



Een eenvoudig slib- model van de Grote geul van Gameraen

Ontwikkeling en toepassing

RIZA werkdocument 2004.060X

Projectnummer 6000.16.02

Auteur: A.Z. Visser (RIZA-WST)

Dordrecht, februari 2004

Inhoudsopgave

Samenvatting 3

1. Inleiding 5

2. Het spreadsheetmodel van Gameren 7

2.1 Het in- en uitvoerdeel 7

2.2 Het berekeningsdeel 8

2.3 Het controleddeel 11

2.4 De afregeling van het spreadsheetmodel 11

3. Modelbeschrijving 12

3.1 Schematisatie 12

3.2 Waterstand Gameren 13

3.3 Waal- en geulafvoer 13

3.4 Zwevend stofrandvoorwaarden 14

3.5 Procesconstanten voor de berekening van het slibtransport 17

4. Resultaten 18

4.1 Stroomsnelheden in het model 18

4.2 Het zwevend stofgehalte 18

4.3 Dikte sliblaag 19

5. Conclusies en aanbeveling 22

5.1 Conclusies 22

5.2 Aanbeveling 22

Literatuur 23

Samenvatting

In het project Monitoring Nevengeulen (1998-2002), dat door het RIZA in opdracht van de directie Oost-Nederland is uitgevoerd, was één van de doelstellingen het vergroten van de proceskennis door middel van het modelleren van het sedimentatie- en erosieproces in een nevengeul. De meetgegevens zouden dan kunnen dienen als kalibratie en verificatie. Hiervoor is voor de waterbeweging gebruikgemaakt van het WAQUA-model van Gameren. De berekening van de sedimentatie en erosie met het DELWAQ-stoftransportmodel is echter, vanwege stabiliteitsproblemen met de continuïteit, niet gelukt.

Met een simpel spreadsheetmodel is er getracht toch iets te zeggen over het sedimentatie- en erosieproces in de Grote geul van Gameren. In dit model is met gegevens uit het WAQUA-model van Gameren, diverse meetgegevens en door toepassing van de sedimentatieformulering van Krone en de erosieformulering van Partheniades de globale sedimentatie en erosie op jaarbasis bepaald.

De hoeveelheid sedimentatie in de Grote geul blijft beperkt tot orde 8.000 à 9.000 m³ per jaar. In alle secties van de Grote geul komt in de stroomvoerende delen van het profiel de sedimentatie niet boven de 0,11 m/j. Verder geeft het model aan dat de sedimentatie iets meer bestaat uit zand (55-60%) dan uit slib, met uitzondering van de zandvang en de uitlaat, waar het percentage slib iets hoger is. Dit komt goed overeen met de monitoringsresultaten.

Voor wat de monitoringsresultaten betreft is het op sommige bemonsteringslocaties van belang op welke plek de bemonstering ten opzichte van de stroming in de Grote geul heeft plaatsgevonden. Uit de snelheidsfiguren van WAQUA-berekeningen blijkt dat sommige meetlocaties afhankelijk van de afvoer wel of niet in de stroombaan van de Grote geul liggen. Zoals bijvoorbeeld bij de bemonsteringslocatie in de zandvang. Is de bemonstering genomen in de jet dan zal het monster zandig zijn, maar is de bemonstering buiten de jet genomen dan zal het vooral slibbig zijn (in de hoofdstroom: zand, buiten de hoofdstroom: slib).

De plaats van bemonstering is dus ook bepalend voor het gehalte aan zwevend stof.

Van grote invloed op de modelresultaten blijven uiteraard de waarden die op de randen van het model worden opgegeven. Als zwevend stofrandvoorwaarden zijn de gehalten van Lobith aangehouden. Uit vergelijking met metingen in de Grote geul blijkt dat op deze randvoorwaarden een correctie van 1,75 moet worden toegepast. In het spreadsheetmodel is deze correctie toegepast. Het is onduidelijk waarom het gehalte in de geul hoger ligt.

De verwachte ontwikkeling van de Grote geul is dat vooral de diepe stroomvoerende delen zullen sedimenteren. Afhankelijk van de vorm en de verhoudingen in het profiel ontstaat er dan een profiel waarbij de huidige stroomgeul (stromende deel van het profiel) blijft bestaan, dan wel na sedimentatie van de huidige stroomgeul wordt het doorstroomprofiel herverdeeld en ontstaat er een nieuw breder (maar wel ondieper) doorstroomprofiel. Dit zal verder gaan sedimenteren met redelijk zandig materiaal. De vraag is of er dan een nieuwe (dynamische) geul ontstaat of niet.

1. Inleiding

Ter vergroting van de proceskennis, een van de doelstellingen van het project Monitoring Nevengeulen (1998-2002) (Jans *et al.*, 1998), was het de bedoeling om het sedimentatie- en erosieproces in een nevengeul te modelleren, waarbij de meetgegevens dan zouden kunnen dienen als kalibratie en verificatie. Hiervoor is gebruikgemaakt van het waterbewegingsmodel (WAQUA) van Gameren met daaraan gekoppeld een stoftransportmodel (DELWAQ), wat de sedimentatie en erosie berekent. Helaas is, door stabiliteitsproblemen met de continuïteit in het DELWAQ-deel van het model, het niet gelukt om een slibmodel van Gameren te maken. Om dit probleem op te lossen zou een forse inspanning nodig zijn. Daarom is afgezien van het realiseren van een WAQUA-DELWAQ-slibmodel en is gekozen voor een modellering met een simpel spreadsheetmodel.

Het doel van het eenvoudige model is:

1. verklaren van de huidige situatie van de Grote geul: zwevend stofgehalten (lengteprofiel) en sedimentatie (weinig sedimentatie, vooral fijn zand);
2. dusdanig inzicht krijgen dat een voorspelling kan worden gemaakt over de ontwikkelingen.

Op basis van de resultaten van het model kan ook een voorspelling over de ontwikkeling van de zwevend stofgehalten in het lengteprofiel van de geul en de bodemontwikkeling van de geul gemaakt worden. Het gaat hierbij dan vooral om de verwachte ontwikkeling van het doorstroomprofiel. De huidige profielen geven aanleiding tot sedimentatie en de vraag is wat het verwachte evenwichtprofiel wordt en wanneer dit wordt bereikt.

Het spreadsheetmodel is gebaseerd op de resultaten van het WAQUA-model van Gameren, waarmee 5 verschillende stationaire afvoeren, 1.000, 1.500, 2.000, 2.500 en 3.000 m³/s, zijn doorgerekend. Met behulp van deze afvoeren en de frequentie van voorkomen van deze afvoeren in een jaar is getracht de sedimentatie en erosie in de Grote geul op jaarbasis te bepalen.

Opgemerkt moet nog worden dat het bij de modellering in dit document alleen om het zwevend stoftransport gaat. Voor het zwevend stoftransport wordt daarbij gekeken naar drie fracties, niet geflocculeerd slib, geflocculeerd slib en fijn zand. Het (grove) zandtransport is niet meegenomen.

Dit document is gemaakt binnen het project Monitoring Nevengeulen 1998-2002 dat in opdracht van de directie Oost-Nederland heeft plaatsgevonden en beschrijft nu het spreadsheetmodel en de resultaten daarvan. De conclusies en resultaten uit dit werkdocument worden verwerkt in de Evaluatie Nevengeulen Gamerensche Waard.

Na dit hoofdstuk volgt in hoofdstuk 2 de beschrijving van het spreadsheetmodel en wordt in hoofdstuk 3 de modelbeschrijving weergegeven. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van het model besproken, waarna in hoofdstuk 5 tenslotte de conclusies en de aanbeveling volgen.

Het opzetten van het spreadsheetmodel is voornamelijk uitgevoerd door Dik Ludikhuizen, thans niet meer werkzaam bij het RIZA. Ook heeft hij een bijdrage geleverd aan de totstandkoming van dit werkdocument, waarvoor dank.

2. Het spreadsheetmodel van Gameren

Met het spreadsheetmodel wordt net als met het DELWAQ-model getracht het slibtransport in de Grote geul van Gameren te berekenen. De Grote geul is daarvoor in het spreadsheetmodel geschematiseerd als een soort kanaal en voor het berekenen van het slibtransport verdeeld in secties/segmenten. Een segment is een bepaald watervolume met een bepaalde diepte en een bepaald wateroppervlak en met een homogene waterkwaliteit.

In het spreadsheetmodel worden nu per afvoer en per segment op jaarbasis het zwevend stofgehalte, de sedimentatie en de erosie in de geul berekend en uiteindelijk de dikte van de sedimentlaag c.q. de hoeveelheid erosie.

Het spreadsheetmodel is grofweg te verdelen in drie delen, het in- en uitvoerdeel (het bovenste deel), het berekeningsdeel (het middelste deel) en het controleddeel (het onderste deel).

2.1 Het in- en uitvoerdeel

In het invoergedeelte worden waarden opgegeven voor parameters die nodig zijn voor de berekening van het slib, zoals de valsnelheden van de drie zwevend stoffracties, de kritische stroomsnelheden voor sedimentatie van de drie zwevend stoffracties, de kritische stroomsnelheid voor erosie, de erosieconstante, de bodemdichtheid, de lengtes en de bodemhoogtes van de segmenten en de stroomvoerende breedtes van de segmenten bij de verschillende Waalafvoeren. Verder moeten per Waalafvoer de bijbehorende geulafvoer, waterstand, frequentie van voorkomen van de Waalafvoer en de zwevend stofconcentratie op de Waal bij de instroom van de geul opgegeven worden.

Hoe groot de opgegeven waarden zijn wordt in het volgende hoofdstuk weergegeven.

In het uitvoergedeelte worden enkele door het spreadsheetmodel berekende parameters in matrixvorm per afvoer en per segment weergegeven.

Eén van die parameters is de stroomsnelheid. Voordat naar de andere uitvoerparameters gekeken kan worden, moeten de door het spreadsheetmodel in de segmenten bij verschillende afvoeren berekende stroomsnelheden gecontroleerd worden of dat deze wel realistisch zijn. Dat kan door de berekende stroomsnelheden te vergelijken met de stroomsnelheden uit WAQUA-berekeningen.

Wanneer een berekende stroomsnelheid niet overeenkomt met die uit de WAQUA-berekening kan door aanpassing van de breedte de stroomsnelheid in het spreadsheetmodel afgeregeld worden. Voor de berekening van het slibtransport is de stroomsnelheid van groot belang. De stroomsnelheid bepaalt of er sedimentatie of erosie optreedt. De andere parameters die in het uitvoergedeelte worden weergegeven zijn de zwevend stofgehalten, de sedimentatie- en erosiehoeveelheden en de zwevend stofvrachten op jaarbasis. De in het berekeningsdeel, zie § 3.2, bij elke afvoer berekende zwevend stofgehalten, hoeveelheden sedimentatie en erosie worden daarvoor omgerekend naar op jaarbasis, afhankelijk van de frequentie van voorkomen van de desbetreffende afvoer. Ook wordt in dit gedeelte voor elk segment de dikte van de sedimentatie- of erosie laag per jaar met behulp van de opgegeven bodemdichtheid berekend.

2.2 Het berekeningsdeel

In het middelste gedeelte van het spreadsheetmodel vinden de berekeningen van het slibtransport, het sedimentatie- en erosieproces plaats. In dit gedeelte worden per afvoer afzonderlijk verschillende berekeningen uitgevoerd voor elk segment.

Er wordt berekend hoe hoog de waterdieptes in de segmenten zijn door het verschil te bepalen tussen de waterstand in de geul en de bodemhoogtes van de segmenten. Met behulp van deze waterdieptes en de bij de desbetreffende Waalafvoer behorende stroomvoerende breedtes en het geuldebiet wordt de stroomsnelheid in elk segment bepaald.

Bij de berekeningen van het zwevend stofgehalte en de sedimentatiehoeveelheid wordt uitgegaan van drie zwevend stof fracties, fijn zand, grof slib en fijn slib. Voor het totale gehalte of hoeveelheid worden de berekende waarden van de drie fracties bij elkaar opgeteld.

Bij de erosieberekeningen is dit niet het geval. Bij erosie wordt gebruik gemaakt van maar één fractie, omdat bij het optreden van erosie de bodem immers niet per fractie opbreekt, maar als 'brokken' weg gaat. De veronderstelling is dan ook dat de drie zwevend stof fracties in de bodem homogeen gemengd zijn. Als er materiaal erodeert dan is de verdeling over de fracties gelijk aan de verdeling in de toplaag.

Met het toenemen van het debiet (waterstand) neemt de concentratie zwevend stof toe. De als randvoorwaarden opgegeven zwevend stofconcentraties worden verdeeld over de verschillende fracties van het zwevend stof (fijn zand, grof slib en fijn slib) volgens de methode Ludikhuizen & Ruigh (Ludikhuizen & Ruigh, 1989). Voor de Waal is dit:

$$C_{zand} = C_{totaal} \left(0,050 + 0,55 \frac{Q}{10.000} \right)$$

$$C_{grof} = C_{totaal} \left(0,475 - 0,275 \frac{Q}{10.000} \right) \quad \text{voor } Q \leq 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C_{fijn} = C_{totaal} \left(0,475 - 0,275 \frac{Q}{10.000} \right)$$

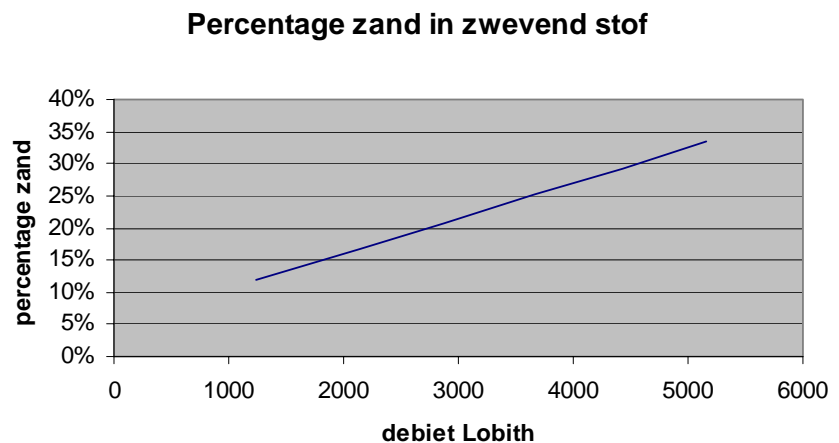
waarin:

C_{zand} , C_{grof} en C_{fijn} = de concentratie per fractie [g/m³]
 C_{totaal} = de totale concentratie zwevend stof [g/m³]
 Q = het debiet bij Lobith [m³/s]

In figuur 2.1 zijn voor de fijne zandfractie de volgens de methode Ludikhuizen en Ruigh bepaalde percentages fijn zand in het zwevend stof bij verschillende Rijnafvoeren in grafiekvorm weergegeven.

Figuur 2.1

Percentage zand in het zwevend stof t.o.v. de afvoer bij Lobith volgens de methode Ludikhuizen en Ruigh.



De initiële concentratie aan het begin van de Grote geul is nu bekend. De concentratie wordt daarna bepaald op basis van Krone (sedimentatie) (Krone, 1962) en Partheniades (erosie) (Partheniades, 1965), uitgaande van:

voor sedimentatie: $\frac{\partial c_i}{\partial x} = -K_i \cdot c_i$

In het geval van sedimentatie van fractie i in sectie j is K_i^j gelijk aan:

$$K_i^j = \frac{v_i^{sed} * \left((v_i^{kr})^2 - (v_j)^2 \right)}{(v_i^{kr})^2} \Bigg/ h_j * 8.6400 \quad (\text{als } v_j < v_i^{kr}, \text{ anders } K=0)$$

waarin:

$$v_i^{sed} = \text{valsnelheid fractie } i \quad [\text{m/d}]$$

$$v_i^{kr} = \text{kritische stroomsnelheid voor sedimentatie fractie } i \quad [\text{m/s}]$$

$$v_j = \text{stroomsnelheid in sectie } j \quad [\text{m/s}]$$

$$h_j = \text{diepte sectie } j \quad [\text{m}]$$

in het geval van erosie geldt: $\frac{\partial c_i}{\partial x} = K_i$

$$K_i^j = \frac{M^{erosie} * \frac{(v_j)^2 - (v_{kr}^{ero})^2}{(v_{kr}^{ero})^2}}{(h_j * 86.400)} \quad (\text{als } v_j > v_i^{kr}, \text{ anders } K=0)$$

waarin:

$$M^{erosie} = \text{erosiesnelheidsconstante} \quad [\text{g/m}^2/\text{d}]$$

$$v_j = \text{stroomsnelheid in sectie } j \quad [\text{m/s}]$$

$$v_{kr}^{ero} = \text{kritische stroomsnelheid voor erosie} \quad [\text{m/s}]$$

$$h_j = \text{diepte sectie } j \quad [\text{m}]$$

Het gehalte aan het einde van de sectie volgt uit: $c_i^L = c_i^o * e^{-K_i^j * L_j / v_j}$

waarin:

$$c_i^o = \text{gehalte fractie } i \text{ aan het begin van de sectie} \quad [\text{g/m}^3]$$

$$L_j = \text{lengte sectie } j \quad [\text{m}]$$

$$v_j = \text{stroomsnelheid in sectie } j \quad [\text{m/s}]$$

In het geval van erosie is in dit geval aangehouden dat alleen een zandfractie erodeert en geen slib (erosie treedt alleen op in de instroomsectie en bij de brug, alwaar de snelheden vrijwel altijd hoger zijn dan de kritische snelheid van sedimentatie. Er ligt dus al geen slib en kan dus ook niet eroderen).

De in dit gedeelte van het spreadsheetmodel berekende zwevend stofgehalten, sedimentatie- en erosiehoeveelheden dienen als basis voor de uiteindelijke uitvoer op jaarbasis.

2.3 Het controledeel

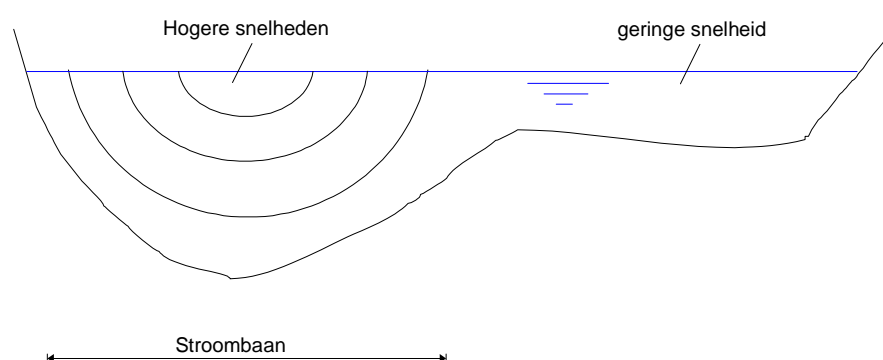
In het onderste gedeelte vinden de berekeningen op jaarbasis van het zwevend stofgehalte, de hoeveelheid sedimentatie en erosie en de dikte van de sliblaag nog op een iets andere manier plaats, ter controle van de uitvoer in het in- en uitvoerdeel. Tevens wordt in dit gedeelte ook de samenstelling (percentage fijn zand, grof en fijn slib) van de gesedimenteerde hoeveelheid zwevend stof bepaald.

2.4 De afregeling van het spreadsheetmodel

Met behulp van de gegevens uit de met het WAQUA-model van Gameren uitgevoerde berekeningen met stationaire Waalafvoeren van 1.000, 1.500, 2.000, 2.500 en 3.000 m³/s is de waterbeweging in het spreadsheetmodel afgeregeld en dan met name de stroomsnelheid. De stroming in de Grote geul is niet uniform (op basis van een logaritmisch snelheidsprofiel) over de dwarsdoorsnede (zie figuur 2.2), in de diepere delen komen hoge snelheden voor en in de ondiepere lage. Daarom zijn de snelheden en de breedte van de stroombaan in de Grote geul per afvoerniveau en per sectie afgeleid uit stroomsnelheidskaarten van de WAQUA-berekeningen.

.....
Figuur 2.2

Schematische weergave dwarsdoornsede stroomgeul.



Na de afregeling van de stroomsnelheden kan door invulling van waterstanden en geuldebieten gebaseerd op meetgegevens en door invulling van de sedimentatie- en erosieparameters ook een afregeling op de zwevend stofgehalten plaatsvinden door deze te vergelijken met meetgegevens.

3. Modelbeschrijving

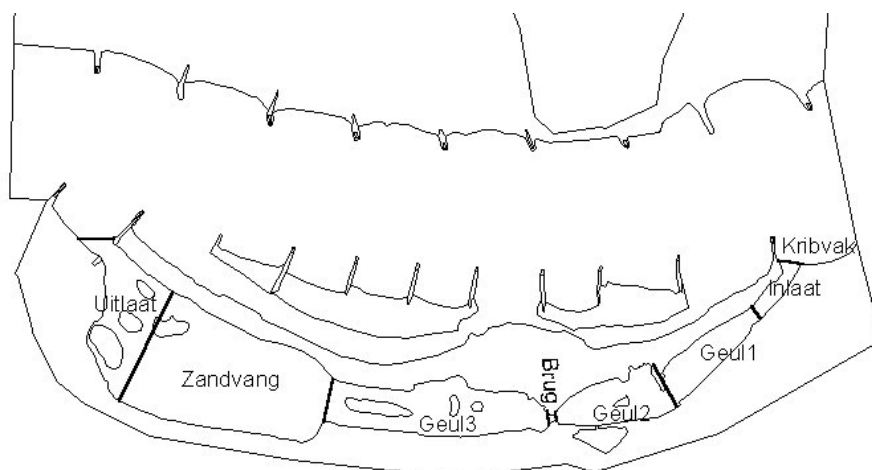
3.1 Schematisatie

De Grote geul van Gameren heeft, van oost naar west, een smalle instroming overgaand in een steeds bredere geul, ongeveer halverwege weer een versmalling in de vorm van een brug en aan het einde een oude brede en diepe zandwinput, met daarachter weer een ondiepere en smallere uitstroom naar de Waal.

De berekening van het slibtransport is gebaseerd op een ééndimensionale aanpak, waarbij alleen gekeken wordt naar de Grote geul en niet naar de rivier of het omliggende maaiveld. De berekening van het slibtransport door de geul vindt plaats in secties, waarvoor in dit model voor de Grote geul de volgende sectie-indeling is gehanteerd: kribvak, inlaat, geul1, geul2, brug, geul3, zandvang en uitlaat (zie figuur 3.1).

Figuur 3.1

Modelsecties Grote geul Gameren.



Uit de WAQUA-schematisatie (2D), waarin de hoogteligging van het gebied is omgezet (zie Brink, C. van den, 2002), is de gemiddelde bodemligging per sectie afgeleid.

De (stroomvoerende) breedtes van de secties bij de verschillende afvoeren zijn afgeleid uit de stroomsnelheidskaarten van de WAQUA-berekeningen.

Voor de secties zijn de volgende afmetingen per afvoerniveau aangehouden (tabel 3.1).

Tabel 3.1

De afmetingen van de modelsecties van de Grote geul Gameren per Waal-afvoerniveau.

	kribvak	inlaat	geul1	geul2	brug	geul3	zand- vang	uitlaat
lengte (m)	100	150	300	300	50	550	450	300
waterbod (m)	0,25	-0,75	0	0,5	0	0,35	-8,00	0,25
breedte (m)								
afvoer 1.000	25	19	45	30	13	30	60	60
1.500	45	19	50	40	13	40	60	60
2.000	45	19	50	55	13	40	60	60
2.500	45	19	50	55	13	40	60	60
3.000	60	25	50	60	13	40	60	60
3.500	60	25	50	60	13	40	60	60
Totale breedte	60	38	70	95	15	100	245	135

(Met de breedtes zijn de stroomvoerende breedtes weergegeven en met de totale breedte ook de bergende breedte).

3.2 Waterstand Gameren

Voor de waterstand in de Grote geul wordt aangenomen dat dit vrijwel gelijk is aan de waterstand op de Waal. De waterstanden op de Waal ter hoogte van Gameren bij de verschillende afvoeren zijn bepaald aan de hand van de relatie tussen de gemeten waterstanden van Zaltbommel en Vuren.

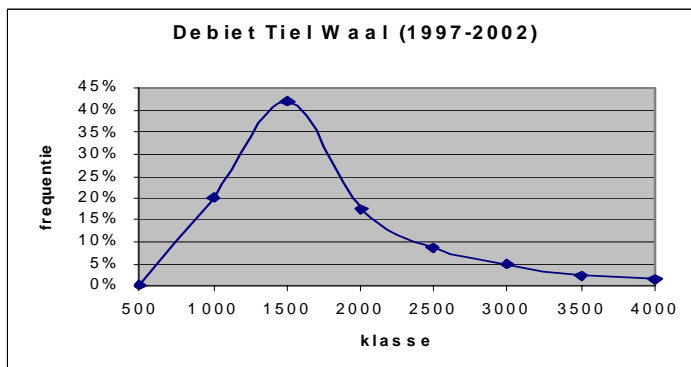
3.3 Waal- en geulafvoer

Het model is toegepast voor verschillende afvoerniveaus van de Waal (1.000, 1.500, 2.000, 2.500 en 3.000 m³/s). De resultaten zijn samengesteld op basis van de frequentieverdeling van deze afvoeren. De volgende frequentieverdeling voor het debiet bij Tiel (van 1997-2002, periode monitoring nevengeulen) is aangehouden (figuur 3.2):

Figuur 3.2

Het debiet van de Grote geul van Gameren per afvoerniveau van de Waal.

Debiet Waal [m ³ /s]	Frequentie
1.000	21%
1.500	42%
2.000	17%
2.500	9%
3.000	5%
3.500	2%
totaal	96%

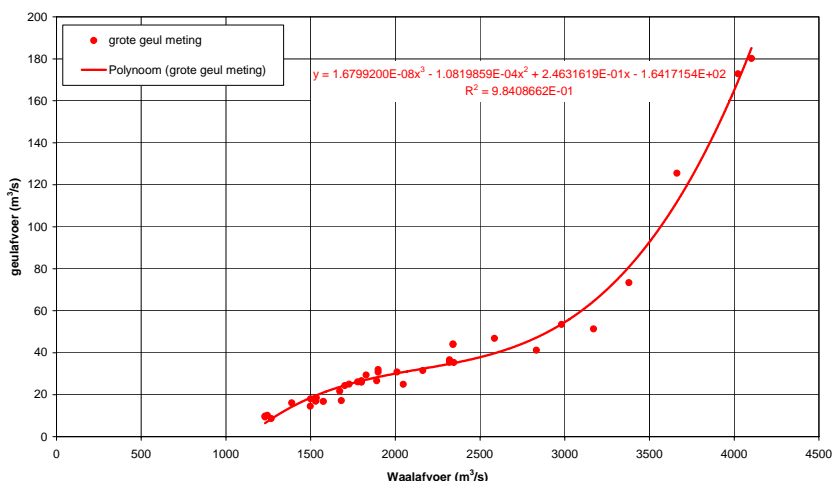


Per afvoerniveau van de Waal is het debiet van de Grote geul van Gameren bepaald volgens de relatie, afgeleid uit debietmetingen in de Grote geul (Schropp *et al.*, 2001, 2002, 2004), weergegeven in figuur 3.3.

Figuur 3.3

Relatie debiet Grote geul Gameren met debiet Waal.

Debiet Waal [m ³ /s]	Debiet Gameren [m ³ /s]
1.000	2
1.500	19
2.000	30
2.500	38
3.000	55
3.500	33



3.4 Zwevend stofrandvoorwaarden

De concentratie aan het begin van de Grote geul is bepaald aan de hand van de relatie tussen de zwevend stofvracht en de afvoer bij Lobith, afgeleid op basis van meetgegevens (Fioole, 2002). Daarbij wordt aangenomen dat door de hoge stroomsnelheden op het tussenliggende traject Lobith – Gameren geen grootschalige sedimentatie plaatsvindt. Dit levert het volgende resultaat op (tabel 3.2):

Tabel 3.2

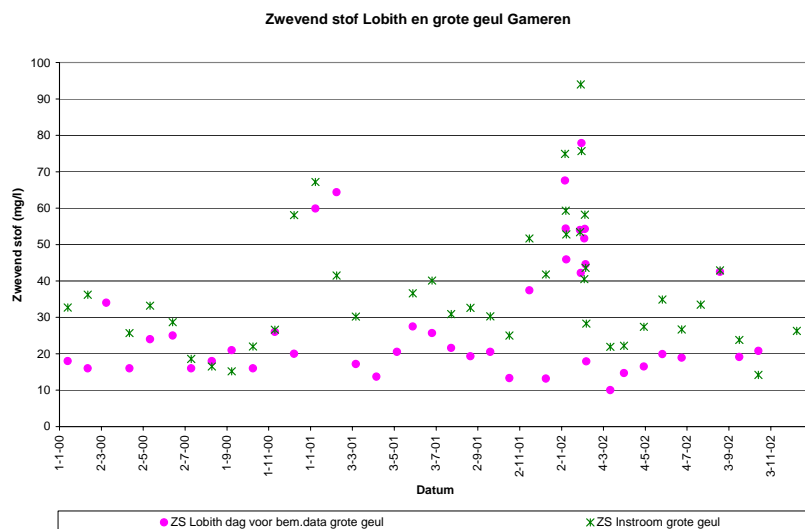
Zwevend stofconcentratie per Waalafvoer.

Waaldebiet [m ³ /s]	zwevend stofconcentratie Waal [g/m ³]
1.000	17
1.500	21
2.000	24
2.500	26
3.000	36
3.500	42

Uit vergelijking van de gemeten zwevend stofgehalten in de instroom van de Grote geul (Schropp *et al.*, 2001, 2002, 2004) met de gemeten zwevend stofgehalten van Lobith (figuur 3.4) blijkt dat er in het algemeen geen duidelijke relatie bestaat tussen de hoeveelheid aangevoerd zwevend stof bij Lobith en datgene wat de instroom bij Gameren bereikt. Het gemiddelde zwevend stofgehalte in de instroom ligt hoger dan het gemiddelde zwevend stofgehalte gemeten bij Lobith. Dat is opvallend, omdat verwacht mag worden dat de zwevend stofgehalten in de hoofdstroom van de rivier niet wijzigen voor dit gedeelte van de Waal. Het is onduidelijk waarom het gehalte in de geul hoger ligt.

Figuur 3.4

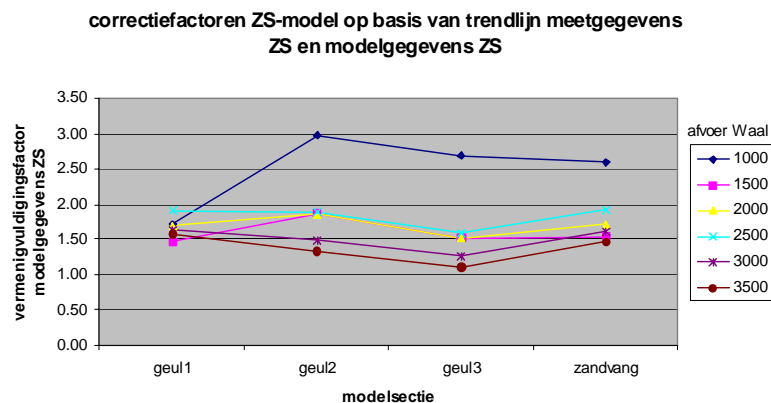
Gemeten zwevend stof Lobith en Grote geul Gameren.



Aangezien er blijkbaar meer zwevend stof de geul binnenkomt moeten de zwevend stofrandvoorwaarden voor de geul gecorrigeerd worden. Tussen de zwevend stofmeetgegevens van de Grote geul en de zwevend stofgegevens die door het model berekend worden is per afvoer en sectie een correctiefactor bepaald. Uit de grote van de correctiefactor blijkt dat niet alleen aan het begin van de Grote geul de modelwaarden opgekrikt moeten worden, maar ook met ongeveer dezelfde grootte aan het eind van de geul (figuur 3.5).

Figuur 3.5

Correctiefactoren zwevend stof modelgegevens.



Uit alle correctiefactoren is op verschillende manieren getracht een gemiddelde correctiefactor te krijgen. De gemiddelde correctiefactor ligt tussen de 1,6 en 1,9 in. Gekozen is voor een gemiddelde correctiefactor van 1,75. Deze correctiefactor is toegepast op de zwevend stofconcentraties voor de Waal, waardoor de volgende zwevend stofrandvoorwaarden worden verkregen:

Tabel 3.3

Gecorrigeerde zwevend stofconcentratie per Waalafvoer.

Waaldebiet [m³/s]	zwevend stofconcentratie Waal [g/m³]
1.000	30
1.500	37
2.000	41
2.500	45
3.000	62
3.500	73

Deze zwevend stofconcentraties zijn in het model als randvoorwaarden opgegeven.

Ter controle is er nog gekeken of de verhoging van de zwevend stofgehalten in de geul ter grootte van 0,75 geen gevolg is van erosie uit het kribvak en de inlaat, het begin van de geul.

Uit berekening blijkt dat de extra correctie van 0,75 op de zwevend stofconcentratie van de Waal een hoeveelheid slib zou zijn, dat per jaar de geul binnenkomt, van ongeveer 17.000 m³. Komt deze hoeveelheid niet uit de Waal, dan zou dat als gevolg van erosie uit het kribvak en de inlaat moeten komen. Gezien het volume van de twee vakken (20.000 - 25.000 m³ bij gemiddelde afvoer) zou dit een enorme verdieping van deze vakken betekenen. Deze verdieping is echter nooit gevonden bij metingen (lodingen). Hieruit kan dus geconcludeerd worden dat de hogere concentraties zwevend stof in de Grote geul niet veroorzaakt worden door uitschuring van de eerste vakken. Het blijft onbekend waardoor de verhoging dan wel veroorzaakt wordt, welke processen er in de Waal spelen die dit verschijnsel veroorzaken.

3.5 Procesconstanten voor de berekening van het slibtransport

Als valsnelheid en kritische snelheid voor sedimentatie en erosie zijn in het spreadsheetmodel de volgende waarden genomen (tabel 3.4):

Tabel 3.4

Parameterinstellingen gebruikt in het spreadsheetmodel.

	valsnelheid	v-kritisch sedimentatie
Fijn slib	0,25 [m/d]	0,25 [m/s]
Grof slib	10 [m/d]	0,50 [m/s]
Fijn zand	25 [m/d]	0,75 [m/s]
	erosiesnelheidsconstante	v-kritisch erosie
Erosie	1.000 [g/m ² /d]	0,5 [m/s]
Bodemdichtheid	800 [kg/m ³]	

De in de tabel vermelde parameterinstellingen zijn reeds eerder gebruikt in voorgaande studies (Wijngaarden, van en Ludikhuizen, 1998, Wijngaarden, van 1998 en Sloot en Van den Berg, 2000).

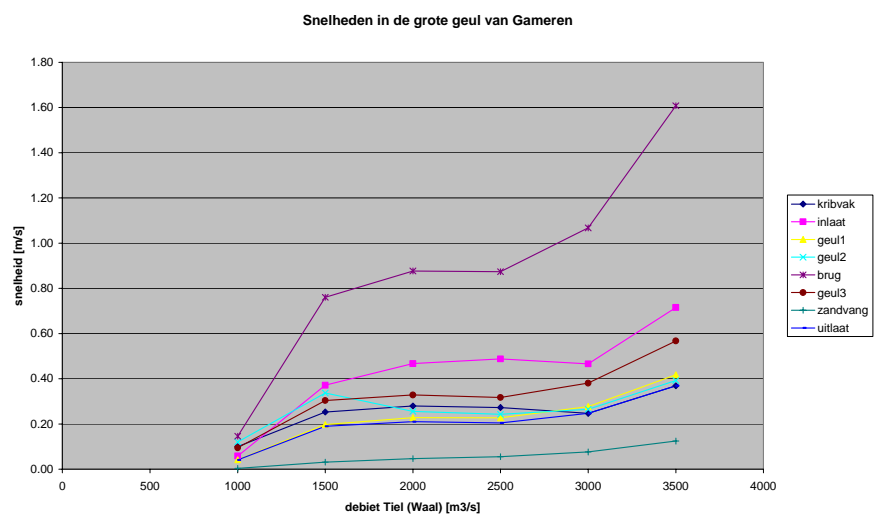
4. Resultaten

4.1 Stroomsnelheden in het model

De stroomsnelheid is erg belangrijk in het sedimentatie- en erosieproces. Afhankelijk van een bepaalde snelheid zal een zwevend stoffractie sedimenteren, of zal er erosie van bodemmateriaal optreden. De in het model berekende snelheden in de Grote geul van Gameren zijn in figuur 4.1 weergegeven.

Figuur 4.1

Snelheden in de secties van het slib-model van de Grote geul van Gameren bij verschillende afvoeren.



4.2 Het zwevend stofgehalte

De afname van het zwevend stofgehalte in de Grote geul is te gebruiken als gegeven om op af te regelen.

Figuur 4.2

Bemonsteringslocaties zwevend stof.



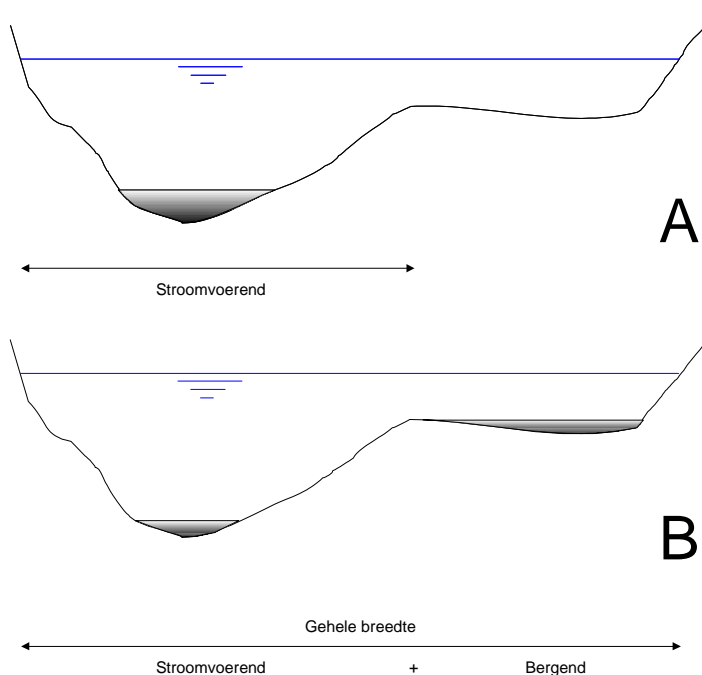
Uit het gemiddelde van de zwevend stofmetingen, die gehouden zijn in de Grote geul (figuur 4.2), blijkt dat vanaf de eerste meetlocatie (instroom, gem. 34,6 mg/l) tot aan de laatste meetlocatie (einde zandvang, gem. 29,1 mg/l) er een afname is van ongeveer 5,5 mg/l. Wordt nu de zwevend stofafname bekeken tussen de modelsecties waar de meetlocaties in liggen (sectie geul1, 34,4 mg/l – sectie zandvang, 28,8 mg/l), dan geeft het model een afname in het zwevend stofgehalte van ongeveer 5,6 mg/l. Uit deze vergelijking blijkt dat het zwevend stofgehalte in de geul in het model aardig wordt weergegeven en daarbij dus ook de sedimentatie en erosie. Over de gehele geul (kribvak – uitlaat) berekent het model een zwevend stofafname van ongeveer 10,5 mg/l.

4.3 Dikte sliblaag

Voor het bepalen van de dikte van de sedimentlaag in het model is een bodemdichtheid nodig. De modelresultaten geven aan dat de sedimentatie in de geul uit iets meer zand (55-60%) dan slib bestaat, uitgezonderd de zandvang en de uitlaat. Hier is het slibpercentage iets hoger. Dit komt aardig overeen met de resultaten van de bodembemonsteringen die uitgevoerd zijn in de Grote geul. Bij deze verhouding in zand-slibgehalte hoort een bodemdichtheid van ongeveer 800 kg/m³. Wanneer een bodemdichtheid van 800 kg/m³ in het model wordt aangehouden, resulteert dit in een sedimentatielaagdikte van 0,05 t/m 0,11 m. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat bij de berekening van de dikte van de sedimentlaag er van uitgegaan is dat de sedimentatie alleen in het stroomvoerende gedeelte van de secties plaatsvindt (figuur 4.3A). Zou de sedimentatie over het volledige oppervlak van de secties verdeeld worden, dan is de sedimentlaag tussen de 0,02 en 0,09 m dik (figuur 4.3B).

Figuur 4.3

Schematische weergave van de rekenkundige berekening van de dikte van de sliblaag.



Afleidend uit de WAQUA-stroomsnelheidskaarten van de 5 stationaire afvoeren, 1.000, 1.500, 2.000, 2.500 en 3.000 m³/s, komen stroomvoerende en bergende gedeeltes voor in de secties geul1, geul2, geul3, zandvang en uitlaat.

Om aan te geven hoe groot de spreiding is in sliblaagdikte, afhankelijk van hoe groot in het model de waarde voor de bodemdichtheid wordt gesteld, gaan we uit van twee uitersten. Bij een slibbige bodem behoort een bodemdichtheid van 500 kg/m³. De door het model berekende dikte van de sliblaag in de secties varieert dan tussen de 0,08 en 0,18 m, respectievelijk 0,04 t/m 0,14 m, afhankelijk van het te gebruiken oppervlak.

Indien de bodem volledig uit zand zou bestaan, dan moet een bodemdichtheid van 1.000 kg/m³ aangehouden worden. Hetgeen resulteert in een dikte van de sedimentlaag van 0,04 t/m 0,09 m in het stroomvoerende gedeelte van de geul of 0,02 t/m 0,07 m indien de sedimentatie over het hele oppervlak van de geul plaatsvindt.

Uit de bodembemonsteringen en ook uit de modelresultaten blijkt dat de zandvang in tegenstelling tot bijna alle andere secties redelijk slibbig is. De opgegeven bodemdichtheid klopt voor deze sectie dan niet. Een lagere waarde voor de bodemdichtheid zou dan beter overeenkomen. Het opgeven van verschillende bodemdichtheden is in het model niet mogelijk. Echter, een bodemdichtheid die beter overeenkomt met de situatie in de zandvang leidt maar tot een marginaal verschil in sliblaagdikte (+0,01 m).

Erosie in de geul vindt alleen maar plaats in de sectie brug bij afvoeren groter dan 1.000 m³/s, orde 0,65 m per jaar, over een oppervlak van 50 bij 15 m (l*b).

Bij afvoeren van 3.500 m³/s en hoger vindt er ook erosie plaats in de sectie inlaat en, als gevolg van de hoge stroomsnelheden bij de brug, lichte erosie in sectie geul3.

Met het model zijn nog gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Uit deze analyses blijkt dat:

1. de effecten van variatie in kritische snelheid beperkt zijn;
2. het effect van de sedimentatiesnelheid van grof slib vrij groot is;
3. het effect van de erosiesnelheid op het totaal beperkt is.

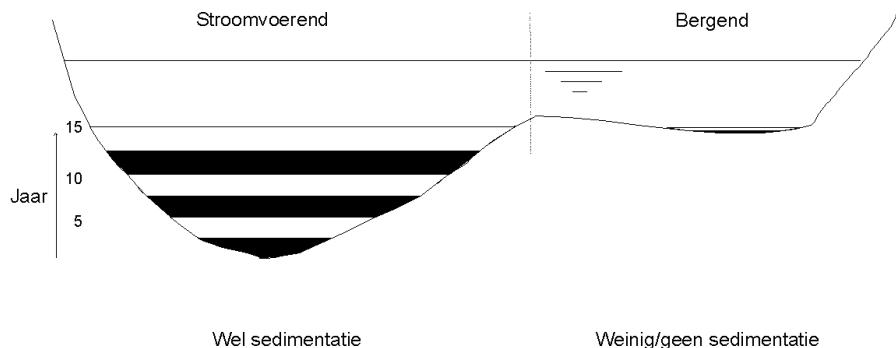
Eén van de doelstellingen van het model is om op basis van de resultaten van het model ook een voorspelling te doen over de te verwachten ontwikkeling van het doorstroomprofiel van de geul.

Er is uitgaande van de eerder beschreven instellingen getracht de sedimentatie en erosie (= negatieve sedimentatie) voor een aantal jaren door te rekenen. Hiervoor is de door het model berekende sliblaagdikte (stroomvoerend) voor een jaar opgeteld bij de waterbodemoogte, waarna met de nieuwe waterbodemoogte de sliblaagdikte weer is berekend voor een volgend jaar, welke weer opgeteld wordt bij de bodemoogte om met deze nieuwe bodemoogte weer een volgend jaar te berekenen, enz. Na een aantal jaren doorrekenen gaat het mis in het model.

Doordat in de natuur het stroomvoerende gedeelte van de Grote geul in de loop der jaren heel langzaam vol sedimenteert, verandert het doorstroomprofiel van de geul (figuur 4.4). De sedimentatie gaat over een veel grotere breedte plaatsvinden en/of het water zoekt of vormt een andere geul om door te stromen.

Figuur 4.4

Schematische weergave sedimentatie geul in de loop der jaren.



Deze veranderende stroomvoerende breedte kan niet in het model doorgevoerd worden. Daarom is het model voor de lange termijnvoorspelling niet echt geschikt.

Grofweg kan, uitgaande van de resultaten van het model, wel gezegd worden dat het ongeveer 10 tot 15 jaar duurt voordat het stroomvoerende gedeelte van de Grote geul vol gesedimenteerd is. Hierna kan het dan nog 15 tot 20 jaar duren voordat de gehele geul dichtgeslibd is. Dit duurt langer, omdat de sedimentatie door de grotere breedtes nog langzamer gaat.

De zandvang is weer een geval apart. Hiervoor duurt het nog langer voordat hij vol is.

5. Conclusies en aanbeveling

5.1 Conclusies

Met een vrij eenvoudig model zijn de zwevend stofgehalten voor Gameren goed te reproduceren. Dit maakt toepassing in andere studies mogelijk.

De WAQUA-snelheden zijn essentieel, vanwege de inhomogene snelheidsverdeling over de dwarsdoorsnede.

De sedimentatie in de stroomvoerende delen van de Grote geul van Gameren blijft beperkt tot orde 0,05 tot 0,11 m/j.

Erosie treedt op in de instroomsectie en in geul3 (bij hoge afvoeren) en bij de brug; de hoeveelheden blijven beperkt (minder dan 10% van de totale sedimentatie).

De profielvorm in het model is niet echt geschikt voor de lange termijn-berekening. Wel kan er uit het model afgeleid worden dat het tientallen jaren duurt voordat de Grote geul is dichtgeslibd.

5.2 Aanbeveling

In eventuele vervolgstudies is het aan te raden om niet alleen zwevend stof te meten in de nevengeul, maar ook in de rivier ter hoogte van de instroom van de geul. Aan dit meetpunt kan dan afgeleid worden hoeveel zwevend stof er wordt aangevoerd door de rivier.

Literatuur

Brink, C, van den, 2002. Hydraulisch 2D model Gameren bodem 2000, Memo, 19 maart 2002.

Fioole, A., E.J. Houwing en A.Z. Visser, 2002. Sedimentbalans 1960-2000 zwevend stofvracht Rijn en Maas. RIZA werkdocument 2002.197X, Dordrecht, november 2002.

Jans, L., T. Buijse, B. van der Heijdt, J. de Jonge, F Kok, A. Sorber en M. van Wijngaarden, 1998. Monitoring nevengeulen (1998-2003). Monitoringsprogramma voor nevengeulen in de Gamerense, de Stifitse en de Afferdensche & Deestsche Waarden: morfologie, hydraulica, ecologie, bodemchemie en ecotoxicologie. Projectplan. RIZA werkdocument 98.071X, Lelystad, juni 1998.

Ludikhuize, D. en E.F.W. Ruygh, 1989. Waterkwaliteitsonderzoek van het Noordelijk Deltabekken, slibtransport Hollandsch Diep/Haringvliet. Waterloopkundig Laboratorium, T262, oktober 1989.

Krone, R.B., 1962. Flume studies of the transport of sediments in estuarial shoaling, Final Report, Hydr. En. Lab. And San. Eng. Res. Lab., University of California, Berkely, V.S.

Partheniades, E., 1965. Erosion and deposition of cohesive soils, ASCE, Journal of the Hydraulics Division, Vol. 91, No. HY1, pp 105-139.

Sloot, J.S. en G.A. van den Berg, 2000. Evaluatie instellingen regionaal model Zuidrand Noordelijk Deltabekken. RIZA-werkdocument 99.103X, Dordrecht, december 2000.

Schropp, M., M. van Wijngaarden, A. van der Scheer en B. van der Heijdt, 2001. Monitoring nevengeulen: morfologische en chemische monitoring geulen Gamerensche waard. Datarapportage 1999/2000. RIZA werkdocument 2001.003X, Lelystad, januari 2001.

Schropp, M., M. van Wijngaarden, A. van der Scheer en B. van der Heijdt, 2002. Monitoring nevengeulen: morfologische en chemische monitoring geulen Gamerensche waard en Opijnen. Datarapportage 2000/2001. RIZA werkdocument 2002.028X, Lelystad, januari 2002.

Schropp, M., A.Z. Visser, A. van der Scheer en B. van der Heijdt, 2004. Monitoring nevengeulen: morfologische en chemische monitoring geulen Gamerensche waard en Opijnen. Datarapportage 2001/2002. RIZA werkdocument, Lelystad.

Wijngaarden, ir. M. van, 1998. Sedimentatie en erosie van zwevend stof in nevengeulen. RIZA rapport 97.078, Lelystad, januari 1998.

Wijngaarden, ir. M. van en ir. D. Ludikhuizen, 1998. MER Beheer Haringvlietsluizen, deelrapport Morfologie en kwaliteit binnengebied. RWS apv 98/094, december 1997.