

Aanwasselheid van regionale baggerspecie en verkenning van mogelijkheden tot baggerpreventie



2000 23

**Aanwasselheid van regionale baggerspecie en
verkenning van mogelijkheden tot baggerpreventie**

2000

23

Arthur van Schendelstraat 816

Postbus 8090, 3503 RB Utrecht

Telefoon 030 232 11 99

Fax 030 232 17 66

E-mail stowa@stowa.nl

<http://www.stowa.nl>

Publicaties en het publicatie-
overzicht van de STOWA kunt u
uitsluitend bestellen bij:

Hageman Fulfilment

Postbus 1110

3300 CC Zwijndrecht

tel. 078 - 629 33 32

fax 078 - 610 42 87

e-mail: hff@wxs.nl

o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.

ISBN 90.5773.101.0

Ter geleide

De Nederlandse waterbeheerders verwijderen per jaar miljoenen kubieke meters baggerspecie uit de watergangen. Deze baggerspecie vormt qua volume de grootste afvalstroom in Nederland. Met het verwerken van deze afvalstroom zijn hoge kosten gemoeid. Het is daarom belangrijk om een goed inzicht te hebben in baggervormende processen en aanwassnelheden, teneinde goede financiële ramingen te kunnen maken. Inzicht in de mechanismen van de vorming van baggerspecie is ook nodig om het ontstaan van (vervuilde) baggerspecie zoveel mogelijk te reduceren.

Gebleken is dat er nauwelijks gegevens voorhanden zijn waarmee de theorieën over baggervorming kunnen worden onderbouwd. Onderzoeken op dit terrein zijn bovendien versnipperd en niet eenduidig.

De STOWA heeft daarom aan De Straat Milieu-adviseurs B.V. opdracht gegeven de kennis en ervaringen van waterbeheerders te inventariseren en bestaande meetgegevens aan een wetenschappelijke analyse te onderwerpen. Deze studie heeft geleid tot meer inzicht in de processen die van belang zijn bij de vorming van baggerspecie. Onder andere worden richtwaarden gegeven voor de aanwassnelheid en volumeaanwas.

De studie is uitgevoerd door ir. H.J. Gerrits van De Straat Milieu-adviseurs en begeleid door ing. R. Kampf van het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier en drs. B. van der Wal van de STOWA. Veel dank is verschuldigd aan de medewerkers van de waterbeheerders die benaderd zijn in het kader van deze studie.

Ik ben er van overtuigd dat de resultaten van dit onderzoek belangrijk zijn in de praktijk van het waterbeheer en dat ze een grote dienst zullen bewijzen bij het maken van prognoses en scenarioberekeningen voor (verontreinigde) baggerspecie.

Utrecht, augustus 2000

De directeur van de STOWA,

ir. J.M.J. Leenen

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1 Inleiding	3
1.1 Waarom aanwassnelheden vaststellen?	3
1.2 Doel studie	4
1.3 Werkwijze	4
1.4 Leeswijzer	5
2 Ideeën over baggervorming	7
2.1 Signaleringen uit de praktijk	7
2.2 Enkele aanwascijfers en baggerfrequenties	8
2.3 Enquête Unie van Waterschappen	10
3 Aanwassnelheden uit veldmetingen	15
3.1 Definiëring aanwas	15
3.2 Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden	16
3.3 (Voormalig) Heemraadschap Fleverwaard	19
3.4 Hoogheemraadschap van Delfland	20
4 Samenstelling en baggervormende processen	24
4.1 Samenstelling baggerspecie	24
4.2 Relaties	26
4.3 Droge stof versus organisch materiaal op nationale schaal	27
4.4 Vormingsproces	28
4.5 Aanvoer via waterfase (zwevend stof)	30
4.6 Relatie samenstelling en mate van verondieping	31
4.7 Vorming en afbraak organische stof	33
4.8 Relatie samenstelling-bodemtype	34
5 Waar staan we nu?	36
5.1 Aanwas of verondieping?	36
5.2 Praktijkbeeld en de theorie	38
5.3 Beeld Unie-enquête	39
5.4 Meer volume met organisch materiaal	40
5.5 Aanwaspreventie	42
6 Conclusies en aanbevelingen	45
6.1 Conclusies	45
6.2 Aanbevelingen	47
Bronvermeldingen	49

Bijlagen

- Bijlage 1: Lijst van geraadpleegde personen
- Bijlage 2: Berekeningswijze aanwassnelheden hoofdstuk 3
- Bijlage 3: Overzicht beschouwde watergangen van Delfland
- Bijlage 4: Relatie tussen de verschillende componenten van baggerspecie
- Bijlage 5: Relatie tussen het droge stofgehalte en het organische stofgehalte voor zes waterschappen
- Bijlage 6: Relatie tussen de samenstelling van de waterbodem en de landbodem voor het beheersgebied van Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier

Samenvatting

In opdracht van de STOWA is de aanwas van baggerspecie bestudeerd op basis van praktijkcijfers. Baggerspecie vormt voor veel regionale waterbeheerders een omvangrijk en kostbaar probleem. Inzicht in de aanwas is belangrijk bij het opstellen van baggerplannen en levert mogelijk zicht op aanwasbeperkende maatregelen. Bovendien bestaat vanuit het beleid en de wetenschap behoefte aan landdekkend cijfermateriaal.

Voor de studie zijn medewerkers van waterschappen benaderd die direct betrokken zijn bij beheer en onderhoud van watergangen. Hun praktijkbeeld van de aanwas van baggerspecie is opgetekend. Tussen de verschillende beheersgebieden blijken duidelijke verschillen in aanwassnelheid en baggerfrequenties te bestaan. Dit komt ook uit de jaarlijkse enquête van de Unie van Waterschappen naar de baggerprestatie van de waterschappen naar voren. Deze baggerprestatie vertoont een duidelijk landelijk patroon.

In het onderzoek wordt de aanwas op twee manieren gedefinieerd:

- aanwassnelheid: snelheid van verondieping midden in de watergang in cm/jaar;
- volumeaanwas: netto slibproductie per strekkende meter watergang in m³/m/jaar (of cm/jaar).

Voor het beheersgebied van Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, (voormalig) Heemraadschap Fleverwaard en het Hoogheemraadschap van Delfland is de aanwassnelheid en de volumeaanwas berekend. Een samenvatting van de resultaten is in tabel 1 te vinden. Geconstateerde verschillen in aanwas kunnen niet altijd verklaard worden.

Tabel 1 Samenvatting van de berekende aanwassnelheid en volumeaanwas

	deelgebied	aanwassnelheid	volumeaanwas
Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden	veenweidegebied	4,5 – 12 cm/jaar	4,6 – 5,8 cm/jaar
Heemraadschap Fleverwaard	Oostelijk Flevoland	2,5 – 3,3 cm/jaar	0,9 – 1,2 cm/jaar
Hoogheemraadschap van Delfland	hele beheersgebied	2,1 – 9,4 cm/jaar	0,2 – 4,7 cm/jaar

Metingen van Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden duiden erop dat kort na het baggeren het instorten van de hoge oever een belangrijk baggervormend proces is. Na enige tijd vormen de "plantaardige productie en instroming van zwevende stof" en de "verweking van de bodem en afkalving van de lage oever" de belangrijkste baggervormende processen. Deze processen zijn vergelijkbaar in omvang.

Er is een overzicht opgesteld van de samenstelling van baggerspecie. Opvallend is hierbij dat het overgrote deel van de specie maar 5-10% organisch materiaal bevat. Het C/N-quotiënt van dit materiaal is ongeveer 11,5, hetgeen duidt op stabiele humusverbindingen.

Een vergelijking bij twee beheersgebieden duidt erop dat de samenstelling van de waterbodem sterk lijkt op die van de omliggende landbodem.

Tussen de componenten waaruit baggerspecie bestaat wordt op nationale schaal een sterke relatie tussen het droge stofgehalte en het organische stofgehalte geconstateerd. Hieruit wordt geconcludeerd dat het droge stofgehalte van baggerspecie (en dus ook de situ-dichtheid) vooral door het gehalte aan organisch materiaal wordt bepaald.

Baggerspecie wordt gevormd door tal van aan- en afvoerprocessen. Hiervan zijn vermoedelijk vooral de lokale processen belangrijk. De aanvoer van materiaal via zwevende stof is relatief onbelangrijk. In kg gerekend is ook de aanvoer van organisch materiaal relatief onbelangrijk omdat baggerspecie maar uit 5-10 gewichts-% organisch materiaal bestaat. Consolidatie van de sliblaag lijkt vrijwel niet op te treden.

De studie leidt tot de volgende hoofdconclusies:

- Het is belangrijk om helderheid te scheppen in de definiëring van de aanwas van baggerspecie. Een aanwassnelheid, zoals die wordt afgeleid uit de geconstateerde verondieping levert een duidelijk ander beeld op dan de volumeaanwas, zoals die wordt afgeleid uit de geconstateerde toename van het slibvolume. Beide begrippen worden in de praktijk door elkaar gebruikt, hetgeen tot verwarring leidt.
- Het praktijkbeeld van de vorming van baggerspecie sluit in het algemeen goed aan bij de theoretische verwachtingen.
- De aanwas van baggerspecie die op basis van aangroei cijfers wordt verwacht is groter dan de baggerprestatie uit de enquête van de Unie van Waterschappen. Mogelijk wordt er minder gebaggerd dan noodzakelijk, wordt niet al het baggerwerk gedocumenteerd, wordt de baggerprestatie van gemeenten en overige onderhoudsplichtigen onderschat of zijn de berekende aanwascijfers en/of fracties open water te hoog.
- Organisch materiaal heeft een sterk volume-vergroterend effect op baggerspecie. Hierdoor is organisch materiaal een belangrijke component van baggerspecie, ondanks het feit dat baggerspecie maar 5-10% organisch materiaal bevat. Een verdubbeling van het organische stofgehalte leidt bijna tot een verdubbeling van het situ-volume van baggerspecie.
- Er zijn een aantal mogelijkheden voor een vermindering van de baggeraanwas (baggerpreventie). Deze richten zich op onderhoud van watergangen, bestrijding van eutrofiering, beperking van de toevoer van organisch materiaal, een goede landbouwpraktijk, gebiedsgericht baggeren en een alternatieve inrichting van het watersysteem.

1 Inleiding

Het eerste hoofdstuk gaat in op de achtergronden bij de studie. De gevolgde werkwijze wordt op hoofdlijnen toegelicht. Aan het eind van dit hoofdstuk vindt u een leeswijzer.

1.1 Waarom aanwassnelheden vaststellen?

In Nederland worden door de (regionale) waterbeheerders enorme kosten gemaakt bij de verwijdering van baggerspecie. Zo wordt voor het jaar 2000 door de waterschappen een bedrag van ruim 90 miljoen gulden alleen al voor onderhoudsbaggerwerk gereserveerd (bron 6). Gerekend naar volume vormt baggerspecie op het ogenblik veruit de grootste afvalstroom van Nederland.

Ondanks de enorme kosten die voor de verwijdering van baggerspecie worden gemaakt, is in Nederland weinig documentatie beschikbaar over de snelheid waarmee baggerspecie zich vormt. Achterliggende processen zijn niet gekwantificeerd en gedocumenteerd.

Inzicht in de aanwassnelheid van baggerspecie en in baggervormende processen is bij de volgende activiteiten van belang:

- Opstellen bagger(beheer)plannen: bij het opstellen van baggerplannen voor waterschappen of gemeenten is bij beleidsmakers inzicht nodig in de aanwassnelheid van baggerspecie in de watergangen van het betreffende gebied.
- (Model)studies: bij studies naar de vorming van verontreinigde baggerspecie en studies in het kader van diffuse bronnen is het essentieel om naast de belasting van de waterbodem met verontreinigingen ook een goed beeld te hebben van de aanwassnelheid van deze waterbodem.
- Baggerpreventie: met het inzicht in de processen die leiden tot de kwantitatieve vorming van baggerspecie kunnen maatregelen getroffen worden die leiden tot de reductie van de aanwas van baggerspecie.

Bovendien levert een inventarisatie van aanwassnelheden op nationale schaal een goed referentiekader. Hiermee kan een beheerder of beleidsmaker beoordelen hoe de baggerproductie zijn beheersgebied zich verhoudt tot die in vergelijkbare gebieden. Afhankelijk van geconstateerde verschillen zou besloten kunnen worden om de bagger- en/of onderhoudsstrategie te evalueren en bij te stellen.

1.2 Doel studie

Voorliggende studie is uitgevoerd om meer duidelijkheid te brengen in de aanwasselheid van baggerspecie en baggervormende processen. Dit is vertaald in de volgende doelen:

- Inventarisatie en documentatie van de kennis en inzichten die in de praktijk aanwezig zijn over de aanwasselheid van baggerspecie en baggervormende processen.
- Trachten een landelijk beeld te krijgen van de aanwasselheid van baggerspecie, deels gebruikmakend van bestaande meetgegevens.
- Baggervormende processen te inventariseren en te kwantificeren.
- Een aanzet te geven tot maatregelen waarmee de baggerproductie beperkt kan worden.

De studie is inventariserend van aard en richt zich op het laaggelegen deel van Nederland. Nadrukkelijk is gezocht naar de vertaling van praktijk naar theorie.

1.3 Werkwijze

De studie is in twee fasen uitgevoerd. In de eerste fase is contact opgenomen met een groot aantal personen die direct bij de uitvoering en planning van baggerwerk betrokken zijn. Deze personen, die vaak op een afdeling Beheer en Onderhoud werkzaam zijn, hebben vaak uit de praktijk een goed beeld van de aanwas van baggerspecie. De problematiek is met de betreffende personen doorgesproken. Verder is in de eerste fase alle beschikbare literatuur verzameld die betrekking heeft op de aanwas van baggerspecie.

In de tweede fase is geprobeerd aanwasselheden te berekenen uit beschikbare meetgegevens. Omdat maar voor twee waterbeheerders bruikbare gegevens beschikbaar waren, is gezocht naar andere informatie die inzicht kan verschaffen in de aanwas van baggerspecie. Een belangrijke ingang waren hierbij de analyseresultaten die verzameld worden ten behoeve van het kwaliteitsonderzoek. Deze geven inzicht in de samenstelling van baggerspecie en in baggervormende processen.

1.4 Leeswijzer

In het rapport komen de volgende onderdelen aan bod:

- Baggervorming in de praktijk (H2);
- Een landelijk overzicht van de baggerprestatie van waterschappen (H2);
- Berekende aanwassnelheden in drie beheersgebieden (H3);
- Inzicht in de samenstelling van baggerspecie en in baggervormende processen (H4);
- Een vergelijking van de praktijkervaringen en de theoretische verwachtingen, verwoord in de vorm van hoofdconclusies (H5);
- Inzicht in de invloed van organisch materiaal op de vormingssnelheid van baggerspecie (H4 en H5);
- Conceptuele ideeën over de mogelijke preventie van baggerspecie (H5);
- Een overzicht van de conclusies en aanbevelingen (H6).

Indien u snel een overzicht van de studie wil krijgen, wordt u verwezen naar de samenvatting die voorin het rapport is opgenomen. Indien u over wat meer tijd beschikt kunt u dit aanvullen met hoofdstuk 2, 5 en 6.

2 Ideeën over baggervorming

Dit hoofdstuk is gericht op het beeld dat in de praktijk leeft over de vorming van baggerspecie. Allereerst wordt een overzicht gegeven van de ideeën die door de praktijkmensen tijdens de gesprekken zijn aangedragen. De geschatte aanwassnelheden en de gehanteerde baggerfrequenties worden in een overzichtstabel gegeven. Op grond van de resultaten van de jaarlijkse "Rapportage Unie-enquête waterbodems" van de Unie van Waterschappen wordt een landelijk beeld van de verwijdering van baggerspecie geschetst.

2.1 Signaleringen uit de praktijk

In het kader van het onderzoek is een groot aantal waterbeheerders in het laaggelegen deel van Nederland gevraagd naar hun ideeën over processen die bij de vorming van baggerspecie van belang zijn. Vooral personen die reeds lang in een gebied werkzaam zijn, blijken vaak een duidelijk beeld te hebben van de omstandigheden die de aanwas van baggerspecie beïnvloeden.

De volgende opmerkingen en meningen werden genoteerd:

Invloed van de grondsoort op de aanwas:

- watergangen in het veengebied hebben een veel grotere slibaanwas dan watergangen in het klei- of zandgebied;
- watergangen met een zandige bodem hebben een lage of juist een hoge aanwas;
- verstuiving van de landbodem leidt tot een sterkere aanwas;
- de samenstelling van de waterbodem lijkt sterk op die van de landbodem.

Invloed landgebruik op de aanwas:

- het type landgebruik heeft invloed op de slibaanwas;
- akkerbouw leidt tot een toename van de aanwassnelheid als ook de slootranden worden meegeploegd;
- bij grasland treedt minder aanwas op dan bij bouwland;
- vertrapping van de taluds door vee leidt tot een forse aanwas.

Invloed plantengroei op de aanwas:

- de aanwas wordt sterk bevorderd door de primaire productie in de vorm van plantengroei;
- voedselrijk water heeft een sterkere slibproductie dan voedselarm water;
- in zout/brak water is de aanwas minder doordat de primaire productie lager is;
- algen leveren minder aanwas op dan hogere planten;
- bladval kan een belangrijke bijdrage leveren aan de aanwas van baggerspecie.

Relatie tussen aanleg watergangen en aanwas:

- brede watergangen vertonen minder aanwas dan smalle;
- de aanwas neemt toe naarmate de watergang ondieper wordt;
- als de oevers zijn bekleed is de aanwas veel lager dan bij onbeschermde oevers.

Relatie tussen situering watergangen en aanwas:

- in kopsloten is de aanwas het sterkst;
- voor het gemaal ligt vrijwel nooit slib; achter het gemaal verzamelt zich juist slib;
- in de hoofd aan- en afvoerkanalen is de aanwas van baggerspecie minimaal;
- bagger verzamelt zich aan de bovenwindse zijde van de watergang; omdat in Nederland westenwinden het meest voorkomen, zal baggerspecie zich aan de westzijde van sloten ophopen.

Invloed onderhoud op aanwas:

- slecht schonen bevordert de aanwas;
- de aanwas van baggerspecie is minder als er regelmatig wordt gebaggerd;
- bagger in de polder betekent bagger in de boezem.

Invloed kwel op aanwas:

- de aanwas van slib wordt bevorderd door kwel;
- door kweldruk komt de bodem omhoog;
- zoute kwel (brak water) gaat samen met een lage aanwas.

Algemene opmerkingen:

- de aanwas is overal anders en is niet in een paar getallen te vangen; een studie naar aanwas is dus zinloos;
- op de baggerlaag is sprake van een "dikwater-laag"; deze is vrijwel niet te baggeren;
- bij een gezond natuurlijk watersysteem hoort een verlandingsproces, de vorming van baggerspecie is hiervan de eerste stap;
- na het baggeren vormt zich vrijwel direct weer een sliblaag; in veengebieden tot 20 cm dikte.

2.2 Enkele aanwascijfers en baggerfrequenties

Naast inzicht in de processen is de waterbeheerders tevens gevraagd naar een schatting van de aanwas en de baggerfrequentie die wordt aangehouden. Vaak is de baggerfrequentie goed gedefinieerd. Deze is gebaseerd op ervaringen en is bij een aantal waterbeheerders per watergang of deelgebied in baggerplannen gespecificeerd. Over de aanwas in cm/jaar bestaat een veel minder duidelijk beeld. Gedocumenteerde waarden zijn alleen bij het Hoogheemraadschap van Delfland en bij het Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden aangetroffen. Voor zover bekend zijn deze waterbeheerders de enige die daadwerkelijk metingen hebben uitgevoerd aan de aanwas van baggerspecie. Hoofdstuk 3 gaat hier verder op in.

Tabel 2 geeft een overzicht van de genoemde waarden. De genoemde aanwassnelheid varieert van 1 tot 5 cm per jaar. Hierbij treden tussen de waterbeheerders duidelijke verschillen op, zelfs bij vergelijkbare gebieden. Gemiddeld gezien lijkt een aanwas van 3 cm/jaar een redelijke schatting. In veengebieden wordt een duidelijk hogere aanwas waargenomen dan in klei of zandgebieden.

Tabel 2 Gerapporteerde "gebiedsgemiddelde" aanwas van baggerspecie en gemiddelde baggerfrequentie

Waterbeheerder	Gemiddelde aanwas (cm/j)	Baggerfrequentie (jaar)	Opmerkingen
Dienst Waterbeheer en Riolering (Amstel Gooi en Vecht)	boezem: 0,5 vaarwegen: 2,0 bebouwd: 2,5 landelijk: 3,0		"best professional judgement" ten behoeve van baggerbeleidsplan
Waterschap Oude Rijnstromen		7-12	Veengronden: 7 jaar, droogmakerijen: 12 jaar
Waterschap Wilck en Wierick	2-3	10-15	Waarden voor veengebied; aanwas 20-30 cm in 10 jaar
Hoogheemraadschap van Delfland	1,5-2,0	8	Cijfers vastgesteld voor Westland
Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden	4		Gemiddelde waarde voor hele gebied; deelgebieden zijn de Brielse Dijkkring, de Krimpener Waard en de Alblasserwaard
Waterschap de Brielse Dijkkring	5	7	Ervaringscijfers, 30% van het gebied is veen
Waterschap de Krimpener Waard	4		Afgeleid uit berekeningen
Waterschap Alblasserwaard	2,5		
Waterschap Zeeuwse Eilanden	klei/veen: 2-2,5 zand: 1-1,5	8	Waarden op basis geschatte aanwas in 10 jaar; weinig waterplanten
Waterschap Zeeuws Vlaanderen	1-2		Ondergrond is een belangrijke factor
Heemraadsschap Fleverwaard		10-12	Veelvuldig krozen (tot 5 maal per jaar)
Waterschap Noordoostpolder		17 tochten: 0-10 20 tochten: 11-15 18 tochten: 16-20 7 tochten: 21-25 4 tochten: 26-30 5 tochten: 31-35 6 tochten: 36-40	Interval per tocht gespecificeerd, aanwas het sterkst bij tochten met veen of fijn zand in het natte profiel
Waterschap Wold en Wieden	3-3,5	7	Aanwas uit baggerfrequentie; specifieke watergangen 5 jaar, grote watergangen zandgebied 10 jaar

De baggerfrequentie varieert van éénmaal per 7 jaar tot éénmaal per 15 jaar. Voor hoofdwatgangen worden vaak nog lagere baggerfrequenties gemeld. Gemiddeld genomen lijkt een waarde van éénmaal per 7-8 jaar een redelijke schatting. Bij een aanwas van 3 cm/jaar zou dit betekenen dat per baggercyclus ongeveer 20-25 cm bagger wordt verwijderd. Voor sloten (keurdiepte ongeveer 40 cm) kan dit een redelijke waarde zijn. Voor hoofdwatgangen met een keurdiepte van 75-100 cm zal in de praktijk pas gebaggerd worden bij een sliblaag van 30-40 cm.

2.3 Enquête Unie van Waterschappen

Enquête

De Unie van Waterschappen voert vanaf 1994 jaarlijks een enquête uit naar de baggeractiviteiten die plaatsvinden binnen het beheersgebied van de waterkwantiteit-beherende waterschappen (bron 3, 4, 5 en 6). Het doel hiervan is om inzicht te krijgen in de gebaggerde hoeveelheden, de kwaliteit en de bestemming van de bagger. Met de resultaten wordt jaarlijks een nationale prognose gegeven van de baggeractiviteiten voor de komende tien jaar.

Bij de enquête wordt gevraagd de onderhouds-baggerwerkzaamheden van het waterschap en van de inliggende onderhoudsplichtigen (gemeenten en overigen) te kwantificeren. Naast het onderhoudsbaggerwerk wordt ook het saneringsbaggerwerk gekwantificeerd. Deze hoeveelheid is in het algemeen relatief gering.

Aan de enquête werken elk jaar vrijwel alle waterkwantiteitsbeheerders mee. De resultaten zouden dus een landsdekkend beeld van de verwijderde hoeveelheden baggerspecie moeten geven. Hierbij gelden echter twee belangrijke kanttekeningen:

- Van de baggerinspanning van de gemeenten en overige onderhoudsplichtigen bestaat maar bij een beperkt aantal waterschappen een redelijk beeld. Dit laat zien dat deze instanties een substantieel volume baggeren. Ten aanzien van de baggerprestaties van gemeenten en overige onderhoudsplichtigen geeft de enquête dus een (forse) onderschatting.
- Vermoedelijk wordt door veel waterbeheerders nog steeds minder gebaggerd dan noodzakelijk. Dit door het ontbreken van stort- en verwerkingscapaciteit en door de aanwezigheid van sterk verontreinigde bagger. Ook hierdoor vormen de cijfers een onderschatting van het volume dat gebaggerd zou moeten worden.

De enquête van 1998 liet zien dat in dat jaar totaal 5,4 mln m³ onderhoudsbaggerspecie was verwijderd, waarvan 1,3 mln m³ (ongeveer 25%) door gemeenten en overigen.

Verwijderde hoeveelheden versus aanwas

In principe zou uit de verwijderde hoeveelheden onderhoudsspecie de aanwassnelheid berekend kunnen worden. Hierbij gelden de volgende voorwaarden:

- Het systeem is in balans; er wordt dus evenveel gevormd als dat er wordt verwijderd.
- Het oppervlak van het watersysteem waaruit de specie afkomstig is, is bekend.

Ten aanzien van de eerste voorwaarde is hierboven al aangegeven dat de beschikbare hoeveelheden een onderschatting zijn van de jaarlijkse aanwas en van de verwijderde hoeveelheid. Als uit de gegevens een aanwassnelheid wordt berekend, dan is dit dus een onderschatting van de werkelijke waarde.

Ten aanzien van de tweede voorwaarde geldt dat het gebaggerde- en totale wateroppervlak per waterbeheerder niet beschikbaar is. Wel is per waterbeheerder het totale oppervlak van het beheersgebied beschikbaar. Het percentage open water zal echter van beheersgebied tot beheersgebied verschillen.

Ondanks de aangegeven beperkingen is het zinvol om op basis van de resultaten van de enquête een landelijk overzicht van de baggerprestatie te geven. Dit overzicht heeft de vorm van een gebaggerde hoeveelheid in m^3 baggerspecie per hectare beheersgebied per jaar. Een dergelijk overzicht dient de volgende doelen:

- Er ontstaat een landsdekkend beeld van de relatieve baggerinspanning. Als wordt aangenomen dat de huidige baggerinspanning gerelateerd is aan de aanwassnelheid, dan ontstaat tevens een landsdekkende indicatie van (minimale waarden van) aanwassnelheden.
- Binnen gebieden met een vergelijkbare hydrologische structuur (en dus een vergelijkbaar percentage open water) ontstaat een beeld van het verschil in baggerprestatie en aanwas. Verschillende gebieden zijn bijvoorbeeld het West-Nederlandse veenweidegebied (minimaal 4% open water, permanent watervoerende sloten), Zeeland, Flevoland en Groningen (<2% open water, deels droge sloten) en het hooggelegen deel van Nederland (<1% open water, vrijwel geen polders).
- Ten behoeve van strategische planning ontstaat voor de verschillende regio's van Nederland een indruk van de hoeveelheden onderhoudsspecie die per hectare beschikbaar zullen komen.

De baggerprestatie is als volgt uit de beschikbare getalswaarden berekend. Per waterbeheerder is de gemiddelde hoeveelheid verwijderde onderhoudsspecie over de periode 1996-1998 berekend. Hierbij is de totale verwijderde hoeveelheid beschouwd, dus zowel de hoeveelheid die door de waterkwantiteitsbeheerder is gebaggerd als de hoeveelheid die door de gemeenten en overige onderhoudsplichtigen is verwijderd. Saneringsspecie is niet beschouwd.

De gemiddelde jaarlijkse baggerinspanning is gedeeld door het oppervlak van het beheersgebied. Deze waarde is afkomstig uit de Waterschapsalmanak (bron 7). Op die manier ontstaat het verwijderde volume baggerspecie per hectare (m^3/ha).

Landelijk beeld in kubieke meter per hectare beheersgebied

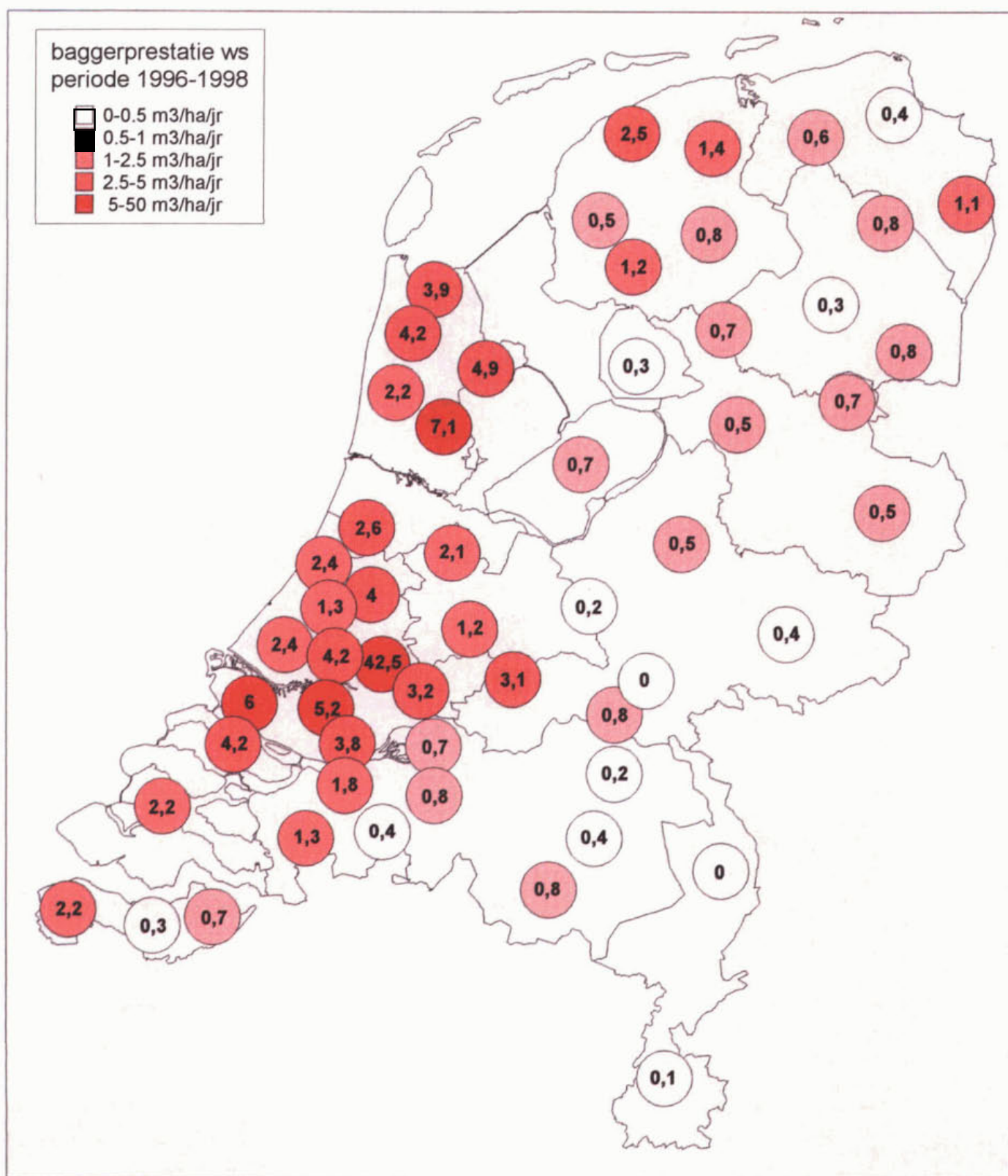
De berekende baggerinspanning is op kaart 1 weergegeven. Voor elk waterschap is op het zwaartepunt van het beheersgebied een cirkel gegeven, waarvan de grootte een maat is voor de baggerprestatie. Tevens is de bijhorende getalswaarde gegeven. Het volgende valt op:

- De baggerinspanning in m³/ha vertoont een duidelijk landelijk patroon met opvallende verschillen.
- In het hooggelegen deel van Nederland (Drente, Overijssel, Gelderland, Oost-Brabant en Limburg) wordt veel minder gebaggerd dan in het laaggelegen deel.
- In West-Nederland (Noord- en Zuid-Holland) wordt het meest gebaggerd. Opvallend is dat in de kuststrook duidelijk minder wordt gebaggerd dan wat meer landinwaarts. In de veengebieden wordt het meest gebaggerd.
- Zeeland, West-Brabant en Utrecht onderscheiden zich van de rest van West-Nederland door een lagere baggerprestatie. Friesland sluit hierbij aan.
- In de beide Flevopolders en in Groningen is de baggerprestatie in vergelijking tot de rest van laaggelegen Nederland erg laag.
- In de Krimpenerwaard wordt opmerkelijk veel gebaggerd. Dit is gerelateerd aan een recente grote baggerinspanning en een relatief groot oppervlak open water (15%). Ook in Waterland wordt veel gebaggerd, hetgeen ook hier gerelateerd is aan een relatief groot oppervlak open water.

De grote lijn in de baggerinspanningen is in de volgende tabel samengevat. De gegeven waarden zijn indicatief bedoeld. In paragraaf 5.3 wordt verder op de relatie tussen verwijderde hoeveelheid en aanwassnelheid ingegaan. Opgemerkt wordt dat de analyse die hier is uitgevoerd eigenlijk herhaald zou moeten worden met de werkelijke wateroppervlakken, zodat een zuiver beeld ontstaat van de verwijderde hoeveelheid per m² wateroppervlak. Met een dergelijk beeld kunnen vermoedelijk veel duidelijkere conclusies getrokken worden ten aanzien van regionale verschillen in aanwassnelheden.

Tabel 3 Indicatieve waarde voor de baggerprestatie (onderhoudsbaggerspecie) in m³/ha/jaar voor de verschillende delen van Nederland (de hectaren zijn het gehele oppervlak)

	baggerprestatie (m ³ /ha/jaar)
Hoog-Nederland (Drente, Overijssel, Gelderland, Oost-Brabant en Limburg)	0,5
West-Nederland (Noord- en Zuid-Holland): kuststrook	2,5
West-Nederland (Noord- en Zuid-Holland): veengebied	4,5
West-Nederland (Noord- en Zuid-Holland): kleigebied	4,0
Zeeland, West-Brabant, Utrecht en Friesland	1,75
Flevopolders en Groningen	0,75



Kaart 1: Overzicht van de totale gebaggerde hoeveelheden in m³ per ha beheersgebied per jaar op basis van de resultaten van de jaarlijkse enquête van de Unie van Waterschappen (gemiddeld over periode 1996-1998).

3 Aanwassnelheden uit veldmetingen

In dit hoofdstuk worden aanwassnelheden gepresenteerd die op daadwerkelijke metingen (peilingen) zijn gebaseerd. Er wordt begonnen met een definiëring van het begrip aanwassnelheid. Vervolgens worden de resultaten toegelicht van onderzoek dat door Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden is uitgevoerd. Dit is de enige waterbeheerder waarvan bekend is dat deze gestructureerd onderzoek naar aanwassnelheden heeft uitgevoerd. Ook voor delen van de beheersgebieden van het voormalige Heemraadschap Fleverwaard (Oostelijk Flevoland) en het Hoogheemraadschap van Delfland worden aanwassnelheden afgeleid.

3.1 Definiëring aanwas

In de rest van dit rapport worden voor de snelheid waarmee baggerspecie wordt gevormd de volgende begrippen gehanteerd. De gehanteerde termen worden in figuur 1 toegelicht.

Aanwassnelheid

De aanwassnelheid is de toename van de dikte van de sliblaag in cm/jaar zoals die wordt afgeleid uit de afname van de waterdiepte in het midden van de watergang. De aanwassnelheid is dus hetzelfde als de verondiepingssnelheid in het midden van de watergang.

De aanwassnelheid zoals die hier is gedefinieerd is een begrip dat in de praktijk algemeen wordt gehanteerd. In deze vorm geeft de waarde maar een beperkt inzicht in de daadwerkelijk optredende aanwas in m³ bagger per jaar. Paragraaf 5.1 gaat hier verder op in.

Volumeaanwas

De volumeaanwas is de toename van het slibvolume in m³/m/jaar zoals dat wordt afgeleid uit de afname van het natte profiel. Deze waarde wordt uitgedrukt in m³ per strekkende meter watergang per jaar.

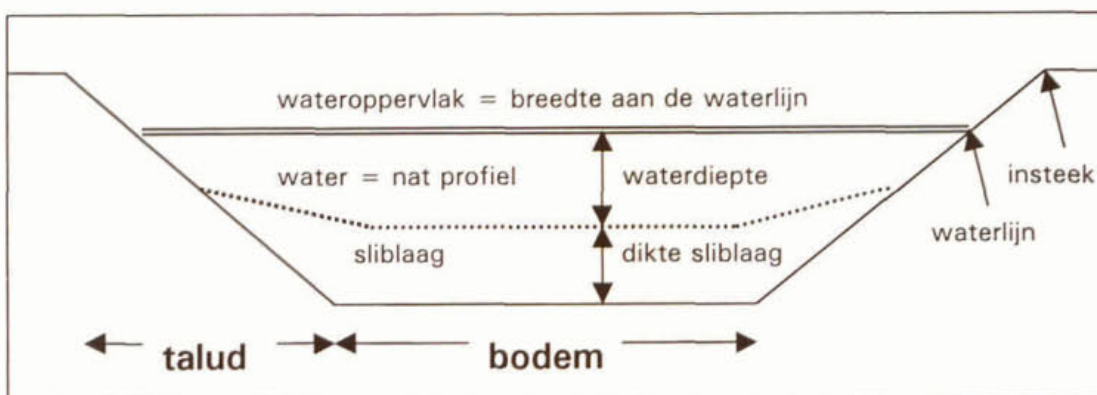
De volumeaanwas kan uitgedrukt worden in cm/jaar door de waarde te delen door de breedte van de watergang aan de waterlijn. In die vorm is de waarde echter niet hetzelfde als de hierboven gedefinieerde aanwassnelheid. De reden hiervan wordt in paragraaf 5.1 uitgelegd.

De volumeaanwas wordt in de praktijk gehanteerd bij baggerbestekken. Vaak wordt deze berekend door de aanwassnelheid te vermenigvuldigen met de breedte van de watergang, hetgeen niet correct is vanwege de schuine taluds (zie 5.1).

Stofflux

De stofflux is de toevoer van droge stof per m^2 wateroppervlak in $\text{kgds}/\text{m}^2/\text{jaar}$. Deze volgt uit de volumeaanwas door een verrekening met de dichtheid of het droge stofgehalte van de bagger.

De stofflux is een waarde die uitsluitend ten behoeve van wetenschappelijke studies (modelberekeningen) wordt gebruikt. Dit vormt de enige parameter op grond waarvan de verschillende baggervormende processen gekwantificeerd kunnen worden.



Figuur 1 Begrippenkader ten behoeve van de definiëring van de aanwas van baggerspecie.

3.2 Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden

Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden heeft een aantal onderzoeken uitgevoerd waarbij ook de aanwassnelheid van baggerspecie is vastgesteld. Hierbij worden de volgende waarden gemeld:

- 5-12 cm/jaar in een aantal sloten in een periode van 3-5 jaar na baggeren (bron 9);
- 7-10 cm/jaar in een aantal hoofdwatgangen (bron 20).

In een onderzoek van de Universiteit van Leiden in hetzelfde gebied worden de volgende waarden gemeld:

- 4-5 cm/j in 18 sloten, mogelijk op verschillende tijdstippen na baggeren (bron 21).

Een goed gedocumenteerd onderzoek, dat in deze paragraaf verder wordt toegelicht, is "Baggeren in poldergebieden" (bron 9). Dit is een uitgebreid langjarig onderzoek naar het effect van baggeren op de waterkwaliteit in schei- en kavelsloten. Als onderdeel van deze studie is de baggervorming in acht sloten in het veenweidegebied gevolgd.

De bestudeerde sloten betreffen twee clusters van sloten in de Kimpenerwaard, een aantal proefsloten in de polder Nieuw Lekkerland en twee diepe verspreid gelegen sloten. In tabel 4 is per sloot een korte beschrijving opgenomen. De sloten zijn deels recent gebaggerd. Een aantal sloten is voorzien van kroosbalken om de toestroming van kroos te voorkomen. De sloten zijn allen eutroof tot sterk eutroof.

Om een indruk te kunnen krijgen van de omvang van de processen die tot de vorming van baggerspecie leiden, is een deel van de trajecten in de polder Nieuw Lekkerland voorzien van schotten langs de taluds en/of een gaasconstructie op de bodem. Hiermee werd het afkalven van de taluds en het omhoogkomen van de bodem voorkomen. Door de aanwas in afgeschermden delen af te trekken van de aanwas in de niet-afgeschermden delen is een indruk van de rol van de verschillende processen verkregen. De uitgangsdiepte van de sloten varieert van 20 cm tot 120 cm, zodat ook een indruk wordt verkregen van de relatie tussen de aanwas en de diepte van een watergang.

Resultaat

Een overzicht van de onderzochte sloten en de berekende aanwassnelheid wordt in de onderstaande tabel gegeven. De aanwassnelheid is berekend uit de waargenomen verondieping, behalve bij de proefsloten in de polder Nieuw Lekkerland. Hier wordt de volumeaanwas gegeven die is vastgesteld uit profielmetingen.

Tabel 4 Overzicht van de sloten waarvan de aanwas door Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden is vastgesteld, de sloten liggen allen in het veenweidegebied.

watergang	omschrijving	breedte (m)	oorspronkelijke diepte (cm)	aanwassnelheid
KOB 10, Krimpenerwaard	met kroosbalk, gebaggerd in 1985, verondieping in 4 jaar 25 cm	2,7	40	6 cm/jaar
KOB 09, Krimpenerwaard	met kroosbalk, doodlopende zijtak van KOB 10, meer dan 10 jaar niet gebaggerd, dikte sliblaag 70-100 cm	3,5	25	niet bepaald
KOB 08, Krimpenerwaard	geen kroosbalk ter voorkoming instroom kroos, meer dan 10 jaar niet gebaggerd, dikte sliblaag 40 cm	3,0	40	niet bepaald
KOB 5, Krimpenerwaard	gebaggerd tot op de vaste bodem, na baggeren nog 5-10 cm achtergebleven, doodlopend, gedeeltelijk kroosbalk, verondieping in 4 jaar 25 cm, doodlopend	2,5	45	8 cm/jaar
KOB 14, Krimpenerwaard	gebaggerd tot op de vaste bodem, na baggeren nog 5-10 cm achtergebleven, verondieping 20 cm in 4 jaar.	4,0	45	5 cm/jaar
KOB 15, Krimpenerwaard	gebaggerd tot op de vaste bodem, na baggeren nog 5-10 cm achtergebleven, doodlopend, verondieping 20 cm in 4 jaar.	4,0	55	5 cm/jaar
Polder Nieuw-Lekkerland Alblasserwaard	proeftrajecten met verschillende waterdiepten, schotten langs de kant en gaasconstructies, voorzien van kroosbalken, aanwas neemt licht toe in de tijd, sterke spreiding aanwassnelheid	2,0-4,0	20-120	4,6 - 5,8 cm/jaar (volume-aanwas)
KOB 1, Polder Kromme Geer	met baggerzuigboot tot op de harde ondergrond gebaggerd, verondieping 50 cm in 4 jaar.	6,0	120	12 cm/jaar
KOB 3, Polder Schoonouwen	met baggerzuigboot tot op de harde ondergrond gebaggerd, verondieping 35 cm in 4 jaar	4,0	65	9 cm/jaar

In de watergangen in de Krimpenerwaard varieert de vastgestelde aanwassnelheid van 5-8 cm per jaar. De hoogste aanwassnelheid trad op in de doodlopende sloot, KOB 5. Er is geen invloed zichtbaar van de uitgangspositie (waterdiepte of dikte sliblaag). In de proeftrajecten in de polder Nieuw-Lekkerland wordt een volumeaanwas van 4,6 - 5,8 cm/jaar berekend. In de watergangen KOB 1 en KOB 3 wordt een duidelijk hogere aanwassnelheid van 9-12 cm/jaar vastgesteld. Mogelijk is hier een relatie met de waterdiepte of de breedte van de watergang.

Inschatting processen

Bij de proeftrajecten in de polder Nieuw-Lekkerland wordt geen duidelijk verband tussen de volumeaanwas en de uitgangsdiepte waargenomen. Wel is de volumeaanwas in de diepste trajecten het eerste jaar een factor 2-3 hoger dan in de ondiepe trajecten.

De invloed van de verschillende baggervormende processen wordt in de volgende tabel gegeven. Er wordt een aantal tijdstippen gegeven, omdat de omvang van de processen verandert in de tijd. Zo speelt het instorten van de hoge oever alleen direct na baggeren een belangrijke rol. Benadrukt wordt dat de percentages op volumebasis zijn bepaald.

Tabel 5 procentuele bijdrage van baggervormende processen vanaf het moment van baggeren (januari 1988) tot januari 1990 (gegevens Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, bron 9)

baggervormend proces	jan 1988 - juni 1988	juni 1988 - juli 1989	juli 1989 - jan 1990
plantengroei en zwevende stof	16 vol. %	39 vol. %	40 vol. %
bodem en lage oever	47 vol. %	46 vol. %	38 vol. %
hoge oever	37 vol. %	15 vol. %	22 vol. %

Voor de omvang van de verschillende processen wordt op basis van de waarnemingen in de polder Nieuw Lekkerland (veenweidegebied) het volgende geconcludeerd:

- Op volumebasis zijn "plantengroei en zwevende stof" (bezinken dood plantaardig materiaal, instroming zwevende stof) en "bodem en lage oever" (opdrukken/verweken bodem, afkalving laagste deel onderwatertalud) de belangrijkste baggervormende processen. Beide processen zijn vergelijkbaar qua omvang.
- Kort na het baggeren is het instorten/afkalven van de hoge oever (overgang onderwatertalud-droge talud) een belangrijk proces.

3.3 (Voormalig) Heemraadschap Fleverwaard

Heemraadschap Fleverwaard (thans onderdeel van Waterschap Zuiderzeeland) heeft voor een belangrijk deel van de tochten van oostelijk Flevoland een overzicht van het tijdstip van baggeren en de in 1998 ingepeilde diepte in het midden van de watergang. Door deze gegevens te combineren met de keur is de aanwassnelheid te berekenen. Uit de aanwassnelheid is, onder de aanname dat de bovenzijde van de sliblaag een vlakke ligging heeft, met de dimensionering van de taluds een volumeaanwas te berekenen. Met behulp van het droge stofgehalte, dat uit de beschikbare kwaliteitsgegevens is afgeleid, is vervolgens de vertaling van volumeaanwas naar stofflux in kg droge stof te maken.

De watergangen in Oostelijk Flevoland kunnen als volgt getypeerd worden:

- De kavelsloten staan in de zomer droog, behalve in de kwelgebieden; de tochten (hoofdwatgangen) zijn altijd watervoerend;
- Het bodemtype is behoorlijk egaal (zavel/lichte klei), alleen bij Kampen en Swifterband is wat meer variatie in textuur aanwezig;
- Per watergang is bekend of deze door de kleirijke holocene deklaag heen steekt; in dat geval is er sprake van een zandbodem in plaats van een kleibodem;
- Vooral langs de zuidrand van de polder is sprake van forse kwel;
- Het landgebruik bestaat vrijwel geheel uit akkerbouw;
- Tochten worden tot 5 keer per jaar gemaaid en gekroosd.

De berekende aanwassnelheden, volumeaanwas en stoffluxen worden in de volgende tabel gegeven. In bijlage 2 is een toelichting op de berekeningswijze te vinden.

Tabel 6 Overzicht van de berekende aanwassnelheid, volumeaanwas en stofflux voor de watergangen in Oostelijk Flevoland, liggend in het holocene of het pleistocene pakket; de waarden zijn mediane waarden

	aanwassnelheid (cm/jaar)	volumeaanwas (cm/jaar)	stofflux (kgds/m ² /j)	aantal
Pleistoceen (zandbodem)	3,3	1,2	4,9	37
Holoceen (kleibodem)	2,5	0,9	2,7	9

De vastgestelde aanwassnelheid blijkt een forse spreiding te vertonen. In cm/jaar is de aanwassnelheid in de watergangen met een kleibodem wat minder dan die met een zandbodem. Het verschil is echter niet groot. De volumeaanwas is veel lager dan de aanwassnelheid. De reden hiervan is dat de taluds een relatief groot deel van het profiel uitmaken. Vaak geldt een verhouding van 1:1:1 voor dat talud:bodem:talud.

Het verschil tussen de aanwas van de watergangen met een zandbodem en een kleibodem neemt toe als de stofflux in kgds wordt berekend. De reden hiervan is dat het gemiddelde droge stofgehalte van het slib in watergangen met een zandbodem wat hoger is dan dat in de watergangen met een kleibodem.

Als de volumeaanwas en het organische stofgehalte in het slib op een kaart worden weergegeven kunnen een aantal grove tendensen onderkend worden. Deze zijn evenwel niet erg duidelijk. Een reden hiervan is dat het gebruikte cijfermateriaal betrekkelijk grof is, waardoor veel effecten worden afgevlakt.

De volgende zaken vallen op:

- Het organische stofgehalte van clusters van watergangen lijkt betrekkelijk uniform te zijn.
- In de watergangen met een kleibodem (noordwest hoek) is een duidelijke tweedeling te herkennen. De watergangen in de nabijheid van Lelystad hebben een betrekkelijk hoge volumeaanwas van ongeveer 1,5 cm/jaar. De watergangen in de uiterste noordhoek van de polder hebben een lagere volumeaanwas van 0,5-1 cm/jaar. Opmerkelijk is dat de organische stofgehalten van het slib in beide groepen watergangen vergelijkbaar zijn (orde 10%).
- In het centrum van de polder (Wiertocht, Zwanentocht) zijn een aantal watergangen aanwezig met een hoge volumeaanwas van meer dan 2 cm/jaar. De organische stofgehalten van het slib in deze watergangen is betrekkelijk laag (<5%).
- In het kwelgebied ten noorden van het Veluwemeer komt een betrekkelijk uniforme volumeaanwas voor van 1-1,5 cm/jaar. Het organische stofgehalte van het slib ligt hier rond de 5%.
- In de oosthoek van de polder ligt het organische stofgehalte van het slib rond de 6% bij een volumeaanwas van ongeveer 0,5 cm/jaar.

Tevens is onderzocht of de breedte of de diepte van de watergangen invloed heeft op de volumeaanwas. Hierbij werden geen duidelijke verbanden gevonden.

Samenvattend kan gesteld worden dat de gemiddelde volumeaanwas in oostelijk Flevoland schommelt rond een waarde van 1 cm/jaar, ofwel 2,5-5 kgds/m²/jaar. Dit komt overeen met een aanwassnelheid direct na het baggeren van ongeveer 3 cm/jaar. De belangrijkste factoren die op de aanwas van invloed zijn, zijn mogelijk de samenstelling van de bodem (sterkere aanwas bij zand) en de aanwezigheid van kwel (aanwas bevorderend). Gezien de hoge aanwas in een aantal centraal gelegen watergangen zijn mogelijk andere, nog niet onderkende factoren van invloed (maaifrequentie?). Ten aanzien van het organische stofgehalte van het slib lijken clusters van watergangen onderkend te kunnen worden.

3.4 Hoogheemraadschap van Delfland

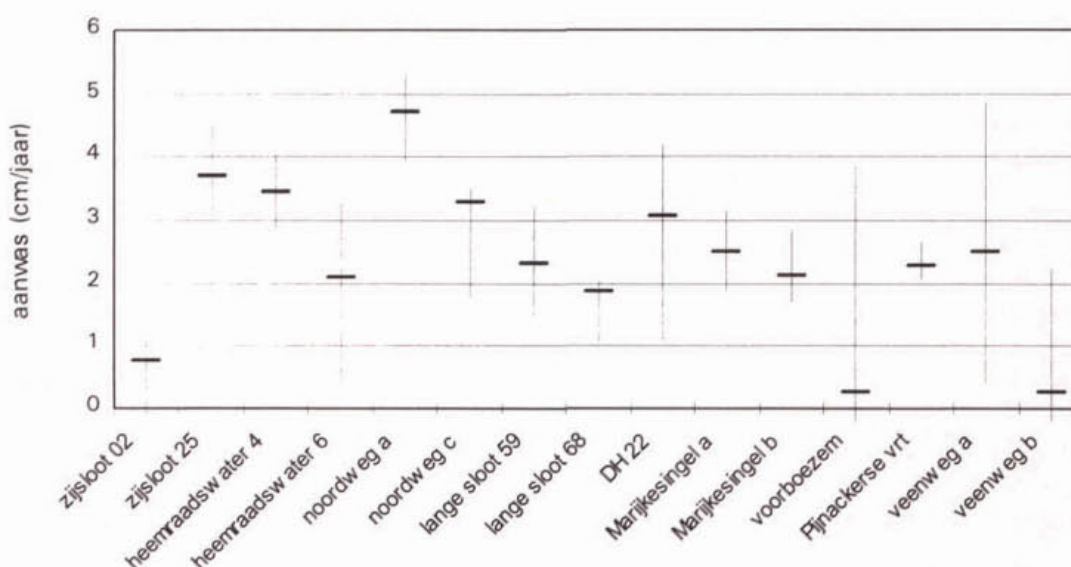
Het Hoogheemraadschap van Delfland hanteert een nauwkeurige methode voor het inpeilen van haar watergangen. Dit is de zgn. DWP-methode, waarbij een watergang wordt opgedeeld in representatieve trajecten waarvan een nauwkeurig dwarsprofiel wordt opgemeten. De maximale lengte van een traject is hierbij 50 meter. Het dwarsprofiel wordt opgebouwd uit peilingen die afhankelijk van de breedte van de watergang om de 50 cm of om de meter worden genomen. Naast de diepte wordt ook de breedte van de watergang opgemeten.

In principe worden alle hoofdwatgangen bij Delfland voorafgaand aan baggerwerkzaamheden ingepeild, en na afloop weer uitgepeild. Door deze watgangen na verloop van tijd, op een identieke wijze weer in te peilen, ontstaat een gedetailleerd beeld van de volumeaanwas die in de tussenliggende periode is opgetreden.

Delfland heeft deze exercitie recent voor een selectie van watgangen uitgevoerd. Deze selectie was zo samengesteld dat deze de belangrijkste variatie binnen het gebied bevat. Er zijn watgangen geselecteerd binnen het kleigebied, het veengebied en het zandgebied. Tevens is getracht het landgebruik representatief te laten variëren. De onderzochte trajecten hebben een lengte van 300-400 meter, waar ongeveer 10 dwarsprofielen met behulp van 5-10 peilingen zijn ingepeild. Per watgang is de gepresenteerde volumeaanwas dus op 50-100 peilingen gebaseerd.

Tabel 7 op de volgende bladzijde geeft per onderzochte watgang de aanwassnelheid in cm per jaar (ofwel "diepte in de vaargeul"), de volumeaanwas in cm/jaar en de stofflux in kgds/m²/jaar gegeven. Per watgang wordt een kort commentaar gegeven. De berekeningsmethode wordt in bijlage 2 toegelicht. Een verdere toelichting bij de watgangen is in bijlage 3 te vinden.

Als aanvulling op de tabel is in onderstaande figuur de volumeaanwas in cm/jaar met de 25 en 75 percentielwaarde gegeven. Dit geeft inzicht in de spreiding die binnen een onderzochte watgang wordt aangetroffen.



Figuur 2 Mediaan en 25 en 75 percentiel-waarde van de volumeaanwas in cm/jaar in 16 onderzochte watgangen van het Hoogheemraadschap van Delfland.

Tabel 7 Overzicht van de aanwas die voor een aantal hoofdwatgangen in het gebied van Delfland zijn vastgesteld op basis van gedetailleerde inpeilingen

Watergang	aanwas-snelheid (cm/jaar)	volume-aanwas (cm/jaar)	stofflux (kgds/m ² /j)	opmerkingen
Zijsloot 02 Heemraadswater	3,0	0,75	2,6	Sloot in zandgebied, lage aanwas die vooral bestaat uit erosie van de onderwatertaluds.
Zijsloot 25 Heemraadswater	8,6	3,7	9,9	Doodlopende zijslot met bomen, slib met hoog gehalte aan organische stof. Samenstelling slib duidt op kleigebied.
Heemraadswater, deel 4	9,4	3,4	12,7	Egale watergang, betrekkelijk homogene aanwas; lutumgehalte te hoog voor zandgebied.
Heemraadswater, deel 6	5,4	2,1	9,3	Breedte van de watergang neemt af van ca 15 meter naar 5 meter. Aanwas het hoogst in het brede deel.
Noordweg A	7,7	4,7	18,4	Hoge aanwas mogelijk door eutrofiëring en afspoeling van de naastgelegen drukke weg.
Noordweg C	5,8	3,3	14,0	Als Noordweg A.
Lange sloot 59	6,1	2,3	10,4	Aanwas vindt vooral in het smallere deel tussen de kassen plaats, in bredere open deel minder aanwas.
Lange sloot 68	6,0	1,9	8,4	Door mogelijk hogere toevoer van organisch materiaal wel een hoger gehalte aan organische stof maar een lagere aanwassnelheid dan Lange Sloot 59.
DH22	8,2	3,1	15,6	Deels niet gebaggerd, hier aanwas nul, bij slecht gebaggerde deel vooral aanwas door herverdeling bagger over profiel, mogelijk invloed bomen hoewel laag organisch stofgehalte.
Marijkesingel a	2,5	2,5	8,9	Aanwas sterk vergelijkbaar met veel bredere Marijkesingel b, bomen lijken niet tot hoge organische stofgehalten of aanwassnelheden te leiden. Niet aangesloten op slotenstelsel.
Marijkesingel b	2,1	2,1	10,0	Als Marijkesingel a
Voorboezem	7,5	0,3	0,8	Geringe aanwas, vermoedelijk door hoge stroomsnelheden en scheepsactiviteit (werfje, aanlegkade).
Pijnackerse Vaart	4,9	2,3	6,3	Gezien hoge gehalte organische stof betrekkelijk lage aanwas, erg regelmatig.
Veenwatering A	5,5	2,5	5,1	Voor veengebied erg lage aanwas, mogelijk verstoord of plaatselijk gebaggerd.
Veenwatering B	3,5	0,2	0,5	Als Veenwatering A, onregelmatig verloop sliblaag duidt op verstoring.

Zonder op de individuele watergangen in te gaan vallen de volgende zaken op:

- De volumeaanwas in de onderzochte watergangen varieert van vrijwel nul tot 4,7 cm/jaar; indicatief ligt de gemiddelde waarde voor alle watergangen rond de 2-2,5 cm/jaar. Dit komt overeen met een input van ongeveer 10 kgds/m²/jaar.
- De aanwas varieert fors tussen de verschillende watergangen. Een duidelijke invloed van het bodemtype, de diepte en de breedte van de watergangen is niet herkenbaar. Variaties tussen watergangen zijn veel meer toe te schrijven aan lokale omstandigheden, zoals bij DH22 of de Voorboezem. Sommige afwijkingen van het gemiddelde zijn mogelijk toe te schrijven aan problemen met de waarneming, zoals de Veenweg a en b. Deze is erg onregelmatig van breedte, zodat mogelijk ingepeilde profielen niet precies overlappen. Bovendien zijn langs deze watergang inmiddels veel bouwwerkzaamheden gestart (VINEX Ypenburg).
- De betrekkelijk hoge aanwas langs de Noordweg duidt er mogelijk op dat sterke eutrofiering (sterke algengroei) een aanwasbevorderend effect heeft.
- Binnen een watergang is een fors verschil in aanwas tussen de ingepeilde dwarsprofielen. Bij watergangen met een regelmatige vorm, zoals de Marijkesingel, is de variatie veel minder sterk dan bij onregelmatige watergangen, zoals de Veenweg. De variatie tussen de ingepeilde profielen is ten dele toe te schrijven aan onregelmatigheden in het oorspronkelijk uitgebaggerde profiel. Problemen met het inmeten, zoals het terugvinden van de exacte locatie van een dwarsprofiel spelen ook een rol.
- Uit de profielen blijkt dat de aanwassnelheid vaak het dubbele bedraagt van de volumeaanwas. De afname van het natte profiel is procentueel veel minder dan de verondieping in het midden van de watergang. Een belangrijk deel van de aanwas in het midden van de watergang wordt dus veroorzaakt door herverdeling van bagger over het profiel. Bagger verzamelt zich in de diepste delen van de watergang.
- In de profielen is duidelijk te zien dat de sliblaag zowel in de lengte van de watergang als in de breedte streeft naar een vlakke ligging. Soms vertoont de bagger in de lengte van de watergang een licht talud, dat samenhangt met de stroomrichting van het water. Dit duidt erop dat de sliblaag onder invloed van wind en golfslag wordt verplaatst.

Samenvattend moet geconcludeerd worden dat in een groep van behoorlijk gevarieerde watergangen in het beheersgebied van Delfland een aanwassnelheid van gemiddeld 2-2,5 cm/jaar (ofwel 10 kgds/m²/jaar) optreedt. Invloeden van bodemtype, omliggend landgebruik, breedte of diepte komen niet duidelijk naar voren. De invloed van maaionderhoud is niet beschouwd. Mogelijk moet de aanwas in de hoofdwatgangen beschouwd worden in relatie met de aanwas die in het gerelateerde slotenstelsel optreedt (gebiedsbenadering).

4 Samenstelling en baggervormende processen

Na de praktijkervaringen uit hoofdstuk 2 en 3 wordt in dit hoofdstuk aandacht geschonken aan de samenstelling van baggerspecie en de baggervormende processen.

4.1 Samenstelling baggerspecie

Een belangrijk aanknopingspunt bij de zoektocht naar mechanismen achter de aanwas van baggerspecie is de samenstelling van baggerspecie. Met kennis van de samenstelling is inzicht te krijgen in de herkomst van de componenten van baggerspecie. In deze paragraaf wordt de samenstelling van de baggerspecie van het Hoogheemraadschap van Delfland geanalyseerd. Dit gebied is gekozen, omdat een goede variatie in bodemopbouw en landgebruik kent. Er is een uitgebreide dataset beschikbaar (meer dan 2000 records) die bovendien voorzien is van coördinaten, zodat de informatie met een GIS verwerkt kan worden. De resultaten zijn naar verwachting betrekkelijk representatief voor West-Nederland.

Delfland

De samenstelling van baggerspecie in Delfland is bestudeerd met behulp van de analysegegevens die in het kader van kwaliteitsonderzoeken zijn verzameld. Bij dit onderzoek worden naast de verontreinigingen tevens het droge stofgehalte en de gehalten aan lutum, zand, totaalfosfaat en N-kjeldahl en het organische stofgehalte bepaald. Voor het zandgehalte en het fosfaat- en stikstofgehalte geldt dat deze niet altijd worden vastgesteld, omdat deze niet nodig zijn voor de vaststelling van de verontreinigingsklasse. Het organische stofgehalte is uit de gloeirest afgeleid.

De samenstelling van de vaste fase wordt in de onderstaande 4 figuren gepresenteerd. Het droge stofgehalte en enkele belangrijke macroparameters worden in onderstaande tabel gegeven. Belangrijk is dat alle gehalten zijn weergegeven op massabasis. Ten behoeve van het overzicht zijn de monsters in de volgende vier typen opgedeeld (NEN 5104, bron 22).

- Zandige baggerspecie: < 8% lutum, < 20% organische stof;
- Kleiige baggerspecie: 8-25% lutum, <20% organische stof;
- Kleirijke baggerspecie: > 25% lutum, <20% organische stof;
- Venige baggerspecie: >20% organische stof.

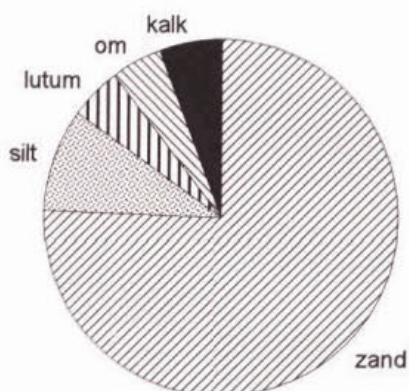
Tabel 8 Samenstelling verschillende specietypen (mediane waarden, dataset Hoogheemraadschap van Delfland, n = 2077)

	n (%)	ds gehalte (gew %)	ijzergehalte (mg/kgds)	Fosfaatgehalte (gew % ds)	N-kjeldahl (gew % ds)
Zandige specie (lutum <8%)	290 (14,0%)	49,7	9.800	0,068	0,26
Kleiige specie (lutum 8-25%)	1155 (55,6%)	39,9	19.000	0,120	0,37
Kleirijke specie (lutum >25%)	475 (22,9%)	33,3	26.900	0,145	0,51
Venige specie (om >20%)	157 (7,5%)	18,5	28.000	0,120	1,10

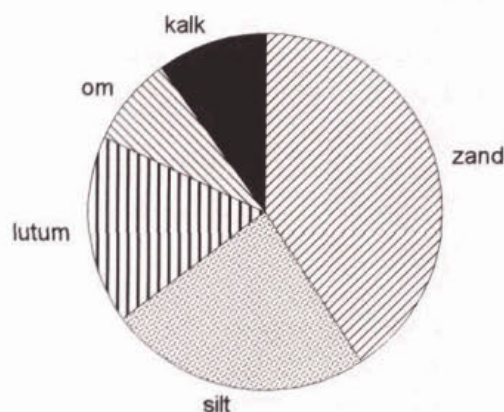
Een analyse van de samenstelling van baggerspecie levert het volgende beeld:

- Zandige baggerspecie bestaat voor meer dan 50% (gew%) uit water, venige baggerspecie voor meer dan 80% (gew%).
- In het beheersgebied van Delfland valt meer dan 90% van de baggerspecie in de categorie "niet-venig" (<20% organische stof).
- Alle baggerspecie, inclusief de venige, bestaat voor minstens 65% (gewichts% ds) uit minerale delen. Voor niet-venige baggerspecie geldt dat deze voor minimaal 80% uit minerale delen bestaat.
- Niet-venige baggerspecie bevat 5-10% organisch materiaal.
- Niet-venige baggerspecie bevat ongeveer evenveel kalk als organisch materiaal. Venige baggerspecie bevat opvallend weinig kalk.

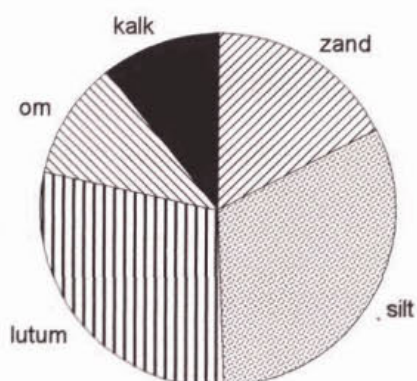
zandige specie (lutum < 8%)



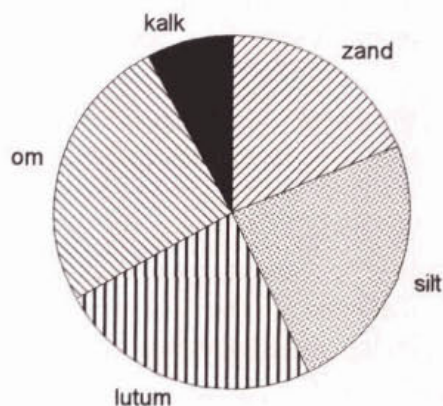
kleiige specie (lutum 8-25%)



kleirijke specie (lutum >25%)



venige specie (om>20%)



Figuur 3a, b, c en d. Macrosamenstelling van verschillende specietypen (mediane waarden, dataset Hoogheemraadschap van Delfland, n = 2077, zand berekend als restpost)

4.2 Relaties

Naast de samenstelling van baggerspecie levert ook een analyse van de relatie tussen de componenten van baggerspecie veel informatie op. Duidelijke verbanden kunnen hierbij aanwijzingen geven voor het optreden van bepaalde processen. Van de dataset die in paragraaf 4.1 is gebruikt, is daarom een groot aantal componenten tegen elkaar uitgezet. De figuren die dit oplevert worden in bijlage 4 in de vorm van een raster weergegeven.

Van de onderzochte parameters blijken de volgende sterk gecorreleerd te zijn:

- droge stofgehalte en organische stofgehalte;
- droge stofgehalte en stikstofgehalte;
- organische stofgehalte en stikstofgehalte.

Bij alle overige parameters is in meerdere of mindere mate sprake van een correlatie, al is het beeld nooit zo duidelijk als voor de genoemde componenten.

Droge stof versus organisch materiaal

Het droge stofgehalte blijkt sterk afhankelijk te zijn van het gehalte aan organisch materiaal in de baggerspecie. Een toename van het organische stofgehalte leidt tot een daling van het droge stofgehalte. Deze sterke relatie, die belangrijk kan zijn bij het begrip van de rol van organisch materiaal bij de vorming van baggerspecie, wordt in paragraaf 4.3 verder uitgewerkt.

Droge stof versus stikstof

Het verband tussen droge stof en stikstof vertoont een sterke gelijkenis met het verband tussen droge stof en organisch materiaal. De reden hiervan is dat tussen het stikstofgehalte en het organische stofgehalte een zeer sterk lineair verband bestaat. Dit wordt in de volgende alinea toegelicht. Gezien het sterke verband tussen organisch materiaal en het droge stofgehalte, is te verwachten dat ditzelfde verband tussen stikstof en het droge stofgehalte wordt gevonden.

Organische stof en stikstof

Het verband tussen organische stof en stikstof is sterk en lineair. Dit betekent dat het C/N-quotiënt in baggerspecie constant is. Hiermee is baggerspecie sterk vergelijkbaar met terrestrische bodems. Uit de gegevens kan berekend worden dat het C/N-quotiënt van de beschouwde baggerspecie ongeveer 11,5 bedraagt (organisch koolstof = organisch materiaal / 1,75). Ter vergelijking wordt in de volgende tabel het C/N-quotiënt van enkele andere materialen gegeven.

Tabel 9 Overzicht van het C/N-quotiënt van enkele natuurlijke materialen

	C/N-quotiënt
baggerspecie (deze studie)	11,5
poldervaaggrond in jonge zeeklei	9,6 (+/- 1,8)
leek/woudeerdgronden in oude zeeklei	11,1 (+/- 1,5)
koopveengronden op bosveen	12 - 16
zwarte enkeerdgronden	17,1 (+/- 3,4)
eutroof bos- of rietveen	15 -25
rietzegge- en broekveen	25 - 35
oligotroof mosveen	35 - 60
stro	60 - 70

Het C/N-quotiënt van baggerspecie is dus sterk vergelijkbaar met die van terrestrische bodems. Dit duidt erop dat het organische materiaal bestaat uit stabiele humusachtige afbraakproducten.

4.3 Droge stof versus organisch materiaal op nationale schaal

Het verband tussen het organische stofgehalte en het droge stofgehalte van baggerspecie, dat in de vorige paragraaf voor het gebied van het Hoogheemraadschap van Delfland werd gevonden, is mogelijk belangrijk bij de bestudering van aanwassnelheden. Dit verband duidt er namelijk op dat de "volumineusheid" (het aantal liter baggerspecie dat door 1 kg droge stof wordt gevormd) van baggerspecie voor een belangrijk deel door organisch materiaal wordt bepaald. Volumineuze bagger kan zich vertalen in een dikke sliblaag, een hoge aanwassnelheid en gemakkelijk eroderende en vloeiende baggerspecie.

Om te controleren of het gevonden verband ook op nationale schaal wordt aangetroffen, is dit voor de volgende waterschappen in de grafieken uitgezet.

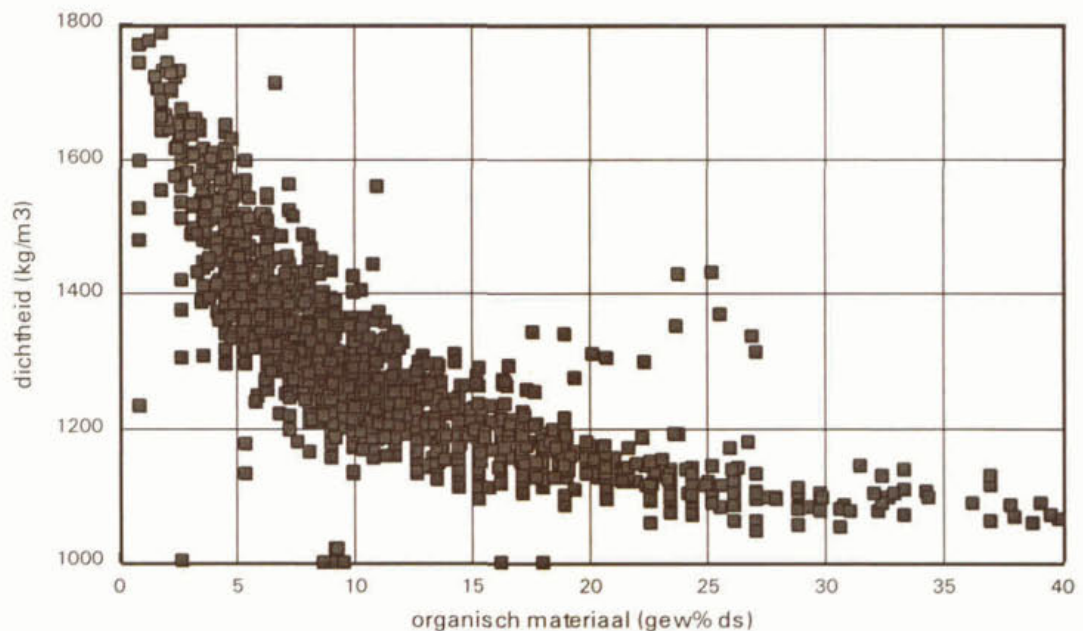
- Waterschap Rijn en IJssel (oost-Gelderland);
- Waterschap Veluwe (midden-Gelderland);
- Zuiveringsschap Rivierenland (rivierengebied);
- Waterschap Zeeuwse Eilanden (Zeeland);
- Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier (Noord-Holland).

Uit de grafieken, die in bijlage 5 zijn opgenomen, blijkt dat het gevonden verband ook bij andere waterbeheerders duidelijk naar voren komt. Opvallend is dat dit ook geldt voor de gebieden in het hooggelegen deel van Nederland. Het is dus waarschijnlijk dat de relatie tussen het droge stofgehalte en het organische stofgehalte een universeel verband is. Dit betekent dat de situ-dichtheid van baggerspecie in sterke mate bepaald wordt door het gehalte aan organische stof.

Mechanisme

Een verklaring voor de sterke relatie tussen het organische stofgehalte en het droge stofgehalte moet gezocht worden in het vormen van een stabiele ruimtelijke stapeling tussen mineraal materiaal en organische stof. Organische stof fungeert hierbij als bindmiddel. Enkele verkennende analyses laten zien dat niet zonder meer gesteld kan worden dat gehydrateerd organisch materiaal een bepaalde constante dichtheid heeft.

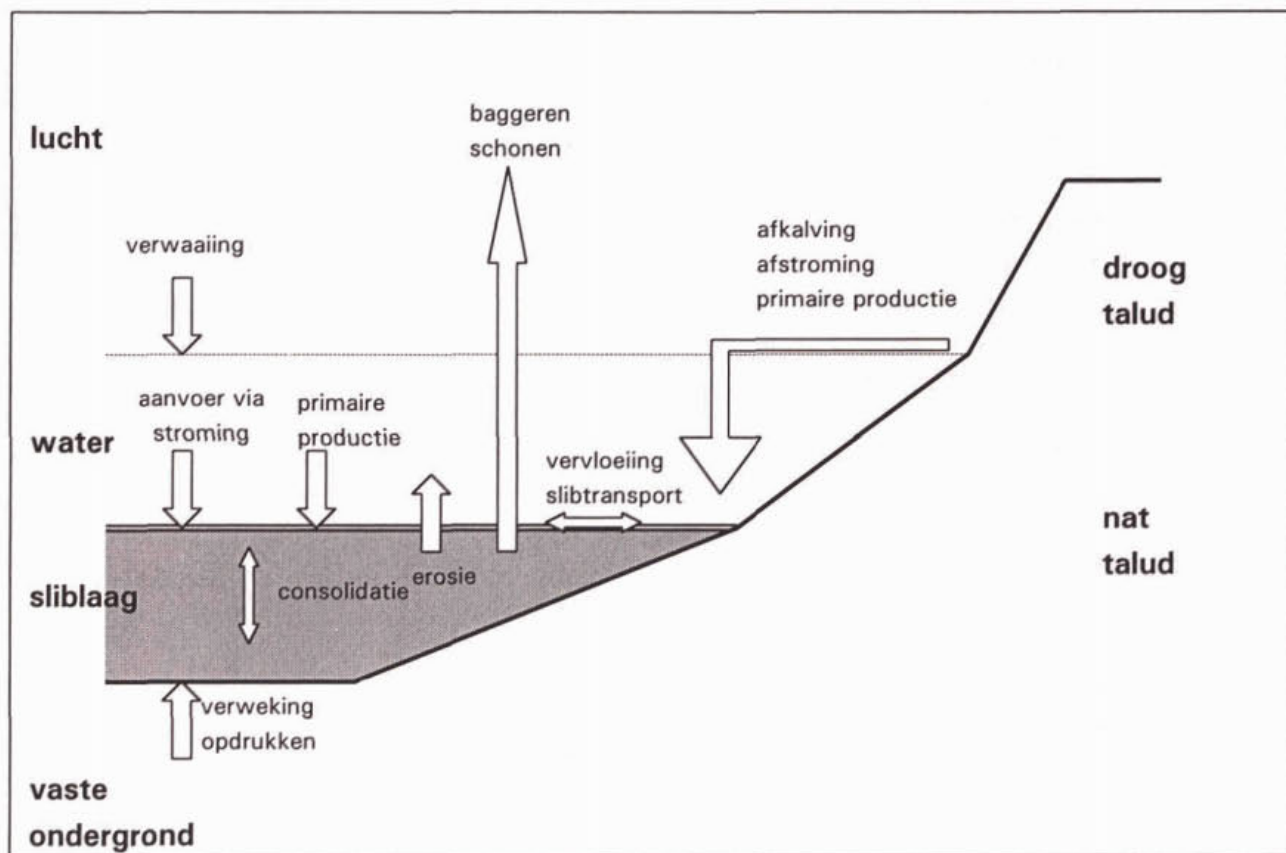
Illustratief is de volgende figuur, waar de (situ)-dichtheid is uitgezet tegen het organische stofgehalte. Bij 0% organisch materiaal treedt een dichtheid op van ongeveer 1800 kg/m^3 , hetgeen overeenkomt met een porositeit van ongeveer 0,4. Dit is een gangbare waarde voor behoorlijk dicht gepakt mineraal materiaal. In limiet (hoge organische stofgehalten) gaat de dichtheid naar $1000\text{--}1050 \text{ kg/m}^3$. Dit is de dichtheid van water. Curve-fitting laat zien dat het gevonden verloop beschreven kan worden als de dichtheid (of de porositeit) een functie is van de logaritme van het organische stofgehalte.



Figuur 4 Dichtheid van baggerspecie tegen het organische stofgehalte

4.4 Vormingsproces

Bij de totstandkoming van de sliblaag spelen een aantal processen een rol. Dit zijn deels vormende en deels afbrekende processen. Het netto resultaat van deze processen is de aanwas van de sliblaag. In de volgende figuur worden de belangrijkste processen weergegeven. Vooralsnog worden ze kwalitatief beschreven. Verderop worden enkele processen gekwantificeerd.



Figuur 5 Overzicht van de baggervormende processen

Aanvoerprocessen

- **Verwaaiing:** Aanvoer van materiaal zoals minerale delen en plantenresten via de lucht. Het aangevoerde materiaal komt in het water terecht en zinkt (eventueel na afbraak) naar de bodem.
- **Afkalving kanten:** Door instorten, verweken, vertrapping of erosie (golfslag) komt materiaal uit de taluds in het water terecht.
- **Afstroming:** Afstromend regenwater voert bodemmateriaal en organisch materiaal naar de watergang. Op deze wijze wordt ook een deel van de bagger die op de kant is gezet weer naar de watergang teruggevoerd.
- **Aanvoer via stroming:** Bij stroming treedt transport op van zwevend stof. Dit materiaal zal in rustige watergangen sedimenteren.
- **Slibtransport en vervloeïing:** Slib heeft een lage dichtheid en vloeit gemakkelijk. De vlakke ligging van waterbodems duidt hierop. Transport door dichtheidsstroming speelt dus vermoedelijk (over afstanden van tientallen meters) een rol. Naast dichtheidsstroming wordt materiaal getransporteerd door windeffecten (meebewegen golfslag, winderosie), bioturbatie (vissen, eenden) en door de jaarlijkse "harkbeurt" in de vorm van het schonen.

- Verweken/opdrukken bodem: In veengebieden komt de onderliggende bodem omhoog (kwelgebieden, onregelmatige belasting veenpakket) en treedt verweking van het veenpakket op.
- Primaire productie: zowel in de watergang als op de taluds vindt door groei van planten, algen en organismen primaire productie plaats. Een deel hiervan bezinkt en vormt (na afbraak) een onderdeel van de waterbodem.

Afvoerprocessen

- Erosie: Bij perioden van hoge afvoer treedt, afhankelijk van het natte profiel van de watergang, erosie op. Uit de praktijk is bekend dat de zwevende stofgehalten bij de hoofdgemalen gedurende perioden van hevige neerslag zeer hoog kunnen oplopen.
- Jaarlijks onderhoud: Bij de meeste watergangen worden één of meer keer per jaar de waterplanten verwijderd. De wijze waarop dit gebeurt varieert van het verwijderen van alleen de waterplanten tot het verwijderen van de waterplanten in combinatie met een lichte baggerslag. Sommige beheerders halen jaarlijks de kanten op, hetgeen in feite betekent dat de taluds licht gebaggerd worden.
- Baggeren: Bij het baggeren wordt de sliblaag geheel of gedeeltelijk verwijderd. Soms worden delen van de harde ondergrond meegenomen.

Intern

- Consolidatie: Consolidatie is het inzakken van de sliblaag onder haar eigen gewicht. Hierdoor wordt water uit de sliblaag geperst en neemt het droge stofgehalte toe.

Naast de aangegeven processen spelen zich in de sliblaag tal van biologische en chemische processen af. Hiervan is vooral de afbraak van organische stof belangrijk. Zolang de sliblaag wordt gevormd, mag verwacht worden dat de chemische processen min of meer in evenwicht zijn. Zodoende zullen deze er niet toe bijdragen dat de hoeveelheid materiaal in de sliblaag duidelijk toe- of afneemt. Op het evenwicht tussen de aan- en afvoer van organisch materiaal wordt in paragraaf 4.7 ingegaan.

4.5 Aanvoer via waterfase (zwevend stof)

Via de waterfase vindt transport van zwevend stof plaats. Sedimentatie van dit materiaal leidt tot de vorming van baggerspecie. Er treedt binnen een gebied alleen een netto toename van de hoeveelheid baggerspecie op, indien van buiten het gebied water wordt aangevoerd met organische stof. Sedimentatie- en erosieprocessen die zich beperken tot een gebied leiden alleen tot de verplaatsing van baggerspecie.

Inzicht in de omvang van de aanvoer van materiaal via de waterfase kan verkregen worden door voor een beheersgebied na te gaan hoeveel materiaal binnenkomt via het water dat voor peilbeheer of doorspoeling wordt ingelaten. In de periode 1986-1990 liet het Hoogheemraadschap van Delfland bijvoorbeeld maximaal een hoeveelheid van 70 mln m³ water per jaar in. Bij een zwevend stofgehalte van 25 mg/l (gemiddelde waarde voor de grote rivieren) levert dit een hoeveelheid van 1,75 mln kg zwevend stof. Bij een droge stofgehalte van 35% levert dit 5 mln liter slib, ofwel 5.000 m³. Uitgesmeerd over het hele beheersgebied (40.000 ha) is dit een hoeveelheid van 0,125 m³ slib/ha/jaar.

De hoeveelheid van 0,125 m³ kan vergeleken worden met de hoeveelheid die jaarlijks wordt gebaggerd (paragraaf 2.3). Dit is ongeveer 2,4 m³ per hectare. Dit betekent dat voor het gehele beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Delfland ongeveer 5% van de aanwas van baggerspecie veroorzaakt wordt door de inlaat van water. Mogelijk is dit percentage nog lager, omdat gewoonlijk minder dan 70 mln m³ /jaar wordt ingelaten. Bovendien bevat het uitgeslagen water ook zwevend stof, zodat via die route materiaal het gebied verlaat. Voor dit beheersgebied is de aanvoer van materiaal via ingelaten water dus eigenlijk verwaarloosbaar. Vermoedelijk geldt dit ook voor de andere delen van laaggelegen Nederland, omdat vergelijkbare hoeveelheid water per ha zullen worden ingelaten.

Op lokaal niveau kan het ingelaten zwevende stof overigens wel een duidelijke invloed hebben. In het algemeen zal dit materiaal dicht bij de inlaatpunten uitzakken, waardoor lokaal een sterke aanwas optreedt.

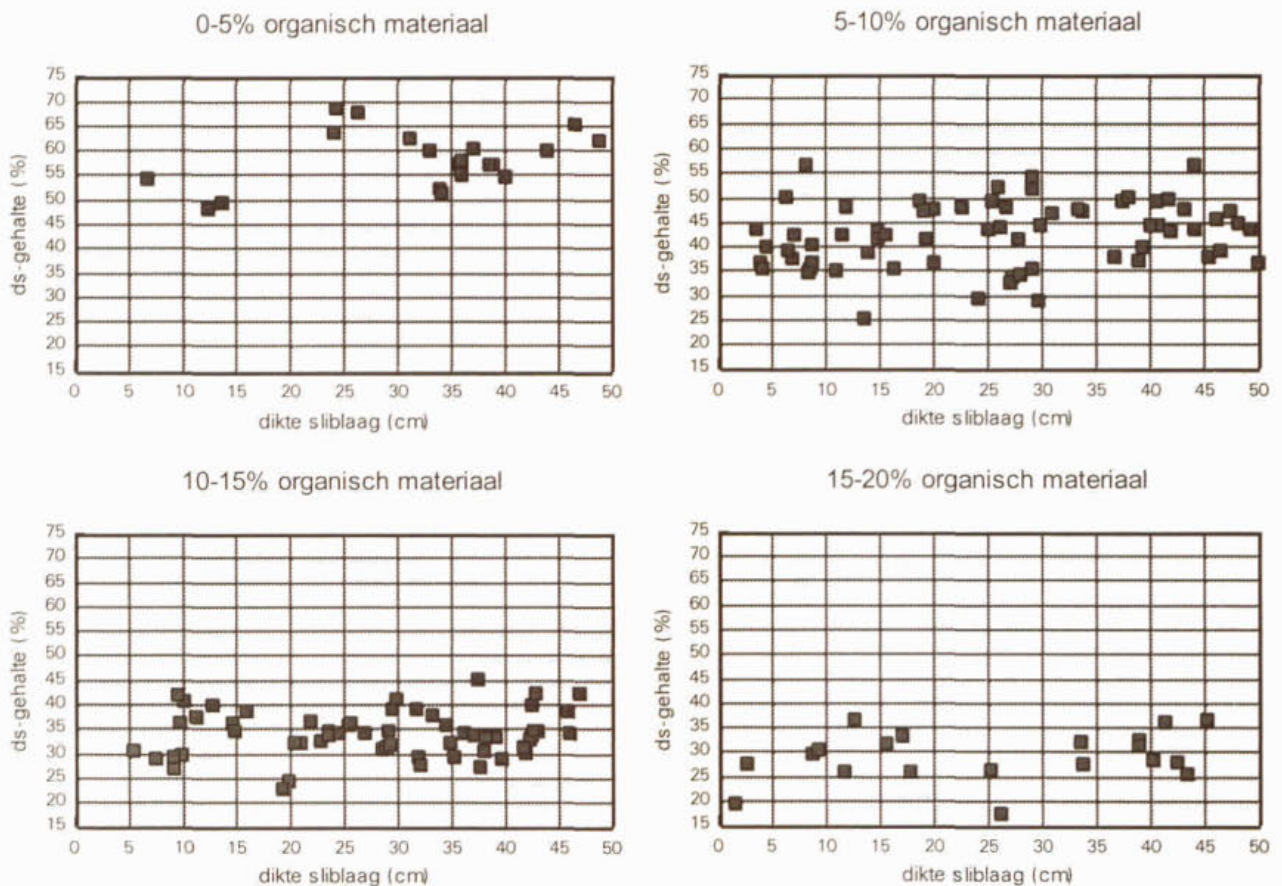
Hoewel de aanvoer van materiaal via de waterfase op het niveau van een beheersgebied een kleine rol lijkt te spelen, kan de aan- en afvoer van materiaal via de waterfase op het niveau van polders wel belangrijk zijn. Vooral bij perioden van hoge afvoer (hoge stroomsnelheden) zal binnen een dergelijk systeem een herverdeling van slib plaatsvinden.

4.6 Relatie samenstelling en mate van verondieping

Bij de vorming van baggerspecie neemt de laagdikte toe in de tijd. Mogelijk treedt hierdoor consolidatie op, waardoor de dichtheid (droge stofgehalte) toeneemt in de tijd. Verder treedt in de tijd mogelijk een ophoping of afbraak op van het organische materiaal. Hierbij mag verwacht worden dat de dikte zich vertaalt in leeftijd. Een dikke sliblaag zal (grosso modo) ouder zijn dan een dunne sliblaag.

Om hier meer duidelijkheid in te krijgen, is met behulp van een dataset waarin zowel de dikte van de sliblaag als het droge stofgehalte en het gehalte aan organische stof waren opgenomen, een analyse uitgevoerd. Het betrof gegevens van watergangen die gedurende lange tijd (> 10 jaar) niet gebaggerd waren.

Tussen de dikte van de sliblaag en het gehalte aan organisch materiaal bleek geen relatie aanwezig te zijn. Zodoende wordt hier alleen de relatie tussen de dikte en het droge stofgehalte gepresenteerd. Omdat het droge stofgehalte is gerelateerd aan het gehalte aan organisch materiaal (paragraaf 4.3), is de dataset in vier groepen van organisch materiaal verdeeld. Het resultaat is in onderstaande figuren weergegeven. De x-as geeft de dikte van de sliblaag, de y-as het droge stofgehalte)



Figuur 6a, b, c en d. Relatie tussen de dikte van de sliblaag en het droge stofgehalte bij verschillende gehalten aan organisch materiaal

Uit de figuren blijkt dat er geen relatie is tussen de dikte van de sliblaag en het droge stofgehalte. Dit zou betekenen dat in de sliblaag geen sterke consolidatie optreedt. Deskundigen van het Waterloopkundig Laboratorium bevestigen deze constatering. Gezien het organische stofgehalte en de geringe dikte van het slibpakket (tot 50 cm) wordt verwacht dat het slib binnen dagen/weken tot de uiteindelijke dichtheid consolideert. Deze blijft vervolgens in de tijd vrijwel constant.

4.7 Vorming en afbraak organische stof

Toevoer

Toevoer van organisch materiaal naar de watergang vindt plaats door primaire productie in de watergang, productie op de taluds (maaisel) en het inwaaien van bladafval en ander organisch materiaal. Ten aanzien van hoeveelheden zijn de volgende cijfers beschikbaar:

- Sweerts (bron 10) vond voor de Loosdrechtse plassen een maximale primaire productie van 350-550 gC/m²/jaar;
- In modelberekeningen die door het RIVM met het model IRIS voor een 2 meter brede sloot zijn uitgevoerd (bron 1), worden de volgende waarden gecalculeerd (in grammen organisch materiaal per m² per jaar):
 - Zandige specie: 250-500 g via de kanten, 2.000-3.000 g via primaire productie;
 - Kleirijke specie: 500-2.000 g via de kanten, 5.000 – 7.000 g via primaire productie;
 - Venige specie: 5.000-8.000 g via de kanten, 6.000 – 8.000 g via primaire productie.

Deze waarden zijn hoog in vergelijking tot de eerstgenoemde waarde.

Afbraak

Bij de afbraak van organisch materiaal kunnen twee onderdelen onderscheiden worden. Het grootste deel van de afbraak vindt vermoedelijk in de waterfase (of toplaag van het slib) plaats. Dit is een aerobe afbraak. Het C/N-quotiënt dat in paragraaf 4.2 wordt gegeven sluit hier goed op aan. Het RIVM hanteert voor deze afbraak een coëfficiënt van 5 per jaar, hetgeen overeenkomt met 0,014 per dag.

De anaerobe afbraak vindt plaats in de sliblaag. Deze afbraak verloopt veel trager. In landbodems wordt aangenomen dat van de stabiele organisch fractie ongeveer 2% per jaar wordt afgebroken. Het RIVM hanteert een veel hogere waarde van 0,5 per jaar, ofwel 0,0014 per dag. Onderzoek van het Waterloopkundig Laboratorium, dat onder meer gebaseerd is op de gasproductie van baggerspecie, laat zien dat een lagere afbraaksnelheid aannemelijk is (bron 11).

Organische stofgehalte

Het uiteindelijke organische stofgehalte van het slib wordt vooral door de volgende factoren gestuurd:

- Toevoer organisch materiaal;
- Toevoer mineraal materiaal;
- Afbraaksnelheid organisch materiaal.

Het RIVM berekent met modellen dat de sliblaag die direct na het baggeren ontstaat een hoog gehalte heeft aan organisch materiaal (20%). De reden hiervan is dat de toevoer van organisch materiaal hoog is in verhouding tot de toevoer van mineraal materiaal. Na 5-7 jaar ontstaat een evenwichtssituatie, waarbij het organische stofgehalte van het slib ongeveer constant wordt (in dit geval ongeveer 5%).

Een belangrijke constatering is dat in baggerspecie na enige tijd een evenwicht ontstaat tussen de aanvoer en de afbraak van organisch materiaal. Dit betekent dat de toevoer van organisch materiaal het gehalte aan organisch materiaal in de sliblaag bepaalt, zolang de toevoer van mineraal materiaal constant is. Een hoge toevoer leidt tot hoge organische stofgehalten. Halvering van de toevoer leidt tot een halvering van het gehalte in de baggerspecie.

4.8 Relatie samenstelling-bodemtype

Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier

In het kader van de studie naar de verkenning van de bodemkwaliteit regionale wateren (bron 1) is met behulp van gegevens van het Waterschap Uitwaterende Sluizen van het Hollands Noorderkwartier een vergelijking uitgevoerd tussen de samenstelling van de waterbodem en de samenstelling van de landbodem. Hiertoe zijn met een GIS de waterbodemkwaliteitsgegevens vergeleken met de bodemkaart. Deze zijn als bijlage 6 opgenomen.

Dit leverde het volgende beeld:

- Het organische stofgehalte in de waterbodem is voor organische stof arme gebieden (zandgronden, kleigronden) vergelijkbaar met- of licht verhoogd ten opzichte van de landbodem. In veengebieden heeft de sliblaag systematisch lagere organische stofgehalten dan de omliggende landbodem.
- Het lutumgehalte in de waterbodem is vergelijkbaar met dat van de landbodem tot een lutumgehalte van 40%. Bij hogere lutumgehalten ligt het gehalte in de waterbodem systematisch onder dat van de landbodem.

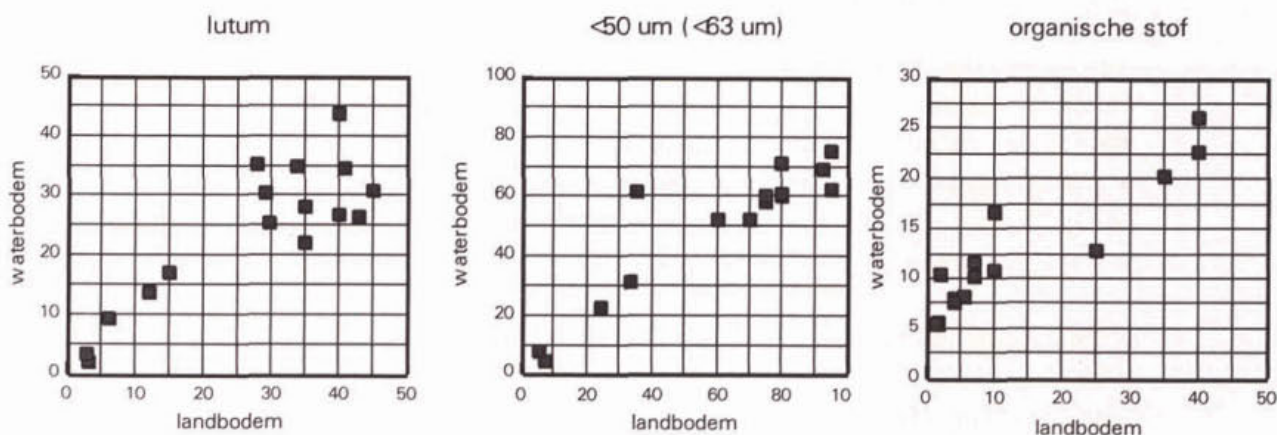
Beide waarnemingen duiden erop dat de samenstelling van de waterbodem sterk lijkt op die van de omliggende landbodem.

Hoogheemraadschap van Delfland

Dezelfde exercitie is uitgevoerd met gegevens van het Hoogheemraadschap van Delfland. Met behulp van een GIS (MAPINFO) is het waterbodemkwaliteitsbestand (ongeveer 2.000 analysegegevens) gecombineerd met de digitale bodemkaart (1:10.000). De waterbodemkwaliteitsgegevens zijn per (samengestelde) kaarteenheden gesorteerd. Per selectie is de mediaan van het lutumgehalte (<2 µm), het gehalte <63 µm en het organische stofgehalte bepaald. Om de gegevens met de analysegegevens uit de bodemkaart te kunnen vergelijken, zijn de gehalten <2µm en <63µm teruggerekend van gew. % ds naar gew. % minerale delen.

De samenstelling van de landbodem is afgeleid uit de analysegegevens die in de toelichting bij de bodemkaart worden gegeven. Er is gebruik gemaakt van de gemiddelde samenstelling van de bovenste 50-75 cm. Dit leidt tot een betrekkelijk grove schatting van de samenstelling. Voor een verkennende analyse, zoals die hier wordt gepresenteerd, voldoet dit prima.

De resultaten zijn in drie grafieken weergegeven. Op de x-as is het geschatte gehalte in de landbodem weergegeven en op de y-as het gehalte in de waterbodem. Bij de 'zand'-fractie wordt < 50 μm (landbodem) tegen < 63 μm (waterbodem) uitgezet. Hiermee wordt een kleine fout gemaakt.



Figuur 7a, b en c Relatie tussen de samenstelling van de landbodem en de waterbodem

De figuren laten zien dat de samenstelling van de waterbodem voor zowel de fractie < 2 μm als de fractie < 63 μm sterk lijkt op die van de landbodem. Bij de fractie < 2 μm liggen de punten vrijwel op de 1:1 lijn tot een gehalte van ongeveer 30%. Bij hogere waarden liggen de gehalten in de waterbodem lager dan in de landbodem. Bij de hogere gehalten treedt een behoorlijke spreiding op. Bij de gehalten < 63 μm (< 50 μm) liggen de waarden bij de hogere gehalten (70-80%) bij de waterbodem wat lager dan bij de landbodem.

Bij het organische stofgehalte liggen de gehalten in de waterbodem bij de lage gehalten ($< 5\%$) duidelijk hoger dan in de landbodem. Bij een gehalte van ongeveer 15% is het gehalte in de waterbodem ongeveer hetzelfde als in de landbodem. Bij hogere gehalten is het gehalte in de waterbodem duidelijk lager dan in de landbodem.

Duidelijke gelijkenis

Uit de vergelijking van de waterbodemkwaliteitsgegevens en de landbodemkwaliteitsgegevens bij twee beheersgebieden blijkt dat de textuur van de waterbodem sterk lijkt op die van de omliggende landbodem. Bij lutumgehalten boven de 30% liggen de lutumgehalten in de waterbodem lager dan in de landbodem. Ook de organische stofgehalten vertonen sterke gelijkenis. Bij gehalten onder de 15% is het gehalte in de waterbodem wat hoger dan in de landbodem, bij gehalten boven de 15% (veengronden) is het gehalte in de landbodem hoger.

5 Waar staan we nu?

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste conclusies van deze studie uitgewerkt. Een overzicht van alle conclusies en de aanbevelingen is in hoofdstuk 6 te vinden.

5.1 Aanwas of verondieping?

Een belangrijke complicerende factor bij de discussie over de aanwas van baggerspecie is de wijze waarop de aanwas van baggerspecie wordt vastgesteld. In hoofdstuk 3 worden hiertoe drie definities van aanwas gegeven:

- aanwassnelheid (verondieping midden watergang in cm/jaar);
- volumeaanwas (afname nat profiel in $\text{m}^3/\text{m}/\text{jaar}$ of cm/jaar);
- stofflux (toevoer materiaal in $\text{kgds}/\text{m}^2/\text{j}$).

Voor deze definities moet het volgende geconcludeerd worden:

Aanwassnelheid in centimeter per jaar

Deze waarde wordt in de praktijk veel gebruikt. Ogenschoijnlijk is deze eenvoudig vast te stellen door op verschillende tijdstippen de waterdiepte in te peilen. Er gelden echter een aantal belangrijke beperkingen:

- “De waterdiepte” bestaat niet, omdat een watergang niet bestaat uit een bak met loodrechte wanden en een vlakke bodem. Dit is goed te zien in het voorbeeld van de Pijnackerse Vaart dat hieronder wordt beschreven. Het is dus niet mogelijk om een representatieve waterdiepte van een watergang vast te stellen. Hetzelfde geldt voor een gemiddelde waterdiepte, zolang niet exact is vastgelegd hoe het gemiddelde bepaald moet worden.
- De aanwassnelheid is een tijdafhankelijke grootheid. Een watergang heeft in het algemeen schuine taluds, waarbij de baggerspecie op het vlakke bodemgedeelte begint aan te groeien. Dit is immers het diepste deel van de watergang. Naarmate de aanwas voortschrijdt, worden ook de taluds bedekt. Het oppervlak waarover de aanwas zich afspeelt neemt toe in de tijd. Bij een gelijkblijvende toevoer van materiaal neemt de aanwassnelheid dus af in de tijd. Dit kan meer dan een factor 2 schelen.

Volumeaanwas in cm per jaar

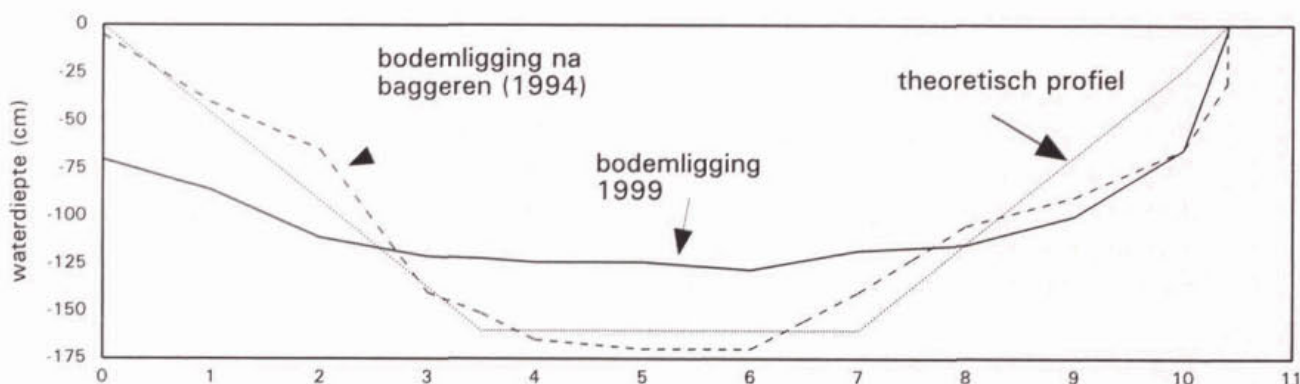
De volumeaanwas is vast te stellen door het profiel van een watergang op verschillende tijdstippen in te meten en met daarvoor geschikte programmatuur te verwerken. Deze parameter heeft als groot voordeel boven de aanwassnelheid dat deze breedte-onafhankelijk is. De vastgestelde volumeaanwas kan gebruikt worden om de aanwas in verschillende gebieden met elkaar te vergelijken. Ook levert een volumeaanwas in combinatie met het percentage open water een goed beeld van de baggerproductie van een gebied.

Een nadeel van de volumeaanwas is dat de hoeveelheid materiaal (droge stof) in 1 cm slib afhankelijk is van het droge stofgehalte van dit slib. Dit blijkt, ook binnen een beheersgebied, behoorlijk variabel te zijn (zie paragraaf 4.2). De ene cm is de andere dus niet! Een aanwassnelheid in cm/jaar geeft dus geen inzicht in de omvang van baggervormende processen. Deze worden in kg gekwantificeerd.

Met het oog op de kwantificering van processen en de landelijke vergelijking van aanwascijfers is een waarde in kgds (kg droge stof) per m^2 watergang de meest geschikte maat. In de praktijk wordt deze waarde nooit gehanteerd omdat deze apart berekend moet worden. Een waarde in $\text{kgds}/\text{m}^2/\text{jaar}$ kan worden afgeleid uit de volumeaanwas in cm/jaar of $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jaar}$ en het droge stofgehalte van de baggerspecie. Deze laatste waarde wordt standaard bij kwaliteitsmetingen vastgesteld.

Voorbeeld Pijnackerse Vaart

De problemen die bij het hanteren van de verschillende definities optreden, laten zich goed illustreren aan de hand van een profiel dat in 1999 is ingepeild. Dit profiel is in 1994 gebaggerd naar de maten van het theoretische profiel. Onderstaande figuur geeft het theoretische profiel, het profiel dat kort na baggeren is aangetroffen en het profiel zoals dat in 1999, 6 jaar (65 maanden) na het baggeren, werd aangetroffen.



Figuur 8 Pijnackerse Vaart: voorbeeld van de ligging van het theoretische profiel, het profiel direct na het baggeren van de watergang en het profiel dat 6 jaar na het baggeren is ontstaan. Een belangrijk deel van de verondieping is het gevolg van herverdeling van slib binnen het profiel.

De waterdiepte is in 6 jaar afgenomen van 174 cm naar 130 cm. Dit levert een verondieping van 44 cm, ofwel een aanwassnelheid van 8,1 cm/jaar. Het natte profiel is in 6 jaar afgenomen van 11,4 m^3 naar 11,05 m^3 . In tegenstelling tot de waterdiepte is het natte profiel dus niet sterk verminderd. De vermindering bedraagt 0,39 m^3 in 65 maanden. Bij een breedte van 10,4 meter levert dit een volumeaanwas van 0,7 cm/jaar. Deze waarde wijkt sterk af van de 8,1 cm/jaar die op grond van de verondieping werd afgeleid! Door de volumeaanwas met het waargenomen droge stofgehalte van 42 gew% te combineren ontstaat uiteindelijk een aanwassnelheid van 5,7 $\text{kgds}/\text{m}^2/\text{jaar}$.

De verschillende definiëringen van de aanwassnelheid, leiden dus tot duidelijk andere conclusies. Dit geldt vooral voor de aanwassnelheid en de volumeaanwas, die in de praktijk door elkaar gebruikt worden.

5.2 **Praktijkbeeld en de theorie**

In paragraaf 2.1 is een overzicht gegeven van het beeld dat in de praktijk over de vorming van baggerspecie leeft. Voor de verschillende onderwerpen wordt aangegeven welke nieuwe inzichten deze studie heeft opgeleverd.

Invloed van de grondsoort op de aanwas:

Voor twee gebieden in Nederland blijkt dat de samenstelling van de baggerspecie sterk lijkt op die van de omliggende landbodem (paragraaf 4.8). Veel van het materiaal in de bagger zal dus van de directe omgeving van de watergang afkomstig zijn. De analyse van de dataset van de Fleverwaard duidt erop dat bij een zandbodem een hogere aanwassnelheid optreedt dan bij een kleibodem. Metingen van Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden duiden erop dat in het veengebied erg hoge aanwassnelheden optreden. Dit wordt evenwel niet door metingen in het gebied van Delfland ondersteund. Gezien het hoge organische stofgehalte van bagger in het veengebied en de grote invloed van het organische stofgehalte op de dichtheid van baggerspecie mag verwacht worden dat in het veengebied hoge aanwassnelheden optreden.

Invloed landgebruik op de aanwas:

De studie geeft geen verder inzicht in het effect van het landgebruik op de aanwassnelheid. Mogelijk is het nationale patroon, dat in de gegevens van de Unie-enquête is te zien, voor een deel aan het type landgebruik toe te schrijven. Bij de interpretatie van deze gegevens moet echter ook rekening gehouden worden met effecten van de grondsoort en het type gebied (drooglegging, droge sloten e.d.).

Invloed plantengroei op de aanwas:

De toevoer van organisch materiaal heeft vermoedelijk een sterk effect op de aanwassnelheid. Dit ondanks het betrekkelijk lage gehalte aan organisch materiaal in baggerspecie (5-10%, paragraaf 4.1). Een hoge productie van organisch materiaal veroorzaakt een sterke aanwas van baggerspecie. Paragraaf 5.4 gaat verder in op de rol van organisch materiaal in baggerspecie.

Relatie tussen aanleg watergangen en aanwas:

Uit de studie blijkt dat de aanwassnelheid niet duidelijk afhankelijk is van de breedte of de diepte van een watergang. Mogelijk is de aanwas bij sommige brede of diepe watergangen lager, omdat deze vaak een belangrijke afvoerfunctie hebben en daardoor hogere stroomsnelheden kennen. De experimenten van Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden duiden erop dat de aanwas lager is als een watergang is beschoeid.

Relatie tussen ligging watergangen en aanwas:

De relatie tussen de ligging van een watergang en de aanwas is in deze studie niet onderzocht. Wel duidt de studie erop dat kleinschalig slibtransport over beperkte afstanden door een aantal processen vermoedelijk belangrijk is.

Invloed onderhoud op aanwas:

Onderhoud beïnvloed vooral de toevoer van organisch materiaal naar de watergang. In paragraaf 5.4 wordt duidelijk dat een hoge toevoer van organisch materiaal zorgt voor een hoge aanwassnelheid, omdat in dat geval volumineuze bagger ontstaat.

Invloed kwel op aanwas:

Deze studie geeft geen duidelijkheid over de rol van kwel. De experimenten van Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden duiden erop dat het opdrukken van de bodem in veengebieden mogelijk een relevant baggervormend proces is.

Algemene opmerkingen:

De "dikwater-laag" die zich op de baggerspecie bevindt bestaat vermoedelijk uit niet volledig omgezet organisch materiaal. Dergelijk materiaal heeft een lage dichtheid en is vrijwel niet op te scheppen. Vermoedelijk is dit materiaal door de gemakkelijke opwerveling wel belangrijk voor de ecologische kwaliteit van een watergang.

5.3 Beeld Unie-enquête

Uit de resultaten van de Unie-enquête zijn in paragraaf 2.3 aanwassnelheden in $\text{m}^3/\text{ha}/\text{jaar}$ berekend. Deze waarden zouden naar aanwassnelheden in cm/jaar omgerekend kunnen worden als per beheerder de oppervlakte van het watersysteem bekend was. Helaas is dit niet het geval. Wel zijn schattingen beschikbaar voor het laaggelegen deel van Nederland. Landelijk gebied in West-Nederland heeft ongeveer 4% open water (bron 8). Bij de Flevopolders is de fractie open water 1% (bron 15).

Met behulp van het percentage open water kan de aanwas per hectare beheersgebied omgerekend worden naar een volumeaanwas. Deze wordt in onderstaande tabel gegeven. Als uitgegaan wordt van een fractie open water van 4%, ontstaat voor West-Nederland een volumeaanwas van ongeveer 1 cm/jaar . Voor de Flevopolders ontstaat bij een fractie open water van 1% een volumeaanwas van 0,8 cm/jaar . Voor Zeeland, West-Brabant en Friesland, met een geschatte fractie open water van 2% ligt de volumeaanwas op ongeveer 0,9 cm/jaar .

De volumeaanwas die uit de resultaten van de enquête wordt afgeleid, is voor West-Nederland vermoedelijk fors lager dan de volumeaanwas zoals die in de praktijk wordt waargenomen. Voor het Hoogheemraadschap van Delfland wordt bijvoorbeeld uit meetgegevens een volumeaanwas van 2-3 cm/jaar afgeleid. Voor het gebied van Hollandse Eilanden en Waarden ligt deze rond de 4-5 cm/jaar . Voor de Flevopolders komen de resultaten goed overeen met de praktijkcijfers (0,8 tegen 0,9-1,1 cm/jaar).

Voor de overige gebieden lijken de praktijkwaarden duidelijk hoger te liggen dan de waarde die uit de resultaten van de enquête worden afgeleid.

Er moet dus geconcludeerd worden dat de waargenomen volumeaanwas vermoedelijk (veel) groter is dan de baggerprestatie die uit de Unie-enquête blijkt. Hiervoor zijn een aantal oorzaken denkbaar:

- het gebaggerde volume is veel lager dan de jaarlijkse aanwas, er wordt dus nog steeds een baggerachterstand opgebouwd;
- niet al het baggerwerk wordt gedocumenteerd en komt in de resultaten van de enquête terecht;
- de baggerprestatie van gemeenten en overige onderhoudsplichtigen wordt fors onderschat.

Het zou wenselijk zijn meer inzicht in de resultaten van de Unie-enquête te verkrijgen. Hierbij zou het zinvol zijn als meer informatie beschikbaar zou zijn over de omvang van het watersysteem waaruit de baggerspecie afkomstig is (lengte, breedte, waterdiepte, baggerinterval). Zo kan de gebaggerde hoeveelheid vergeleken worden met de potentieel gevormde hoeveelheid baggerspecie.

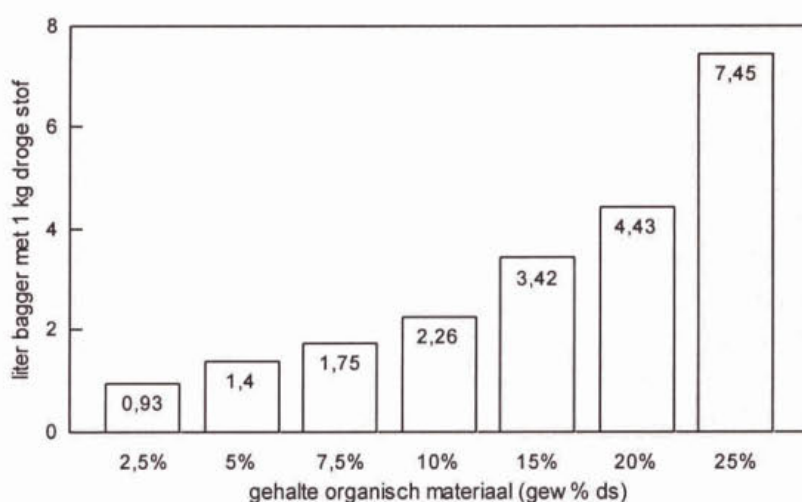
Tabel 10 Schatting van de volumeaanwas in cm/jaar bij drie fracties open water voor de verschillende delen van Nederland op basis van de gegevens uit de enquête van de Unie van Waterschappen en twee aannamen voor het percentage open water.

	baggerprestatie uit enquête (m ³ /ha/jaar)	volume-aanwas bij 1% open water (cm/jaar)	volume-aanwas bij 4% open water (cm/jaar)
Hoog-Nederland (Drente, Overijssel, Gelderland, Oost-Brabant en Limburg)	0,5	0,5	0,1
West-Nederland (Noord- en Zuid-Holland, West-Utrecht): kuststrook	2,5	2,4	0,6
West-Nederland (Noord- en Zuid-Holland, West-Utrecht): veengebied	4,5	4,4	1,1
West-Nederland (Noord- en Zuid-Holland, West-Utrecht): kleigebied	4,0	4,0	1,0
Zeeland, West-Brabant en Friesland	1,75	1,8	0,4
Flevopolders en Groningen	0,75	0,8	0,2

5.4 Meer volume met organisch materiaal

In de praktijk wordt vaak geconstateerd dat organisch materiaal voor een belangrijk deel verantwoordelijk is voor de aanwas van baggerspecie. De studie van Hollandse Eilanden en Waarden laat zien dat de baggervorming voor ongeveer 40% (volume %) het gevolg is van plantengroei. Anderzijds toont een analyse van de samenstelling van baggerspecie dat het gehalte aan organische stof gemiddeld 5-10% (gew. %) bedraagt. Dit is veel te laag om een belangrijk deel van de aanwas aan de toevoer van organische stof toe te schrijven.

Een oplossing voor deze ogenschijnlijke tegenstrijdigheid wordt geboden door de sterke relatie tussen het droge stofgehalte van baggerspecie en het gehalte aan organisch materiaal (paragraaf 4.3). Hoe hoger het gehalte aan organisch materiaal, hoe lager de dichtheid van de baggerspecie. Het effect van deze relatie laat zich goed illustreren aan de hand van een analyse van de hoeveelheid (situ-)baggerspecie (in liters) te vormen is met 1 kg droge stof bij verschillende organische stofgehalten. De volgende figuur geeft de waarden, waarbij de relatie tussen het organische stofgehalte en het droge stofgehalte is afgeleid uit de figuren van paragraaf 4.3.



Figuur 8 Aantal liter baggerspecie dat uit 1 kg droge stof word gevormd bij verschillende gehalten aan organisch materiaal.

Uit de waarden in de figuur blijkt dat een verdubbeling van het organische stofgehalte van baggerspecie bijna een verdubbeling van het volume van deze baggerspecie veroorzaakt. Niet omdat organisch materiaal veel volume inneemt, maar omdat organisch materiaal in staat is een grote hoeveelheid water te stabiliseren (binden). Hiermee is de praktijk-waarneming, dat organisch materiaal in grote mate verantwoordelijk is voor de vorming van baggerspecie, goed te verklaren. In kilogrammen stelt de toevoer van organisch materiaal niet zo veel voor. De toevoer heeft wel grote gevolgen voor de "volumineusheid" van de bagger die ontstaat. Organisch materiaal zorgt dus vooral voor een volumetoename van baggerspecie.

5.5 Aanwaspreventie

De inzichten die deze studie heeft opgeleverd, kunnen ingezet worden bij maatregelen die zich richten op een reductie van de aanwas van baggerspecie. Aanwaspreventie zou zich op de volgende aspecten moeten richten:

- Het minimaliseren van de toevoer van mineraal materiaal naar de watergang;
- Het minimaliseren van de toevoer van organisch materiaal naar de watergang;
- Het minimaliseren van de productie van organisch materiaal in de watergang;
- Het minimaliseren van het organische stofgehalte in de waterbodem;
- Het minimaliseren van slibtransport.

Conceptueel worden een aantal maatregelen uitgewerkt die zich richten op deze aspecten. Deze uitwerking pretendeert niet uitputtend te zijn.

Een nadere studie naar aanwaspreventie is wenselijk, mede gezien de discussie die rond de aanpak van aanwaspreventie bij de verschillende waterbeheerders blijkt te leven. Inzichten variëren van het jaarlijks uitvoeren van een lichte baggerslag in combinatie met het jaarlijkse onderhoud (Waterschap Oude Rijnstromen), tot het zodanig verdiepen van watergangen dat plantaardige productie wordt geminimaliseerd en jaarlijks onderhoud vrijwel achterwege kan blijven (Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden). Het is belangrijk om in deze discussie aandacht te geven aan de relatie tussen regulier onderhoud en baggeronderhoud en de combinatie tussen een optimaal slootleven en een minimale onderhouds- en baggerbehoefte.

Overigens moet bij alle maatregelen voor baggerpreventie beseft worden dat het niet mogelijk is de baggerproductie geheel te stoppen. De vorming van bagger in watergangen maakt deel uit van het verlandingsproces, dat in alle watergangen speelt. Dit proces kan hooguit vertraagd worden.

Minimaliseren toevoer van mineraal materiaal naar de watergang

Toevoer van mineraal materiaal (grond) naar de watergang is door een aantal maatregelen te minimaliseren:

- Tere taluds voorzien van een beschoeiing of een stevige begroeiing.
- Schade aan taluds door vertrapping en rigoureuze maaionderhoud voorkomen.
- Vermijden van het doorploegen van akkerland tot aan de insteek. Vaak zijn hiervoor al regels van toepassing. Een striktere handhaving hiervan kan soms nodig zijn.
- Steile taluds vervangen door zacht glooiende taluds, waardoor erosie wordt vermeden.
- Verstuiving van gronden langs de watergang tegengaan.
- Bij baggerwerk het gebaggerde materiaal voldoende ver van de watergang verspreiden. Veel materiaal dat in de herfst op de kant direct naast de watergang wordt gezet, spoelt in de winterperiode weer terug naar de watergang.

Minimaliseren toevoer van organisch materiaal naar de watergang

Het organische stofgehalte is sterk bepalend is voor de dichtheid van de situ-specie. Het is van belang te streven naar baggerspecie met een hoge dichtheid. Deze is stevig, erodeert moeilijker, is minder gevoelig voor opwerveling en heeft een lagere aanwassnelheid. Omdat het organische stofgehalte lineair afhangt van de toevoer van organisch materiaal, zal naar een minimale toevoer gestreefd moeten worden.

De toevoer van organisch materiaal naar de watergang kan op de volgende wijzen geminimaliseerd worden:

- Organisch materiaal dat bij het schonen van de watergang en het maaien van de taluds uit de nabijheid van de watergang verwijderen zodat materiaal niet de mogelijkheid krijgt naar de watergang teruggevoerd te worden.
- Aandacht voor bladval. In de herfst kan bladval een belangrijke toevoer van organisch materiaal veroorzaken.

Minimaliseren productie organisch materiaal in de watergang

De organische productie in de watergang kan met de volgende maatregelen geminimaliseerd worden:

- Eutrofiëring tegengaan. De productie van organisch materiaal in de watergang hangt sterk samen met de mate van eutrofiering van het watersysteem. Er zou gestreefd moeten worden naar een zo voedselarm mogelijk watersysteem.
- Overdimensionering van het watersysteem (onder meer door de waterdiepte te vergroten). Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden is hiermee in staat het reguliere onderhoud vrijwel te voorkomen, omdat de plantengroei in de watergang sterk wordt verminderd.

Minimaliseren organische stofgehalte in de waterbodem

Naast het minimaliseren van de toevoer van organisch materiaal, zou gestreefd kunnen worden naar een maximalisering van de afbraak van organisch materiaal in de watergang en de sliblaag. Het zelfreinigend vermogen van de watergang dus. Onduidelijk is in hoeverre hiervoor maatregelen beschikbaar zijn en in hoeverre de verontreinigingen in de waterbodem dit proces verstoren.

Minimaliseren slibtransport

Baggerspecie is vermoedelijk over beperkte afstanden mobiel. Bij de uitvoering van baggerwerken moet dus een geheel watersysteem in één keer gebaggerd worden. Indien alleen de hoofdwatgangen worden gebaggerd, zullen deze spoedig weer door de bagger uit de aansluitende sloten "besmet" worden. Deze wijze van onderhoud wordt door een aantal waterschappen reeds met succes in praktijk gebracht.

Zelfonderhoudend systeem

Naast de geschetste maatregelen zijn meer rigoureuze maatregelen denkbaar. Hierbij zou een herontwerp van het huidige watersysteem overwogen kunnen worden. Traditionele eisen ten aanzien van drooglegging, bergingsvolume en afvoercapaciteit zouden opnieuw overwogen kunnen worden. Een herontwerp zou zich kunnen richten op een minimale aanwas van baggerspecie of concentratie van de baggerspecie binnen een beperkt deel van het watersysteem. In een dergelijk systeem, waar de dimensionering van de watergangen in overeenstemming is met optredende stroomsnelheden zou zichzelf op diepte kunnen houden. Dit zou moeten aansluiten op een goede ecologische ontwikkeling. In het kader van deze studie gaat een verdere beschouwing hierover echter te ver. In een mogelijk vervolg kan hier aandacht aan besteed worden.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Ten aanzien van de gestelde doelen wordt het volgende geconcludeerd:

Inventarisatie en documentatie van de kennis en inzichten die in de praktijk aanwezig zijn over de aanwassnelheid van baggerspecie en baggervormende processen:

- In de praktijk wordt aangenomen dat de sliblaag met een snelheid van 1-5 cm/jaar aangroeit. Deze aangroei verschilt sterk per gebied. Gemiddeld genomen ligt de baggerfrequentie rond de éénmaal per 8-10 jaar al kan deze binnen een beheersgebied behoorlijk variëren.
- De praktijk geeft landgebruik, bodemtype en de toevoer van organisch materiaal als belangrijkste invloeden op de vormingssnelheid van baggerspecie.
- Als de resultaten van de enquête van de Unie van Waterschappen naar de baggerprestaties van de waterschappen worden omgerekend naar een baggerprestatie in m³ per ha beheersgebied per jaar, dan blijkt de baggerprestatie een duidelijk landelijk patroon vertoont. Voor het laaggelegen deel van Nederland is de baggerprestatie per hectare in west-Nederland het hoogst en in de Flevopolders en Groningen het laagst.
- Een vergelijking van de baggerprestaties uit de enquête met aanwascijfers die uit profielmetingen zijn afgeleid duidt erop dat de jaarlijkse aanwas van baggerspecie mogelijk veel groter is dan de gerapporteerde baggerprestatie. Mogelijk wordt niet al het baggerwerk gerapporteerd.

Trachten een landelijk beeld te verkrijgen van de aanwassnelheid van baggerspecie, deels gebruikmakend van bestaande meetgegevens:

- Bij de discussie over de vormingssnelheid van baggerspecie is het belangrijk om het begrippenkader helder te definiëren. In deze studie worden de begrippen aanwassnelheid en volumeaanwas gehanteerd. De eerste is de snelheid van verondieping, de tweede is de jaarlijkse toename van het slibvolume in de watergang. Beiden kunnen in cm/jaar worden uitgedrukt maar zijn niet hetzelfde. In de praktijk worden de begrippen door elkaar gebruikt, hetgeen niet correct is. Zolang een watergang geen bak is met loodrechte kanten, is de aanwassnelheid altijd hoger dan de volumeaanwas.

- Uit praktijkgegevens zijn de volgende aanwassnelheden afgeleid:
 - * Krimpenerwaard, veensloten: aanwassnelheid 5-8 cm/jaar met uitschieters tot 12 cm/jaar;
 - * Oostelijk Flevoland: aanwassnelheid 2,5 (kleibodem) - 3,3 cm/jaar (zandbodem); ofwel een volumeaanwas van 0,9-1,2 cm/jaar (ofwel 2,5-5 kgds/m²/jaar);
 - * Delfland: aanwassnelheid 2-9 cm/jaar; ofwel een volumeaanwas van 2-4 cm/jaar (ofwel 5-15 kgds/m²/jaar).
- De waargenomen aanwassnelheden vertonen een forse variatie, zowel per watergang als per beheersgebied. Uit de gegevens zijn geen sterke aanwijzingen over de rol van het bodemtype, type watergang en toevoer van organisch materiaal af te leiden.

Baggervormende processen te inventariseren en te kwantificeren:

- Zandige baggerspecie bestaat voor minstens 50% uit water, venige baggerspecie voor meer dan 80%.
- Niet-venige baggerspecie heeft een organische stofgehalte van 5-10%. Bij Delfland behoort ongeveer 90% van het aanbod uit niet-venige bagger. Uit landelijke gegevens blijkt dat het C/N-quotiënt van het organische materiaal ongeveer 11 is, hetgeen erop duidt dat dit materiaal uit stabiele afbraakproducten bestaat.
- Het droge stofgehalte van baggerspecie is sterk gecorreleerd aan het organische stofgehalte. Een verdubbeling van het organische stofgehalte van baggerspecie leidt tot een kleine verdubbeling van het situ-volume. Organisch materiaal bepaalt de "volumineusheid" van baggerspecie.
- Uit een analyse van gegevens van twee beheersgebieden blijkt dat de samenstelling van baggerspecie zowel voor de textuur als het organische stofgehalte sterk lijkt op de omliggende landbodem.
- De aanvoer van materiaal via zwevend stof speelt een kleine rol bij de aanwas van baggerspecie.
- De toevoer van organisch materiaal naar de watergang is niet duidelijk te specificeren. Waarden variëren van metingen van 0,5 kg/m²/jaar tot gecalibreerde modelresultaten van 5-10 kg/m²/jaar.
- Het gehalte aan organisch materiaal in de sliblaag is evenredig met de toevoer ervan naar de sliblaag. Uit modelberekeningen kan afgeleid worden dat het organische stofgehalte van een sliblaag zich na 5-10 jaar stabiliseert.

- Een analyse toont geen verband tussen de dikte van een sliblaag en het droge stofgehalte. Dit duidt erop dat in de beschouwde sliblagen (dikte tot 50 cm) geen duidelijke consolidatie optreedt.

Een aanzet te geven tot maatregelen waarmee de baggerproductie beperkt kan worden:

- Er zijn een aantal mogelijkheden voor baggerpreventie. Deze richten zich op het onderhoud van watergangen, een goede landbouwpraktijk, gebiedsgericht baggeren en een alternatieve inrichting van het watersysteem.

6.2 Aanbevelingen

De studie naar de aanwassnelheid van baggerspecie leidt tot de volgende aanbevelingen:

1. Het is wenselijk dat op nationale schaal meer systematisch meetwerk wordt uitgevoerd aan de aanwassnelheid van baggerspecie. Dergelijke gegevens zijn nodig bij landelijke discussie rond de baggerproblematiek, bij het opstellen van landelijke baggerprognoses en als referentie voor de beoordeling van geconstateerde aanwassnelheden. Een optie is dat elke waterbeheerder enkele watergangen in haar beheersgebied aanwijst die jaarlijks op een gestandaardiseerde wijze worden ingepeild.
2. Het is zinvol een landelijk protocol op te stellen voor het uitvoeren van in- en uitpeilingen. Tevens zouden aanwascijfers op een geüniformeerde wijze weergegeven moeten worden (bij voorkeur volumegericht). Zo kunnen gegevens van verschillende beheersgebieden op nationale schaal vergeleken worden.
3. Bij het inpeilen van baggerspecie ten behoeve van studies moet naast de hoeveelheid bagger in het profiel bij voorkeur ook de dichtheid worden vastgesteld. Hiermee kan het slibvolume vertaald worden naar een hoeveelheid droge stof (kg).
4. Er wordt aanbevolen op praktijkschaal proeven uit te voeren met een alternatieve inrichting van het watersysteem, gericht op een minimalisering van de aanwas van baggerspecie. Deze proeven kunnen gecombineerd worden met alternatieve waterberging en natuurlijke oevers.
5. Er wordt aanbevolen binnen een homogeen gebied experimenten met slootbeheer uit te voeren. Hierbij zou de nadruk moeten liggen op de invloed van de toevoer van organisch materiaal aan de watergang (maaionderhoud, groei waterplanten, bladval) op de aanwassnelheid en de dichtheid van de baggerspecie.
6. Er wordt aanbevolen een monitoring en evaluatie uit te voeren naar de aanwas van baggerspecie in gebieden waar reeds gebiedsgericht wordt gebaggerd (bijvoorbeeld Delfland).

7. Er wordt aanbevolen om de resultaten van de Unie-enquête aan te vullen met informatie over het watersysteem. Deze informatie bestaat uit informatie over de lengte, breedte en diepte van de watergangen waarop de aangeleverde gegevens betrekking hebben. Toevoeging van informatie over het omliggende bodemtype is zinvol.
8. Er wordt aanbevolen kennis te verzamelen over de relatie tussen de afbraak van organisch materiaal en de vorming van baggerspecie. Dit eventueel in combinatie met het lot van milieuvreemde stoffen gedurende het anaërobe afbraakproces.

Bronvermeldingen

1. Kramer, P.R.G., A.M. Huiting, J.E.M. Beurskens en T. Aldenberg, 1997. Verkenning bodemkwaliteit regionale wateren, STOWA rapport nr. 96-28, RIVM rapport nr. 733007001.
2. Hoogheemraadschap van Delfland, 1993. Waterbeheersplan 1993-1998.
3. Unie van Waterschappen, 1996. Rapportage Unie-enquête waterbodems 1995.
4. Unie van Waterschappen, 1997. Rapportage Unie-enquête waterbodems 1996.
5. Unie van Waterschappen, 1998. Rapportage Unie-enquête waterbodems 1997.
6. Unie van Waterschappen, 1999. Rapportage Unie-enquête waterbodems 1998.
7. Unie van Waterschappen, 1999. Waterschapsalmanak 1998/1999.
8. Provincie Zuid-Holland, 1999. Evaluatie van de wateroverlast in de provincie Zuid-Holland in september 1998.
9. Boeyen, J.H., C.N. Beljaars, J.Th.F. Heijs en R van Gerve, 1991. Baggeren in poldergebieden. Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, Dordrecht.
10. Sweerts, J.P.R.A., 1990. Oxygen consumption, mineralization and nitrogen cycling at the sediment-water interface of north template lakes. Dissertatie Rijksuniversiteit Groningen.
11. Waterloopkundig Laboratorium, 1997. Modellerings van de afbraak van organisch materiaal.
12. Unie van Waterschappen, 1985. Enquête onderhoud watergangen.
13. Huiting, A.M., P.R.G. Kramer en J.E.M. Beurskens, 1997. Prognose van de PAK-gehalten in de landbodem onder invloed van het verspreiden van baggerspecie. STOWA rapport nr. 97-29, RIVM rapport nr. 733007002.
14. Dienst Waterbeheer en Riolerings, 1999. Baggerbeleidsplan AGV.
15. Heemraadschap Fleverwaard, 1994. Waterbeheersplan 1994-1997.
16. Hoogheemraadschap van Delfland, 1999. Waterbeheerplan 1999-2003.
17. Waterschap Wold en Wieden, 1997. Baggerplan 1997-2006 voor het Waterschap Wold en Wieden.
18. Waterschap Noordoostpolder, 1994. Baggerplan tochten, 1994-2005.
19. Waterschap Noordoostpolder, 1992. Uitgevoerd baggerwerk vanaf 1949 t/m 1992.
20. Honing, H. van der en A. de Hoogh, 1985. Kwaliteit van het polderwater in zuidelijk Zuid-Holland. Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden, Dordrecht.
21. Twisk, W., N.A. van Bussel en W.J. ter Keurs, 1991. Minder vaak slootschonen: beter voor boer en natuur? Verslag van een slootschoningsexperiment in Zuid-Holland, uitgevoerd in samenwerking met veehouders en waterschappen. Rapport Milieubiologie, Rijksuniversiteit Leiden.
22. NEN 5104, 1989. Classificatie van onverharde grondmonsters.

Bijlagen

- Bijlage 1: Lijst van geraadpleegde personen
- Bijlage 2: Berekeningswijze aanwassnelheden hoofdstuk 3
- Bijlage 3: Overzicht beschouwde watergangen van Delfland
- Bijlage 4: Relatie tussen de verschillende componenten van baggerspecie
- Bijlage 5: Relatie tussen het droge stofgehalte en het organische stofgehalte voor zes waterschappen
- Bijlage 6: Relatie tussen de samenstelling van de waterbodem en de landbodem voor het beheersgebied van Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier

Bijlage 1

Lijst van geraadpleegde personen en instanties

- Waterschap Zeeuwse Eilanden: mw. van Kalteren, mw. Willems
- Unie van Waterschappen: dhr. C. van Bladeren
- Heemraadschap Fleverwaard: dhr. P.C. Filius, dhr. P. Koevoet
- RIZA: dhr. B. van der Heijdt, dhr. J. Vink
- ECN: dhr. R. Coman
- Waterschap Oude Rijnstromen: dhr. Groot
- Waterschap Zeeuws Vlaanderen: dhr. B. de Kok
- Waterschap Krimpener Waard: dhr. J. Oostdam
- Hoogheemraadschap Schieland: dhr. G. de Jong
- Waterschap Maaskant: dhr. K. Beurskens
- Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden: dhr. I. Delleman, dhr W. Twisk, dhr. H. Boeyen
- DWR: dhr. F. Bleeker
- Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden: dhr. R. Kastelijn, dhr. L. Nooteboom
- Waterschap het Lange Rond: dhr. de Vries
- Waterschap de Brielse Dijkkring: dhr. van Dam
- Waterschap Wilck en Wierick: dhr. Ketwich
- Waterloopkundig Laboratorium: dhr. A. Wijdeveldt, dhr. W. van Kesteren
- Hoogheemraadschap van Delfland: dhr. P.H. Nelissen
- Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier: dhr. R. Kampf

Bijlage 2

Berekeningswijze aanwassnelheden hoofdstuk 3

Heemraadschap Fleverwaard

Bij de verwerking van de gegevens is de volgende werkwijze gevolgd:

- uit het verschil tussen de ingepeilde diepte en de keurdiepte is de dikte van de sliblaag vastgesteld, hierbij zijn alleen watergangen beschouwd waar meer dan 2 jaar aanwas heeft plaatsgevonden;
- met behulp van de theoretische profielen is de dikte van de sliblaag omgerekend naar een aantal m³ baggerspecie per meter watergang, hieruit is ook de breedtegemiddelde aanwas in cm/jaar vastgesteld;
- uit de kwaliteitsgegevens is een gemiddeld droge stofgehalte afgeleid, dit is opgesplitst naar de watergangen die wel- of niet door de holocene deklaag heen steken;
- met het droge stofgehalte is het aantal m³ baggerspecie omgerekend naar kg ds;
- met behulp van de breedte van de watergangen (breedte waterlijn) is het aantal kg ds omgerekend naar kg ds per m² watergang;
- uit het verschil tussen het tijdstip van baggeren en van inpeilen is de leeftijd van de sliblaag vastgesteld;
- vervolgens is de aanwas in kg ds per m² watergang per jaar vastgesteld.

Bij de omrekening van m³ naar kg zijn de volgende droge stofgehalten gebruikt. Deze zijn gebaseerd op de kwaliteitsgegevens die voor een aantal watergangen in het gebied beschikbaar waren.

- mediaan (n=42): 33,5 gew. % ds
- mediaan pleistoceen (zandbodem) (n=30): 34,0 gew. % ds (organisch stofgehalte 5,7%)
- mediaan holocene (kleibodem) (n=12): 30,8 gew. % ds (organisch stofgehalte 9,5%)

Hoogheemraadschap van Delfland

Bij de verwerking van de gegevens is de volgende werkwijze gevolgd:

- De oorspronkelijke en nieuwe peilgegevens zijn in een verwerkingsprogramma (DWP 1.2) ingevoerd. Dit programma berekent onder meer het natte profiel en de gemiddelde diepte in de vaargeul (vlakke deel van de bodem);
- Uit de afname van de gemiddelde diepte van de vaargeul is de aanwassnelheid in de vaaggeul in cm/jaar berekend;
- Per ingemeten profiel is de verandering van het natte profiel gedeeld door de tijd tussen de twee peilingen. Dit levert de aanwassnelheid in m³/m/jaar. Deze is gedeeld door de breedte van de watergang zodat uiteindelijk een breedte-gemiddelde aanwassnelheid in cm/jaar werd verkregen.
- Uit de beschikbare kwaliteitsgegevens van de watergang is het droge stofgehalte afgeleid.
- Uit de breedte van de watergang, de aanwassnelheid in m³/m/jaar en het droge stofgehalte is de aanwassnelheid in kgds/m²/jaar berekend.
- Per watergang is op basis van alle dwarsprofielen de mediaan van de aanwassnelheid in cm/jaar en kgds/m²/jaar berekend. Deze waarden staan in onderstaande tabel gegeven.

Bijlage 3

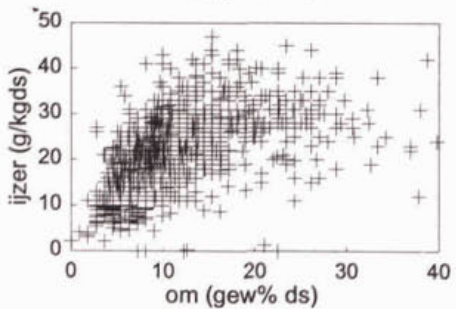
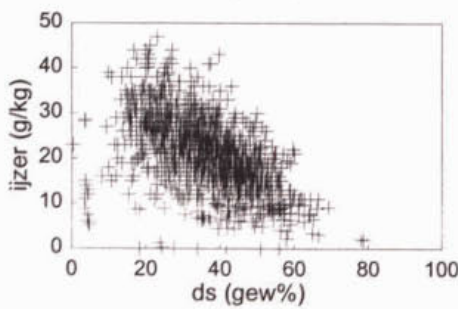
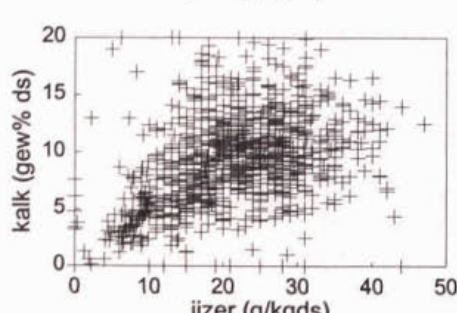
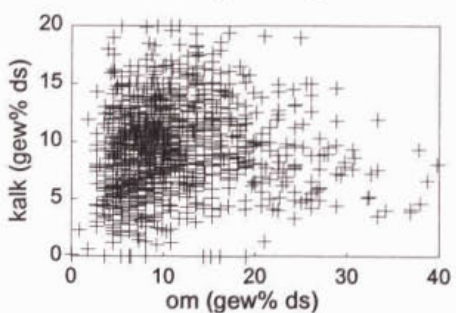
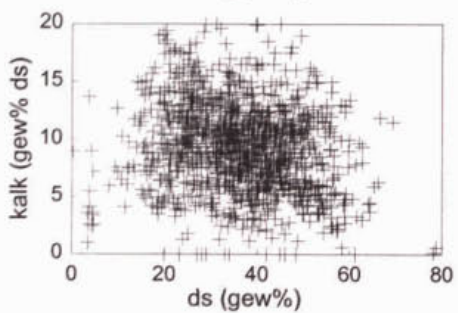
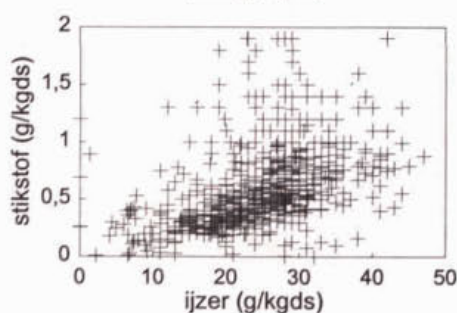
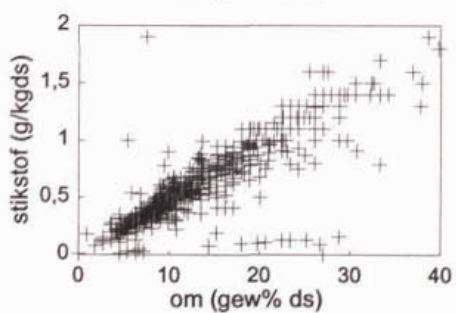
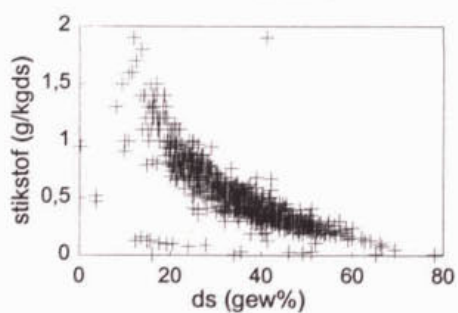
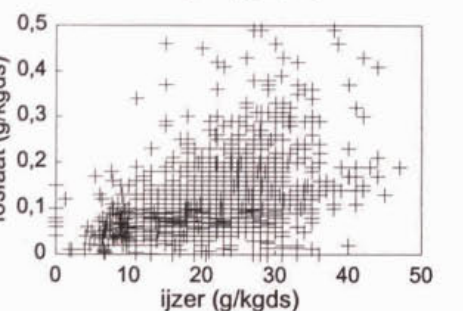
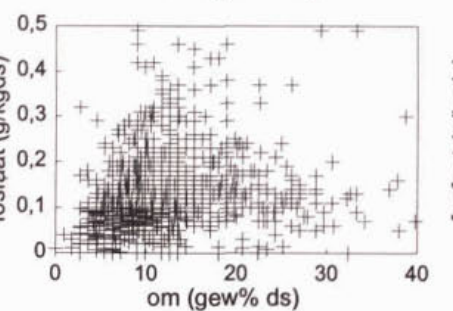
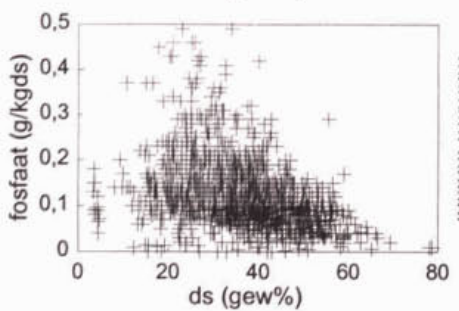
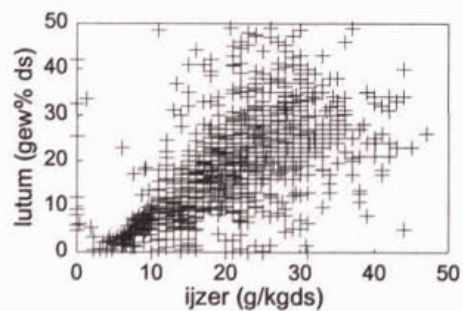
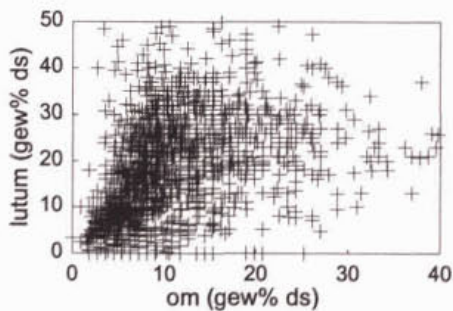
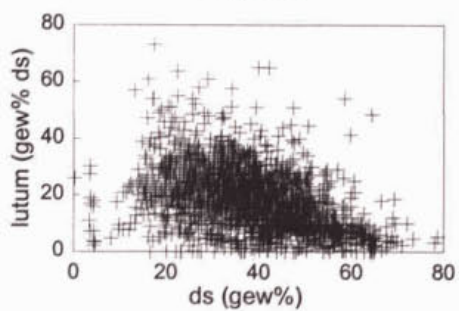
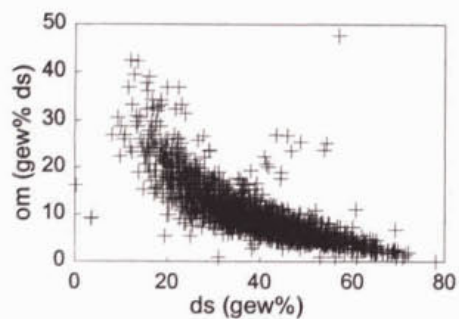
Beschrijving watergangen Hoogheemraadschap van Delfland

Overzicht van beschouwde hoofdwatgangen watgangen in het beheersgebied van het hoogheemraadschap van Delfland waarvoor de aanwassnelheid gedetailleerd is vastgesteld.

Watgang	Beschrijving	Bodemtype	Ds / org stof / lutum	Breedte, keurdiepte	Aanwasperiode
Zijsloot 02 Heemraadswater	Goed onderhouden, "nette" sloot tussen kassen en begroeide duinen, gras	Zand,	34,0 / 7,2 / 3,6	3 m, 60 cm	30 mnd
Zijsloot 25 Heemraadswater	Doodlopende zijlsloot van Heemraadswater, tussen weg en park, bomen.	Zand	26,7 / 14,4 / 18,0	5 m, 85 cm	30 mnd
Heemraadswater, deel 4	Hoofdwatgang boezem langs park, bomen	Zand	37,0 / 8,2 / 19,0	10 m, 115 cm	30 mnd
Heemraadswater, deel 6	Hoofdwatgang boezem onder weg door, aansluitend op deel 4, gras (stroming 4 -> 6)	Zand	44,5 / 6,0 / 18,0	5-15 m, 115 cm	30 mnd
Noordweg A	Sterk eutrofe rommelige watgang, provinciale weg en vrij dichte bebouwing	Warmoezerij (kleiig zand)	39,1 / 7,2 / 13,4	2-10 m, 50 cm	31 mnd
Noordweg C	Sterk eutrofe rommelige watgang, in het verlengde van A, provinciale weg en vrij dichte bebouwing	Warmoezerij (kleiig zand)	42,8 / 7,2 / 20,1	2-7 m, 50 cm	31 mnd
Lange sloot 59	Beide zijden omsloten door kassen, goed onderhouden, parallel aan 68	Klei	42,5 / 5,8 / 17,0	7-8 m, 100 cm	55 mnd
Lange sloot 68	Beide zijden omsloten door grasland met bomen, parallel aan 59	Klei	31,0 / 9,9 / 33,0	7-8 m, 100 cm	55 mnd
DH22	Volkstuinen en "park", veel bomen, forse doorstroming, deels slecht gebaggerd	Klei	51,0 / 4,5 / 30,0	4-6 m, 100 cm	65 mnd
Marijkesingel a	Stadssingel, veel bomen	Klei	36,0 / 6,3 / 16,0	6-7 m, 75 cm	65 mnd
Marijkesingel b	Stadssingel in het verlengde van a, veel bomen	Klei	47,0 / 5,4 / 20,0	10-15 m, 75 cm	65 mnd
Voorboezem	Tevens haventje met werfje, monding gemaal, zijtak van boezem	Klei	31,6 / 11,0 / 26,0	5,5-6,5 m, 120 cm	31 mnd
Pijnackerse Vaart	Langs provinciale weg, andere zijde kade met fietspad en glastuinbouw	Klei	28,0 / 9,9 / 34,0	(3)-10,5 m, 160 cm	65 mnd
Veenwatering A	Dorpsweg en woningen, mogelijk verstoord	Veen	20,2 / 17,7 / 37,7	4,5-10 m, 80 cm	65 mnd
Veenwatering B	Doorgaande weg in het verlengde van A, weilanden en enkele woningen, mogelijk verstoord	Veen	20,2 / 17,7 / 37,7	4,5-10 m, 80 cm	65 mnd

Bijlage 4

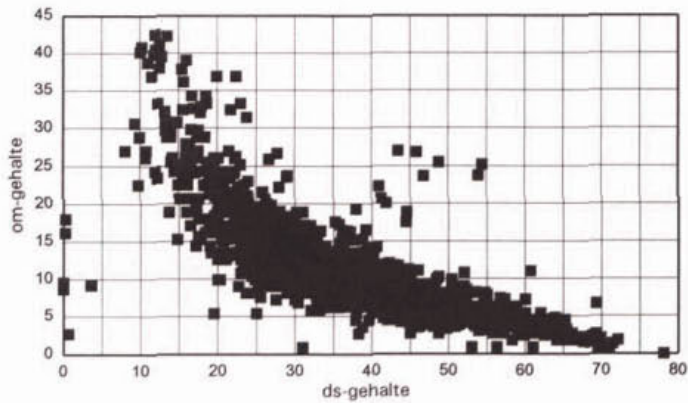
Relatie tussen de verschillende componenten van baggerspecie



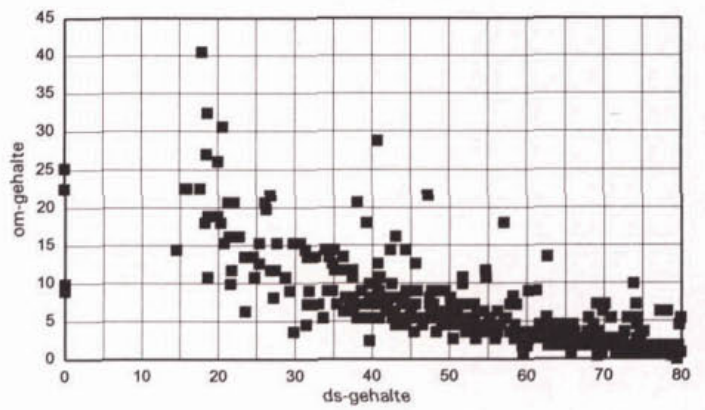
Bijlage 5

Relatie tussen het droge stofgehalte en het organisch stofgehalte voor zes waterschappen

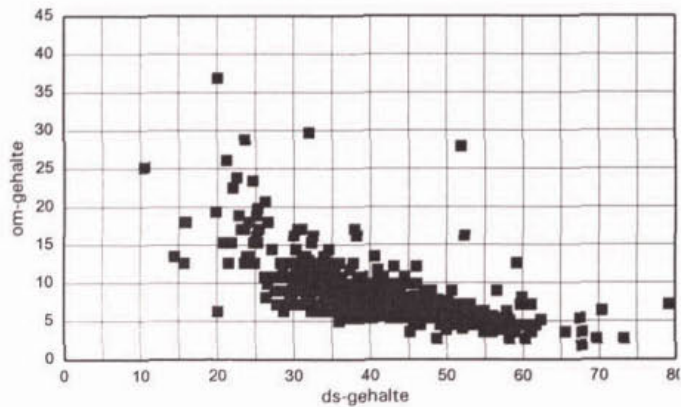
delfland (n = 2077)



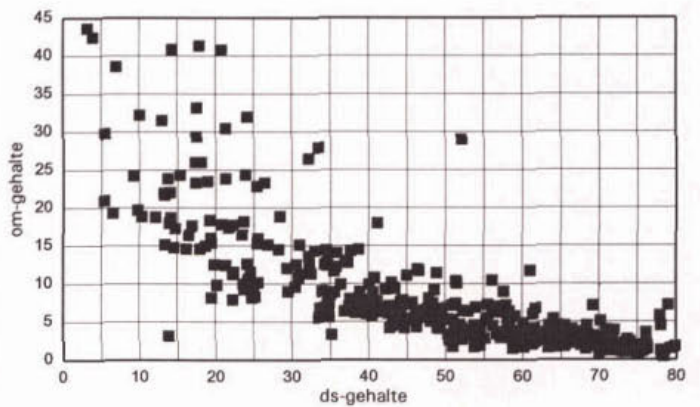
rijnijsel (n = 646)



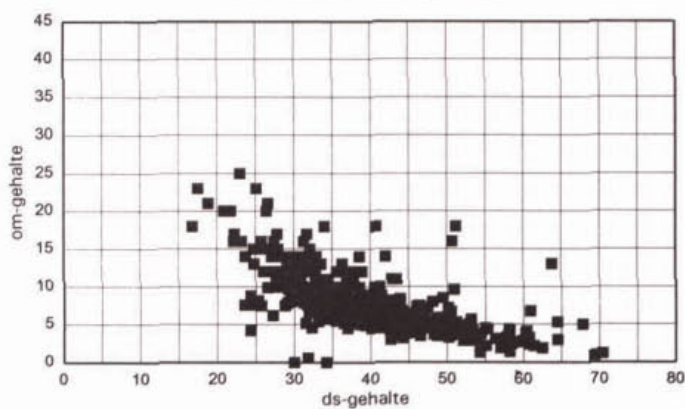
rivierenland (n = 638)



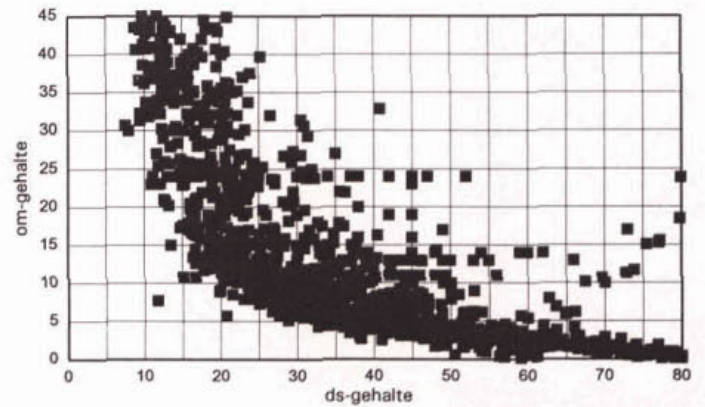
veluwe (n = 399)



zeeuwse eilanden (n = 426)



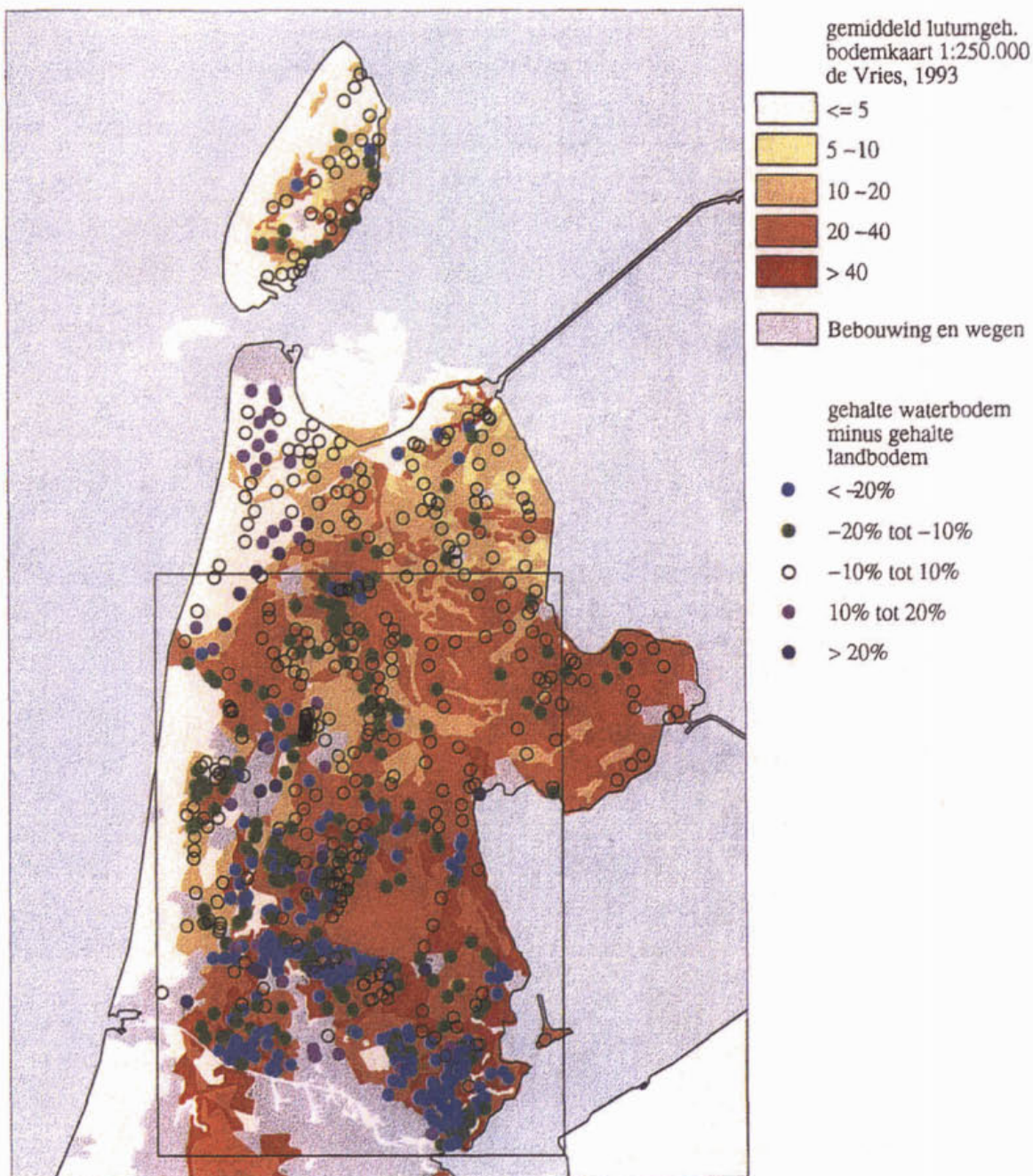
uitwaterende sluizen (n = 2156)



Bijlage 6

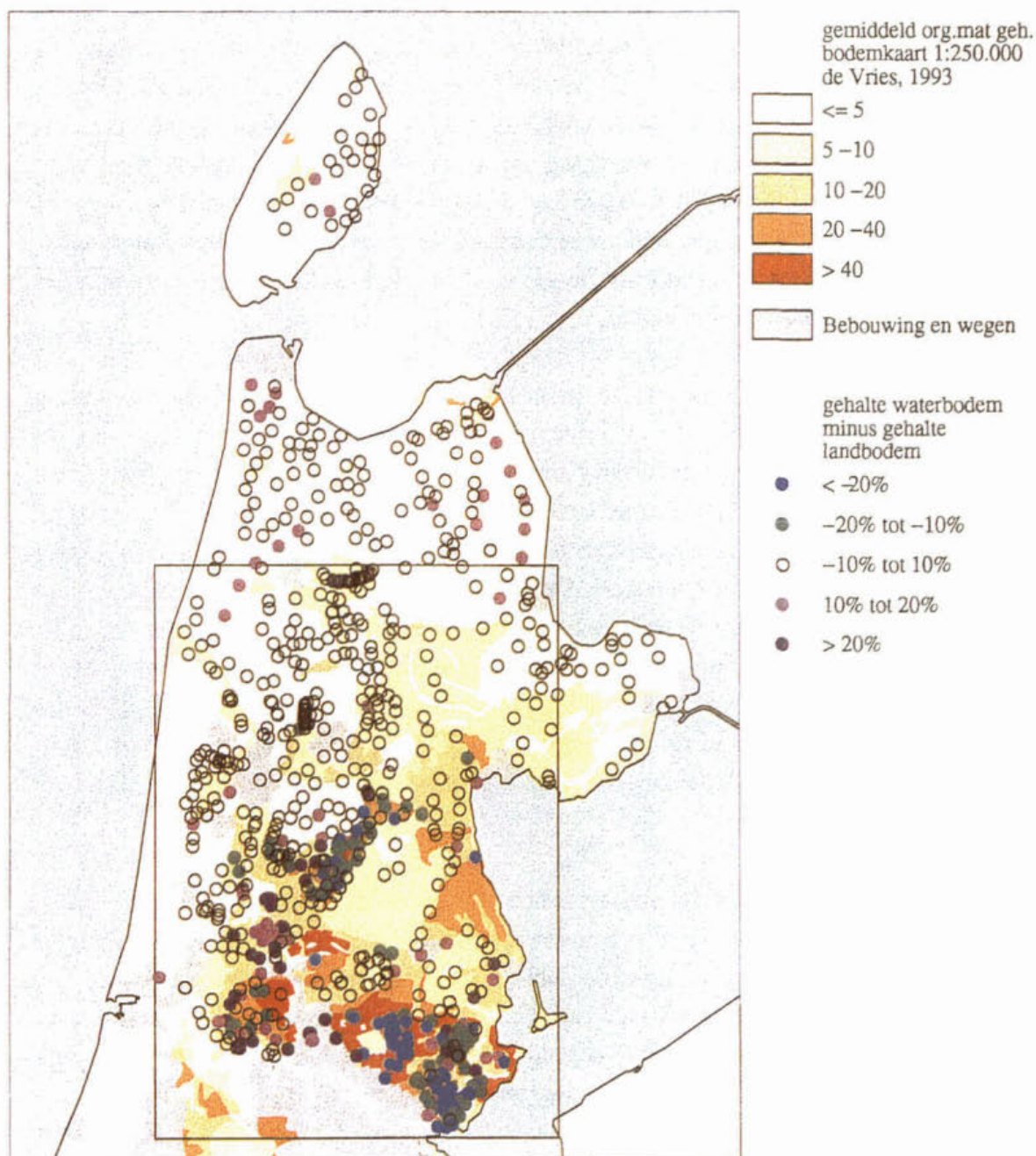
**Relatie tussen de samenstelling van de waterbodem en de landbodem voor het
beheersgebied van Hoogheemraadschap van uitwaterende Sluizen in Hollands
Noorderkwartier**

(overgenomen uit Kramer, P.R.G., A.M. Huiting, J.E.M. Beurskens en T. Aldenberg, 1997.
Verkenning bodemkwaliteit regionale wateren, STOWA rapport nr. 96-28, RIVM rapport
nr. 733007001.)



Figuur 1. Lutumgehalte in de toplaag van de landbodem in Noord-Holland weergegeven in vijf klassen (geel-oranje vakken) met daarin het verschil tussen het lutumgehalte in water- en landbodem, aangegeven met gekleurde cirkels

(Overgenomen uit Kramer, P.R.G., A.M. Huiting, J.E.M. Beurskens en T. Aldenberg, 1997. Verkenning bodemkwaliteit regionale wateren, STOWA rapport nr. 96-28, RIVM rapport nr. 733007001.)



Figuur 2. Organische stofgehalte in de toplaag van de landbodem in Noord-Holland weergegeven in vijf klassen (geel-oranje vakken) met daarin het verschil tussen het organische stofgehalte in water- en landbodem, aangegeven met gekleurde cirkels

(Overgenomen uit Kramer, P.R.G., A.M. Huiting, J.E.M. Beurskens en T. Aldenberg, 1997. Verkenning bodemkwaliteit regionale wateren, STOWA rapport nr. 96-28, RIVM rapport nr. 733007001.)

