

Slibtransport in de Schelde over de Belgisch-Nederlandse grens

1. Inleiding

De bereikbaarheid van de haven van Antwerpen is van groot economisch belang. Hiertoe worden grote hoeveelheden zand en slib van de drempels in de Westerschelde en Zeeschelde gebaggerd en vervolgens in de vaargeul teruggestort. De Nederlandse overheid heeft aan Vlaanderen een aantal WVO-vergunningen (Wet verontreiniging oppervlaktewateren) afgegeven waarin bovengrenzen gesteld worden aan de hoeveelheid bagger die mag worden teruggestort in de vaargeul.

voorwaarden is gegeven in het kader. Begin 1997 zal worden besloten of moet worden doorgegaan met het verwijderen van slib uit de Beneden Zeeschelde in de periode 1998-2000. Een dergelijk besluit kan op een meer verantwoorde wijze worden genomen als het grensoverschrijdend transport van slib en het tijdsverloop hierin kan worden bepaald. Het grensoverschrijdende slibtransport is, vanwege de door het getij gedomineerde waterstroming, niet rechtstreeks met voldoende nauwkeurigheid uit veldmetingen te bepalen. Het moet daarom

Samenvatting

In 1997 wordt besloten of België doorgaat met het verwijderen van slib uit de Beneden Zeeschelde. De uitkomst van deze beslissing hangt af van de grootte van het slibtransport bij de Nederlands-Belgische grens. Het grensoverschrijdende slibtransport wordt afgeleid uit de slibbalans van de Beneden Zeeschelde omdat deze niet direct kan worden bepaald door veldmetingen. In dit artikel wordt een overzicht van bestaande slibbalansen van de Beneden Zeeschelde gegeven. Termen in de slibbalans zijn: (1) aanvoer van rivierslib van de Schelde, (2) aanvoer van zeelslib uit de Westerschelde, (3) afvoer van rivierslib naar de Westerschelde, (4) verwijdering van slib uit de Beneden Zeeschelde, (5) afvoer van slib naar de havenbekkens en (6) nettoverandering van de slibhoeveelheid in de bodem van de Beneden Zeeschelde. De aanvoer van rivierslib van de Schelde wordt nauwkeurig bepaald. De afvoer van slib naar de havenbekkens en de verandering in de slibhoeveelheid in de Beneden Zeeschelde zijn daarentegen een bron van onzekerheid. Aanbevelingen worden gegeven hoe deze twee grootheden nauwkeuriger kunnen worden bepaald. De twee grensoverschrijdende transporttermen (2 en 3) kunnen niet op een nauwkeurige manier door veldmetingen worden bepaald vanwege de sterke getijbewegingen aldaar. Het zijn daarom sluittermen in de slibbalans. Ze kunnen worden bepaald zodra informatie over de zee-rivierslibverhouding van gesedimenteerde slib in de Beneden Zeeschelde is verkregen.



P. A. J. VERLAAN
Faculteit der Civiele Techniek,
TU Delft



V. J. MAARTENSE
Faculteit der Technische
Bestuurskunde,
TU Delft



S. V. MEIJERINK
Faculteit der Civiele Techniek,
TU Delft

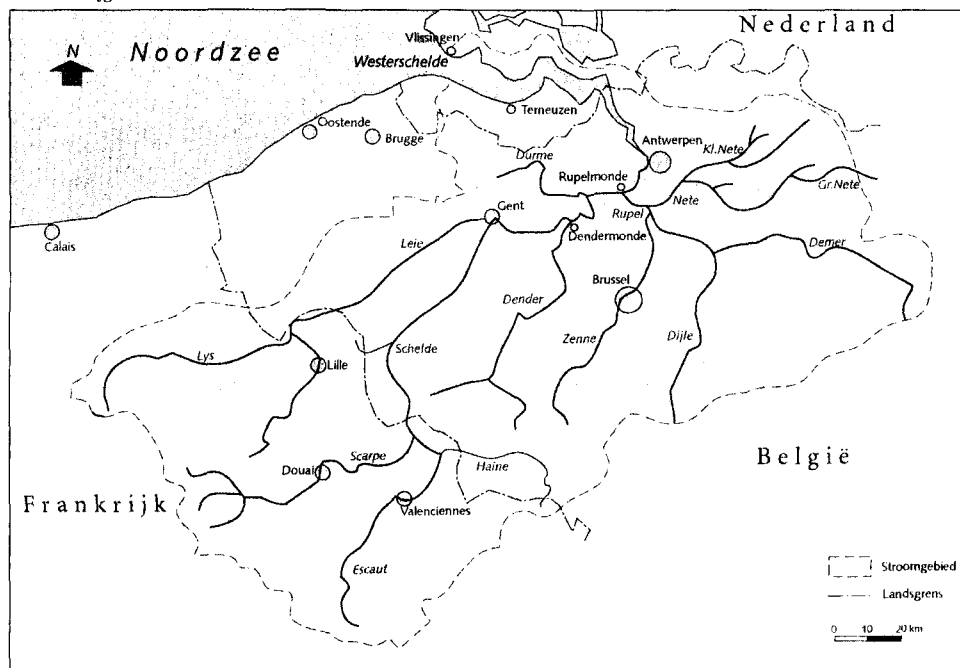


M. DONZE
Faculteit der Civiele Techniek,
TU Delft

Aan deze vergunningen is een aantal voorwaarden verbonden. Deze bepalen onder meer de verwijdering van slib uit de Beneden Zeeschelde en het jaarlijks overleggen van een slibbalans van de Beneden Zeeschelde. Een kort historisch overzicht van de WVO-vergunningen voor het Vlaamse Gewest en de daaraan gestelde

worden beschouwd als een sluitterm in een slibbalans van de Beneden Zeeschelde. In dit artikel wordt een overzicht gegeven van de bestaande slibbalansen van de Beneden Zeeschelde en de nauwkeurigheid van de verschillende balans termen. Daarnaast worden aanbevelingen gedaan hoe de betrouwbaarheid van verschillende balans-

Afb. 1 - Het stroomgebied van de Schelde. De Schelde ontspringt ten noorden van de Franse plaats St. Quentin, stroomt door Wallonië en Vlaanderen en mondt na 355 km uit in de Noordzee. De Leie en de Dender stromen bij respectievelijk Gent en Dendermonde in de Schelde uit. Iets meer dan 20 km ten zuiden van de stad Antwerpen, bij Rupelmonde, komt de Schelde samen met de Rupel. Het rivierwater wordt vervolgens via de Beneden Zeeschelde en Westerschelde naar de Noordzee afgevoerd.



termen kan worden vergroot. Eerst geven we een korte inleiding over de rivier de Schelde.

De Schelde ontspringt ten noorden van de Franse plaats St. Quentin, stroomt door Wallonië en Vlaanderen en mondt na 355 km uit in de Noordzee. De Leie en de Dender stromen bij respectievelijk Gent en Dendermonde in de Schelde uit (afb. 1). Iets meer dan 20 km ten zuiden van de stad Antwerpen, bij Rupelmonde, wordt de Schelde tenslotte verenigd met de Rupel en wordt al het rivierwater via de Beneden Zeeschelde (België) en Westerschelde (Nederland) naar de Noordzee afgevoerd. Naar schatting 65% van het Schelde- en Leie-water wordt bovenstrooms van Gent

via kanalen zijdelings naar de Noordzee afgeleid [3].

De Schelde onderscheidt zich op veel punten van de andere twee grote rivieren in Nederland: de Rijn en de Maas. Doordat het stroomgebied van de Schelde klein is ten opzichte van de twee andere grote rivieren is de afvoer ook relatief klein (tabel I). De Schelde is net als de Maas en anders dan de Rijn een laaglandrivier waarvan de afvoer volledig door de hoeveelheid neerslag wordt bepaald.

TABEL I – De jaargemiddelde afvoer en de grootte van het stroomgebied van vier Nederlandse rivieren.

rivier	jaar-gemiddelde afvoer (m ³ /s)	minimale afvoer (m ³ /s)	maximale afvoer (m ³ /s)	stroom-gebied (km ²)
Rijn	2200	700	13.000	145.000
Maas	250	5	3.000	33.000
Schelde	120	20	600	21.000
Eems	115	20	400	13.000

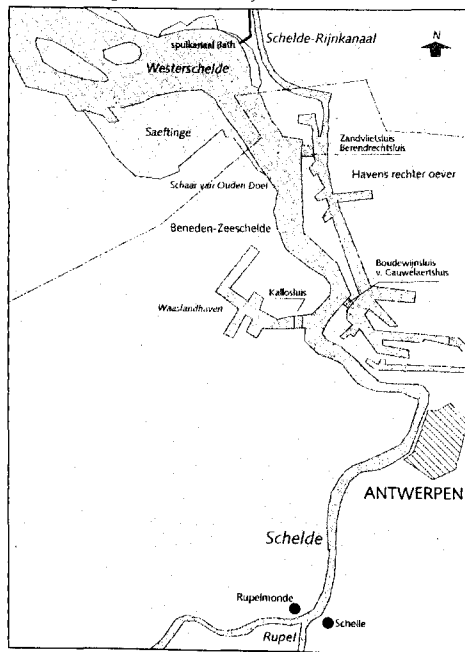
De afvoer varieert hierdoor sterk: tussen 20 m³/s en 600 m³/s.

De Schelde heeft in vergelijking tot de Rijn en Maas een omvangrijk estuarium. Het getij domineert de waterbeweging in het gehele gebied tussen Vlissingen en Gent. Bovenstrooms van Rupelmonde is het water geheel zoet terwijl de invloed van het getij hier nog wel merkbaar is. Het gebied tussen Gent en Rupelmonde wordt daarom het zoetwaterestuarium genoemd. Bij een lage rivierafvoer reikt het zeewater tot Rupelmonde en strekt de mengzone van zee- en rivierwater zich uit over het gehele gebied tussen Vlissingen en Rupelmonde. De mengzone van zee- en rivierwater is dan ongeveer 100 km lang. Bij een hoge rivierafvoer reikt het zeewater niet verder dan Antwerpen; de mengzone is in dat geval niet meer dan 70 km lang. Zeewater dat het estuarium binnenkomt voert zeeslib met zich mee. Dit zeeslib zet zich vervolgens in de gehele mengzone op de bodem af. Op grond van berekeningen van de zee/rivierslib verhouding van zwevende stof [23] valt af te leiden dat het gesuspendeerde zeeslib even ver reikt als het punt van maximale zoutindringing. Vanuit het bovenstroomse gebied voert de Schelde rivierslib de mengzone binnen dat ook voor een belangrijk deel in de mengzone wordt afgezet. Het Schelde-estuarium vangt aldus zoals vele andere estuaria veel slib in.

De grootte van de slibsedimentatie is niet in de gehele mengzone gelijk. Van nature concentreert de sedimentatie zich in het gebied waar de zoetwaterzone in de brakwaterzone overgaat [10, 13, 17]. Hier komen de slibstromen in het estuarium samen. Het water is in dit gebied dan ook het meest troebel. Dit troebelheids-

maximum ligt bij lage rivierafvoeren halverwege Antwerpen en de Belgisch-Nederlandse grens en bij hoge rivierafvoeren bij de Belgisch-Nederlandse grens. De sedimentatie van slib wordt sterk bevorderd door de aanwezigheid van een aantal grote zeesluizen die de verbinding vormen tussen de Beneden Zeeschelde en de Antwerpse havenbekkens. De belangrijkste sluizen zijn de Zandvliet-Berendrechtsluis aan de rechteroever en de Kallosluis aan de linkeroever van de Beneden Zeeschelde (afb. 2). In de toegangsgeulen naar deze sluizen zijn de stroomsnelheden en daarmee de turbulentie dermate klein dat veel slib dat zich hier in suspensie bevindt op de bodem wordt afgezet [16]. Het slib in de toegangsgeulen kan bij het schutten van de sluizen naar de havenbekkens worden gevoerd.

Afb. 2 - De Beneden Zeeschelde. Deze wordt gedefinieerd als het deel van de Schelde gelegen tussen Rupelmonde en de Belgisch-Nederlandse grens. De rivierafvoer wordt gemeten bij Schelle. De Beneden Zeeschelde is verbonden met de Antwerpse havenbekkens met vijf sluizen. Vier sluizen liggen aan de rechteroever. De twee grootste zijn de Zandvliet-Berendrechtsluis en de Kallosluis. Veel kleiner zijn de Boudewijnsluis en de Van Cauwelaertsluis. Aan de linkeroever ligt slechts één sluis, de Kallosluis.



Dit wordt bevestigd door de grote hoeveelheden slib die op de bodem direct achter de sluizen in de havenbekkens worden aangetroffen.

Sedimentatie van zeeslib in het Schelde-estuarium is ecologisch geen probleem, het is zelfs wenselijk. Het slib draagt tezamen met het zand zorg voor grotere gradiënten in de bodemsamenstelling. Dit leidt tot een veelzijdiger ecosysteem. Het rivierslib is in tegenstelling tot slib uit zee verontreinigd met zware metalen, organische micro-

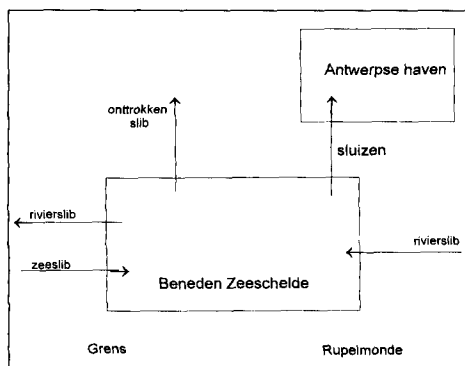
Voorwaarden gesteld aan de WVO-vergunningen voor het terugstorten van baggerspecie in de Westerschelde

In 1985 heeft de Nederlandse minister van Verkeer en Waterstaat (VenW) aan de Belgische regering kenbaar gemaakt dat deze voor het terugstorten van baggerspecie in de Westerschelde een vergunning op grond van de Wet verontreiniging oppervlaktewateren moet aanvragen. De WVO-vergunning wordt verleend door de Nederlandse minister van VenW op aanvraag van de Belgische regering en sinds 1990, wegens de Belgische staats-hervorming, op aanvraag van de Vlaamse regering. De voorbereiding van de besluitvorming over de inhoud en de voorwaarden van de WVO-vergunning vindt plaats in de Technische Schelde Commissie waarin Vlaanderen en Nederland gezamenlijk vormen aan het beleid voor de vaarweg van de Schelde. De mogelijkheid om voorwaarden te stellen aan de WVO-vergunning verschaft Nederland een middel om de omvang van het grensoverschrijdend slibtransport te beïnvloeden. Voor de periode 1988 tot 1991 zijn twee WVO-vergunningen verleend aan de Belgische regering. Eén vergunning voor het terugstorten van baggerspecie uit de Beneden Zeeschelde op Nederlands grondgebied en één voor het terugstorten van baggerspecie uit de Westerschelde op Nederlands grondgebied. Aan deze vergunningen waren geen voorwaarden gesteld voor het verwijderen van slib uit de Beneden Zeeschelde. De WVO-vergunning voor de periode van 28 november 1991 tot 1 januari 1995 had alleen betrekking op het terugstorten van baggerspecie uit de Westerschelde op Nederlands grondgebied. Aan deze vergunning was de voorwaarde verbonden dat de vergunninghouder in drie jaar tijd een hoeveelheid van 1.300.000 ton drogestof uit de Beneden Zeeschelde moest verwijderen, waarvan minimaal 200.000 ton in het eerste jaar en minimaal 400.000 ton in het tweede jaar. De verwijdering van het meest vervuilde slib, in de toegangsgeul tot de Kallosluis, had daarbij de prioriteit. Daarnaast werd de vergunninghouder verplicht gesteld jaarlijks een slibbalans van de Beneden Zeeschelde te overleggen aan de hoofdingenieur-directeur van de Directie Zeeland van Rijkswaterstaat met daarin informatie over de locaties en de geschatte hoeveelheid slib die zich afzet, de hoeveelheid slib die wordt geborgen en de daarbijbehorende locatie, en de mogelijkheden om de slibvracht in de richting van de Westerschelde te verminderen. De vergunning voor de periode van 1 januari 1995 tot 31 december 2000 bevat de voorwaarde dat gedurende de periode 1995 tot 1997 jaarlijks 300.000 ton drogestof verwijderd moet worden uit de Beneden Zeeschelde. Wederom moet daarbij prioriteit worden gegeven aan het verwijderen van het slib in de toegangsgeul tot de Kallosluis. In 1997 zal worden bezien in hoeverre de genoemde jaarlijkse hoeveelheid voor de periode 1998 tot 2000 bijstelling behoeft. Behalve de jaarlijkse verplichting om een slibbalans van de Beneden Zeeschelde te overleggen is aan de huidige vergunning de voorwaarde verbonden dat de Vlaamse regering in 1998 en in 2000 de hoofdingenieur-directeur informatie verschaft over aanslibingssnelheden en profielveranderingen in de toegangsgeulen, actuele slibvoorraden in de Beneden Zeeschelde en de zee/rivierslib-verhouding van slib in de Beneden Zeeschelde inclusief de havendokken.

verontreinigingen en nutriënten [11, 20]. Het rivierslib is daardoor ecologisch ongewenst. Baggerspecie in de Beneden Zeeschelde en in de toegangsgeulen naar de sluizen is meestal van kwaliteitsklasse 2 en 3 [15]. Het mag daarom niet zonder meer worden teruggestort in de vaargeul nadat het is gebaggerd. De beleidsmakers gaan ervan uit dat het vervuilde bodemslib in de Beneden Zeeschelde naast de directe aanvoer uit het bovenstroomse gebied van het Scheldebekken mede verantwoordelijk is voor de grensoverschrijdende vracht van vervuilingen. Door de slibverwijdering uit de Beneden Zeeschelde kan de grensoverschrijdende vracht van vervuild rivierslib afnemen. De grensoverschrijdende vracht van rivierslib is niet rechtstreeks uit metingen te bepalen. Dit komt doordat het water en de zwevende stof ieder getij periodiek een sterke stroomopwaartse en stroomafwaartse beweging uitvoeren. Een transportmeting gedurende een getij op een vaste locatie zou daarom resulteren in het aftrekken van twee tegengesteld gerichte transporten. Omdat de grootte van deze twee transporten minimaal een orde van grootte hoger is dan het resttransport heeft het resttransport een grote relatieve fout (50%-100%). Zelfs al zou dit resttransport met voldoende nauwkeurigheid bepaald kunnen worden, dan is het nog niet mogelijk zowel het stroomopwaarts gerichte transport van zeeslib als het stroomafwaarts gerichte transport van rivierslib te bepalen. Daarom moet voor een andere benadering worden gekozen: het opstellen van een slibbalans van de Beneden Zeeschelde. In een slibbalans kunnen deze transporttermen worden afgeleid als sluitterm zoals hierna wordt beschreven.

2. De slibbalans

De slibbalans van de Beneden Zeeschelde is schematisch weergegeven in afbeelding 3. Zeeslib komt via de Westerschelde de Beneden Zeeschelde binnen. Rivierslib wordt naar de Beneden Zeeschelde gevoerd vanuit het gehele bovenstroomse gebied van het Schelde bekken. Een deel van het in de Beneden Zeeschelde afgezette slib wordt verwijderd door baggeren en gestort op land. Slib uit de Beneden Zeeschelde kan naar de havenbekkens worden getransporteerd bij het schutten van de sluizen. Een deel van het uit de havenbekkens gebaggerde slib wordt gestort op land of in overdiepten binnen het havenbekken. Voor 1990 werd bovendien een deel van dit gebaggerde slib teruggestort in de Beneden Zeeschelde. Tenslotte wordt het rivierslib dat bij Rupelmonde de mengzone binnenkomt ten dele direct met



Afb. 3 - Schematische weergave van de slibbalans van de Beneden Zeeschelde. Zeeslib komt vanuit de Westerschelde de Beneden Zeeschelde binnen. Vanuit het bovenstroomse gebied wordt rivierslib aangevoerd. Het rivierslib dat bij Rupelmonde de mengzone binnenkomt sedimenteert voor een deel in de Beneden Zeeschelde. Een ander deel wordt naar de Westerschelde afgevoerd. Met andere woorden: bij de Belgisch-Nederlandse grens vindt zowel een afvoer van rivierslib als een aanvoer van zeeslib plaats. Slib uit de Beneden Zeeschelde wordt ten dele naar de havenbekkens getransporteerd bij het schutten van de sluizen. Een deel van het in de havenbekkens gebaggerde slib wordt gestort op land of in overdiepten binnen het havenbekken. Tot 1990 werd een deel van het in de havenbekkens gebaggerde slib teruggestort in de Beneden Zeeschelde. Tenslotte worden ook grote hoeveelheden slib in de Beneden Zeeschelde gebaggerd, vooral uit de toegangsgeulen, en gestort op land.

het water naar de Westerschelde afgevoerd. Met andere woorden: bij de Belgisch-Nederlandse grens vindt zowel een afvoer van rivierslib als een aanvoer van zeeslib plaats.

In het verleden zijn enkele slibbalansen opgesteld voor de gehele mengzone van het Schelde-estuarium. De slibbalans van Van Maldegem [14] heeft betrekking op de periode 1975-1985. De slibbalans van

Vereeke [21] heeft betrekking op het begin van de jaren negentig. Wij voegen hier een jaargemiddelde slibbalans voor de periode 1964-1986 en slibbalansen voor de jaren 1992, 1993 en 1994 aan toe. De periode 1964-1986 is gekozen omdat over deze periode de verandering in de hoeveelheid slib in de Beneden Zeeschelde is gemeten [1]. Slibbalansen voor de drie meest recente jaren, 1992 t/m 1994, kunnen worden geconstrueerd omdat in deze jaren de aanvoer van rivierslib en de verwijdering van slib uit de Beneden Zeeschelde zijn bepaald [5, 6, 8, 19]. Tabel II geeft een overzicht van de slibbalansen voor de Beneden Zeeschelde. Deze slibbalansen kunnen niet allen met elkaar vergeleken worden omdat ze op verschillende perioden betrekking hebben. De verschillende termen in de slibbalans van de Beneden Zeeschelde worden nu beschouwd.

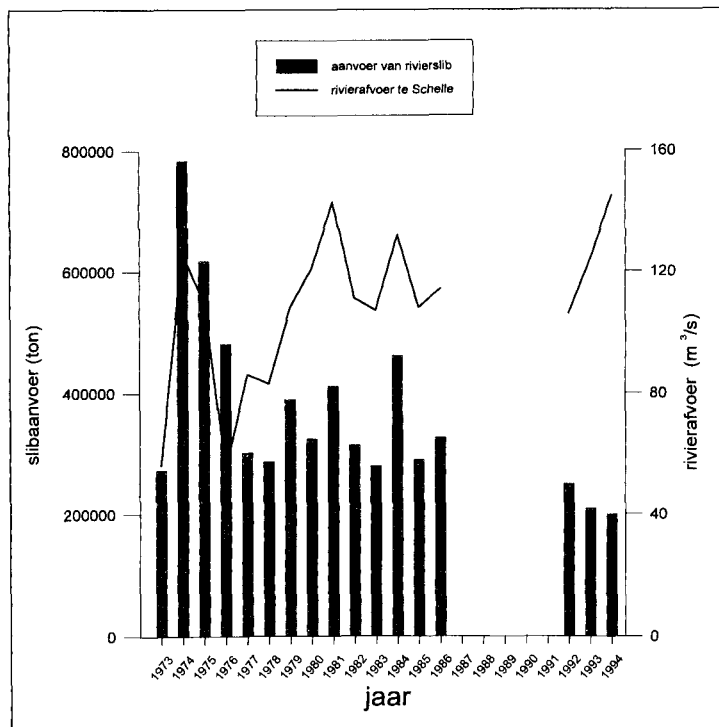
3. Fluviale slibaanvoer

Van Maldegem [14] en Vereeke [21] gaan uit van een fluviale slibaanvoer van respectievelijk 420.000 ton en 390.000 ton per jaar. Deze schattingen zijn gebaseerd op maandelijkse metingen van de concentratie gesuspendeerd materiaal en het debiet per zijrivier in de periode 1973-1986 [8]. Al het materiaal in suspensie wordt verondersteld slib te zijn. Door de concentratie met het debiet te vermenigvuldigen werd per zijrivier een maandwaarde voor het slibtransport berekend. Het totale transport bij Rupelmonde wordt berekend door deze transporttermen op te tellen. Tussen 1973 en 1986 varieerde het fluviale slibtransport, na correctie voor piek-

TABEL II - Slibbalansen van de Beneden Zeeschelde. De balanst termen zijn schematisch weergegeven in afbeelding 3. Alle getallen zijn gegeven in de eenheid: kton. De slibbalans van Van Maldegem heeft betrekking op de periode 1975-1985. De slibbalans van Vereeke heeft betrekking op begin jaren negentig. De slibbalansen van Van Maldegem, Vereeke en die voor de periode 1964-1986 gaan uit van ongeveer eenzelfde fluviale slibaanvoer. De slibbalansen voor 1992 t/m 1994 geven veel lagere waarden voor de fluviale slibaanvoer. De verandering van de hoeveelheid slib in de Beneden Zeeschelde verschilt sterk. Van Maldegem en Vereeke schatten deze op grond van sedimentatiesnelheden in schorgebieden. Over de periode 1964-1986 is deze direct bepaald uit metingen. Voor de jaren 1992-1994 is de verandering in de hoeveelheid slib een sluitterm in de balans. Grote verschillen worden ook gevonden in de door baggeren verwijderde hoeveelheden slib. Van Maldegem verwaarloost deze term. Vereeke neemt in zijn balans het getal voor 1992. Voor de overige balansen zijn voor deze term geen cijfers gegeven in de referenties.

	1975-1985 ¹	Begin jaren negentig ²	1964-1986	1992	1993	1994
Aanvoer rivierslib uit het bovenstroomse gebied	420	390	375	250	210	200
Aanvoer zeeslib uit de Westerschelde	80	130	100	100	100	100
Afvoer rivierslib naar de Westerschelde	300	121	175	125	105	100
Verwijdering slib uit Beneden Zeeschelde	0	240	150	240	550	550
Afvoer slib naar havenbekkens	175	150	150	340	390	?
Terugstorten slib uit havenbekkens in Beneden Zeeschelde	0	0	100	0	0	0
Verandering hoeveelheid slib in Beneden Zeeschelde	25	9	100	-355	-735	?

¹) Van Maldegem [14]. ²) Vereeke [21].



Afb. 4 - De jaarlijkse fluviatiele slibaanvoer en de jaargemiddelde Schelde-afvoer bij Schelle in periodes 1973-1986 en 1992-1994. Variaties in de vracht van rivierslib naar de Beneden Zeeschelde worden grotendeels veroorzaakt door variaties in de rivierafvoer. Hiernaast is ook een lange termijn-effect aanwezig van een afnemende fluviatiele slibaanvoer bij eenzelfde rivierafvoer. Zodoende laat de fluviatiele slibvracht naar de Beneden Zeeschelde een afnemende tendens zien.

afvoeren en de zijdelingse afvoer tussen Rupelmonde en de grens, tussen de 200.000 en 800.000 ton (afb. 4). Dit komt overeen met een jaargemiddelde van 390.000 ton. In onze balans voor de periode 1964-1986 is uitgegaan van een jaargemiddelde aanvoer van rivierslib gelijk aan 375.000 ton. Dit is iets lager dan het berekende jaargemiddelde van 390.000 ton. Dit laatste cijfer werd echter sterk beïnvloed door de uitschieters in 1974 en 1975 (afb. 4) waardoor het berekende gemiddelde mogelijk iets te hoog is.

In de periode 1987-1991 werd de fluviatiele slibaanvoer niet bepaald. Hiermee is opnieuw begonnen in 1992 in het kader van de WVO-vergunning. Sinds 1992 zijn de bovenstroomse metingen van concentratie en debiet frequenter uitgevoerd: wekelijks in plaats van maandelijks. Zodoende wordt sindsdien beter gecorrigeerd voor piekafvoeren. De jaargemiddelde fluviatiele slibaanvoeren komen voor 1992, 1993 en 1994 aanzienlijk lager uit dan het jaargemiddelde over de periode 1973-1986. Afbeelding 4 laat zien dat de fluviatiele slibaanvoer in de periode 1992-1994 een daling laat zien terwijl de jaargemiddelde rivierafvoer juist is toegenomen. Dit kan duiden op bovenstroomse slibonttrekkingen of op een afname van de afvoer van industrieel en/of huishoudelijk slib.

4. Afvoer slib naar havens

Een tweede term in de balans is de afvoer van slib van de Beneden Zeeschelde naar

de havenbekkens. De grootte van deze afvoer wordt bepaald uit gebaggerde volumina in de havenbekkens [12]. Hoeveelheden gebaggerd materiaal zijn in dit geval gegeven in m³. Bij het construeren van een slibbalans moeten gegeven baggervolumina worden vertaald naar tonnen slib. Hierbij zijn aannamen over de dichtheid van de baggerspecie en het slibpercentage nodig. Bagger bestaat uit een mengsel van slib, zand en water. Uit de dichtheid van de baggerspecie kan worden afgeleid hoeveel water er in de baggerspecie zit. Het slibpercentage geeft vervolgens aan welk deel van de vaste stof uit slib en welk deel uit zand bestaat. Omdat in deze aannamen een grote foutmarge zit, zijn berekende tonnages slib behept met een grote onzekerheid, mogelijk enkele tientallen procenten. Een deel van het materiaal dat de havenbekkens binnenkomt wordt verwijderd en gestort op land. Een ander deel wordt gestort in overdiepten binnen het havenbekken. In de periode 1964-1986 werd bovendien gemiddeld 100.000 ton slib per jaar van de havenbekkens in de Beneden Zeeschelde teruggestort [8]. Na 1990 werd dit niet meer gedaan. Sinds de indienststelling van de Kallosluis (1983) en de Berendrechtshuis (1987) is de hoeveelheid slib die de havens binnenkomt aanzienlijk toegenomen van naar schatting 150.000 ton per jaar naar 350.000 tot 400.000 ton per jaar. Uit een studie van de Antwerpse havendienst [24] bleek dat in de periode 1989-1993 de hoeveelheid slib in de havenbekkens aan de rechteroever is toegenomen met bijna 2,1 miljoen ton.

Dit komt overeen met een jaarlijkse toename van 525.000 ton als we uitgaan van een periode van 4 jaar. In de hier genoemde studie werd echter van een periode van 5 jaar uitgegaan wat leidt tot een jaargemiddelde slibtoename van 425.000 ton. Uit de beschikbare gegevens valt niet op te maken welke periode de juiste is. Dezelfde studie liet ook zien dat het meeste slib dat naar de havenbekkens wordt getransporteerd direct achter de sluizen in de zwaaiakommen sedimenteert. Verder bleek dat het meeste slib via de Zandvlietshuis/Berendrechtshuis naar de havenbekkens wordt gevoerd. Door de Kallosluis wordt relatief weinig slib naar de havenbekkens gevoerd omdat deze veel minder frequent wordt gesluisd. Het is niet bekend of het transport van slib door de sluizen vooral in suspensie of vooral door een bewegende 'fluid mud' laag bij de bodem plaatsvindt. Dit laatste is zeer wel mogelijk omdat in de toegangsgeulen naar de sluizen incidenteel 'fluid mud' lagen zijn waargenomen [16] die zouden kunnen bewegen zoals in andere havens [22]. Als dergelijke bewegende sliblagen bijdragen aan het transport, dan kunnen in korte tijd enorme hoeveelheden slib bij het schutten van de sluizen naar de havenbekkens worden gevoerd. Dit mechanisme kan het grote slibtransport door de sluizen verklaren. Het is dus de vraag hoe vaak en onder welke condities dergelijke bewegende sliblagen voorkomen. Bij een hoge rivierafvoer is de kans ze te vinden het grootst. Dan ligt het troebelheidsmaximum ongeveer voor de ingang van de Zandvliet-Berendrechtshuis. Het vermoeden bestaat daarom dat het merendeel van het slib bij hoge rivierafvoeren naar de havenbekkens wordt gevoerd. Dit wordt indirect bevestigd door baggersaars die de grootste sedimentatie van slib in de toegangsgeulen naar de Zandvliet-Berendrechtshuis melden bij een hoge rivierafvoer. Bij een lage en gemiddelde rivierafvoer concentreert de sedimentatie zich vooral in de toegangsgeul naar de Kallosluis.

5. Verandering in de hoeveelheid slib

Bastin [1] heeft de hoeveelheid slib in de Beneden Zeeschelde in 1964 en in 1986 op overeenkomstige wijze bepaald. Hij vond over die periode een toename van 2,2 miljoen ton slib ofwel een jaarlijkse toename van 100.000 ton [1, 7]. Van Maldegem [14] ging uit van een slibtoename van 24.000 ton per jaar. Vereeke [21] ging uit van een slibtoename van 9.000 ton per jaar. Beide auteurs zijn alleen uitgegaan van een slibberging in de schorren in de Beneden Zeeschelde (schoroppervlak: ongeveer 2 ha) en een

sedimentatiesnelheid gelijk aan die in het Land van Saeftinghe (1,3 cm/jaar). Voor de jaren 1992-1994 is de verandering in de hoeveelheid slib een sluitterm in de balans.

6. Slibverwijdering

Van Maldegem [14] nam de door baggeren verwijderde hoeveelheid slib uit de Beneden Zeeschelde niet mee in zijn balans.

Dit gegeven is echter wel bekend. In de periode 1964-1986 werd jaarlijks naar schatting gemiddeld 150.000 ton slib uit de Beneden Zeeschelde verwijderd [8]. Vooral bij de aanleg van de Kallosluis in 1983 is veel slib verwijderd. Voor de jaren 1992 t/m 1994 varieert de verwijderde hoeveelheid slib tussen 240.000 ton in 1992 en 550.000 ton in 1993 en 1994 [5, 6, 19]. Het grootste deel hiervan werd gebaggerd uit de toegangsgeulen tot de sluizen. Hier bevindt zich immers het meeste slib op de bodem. Vereeke ging, op grond van de slibbalans van 1992 [5], uit van een slibonttrekking van 240.000 ton per jaar. Momenteel wordt het merendeel van het verwijderde slib geborgen in onderwatercellen in de Waaslandhaven. Omdat de opslagcapaciteit hiervan beperkt is, moet op korte termijn naar alternatieve stortlocaties worden gezocht.

7. Grensoverschrijdend transport van slib

De uitwisseling van slib tussen België en Nederland, ofwel tussen de Beneden Zeeschelde en de Westerschelde is, zoals toegelicht in de inleiding, niet met voldoende nauwkeurigheid te meten. Daarom is dit een onbekende term in de slibbalans. Deze term bestaat uit een transport van zeeslib van de Westerschelde naar de Beneden Zeeschelde en een transport van rivierslib in omgekeerde richting. De verhouding tussen beide transport termen is bepaald uit de zee/rivierslib verhouding van het in de Beneden Zeeschelde afgezette materiaal. Van Maldegem [14] gebruikte hiervoor de koolstofisotopen verhouding ¹²C/¹³C in de organische stof fractie van het bodemslib in de Beneden Zeeschelde en vond dat circa 1/3 deel een mariene en circa 2/3 deel een fluviale oorsprong heeft. Het nadeel van de methode, gebaseerd op de koolstofisotopenverhouding, is dat alleen informatie wordt verstrekt over de herkomst van de organische-stoffractie. De herkomst van organische stof is alleen gelijk aan dat van slib als het percentage organische stof in zee- en rivierslib hetzelfde is. Rivierslib van de Schelde is echter aanzienlijk rijker aan organische stof dan zeeslib uit de Noordzee [25]. Op grond van de koolstofisotopenverhouding wordt derhalve een te hoog rivierslibpercentage afgeleid.

Vereeke [21] maakte gebruik van de gegevens van Ten Brinke [4], gebaseerd op 6 verschillende tracers. Op grond van deze laatste gegevens bleek dat een nog groter deel van het bodemslib in de Beneden Zeeschelde, circa 3/4 deel, een fluviale oorsprong heeft. Ten Brinke [4] maakte gebruik van 6 tracers waaronder metaalconcentraties in zwevende stof en bodemslib. De door hem geconstrueerde mengcurve voor slib is gebaseerd op een gemiddelde van zwevende stof en bodemsediment. Zwevende stof kan echter een andere mengverhouding hebben dan bodemsediment. De zee/rivierslibverhouding van bodemsediment kan daarom niet zonder meer vergeleken worden met die van zwevende stof. Bij gebrek aan betrouwbaardere gegevens hebben wij voor de periode 1964-1986 aangenomen dat 1/3 deel van het bodemslib in de Beneden Zeeschelde van mariene en 2/3 deel van fluviale oorsprong is. Voor de jaren 1992 t/m 1994 is het fluviale slibtransport aanzienlijk lager dan in de periode 1964-1986 zodat eenzelfde zee/rivierslib verhouding onwaarschijnlijk is. Daarom zijn voor de jaren 1992 t/m 1994 twee aannamen gemaakt: de helft van de hoeveelheid rivierslib die bij Rupelmonde de Beneden Zeeschelde binnenkomt wordt, net als in de periode 1964-1986, direct met het water naar de Westerschelde afgevoerd. Verder is voor de jaren 1992 t/m 1994 aangenomen dat de aanvoer van zeeslib gelijk is aan die in de periode 1964-1986, te weten 100.000 ton per jaar. Beide aannamen zijn vanzelfsprekend arbitrair. Voor 1994 is de slibafvoer naar de Antwerpse havens onbekend. Daarom kan de afname van de hoeveelheid slib in de bodem van de Beneden Zeeschelde over 1994 niet worden berekend.

8. Voorlopige resultaten

Of in de periode 1998-2000 moet worden doorgegaan met het onttrekken van slib uit de Beneden Zeeschelde hangt af van het effect van deze slibonttrekkingen op de grensoverschrijdende vracht van slib met de hieraan gebonden verontreinigingen en de verandering hierin tussen 1992 (toen werd begonnen met de grootschalige slibonttrekkingen in de Beneden Zeeschelde) en 1996. Uit de slibbalansen voor de jaren 1992 t/m 1994 blijkt dat de slibhoeveelheid in de bodem van de Beneden Zeeschelde momenteel belangrijk afneemt (tabel II). Het beleid is gebaseerd op de aanname dat deze afnemende slibhoeveelheid leidt tot een afname van de slibconcentratie en daarmee tot een afnemende grensoverschrijdende vracht van vervuild rivierslib. Nu volgt een toelichting op deze aanname.

Het slib dat wordt verwijderd uit de Beneden Zeeschelde wordt vooral gebaggerd uit de toegangsgeulen naar de sluizen. Het baggeren van dit slib zou tot een afname van de slibconcentratie in het water kunnen leiden. Naast het onttrekken van slib uit de toegangsgeulen worden namelijk ook grote hoeveelheden slib regelmatig met een ploeg van de toegangsgeulen in de vaargeul geschoven om de toegangsgeulen op diepte te houden. Dit slib wordt, door de hogere stroomsnelheden aldaar, snel gesuspenderd en kan opnieuw in de toegangsgeulen worden afgezet. Het valt daarom te verwachten dat de slibconcentratie afneemt bij het verwijderen van slib uit de toegangsgeulen. Met andere woorden: het water in de Beneden Zeeschelde wordt minder troebel. Hoe groot het effect is van een afnemende troebelheid op het grensoverschrijdende transport van rivierslib is niet bekend. Uit een recent onderzoek uitgevoerd door het RIKZ [18] bleek dat de chroomconcentratie in zwevende stof bij de Belgisch-Nederlandse grens tussen 1987 en 1994 aanzienlijk is afgenomen. Een nog grotere relatieve afname is gemeten bij Rupelmonde. De afnemende chroomconcentratie bij de grens kan daarom waarschijnlijk worden toegeschreven aan een afnemende chroomaanvoer vanuit het bovenstroomse gebied. Een tweede recente ontwikkeling betreft de kwaliteitsverbetering van het bodemsediment in het gehele gebied tussen Antwerpen en Vlissingen. Concentratie-metingen aan de slibfractie (< 63 µm) laten in de periode 1992-1995 voor de meeste stoffen een dalende tendens zien [2]. Omdat de grootte van deze dalende tendens in gehele gebied tussen Vlissingen en Antwerpen hetzelfde is, is de meest voor de hand liggende verklaring hiervoor een afnemende aanvoer van vervuilingen uit het bovenstroomse gebied. Het is niet duidelijk of en in welke mate de slibverwijdering uit de Beneden Zeeschelde invloed heeft op de kwaliteitsverbetering van het bodemsediment.

Samengevat neemt zowel de vervuilingsgaad van zwevende stof als van bodemsediment af. In beide gevallen zijn geen duidelijke aanwijzingen gevonden dat dit wordt veroorzaakt door het onttrekken van slib uit de Beneden Zeeschelde. De oorzaak moet waarschijnlijk vooral bij bovenstroomsaneringen worden gezocht.

9. Aanbevelingen

Bij de constructie van de drie slibbalansen voor de jaren 1992 t/m 1994 waren twee aannamen nodig, één voor de hoeveelheid zeeslib en één voor de hoeveelheid rivier-

slib die per jaar de Belgisch-Nederlandse grens passeren. De verandering van de slibhoeveelheid in de Beneden Zeeschelde werd in deze balans als sluitterm berekend. Om het aantal aannamen te verminderen en daarmee de zekerheid en de nauwkeurigheid van de slibbalans te verhogen moeten eerst de twee meest onzekere termen in de slibbalans nader worden bepaald. Dit zijn de verandering in de hoeveelheid slib op de bodem van de Beneden Zeeschelde en de afvoer van slib uit de Beneden Zeeschelde naar de havenbekkens. Deze laatste term wordt momenteel geschat op 300.000 tot 400.000 ton per jaar (tabel II), meer dan de jaarlijkse aanvoer van zee- en rivierslib naar de Beneden Zeeschelde tezamen. Dit is niet waarschijnlijk. Op grond van de grote afvoer van slib naar de havenbekkens is voor de periode 1992-1994 afgeleid dat de hoeveelheid slib op de bodem van de Beneden Zeeschelde sterk afgenomen moet zijn (tabel II), waarschijnlijk zelfs met een grotere hoeveelheid dan bepaald in de WVO-vergunning. Het grote transport van slib naar de havens is aldus gekoppeld aan de berekende grote afname van de slibvoorraad in de Beneden Zeeschelde. Het dient daarom aanbeveling deze beide termen nader te bepalen. Met nieuw uit te voeren veldmetingen kan dit bereikt worden, en wel als volgt.

Een bepaling van de slibvoorraad in de Beneden Zeeschelde kan het beste worden uitgevoerd op een wijze identiek aan die van Bastin [1]. Daardoor wordt een vergelijking met zijn bepalingen eenvoudig. Het transport van slib van de Beneden Zeeschelde naar de Antwerpse havenbekkens is moeilijker te meten. Eerst moet onderzocht worden of een suspensief transport of een bewegende sliblaag bij de bodem het dominante transportmechanisme is. Verder ligt het voor de hand dat het slibtransport door de sluizen over het jaar sterk fluctueert of zelfs slechts gedurende beperkte perioden met hoge rivierafvoer plaats vindt.

Zodra meer zekerheid is verkregen over de grootte van het slibtransport naar de havenbekkens en over de verandering van de hoeveelheid slib in de Beneden Zeeschelde kan, omdat over de bovenstroomse fluviale slibaanvoer en de slibverwijdering uit de Beneden Zeeschelde betrouwbare cijfers bestaan [5, 6, 19], de netto-uitwisseling van slib tussen Westerschelde en Beneden Zeeschelde als sluitterm in de slibbalans worden bepaald.

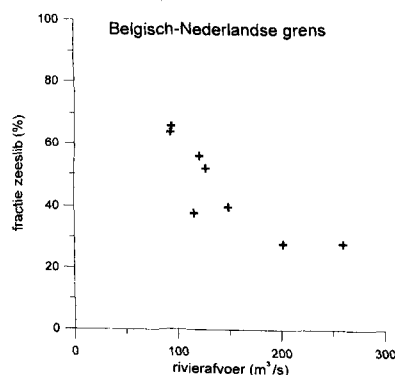
Dan resteert nog slechts de vraag wat de verhouding is tussen het transport van zeeslib en rivierslib ter plaatse van de Belgisch-Nederlandse grens. Deze verhouding kan worden afgeleid uit

de zee/rivierslibverhouding van bodemslib in de Beneden Zeeschelde. Statistische technieken zoals factor analyse hebben voor zwevende stof voor deze verhouding nauwkeuriger waarden opgeleverd dan tot dusver beschikbaar waren [23] (zie kader).

Zee/rivierslib verhouding van zwevende stof

De in afbeelding 5 weergegeven percentages zeeslib zijn bepaald uit metingen van elementconcentraties in zwevende stof uitgevoerd in de gehele mengzone gedurende 8 cruises tussen februari 1987 en februari 1988.

De gegevens zijn geanalyseerd met factor analyse. Hiermee werden ruimtelijke patronen in elementconcentraties toegeschreven aan een beperkt aantal factoren. Een factor kan een bron van elementen zijn. Een factor kan ook gerelateerd zijn aan een bepaald geochemisch proces. Het meest dominante patroon in elementconcentraties in de mengzone is de afnemende concentratie van een groot aantal zware metalen in stroomafwaartse richting. Uit het verloop van deze afname is het percentage zeeslib en/of het percentage rivierslib afgeleid. De op deze wijze bepaalde zee/rivierslib verhouding is nauwkeuriger dan de momenteel gebruikte methode die gebaseerd is op de koolstof-isotopenverhouding. De factor analyse methode maakt namelijk gebruik van gegevens van een groot aantal elementen in plaats van de verhouding tussen slechts twee koolstof-isotopen. Bovendien wordt op grond van de koolstofisotopenverhouding alleen informatie verkregen over de herkomst van de organische-stoffractie van het slib terwijl de factor analyse methode informatie geeft over de herkomst van alle slibfracties.



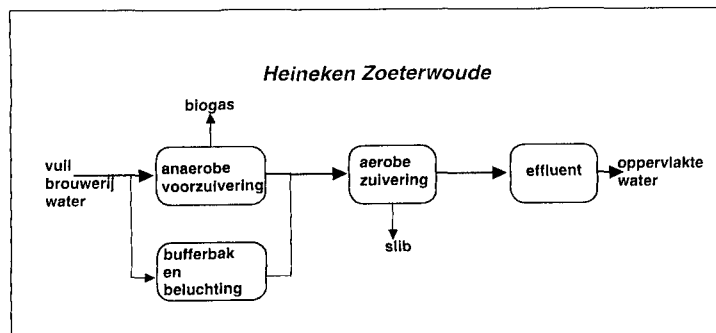
Afb. 5 - Het percentage zeeslib van zwevende stof bij de Belgisch-Nederlandse grens als functie van de momentane Schelde-afvoer. Het percentage zeeslib neemt af van ongeveer 65% bij een lage rivierafvoer tot 30% bij een hoge rivierafvoer. De jaargemiddelde zee/rivierslibverhouding kan niet direct uit deze percentages worden afgeleid omdat de grootte van het transport van zeeslib en rivierslib sterk variabel is gedurende een jaar. Bovenstaande percentages zijn wel bruikbaar als onderscheid wordt gemaakt tussen een situatie met een hoge rivierafvoer en een situatie met een lage rivierafvoer.

Een manier om de verandering in de hoeveelheid slib te bepalen is het herhalen van de bodembemonsteringscampagne van de zomer 1993 [14] waarbij van honderden monsters de korrelgrootteverdeling en daarmee ook het percentage slib is gemeten. De hoeveelheid slib op de bodem moet tussen de zomer van 1993 en nu (zomer 1996) zo sterk verminderd zijn dat dit meetbaar moet zijn.

Momenteel worden deze technieken toegepast bij de analyse van bodemsediment, waarbij het eerste doel is na te gaan of ook de zee/rivierslibverhouding van het bodemsediment bepaald kan worden analoog aan die van zwevende stof. Uitvoering van dit meetprogramma kan bijdragen tot een zorgvuldiger besluitvorming in de Technische Schelde Commissie over de voorwaarden te stellen aan de WVO-vergunning voor het Vlaamse Gewest. Een gezamenlijke Vlaams-Nederlandse onderzoeksinspanning zou bijdragen aan een beter inzicht in het grensoverschrijdend transport van slib in de Schelde, en niet minder belangrijk, aan een versterking van de sinds de ondertekening van de waterverdragen goede Vlaams-Nederlandse relatie op waterhuishoudkundig gebied.

Literatuur

1. Bastin, A. L. (1993). *Evaluatie van de hoeveelheid slib in de Beneden Zeeschelde, evolutie tussen 1964 en 1986*. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen, Antwerpse Zeehavendienst.
2. Berkel, N. van (1995). *Kwaliteit van de waterbodem in de Zeeschelde en Westerschelde in 1995*. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, AWW 95-062.
3. Bijlsma, L. (1991). *Schelde, wereldrivier, wereldvoorbeeld*.
4. Brinke, W. B. ten (1994). *De menging van marien en fluviaal slib in het estuarium van de Schelde*. ESTUCON.
5. Claessens, J. (1993). *Beneden Zeeschelde Slibbalans 1992*, nr. AZ/93.3, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen, Antwerpse Zeehavendienst.
6. Claessens, J. (1994). *Beneden Zeeschelde Slibbalans 1993*, nr. AZ/94.2, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen, Antwerpse Zeehavendienst.
7. Claessens, J. (1993). *Berekeningen op basis van het rapport: Evaluatie van de hoeveelheid slib in de Beneden Zeeschelde, evolutie tussen 1964 en 1986*. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen, Antwerpse Zeehavendienst.
8. Claessens, J. (1994). *Slib in de Beneden Zeeschelde, Kwantitatieve benadering, Stand van de kennis in december 1993*. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen, Antwerpse Zeehavendienst.
9. Claessens, J. (1988). *Het hydraulisch regime van de Schelde*. Water nr. 43, p. 163-169.
10. Dyer, K. R. (1973). *Estuaries: A Physical Intro-*



Afb. 4. - Afvalwaterzuivering.

NUON Water reduceert eigen milieulast met 75%

Op een symposium 2 april 1997 in Apeldoorn, dat werd geopend door mevrouw M. de Boer, minister van VROM heeft NUON Water bekend gemaakt dat zij voor de productie en distributie van drinkwater overgaat op duurzame energie. Directeur ir. H. Rotermundt heeft daartoe een contract gesloten met NUON Duurzame Energie.

Door de elektriciteit voor onder andere pompstations te laten opwekken met duurzame bronnen als zon, wind en water wordt de – overigens toch al beperkte – druk op het milieu, die de drinkwatervoorziening met zich meebrengt, met ca. 75% verminderd.

NUON Water is het eerste drinkwaterbedrijf in Nederland dat volledig overgaat op duurzame energie.

Voor het winnen, zuiveren en transporteren van drinkwater gebruikt NUON Water ca. 22 miljoen kiloWattuur per jaar. Met het contract zal NUON Duurzame Energie voor NUON Water dezelfde hoeveelheid energie opwekken met duurzame bronnen als wind, zon en water.

Daarmee levert NUON Water een substantiële bijdrage aan de besparing op fossiele brandstoffen en de reductie van schadelijke emissies met onder andere 12.500 ton CO₂ per jaar.

Uit een parlementair onderzoek onder voorzitterschap van de heer Van Middelloop (GPV), spreker op het symposium, blijkt dat de inzet van duurzame energiebronnen grote mogelijkheden biedt en in feite de enige mogelijkheid op korte termijn betekent om wezenlijk resultaat te boeken in de strijd tegen het broeikas-effect.

Voor de klant betekent het dat zijn toch al schone drinkwater nu ook nog op een schone wijze wordt geproduceerd en bij 'm thuis bezorgd'.

De kosten zal NUON Water uit de eigen exploitatie terugverdienen. Voor de tarieven heeft het geen gevolg. (Persbericht NUON Water)

stroom voorgezuiverd in de anaërobe voorzuivering. De kleinste deelstroom wordt opgevangen in een bufferbak waarin een eerste oxidatie plaatsvindt. Vervolgens worden de beide stromen samengevoegd en oxidatief biologisch nagezuiverd in beluchtingscircuits. Daarna vindt scheiding plaats tussen gezuiverd water (effluent) en slib. Het effluent wordt via een effluentpersleiding geloosd op het oppervlaktewater (zie afb. 4).

De awzi is een geïntegreerd onderdeel van het totale brouwerijproces. Er zijn interne lozingsprocedures en bij de keuzes van reinigings- en desinfectiemiddelen wordt rekening gehouden met de consequenties voor de awzi.

Het kwijtraken van afvalwater

Bij het kwijtraken van afvalwater leveren de lozingsseisen een knelpunt op. Voor communale zuiveringen zijn door AMVB's eisen gesteld voor fosfaat- en stikstofgehalten in het te lozen effluent. Voor bedrijfszuiveringen niet. Daarnaast leggen provinciale milieuplannen Hoog-

heemraadschappen en waterschappen eisen op voor de waterkwaliteit van het oppervlaktewater. Deze worden door vertaald naar de verschillende bedrijfszuiveringen in lozingsvergunningen zonder voldoende rekening te houden met de specifieke bedrijfstak. Dit kan leiden tot hoge investeringen in end of pipe oplossingen, terwijl elders een veel hoger rendement kan worden bereikt met eenvoudigere middelen. Hier bieden lozingsseisen op maat een adequate oplossing.

Algemeen kan gesteld worden dat het zinvol is doorleveringsmogelijkheden te bestuderen van gezuiverd industriewater aan leidingwaterbedrijven, waardoor op den duur een integratie van afvalwaterzuivering, drinkwatervoorziening en water op maat kan ontstaan.

Literatuur

'Houden we het droog of gaan we nat'. Visie op de ontwikkeling van de structuur van de industriewatervoorziening in Nederland. Stuurgroep Industrierwater Vereniging Krachtwerktuigen. Amersfoort, juni 1996, STINWA/L/96/22.

● ● ●

Slibtransport

• Vervolg van pagina 260.

- duction. John Wiley & Sons, New York. 140 p.
11. Eck, G. T. M. van, Pauw, N. de, Langenbergh, M. van den en Verreest, G. (1991). *Emissies, gehalten en effecten van microverontreinigingen in het stroomgebied van de Schelde en Schelde-estuarium*. Water nr. 60, p. 164-181.
 12. Havenbedrijf Antwerpen (1994). *Regio Antwerpen, Verwerkingsinrichting Onderhoudsbagger-specie*. Eindrapport. I/R/1089/94.021.
 13. Leussen, W. van (1991). *Fine sediment transport under tidal action*, Geo-marine Letters 11, p. 119-126.
 14. Maldegem, D. C. van, H. J. P. Mulder en A. Langerak (1993). *A cohesive sediment balance for the Scheldt estuary*. Netherlands Journal of Aquatic Ecology 27 (2-4), p. 247-256.
 15. Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1989). *Derde Nota Waterhuishouding*. Tweede Kamer 1988-1989, 21 250, nr. 1-23.
 16. Sas, M. and Claessens, J. (1988). *The impact of flow pattern and sediment transport on maintenance dredging in the Kallo acces Channel*. 9th International harbour congress, Antwerp, p. 4111-4120.
 17. Schubel, J. R. (1968). *Turbidity maximum of the northern Chesapeake Bay*. Science 161, p. 1013-1015.
 18. Sprong, G. (1994). *Invloed van slib onttrekking Beneden Zeeschelde op de waterkwaliteit op de Belgisch-Nederlandse grens*. werkdocument RIKZ/AB/94.883.

19. Tavenier, E. (1995). *Beneden Zeeschelde slibbalans 1994*. AMS.95/02. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterinfrastructuur en Zeewezen, Afdeling Maritieme Schelde.
20. Temmerman, I. (1988). *De kwaliteit van het Scheldesediment*. Water nr. 43, p. 200-204.
21. Verecke, S. J. P. (1994). *Geactualiseerde slibbalans Schelde estuarium*. Nota AX 94.065 RWS/Directie Zeeland.
22. Verlaan, P. A. J. en Spanhoff, R. (1994). *Sedimentatie in de Maasmond*. Oceanographic Company of the Netherlands.
23. Verlaan, P. A. J., Kuik, P. en Donze, M. (1996). *The marine to fluvial ratio of suspended matter in the Scheldt estuary: a new approach, submitted to Estuarine and Coastal Shelf Science*.
24. Verliefde, G., Nielandt, W. en Vanthienen, W. (1994). *Haven van Antwerpen, slibbalans 1989-1993*.
25. Waterloopkundig Laboratorium (1993). *Kwaliteit van de waterbodem in de Zeeschelde en Westerschelde*. Rapport nr. T 112.

Het onderzoek naar grensoverschrijdend transport van slib in de Schelde wordt uitgevoerd in het kader van het onderzoeksproject TWINS (ToWards an Integrated water management of the Scheldt). In dit project wordt samengewerkt tussen de TU Delft en Rijkswaterstaat.

● ● ●