoffe des Küstengewässer. Ein Ueberblick über den Stand der Forschung. *Die Küste*, 4, 1955.
- Krey, J., 1952: Untersuchungen zum Seston Gehalt des Meerwassers. I. Der Seston Gehalt in der westlichen Ostsee und unter Helgoland. *Ber. Dtsch. Komm. Meeresf.*, 12, 431-456.
- Krey, J., 1953: Plankton und Sestonuntersuchungen in der südwestlichen Nordsee auf der Fahrt der "Gauss" Februar-März 1952. *Ber. Dtsch. Komm. Meeresforsch.*, 13, 136-153.
- Kükl, H. und Mann, H., 1953: Beiträge zur Hydrochemie der Unterelbe. *Veröff. Inst. Meeresf. Bremerhaven*, 2, 236-268.

- Kuppers, E., 1908: Physikalische und mineralogisch-geologische Untersuchung von Bodenproben aus Ost- und Nordsee. Wiss. Meeresunters. Kiel N.F., 10, 1-13.
- Linke, O., 1940: Die Entwicklung des biologischen Wattforschung in den letzten Jahren. Forsch. und Fortschr., 16, 297-300.
- Lucht, F., 1953: Hydrographische Untersuchungen der Brackwasserzone der Elbe. D. Hydrogr. Zeitschr., 6, 18-32.
- Lüders, K., 1930: Entstehung der Gezeitschichtung auf den Watten in Jadebusen. Senckenbergiana, 12, 229-254.
- Lüders, K., 1933: Unmittelbare Sandwanderungsmessung auf dem Meeresboden. Veröff. Inst. Meeresk. A 24, Berlin.
- Lüneburg, H., 1939: Hydrochemische Untersuchungen in der Elbemündung mittels Elektrokolorimeter. Arch. Dtsch. Seewarte, 1939, 59, nr. 5, 1-27.
- Lüneburg, H., 1951: Über Messung und Bedeutung der Sinkstoffe in Elb- und Wesermündung. Vom Wasser. Weinheim, 18, 197-206.
- Lüneburg, H., 1952: Beiträge zur Hydrographie der Wesermündung, I. Veröff. Inst. Meeresf. Bremerhaven, 1, 91-114.
- Lüneburg, H., 1953: Die Probleme der Sinkstoffverteilung in der Wesermündung. Veröff. Inst. Meeresf. Bremerhaven, 2, 15-51.
- Lüneburg, H., 1954: Beiträge zur Hydrographie der Wesermündung. III. Teil: Vergleichende Watt-Untersuchungen im Bereich der Wesermündung. Veröff. Inst. Meeresf. Bremerhaven, 3, 66-125.
- Postma, H., 1954: Hydrography of the Dutch Wadden Sea. Arch. Néerl. Zool., 10, p. 405.
- Postma, H. und Kalle, K., 1955: Die Entstehung von Trübungszonen im Unterlauf der Flüsse, speziell im Hinblick auf die Verhältnisse in der Unterelbe. Deutsch. Hydrogr. Zeitschr., 8, 137-144.

- Pratje, O., 1934: Die Schlickgebiete der Deutsche Bucht und die Beziehungen zwischen Strömung und Sediment. Geol. Rundschau, 25, 145-160.
- Pratje, O., und Schüler, F., 1952: Bodenkartierung des Seegebietes Hoofden (Südliche Nordsee) mit Hilfe von Grundproben und Echogrammen. Deutsche Hydrogr. Zeitschr., 5, 189-196.
- Reinhold, Th., 1948: Over het mechanisme der sedimentatie op de Wadden. Med. Geol. Sticht., N.S., 3, 75-81.
- Santema, P., 1953: Enkele beschouwingen over het slibtransport van de Rijn. De Ingenieur, B 3, nr. 7.
- Santema, P., 1953: Coagulatie van rivierslib bij ontmoeting met zeewater. De Ingenieur, B. 70, nr. 16.
- Santema, P., 1954: Enkele beschouwingen over de aanslibbing van havens langs de Rotterdamse Waterweg. De Ingenieur, B. nr. 1.
- Scheele, J., 1938/1943: (samen met J. VERWEY): Chemische en granulometrische analyses van bodemonsters in verschillende Mederlandse havens. Serie rapporten van Rijkswaterstaat en Zoölogisch Station.
- Haven IJmuiden (1938)
 " Schiedam (1939)
 " IJmuiden (1939)
 " Schiedam (1939)
 Wiltonhaven (1939)
 Havens langs Nieuwe Waterweg,
 Scheur, Nwe Maas en Lek (1939)
 Waterweg en Nieuwe Maas (1940)
 Petroleumhaven (Pernis) (1940)
 Scheldemond (1941)

Zuiderdiep, Noord Pampus en Gat van Goeree	(1942)
Stellendam, haven Ooster- schelde	(1942)
IJmuiden	(1943)
Gat van Beversluis en Zuid-Maartensgat	(1943).

- Scheele, J., 1938: Watermonsters, genomen in de ingang van het Nieuwediep, Rapp. Rijkswaterstaat-Zoölogisch Station.
- Scheele, J., 1940: Analyses van watermonsters, tijdens strenge vorst genomen in de Maas bij Sambeek en Lith en in de Rijn bij Arnhem. Rapport Rijkswaterstaat-Zoölogisch Station.
- Scheele, J., 1940: Tabellen, betrekking hebbend op monsters zwevend slib, in maart, april en mei 1940 genomen aan boord van het Lichtschip "Terschellingerbank". Rapport Rijkswaterstaat-Zoölogisch Station.
- Scheele, J., 1941: Analyse-resultaten van watermonsters, geschept bij de Hefbrug te Spikenisse. Rapport Rijkswaterstaat-Zoölogisch Station.
- Scheele, J., 1941: Slibtransport in de Nieuwe Waterweg bij Poortershaven. Rapport Rijkswaterstaat-Zoölogisch Station.
- Scheele, J., 1942: Cijfers van de monsters zwevend slib, genomen op 19 en 20 december 1942 in Noord Pampus en Zuiderdiep en van bodemmonsters, genomen om en op de Plaat van Scheelhoek. Rapport Rijkswaterstaat-Zoölogisch Station.
- Scheele, J., 1946: Kalkafzettingen door Nederlandse stromen. Rapport Rijkswaterstaat.
- Schucht, F., 1905: Das Wasser und seine Sedimente im Flutgebiete der Elbe. Jahrb. preuss. geol. Landesanst. Berlin, 25, 431-465.

- Stockfisch, K., Benade, W., 1930: Die Charakterisierung der Heilschlaume und verwandete Stoffe auf Grund mikroskopischer, chemischer, dispersoid-analytischer Untersuchungen, sowie ihre physikalische Eigenschaften. Mitt. aus dem Lab. d. preuss. geol. Landesanst. Berlin, 11, 35-83.
- Veen, Joh. van, 1936: Onderzoekingen in de Hoofden, diss. Delft.
- Veen, J. va, 1935: Verslag van de waarnemingen met de "Oceaan" in het Zeegat van het Vlie, 1933-34, Rapport Rijkswaterstaat.
- Verwey, J., 1952: On the ecology of distribution of cockle and mussel in the dutch Wadden Sea, their rôle in sedimentation and the source of their food supply. Arch. Néerl. Zool., 10, 171-239.
- Voorthuysen, J.H. en van der Werff, A., 1951: Onderzoek van de microfauna en -flora van een zevental slibmonsters uit de benedenrivieren. Rapport Geologische Dienst, Haarlem.
- Wyrtki, K., 1950: Über die Beziehung zwischen Trübung und ozeanographischen Aufbau. Kieler Meeresforschungen, 7.
- Wijngaarden, H. van, 1956: Onderzoekingen naar het slibgehalte der Rijntakken. Rapport Rijkswaterstaat.